

● 国外景观·环境规划与设计丛书

LANDSCAPE·ENVIRONMENT PLANNING AND DESIGN

WILLIAM M. MARSH

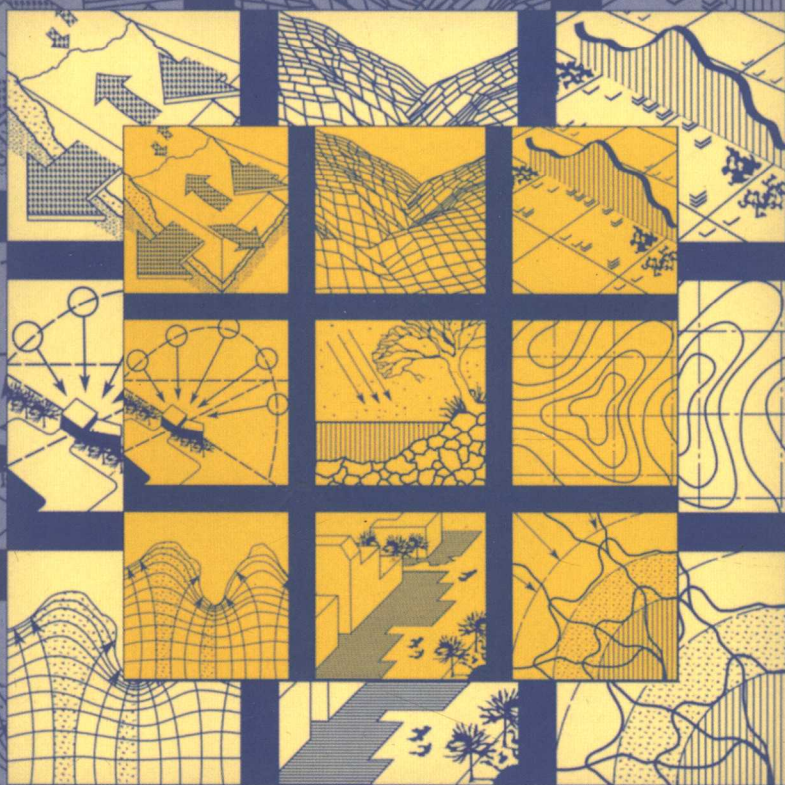
景观规划的环境学途径

Landscape Planning — *Environmental Applications*

(原著第四版)

[美] 威廉·M·马什 著

朱强 黄丽玲 俞孔坚 等译



中国建筑工业出版社

《景观规划的环境学途径》一书可以很贴切地被描述为“设计如何结合自然。”

——伊恩·麦克哈格（见本书前言）

“在北美，很少有地方能够实现土地利用活动、设施以及环境之间的持续的平衡……景观规划已经变成了一种由调查、列清单和许可等步骤构成的政治过程，这个过程对景观的真实特征关注得非常少。”

“对景观真实特征的理解必需以对土地功能、变化以及其所维持的生命系统的相互关系的理解为基础……景观规划不应该仅局限于对形式和特征的表现，而且还必须反映出决定这些形式和特征的过程。”

——威廉·M·马什（见本书第3章）

这本权威性的论著全面地提供了环境规划中所涉及的大量关键性方法和技术。为适应该领域内研究的迅速发展，本书的第四版较前三版又增添了许多新的内容，在原有版本的基础上做出了很大的改进。通过聚焦于自然的景观过程、系统、形式以及对景观原理的深入分析，马什（Marsh）的这本书获得了各界的广泛好评，是对伊恩·L·麦克哈格（Ian L. McHarg）的《设计结合自然》一书的极好补充。

——韦利(Wiley)，1995年



图书销售分类: 园林景观 (G10)

国外景观·环境规划与设计丛书

景观规划的环境学途径

(原著第四版)

[美] 威廉·M·马什 著

朱强 黄丽玲 俞孔坚 等译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2003-8158号

图书在版编目(CIP)数据

景观规划的环境学途径 (原著第四版) / (美) 马什著; 朱强, 黄丽玲, 俞孔坚等译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006

(国外景观·环境规划与设计丛书)

ISBN 7-112-07759-1

I. 景... II. ①马... ②朱... ③黄... ④俞... III. ①景观—园林设计 ②景观—环境设计 IV. TU986.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098950 号

Landscape Planning: Environmental Applications, Fourth Edition / William M. Marsh, University of Michigan

Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved.

Translation Copyright © 2006 China Architecture & Building Press

本书由美国 John Wiley & Sons, Inc. 图书出版公司授权翻译出版

责任编辑: 董苏华

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 李志立 关 健

国外景观·环境规划与设计丛书

景观规划的环境学途径

(原著第四版)

[美] 威廉·M·马什 著

朱强 黄丽玲 俞孔坚 等译

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 31 字数: 751 千字

2006年12月第一版 2006年12月第一次印刷

定价: 99.00 元

ISBN 7-112-07759-1

(13713)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

《国外景观·环境规划与设计丛书》

- 城乡规划环境影响评价实践
- 景观规划与环境影响设计
- 景观规划的环境学途径

献给 IAN L. McHarg (1920 – 2001 年)

序

威廉·M·马什(William M. Marsh)的《景观规划的环境学途径》是一本相当不错的书。这本书特别针对景观建筑的需要,详尽收录了地理学、水文学、土壤学和生态学中,与景观规划相关的重要原理与过程。

本书对自然地理区域作了深刻的描述,其中每一个区域都具有典型的地形、水文、土壤和生态特征。此外,它还向读者展现了河流和土壤的形成过程、流域、泛洪平原、侵蚀、沉积等知识,其中每一点都配有富有启发意义的文字与图表。这本书实际上是告诉我们“怎样结合自然进行设计”。我想我和广大读者们一样,应该感谢作者为我们提供了这样一本好书。

我真心希望这本书能够引起广大读者的关注。

伊恩·L·麦克哈格(Ian L. Mcharg)

宾夕法尼亚大学

艺术研究生院

景观设计学与区域规划系

1997年10月6日

前 言

撰写本书的最初目的之一就是希望能够将一些有关环境和土地利用方面的景观原则进行综合；换句话说，也就是希望能够将地理学、景观设计学、规划学以及其他相关领域的知识做一个有效的总结。直到现在，这一目标仍然没有改变，并且，随着近年来环境规划领域的不断进步——更多的人员参与、更多的对话、更少的交流障碍，对于从事景观规划的工作人员、老师、研究者以及学生们而言，是可以引以为荣的。与此同时，随着事务的不断增多，环境规划涉及的问题变得越加复杂——时刻提醒着我们肩上所背负的重任，促使我们不断地努力奋斗。

尽管第三版较前两版已经新增了许多内容，但这一新版本的内容依然变得更加丰富。首先，我们新增了一章的篇幅对流域的最佳管理实践进行了探讨，同时还对其他一些章节进行了修改；书中增加了许多新的论题，并用独立的章节加以论述——如河流通道、滨水环境以及景观生态；其次，对原先已经存在的章节进行了细致的修改（包括景观的理论、危险废弃物的处置、坡体的稳定性评价、小流量湿地以及土壤的沉积系统等）。另外，本书还增添了许多有关可持续发展的绿色基础设施、工业场地的管理、洪水灾害、湿地和水体质量、海岸线的稳定、城市气候，以及沼泽恢复治理等方面的新案例，在此，要真诚感谢 Patrick Condon, Jack Goodnoe, Charlie Schlinger, Cory Helton, Jim Janecek, John Elder, Gerald Goddard, Elliott Menashe, 以及 Patrick Money 在案例研究方面所作的贡献。

坦白地说，书中不断补充进来的材料一直是本书令人烦恼的源头。由于该领域涉及的范围十分广泛，因此研究时需要的数据、地图、技术方面的读物以及所产生的问题等也十分的庞大和繁琐。另外，本书涉及的大部分案例都是当地或区域的例子，产生的问题也来自大陆的各个部分。为此，在本书的第一版中，我们使用了大量的附录，并在每一章节的末尾提出了许多的问题；在第二版中，我们又提供了教师的使用指南；而第三版和第四版的共同特点是有一个专门的网页（www.wiley.com/college/marsh），提供数据、地图以及其他资料的链接，同时还包括了前几个版本的材料。

在这里，要感谢许多人为本书的编写所贡献的时间和才智。感谢 Alison Mewett, Jo Mitchell, Rachel Sim 和 Katherine Best 耐心提供的建议和帮助；感谢 Wiley 公司的 Denise Powell 和 Sarah Wolfman-Robichaud 帮助本书出版过程的推进。另外，还要感谢那些审阅本书的同事，他们分别是：堪萨斯大学（University of Kansas）的 Stacey Swearington White, 加利福尼亚工艺大学（California Polytechnic University）的 Cathleen Corlett, 得克萨斯州技术大学（Texas Tech

University) 的 Safei Hamed, Rowan 大学 (Rowan University) 的 Denyse Lemaire, 阿巴拉契亚州立大学 (Appalachian State University) 的 Jana Carp, 以及诺克斯维尔田纳西大学 (University of Tennessee, Knoxville) 的 Carol Harden。此外, 我们向伊恩·L·麦克哈格 (Ian L. McHarg) 多年来在本领域所拥有的独特视角并带领我们不断前进致以敬意。最后, 感谢那些曾在这些年来听过我的演讲以及与我共同工作过的, 从事景观设计学、规划学、地理学及其相关领域的老师、同学和同事们, 对你们的耐心、问题和建议表示由衷的感谢。

威廉·M·马什 (W. M. Marsh)
Comox, B.C.

目 录

序	vi
前言	vii
导言 关于本书及本领域的介绍	1
0.1 开场白	2
0.2 背景概念	2
0.3 本书的内容和组织	2
0.4 景观规划、环境保护主义和环境规划	3
0.5 空间关系：场地与区域	4
0.6 寻找合适的尺度	4
第1章 景观规划：起源、问题和内容	7
1.1 简介：起源	8
1.2 问题：改变和影响	10
1.3 规划的目的	12
1.4 规划涉及的领域：决策、技术和设计	13
1.5 环境影响评估	14
1.6 景观规划涉及的工作	15
1.7 方法和技术	19
1.8 环境法令	21
1.9 设计专业和其他相关领域	22
1.10 案例研究 可持续景观规划	23
1.11 推荐阅读文献	24
第2章 美国和加拿大的自然地理概况	25
2.1 简介	26
2.2 加拿大地盾	29
2.3 阿巴拉契亚山脉地区	32
2.4 内陆高地	36
2.5 大西洋和海湾沿岸平原	37
2.6 内陆平原	41
2.7 落基山脉地区	44
2.8 山间区域	48
2.9 太平洋山脉地区	50
2.10 育空地区以及北冰洋沿岸地区	53

2.11 推荐阅读文献	54
第3章 规划中的景观形式和功能	55
3.1 简介	56
3.2 景观的基本过程	56
3.3 景观变化的特征	59
3.4 有条件稳定的概念	60
3.5 对场地的看法	62
3.6 场地的空间维度	62
3.7 场地规划的环境数据源	65
3.8 景观的理论视角	67
3.9 推荐阅读文献	73
第4章 地形、坡地与土地利用规划	75
4.1 简介	76
4.2 坡地问题	76
4.3 为土地利用规划服务的坡度图	77
4.4 坡地的坡度和坡型	80
4.5 坡地稳定性评估	84
4.6 坡地分析法在社区规划中的应用	88
4.7 为什么坡度图在某些地方无效	90
4.8 案例研究 在社区规划中坡度是限制增长的因素	91
4.9 推荐阅读文献	92
第5章 土壤，土地利用适宜性与废弃物处理	93
5.1 简介	94
5.2 土壤组成	94
5.3 土壤质地	95
5.4 土壤水分与土壤排水	98
5.5 土壤、地貌和地形	98
5.6 在土地规划中的应用	100
5.7 有关固体废弃物处理的规划	105
5.8 有害废弃物的管理和处理	107
5.9 案例研究 为私人场地开发绘制场地土壤图	108
5.10 推荐阅读文献	110
第6章 土壤和废水处理系统	111
6.1 简介	112
6.2 土壤吸收系统	112
6.3 环境影响与系统设计	115
6.4 就地处置的土壤适宜性评价	117
6.5 标准 SAS 的替代方案	119

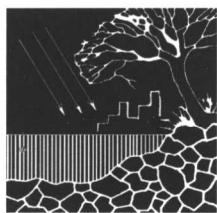
6.6	小流量湿地系统	121
6.7	案例研究 借助于土壤分布图的污水处理规划(加拿大新斯科舍省)	122
6.8	推荐阅读文献	125
第7章	地下水, 土地利用, 蓄水层保护	127
7.1	简介	128
7.2	地下水来源与特点	128
7.3	地下水流动系统	131
7.4	地下水的衰退和蓄水层受到的影响	135
7.5	地下水的污染源	136
7.6	景观规划中的应用	137
7.7	社区的水源保护	141
7.8	案例研究 应用地理信息系统制订地下水保护规划	142
7.9	推荐阅读文献	145
第8章	暴雨水排放, 水管理和景观变化	147
8.1	简介	148
8.2	地表径流	148
8.3	小流域径流的计算	151
8.4	推理法的应用	154
8.5	其他一些径流模型与概念	155
8.6	雨水排放的趋势	156
8.7	雨水调蓄	158
8.8	性能的概念	162
8.9	综合的水管理规划	163
8.10	案例研究 不列颠哥伦比亚省萨里地区的绿色基础设施 在暴雨水管理中的应用实例	164
8.11	推荐阅读文献	167
第9章	流域、排水网络和土地利用	169
9.1	简介	170
9.2	排水网络及流域的构成	170
9.3	绘制排水盆地地图	173
9.4	小排水盆地的发展态势	174
9.5	规划与管理上的思考	176
9.6	小排水盆地的土地利用规划	179
9.7	案例研究 流域观念在墨西哥萨尔蒂约地区工业场地管理中的应用	180
9.8	推荐阅读文献	184
第10章	河川径流, 河谷和洪水危害	185
10.1	简介	186
10.2	河川径流的来源	187

10.3	河川径流量的预测方法	189
10.4	河谷及河漫滩的大小与形态	193
10.5	在土地规划中的应用	194
10.6	绘制河漫滩地图	197
10.7	案例研究 亚利桑那州北部, 被森林覆盖的 小流域的洪水风险和火灾影响	199
10.8	推荐阅读文献	202
第 11 章	水质, 径流和土地利用	203
11.1	简介	204
11.2	水体污染物类型、污染源和衡量标准	204
11.3	暴雨、土地利用和水质	207
11.4	陆地上的水质缓解方法	209
11.5	水体富营养化	213
11.6	湖泊营养物负荷及土地利用	215
11.7	小流域的水质管理规划	218
11.8	案例研究 威斯康星州德拉文湖附近一处人工湿地滞留沉积物和 营养物的效率研究	221
11.9	推荐阅读文献	224
第 12 章	土壤侵蚀, 土地利用和河流沉积	225
12.1	简介	226
12.2	土壤侵蚀, 生物气候和土地利用	226
12.3	土壤侵蚀—沉积转运系统	229
12.4	影响土壤侵蚀的因素	232
12.5	根据径流计算土壤侵蚀	233
12.6	在土地规划和环境管理中的应用	237
12.7	流域管理中需要考虑的问题	239
12.8	案例研究 加州塔霍湖南部地区一个河流恢复项目中土壤侵蚀和 沉积的控制	241
12.9	推荐阅读文献	244
第 13 章	最佳管理措施 (BMP), 流域与开发场地	245
13.1	简介	246
13.2	流域内径流系统和适宜 BMP 应用的场地	246
13.3	场地暴雨水系统	249
13.4	暴雨水产生段的 BMP 规划	250
13.5	暴雨雨水迁移段 (释放) 的 BMP 规划	252
13.6	传输段 BMP 规划	253
13.7	BMP 规划步骤	254
13.8	总结和建议	254
13.9	推荐阅读文献	257

第 14 章 河流、河道形式和滨水景观	259
14.1 简介	260
14.2 河流的水文特征	260
14.3 河流侵蚀与沉积物转运	262
14.4 河道动力特征及其模式	264
14.5 河道形式、曲流及相关过程	266
14.6 河漫滩的形成及其特征	269
14.7 滨水及河道栖息地	271
14.8 管理方面的问题及导则	273
14.9 案例研究 城市流域内的暴雨水管理及河道恢复	278
14.10 推荐阅读文献	281
第 15 章 海岸线过程, 沙丘和海岸带管理	283
15.1 简介	284
15.2 波浪运动, 洋流和近岸环流	284
15.3 净沉积物运输和沉积物质量平衡	287
15.4 海岸线变化的趋势	289
15.5 沙丘形成与补充	290
15.6 海岸区规划与管理的应用	293
15.7 场地管理中的考虑	297
15.8 案例研究 传统工程性海岸保护措施的绿色替代方案: 根墙概念	300
15.9 推荐阅读文献	303
第 16 章 太阳高度角、太阳能加热与环境	305
16.1 简介	306
16.2 太阳高度角及入射辐射	306
16.3 随季节和地形变化的太阳高度角	307
16.4 辐射平衡和太阳能加热	310
16.5 土地利用方式、植被以及土壤的影响	314
16.6 建筑物与生活环境的影响	315
16.7 案例研究 中纬度地区住宅区景观设计中对于阳光的思考和利用	318
16.8 推荐阅读文献	320
第 17 章 小气候、空气污染以及城市环境	321
17.1 简介	322
17.2 城市热岛效应	322
17.3 城市空间中的小气候变化	323
17.4 城市区域中的大气污染治理	330
17.5 城市规划中的气候问题	332
17.6 城市规划及设计中的气候标准	333
17.7 案例研究 通过景观设计改善城市气候, 减少能量使用	337
17.8 推荐阅读文献	339

第 18 章 地面霜冻、永久冻土带、土地利用与环境	341
18.1 简介	342
18.2 土壤热量的日变化和季变化	343
18.3 土壤热量和地面霜冻的控制因素	344
18.4 永久冻土带	349
18.5 土地利用与冻土	351
18.6 规划应用	352
18.7 案例研究 永久冻土带与穿越阿拉斯加州的输油管道	355
18.8 推荐阅读文献	356
第 19 章 植被、土地利用与环境评价	357
19.1 简介	358
19.2 植被的描述与分类	358
19.3 植被变化趋势	359
19.4 敏感环境的概念	363
19.5 植被作为环境规划的工具	366
19.6 植被分析方法	369
19.7 植被抽样	372
19.8 植被与环境评价	372
19.9 案例研究 得克萨斯州中部某居住区规划中有关野生动物栖息地的考虑	373
19.10 推荐阅读文献	376
第 20 章 景观生态学，土地利用和栖息地保护规划	377
20.1 简介	378
20.2 生物地理学的理论基础	378
20.3 栖息地、土地利用和生物多样性	380
20.4 濒危物种、受威胁物种和保护物种	384
20.5 景观破碎化的格局与度量	386
20.6 栖息地保护规划	389
20.7 案例研究 不列颠哥伦比亚省弗雷泽河三角洲鸟类沼泽栖息地恢复	391
20.8 推荐阅读文献	394
第 21 章 湿地，栖息地和土地利用规划	395
21.1 简介	396
21.2 湿地水文学	397
21.3 湿地生态系统	398
21.4 湿地的类型与环境	400
21.5 湿地综合分类系统	403
21.6 绘制湿地地图	406
21.7 有关管理和湿地缓解的思考	407

21.8 案例研究 探寻更好的湿地法规和管理方法	410
21.9 推荐阅读文献	413
术语表	415
附录 A 美国和加拿大土壤分类系统	431
附录 B 地貌和土壤物质以及它们的排水特征	435
附录 C 美国公用水供应的地表水标准	437
附录 D 美国国家空气质量标准	439
附录 E 美国噪声标准	441
附录 F 北美湿地植物的普通名和学术名	443
附录 G 原著第三版案例研究	449
英汉词汇对照	467
译后记	477



导言

关于本书及本领域的介绍

- 0.1 开场白
- 0.2 背景概念
- 0.3 本书的内容和组织
- 0.4 景观规划、环境保护主义和环境规划
- 0.5 空间关系：场地与区域
- 0.6 寻找合适的尺度

0.1 开场白

北美景观的面貌出现了一种明显的趋同性。从20世纪70年代初开始,整个北美地区的高速路、购物中心、居住区以及其他各种形式的开发表现出了惊人的相似性。这些现代开发不仅在外观上,而且在功能上都十分相似。这种功能上的相似性包括开发与环境之间的相互关系,例如,所有开发几乎都相似地对土地进行清理和分级,都相似地排走洪水,以及相似地摆放建筑物和布置景观。

我们知道,这些开发的外观掩盖了北美景观原本所固有的多样性。如果我们稍加考虑便不难发现,景观的多样性是根植于大地的自然地理与生态特征之中的,反过来这些多样性又反映出了陆地环境功能的差异性。这样看来,如果多样性的确是与环境相对应的,那么,难道我们在进行发展和土地利用时,不应该遵从并反映出这些差异吗?因此,有一个十分重要的任务摆在了环境规划师们的面前:帮助对开发进行指导,制订能响应环境的景观规划和设计方案,从而避免土地利用方式与环境之间冲突。

景观多样性

0.2 背景概念

事实上,当今所有的现代科学领域都在为解决社会问题做贡献。然而对于有些领域,贡献不是那样的显而易见,甚至有时连从业人员都会弄清他们的研究对社会有什么样的贡献,这是因为他们的贡献往往需要通过第二或第三个团体才能得以实现。这些团体通常是一些应用性的学科领域,比如城市规划学、景观设计学、建筑学、工程学等,这些学科能够综合、调整、提炼并运用其他学科和技术领域的成果。

应用领域及学科

地理学、地质学、水文学、土壤学、生态学、遥感科学以及许多其他学科,与景观规划之间就存在以上的关系。一百多年来,地球和环境科学家们努力地研究世界的物理性质,分析它的物质组成,寻求它的度量方法。同时,他们也不断探求着改变世界的因素,以及人类又如何利用这些因素。与此同时,规划关注的是,在满足人类需要的条件下,如何合理地利用和分配资源(尤其是景观资源)。正因为对资源、土地利用以及大自然和景观动力学有着共同兴趣点,规划和面向环境的科学被紧紧地联系在一起。

0.3 本书的内容和组织

本书谈论的主要是与规划师、设计师、科学家和环境学家有关的问题,焦点是环境问题,同时也涉及土地规划、景观设计和土地利用等方面。本书的覆盖范围是广泛的,但并不企图包括现存应用领域的所有问题,因为那样的话篇幅太大,会过于冗长。题材的选择主要基于以下三方面的考虑:首先,介绍景观中存在的主要基本问题。它们分别是地形、土壤、水文、气候、植被和栖息地;其次,题材与现代规划相关,应该是受城市规划师、景观设计师和相关领域人员关注的一些问题,比如暴雨的管理、坡体的分类以及湿地的解释等;最后,题材必需通俗易懂,对于那些没有经过统计、数据采集、制图学等专门技

研究内容

术训练的人员也同样适用。

另外,由于环境规划学科不断发展,本书的每一个版本都比前一版本包括了更多的内容。这不仅反映了本领域自身的发展,同时表明了环境规划在环境和规划舞台上应用的合理性逐渐增强。25年前,除了土木工程领域能够参与暴雨管理外,几乎所有其他专业的参与都是不合情理的。然而,就在最近的一二十年里,环境规划关键性地指出,暴雨不仅是地表径流问题的根源,同时还是水体污染的主要源头。除此之外,环境规划领域已开始从事湿地规划、城市气候和地下水的管理工作,最近更增添了一些生态方面的论题,如生物多样性和景观生态学等。

0.4 景观规划、环境保护主义和环境规划

本书运用了“景观规划”的概念,这一概念涵盖所有涉及景观特性、过程以及系统并与土地利用和规划活动相关的宏观环境问题。仅仅在三十年前,我们用“土地利用规划”(land use planning)一词来表达以上活动,但是在今天,由于新知识、新问题的出现,社会需求的不断变化以及各类专门学科的不断产生,环境规划领域也相应地涌现出了更多的新问题,显然土地利用规划一词是不足以明确表达这些问题的。

20世纪六七十年代爆发的环境危机,造成人们对环境问题的恐慌,也将更多人的目光引向了环境问题。人们组织了一场政治性的运动来保护“环境”,抗议工业、政府、城市的蔓延和战争对环境造成的冲击。简单的理解,这场运动所指的“环境”是指大地景观中一切自然的要素,包括空气、水体、森林、动物、河谷、山川、峡谷等等。此次运动过后,产生了“环保主义者”(environmentalist)和“环境保护主义”(environmentalism)两个概念,环保主义者是一类专门从事环境保护工作的人,而环境保护主义则是一门哲学,一种公众和社会的意识形态,它泛指个人在环境问题方面的训练、知识和专业资格。实践环境保护主义的组织机构有山岳协会、绿色和平组织和地球之友等。

环境危机同样也促使了各级政府对环境问题的重视,并颁布了一系列力度更强、涉及面更广的环境法令。社会需要新型的专业技术人才,去解决与环境评估、废弃物处理以及空气和水体质量管理等相关的环境问题。许多新的“环境”领域学科相应产生,以往已建立的学科(如土木工程学和化学等)中也出现了一些与“环境”相关的分支学科。总而言之,环境领域的研究大致可以分为以下三类:环境科学、环境工程与技术以及环境规划。

其中,“环境规划”是一门应用于规划与管理活动的“包罗万象”的学科,它考虑的中心问题是环境,而不是社会、文化或政治。该术语时常会跟环境保护主义,以及环境影响研究的准备工作相混淆。但是事实上,环境规划研究涵盖了与土地发展、土地利用、环境质量等相关的相当多的论题。其中,既包括有毒废弃物处理、湿地管理等较新的问题,也包括流域管理、地方性供水规划等传统问题。有时为了实际问题研究的方便,我们常常会使用“景观规划”一词,将一些与景观领域相关的活动(如地理学、景观设计学、地质学、城市规

“环境保护主义”
的兴起

新型学科领域的
出现

环境规划

划学等)。与环境规划中的其他活动(有时特指一些与环境工程和公众健康联系密切的活动)进行区分。

0.5 空间关系: 场地与区域

在本书中,由于需要涉及一些与实践专业的现代规划密切相关的景观问题,大部分内容是从场地或社区的尺度来进行探讨的。所谓“场地”,是指位于当地的面积从不足1英亩到几百英亩不等的土地,它们有着简单的所有权关系或是较为复杂的管理协调模式(如个人、家庭或是各种团体组织),同时也是构成土地利用规划或社区建筑街区的空间单元。

在土地利用规划和景观设计领域中,“区域”一词所定义的大小范围会随着建筑物社区地理背景的变化而变化。它可以指一个单独的社区和该社区所包括的乡村腹地,或是许多的社区和它们之间的联系系统(例如道路和河流等),也可以指一个大的都市区域,以及包括在该大都市区内的内部城市、工业区和郊区地域。同时,区域的概念还会受到地理工作者对区域看法的影响,他们往往会将一块面积巨大的地区视作为一个区域,如中西部区(the Mideast)、大平原区(the Great Plains)以及哈得逊湾(the Hudson Bay)区域等。事实上,许多环境问题都会有一个区域范围(从地理工作者的视角来看)——例如,大陆中东部地区的酸雨问题和西南部地区的耕种水源问题等。然而,由于许多原因,在北美地区,针对这样大范围的规划并不十分有效。大多数我们认为有效的或有前景的环境规划往往是出于区域(规划者眼中的区域)、社区或场地尺度上的。同时你会发现,以上介绍的一些词汇(不论是场地还是区域)都是为了方便研究而定义的,它们常常并不能准确地表达出研究的问题或环境的真实尺度。

区域

0.6 寻找合适的尺度

我们知道,对于几乎所有的规划问题而言,地理或“空间尺度”(spatial scale)是规划中十分重要的一部分,然而对于现代的土地利用系统而言,尺度的应用却显得并不那么有效。在发达国家,我们能够在景观和社会的许多方面看到尺度的误用现象。大多数尺度误用现象产生于项目期望的功能与过程之间的不协调,或者是由于设施的大小与实际上为设施服务的系统不匹配,或是项目所处的环境与它所依赖的环境之间不相适应。

在美国,对于大多数决策者而言,本世纪(指20世纪——译者注)流行着这样一种风气,那就是“越大越好”。例如,在公共教育方面,学校办得越来越大,缺乏与学生个体以及它们所服务的社区之间的交流;城市也是如此,不论是在发达国家还是在次发达国家,城市都在不断地扩张、蔓延,城市中的人口数量也在不断增长(预计墨西哥城在2000年人口将达到3000万),超出了物质和社会系统的管理能力。在美国、加拿大以及欧洲的部分地区,原用于国家安全和区域间交通的快速道路系统,现在已成为城市上班族日常上下班的通道(城市中的上班族愿意居住在城市区域外更小、更传统的社区里)。

迷失的边界和尺度

关于环境治理也存在这方面的问题,例如美国联邦政府为了实现洪水管理,修建了许多巨型大坝与河流渠道,然而却极大地忽视了地方和区域流域的管理以及洪水敏感地带的土地利用规划,这样做的结果造成了大量滨水栖息地、林地以及耕地的丧失。同时,由于更多地依赖于工程设施,那些所谓的“受保护”的河滩居民点却更容易遭受到洪水的侵袭。幸运的是,近来兴起的一些地方上的流域管理团体以及河流恢复组织在许多方面都从基础的原理层面上对这些问题进行了评述,在一定程度上弥补了联邦、州,以及省级计划中自上而下方法的缺陷。

与此同时,发展中的社区也常常不顾及自身的实际情况(不考虑设计区域内环境系统的尺度、结构以及运行情况与其他社区的区别),照搬其他社区(往往在地理位置上相隔甚远的一些社区)的环境法令。到目前为止,我们只是缓解(解决)了环境中的小部分问题,如雨水排除、洪涝灾害、水体质量及栖息地保护等,大量的环境问题没有得到解决甚至变得更糟。例如,为北美的东部地区设计的暴雨工程系统就被运用到西部完全不同的环境中,在那里,这些系统不仅损害了一些原有设施、河道以及生物栖息地,而且还给当地社区带来经济上的负担,尤其是那些较小的社区,负担更为严重。

尺度问题的根源

为什么有这些与尺度有关的问题呢?这牵涉许多不同的原因,下面将提到几个比较重要的例证。例如在国家政策方面,政策大力鼓励标准基础设施系统的建设(如水坝和高速路等),而不顾及地区及区域尺度上环境和土地利用特性上的差异。在经济方面,成本效益原则表明大规模开发能有效节省开发资金。另一个例子是规划者和工程师们所面临的对职业责任的日益增长的威胁,即建造的桥梁、水坝和其他设施不够大,不能抵御“所有的”环境意外事件。另外,决策者和技术咨询者们缺乏对环境自身运转原理(指促使景观形成并维持其运转的过程和系统,其中也包括景观运转的尺度)的理解,也是造成尺度问题的原因之一。我们知道,环境具有很强的地方性,一处的环境与另一处的环境在运转原理上存在明显区别,如果在决策时仍不考虑这些区别,显然我们将继续建造与环境不匹配的、不可持续的基础设施和土地利用系统。

例证

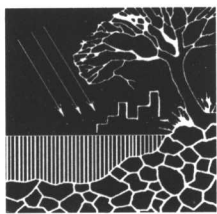
这里有一个比较成功的例子。在美国新罕布什尔州,联邦和州的交通部门原本要在环境优美的怀特山脉(White Mountains)中的弗兰科尼亚峡谷(Franconia Notch)中修一条标准的四车道的州际高速公路,可后来当地人民制止了他们的这个行为(图0.1)。这项工程后来搁置了十几年,直到高速路的规划者们做出部分妥协(在法院的要求下)后才得以动工。他们在联邦条例及规定的基础上对原有的标准方案进行了一些修改,并采用了一个更适合这个地区的地形、排水条件和游憩特征的替代方案,建造出了这样一段“小尺度”的州际高速路。当然,这里提到的并不是一个完美的解决方案,但它与那些传统、大型、限制出入并带有巨大出入口坡道(通向山谷中心)的高速路比较而言,它绝对算是成功的范例(图0.2)。弗兰科尼亚峡谷的例子告诉我们,如果人们能够正确理解场地、区域的景观组成、结构、运转以及开发项目对环境的潜在影响,如果人们能够将一些有说服力的例证摆在决策者们的面前,那么,相信对于现代土地利用系统研究而言,“尺度”的概念将能够得到更有效的应用。



图 0.1 州际高速路 I-93，穿越了位于美国新罕布什尔州（New Hampshire）的怀特山脉中的弗兰科尼亚峡谷。图片显示了适应狭窄山谷的“小尺度”高速路



图 0.2 为了更好地适应山谷的尺度，同时为帮助保护游憩和风景特征，在新罕布什尔州，沿 I-93 公路的进入通道和斜坡都采用了较小尺度的设计手法



第 1 章

景观规划： 起源、问题和内容

- 1.1 简介：起源
- 1.2 问题：改变和影响
- 1.3 规划的目的
- 1.4 规划涉及的领域：决策、技术和设计
- 1.5 环境影响评估
- 1.6 景观规划涉及的工作
- 1.7 方法和技术
- 1.8 环境法令
- 1.9 设计专业和其他相关领域
- 1.10 案例研究 可持续景观规划
- 1.11 推荐阅读文献

1.1 简介：起源

自从有组织的社会诞生之日起，人们就一直以某种形式对环境进行着规划。关于环境规划的例子不胜枚举，如古代的美索不达米亚人曾对沙漠地区的灌溉用水进行过详细规划，又如恺撒时期的罗马人曾将湿地改造成可耕作的农田并重新布置港口以改善导航。然而，显而易见的是，大多数古时的环境规划考虑的仅仅是实际需要，比如贸易、食品供应、水以及一些防御性的功能，而很少或没有考虑这些规划对于环境的影响。在许多方面，规划和工程项目看上去只是希望将自然引向有序的状态，甚至是去纠正发生在自然中的“缺陷”。然而奇怪的是，不论是古代美索不达米亚人的沙漠灌溉“规划”还是恺撒时代罗马人的港口“规划”，这些以纠正自然“缺陷”为目的的“企图”最终却都以设计者们所没有预想到的原因而失败。

除了少数的例子外，15世纪前的人并没有把自然视为环境的一部分。中世纪的欧洲西方文明对待自然的态度是最差的。那时候，人们以疑虑、恐惧和愚昧看待自然。以森林为例，那时候的人们将森林看作是一个野兽和盗贼经常出没的危险之地，人们所熟悉的地理概念也仅仅只限于出生地所在的村庄。然而，随着文艺复兴（15世纪）和启蒙运动（17和18世纪）的兴起，人类和自然才逐渐成为了朋友。启蒙的新观念认为自然是具有逻辑和秩序的，是可以被人类了解的实体。牛顿模型中的自然宇宙观（这个观点认为宇宙是一台结构和功能完好的“机器”）对人类的自然观产生了深远的影响。

早期的观点

到了18和19世纪，自然的观念延伸到具有愉悦和享乐感的所有自然事物，这标志着“浪漫主义运动”的兴起，人类对环境和自然产生了爱。在浪漫主义运动过程中，人们发现自然界竟是如此的巧妙和精细，它的美丽、它的精神以及它对生活质量的影响不得不让人惊叹。此时，在景观设计方面，英国产生了一个新的学派——风景园林。为了看起来更贴近自然，人们在乡村景观（如花园、农田和水体）的设计中运用了大量的曲线（图1.1）。同时，浪漫主义运动时期的艺术界也表现出对环境的关注，19世纪的绘画、音乐以及文学作品都或多或少地反映出这样的意识，尤其是对乡村风景和田园情结的反映。

浪漫主义运动

在美国，第一批乡村环境改善的社团始于19世纪50年代，人们将浪漫主义的概念运用到社区中，他们美化街道、墓地和城镇广场，促使一些环境法令（如保护鸣禽、修建公园等）的产生。作为19世纪社会改革的一部分——人们将自然引入到城市中心，公共性的公园在城市（如纽约等）中心兴起。此时的城市公园仍然延续了英国的造园概念，有意地刻画理想的乡村景观的特征。总而言之，浪漫主义运动加强了人们对自然，以及自然环境对人类的重要意义的认识，并为现代的环境规划打下了坚实的基础。事实上，此后20世纪六七十年代发生的环境危机，绝大部分就是与环境质量和环境意识不断下降的结果。

19世纪的另一项公众运动为环境规划的发展提供了强劲的推动力，它也是环境规划发展的第二个重要支柱，那就是人们逐渐科学地理解了环境在公众健康中扮演的角色。这些理解源自一些环境敏感疾病的报告，如疟疾、痢疾和伤

公众健康运动

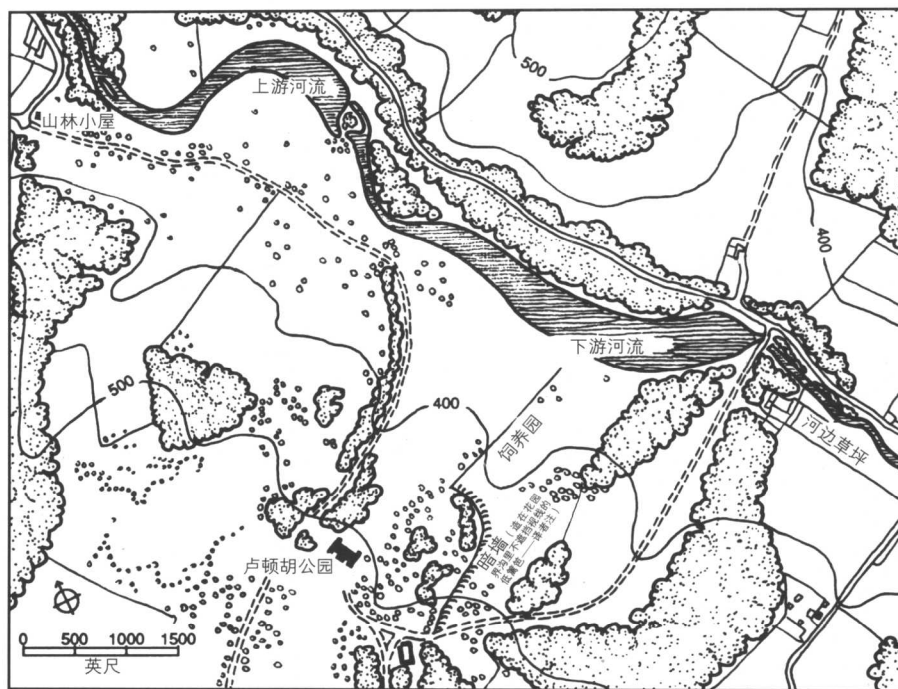


图 1.1 由万能的布朗 (Capability Brown) 设计的英格兰卢顿胡公园, 具有曲线边缘的景观, 这个作品反映了 18 世纪英国风景园林学派的主流思想之一

寒症等(图 1.2)。疾病的发生极大地促进了人们对日益受到人类破坏的环境(比如污水的排放会导致水质的下降)和社会健康之间关系的认识。作为这种认识的例证, 1885 年, 在北美地区, 芝加哥市开展了第一例市政污水管道系统规划与发展项目。另一例证是公众供水系统的发展, 该系统将安全清洁的饮用水引入城市; 到了 20 世纪 30 年代, 又引入了集过滤和氯化处理等程序于一体的水体净化系统。

保护运动

环境规划的第三个支柱是同样开始于 19 世纪初期的“保护运动”, 它由环境主义者约翰·缪尔 (John Muir) 和 J·J·奥特朋 (J. J. Audubon) 倡导, 主要是针对当时土地及其资源的开发和滥用现象。由于受到同时期浪漫主义和科学思想的影响, 这次运动促使了后来北美地区国家公园系统的建立和发展。1872 年, 美国建立了第一个国家公园——黄石国家公园; 接着, 加拿大也于 1885 年建立了第一个国家公园——班夫 (Banff) 国家公园。这次保护运动后, 许多主要的保护机构也随之产生, 它们包括美国国家森林局 (U.S. Forest Service)、国家自然资源保护局 (Natural Resources Conservation Service)、土地管理局 (Bureau of Land Management) 和许多州立及地方的保护组织。

保护的概念同样影响着美国、加拿大、英国和世界上其他一些地方的社区土地利用规划。20 世纪 70 年代, 敏感土地保护利用规划 (conservation-sensitive land use planning) 采纳了一种生态的观念, 将土地的利用和分派与土地自身的承载力、环境敏感度以及作为人类居住用地的适宜性等多种因素相结合。虽然

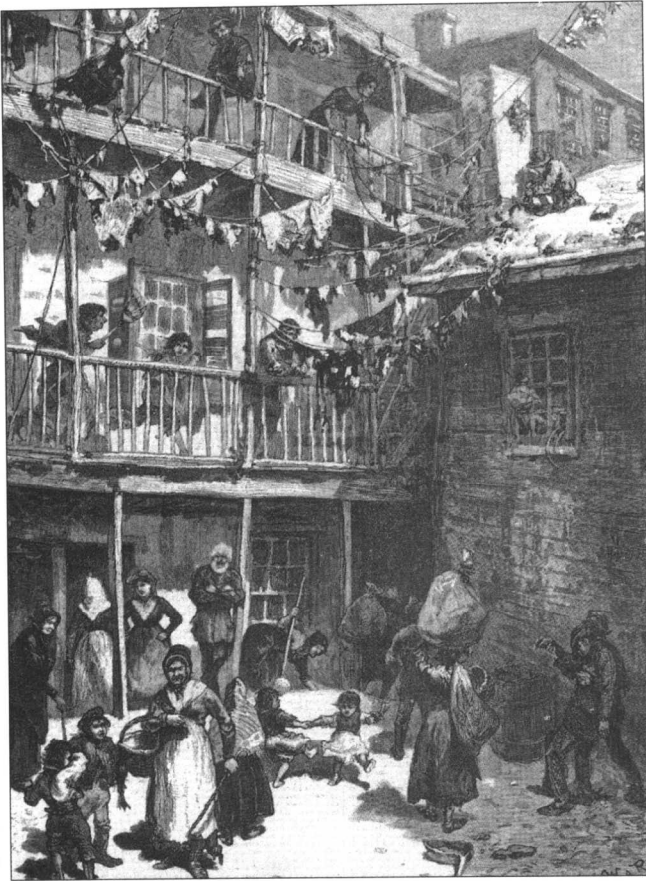


图 1.2 19 世纪英国伦敦的景象，反映了当时人们的生活状况以及导致健康运动的原因

保护的概念以这样或那样的形式一直沿用了几十年的时间，但是，只是在景观规划大师伊恩·麦克哈格（Ian McHarg）于 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代倡导一体化的景观规划概念后，才极大地推动了它在社区开发中的应用。他将环境规划视为一种实现土地利用与自然环境平衡的途径。

1940 年后，面对快速的城市扩张、高速路发展以及工业的急剧膨胀，环境的不断恶化终于导致了 20 世纪六七十年代的环境危机的爆发（图 1.3）。尽管在现代人看来，环境危机不过是一些抗议游行和社会的动乱而已，然而该危机的确促使了一种全新的环境法律的产生，那就是国家环境政策法案（National Environmental Policy Act），该法案在空气质量、水体质量、能源、工作环境等其他许多方面都做出了严格的规定，并且对环境规划后来的发展产生了长远的影响。与此同时，世界上其他许多发达国家和一些发展中国家也纷纷颁布了相类似的环境法案。

环境危机

1.2 问题：改变和影响

北美是世界上有史以来发展最快的地方。北美大地上几乎所有的景观都受到了这种高速发展的影响而发生着迅速的变化。原本存在于大陆中部的原始林

景观变化

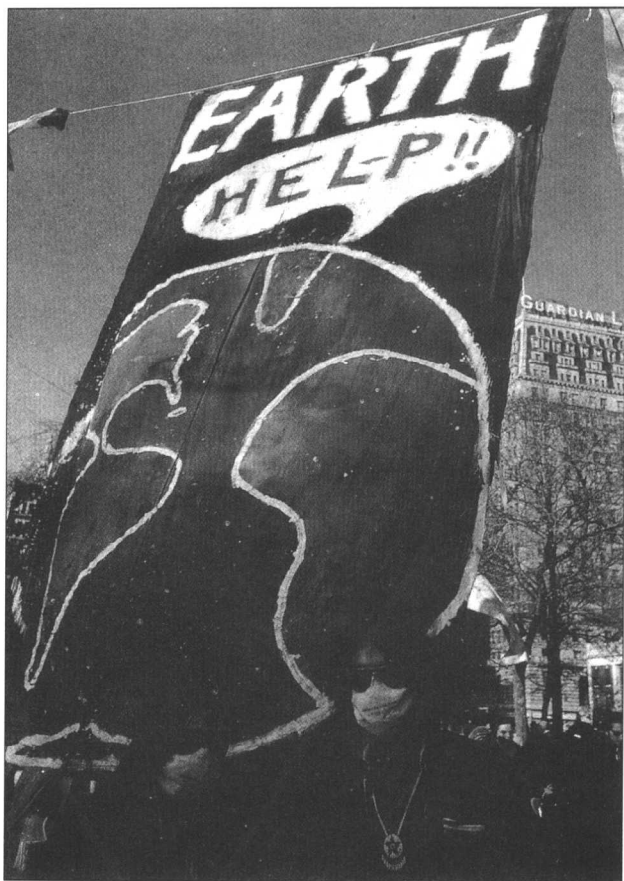


图 1.3 20 世纪 60 年代末和 70 年代初，在环境危机中爆发的社会抗议游行活动，标志着北美环境主义运动的开始，并成为重要的政治力量

地和草原景观在 1800–1900 年的近 100 年内消失殆尽。不仅如此，在 1950 年左右，又一次景观变化大潮席卷整个美国。这次变化以密西西比东部区域最为突出，大量的农场和乡村景观以及一些小型村落，被开发成卫星城镇、住宅区和大城市的运动场地。多数的自然景观、乡村景观由于各种类型的开发行为而发生了改变。另外，人工合成材料及其形式也在改变环境。

物质主义
和废弃物

在这个物质主义和经济扩张的时代，人类对于资源的大量需求使得资源的开发活动从美国和加拿大遍及全世界。许多生产过程中产生的复合废弃物及残渣正在威胁着人类和其他生物的健康。人类发展的痕迹在景观上清晰可辨：钢铁、玻璃、混凝土、塑料（存在于建筑和城市里）、废弃物残渣（存在于空气、水体、土壤以及生物圈中的污染物）、固体和有毒废弃物（存在于垃圾、水体和湿地中）等。在美国，废液随处可见，平均每年人工合成的有机产品（包括大量有毒物质，如杀虫剂等）就超过 1 亿吨，每年仅城市地区产生的固体废弃物就接近 10 亿吨。

人造环境

人类创造了一个地球历史上从未有过的全新大地景观。为了建造城市，广泛使用了在热学和水文学性质上与土壤格格不入的各类建筑材料。而且，在大多数景观中，建筑的结构和形式都与当地地形地貌不谐调。如此形成的现代都市环境，其发展趋向不像大多数人所希望的那样健康、安全、在情感上可以安



图 1.4 价值观的冲突：针对特别问题和公共政策的现代环境抗议游行

心无忧。不仅如此，由于维持环境和人类健康需要很高的成本，人类为后代的发展带来许多不确定因素。另外，人类与环境（包括水、空气、土壤以及生态系统）的关系是不平衡的，很难实现人们所期盼的，存在于生命体和栖息地之间的可持续平衡。这里蕴涵着环境和土地利用规划、景观规划以及城市和区域规划的基础。

今天我们面临的规划问题是众多并且复杂的，当然，并不是所有的问题都直接和景观相关。有许多问题都是土地利用方式和环境之间的不协调匹配而引起的。这些不协调匹配常常源于以下四方面的原因：（1）早期不良的土地利用决策，原因是环境的忽视或误解，例如人们将房屋建在活性断层区或是忽视对易刮飓风的海边地产的警告；（2）环境变化，当土地利用形式确定后，由于上游的发展造成此处的洪水或是水体的污染；（3）社会的变化包括技术的变革对原有的土地利用方式的影响，如一条原本为马车行驶设计的道路，而现在却要用行驶机动车，这样无疑会带来噪声、空气污染以及安全等各个方面的问题；（4）违背人类价值观，人类对环境的破坏造成物种灭绝、雨林消失、改变了有历史价值的景观（图 1.4）。

环境失调

1.3 规划的目的

总体上讲，规划的首要目的是对资源的利用做出决策。在过去的 25 年里，各类资源（如土地、水体、生物以及能量）的稀缺使得土地利用和环境规划变得更加必要。保护处于危险境地的环境，而且维持和提高人们的生活质量变得越来越重要。规划范围有大有小，类型不一，既有像沙漠化和热带雨林的滥用等全球范围的大问题，也有城市边缘 2 英亩大小湿地的

规划的必要

排水和填土问题。在北美地区，尽管政治上一直提到公众规划，然而真正合法有效的环境规划是在近20年才出现的。但是，环境规划仍然是一个被动的过程，即是一个限制性（限制你不应该做什么）而不是建设性（建议该如何做）的策略。

到底谁做规划？事实上，专业的规划人员的工作可能只占其中的一小部分。大部分的工作是由公司职员、政府官员和他们的代理者、公共机构的领导、军人、公众以及其他一些组织共同完成的。专业规划人员（指那些拥有规划及相关领域正式资格认证的人）往往只是为决策者提供技术和咨询建议，提供数据，提出可供选择的行动方案，预测可能的影响以及构建正式规划实施所需的策略。尽管如此，整个规划的大局仍是代表着某些政策性决定。对于一个公司、城市或一个街区而言，它们都希望规划能尽可能多地为自己考虑，并会努力让这一点成为现实。这些关于未来的想法被称为规划的目的（planning goals），它们是整个规划的驱动力。

1.4 规划涉及的领域：决策、技术和设计

现代规划包括以下三大部分：决策、技术规划和景观设计。第一部分是有关决策本身的，需要与一些正式的机构结合起来进行，如规划委员会和法人团体等。具体工作包括：（1）建立做出规划决定和制订规划的方法和途径；（2）给出实施规划决定所必需的指导意见。通常“决策规划”还承担以下的任务：巩固已有的技术研究、确立相关政策、提出明确目标、制订可供选择的行动方案并且指出首选的规划方案。

“技术规划”涉及各种用以支持决策和设计活动的过程和服务，它包括环境情况的清单（如土壤和植被图）、工程分析（如土壤用于建设的适宜性），以及影响评估（建议的土地利用模式对环境的影响）。这些工作常常由众多的专家共同完成，其中包括文化地理学家、物理地理学家、地质学家、生态学家、水文学家、野生生物学家、考古学家、经济学家、社会学家、城市规划的专业人员、景观设计师、建筑师以及土木工程师。决策和技术规划之间的界限有可能清晰，也有可能模糊，这主要取决于整个规划过程的组织安排以及规划中所遇问题的特性。

当决策和第一轮技术研究完成后，我们就进入到设计阶段。“景观设计”将土地利用的配置、特征以及各类设施（待建的、变更的或是决策者们要求保留的）在图纸或计算机屏幕上表现出来。当然，在设计过程中，我们可能还需要更深的技术性研究，例如土壤测试、精细的地图甚至一些实验分析。因此，规划的流程和以上所有的工作不应当被当作一个线性的过程（尽管我们往往是按照以上的步骤实施的），而应该是一个互联的环状过程（图1.5）。为了解决规划中的一些问题，我们常常需要在环中多次巡回，达到决策者、技术规划者以及设计者之间的平衡。

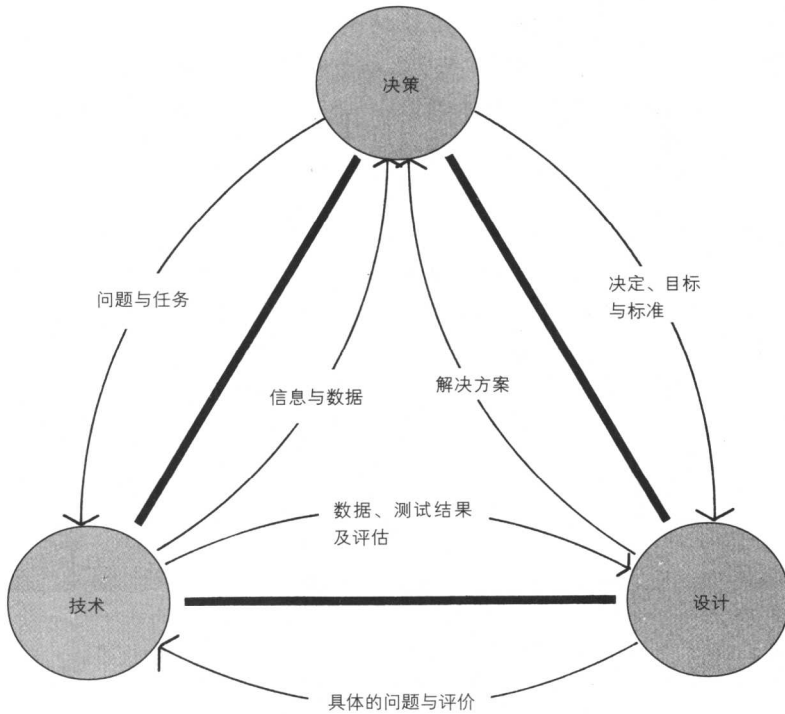


图 1.5 现代规划中技术、决策和设计三者之间关系图。很多环境规划活动都会利用该框架体系

1.5 环境影响评估

作为对环境影响进行立法的结果，近30年来，规划界的技术人员和专家人数显著增加。1969年**国家环境政策法案**（National Environmental Policy Act of 1969, NEPA）的颁布直接导致环境规划作为一个正式专业领域的出现。这项法案要求规划师对每项建议的行动，以及涉及自然或人们环境的项目进行预测和潜在影响的评估。虽然NEPA本身只涉及联邦政府的投资项目（例如污水处理系统、高速公路以及国内军事设施等），但它的颁布极大地促进了美国（包括州和地方级）各地各种环境影响法案的确立。总体而言，20世纪70年代产生了众多关于环境规划的法案，它们将各项环境因素用立法的形式加以确定，服务于城市和区域规划。

最基本的“环境影响方法”可以归纳为以下五个步骤（任务），通常是顺序进行的：

环境影响方法

- (1) 找出与待研究问题相关的变量和元素，列入清单，并确定各个变量及元素之间的联系；

- (2) 制订可供选择的行动方案；
- (3) 预测每种方案的可行性及其影响；
- (4) 指出每种方案的不同之处，也就是要明确当我们选择其中一种方案而不是另一种时，我们能得到什么，又会失去什么；
- (5) 评价并给所有的方案排名，选择其中较优的一个。

环境影响陈述

环境影响评估报告称作“环境影响陈述”(EIS)。该陈述中必须明确所建议的行动会造成的不可避免的负面影响、对于资源不可逆的或不能挽回的破坏，以及环境的短期利用与长期生产效率的关系。除此之外，在众多方案中，EIS还必须包括一种不要采取行动的方案并对此进行分析和评价。

条件与模糊

在EIS的整个过程中，步骤(3)是最重要同时也是最困难的一个，在该步骤中，要预测每种方案所采取的行动的影响。环境影响可定义为二种条件的差别：(1) 建议的行动会造成环境条件或状态；(2) 不采取任何行动时可预期的条件，它可以是直接的(一种行为过后立即产生的影响)，也可以是间接的(一种行为过后很久才发生、或是发生在另一个地区、或是另一种现象的影响)。显而易见，在环境评价中，预测一种间接的、相关的、累积的(很多不同的行为活动相结合导致的变化)影响是非常困难并且难以确定。而且，由于影响意味着环境的改变，这就产生了新的问题(比如对于一个要消灭植被的行动，但这些植被中既包括了有价值的植物又包括了有毒的植物)，我们需要决定哪些影响是合意的、哪些是不合意的，而且需要对不同影响的相对重要性进行权衡。

1.6 景观规划涉及的工作

环境清单

在美国和加拿大，针对环境的规划通常会包括几项十分典型并且常规的部分。其中最为人们所了解的是“环境清单”，这是一份对所研究的场地中所有资源和特征的分类及描述的详细资料。这份清单的基本思想是使我们在进行规划前就弄清原有场地的现状，它包括水体、坡体、小气候、洪涝平原、土壤类型、植被联系、土地利用状况以及考古位点、湿地、有价值的栖息地和稀有或有灭绝危险的物种等等环境特征。环境清单是环境影响陈述中的主要部分，其中还必须包括一份基于相对丰富性、环境功能、地方重要性等准则的对现状已有报道的评估。这样做是要指出场地中资源和特征的相对重要性及其价值(图1.6)。

机遇和限制

第二类规划活动的目的是发现“机遇和限制”。这部分工作是在土地利用模式已经提出，但具体的利用方式(比如密度、布局，以及相应的设计)还没有确定时进行的。这项研究需要找出环境中有利于规划和不利于规划的特征和情况，也就是确定土地利用与环境之间潜在的匹配或不匹配因素，并推荐出两者间最适宜的关系。这一部分的分析还需要考虑场地以外的系统因素，例如上游的暴雨或是上风区的空气污染等。

场地评估

“场地评估”(site assessments)中往往包括机遇和限制的文本，它描绘出购买前或规划前场地的环境状况，并突出地阐明与土地价值、购买协议以及项目规划等密切相关的所有情况。现代场地评估的中心部分(尤其是那些城市边缘地带的场地)是对一些危险废弃物(如地下储油罐)和可能存在的安全问题(如一些较浅的矿井、受污染的地下水、潜在的有争议的边界问题以及不安全的土

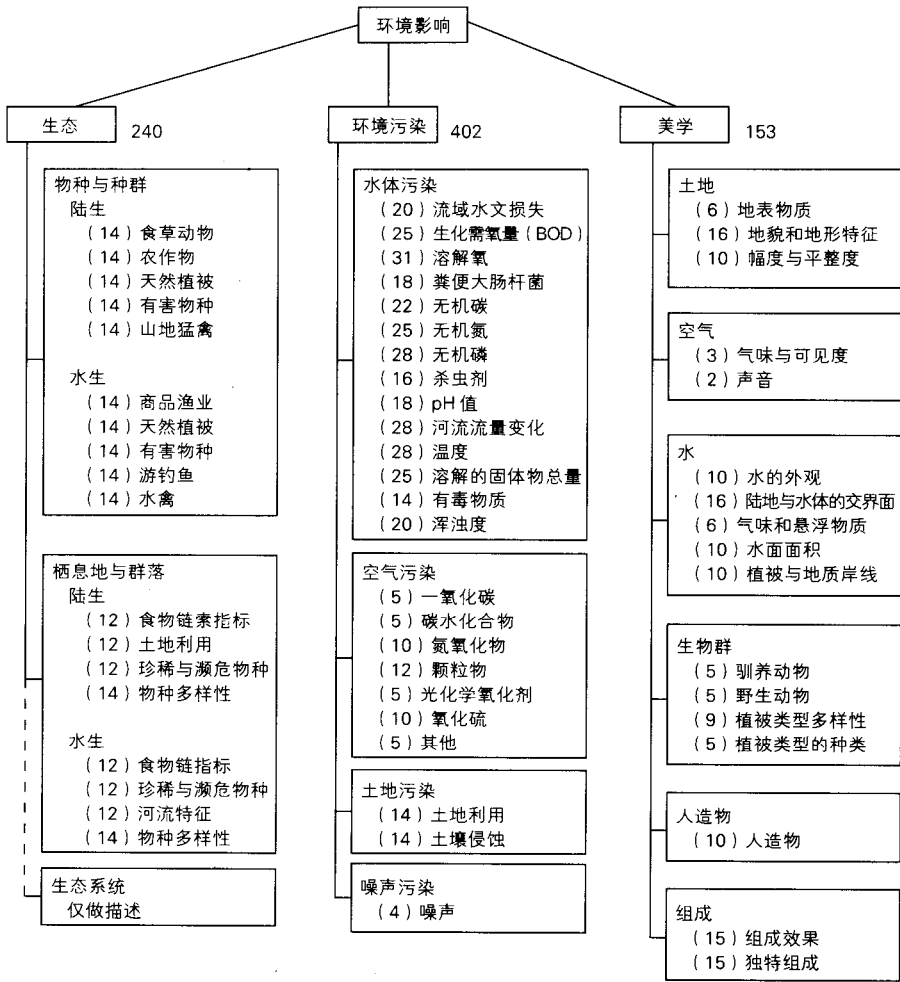


图 1.6 环境影响方法中运用的影响因子及变量清单，源自美国土地开垦局（U.S. Bureau of Land Reclamation）。因子旁的数字代表各自的权重（相对重要程度）

壤和坡体等)的调查。

以上讲述的都是场地分析的一部分。场地分析指的是对场地以及预想使用方式的详细分析。通常，预想的使用方式是一个初始的问题陈述，接下来的分析则要配合具体使用方式的要求，结合场地自身特性以及场地与周边土地、水体、设施的联系、社区关心的问题、政府政策以及其他一些因素进行综合考虑。另外，有的场地分析还可以包括以下一些活动。

“土地承载力”(或适宜性)的研究是为了确定土地利用的类型以及土地在不退化的情况下可以承受的利用限度。对于那些由不同土地类型构成的场地或研究地区,土地承载力研究的目的是确定不同土地单元或子地区的发展能力或“承载力”(图 1.7)。能力研究使我们能够针对广大区域内不同的土地类型提出

场地分析

土地承载力

承载力

可持续规划

最恰当的土地利用方式，如开放空间、农业用地或居住用地等。这一部分研究是整个“可持续规划”的基础，而可持续规划是为了建造出一个能够长期协调环境、人类以及其他生物的土地利用系统。（见本章1.10“案例研究：可持续景观规划”）。

危险评估和
风险管理

“危险评估”是限制研究的一种特殊类型。危险研究的目的是确定环境中的危险区域在这些区域的土地利用会有损坏或破坏的危险，它同时包括危及环境的自然现象（如洪水、地震、暴雨等）和人类对于这些自然现象的反应。例如，利用各种不同（国家、州以及地区）层次的危险评估研究，我们就可以划定出易于发生飓风和洪水的地区并制定出相应减缓灾害的办法。另外与危险评估相关的有“风险管理规划”，它是开发项目的一个组成部分，主要包括建设策略和意外事故规划，主要是为了解决一些突发的危险并提供突发事件援助服务。随着近年来突发性灾害事件，如1992年佛罗里达州的安德鲁飓风（Hurricane Andrew in Florida）、1993年密西西比的洪水、1994年靠近洛杉矶北脊地区的地震，1997年北达科他州的洪水，以及2004年佛罗里达的飓风等在美国的频频发

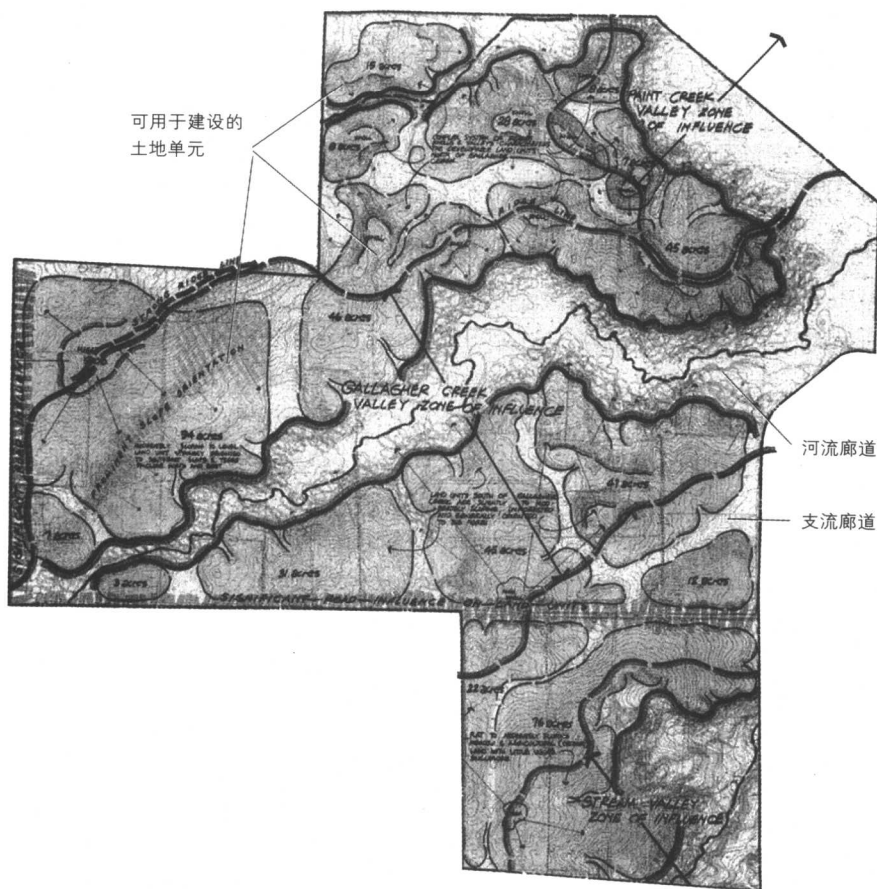


图 1.7 现代居住区开发的土地承载能力图。图中标明可建设用地和不可建设用地，例如河流廊道等

生, 危险评估和风险管理规划得到全国的密切关注。

“影响预测”研究, 它是危险评估、环境影响陈述、机遇/限制研究以及场地评价研究的基础。影响预测研究的目的是预测一个建议的行动发生后可能产生的所有变化, 以及该行动对环境影响的方式和程度。这一研究任务是比较艰巨的, 因为通过分析手段得出精确的预测是十分困难的。因此, 我们所做出的预测往往只是一种“最佳的预期”, 其重要性似乎因人而异(如工程师与环保主义者)。但这个过程仍然是十分重要的, 因为它经常导致: (1) 复杂问题及其环境含意的分类; (2) 修改所建议的行动以降低其影响; 或者(3) 废除一项建议的行动。

影响预测

另外, 在今天的规划中, 关于“特殊环境”(special environment)(如湿地、特殊的栖息地以及考古地点等)的分析与评价也是规划活动快速上升的领域。尽管特殊环境的规划在逻辑上属于影响评估、能力研究以及其他许多规划活动的一部分, 但随着一系列法令法规(如湿地保护法、稀有及濒危物种保护法、稀缺资源保护法等)的颁布和加强, 特殊环境被人们从以上规划活动中单独提出, 加以特殊对待。然而, 到目前为止, 特殊环境的评估仍然是纯经验性的, 其工作主要包括场地的鉴定、场地中特征和动植物的描述及定位。评估往往针对的是现有场地中是否存在某些濒危物种或是具有特殊价值的栖息地等问题。评估结果可以作为是否进行场地及其周边地区开发的依据。

特殊环境

另外, 还有一些十分特殊的环境, 就是那些需要进行特殊的恢复工作的地方。“恢复规划”就是针对这些特殊的环境提出的, 它们包括那些曾经受到土地开发活动破坏的湿地、野生花卉栖息地、河流廊道以及海岸线等。其中湿地面积缩减和垃圾堆放点可以说是恢复规划所要解决的最常见问题。湿地面积缩减问题的解决方式则包括恢复原有湿地或是开辟新的湿地。

恢复规划

“场地选择”是一个结合了众多规划活动的传统规划问题。场地选择是指对一些构思好的土地开发、设施及产业规划方案选择一个合适的地点, 在这样的情况下, 人们通常只需考虑一些经济方面的因素即可。但对于一些休闲度假、办公及居住用地等特殊场所, 场地的选择则还需要考虑环境方面的因素, 例如建设或开发是否会对环境造成潜在的破坏, 是否会与现有的环境产生冲突等。“可行性研究”是一个与场地选择有些相反的过程, 它首先是已知一块特定的场地, 通过对这块场地的一系列研究和预测, 提出一个最适宜的土地利用方式。现在, 规划师和开发者们越来越多地有意将一些场地限制性因素(基于环境保护地区, 如湿地和野生物种的栖息地等)纳入可行性研究的范畴。

场地选择和
可行性研究

“设施规划”是对一些依赖于结构与机械系统的设施进行选址、规划与设计。污水处理厂、工业制造厂、飞机场以及健康医疗中心都是设施规划的典型例证。然而就在不久以前, 除了供水系统、污水处理外, 设施规划很少考虑对环境的影响, 在有些情况下, 甚至不考虑环境影响陈述。今天, 值得欣慰的是, 由于人们逐渐意识到设施建设是关系到环境质量、公众印象、社区间的联系、景观管理水平的好坏的, 尤其是关系到公众和工作者的责任心等等问题, 因此, 与过去有所不同的是, 设施规划的整个过程都变得十分强调环境分析和场地规

设施规划

划，包括场地内和场地外。

总体规划

“总体规划”的内容可以说是包含了以上提到的所有规划，它的首要目的是提供一个能够指导土地利用变化的全面框架。在总体规划过程的前期，需要阐明与土地利用、经济、环境、人口以及交通等相关的问题，接着进行现状分析，提出备选规划方案，根据现有状况和规划目标进行备选方案的测试，最后从中选出最优的方案。总体规划通常包括以下三个部分：（1）一个含有建议、指导方针及土地利用方式的项目意见书；（2）一份实实在在的规划，包括建议的场所、结构和构造，以及土地利用方式之间的联系等；（3）一份实施总体规划的安排，包括资金来源、相应法令法规，以及阶段性变化的指导方针。

管理规划

最后，我们还必需考虑“管理规划”，虽然在通常情况下，环境规划只是与规划过程的早期阶段相联系。但是，它显然也必须是设计、建设以及项目实施的一部分。在规划实施阶段，我们必须制订管理规划来减少施工过程（如重型机械设备、建筑材料的洒漏、土壤侵蚀以及洪水等）对环境的危害。当建设完成、土地利用方式开始正常运转后，我们仍然需要环境管理规划来实现景观、建筑设施以及环境系统（如排水、气流及生态系统等）的可持续发展。与总体规划一样，管理规划也必须十分全面，做到行之有效，并且还须满足景观可持续发展的原则，考虑到与更大土地利用环境系统的相容性。

1.7 方法和技术

基本上，环境和景观规划与其他领域的规划在方法上没有明显的差别。虽然环境现象与“硬的”、自然科学有更紧密的联系，但这并不意味着这个领域的规划就一定比其他领域的规划（比如交通及土地利用规划等）更严格。它们之间的区别仅仅在于一些观点和看法，尤其是规划强调的侧重点、产生数据，以及检验规划和设计方案的分析技术。

环境清单

环境规划分析的焦点问题产生于项目进行的整个过程，并且问题的复杂和细致程度对于不同的项目也都有很大的区别。在项目进行的早期阶段，环境规划的重点主要集中在数据和信息的收集工作上，规划者将这些信息做成一份**环境清单**，依照EIS的方法进行（图1.6）。接着，我们对报告进行分析，尽可能了解项目场地的特征。尽管通常情况下，收集资料的过程会包括实地的调查和测量，但依靠场地调研产生数据并不是首要的目标。数据资料仍然是以二手（出版的公众资料）的居多，这些二手资料包括地形图、土壤图、航空影像、气候数据，以及河流流量记录等。当工程早期进行详细的场地测量时，其主要目的是弄清楚一些已知的或是有疑虑的工程、安全和健康问题（例如土壤的稳定性以及填埋的废弃物等），同时包括一些政策问题（比如湿地和濒危物种的保护等）。在大多数情况下，规划早期阶段的环境分析并不是一项科学意义上的分析，也就是说，它更多关心的是分布状态、密度以及环境中不同组成部分间的联系，而很少对事情的因果关系做严格深入的分析。

分析

在规划的后期阶段，随着需要对规划进行明确阐述、对方案进行测试等相关问题逐渐显现出来，“分析”的成分也相应增多，其中用到的技术更是纷繁复杂。有一些问题需要用到数量模型，如水文模型，被用来预测流域的土地利用

对水流流量以及洪水大小造成的影响；另有一些需要用到硬件模型，如图 1.8 中所示的风洞分析模型，该模型在河槽上模拟建筑形状和洪水径流的情况；还有一些规划需要进行统计分析，测试两个或两个以上变量之间的关系（如径流量和水质状况的关系等）。

接着，环境规划者和设计师们从前期收集的众多数据、描述以及分析中推导出一系列的结果，但这并不标志着工作的结束，还有一项艰巨的任务摆在规划师或设计者的面前，他们必须考虑如何能够将多种多样的结果通过一个合理的方法“整合”起来，以便决策。但遗憾的是，没有一种计算方法能够完美地完成这项复杂的整合任务，这是所有规划都会面临的两难境地。大多数的整合需要多次地筛选和评估以决定结果的相对重要性和价值。通常实际的整合是一

整合



图 1.8 美国军事工程署（U.S. Army Corps of Engineers）的工程师们正在模拟密西西比河部分河段的水流行为，特别是带有森林的河漫滩。那些成排的卡片代表河漫滩上的树木

演示结果 个定性而非定量的过程，以某种形式的视觉（图解）演示进行表达，它可以是一个矩阵、一系列图表、众多地图的叠加或是博弈模拟板。总而言之，重要的是能够理解规划的最终成果并不是仅仅运用某一特殊方法或技术的结果（正如我们被引导去相信大学实验课中的经验一样）。规划的实际结果是通过一些并不那么精确，更多是折衷的过程得到的。它总是依赖于某个决策者或决策团体对于实际问题的意见和价值观，以及相关的政治和财政议程。

1.8 环境法令

政策发展 在美国和加拿大，各级政府机构都有许多关于环境的规定。正如我们在上文中提到的那样，美国有关环境的母法是1969年颁布的国家环境政策法案（National Environmental Policy Act, NEPA），该法案为美国环境保护局（the U. S. Environmental Protection Agency）提出了庞大的立法计划。在20世纪70年代，北美许多州、省都颁布了类似的环境保护法令。20世纪的80和90年代，社会对环境和土地利用法规的需求仍在不断的加强，一些新的公众法案反映了州和地方上环境观念的转变，地下水保护、废弃物处理管理、土壤侵蚀治理、流域管理、山地开发以及许多其他的问题都被列入了环境保护法案。

追求秩序 今天，我们已经逐渐形成了一个多层次的、体系复杂的环境法令、法规、政策和指导方针系统，用来处理土地利用活动与环境之间的关系。然而不足的是，众多法规之间的联系是不易理解的。像绝大多数的法律实体一样，实施的整个过程带有高度的选择性，随着国家、州以及社区的利益、政策、需求的变化而变化。与作为土地利用其中一部分的环境法规相应，工程及其相关的项目经常需要在鉴定、解释和协商环境政策时得到必要的帮助。因此在加拿大和美国的大多数地区，出现了许多地方性的专家（如环境律师和城市规划专家等）专门提供这方面的服务。

政策的诠释 在土地利用和环境规划中，如何满足环境法规的要求是非常重要的一个部分。数不胜数的项目正是因为对现有法规没有足够的重视，或是在诠释法规时判断错误而失败。在一些社区里，为更改土地利用申请寻求批准的过程中，申请人会碰到大量而繁琐的法规要求，这也是导致项目失败的一个原因。困难通常根源于对法令原有目的在理解上的差异。例如，有一些社区和社区中的官员们希望规划能够严格地遵循规定的量度，比如坡度要求或与河流间应保持的距离等，而很少将注意力放在规划的诠释上。这也就是说，可以有少量的偏差和允许的例外。另外一些社区则会以一种更概括的方式来运用法令，目的是满足法令的精神和意图，并进行适当的诠释。

基于性能的规划 现行的大部分环境法令都是限制性的，这意味着它们只是告诉你哪些不应该做。然而，现在已有部分法令在有一定的限定条件下，允许你建议自己的方法满足环境法令的要求。这种方式称作“基于性能的规划”。限制性法令常常会指定你采取特定的措施，如使用滞留池的方法进行暴雨雨水的管理等。与限制性法令不同的是，基于性能的规划给予规划师更多的自由，无论你使用何种方式，只要能够达到最终理想的目标就是可行的。然而，对于那些可供选择的方案，申请方必须提供方案之所以可行的可靠证据，如果缺少这些证据，那么项

旨在全面实施前就必须完成一些演示项目，演示项目成功后，方案方可实施。然而，开展演示项目往往花费大、需要几年的时间，所以社区和规划师们很少使用这种方法。这样，绝大多数的规划仍然依赖于传统的、限制性的环境法令。

最后还有一点需要强调，那就是我们必须明白，不论法令的规定是多么的细致、可行还是严格，它仍然只是法令，它自身是不可能解决环境规划中出现的实际问题的。最多它们只是社会的安全网，提供一些保障，在更改土地利用时要提到地区、系统、性能和所涉及的人造物。然而，环境规划的真实过程应该是更高层次的，应该比环境法令的要求更细致。它必须寻找**综合的解决方案**，比如，如果是针对湿地问题，那么环境规划不能仅仅停留在湿地和洪涝平原的地图绘制上，而应是以水体管理、它们与土地利用系统的关系，以及可持续景观的创造为焦点，涉及湿地、洪涝平原、河流、地下水以及暴雨的综合规划。

综合的解决方案

1.9 设计专业和其他相关领域

传统意义上，能够指导正式规划过程的专业人士只可能出自以下三个学科，那就是城市规划学、景观设计学和建筑学。这些学科都是以决策制定和规划设计作为培养人才的重点。其中**城市规划**考虑的范围最大，该学科以整个城区作为研究的对象。在城市规划中，与公共决策相关的专业行为大都与经济发展、社会进步、土地利用以及交通规划有关。在最近的二十年间，尽管私有企业（如咨询公司、银行和房地产公司等）中城市规划师人数有所上涨，但大多数仍然工作在城镇或郡县的规划部门及其相关机构。

城市规划学

与城市规划相比，**景观设计学**是一门更面向场地的学科。景观设计学的工作范围既包括自然景观，又包括建筑景观，设计师们总是努力寻求两者之间的和谐和统一，以期达到一种理想的、令人愉悦的环境状态。从城市到野外景观，从小范围的居住区到大范围的国家公园，景观设计学的专业行为几乎无所不包。另外，景观设计师不如城市规划师那么偏向公有企业，他们在公共和私有机构都有工作。

景观设计学

建筑学是景观规划领域里涉及范围最窄的一门学科，主要考虑建筑和建筑物内部的环境。与景观相联系时，建筑学可以解决建筑物及其相关设施的选址问题，并同时考虑环境（例如洪水和地震）对于建筑物稳定性的威胁。然而在今天日益广泛的环境法规的约束下，建筑学不得不一改传统，被迫将更多的注意力放到环境问题上来。

建筑学

在北美地区，每十年就有一批科学领域参与规划。20世纪70年代，由于与环境评估和影响活动相关，地理学、地质学、生物学、化学、人类学和政治学登上规划学的正式舞台。80年代，随着规划问题的复杂性不断增强，需要从事危险污水治理、地下水保护、湿地的评估与恢复研究领域的人才，孕育了**技术子领域**的不断发展。

技术子领域

技术子领域在传统的规划领域以及与规划相关的学科中产生并发展。对于那些在科学学科倡导下产生的技术子领域，它们或多或少在传统规划领域有着对应的类似成分。与普通的研究兴趣相联系，这些子领域提供了决策和设计过程里数据和信息的重要来源。以景观设计学为例，当规划涉及流域管理、城市

地理学

中野生动物的栖息地或是湿地恢复等问题时，景观设计学就必须与地理学、植物学以及生态学相联系。建筑学和地理学同样会对建筑物群产生的小气候和城市大环境产生研究兴趣。在土地利用规划和环境评估方面，地理学与景观设计学和规划学在遥感和计算机辅助作图上有着持久的共同兴趣。城市规划学中的一个子领域与政策科学有交叉，它们同样涉及环境政策，这里的环境政策是对法令进行阐述、解释和应用。

土木工程学

最后，我们还必须认识到土木工程学在环境规划中的地位。事实上，土木工程学比城市规划学、景观设计学以及其他许多相关子领域科学具有更大的影响力，该学科涉及了几乎所有的私有或公共的发展规划项目，包括场地的评估、环境影响分析、场地设计、风险管理、暴雨管理以及湿地保护等。同时，该学科对环境政策有较大的影响，特别是在暴雨管理、洪水调控、垃圾治理、道路设计和供水计划等方面，并且对水文学、地形学和污染物治理等学科有较大的研究贡献。

1.10 案例研究

可持续景观规划

威廉·M·马什

许多人，尤其是政治领导人，认为一个城市的繁荣发展必须保持有序的增长。换言之，就是说一个社区必须不断膨胀，占有更多的资源，使用更多的土地，才能达到或者保持繁荣状态。然而，我们有充分的理由怀疑这一观点。研究表明，北美社区的支出增长普遍超过新增的税收增长。增长需要建设诸如道路和排水管道之类的基础设施，并且扩充教育和治安等服务机构，而新增基础设施和服务机构的花费很大，往往不能为新的增长中产生的税收所补偿，这种情况在居住用地和社区的发展中尤为突出。尽管在建设方面呈现出外向扩张的繁荣景象，但其质量与经济状况却呈下降趋势。

另外一种取得繁荣的途径是建立于现有资源的基础之上的。通过升级现有基础设施，改善服务，增强土地使用的收益和效率如利用空闲土地等措施，即可达到这个目标。要想改善土地的使用收益和效率，比较简单的方法例如通过充分利用空闲土地，这种空闲地在许多社区都大量存在，并且已经被基础设施的服务半径所覆盖。换句话说，通过对社区已有资源的更好利用所创造的繁荣使其向着更加可持续的状态发展。

建设可持续发展的社区是创造可持续景观的基础，因为只有当一个社区达到内部可持续性时，它才能够提供其所位置上较大景观的可持续性。然而一个社区如何发挥这种作用？它在规划可持续景观中起到什么作用呢？这开始于它对其所依附的系统的融入和调节作用，这些系统可以是流域、生态系统或者地下水等等。

对景观可持续性起作用意义最大的不是仅仅某个系统，而是相互关联的几个或更多的系统的共同作用，包括自然的和人工的系统。例如，对一个依靠林业生产的社区而言，保持森林生态系统的持久平衡关乎着伐木生产。而

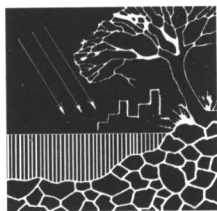
让伐木人在砍伐树木和新生树木之间建立一种平衡就是一种措施。通过这个措施,如果收获的木材等于新生的树木,那么这个系统就会是平衡的,而且我们可以将其看作是可持续性的。

但这种保持可持续性的措施是很粗略的,在很大程度上不够准确。因为这样做并没有考虑景观中的其他系统,而那些系统是森林生态系统的一部分,也因此是该社区的一部分。这些系统包括地面径流、地下水、土壤、动物栖息地、气候和土地使用等。比如说,如果我们只是保持树木砍伐和树木生长之间的平衡,但因此地表径流量和土壤流失增加,那么我们的林业生长活动就不再是可持续性的。地表径流和土地流失的增加会减小土地抚育森林的能力,导致树木生长率下降,林木质量变差。长此以往,随着木材产量的下降,经营林木为杂生物种所取代,整个系统也变得脆弱,这个社区的可持续发展也随之出现同样的态势。同样,因林业生产活动降低或削弱其他经济活动,也会导致社区及其景观朝不稳定的状态发展。例如,砍伐活动使风景质量降低,破坏溪流;而拖运工作会损害依靠旅游、渔业和打猎的经济活动。

由于实际情况的不同,社区及其景观的运作的不同,对于它们的可持续性的权衡和评测也没有普适的标准。不同地方的定居点和环境情况都不相同,这需要每个社区都必须制定自己的可持续发展计划形式。但是不管在什么地方,我们都必须在走向可持续发展的起点就抓住几个关键系统及其运作方式。

1.11 推荐阅读文献

- Catanese, Anthony J., and Snyder, James C. *Introduction to Urban Planning*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- Fodor, Eben. *Better Not Bigger*. Stony Creek, CT: New Society Publishers, 1999.
- Godschalk, David R. *Planning in America: Learning from Turbulence*. Chicago: APA Planners Press, 1974.
- Hargrove, Eugene C. *Foundations of Environmental Ethics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- Holling, C. S. (ed.) *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Hoboken, NJ: Wiley, 1978.
- Leopold, Aldo. *A Sand County Almanac*. Oxford: Oxford University Press, 1949. (Reissued by Ballantine Books, 1970.)
- Lynch, Kevin, and Hack, Gary. *Site Planning*. Boston: MIT Press, 1984.
- Marsh, William M., and Grossa, John M. *Environmental Geography: Science, Land Use, and Earth Systems*. (3rd ed) Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
- McHarg, Ian L. *Design with Nature*. Hoboken, NJ: Wiley, 1995.
- Newton, N. T. *Design on the Land: The Development of Landscape Architecture*. Cambridge, MA: Belknap Press, 1971.
- Ortolano, Leonard. *Environmental Regulation and Impact Assessment*. Hoboken, NJ: Wiley, 1997.
- Platt, Rutherford H. *Land Use and Society: Geography, Law, and Public Policy*. Washington, DC: Island Press, 1996.
- West Publishing. *Selected Environmental Law Statutes*. St. Paul, MN: West Pub., 1995.



第2章 美国和加拿大的 自然地理概况

- 2.1 简介
- 2.2 加拿大地盾
- 2.3 阿巴拉契亚山脉地区
- 2.4 内陆高地
- 2.5 大西洋和海湾沿岸平原
- 2.6 内陆平原
- 2.7 落基山脉地区
- 2.8 山间区域
- 2.9 太平洋山脉地区
- 2.10 育空地区以及北冰洋沿岸地区
- 2.11 推荐阅读文献

2.1 简介

北美洲的地质景观具有惊人的多样性。不论是在加拿大或是美国，地质景观都被誉为国家遗产的一部分。两个世纪以来，地理多样性和淘金梦驱动着人们向西部的迁移和定居。事实上，直到今天，地理上的多样性仍然是人们生活中很多决策的重要基础。我们在不同的地方过着自己的生活，每当我们需要迁移时，那些有趣的、栩栩如生的独特画面，都在脑海中挥之不去。

尽管土地一直受到人类的关注，然而在过去50年的开发中，我们仍然在很大程度上忽视了各地景观间所固有的差异性。例如在建立土地利用系统时，人们就很少从尺度和地形、排水系统以及生态系统的差别进行考虑。各地的高速公路、购物中心和住宅开发项目也基本上是一个模式。从大量对北美景观的研究所得出的丰富知识，并没有在专业的规划和工程中得到应用。现在，许多社区和环境组织在审视发展计划时已经开始意识到这个问题：他们表达出自己不安的情绪（尽管规划师们遵从了所有的环境法规）。他们感觉到建设项目与当地景观之间的不协调，并使得现代土地利用规划进入了一种莫可名状的尴尬境地。

地理多样性

与当地环境相
匹配

然而，为什么会出现这样的状况呢？究其原因，主要是以下两个方面：其一是由于法律和公共政策方面沿袭“先例”的传统，这样的一种传统“鼓励”众多的社区依据其他地方的法令法规来制定本地区的环境和土地利用法规。也就是说，大多数的法规（例如排涝管理和土地平整规范等）都是生搬硬套过来的，并不是出于适应当地环境的考虑。其二是因为政府官员相信环境规划的问题是可以依靠规章制度来解决的，因此除硬性规定之外，开发商们也就不需要再对环境有更深入的了解。当然，对当地和区域的景观及其过程和系统缺乏了解，也是不容忽视的原因之一。

在这一章里，我们将简要介绍美国和加拿大的自然地理概况，希望广大的读者能够对构成大地景观的各类地形、资源和环境的状况有一个基本的了解。尽管目前我们对这个复杂世界的认识并不是十分深刻，但至少应该有足够的了解以便能够认识到人类所面临的严峻问题。就此而言，重要的是要理解，作为现代专业人士，我们活动的范围非常广泛，而且我们在景观规划和设计方面的大部分工作项目是在远离家园、办公室或学校的地方进行的。

自然地理区域

首先，我们需要了解“自然地理区域”的概念，自然地理区域是依据景观中的主要成分来进行定义和划分的，我们可以根据地形、排水特征、土壤、气候、植被状况以及土地利用方式等对自然地理区域进行划分。而任何区域的自然地理也就是近地球表面一系列复杂过程的产物，这些过程受许多不同系统的共同作用，由系统中能量的驱动而发生（这些系统包括排水系统、气候系统、造山系统、地貌系统、生态系统以及土地利用系统等等，各个系统间不同方式、不同程度地相互叠加和相互作用也就是众多地球表面复杂过程发生的原动力）。在广袤的北美地区，这些系统和过程的变化有着许多不同的时间跨度，从数千万年的变化（如形成阿巴拉契亚山脉和落基山的地质运动）到仅仅数百年的改变（人类的农业耕作和城市土地利用）。今天，我们所看到的自然地理形态与特征仅仅只是代表了进化过程中一个短暂的“片断”——现在陆上环境的一个小小片断就受到来自不同力量 and 不同系统的交叉作用。

通常情况下，区域的地质状况能够为北美自然地理全貌的描述提供有用的框架。它们是一些十分知名的区域：加拿大地盾（Canadian Shield）、阿巴拉契

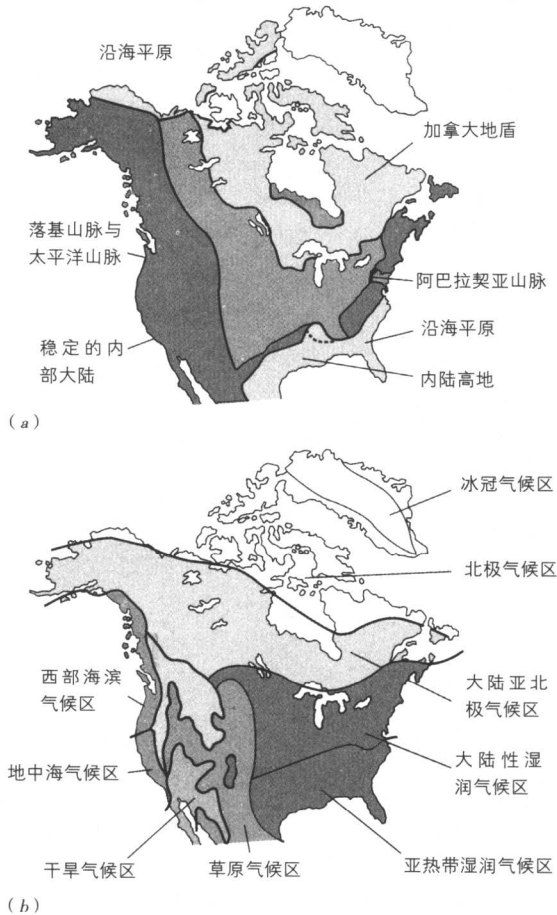


图 2.1 (a) 美国和加拿大主要的结构（地质）分区；(b) 美国和加拿大主要的气候带

亚山脉（Appalachian Mountains）、内陆高地（Interior Highlands）、沿海平原（Coastal Plain）、内陆平原（Interior Plain），以及落基山脉（Rocky Mountains）等等（图 2.1）。每个区域的地质结构影响着排水的趋势和形式，并随之决定着地形的一般特征。除此之外，气候对自然地理特征也会有一定的影响，它们会影响植被、土壤、径流、永久性冻土和水资源（图 2.2）。通常情况下，我们所说的自然地理区域是指由特殊地形、土壤、水资源、植被以及相关资源等共同决定的巨大地质统一体。习惯上，人们将美国和加拿大划分成 10 个自然地理区域，它们又进一步被分解成一些更小的自然地理亚区（physiographic province）（图 2.2b 和表 2.1）。值得注意的是，亚区尺度上的自然地理特征对环境规划中的许多问题有真正重要的意义。我们首先介绍加拿大地盾。

图 2.2 (a) 美国和加拿大的自然地理区域;
 (b) 根据山脉、平原和低地的构成所划分的自然地理亚区
 (美国和加拿大)



(a) 自然地理区域



(b) 自然地理亚区

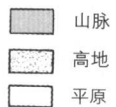


表 2.1 北美地区的自然地理区域与自然地理亚区

自然地理区域 (Regions)	自然地理亚区 (Provinces)
加拿大地盾 (Canadian Shield)	苏必利尔高地 (Superior Uplands) (加拿大东南部)劳伦系高地 (Laurentian Highlands) 拉布拉多高地 (Labrador Highlands) 哈得孙平台 (Hudson Platform)
阿巴拉契亚山脉 (Appalachian Mountains)	蓝脊 (Blue Ridge) 皮德蒙特山麓高原 (Piedmont) 山脊与河谷 (Ridge and Valley) 阿巴拉契亚高原 (Appalachian Plateaus) 阿巴拉契亚山系北部地区 (Northern Appalachians)
内陆高地 (Interior Highlands)	奥扎克高原 (Ozark Plateaus) 沃希托山脉 (美国阿肯色河和瑞德河之间的一组低山脉) (Ouachita Mountains)
大西洋海岸平原 (Atlantic Coastal Plain)	外部海岸平原 (Outer Coastal Plain) 内部海岸平原 (Inner Coastal Plain) 密西西比湾 (Mississippi Embayment)
内陆平原 (Interior Plains)	中部低地 (Central Lowlands) 大平原 (Great Plains) 圣劳伦斯低地 (St. Lawrence Lowlands)
落基山脉地区 (Rocky Mountain Region)	加拿大落基山脉 (Canadian Rockies) 北部落基山脉 (Northern Rockies) 中部落基山脉 (Central Rockies) 南部落基山脉 (Southern Rockies)
山间区域 (Intermontane Region)	科罗拉多高原 (Colorado Plateau) 哥伦比亚高原 (Columbia Plateau) 盆地和山脉 (Basin and Range)
太平洋山脉系统 (Pacific Mountain System)	阿拉斯加山脉 (Alaska Range) 海岸山脉 (Coast Mountains) 弗雷泽高原 (Frazier Plateau) 喀斯喀特山脉 (Cascade Mountains) 海岸山脉地带 (Coast Range) 内华达山脉(美国加利福尼亚州东部的花岗岩块状山脉) (Sierra Nevada) 中心低地 (Central Lowlands) 普吉特-桑德威拉米特低地(Puget Sound-Williamette Lowlands)
阿拉斯加育空地区 (Alaska-Yukon Region)	布鲁克斯山脉 (Brooks Range) 育空盆地 (Yukon Basin)
北极海岸平原 (Arctic Coastal Plain)	北斯洛蒲地区 (North Slope) 麦肯齐三角洲 (MacKenzie Delta) 北极低地 (Arctic Lowlands)

2.2 加拿大地盾

地质情况 加拿大地盾*是位于美洲大陆中北部的一个巨大自然地理区域(图2.1)。它由北美最古老的岩石构成(超过10亿年),是整个大陆的地质核心。从地质学的角度看,加拿大地盾的构造异常复杂,由强烈变形的石英岩带(包括花岗岩

*地盾——指大片低地地区,一个大陆的地核,其岩床由通常属于前寒武纪的火成岩和变质岩组成。——译者注

和变质岩)相互交错构成。古老的岩石在经历了多次构造变形和变质作用后,形成了今日的加拿大地盾。由于历经沧桑,这里大多数的岩石都十分坚硬、致密,并且在矿物组成上也十分复杂,包括铁、镍、银和金。它们成为了矿物开采的主要对象,是该地区基本的经济活动之一。

在过去的5亿年中,加拿大地盾(后简称地盾)的绝大部分在地质上相当稳定(相对而言,未受到地震和火山活动的侵扰)。在这段漫长的岁月里,在侵蚀性力量的作用下,岩石逐渐形成粗糙的高原表面(如苏必利尔高地、阿尔冈昆丘陵以及拉布拉多高地),它们像低山一般的起伏不平。除此之外,地盾的绝大部分海拔较低,并覆盖有沉积岩。其中最大的区域是一块从美国中西部延伸出来的内陆大陆,经过加拿大的内陆平原一直向北到达加拿大北部的北冰洋低地(尽管从实质上讲它并不属于加拿大地盾)。地盾岩石则被深埋在这块大陆(为沉积岩构造)的下方,大多数地方的沉积岩都有数千英尺厚,因而地盾对地表环境的影响甚微。

稳定性

在地盾漫长而复杂的演化过程中,最近的一个显著变化是发生在北美的一次冰河作用。大量的冰川冰(冰川成形以前的形态——译者注)在地盾的中部和东部形成,然后在过去100—200万年间至少四次席卷了该区域的绝大部分。冰层从内部呈放射状向外推进,摩擦地盾的表面,卷走覆土并将盆地侵蚀成松散的岩石。最后一次冰层,即威斯康星冰河作用,该冰层在18000年前覆盖整个区域,至6000—8000年前才在地盾的内部融化,那时,第一批北美人开始在这块大陆上定居。

冰河作用

在地盾的边缘,冰川刨蚀出巨大的淡水盆地,形成了一系列的盾缘湖泊,如南部的五大湖(Great Lakes),西部边缘的马尼托巴湖(Manitoba Lake),阿萨巴斯卡湖(Athabasca)、大奴湖(Great Slave)以及大熊(Great Bear)湖。在地盾的中部,以哈得孙海湾地区最为典型,大量的冰侵蚀了海平面以下的地壳,随着冰的消融,哈得孙湾初具雏形。但在最近的几千年里,由于冰川的上载作用和水体回流共同造成地壳的回弹,使得哈得孙海湾产生了一定的收缩。而这一过程同时促进了海湾南部边缘广阔平原的缓慢生长。

湖泊

经过多次的冰川作用后,地盾上留下了许多不规则分布的薄层土壤,同低处的湖泊和湿地构成了镶嵌的景观格局。当我们将这一特性同原本就很多样化的地表形态相结合时,不难发现加拿大地盾是北美地区最为复杂的景观之一。从环境规划和环境工程的角度来看,不易确定加拿大地盾在地形、排水和土壤方面的格局和趋势。即便在地方尺度上观察,也仍然会发现显著的多样性,因此,事实上所有的规划和工程问题都需要谨慎的野外工作作为基础。

景观多样性

加拿大地盾主要处于亚北极大陆性气候区,有6—7个月的结冰期,冬季严寒,夏季短暂凉爽。地盾自詹姆斯湾(哈得孙海湾南端)以北的广大地区是永久冻土带。大部分的永久冻土带都是不连续的,也就是说它们的分布并不规则,通常以不同大小和不同厚度的斑块出现。最大的斑块往往出现在地盾的北部地区,以及/或是那些受寒冷微气候影响,并且在地形和土壤上有利于形成寒冷地面的区域(永久冻土带详见第18章)。

气候和永久冻土带

在加拿大地盾区域,除了最北端的苔原之外,针叶林占绝对的主导地位。在地球主要的森林生态系统中,针叶林的生物多样性是最低的,只包括大西洋沿岸平原亚热带森林(距离它2000英里)中很少的一部分物种。而且,它在世

北方针叶林

植被和土壤

世界上主要的森林系统中的地位和生产力也是最低的,年平均生产力为800克/平方米,并且其中的大部分还是由地面的苔藓、莎草和灌木提供(图2.3)。

北方针叶林在海拔高的地方主要分布着白云杉、白桦、白杨和白杨木;在海拔低的地方主要分布白云杉和黑云杉。这些地区的树木生长十分缓慢,并且在潮湿地区和苔原的边缘区往往十分低矮。沼泽(bogs)遍布低洼地区和高地地区的湖泊水系边缘,其上的植被成条带状分布,由外部向中心分别是灌木、莎草和苔藓。沼泽和其他湿地的土壤主要是有机土(Histosols),然而在高地区域,主要是灰化土(Podsols),湿草原土(Brunisols),和灰土(Spodosols)(美国分类)或冻土(Cryosols)(加拿大分类)(见附录A)。

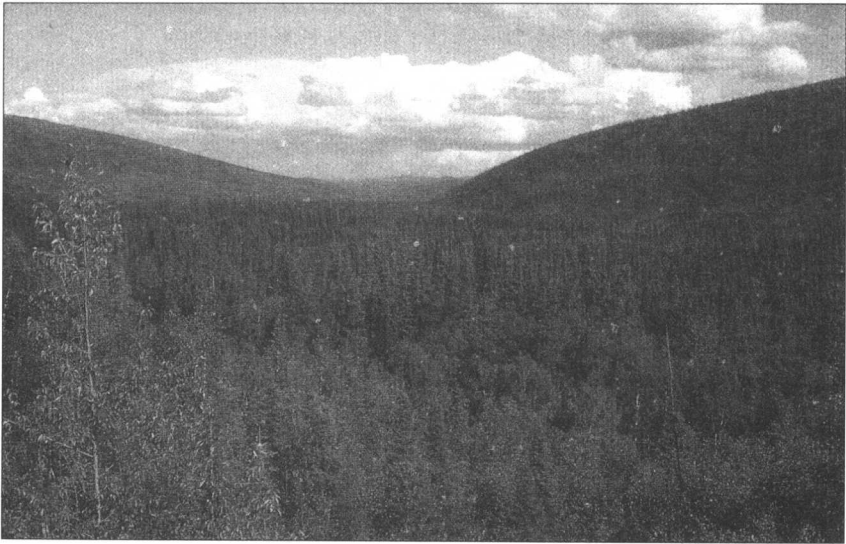


图2.3 加拿大地盾地区的针叶林,世界上受人类影响最小的大森林

排水系统

绝大部分的地盾分布着延展外露的硬岩,它们对排水有强烈的影响。这些露出地面的岩石外形、大小多样,使得地形显现出无序的构造,因此排水系统在这里显得不规则就不奇怪了,以至于人们用“错乱的排水”来形容它们(图2.4)。水系受到岩床的阻碍,时而缓慢,时而加速。湖泊、溪水、湿地异常丰

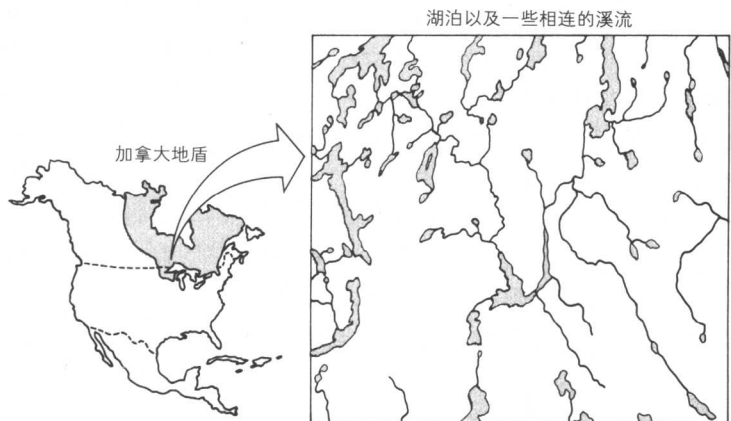


图2.4 加拿大地盾“错乱的排水”示例

富,很显然在这里淡水成了加拿大地盾最主要的资源之一。加拿大政府也没有忽视这一事实,在地盾的南部地区鼓励建立了许多水电站的大坝。

在加拿大地盾区域,定居的现象比较少见,人类的土地利用都是零星地散布在这片区域的大部分地方,除此之外还包括美国境内的阿第伦达克山脉和苏必利尔高地两个地区。少数有人类定居的地方通常是和开采性经济活动相关的地区,典型的有采矿、伐木以及渔业。然而现在的情况有所改变,这片昔日荒凉的土地今天成为了人们眼中极具吸引力的休闲度假胜地,在地盾的南部边缘区(安大略省和魁北克省境内),人们建立了许多公园、游览胜地和度假别墅。但对于规划者和设计者来说,挑战也变得越来越严峻。除了其他的一些基本事项外,规划者们需要理解地盾独特的自然地理特性,需要对场地进行细致的分析,同时在卫生设施、水体的供应、道路以及能源的设计上充分考虑地形的变化。

土地利用

2.3 阿巴拉契亚山脉地区

阿巴拉契亚山脉地区(Appalachian Region)是一个古老的山体地区,在几亿年前形成于加拿大地盾的东南边(图2.2)。古老的阿巴拉契亚山脉与落基山脉几乎在同一时期形成,但两者发育形成的地形却具有明显的差别:阿巴拉契亚山脉海拔较低、坡度较缓,并且地质活动也不及落基山脉地区活跃。直到现在,我们不清楚这些差异是在它们的形成之初就已经存在,或是由于阿巴拉契亚山脉长期的不活跃和侵蚀的力量将它改变成这样。无论怎样,阿巴拉契亚山脉被认为具有圆滑的地形特征,表面被森林覆盖,很少有地方海拔超过6000英尺。另外,不同于加拿大地盾的是,阿巴拉契亚山脉具有清晰的地形变化倾向和可辨别的斑块,因此在区域规模的规划上比较容易推断出主要的地形条件。

地形

阿巴拉契亚山脉南起美国南部的亚拉巴马州北部,北至加拿大沿海省份的纽芬兰,共跨越五个亚区(表2.1)。其中海拔最高面积最小的亚区是蓝脊(Blue Ridge),是纽约州与佐治亚州之间的一段狭长地带,它基本由变质岩(在造山的高温和高压下形成的岩石)组成,是非常线形的山体。作为阿巴拉契亚山脉的主干,蓝脊是该区域最主要的排水分隔系统,密西西比盆地的东部边界。

蓝脊

由于具有较高的海拔(4000-6000英尺),蓝脊省的气候明显要比东西部地区更湿更冷。这种现象在其最高点——北卡罗来纳州、田纳西州和佐治亚州的大烟山系(Great Smokey Mountains)最为突出,在地形的影响下,大烟山系的西坡每年会有80英寸多的雨。另外,在那些海拔更高的地方,更为寒冷的气候促使形成了一个更具北方特征的森林混合带,这种林带由硬木林(白桦、枫、山毛榉、榆树和橡树)和针叶林(铁杉、美国五针松、白云杉和冷杉)混合组成。在大烟山系,有一些地区的山顶是光秃的,这是由于山体表面大都覆盖着岩石,土壤稀少的缘故,而并不是因为寒冷的气候。蓝脊省只有一个城市,即北卡罗来纳州的阿什维尔市,海拔大约2000英尺(600米)。蓝脊有许多州立和联邦政府的公园,其中包括位于北卡罗来纳州和田纳西州的十分受欢迎的大烟山国家公园。

气候与植被

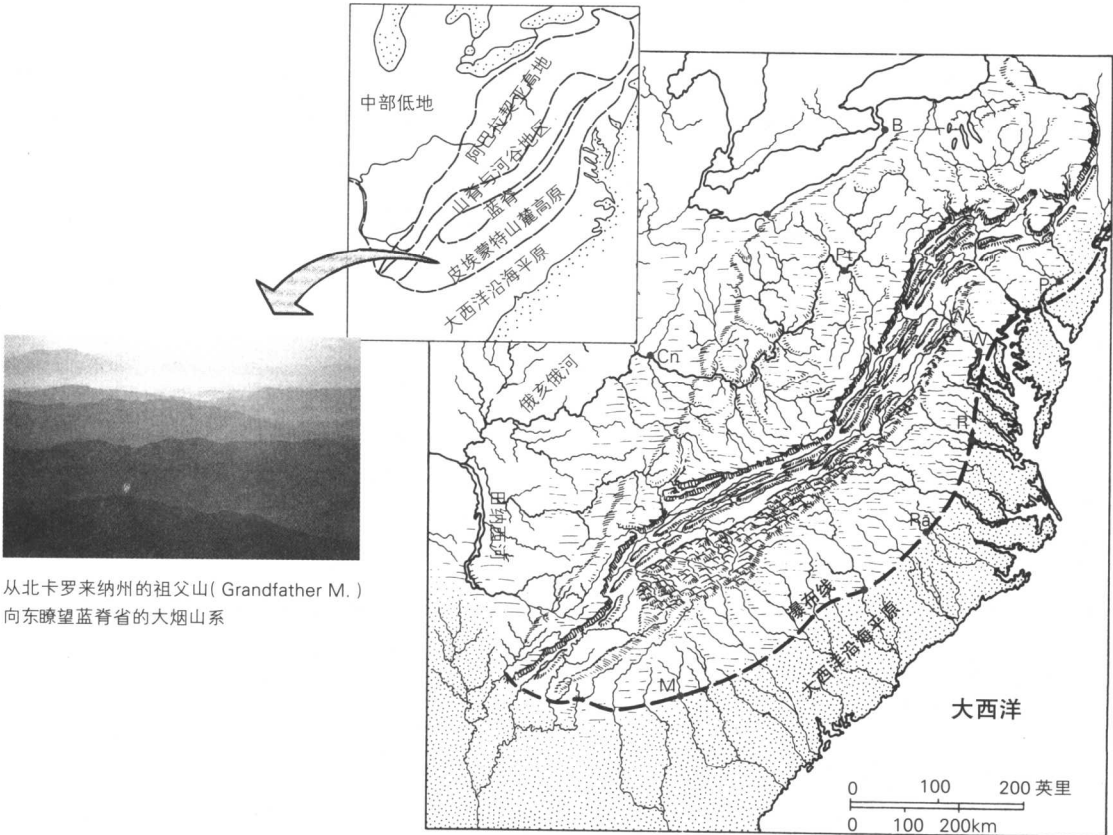
蓝脊的东部是阿巴拉契亚山脉的皮埃蒙特自然地理亚区(Piedmont Province)(图2.5)。这一地区主要由变质岩组成,岩石表面覆盖着厚度不一的

皮埃蒙特高原

土壤。皮埃蒙特高原的大部分地方都比较平坦，尤其在南部地区，顶部的平原是这一地区最为显著的特征。从蓝脊开始，皮埃蒙特山麓高原的山坡向东逐渐变低，最终消失在东部和东南部大西洋沿岸平原的沉积岩中。

降水沿皮埃蒙特高原的东部山坡汇集到大西洋中。沙瓦纳 (Savannah) 和皮德 (Peedee) 等大型河流的山谷有大片的森林廊道，一直通向海洋。在皮埃蒙特高原地区，河流的坡度较大，但当流至蓝脊与大西洋沿岸平原相交时，水

排水系统



从北卡罗来纳州的祖父山(Grandfather M.)
向东瞭望蓝脊省的大烟山系

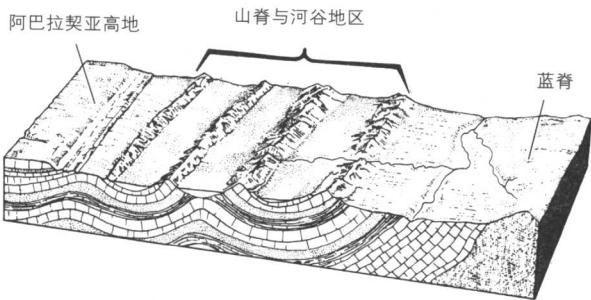


图2.5 美国东部的阿巴拉契亚山脉区域。包括蓝脊、皮埃蒙特高原、山脊与河谷地区以及阿巴拉契亚高地这几个自然地理亚区。阿巴拉契亚山脉地区的东南部地区为大西洋沿海平原。下图显示了蓝脊、山脊与河谷以及阿巴拉契亚高地三个亚区间的相对关系

流变得稍缓一些，并且也变得较有规律。因为早期的定居者是从大西洋沿着河流迁徙而来，他们遇到的最早的急流就是从皮埃蒙特高原的东部边界源起的。瀑布线（Fall Line）* 位于皮埃蒙特高原的东部边界上，在许多河流上，它也成为了人们定居的地方。弗吉尼亚州的里士满、北卡罗来纳州的罗利以及佐治亚州的梅肯都是瀑布线上的城市（图 2.5）。

皮埃蒙特高原具有北美洲南部典型的湿润亚热带气候，平均年降雨量在 50-60 英寸，并且在夏季常常会有暴风雨出现。在这里，水土流失率较高，尤其是那些农业用地和建设用地，光秃的土地和土壤侵蚀的地方，水土流失现象更加普遍。这里土壤属于老成土（高度风化和淋溶的一种黄色至红色的土壤），往往被高度浸析，普遍缺乏养分。在南部农业发展之初，皮埃蒙特曾是种植棉花和烟草的好地方，但随着土壤土质的下降，棉花的种植转向密西西比流域，后来又进入得克萨斯州。大部分早期的农用地现在被橡树和松树的混合林替代。

山脊与河谷自然地理亚区（Ridge and Valley Province）是北美最具特色的地区之一，它位于蓝脊西边，是一条从宾西法尼亚中部延展到亚拉巴马州中部的 50-75 英里宽的地带。该地区的地形学特点以带有褶皱的断裂沉积岩为主，现已被侵蚀成与河谷平行等长的山脊（图 2.5）。山脊与河谷常常能平行延展数百英里左右，仅仅在局部被一些称作水口的河谷和称作风口的干谷所打断。

排水线一般沿着地形的走向，干流在谷底流动，形成平行的或近似平行的格局，主干的支流则沿着山脉的斜坡排水。但这里也有一些值得注意的例外，例如北部的一些大型河流，尤其是特拉华河、波托马克河以及萨斯奎汉纳河，

气候和土壤

山脊与河谷自然地理亚区

排水



图 2.6 阿巴拉契亚高原地区露天采矿对地表的影。今天，政府要求采矿商负责恢复这些受损的景观，然而，早期开采后遗留下来的已被损坏的大片土地仍然在该地区大量存在

* 瀑布线——连接几条平行河流上瀑布的线，标志每条河流从高地降到低地的地点。——译者注

土地利用

它们直接穿过山脊中的纹理汇入大西洋。在山脊与河谷地区的南部,大多数溪流都汇入坎伯兰和田纳西的河流里,它们都是密西西比河流域的一部分。人类的定居地和农场集中分布在河谷地区,那里土层丰厚雨水充沛。而高处的山脉地区由于过于陡峭,所以大部分依然为森林所覆盖。然而在今天,山脊高处的森林、高低不平的地形以及优美的景色反而吸引了现代住宅与休闲地的开发,人们把触角伸到了阿巴拉契亚山脉地区,他们在这里建路、砍伐森林、铲平山坡,不同程度地干扰了原有的自然环境。

阿巴拉契亚高原

在山脊与河谷地区的西部是一段被抬起的沉积岩区域,在那里河流切出了很深的溪谷,这里就是阿巴拉契亚高原(Appalachian Plateaus)(包括北部的阿莱干尼高原和南部的坎伯兰高原),从纽约州西部延伸至亚拉巴马州北部。阿巴拉契亚高原的东部边界具有较高的海拔(约3000英尺甚至更高),整个地势由东向西倾斜。东部边界由于一个被称为阿莱干尼前沿(Allegheny Front)的著名断崖而知名,断崖高出临近的河谷500-1000英尺,长度为700英里,是整个阿巴拉契亚高原东部边界。

地形

形成阿巴拉契亚高原的沉积岩在大部分地区都很平坦,其表面被水流切割出几百英尺深的河谷,留下平顶的高地。河谷的密度很高,高处的地面显得狭长,看起来更像山脊,高原的地形陡峭起伏,几乎像山,在更高处尤为明显。石灰石、页岩和沙岩地层就像三明治一样叠加在一起。高原区内富含煤的沉积物,被公认为是世界上烟煤资源储量最丰富的地区。

当煤层接近地面时,露天开采是最好的方式;当煤层太深难以露天开采



图 2.7 从美国马萨诸塞州延伸到加拿大纽芬兰(岛)的阿巴拉契亚山脉的北部地区

时,需要采用井式采矿,就是从暴露在河谷壁上的矿层处开凿水平的巷道进行开采。在美国,露天开采已经带来了许多严重的环境问题,不仅是表层土、植被和栖息地受到了破坏,开采还使得残留的废渣(一些煤炭碎片和下层土)容易遭受到侵蚀和风化的威胁,造成河道的沉积与水体的化学污染,形成难看和没有价值的景观(图 2.6)。

采煤

阿巴拉契亚山脉北部地区(Northern Appalachians)位于纽约州北面,由石英岩为主要成分的几个分离的山脉组成。其中最知名的要算贯穿佛蒙特州、新罕布什尔州和缅因州的格林山脉(*Green Mountains*)和怀特山脉(*White Mountains*)、魁北克省加斯佩半岛的圣母山脉(*Notre Dame Mountains*),以及纽芬兰省北部的长岭山(*Long Range Mountains*)(图 2.7)。阿巴拉契亚北部地区地形比较复杂,主要由变质岩组成,与蓝脊和皮埃蒙特山麓高原区类似。除此之外,该地区还包括了阿第伦达克山脉(*Adirondack Mountains*),位于纽约州北部,在地理位置上属于阿巴拉契亚山系北部,但实际上是加拿大地盾向南部的延伸。

阿巴拉契亚山脉
北部地区

与其他地区不同的是,阿巴拉契亚的北部地区属于冰川地带,裸露的岩石与不规则的冰积土覆盖着这片区域。这些地表特征结合广袤的北方针叶林以及大量的湖泊和湿地,使得阿巴拉契亚的北部地区具有与加拿大地盾高地相似的特征。然而这片区域的湖泊会经常受到酸雨的困扰,从阿巴拉契亚高原采出的煤,在工厂和发电厂燃烧后变为二氧化硫,形成酸雨,危害着这些湖泊。另外,此处的阿巴拉契亚山系处于与大西洋交界,因此海岸线特别崎岖,并且布满礁石岬和深湾。

景观多样性

阿巴拉契亚山系的北部地区与加拿大地盾区域的相似之处并不仅仅局限于其主要的景观特征。除此之外还有当地的气候等其他典型特征,这里的气候以其漫长的冬季而著称,尤其在缅因州到纽芬兰的内陆地区(那里年平均无霜期少于 120 天),而且在这里也只存在十分稀疏的定居现象,定居的动力源自伐木、捕鱼和旅游。另外,该自然地理亚区的动物群以驼鹿、海狸、加拿大鹅、猞猁和黑熊等物种为主,这一点也更加类似加拿大地盾区域而非阿巴拉契亚山系的南部亚区。

2.4 内陆高地

在坎伯兰高原的西边,密苏里南部、阿肯色北部,有一处与阿巴拉契亚区域相类似,以低山和高原为主要特征的小块区域,被称为**内陆高地**。该高地由两个自然地理亚区组成:奥扎克高地(*Ozark Plateaus*),地形上类似阿巴拉契亚高原;沃希托山脉(*Ouachita Mountains*),地形与山脊和河谷地区极为类似,只不过是东西向纹理为主(图 2.2)。其中,奥扎克(*Ozarks*)(通常将奥扎克高地简称为奥扎克)最高处海拔在 2000~3000 英尺之间;而沃希托山脉最高处海拔约在 3000~4000 英尺之间。沃希托山脉的大多数山脊被森林覆盖,山体过于陡峭,不适合定居;而位于奥扎克亚区的山脉顶部则较平坦,已被开垦为耕地。然而另一方面,奥扎克的溪谷则拥有像阿巴拉契亚高原一样的深而陡峭的谷壁,而且被森林覆盖。不过不同于阿巴拉契亚高原的是,奥扎克地区地下没有丰富

奥扎克

的煤矿资源。

排水

奥扎克地区的排水呈放射状向北流向密苏里河，向西流入阿肯色河，向南流入黑河。石灰岩岩床贯穿奥扎克地区，而且很多地方呈现溶洞系统占支配地位的喀斯特地貌。这些溶洞与河谷相连，很多地方都变成很吸引人的巨大贮水池。这一特点受到了联邦政府的重视，现在奥扎克地区和阿巴拉契亚高原都交织着被森林溪谷覆盖的贮水池。

2.5 大西洋和海湾沿岸平原

总的地形

大西洋和海湾沿岸平原 (Atlantic and Gulf Coastal Plain) 形成了一条沿美国东海岸和墨西哥湾的宽阔带状地区，北起科德角 (Cape Cod) 南至里奥格兰德河入海口 (图 2.2)。这一地区主要由沉积岩组成，略向海岸方向倾斜，最终消失在大陆架的浅水滩中。坚硬的沉积岩在沿岸平原形成突起的沙岩，它们与土壤一起形成带状的多坡地形，在成分上与基岩类似 (图 2.8)。与此相反的是，一些松散的沉积物 (如白垩石灰岩) 则构成了土壤深厚肥沃的低地。然而，从整体上看，整个海岸平原区域的地形起伏不大，海拔高度最高处 (位于靠近内陆的边缘处) 只有 300 英尺。海岸平原区域通常划分为三个亚区：内部海岸平原 (Inner Coastal Plain)、外部海岸平原 (Outer Coastal Plain) 和密西西比湾 (Mississippi Embayment) (图 2.9)。

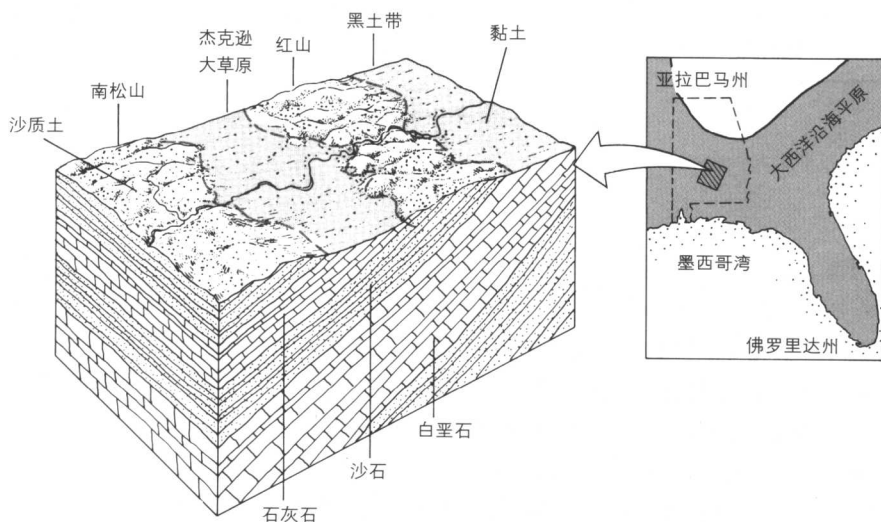


图 2.8 大西洋沿海平原区域地质、地形和土壤三者关系示意图 (低地带与山地带相互交错的结果)

外部海岸平原

靠近海边的自然地理亚区被称为外部海岸平原 (Outer Coastal Plain)，这里地势低洼、潮湿，充满了溪流、湿地和海岸沉积物。北美地区最大的一些湿地也分布于此，如佛罗里达州的埃弗格来兹沼泽 (Everglades)、弗吉尼亚-北卡罗来纳的大沼泽 (Great Dismal Swamp) 以及路易斯安那州的三角洲沼泽。除了广布的湿地沼泽外，这里还有为数众多的潟湖、河口与岛屿。它们常常受到来



图 2.9 大西洋——海湾海岸平原概貌

自河流、洪水以及风暴巨浪的袭击。沿岸的岛屿，称作堰洲岛，通常是在海浪的作用下，由浅水中波浪沉积的泥沙堆积而成，因此尤其容易受到飓风和海蚀的破坏。然而，这样的环境却未能阻挡开发的步伐，每年居住和娱乐性质的用地都在进一步向大西洋和海湾沿岸的堰洲岛推进。

外部海岸平原至少可以再划分成五个分区（图 2.9）。**北部区**：从哈特勒斯（Hatteras）角到北部的科德角，在最近的一次大陆冰期结束后，海平面的上升导致这里大片的低地被淹没。该区主要是以生态多样的大型河口为特色，例如切萨皮克海湾，就是海水侵入河谷底部形成的。向南的下一个分区是海角—岛屿区，从哈特勒斯角到佛罗里达北部，特点是拥有很长的沙质海岸 [如菲尔角（Cape Fear）] 和如前文所描述的沿岸岛屿。其中最令人难忘的是海洋群岛，它是由于数千年来此处的土地缓慢下降而海水上涨形成的。

北部区

佛罗里达半岛区（Florida Peninsula section）起源于海岸平原区域的巨大拱形沉积岩。这条拱形地带由石灰岩围绕它的轴线形成，高出海平面大约 300 英尺，而且一直延伸到半岛的中心。佛罗里达州的湿润气候和石灰基岩使得喀斯

佛罗里达半岛区

特地貌广泛发育。径流大部分位于地下(地下水是该州主要的水源),流经巨大的洞窟,喷涌成泉,或汇入落水洞。落水洞在半岛上随处可见,并且在佛罗里达州的中心部位最集中,形成了数百个巨大的内陆湖。从该州最大的湖泊奥基乔比湖(Lake Okeechobee)(面积为750平方英里)发源的河流滋润了半岛南端的埃弗格来兹沼泽。然而,引水渠的分流以及农业造成的水污染,大大降低了这个举国珍视的湿地生态系统的价值。

海湾沿岸区

从佛罗里达半岛向西即为外部海岸平原自然地理亚区中的海湾沿岸区(Gulf Coast section)。由于接受了大量的河流沉积物,其中主要来自密西西比河,海湾沿岸十分有利于形成堰洲岛。这些低矮狭长的沿岸岛屿群平行于大部分的海岸,在它们的后方是同样狭长的潟湖,有连绵成片的湿地、海湾以及相关的栖息地。该区内有大量的水禽和其他鸟类,包括在海湾沿岸及其以南地区与加拿大北冰

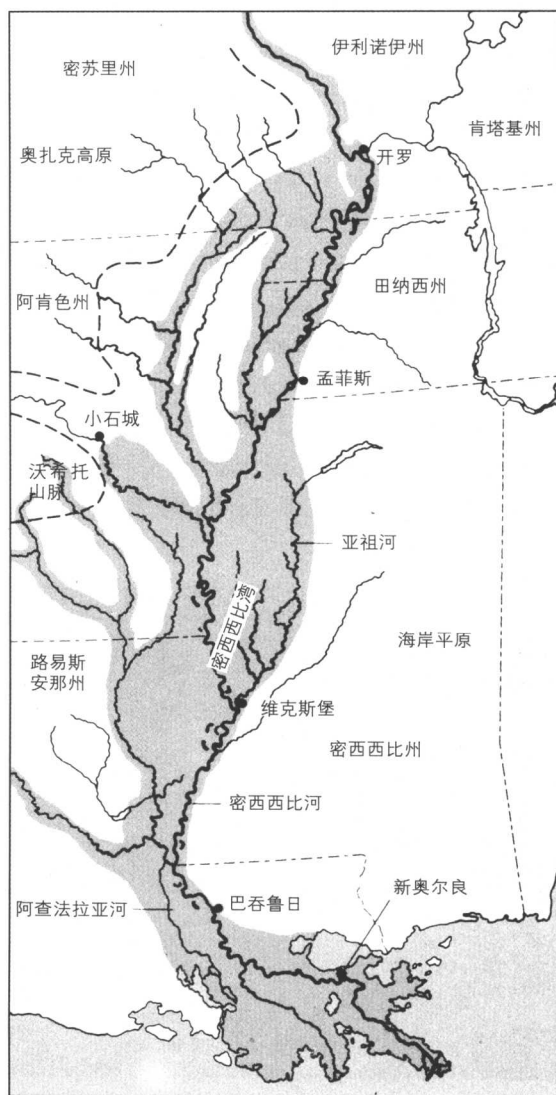


图2.10 左图为密西西比河水流向密西西比海湾的弯道。右图为密西西比河及其连绵的低地。注意图中与密西西比河平行的支流(如亚祖河等)

洋沿岸平原之间迁徙的鸟类。

密西西比河三角洲 (Mississippi River Delta) 大致位于海湾沿岸区的中部。作为北美大陆最富多样性的环境之一, 外部三角洲 (Outer Delta) 实际上是近2000多年来形成的数个小三角洲组成的。每个三角洲的指状延伸都流淌着许多分支的渠道或支流, 以天然的堤坝作为界线, 堤坝后面是沼泽、潟湖和各种类型的湖泊。沼泽深的地方生长着柏树和多花紫树, 而浅的地方则是橡树、山胡桃树和其他的硬木林, 还有各种的芦苇、莎草和美洲蒲葵。在这片新鲜的、轻度盐碱化的水乡、盐水湿地、湖泊和溪流栖息地中, 生物多样性异常丰富也就不足为奇了。然而, 由于密西西比河水质的变化以及沉积物的堆积, 目前, 三角洲地区已经表现出严重的栖息地退化现象。

密西西比河每天携带着百万吨的沉积物来到三角洲, 这一过程持续了5000万年, 创造出了一片狭长的冲击低地——大西洋海岸平原区域内的另一个自然地理亚区——密西西比湾 (Mississippi Embayment), 自伊利诺伊南端一直延伸了500英里到达现在的三角洲地区 (图2.10)。事实上, 如同密西西比河的支流一样, 所有汇入港湾地区的河流都因这条巨大的河流而改道南行, 它们的下游也就因此而都平行于密西西比河。有一些河流, 如黑河 (Black)、亚祖河 (Yazoo) 和沃希托河 (Ouachita River) 等, 顺着海湾的边缘处流淌了一百多英里才汇入密西西比河。结果产生了在北美的河流中独一无二的河谷, 即几条大河的河道共享一个河谷。当洪水泛滥的时候, 密西西比河的水常常排到支流中, 因为它们平行主河道的部分实际上略低于密西西比河。

在内部海岸平原 (Inner Coastal Plain) 上, 地势通常比沿岸地区和密西西比海湾地区高, 排水状况相对要好。这里的地形有两个相反的特征: 首先, 沿不同岩层的裸露边缘形成了平行于海岸的山丘和河谷系统。低地通常以厚厚的黑土地带为特征, 如亚拉巴马黑土带 (图2.8)。其次, 入海的河流谷地形成了交错的低地。在所有主要河谷中都分布着大面积的低地, 其中大部分保留了湿

密西西比河三
角洲

密西西比湾

内部海岸平原



图2.11 路易斯安那州南部沿密西西比河的防洪大堤 (图中白线间的区域)。图左侧的河漫滩常常低于河面

地和森林,尚没有被排干或砍伐作为农业之用。密西西比河以西,海岸平原的内边界很显然是由内部高原的南缘和得克萨斯州鲍尔科恩斯(Balcones)峭壁所划定。

洪水问题

大西洋海岸平原所有河流的下游洪水都很频繁,波及范围广,破坏作用大。洪水对该地区人们生命财产一直造成严重的威胁,自20世纪以来,这些威胁仍然有增无减。导致这个问题的原因是多方面的,主要包括:(1)南部多雨气候下的充足地表径流量;(2)沿岸地区频繁的热带风暴和飓风,将大量的地表径流滞留在外部海岸平原;(3)沿河低地和海岸高风险地带的住宅开发广泛存在,而且仍然在增长;(4)工程措施诸如在河流上修筑堤坝,会束缚水流,从而加重某些地区的洪水量(图2.11)。

气候和土壤

海岸平原大部分位于潮湿的亚热带气候区。年降水量通常在40-60英寸之间,多以夏季雷雨的形式出现。海岸平原所有的地方都受飓风影响,而外部平原的每个分区十年内至少能遇上一次破坏性巨大的袭击。根据基岩的不同,距离海岸和河谷的位置不同,土壤趋向于从沙土变成黏土进而变成有机土壤。大多数的土壤都是经过充分过滤过的,尤其在非湿地的地方,由于表土下面残留着铁氧化物而呈现出红色。植被的类型随着地形和排水方式不同而变化,高地上通常生长松树和橡树,而在潮湿的低地上生长的是多花紫树、橡胶树和落羽松。只有得克萨斯州的植被明显与众不同,由东到西从森林降为树丛,然后是沙漠灌丛。

植被

景观评价

在进行大西洋海岸平原的规划时,往往有必要区别出高地和低地。它们之间的差异常常是十分微妙的,尤其在边缘地区,植被和土壤常可作为有用的指示物。另外,描绘出每个高地单元,并确定它们同排水系统(包括渠道、湿地、河漫滩)以及栖息地之间的关系对规划也十分有帮助。这必须包括评价不同类型土地的相对稳定性,其中涉及土壤、喀斯特地形和各种来源的洪水。最后,在规划中还需要明确各种环境中的主要过程,尤其是在河流的低地和海岸地带,并且认识到每种风险的影响——主要是洪水、风暴巨浪和飓风的影响。

2.6 内陆平原

边界

北美景观的中心部位是内陆平原(Interior Plains),土地广阔,地形起伏(图2.2)。该区域包括两个较大的自然地理亚区和一个较小的自然地理亚区,它们分别是中央低地区(Central Lowlands)、大平原区(Great Plains)和圣劳伦斯低地区(St. Lawrence Lowlands)。粗略地看,整个内陆平原就像一个巨大的三角形:底边沿着落基山脉,顶点向东直指向圣劳伦斯低地,西面和东北面的边界分别由落基山麓和加拿大地盾清晰划定,而南部的边界则是变化的,沿得克萨斯州的鲍尔科恩斯峭壁很清晰,但到阿巴拉契亚高原处边界就变得模糊了。

地质情况

内陆平原的三个亚区都覆盖着沉积岩,主要组分是石灰石、砂石和页岩。这里的地形有的平坦展开,有的轻微地弯曲成突起的拱形或凹陷的盆地,如密歇根就位于一处盆地的中心,而田纳西和肯塔基则位于突起的高地之上。裸露

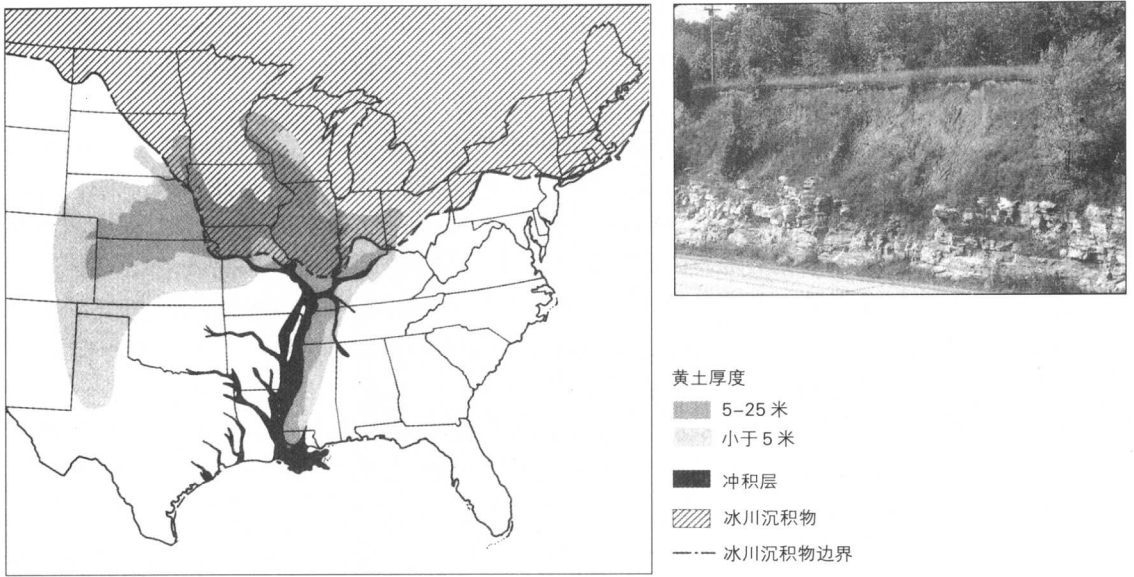


图 2.12 内陆平原表面沉积物分布状况示意图。冰碛分布在密苏里州以及俄亥俄州河流以北，黄土分布在美国中西部的中心区并蔓延至大平原的相邻地区。右图显示的是密苏里州因修建道路而暴露出的黄土堆积物

的基岩仅仅见于盆地或拱形高地边缘的悬崖,以及大型河谷的夹壁或喀斯特地形区,同覆盖着沉积物的表面相比,这些裸露区的面积是相当小的。

内陆平原的地表沉积物在来源、组成和厚度方面都存在很多差别。在中央低地以及俄亥俄河与密苏里河以北地区,沉积物以冰川状态为主,包括砂质、黏土质和混合质成分。在伊利诺伊、艾奥瓦、密苏里北部、堪萨斯和内布拉斯加州,则是大量的风蚀沙沉积物黄土(loess),覆盖在冰川的沉积物之上,成为主要的地表物质(图2.12)。其他的沉积物包括内布拉斯加州西北部、萨斯喀彻温省西南部和大湖区周边的沙丘;五大湖和温尼伯湖附近的泥质河床;以及分布在该区大多数河流谷地中的冲积物。正是这些主要由冰碛、黄土和冲积土组成的沉积物,为内陆平原肥沃的耕作土壤提供了母质。

地表沉积物

内陆平原区域共包括三个主要的排水区:(1)密西西比湾北部的密西西比河及其上游支流流域;(2)汇入大湖盆地的圣劳伦斯区;(3)纳尔逊、邱吉尔和麦肯齐(Mackenzie)排水盆地(汇集了来自加拿大平原的水流以及来自北达科他州和明尼苏达州的部分水流)。整个内陆平原区域中,中央低地区的水资源通常很丰沛,尤其在大湖地区,但向西到大平原地区由于年平均降雨量的减少和蒸发量的增加,水资源减少。从俄亥俄河到落基山脉,年均降雨量从40英寸下降到20英寸左右。在100°子午线附近,半干旱气候开始统治大平原,从得克萨斯中部到阿尔伯达南部以及萨斯喀彻温省。

排水和气候

穿越大平原的河谷中,地表水比较丰沛。像萨斯喀彻温河、黄石河、普拉特河、阿肯色河以及其他类似的顺着平原坡度向东流的水系,水量都随着来自

大平原

落基山上的地表径流有季节性涨落。在有些河谷中，如密苏里河上修建了堤坝系统来调节洪水并提供农业用水。此外，大平原大部分地区的地表水量都比较充足，奥加拉拉（Ogallala）作为世界上最大的含水层之一，从南达科他州一直延伸到得克萨斯州北部。由于拥有丰富的水资源，因此大平原区的农业也就理所当然地依赖于灌溉，而且日益如此。

气候和植被

受温度和蒸发量的影响，大平原上从南到北有明显的气候过渡带。在大平原的南端，即艾斯塔卡多平原与爱德华高原，湖泊和水库的年蒸发量超过5英尺，气候干燥程度接近沙漠。向北随着温度的下降蒸发量减少，在距离美加边界以北300英里处，丘陵的表面开始出现零星的树木，主要是白杨。再向北一点，平原上就覆盖了乔木森林。这里属于亚寒带气候，尽管年降雨量并不比平原南端多，但由于蒸发量要小很多，因此湿度较为适宜。在大平原亚区的最北端，距离得克萨斯州爱德华高原2500英里开外处，乔木让位于苔原，进入到北冰洋沿岸平原的范围（图2.2）。

土壤

中央低地区的土壤种类多样，尤其在密西西比河谷上游、大湖区和圣劳伦斯低地区，这是由于在距今一万至两万年前的最后一次冰川活动留下的异常复杂冰碛物造成的。在进行规划所需的环境调查时，我们应该认识到这种在地方尺度上仍会存在多样性的土壤特征，并且有些沉积物的土壤会随着深度的变化而变化。除了不同沉积物（母质）导致的地方尺度的多样性外，土壤还会受到

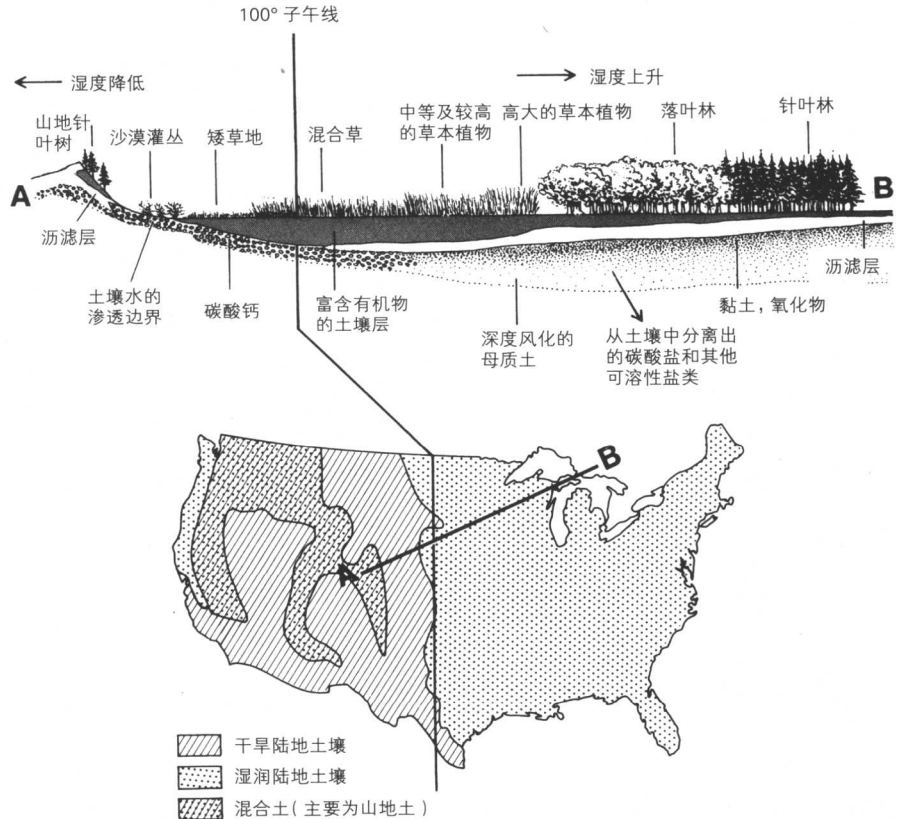


图 2.13 内陆平原区域内的景观变化体现出了气候和植被对土壤类型的影响

生物气候带的影响,呈现出更为广泛的区域性特征与变化趋势。图 2.13 显示出了 100° 子午线上的土壤变化的主要特征:从湿润土壤(主要是淋溶土和灰土)转变到以软土(和加拿大黑钙土)为主的干旱区土壤。其中软土是半干旱区草场覆盖下的黑色有机肥沃土壤(见附录 A)。

在中央低地区的北部,分布着许多的湖泊和湿地(整个中央低地自然地理亚区中的内陆湖泊的数量仅次于加拿大地盾区域),土壤有点沙质。景观随着湖泊和湿地之间针叶-硬叶林的变化而丰富多样,然而当我们向西方前行时,大地景观便逐渐趋于单一化了,在这里一种较为统一的大草原(即北美洲中部的大平原——译者注)景观占据了绝对的统治地位,而再继续西行则就进入了大平原自然地理亚区(图 2.13)。

在大草原和平原上,地形通常分为两个自然地理类型:河流低地(如伊利诺伊河、密西西比河、密苏里河与艾奥瓦河的谷地与冲积平原)以及位于河谷间的宽广平坦或轻微起伏的丘陵地(在景观中占据很大比重)。河谷养育了主要的森林植被,典型的有柳树、三叶杨、小无花果树以及其他滨水物种。丘陵起初孕育了温带草木区(树木和高大草本植物的混合,向东到达印第安纳州西部)和大草原区(各种高度草本植物的混合,一直延伸到落基山脉)。然而现在,原生的大草原已所剩无几,事实上不是耕种就是放牧,不同程度地受到破坏或退化了。现在这个地区主要发展以玉米和小麦为主的农业经济。曾经拥有宽阔草地和狭长林地(栖息地走廊)的乡村景观,如今已因农场、道路和居民点的建设而高度碎裂。大平原和中央低地区是世界上最富饶的农业区之一,然而,现在的中央低地区已成为了 20 世纪城市化最显著的地区。

城市和工业带在北美的核心地带层层叠加,像连接多伦多、布法罗、克利夫兰、托莱多和底特律的城市带。这些城市带的增长在过去的几十年里带来了诸多的环境问题,包括:(1)城市用地和农业用地之间的冲突;(2)对冲积平原、湿地和海岸的滥用和过度开发;(3)广泛存在的大气和水体污染,包括填埋垃圾对地下水源的污染。中央低地和圣劳伦斯低地是形成酸雨的主要污染源;点源(集中排放)和非点源(地理扩散)造成的水污染在城市和农业区都很严重。

内陆平原区在环境规划和管理上应主要考虑在日益扩张的城市带与乡村景观交界处出现的问题。像在东海岸一样,中央低地和圣劳伦斯低地的规划问题很少涉及原生的景观(未开发或几乎未开发的土地);事实上,大部分的问题都是出现在曾受到人类土地利用模式影响的区域,这些利用模式通常包括伐木业、早期农业、现代农业、居住和/或工业开发。这些已经利用的土地几乎无一例外地面临着各种环境问题的困扰:湿地排干、河道渠化、栖息地丧失和破碎化以及垃圾填埋等。因此,这些亚区内开展的现代环境规划会越来越多地将景观的修整和恢复作为社区和经济发展工程的一部分。

景观多样性

植被

城市开发

规划要点

2.7 落基山脉地区

作为大平原西部边界的落基山脉前沿(Rocky Mountain Front),是北美最具特色的自然地理边界之一。自大平原的西部(海拔高度为 3500-5500 英尺)开始,地形突然从 3000 英尺上升到 6000 英尺,直到进入崎岖的落基山脉区。



图2.14 落基山脉深沟东南方向鸟瞰图。这个巨大的沟谷包括了弗雷泽河与哥伦比亚河的上游区

这一地区从新墨西哥州中部一直延伸2000英里几乎到达不列颠哥伦比亚省的北部边界。它共由四个自然地理亚区组成：美国境内的南部亚区（*Southern province*）、中部亚区（*Middle province*）、北部亚区（*Northern province*）以及加拿大境内的加拿大亚区（*Canadian province*）（图2.2）。加拿大境内的落基山脉从美加边境一直向北延伸500英里，形成了宽度50–100英里的狭长山体。与此相比，美国各自然地理亚区的山脉要宽阔许多，并且在自然地理特征上要不规则得多。

地质特征

落基山脉被视为相对年轻的山脉，因为它尚处于活动期——尽管同阿巴拉契亚山脉相比它的岩石已经有些年头了。从地质学角度看，美国境内各州的岩石最为丰富多样，其中火山岩、变质岩和沉积岩都很普遍。落基山地区地势最高点海拔高度达到13000–14000英尺（4000–4300米），位于科罗拉多、怀俄明地区，以及不列颠哥伦比亚省和萨斯喀彻温省边界沿线。面积最大的低地是怀俄明盆地（*Wyoming Basin*）（海拔5000–7500英尺），被沉积岩覆盖，位于落基山北部亚区和南部亚区之间。而狭长的落基山深沟（*Rocky Mountain Trench*）则顺着加拿大亚区的西部边界延伸（图2.14）。

排水系统

美国人习惯将落基山脉视作“大陆分水岭”——划分太平洋和大西洋之间排水区域的高地。密苏里河、普拉特河、阿肯色河以及其他的河流经由密西西比河汇入大西洋海湾；南面有里奥格兰德河；另外经由科罗拉多河与哥伦比亚河汇入太平洋的河流有弗雷泽河、斯内克河、格林河、冈尼森河，当然还有科罗拉多河与哥伦比亚河的源头。与此不同的是，在北部的加拿大亚区，落基山并没有形成大陆的分水岭。皮斯河汇入哈得孙湾而马更些（*Mackenzie*）河汇入北冰洋，它们都有部分的水源来自不列颠哥伦比亚省境内落基山脉西部的落基山深沟。

山地气候和植被

由于地质条件多样，地形崎岖陡峭，落基山地区的土壤、气候和生物具有很高的多样性。美国境内的落基山脉主要位于干旱和半干旱地区内，山脉间的绝大部分盆地比较干旱，主要为大草原和沙漠灌丛。但随着高度的增加，由于

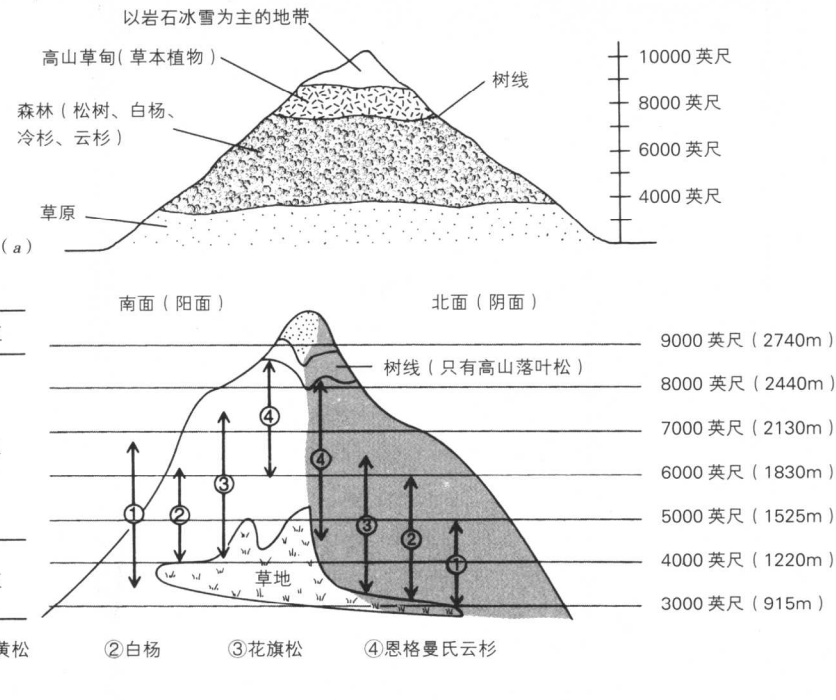
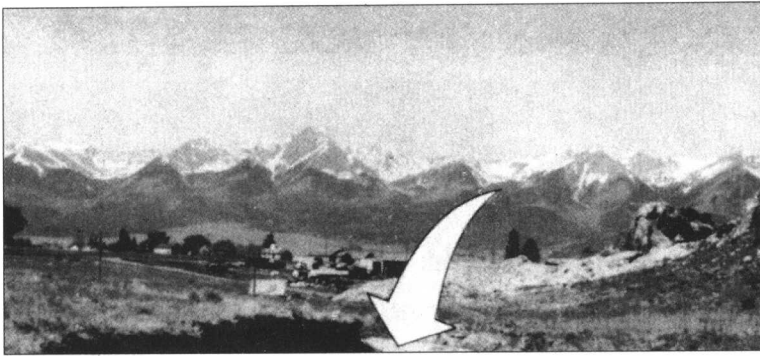


图 2.15 (a) 北部落基山脉垂直植被区示意图, 随海拔高度不同而出现变化; (b) 阳光对于垂直植被区的影响

降雨量的增加和寒冷气候下土壤水分蒸发率的下降, 湿度条件有所改善。在南部落基山脉海拔 7500 英尺处以及北部亚区和加拿大落基山脉 4000-5000 英尺处, 出现了大型乔木, 松树林、冷杉林和白杨林顺着山坡向上数千英尺直到寒冷的气候限制了它们的生长。由于气候等各方面条件的差异, 树线的海拔高度在不同地区也具有很大的差别, 从新墨西哥州的 11000 英尺或更高, 到加拿大落基山脉北部地区的 5000-6000 英尺 (那里的山地森林同北方针叶林融为一体)。在树木线 (森林垂直分布界线) 上, 草、野花和矮树形成的高山草甸逐渐取代树木。大多数山脉的高山草甸都标志着最高海拔的生物带, 但对于高于 12000 英尺的山脉, 还存在永久积雪地带和 / 或冰川带 (图 2.15)。

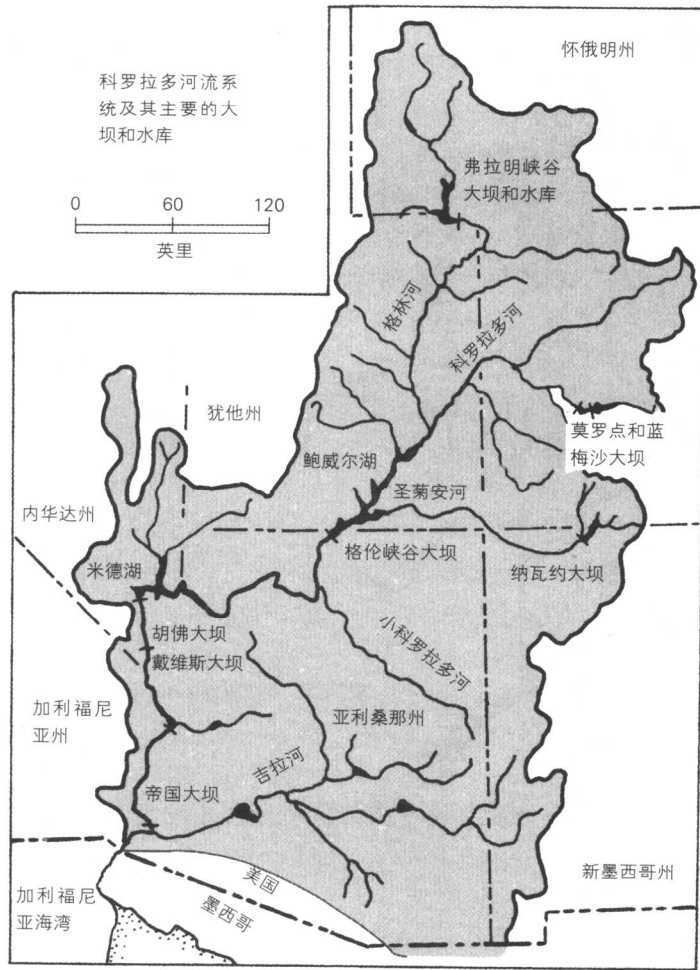


图 2.16 科罗拉多流域和河流系统，包括主要的大坝和水库

除了气候垂直带所造成的差异外，位置、盛行风以及日照方向的不同对生物气候条件的影响也很大。如山脉西面的迎风坡由于受到西面气流的影响，通常降雨量比较大；而由于南面得到的太阳光较多，因此南向的山坡要明显干旱许多。因此，即便在同一座山上，植被带的分布从西到东、从南到北仍是在不同的海拔高度出现的（图 2.15b）。

落基山脉是美国西部大部分地区与大平原主要的水源。山地的降雨量比较大（许多区域年均降水量达到 30–50 英寸），水体大多数以积雪形式存在，春夏季融化成水。落基山以西的地区争夺有限水资源的冲突很尖锐，并且这种冲突伴随着农业和城市化的发展有日益加剧之势。由于水资源的紧缺，科罗拉多水系的水资源是依据法律在科罗拉多流域落基山下的州之间分配，有怀俄明州、犹他州、新墨西哥州和其他三个位于科罗拉多河下游的州：加利福尼亚、内华达和亚利桑那。科罗拉多河上建有 8 座主要的堤坝，水库不仅为农业和城市提供了大量的水源，而且水分会蒸发到干燥的沙漠空气中（图 2.16）。当科罗拉多

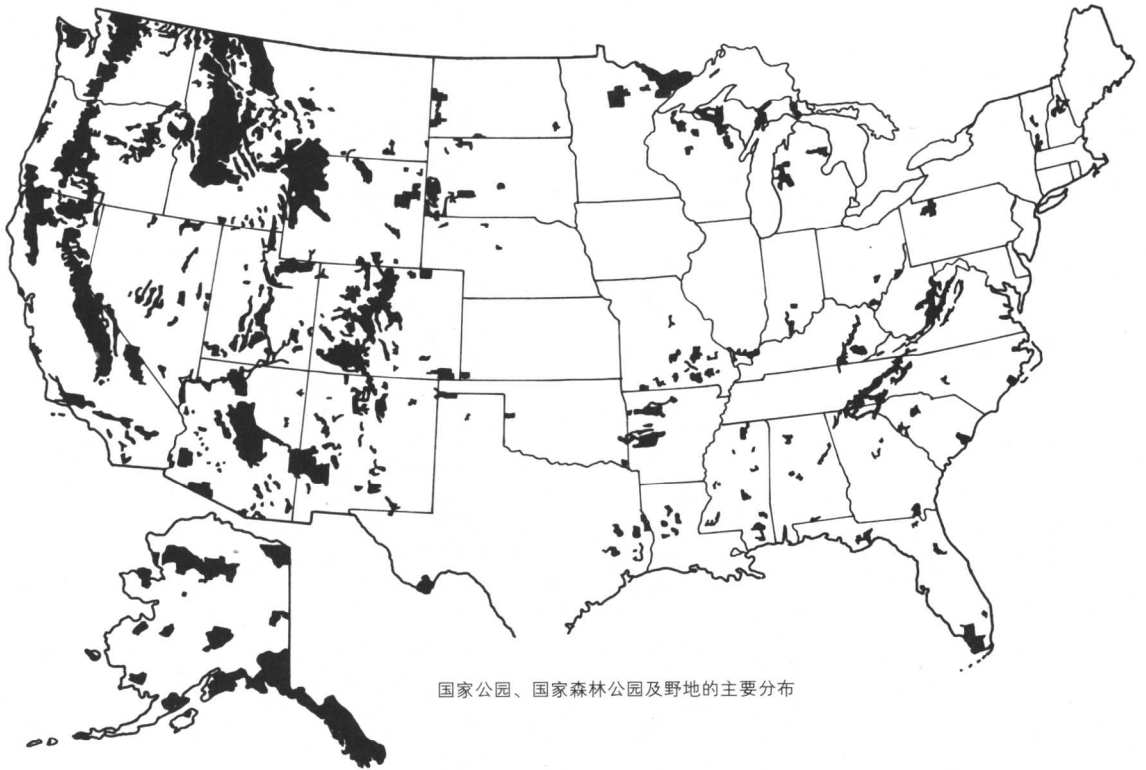


图 2.17 美国国家公园、国家森林公园及野地分布图。在加拿大，国家的大部分土地都属于公共地

河到达墨西哥边界的时候，水量已经所剩无几。

落基山地区的定居点很少，区内也没有大城市（丹佛、盐湖城和卡尔加里位于该区的边界上）。大部分的土地是公有的。加拿大和美国境内的各州都预留出广阔的地区，作为国家公园、国家纪念地与国家森林（图2.17）。该区及其以西地区的景观规划和管理活动越来越多地涉及矿山投资人、牧场主、保护主义者等利用政府土地方面的竞争。国家森林与其他的联邦土地对放牧、采矿是开放的；这两者在西部大部分地区都是争论的来源，因为它们会对牧场的生态状况和河流的水质产生影响。

土地利用

2.8 山间区域

在落基山南部亚区和太平洋山脉地区西部之间坐落着一处被抬升的高原和间距宽阔的山脉。山间区域（Intermontane Region）包括两片主要的高原：海拔6500英尺左右、由沉积岩构成的科罗拉多高原（Colorado）和海拔5000英尺左右、由玄武岩构成的哥伦比亚高原（Columbia）。除此之外，盆地-山脉亚区（Basin and Range Province）是该区的另一组成部分，约占总面积的一半，北起

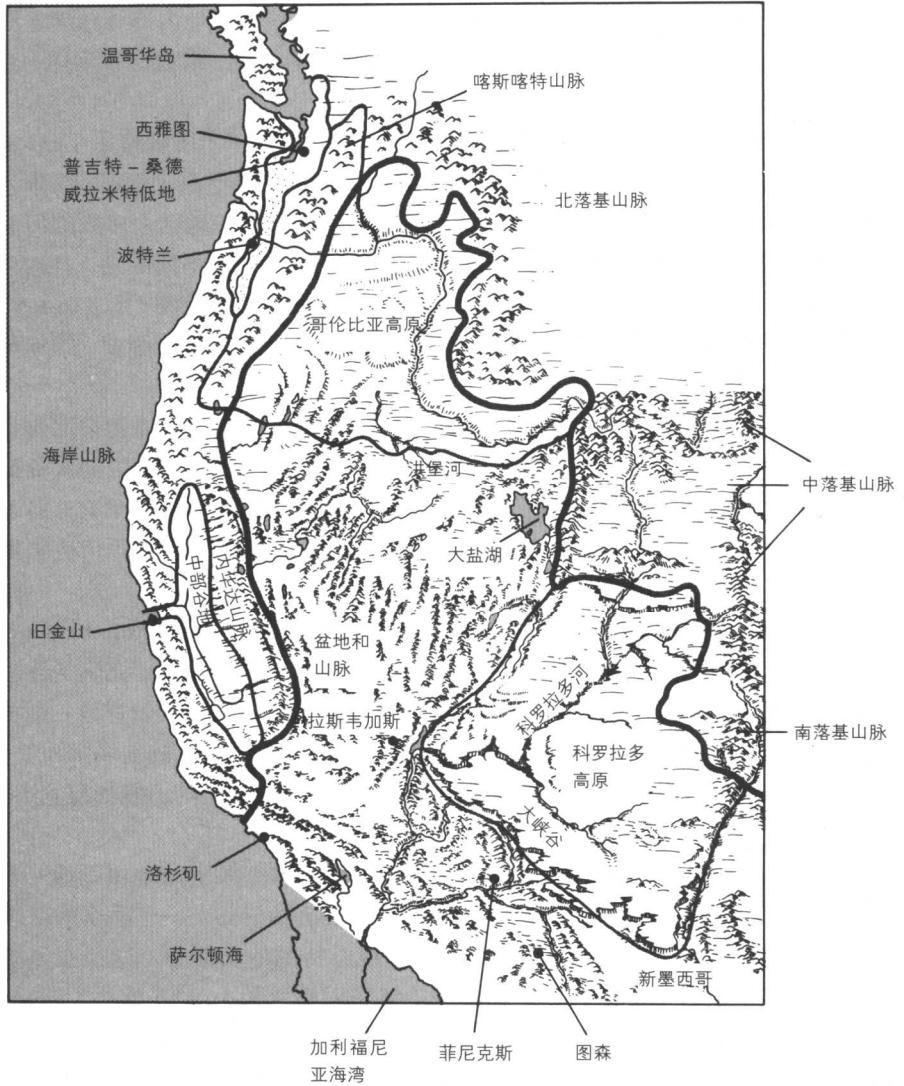


图 2.18 山间区域及亚区全貌以及太平洋山地系统的南部地区

哥伦比亚高原，东南至里奥格兰德峡谷（图 2.18）。

地形

盆地 - 山脉亚区 (Basin and Range) (又称大盆地) 以南北走向的不连续山脉为特征。这些山脉由各种岩性巨石的断裂、倾斜而形成，长 50-70 英里，宽 10-25 英里，海拔高度通常在 7000-10000 英尺。山脉之间的盆地面积广袤，被附近山体风化形成的沉积岩所覆盖(厚达数千英尺)。除了亚区南部的地势较低外，盆地底部的海拔高度一般都是 3000-5000 英尺 (图 2.18)。

气候和土壤

盆地 - 山脉亚区十分干旱 (年降雨量不足 10 英寸)，只有山脉的顶部有足够的降雨和降雪产生径流。部分径流在冬春季节能顺着山坡到达盆地的底面，在那里被截流、蒸发形成被称作“沙漠盆地”的干湖床。当然，地表径流会携带沉积物顺坡而下，随着水流减弱，它们沉淀下来，形成该区域最具特色的地

形特征——冲积扇。谷底的土壤属于旱成土系列，在沙漠盆地内部和四周土壤的盐分很高。与之相比，冲积扇上的土壤盐度明显低很多，组成比较多样，大多属于新成土系列（详见图 5.5）。

盆地 - 山脉亚区的北部是美国和加拿大境内惟一的一个闭合排水（*closed drainage*）区，没有一处入海口。这一地区最大的河流是洪堡河，发源于内华达的东北部，汇入美国西部的沙漠盆地中。除洪堡河外，这一地区大多数的河流都很短，仅仅流淌出数英里就消失在当地的盆地中了。与之不同的是，盆地和山脉亚区南部的排水区域是开放的，由科罗拉多河及其支流控制（图 2.16）。科罗拉多河下游的山谷是北美最干旱的地区之一，那里水库（如米德湖）的年蒸发量超过了 100 英寸。

排水

在过去的几十年间，山间地区南部的人口激增，主要集中在亚利桑那州和内华达州南部。结果导致农业和城市同时发展，对这一干旱地区有限的水资源产生了巨大的需求。有些地区地下含水层迅速枯竭，亚利桑那已经被迫求助于科罗拉多河供给的引水渠系统来为城市与农田输送水。另外，洛杉矶市也利用科罗拉多河水作为水源的一部分。

土地利用

位于落基山脉和盆地 - 山脉亚区之间的科罗拉多高原（*Colorado Plateau*）是美国真正知名的自然地理亚区之一。这是一片沟壑纵横的地区，充满了五彩缤纷的景观，积淀了美洲土著的历史，是美洲早期大峡谷地形的发祥地。科罗拉多高原是沉积岩构成的平坦高地，有大面积的火山岩和广阔的地表沉积物。高原的平均海拔高度是 5000-6000 英尺，但一些位于高原之内的山峰如亨利山，海拔高度达到了 11000 英尺。

峡谷地带

科罗拉多河及其支流穿过高原的中央，切割出沟壑纵横的地貌系统（图 2.18）。它竖向侵蚀最深的地方——大峡谷（*Grand Canyon*）——垂直落差达到 4000 至 5000 英尺，两岸的峡壁暴露，形成奇特的地质断面。这个亚区里地质地形景象因为干旱的气候更加鲜明（年降雨量通常小于 15 英寸），因此在高原上大部分地区，植被仅仅限于沙漠灌丛〔主要是木榴油灌丛（*creosote shrub*）、豆科灌木〕和丛生禾草。在海拔较高的地方才能生长树木，约 7500 英尺以上出现松林。

2.9 太平洋山脉地区

太平洋山脉地区（*Pacific Mountain System*）是一片位于北美洲太平洋沿岸由许多巨大山系构成的复杂地区（图 2.2）。它包括了几乎任何可以想像出来的地质构造和山体类型，由于坐落在北美构造板块西部边缘主要的断裂带上或附近，它也是整个北美大陆地质最活跃的区域。地震十分平常，喀斯喀特山脉（1980 年圣海伦山的火山爆发）、阿拉斯加半岛和阿留申群岛是北美火山活动最频繁的地区。

该地区由 8 个自然地理亚区组成，共同形成了一条宽度为 200-400 英里的条带，从墨西哥边界一直延伸到阿留申群岛尽端接近俄罗斯边界的地方。相对突出的山脉包括不列颠哥伦比亚省和阿拉斯加州的海岸山系（*Coast Mountains*）、加利福尼亚州的内华达山脉（*Sierra Nevada*）、华盛顿州和俄勒冈州的喀斯喀

山脉及其类型

特山脉 (Cascades) 和海岸山脉 (Coast Ranges), 以及阿拉斯加南部的阿拉斯加山脉 (Alaskan Range)。海岸山系和内华达山脉绝大部分由坚硬的花岗岩构成, 而喀斯喀特山脉基本上是火山熔岩的松散堆积物(可侵蚀)。加利福尼亚州和俄勒冈州的海岸山系主要是变形的沉积岩, 山脊和峡谷平行海岸线依次排开。该区的最北端是阿拉斯加山系, 是一些由褶皱、断裂和火山活动作用形成的复杂山体, 并且是北美最高的山脉, 许多山峰的海拔高度超过了15000英尺。阿拉斯加山脉的西南侧是阿拉斯加半岛和阿留申群岛, 形成一条火山链。

沿海的地形

与大西洋沿岸不同的是, 太平洋海岸没有沿岸平原。在大部分地方山脉或者山麓直接深入海洋, 海浪侵蚀出崎岖而独特的岸线。由于古老海平面的变迁和地壳抬升运动, 海岸线呈现阶梯状特征。此外, 海岸线还常常被溪流切断, 它们冲刷出的狭长谷地一直延伸到岸边。有沙丘的沙质海滩出现在海湾地区, 接近河流入海口。沿岸地带可达性差, 另外由于坡度稳定性差、适宜建设用地有限和生态环境较为破碎化, 因此这里的开发也极具风险。

地震活动

地震威胁着整个太平洋沿岸山脉地区。该区断裂带纵横交错, 其中许多在历史上经常活动。其中, 地质活动最频繁的地区位于加利福尼亚州和阿拉斯加州。两者中最危险的又当数加利福尼亚州, 尤其是加州旧金山湾以南, 不仅因为那里有明显的断裂带体系(如圣安德里亚), 而且因为断裂带周围有密集的城市开发。这个区域内的加州城市和郊区人口共计2000万。近来在洛杉矶和旧金山的轻度地震, 预示着这个区域真正的大地震将造成的破坏。

主要的低地

太平洋山脉地区有两处主要的低地。其中较大的一处是加州中央山谷 (Central Valley of California), 位于内华达山脉和海岸山脉之间 (图 2.18); 另一个是普吉特-桑德威拉米特山谷低地 (Puget Sound - Willamette Valley lowland), 位于海岸山脉和俄勒冈州、华盛顿州和不列颠哥伦比亚省的喀斯喀特山脉之间。两处低地都覆盖着数百万年来从周围山脉冲刷而来的沉积物, 并且都是位于低地轴线、南北走向的排水系统的中心。太平洋沿岸西北部最大的三座城市——波特兰、西雅图和温哥华——就位于普吉特-桑德威拉米特山谷低地内部。

生物地理特征

太平洋山脉地区的气候、植被和土壤同它的地质地形特征一样丰富多样。在阿拉斯加和加拿大, 海岸山脉的雨量丰沛——年降水超过100英寸, 在海拔高于6500英尺的地方孕育着巨大的冰川, 而海拔高度较低的地方则分布有铁杉、云杉和雪松组成的针叶林。针叶林顺着海岸向南延伸到华盛顿州和俄勒冈州, 那里沿岸的主要树种是花旗松; 再沿海岸到达加州北部时, 参天的红杉成为森林的主角。降雨量沿加州海岸急剧减少, 在旧金山与洛杉矶之间, 年降雨量减少至20英寸, 红杉林又被一种名为沙巴拉 (chaparral) 的矮小森林所替代。再进一步向南, 到加州的最南部和墨西哥的加利福尼亚半岛 (Baja California of Mexico), 沙巴拉又让位于丛生禾草和沙漠灌丛 (图 2.19)。

农业和林业

在加州, 亚热带的气候条件和山溪提供的水源造就了世界上最丰富多产的农业区。谷物、蔬菜、葡萄和水果在加州南部三分之二的地区茂盛地生长, 多数受益于灌溉。传统上, 林木工业在圣弗朗西斯科和阿拉斯加走廊地带之间很兴旺。在这一地区, 就如在落基山脉一样, 公有的森林和公园在美国和加拿大

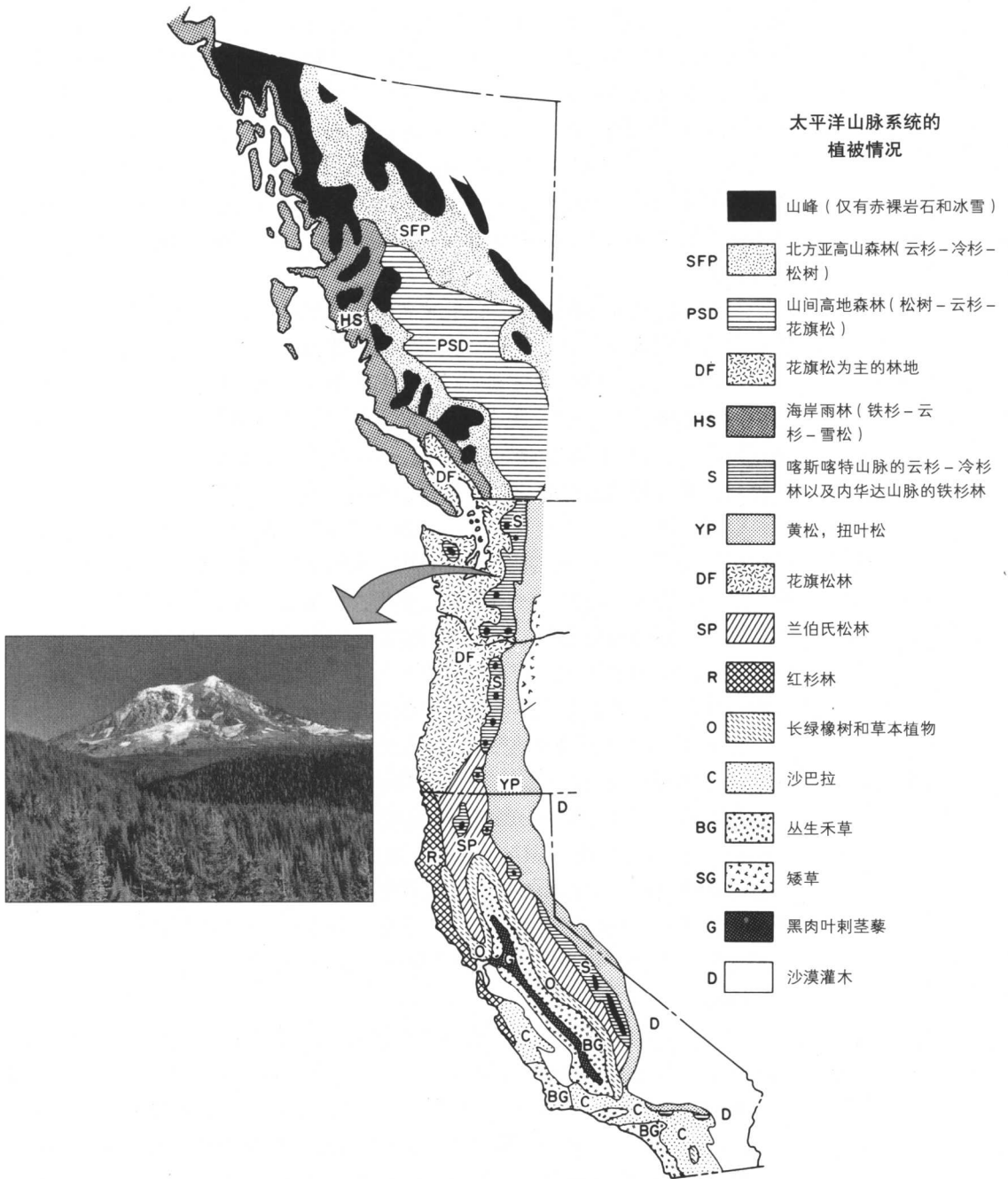


图 2.19 太平洋山脉地区植被分布图 (从不列颠哥伦比亚省一直向南到达墨西哥边界)。左边照片为层瀑山脉 (the Cascade Mountains) 典型景观

境内都占据了大片的土地。在美国,存留的原生森林不足10%,为控制这些森林,伐木者、环境保护主义者和联邦政府之间常常会产生争端。在太平洋地区的其他地方,加拿大南部,木材产于次生森林中。

太平洋山脉地区存在大量的环境规划和管理问题。如画的风光、宜人的气候吸引了大量的定居者,人口在多数地区不断增长。目前,加州人口已突破3300万,超过加拿大全国人口数量。事实上在各类地理尺度上,增长的人口和扩张

环境问题

的土地利用方式伴随着多样化的活跃环境,导致了各种各样的环境问题。严重的大气污染、短缺的水供应、土地稳定性和栖息地丧失等已成为加州急待解决的环境问题,与其他各州相比,加州注册的珍稀物种和濒危物种也更多。然而在太平洋沿岸西北部,包括不列颠哥伦比亚省的温哥华地区,仍在快速发展着森林管理、城市扩张、海岸开发和一系列的污染问题。

在这些地区,一个最令人担忧的问题是大马哈鱼数量的急剧下降。在过去的二十年间,大多数流域损失了大部分的返回鱼群,有些已经降低到不能再繁衍的程度。下降的原因与许多因素有关。最主要的是流域的变化(包括水质的下降、鱼类迁徙障碍的增多)以及过度的捕捞。此外,气候的变化和捕食行为的增加也是其部分原因。

2.10 育空地区以及北冰洋沿岸地区

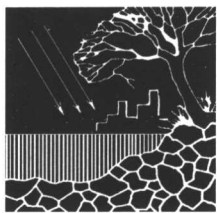
育空盆地 布鲁克斯山脉横亘在阿拉斯加北坡南部(它的东端在加拿大,被称作不列颠山脉),是一座东西走向的低山。育空盆地(Yukon Basin)位于布鲁克斯山脉以南,占据了阿拉斯加州的大片腹地以及育空地区附近的部分土地(图2.2)。育空河汇集了该盆地的积水,向西流入白令海。费尔班克斯——阿拉斯加州中部主要的城市,位于育空盆地的中心附近。永冻土带出现在育空盆地的大部分区域,但分布并不连续,并且厚度在各个地段的差异很大。育空盆地南部地区以北方针叶林为主,但向北逐渐变得稀疏,最终被苔原取代。缺少树木的苔原沿北冰洋海岸延伸开来并覆盖了整个海岸地带。

北冰洋沿岸平原 北冰洋沿岸平原(Arctic Coastal Plain)在地形上同美国南部沿岸的平原较为类似。然而有所不同的是,北冰洋沿岸平原更为狭窄、孤立,并且气候严寒,终年被冰海封闭。阿拉斯加北坡是北冰洋沿岸平原的一部分,就如麦肯齐河三角洲(就在加拿大和阿拉斯加边界以东)和加拿大北部岛屿边缘的平原那样,现在因其石油储量而闻名世界。事实上整个北冰洋沿岸平原下面都是永久冻土,在部分区域还一直延伸到北冰洋的浅海中。

最后的疆界 气候、永久冻土和生态环境是该区域规划应着重考虑的首要因素。不足60天的生长期使得农业生产无法开展,由于永久冻土对基础设施造成的严重破坏,永冻土带制约了该区域大部分地区的发展。苔原带作为大陆上最后一块巨大的野生保护地,在环境保护主义者看来应给予最高的优先度,以从长远上保护它的生态系统。类似这样同经济发展目标和计划的冲突还将在数十年内持续下去。

2.11 推荐阅读文献

- Atwood, W. W. *The Physiographic Provinces of North America*. Boston: Ginn, 1940.
- Bird, J. B. *The Natural Landscape of Canada*. Hoboken, NJ: Wiley, 1972.
- Birdsall, S. S., and Flovin, J. W. *Regional Landscapes of the United States and Canada*. Hoboken, NJ: Wiley, 1985.
- Bowman, Isaiah. *Forest Physiography*. Hoboken, NJ: Wiley, 1909.
- Chapman, L. J., and Putnum, D. F. *The Physiography of Southern Ontario* (3rd ed.). Ontario: Ministry of Natural Resources, 1984.
- Conzen, M. P. (ed). *The Making of the American Landscape*. Boston: Unwin Hyman, 1990.
- Fenneman, N. M., and Johnson, D. W. *Physical Divisions of the United States* (U.S. Geological Survey Map). Washington, DC U.S. Government Printing Office, 1946.
- Hunt, C. B. *Natural Regions of the United States and Canada*. San Francisco: Freeman, 1974.
- King, P. B. *The Evolution of North America*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1959.
- Leighly, John (ed.). *Land and Life: A Selection from the Writings of Carl Ortwin Sauer*. Berkeley: University of California Press, 1963.
- Paterson, J. N. *North America: A Geography of the United States and Canada*. New York: Oxford University Press, 1989.
- Pirkle, E. C., and Yoho, W. H. *Natural Landscapes of the United States* (4th ed.). Dubuque, IA: Kendall, 1985.
- Thornbury, W. D. *Regional Geomorphology of the United States*. Hoboken, NJ: Wiley, 1965.



第3章 规划中的 景观形式和功能

- 3.1 简介
- 3.2 景观的基本过程
- 3.3 景观变化的特征
- 3.4 有条件稳定的概念
- 3.5 对场地的看法
- 3.6 场地的空间维度
- 3.7 场地规划的环境数据源
- 3.8 景观的理论视角
- 3.9 推荐阅读文献

3.1 简介

很明显,目前我们已经在景观这个问题上陷入了窘境。在北美,很少有地方可以达到土地利用活动、基础设施以及环境之间的长久而持续的平衡。造成这种情况的部分原因与现代城市生活发展的方向有关。对于过去的一、二代人来说,他们通常已经丧失了与土地之间的密切联系,而且丧失了最传统的景观知识。规划土地的用途和管理地方景观现在已不再是个人和家庭的传统与责任。从相当大程度上来讲,它已转移到第二和第三方的手中,而且已经转化为政府性的工作步骤,包括列出清单和检查项目、发放许可等。而事实上,所有这些过程不要求对景观本质特性有多少理解。

只有了解了土地是如何发挥作用、变化,以及它是如何与生活在土地上的生物相互作用的,我们才能真正发掘到景观的本质。其中最为重要的一点是,景观是动态变化的,其形式和特点都处于不断变化之中。变化是为过程的规律所驱使的,这些过程包括暴风雨、地面径流、火、土地利用、土壤形成和植物生长等等。这些过程从古至今一直在塑造着景观。事实日益显著地表明,成功的景观规划不仅要更加关注形态和特征,也要更加关注这些过程本身以及驱动这些过程发生的系统。

3.2 景观的基本过程

关于景观存在着诸多误解,其中较为普遍的就是认为景观是由各种特征(特别是自然特征——那些早在数百万年前由于各种地质作用以及自然过程所形成的特征)构建而成。对于地貌和土壤这些地质年代的产物而言,这种观点尤为普遍。因此任何试图理解它们的起源和发展过程的做法都需要有古年代学和自然事件的专业知识。不过,对于大多数景观而言,这种观点或许是不适用的。

基本而言,我们今天所见的地方景观都是各种过程的产物,而这些过程此时此刻正在对景观的形式和特征产生着影响。这种观点非常重要,因为它揭示了用当代的各种环境作用来理解景观的可能性。打一个医学比方来说,我们知道身体是长时期生物进化的结果,同时我们也知道身体里每个器官的大小、形状和组成成分都与它的功能相关。正如人体中的器官一样,景观中的形式和功能也有着密切联系。就像一个聪明的医生能够根据器官的状态和组成来判断其基本的功能(生理)问题一样,一个有见解的景观研究者也可以根据观测到的地形、土壤、排水特征、植被等的变化,来解读土地功能特征的变化。

此时此地的景观

那么,什么是影响景观发展的基本过程呢?它们包括波浪、风、冰川和地表径流。不过毋庸置疑的是:水的作用是最为重要的因素。水的作用包括了各种各样的被降水直接或间接供给的径流形式,包括地表径流、河川径流、土壤水分和地下水。由水流作用所引起的物质流失量超过了其他作用的总和,即便在干旱的环境中,情况也是如此。因此,我们可以说今天我们所见到大多数景观主要是由水的磨蚀、沉积或其他作用造就的(图3.1)。当然,冰川

形成的过程

环境和沙漠中的地形不包括在内,但它们当中的很多地表形态也受到水流作用的很大影响。

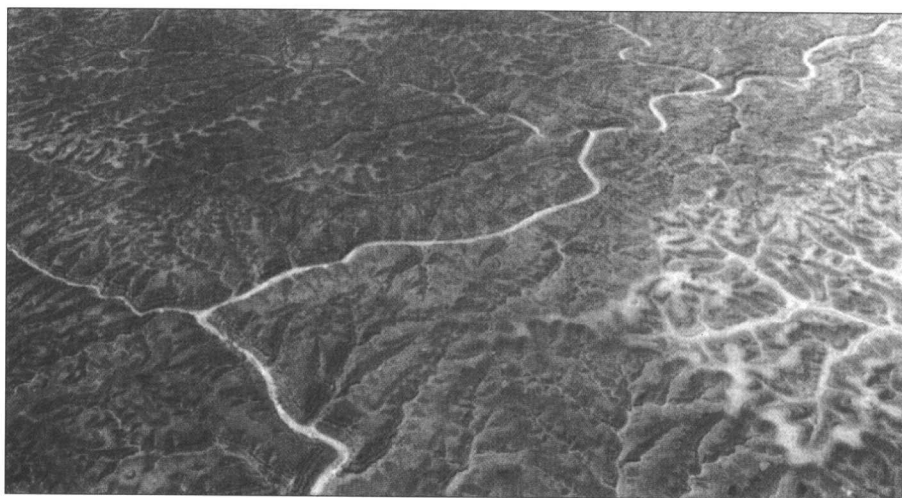


图 3.1 由水冲刷形成的景观。地表径流是塑造大部分地表景观（特别是地形、土壤和栖息地的形成）的最有效的自然力量

景观区分

各种自然地理地带和栖息地的地域区分始于风化和水流塑造的地形。一旦地形形成,就出现了不同湿度的环境如潮湿的谷底、中湿的(中间的)山坡和干燥的山脊。从而形成不同的植物栖息地,也正是湿度条件、植物和地面沉积物的联合作用产生了土壤。既然如此,如果我们要寻找景观中的基本序列,那么从地形和排水着手是比较明智的做法。在大多数实例中,一旦地形和水系的基本体系形成(图 3.2),景观中的其他组分如植被、土壤和栖息地等就开始形成。更进一步地说,这个原理适合于从微地形到宏观的巨大地表系统的不同空间尺度。

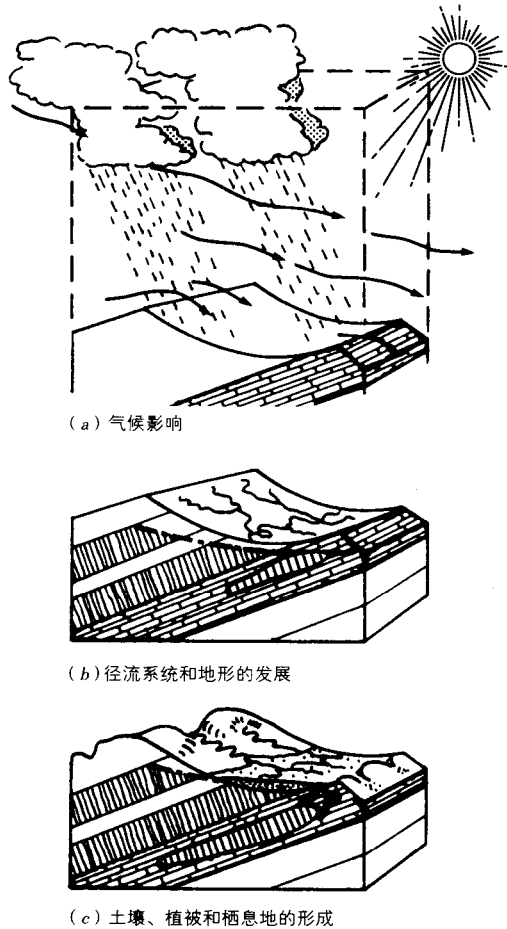


图 3.2 这个示意图显示的是一种景观的发育过程。(a) 气候影响；(b) 径流和地形变化，导致 (c) 土壤、植被和栖息地的产生

如果我们赞同景观表达着一种基本的形式 - 功能(或者形式 - 过程)关系, 那么我们就应该能够从我们所看到的各种形式推断出许多的作用过程。这种原理是地形分析和环境评价的一个重要部分, 因为我们很少有时间和财力在规划项目中做一些科学的调查。也就是说, 我们通常不能开展研究来获得第一手的资料用于分析过程及其对景观的作用。因此, 我们就必须学会通过从现场、地图、影像上观测到的形式和特点来判别出土地的形成过程。

形式 - 功能的
概念

形式 - 功能原理也揭示出: 任何可能改变景观形态的土地利用规划和工程设计, 例如填方与挖方、平整土地以及植被条件的改变都必须遵循对景观产生作用的各种过程。假定某种平衡(比如在土壤、流失率、坡度和植被覆盖之间)存在于斜坡之中, 这时如果改变了其中的一个组分而其他三个没有做相应的变化, 就会导致失衡。斜坡或许就开始受到侵蚀, 沉积物可能就会增加, 而植被也许就会衰退。在任何实例中, 在土地利用需求所带来的自然状态的变化面前, 要想保持景观中的平衡都是比较困难的问题, 我们与其视土地为静止的舞台背景, 还不如把它看成是动态的游戏盘。通常来讲, 在景观规划时, 我们的目标

需要平衡

应该用一种能够维持景观过程及系统长期良好运行的方式去引导这一变化,也就是说,引导产生一种可持续的景观变化。

3.3 景观变化的特征

关于自然界中变化的特征是科学上的一个古老的争论。自然是像传统的进化学家们所说的是经过漫长的历史时期逐渐变化形成的,还是像地球学家们所认为的在短时间内发生的巨变?在某种程度上两种观点都是正确的,但是对于景观中的较大要素如河道、山坡和土地利用,第二种说法则更为适用。

事件及其影响

景观的基本过程以非常不均匀的速度进行着,作用的频率时高时低。每一种作用的变化例如水流或者风的变化都可以称为一个事件。每个事件都可以根据其幅度(也就是通常所说的大小)进行度量,比如暴风雨带来的河流的流量或者风速。一个带来巨大洪水的径流可以说是个高幅度的事件,它能比小的中等幅度的事件给环境带来更大的影响。

对于理解景观变化非常重要的一点就是:一个事件对于环境所造成的影响随着它的强度的增加成几何倍数地增长。如果我们想要准确预测由于风、水流或其他自然现象所带来的变化,我们必须清楚这一点,例如一个事件的强度增加了3倍,从第二级别增大到第六级别,那么它所带来的影响将增加25倍。这就是指数关系,即力量是事件幅度的指数函数。

幅度和频率的
原理

如果我们研究景观事件中幅度和频率的关系,我们会发现不管包含什么作用(如河流、风暴、降雨、火灾、地震、降雪、土壤流失、车祸或者流行病),其模式都基本相同。小型事件的数量最多,中型事件和大型事件的数量依次减少。真正意义上能导致极大变化的巨型事件确实是非常罕见的。事实证明,在长期运作中起最大作用的不是巨型事件(因为它们发生的频率太低),也不是高频率事件(因为它们即使加在一起也微不足道),而是那些以较低频率出现的较大事件。对于溪流而言,流水漫至堤顶和出现中等强度洪水的事件一年发生一次,或许两年发生一次,甚至以更低的频率出现。

确定成形的过程

为规划而进行的景观分析有一个固有的缺陷,那就是通常我们没有机会观察到或者测量到那些真正使景观成形的事件。因为像水文和大气这类作用过程(诸如高强度的雷暴雨、洪水或大量的降雪),其持续时间从一两个小时到几天不等,而发生频度为每一两年一次。在现场访问时我们通常所遇到的是一些好天气,而这些事件对景观的形成却几乎起不到什么作用。因此,如果我们没有认真对待,我们就有可能会产生很多错误的推断,可能会误解场地的运行机制,它的特征的形成,以及事物之间的联系等。而且还有可能会导致我们断定那些碰巧观察到的作用就是真正的基本作用;或者认为我们今日所见之景观早已形成,而那些如今运作在那里的作用与这些景观的形成则毫无关系。很显然,这两种结论都是错误的。

形式-功能关系

那么我们如何避免走入对景观产生误解的陷阱呢?答案在于了解形式-功能关系。当我们描述景观的形式和特点时,我们实质上是在观察景观形成过程的痕迹(图3.3)。通过正确的现场调研,我们就可以推断出何种作用在何种程度上创造、形成或者影响了景观的各种特点,以及何种作用和事件对现存的和

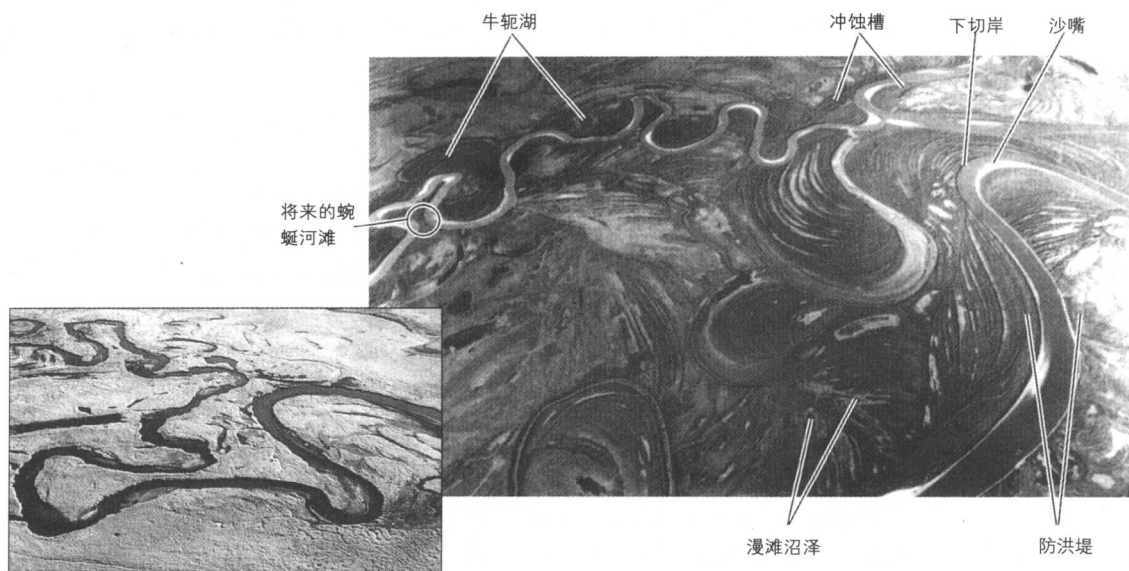


图3.3 密西西比河河漫滩的一部分。图中的景观（形式和特征）显示了河流的成形过程对地表的塑造。插入的左图显示了新水道的形成过程——弯曲处河水不断切割堤岸导致新水道的产生

将来的土地利用及设施都会有影响。

河谷和水道为该方法提供了最好的例证。研究表明，水道主要形成于每年发生几次或者更少次数的较大径流。这些径流可以是洪水或是可填满河道并溢出适度水量的水流。这种水流能够冲刷河床，不断侵蚀河岸，并导致水道发生如图3.3所演示的横向变化。于是河岸植被受到破坏，在水流高出河岸的地方，败落的树叶覆盖在灌木或者乔木的枝干之上，标示着水位。所有这些，都可以充当水流的深度和范围的指示物，显示出能量分布和流水造成的结果。它们揭示出水道和山谷是高度动态的环境，而且这类有影响力的事件既是破坏性的也是建设性的——它们对于环境规划和管理来讲是非常重要的信息。

3.4 有条件稳定的概念

景观的稳定与否不仅取决于施加于其上的各种作用力，还取决于其本身的抵抗力。抵抗力即维持景观完整性的力量，如防止土壤被冲走、斜坡滑落、树木倾倒的作用力。在这些抵抗力中（包括重力、化学粘合介质和植被），活的植物在其生长地的水土保持方面效果最明显。

在大多数自然景观中，平衡状态存在于水、风、人和其他作用的推动力和抵抗力之间。只有当这种平衡被打破时——通常都是因为一个强有力的事件超过了抵抗力的强度，景观就会出现巨大的改变，如大量的水土流失和滑坡事件。

关键性平衡

不过大多数景观是可以抵抗崩溃的,除非出现那些最强的事件。然而在一些地方,稳定由一种微妙的平衡所维持,这种平衡以环境中的特殊成分作为条件。例如在陡坡上将土壤固定在一起的树根就起这种特殊成分的作用,它在景观中就充当维持稳定的中枢。如果这个中枢被削弱或剥夺,那么即使受到中等强度事件的冲击,景观也会彻底地土崩瓦解。

条件稳定性原理

认识到这种有条件的状态对于景观规划是很重要的,因为土地利用带来的变化必须加以引导,以免拔掉中枢、触发连锁性的破坏。因此,在论证一个规划项目的现场时,确认对景观全局稳定起关键作用的特征是非常重要的,而这些特征可能不是在大小或覆盖度上最为明显的特征。在这些有条件稳定或者暂时稳定的特征之中,通常较为显著的有:悬崖、树木覆盖的斜坡、有植被的沙丘、侵蚀沉淀物组成的河岸、某些湿地和地下水渗出处带。

作为实例,让我们用一个处于海岸环境中且被树木覆盖的沙地斜坡为例来说明一下条件稳定性原理。在无植被的状态下,沙地斜坡(例如波浪侵蚀的海岸或者沙丘的一面)能够成不大于 33° 的坡度。当有木本植被特别是乔木植物覆盖斜坡时,由于根系或者茎干能将沙子固定为一个稳定的斜坡,这个角度可以达到 $45^\circ - 50^\circ$ 。这种木本植被覆盖的斜坡常在海岸环境中出现,同时沙子不断地被风或者地表径流加到斜坡之上。由修建公路、步行道、构筑物或者伐木取材所导致的植被更换或移除都会导致斜坡坍塌、侵蚀,而且其他许多与有条件稳定的斜坡相关的问题也会随之出现(图3.4)。

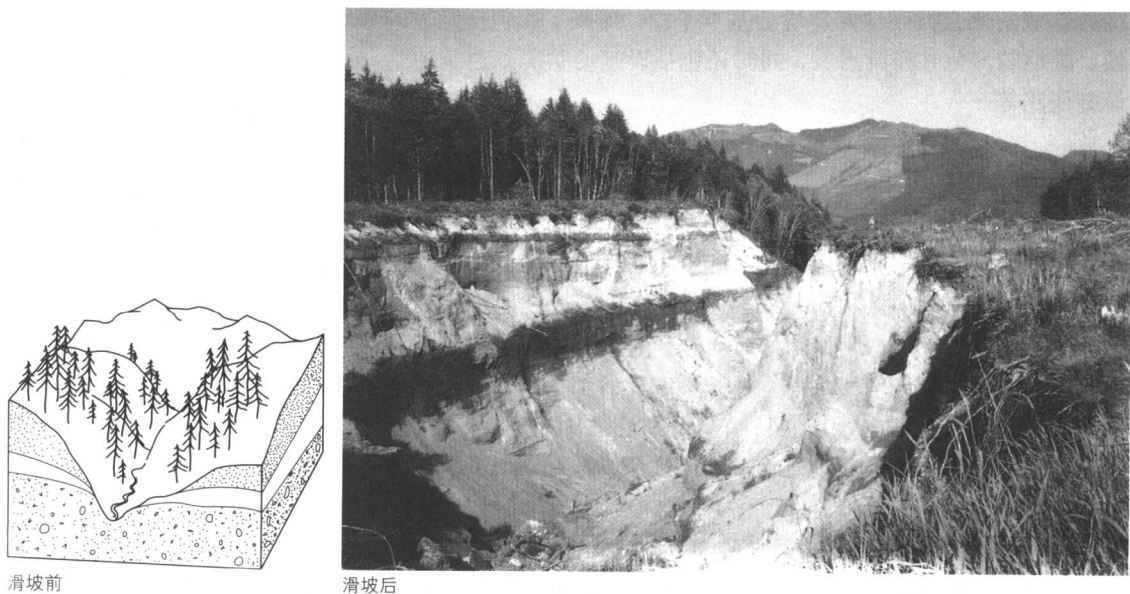


图3.4 显示了在美洲西北部地区,原有森林覆盖的地形由于植被被砍伐而导致的滑坡现象。这些坡体虽然不是沙丘坡体,但是当它们上面的植被被破坏以及为满足木材运输需要而在脆弱的材质上修建道路后,也同样表现了不稳定的趋势

3.5 对场地的看法

环境规划中的项目和难题总是会牵涉景观中的一片被称为场地或者项目区的空间。它在大小上可从1英亩到数千英亩。它在形状上一般都是一些直线围合的外形，这是绘图系统和测量员坐标线的产物。作为一个物理实体，现场之所以有意义主要在于它是一块不动产，它的价值主要受到大小和区位的影响。在土地规划中，它就是一处场地，人们为它确定用途，或者制定计划，接着相应的建设会在其中进行。

作为不动产的
场地

然而，从环境及其功能的角度来看，场地就像通常定义的那样具有局限性，不能用来划定规划和设计的环境分析范围。这是因为场地空间的界定跟环境的运作没有什么关系，即是说，场地只是经过各种过程和系统的作用而形成的景观的一部分。例如，空气、水和有机物在空间中的移动及其格局与场界定空间的相关甚微或者无关。因此，当我们着手处理与场地相关的规划问题时，我们也必须涉及许多其他的环境空间，因为它们最终也与我们指定的那块不动产相联系。

作为环境的场地

尽管我们通常将场地视作一个被地表和相邻水域外貌所界定的二维平面，可实际上它是三维的。高度及深度作为第三维将场地向上延伸至大气，向下一直到地面。一般来说，大气和地下现象与地面现象相比，在规划中通常是次要的考虑对象。然而，地下水污染、空气质量和气候变化等问题越来越需要我们的认真对待。

三维场地

另外，我们还必须认识到的是，大气和地下部分通常是产生许多地表过程的源区，例如，地下水是河流的水源，而太阳辐射是地面的热源。这些动力作用的变化直接或间接地影响到陆地过程如流失、侵蚀、蒸发和光合作用，而紧接着这些变化会打破地面环境的基本平衡，这些平衡包括斜坡的稳定、地表气候、湿地的演化、河流水域，同时还包括设施的状况如建筑地基、路基和公用设施线路等。

3.6 场地的空间维度

我们通常习惯根据场地的形状和特点，以及场地间的空间联系来描述它们。但是，场地也可以根据其动态来描述，即根据形成场地形状和特点的过程来描述。除了流水、降雨、风和动物活动外，这些过程还包括各种土地利用活动及其副产品，如噪声和空气污染。每种景观过程都是某个流动系统的一部分，并且常常可以根据其方向、速度、规模和作用力来描述。

动态空间中的
场地

假设我们位于一个场地之中，无论这个场地处于何处，你都可以想像出你正处于几个流动系统的交点上。而且，这些系统分别占据了不同的水平或空间层，位于地表或其上方、下方。每个流动系统常常起源于场地以外的某个地方，并且在穿过场地后移向别处。当它移经场地时，由于和场地的各种形式和特征相互作用，因此在某种程度上不可避免地会发生改变（图3.5）。

空气占据了场地的上部平面或者上层。因为大多数的风都是被区域尺度的作用力所驱动，即源于气团之间的压力差，这样看来，气流一般都起源于远离

上层

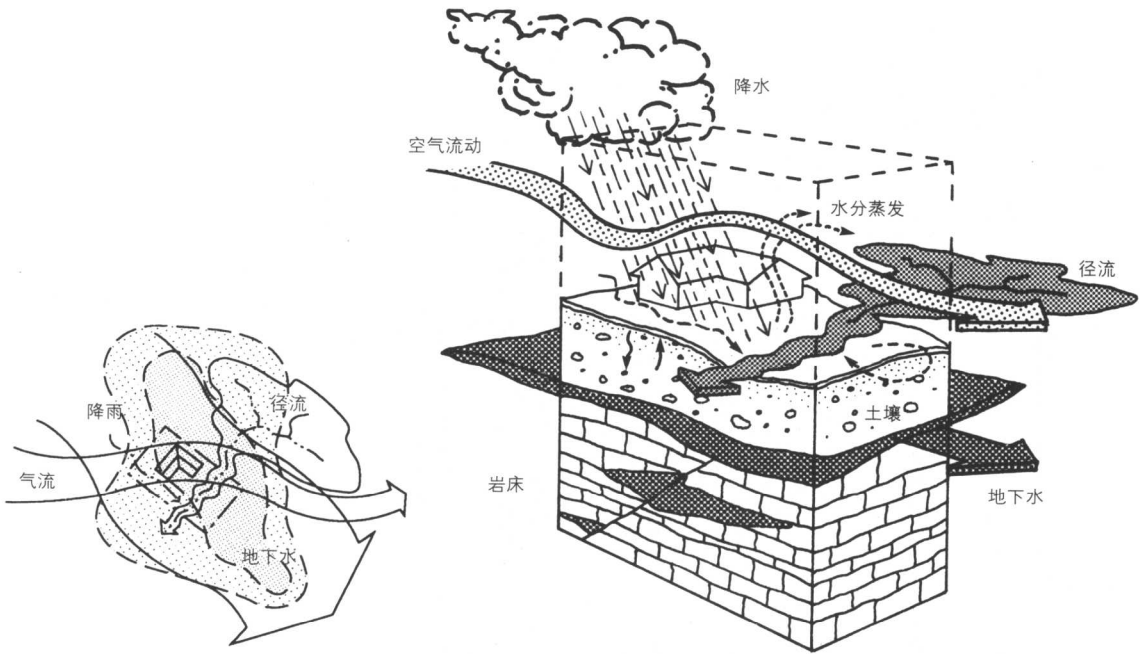


图3.5 规划场地中出现的一些相互交织的重要系统，都表现为流的形式：地表径流、降水、水分蒸发、地下水和空气

场地之外的地方。空气在地面上的运动可以用被称作大气边界层的一个流动层来描述。该层约有1000英尺厚，由于受到较大气团总运动的动力作用而沿地球表面移动。当它滑经地面时，因为受到地面的摩擦阻力，较低处的气流就会慢下来。这样，地面的风速往往会比地上25-50英尺处低得多（图3.6）。

风速与距地面高度的变化情况，可以用被称为标准风速分布图（normal wind velocity profile）的标准曲线来描述。该曲线表明，边界层下部100英尺的风速变化最大，同时，大多数规划设计活动的焦点也都集中于此。与上层大气交换热量、湿气和污染物的过程也出现在该区域，而且气流越快交换的速率也越大。这说明加高工厂和电厂的排气烟囱，可以作为减少污染物在当地地面附近富集的一种途径。

中层

该模型的中层是景观本身，它的范围从植被的冠顶或构筑物顶端一直到根系、建筑物和市政系统的下界（图3.6）。这一层无疑是景观中最为活跃的一层，在这一层有着大量进行复杂运动和交换的流。尽管多数运动是水平的，有些却是垂直的。比如水，作为一个主导因素，它就是随降水而垂直传递，然后随径流过程水平移动。径流在通过地表时，依据斜坡、土壤和植被状况，可呈现出多种流动形式。它可以是细流，其速度低到每秒0.1英尺；也可以是速度达到每秒6英尺的湍急水流。

在场地规划中，就水质和水量而言，径流是最应该受到认真考虑的问题。通常来讲，任何形式的场地开发都会导致雨水流增加而水质下降。既然现场只是

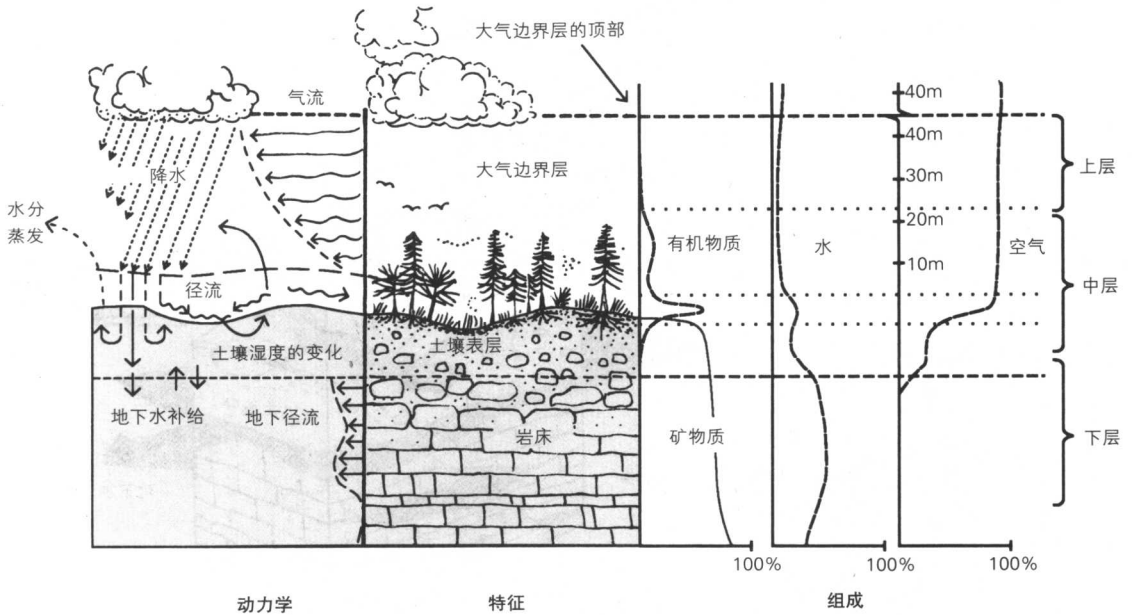


图 3.6 景观中不同位置（上层、中层和下层）的动力学、特征及组成情况

流动系统的一部分，局部的径流不断叠加，成为积累性的问题，越是山下和下游越严重。这个事实告诉我们，场地规划的第一条准则是对雨水进行就地管理与蓄滞，以控制下游的洪水。

在那些排水被自然或其他因素阻止的地方，水就会在当地汇集，于是湿地开始形成。充足可靠的水量供应能促使富有特色的物种组成和具有较强生产力的特殊植物群落形成。植物的残留物以有机物的形式进入到湿土中进一步提高湿地的涵水能力，并促使其进一步的发育，提高稳定性。以上这个过程向我们显示了景观是如何分成在水文、土壤和生态特点上各不相同的区域的。

场地的下层由土壤表层和基岩组成（图 3.6）。以前，我们在规划中仅考虑建筑地基、市政管线和供水系统，而如今由于我们对无污染地下水的依赖增强，所以不得不更加关注地下的环境。地下水是这个星球上最大的淡（液态）水蓄积池，但它正在遭受地表污染物和填埋废物等的广泛威胁。与地表水相对快速的流动不同，地下水运动如此之慢以至于一旦受到污染就会持续几十年甚至几个世纪。蓄水层中的地下水运动速度被限制在每天不到 1 英尺，所以才会使其交换（冲洗）活动达到特有的几十年或几个世纪。另外，因为其体积庞大，蓄水层通常会超出单个场地的尺度范围（图 3.5），所以，在场地规划时了解场地位于蓄水层哪一部分之上是有必要的。例如，场地是否位于蓄水层的蓄水（接收水）区之上或者出水（水流出）区之上？

土壤表层之下是地质学上所谓的基岩区。基岩在山区常透过土壤覆盖层突

下层

出到地表，我们在土地利用规划时一般将之视作场地稳定的象征。然而，处于活动断层或者孔状石灰岩地区的基岩无疑是不稳定的。断层通常发生在断层带上。地震可能在断层的任何位置发生，其破坏力主要由以下因素支配：爆发释放的能量级，震源离地面的距离，还有其离城市开发用地的远近。而对于孔状石灰岩地区，令人担心的则是地面塌陷和与之相关的地下径流。并非所有的石灰岩都是多孔的，但如果是这种情况的地区，例如佛罗里达中部地区，塌陷的特点和孔洞应该予以定位，并在土地利用规划中予以重视。

3.7 场地规划的环境数据源

现场调查

不管环境数据获得和处理的技术手段如何先进，景观的分析和评价在很大程度上还是依赖于现场调查。对于涉及中小尺度的现场（几英亩到几百英亩）尤其如此，这是因为像卫星影像、土壤图和标准地形图这些次要数据资料的分辨率不适用于这种规划。尽管这些资料在理解区域环境方面是有用的，但是特定现场的内部特征却从来都得不到体现。

二手资料

对于涉及较大区域的问题，我们当然要依靠二手资料以对景观的特征和环境情况有一个认识。不过在对二手资料的检验之后，我们必须进行场地调查，作为对最初关于环境结构和运行的认识的验证。在这些次要数据中，地形等高线图可能是最有用的。

地形图

地形等高线图在美国是由美国地质测量局（U.S. Geological Survey）出版的，在加拿大则由能源、矿产和资源部（Department of Energy, Mines, and Resources）提供。这些地图分为多种比例出版以方便使用，官方和私人都有销售。在美国，单张图的覆盖范围从包含整个美国到只有55平方英里的局部区域不等。其中后一种被称作7.5分方格（因为其在纬度范围上覆盖7.5分的区域）的地形图对规划最为有用。在加拿大则是1:10000（1厘米比100米）的基础地形图。

7.5分方格地形图与其加拿大的相应版本在反映排水系统、地形地貌和坡地信息方面是良好的数据资料，对土地使用特点、水资源特点和林地范围的定位也是十分有帮助的。7.5分方格地形图以10英尺的等高线间隔，按照1:24000（约1英寸比0.4英里）的比例印刷。如今涉及大型设施的多数规划项目需要更大比例（通常达到1英寸比100英尺或1英寸比50英尺）的高清晰地图。为此，必须和航空制图公司签订专门的合同。

土壤分布图

美国的土壤分布图由美国自然资源保护局（U.S. Natural Resources Conservation Service）[前美国土地保护局（U.S. Soil Conservation Service）]制订，发行以县为单位的小册子，称作县土壤报告。这些地图报告给出了4-5英尺深土壤的分类和描述，并指出了每种类型土壤覆盖地区的典型地面斜坡。土壤类型和斜坡用字母代码表示在图上。多数土壤类型之间的边界线都是高度概括的，因此在场规划中应该仔细勘察。不幸的是，土壤分布图（通常为1:2000）比7.5分美国国家地质勘测局地形图比例尺要大，妨碍了在一张图上轻易地同时编辑土壤和地形资料。第5章中将在更多细节上讨论地形图。

美国和加拿大所有地区的航空摄影都是可以获得的。在美国,它们是由包括美国土地保护局(U.S. Soil Conservation Service)、美国森林局(U.S. Forest Service)和美国土地管理局(U.S. Bureau of Land Management)等政府部门制作。现在一个代表这些和其他部门的被称为国家航空摄影计划(NAPP)的联合项目正在运作,而这些照片(包括新的和旧的)可从位于南达科他州苏福尔斯城的EROS数据中心得到。标准航空照片是9英寸×9英寸规格的黑白照片,适合于立体(三维的)观测。单个照片可根据规划需要放大为任何想要的比例。尽管其不能被用作精确的定位信息(由于固有的摄影变形),航空摄影对了解植被、土地使用和水资源特点信息来说仍然是非常好的资料。

航空摄影

除了航空照片,现在有很多非照片影像为人们所使用。这种影像主要由装在卫星上的探测器和雷达提供,然后经卫星传到地面接收站。该影像多数是出于气象用途而制作,缺少解决规划问题所需的分辨率。不过,有几个卫星系统会有望用于环境规划——包括从1972年已经开始运行的(美国)地球资源(探测)卫星(Landsat)和从1986年已开始运行的人造卫星定位及跟踪卫星(SPOT)。Landsat卫星中最新的称为专题制图仪的探测器系统能在6个波段上提供30m×30m的分辨率。高分辨率SPOT卫星能在一个可见光波段上提供更高的分辨率(10m×10m)。Landsat、SPOT和其他卫星影像都可从EROS信息中心获得。

探测器和雷达
影像

我们对特殊资料数据和信息的需要正日益增加,特别是在人口密集地区。根据普遍适用的原则,许多州县勘测了自己的黑白、彩色或者红外格式航空摄影照片。对于某些地区,可以从研究项目、环境影响报告和规划项目中获取水资源、湿地和其他资源方面的信息。

特殊资料

美国地质调查局在每个州都积极工作,除了地形图,他们还出版许多其他类型的地图,还有关于不同地区的问题与资源的数据和报告。其中包括地震危险图、河道流量记录、地质构成图,还有关于地区和州的国家水资源报告。美国环境保护机构(EPA)和(美国)国家海洋和大气管理局(NOAA)通常也有同样的职责,他们都制作了大量关于不同地区和团体的不同主题的地图、报告和数据库。特殊信息资源的信息量非常庞大而且增长迅速,篇幅所限,我们不能在这里仔细描述。我们可以这样说:对于任何个人来说要掌握这样大的信息量都是不现实的,特别是超出自己的熟悉领域时。因此,面对任何地区的规划问题,我们都建议尽快求助于当地的相关部门如规划委员会、环境机构和大学以获得这些特殊资料。

现在许多非政府组织(NGOs)同样能为规划提供许多有价值的数据和信息。非政府组织已经存在很长时间。直到最近的一二十年,他们几乎将全部注意力集中在对政府的游说工作上。但是现在很多非政府组织也主办一些能产生有用环境数据的项目。在全球尺度上运作的项目对场地规划的价值有限,而在地方尺度上运作的项目对场地规划有惊人的价值。通常会有数以百计的州级和省级组织卷入一些项目,如河流和流域的监控和恢复、湿地保护以及公园用地的购置和管理等。

3.8 景观的理论视角

我们不能不提到一些概念论述而总结我们对景观的总看法。在过去的一个世纪左右,人们已经提出了关于景观变化和发展的几个主要概念或模型。泛泛地说,这些概念构成了理论陈述,尽管现在已无人热情追随这些概念,但它们中的每个都对我们理解景观及其形成做出了贡献。在某种程度上,这些概念提供了景观研究范例的框架,并由此引出我们对景观规划的展望。

如果我们略去早期神学和地质学关于地球起源的争论,那么第一个主要的关于景观的理论陈述出现于19世纪晚期——那是一个科学思想受到进化论强烈影响的时代。用最为概括的方式说,进化论的中心思想就是随时间而变。变化的方式常被视作受考察的生物体或任何现象持续不断或阶段式变化的发展过程。例如在19世纪晚期,俄国的土壤科学家们提出:土壤跟有机体一样,朝着成熟的状态演变以适应其环境,特别是生物气候环境。此后不久,美国地理学家W·M·戴维斯(W. M. Davis)清晰地表达出了基于径流侵蚀的景观演变的统一模型,随之变成了20世纪教育界的一个主要论题。

进化理论

戴维斯把他的原理称为**地理周期**,他提出随着河流加深加宽其河道景观经历着一系列的发展阶段。他构想了三个主要的发展阶段并命名为青年期、成年期和老年期。在青年期,景观表现为崎岖不平,当河流切割陆地时形成了V字形的河谷。到了成年期,河谷变宽并呈U字形;而到了老年期,河谷变得很宽,且不再有交织的高地(图3.7)。

地理周期

戴维斯的兴趣在于地形,不过周期理论也可应用于景观的其他组分。从青年到老年期,景观变得日益为河流或径流所控制,逐渐演化成以宽广的冲积平原、深土层和河滨植被廊道为主导的景观。而且我们确实在地球上发现了大量的这种景观,但它们倾向于更多地和流域的地理位置相联系而不是大陆块的演化发展阶段。同样,处于成年和青年期的景观也很多,不过很明显,它们更少地受发展阶段的控制,而更多地与其在排水系统中的位置相联系。一般说来,流域的上游更接近青年期,而下游更接近老年期。密西西比河流域系统大致上遵循了以上模式。戴维斯给老年期的宽广低地起了个术语名称叫准平原,并提出,准平原经过地质年代最终升起,重新开始侵蚀循环和景观演化。

尽管地理周期没有受到现代科学界的广泛支持,作为基础的几个概念还是受到拥护的。其中之一是**基准面**,即径流可以切入陆地的最低海拔。最终归入大海的径流,基准面定为海平面。内陆地区的基准面可以由湖泊、湿地或者水库设定。水库所确定的人工基准面破坏了径流与景观之间原本的联系;还阻断了沉积物的随水流动。相关的概念是**分级或分级剖面**,这是一个河流的向上纵切面。从河口到上游源头,径流在海拔上逐渐上升,于是形成一个凹形切面(图3.8)。分级剖面反映了河流系统中的一种均衡状态,描述了水道坡度(倾斜度)、流速和搬运沉积物能力之间的平衡。换言之,当河流逐渐拥有分级剖面时,它就在向均衡或近均衡状态发展。

基准面和分级

动态平衡概念

河流系统倾向于均衡的观测资料促成另外一个关于河流塑造景观的概念,它是建立在能量系统理论之上的。这个概念被称为**动态平衡(dynamic equilibrium)**,是在1960年左右提出的。与地理周期的演化观形成鲜明对比的

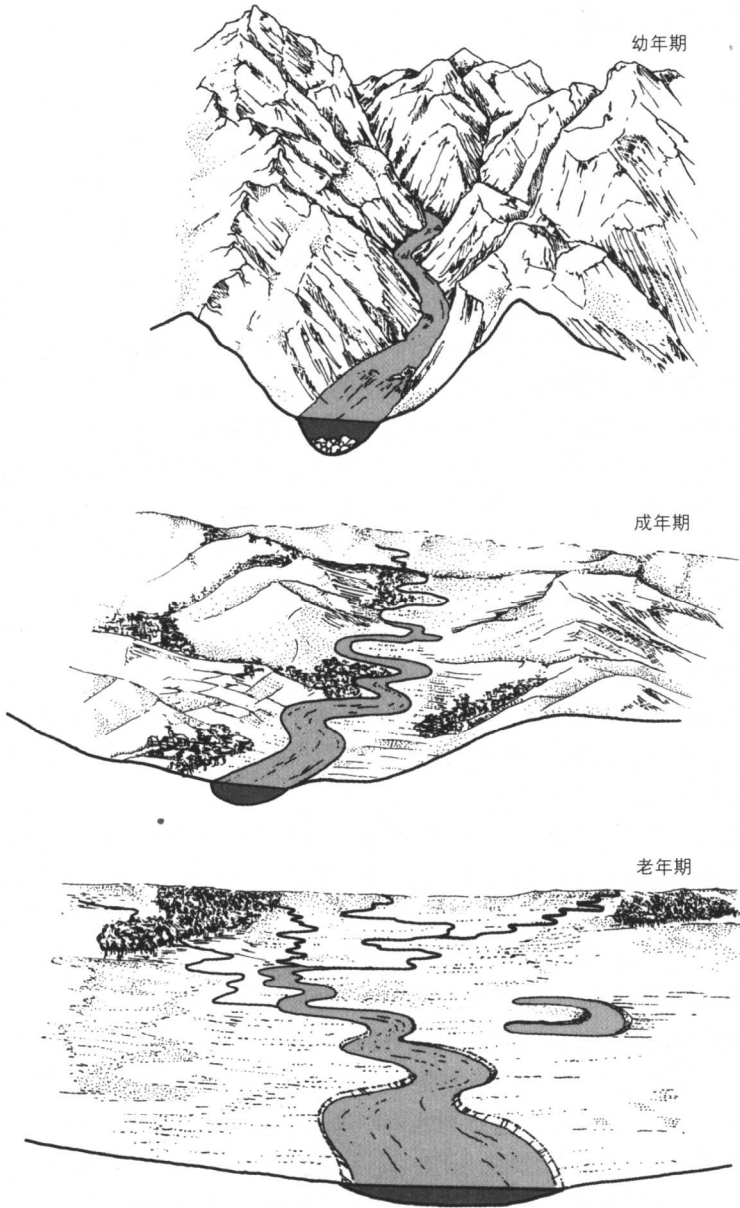


图 3.7 地理周期中景观演化的三个主要阶段：幼年期、成年期和老年期

是，动态均衡概念认为河流系统（和其景观）发挥能量系统的作用，因此总是朝稳定状态发展。控制能量的因素有气候（降水越多意味着势能越大）、径流（径流越大意味着动能越大）和地段的海拔高度（海拔越高意味着势能越大）。按照动态平衡的概念，水流的能量系统可以随以上因素的变化而增加或减少，而不是随着地理周期的推进使能量水平（熵）越来越低。

流域内的景观变化不一定朝着平坦的、低地的（有深厚的土壤表层）方向进化，而可以随着系统内推动因素的变化朝任何方向发展（如河谷可能被下切、填充或维持）。我们在当今的景观中看到这样的趋势，例如，地方尺度上河道侵蚀的增加和河谷加深，主要原因是土地开垦和城市发展带来了更大的雨水径流。

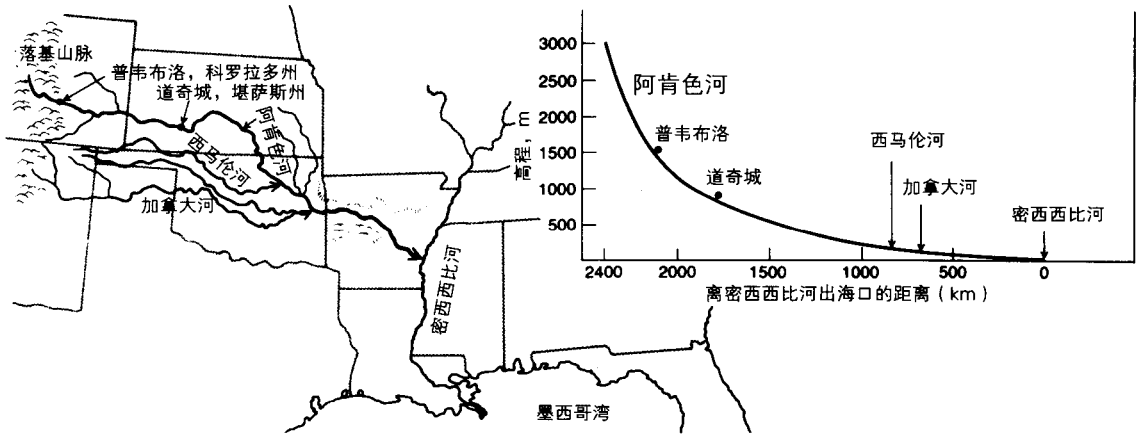


图 3.8 阿肯色河的高程剖面说明了分级剖面的概念。阿肯色河的基准面是密西西比河，而密西西比河的基准面是大洋（墨西哥湾）

随着下个世纪（指 21 世纪——译者注）全球气候的变暖，预计海平面的升高将提高河水排入海洋的基准面，从而降低河流较低部分的势能。这些隐含的景观变化将是海岸低地的洪水和沉积物的增加。

无论是地理周期还是动态均衡都没有指出地球气候变化对景观发展的影响。W·M·戴维斯自己认识到了这个明显的缺点，他和别人也写到过一个“旱地循环”的理论，这个理论主要描述沙漠地形的发展。后来，人们又尝试提出了一个建立在更广泛基础上的原理，从而或多或少地合并了各种相互联系的气候类型、地理作用和景观类型。这个原理被称为地貌成因区，它将景观归结为不同气候体系的产物而不是单纯径流侵蚀系统的产物。这个理论在将较多的重点放在表面过程（如风化作用）的同时，还十分强调差别，例如有强烈化学风化作用的湿热带和永久冻结条件主导下的冰缘环境之间的差别。多山地区的气候成垂直变化，在其以外的地区，地面成因区遵从全球气候的广泛地带模式。然而气候是变化的，因此一些地带就可能同时显示出两个或更多的气候特点，而且大多数处于气候带边界地方的气候都是过渡性质的。因此，地面成因区原理的应用必须注意过去的气候环境，例如中纬度地区仅 10000 年前的冰川条件，还有气候边界的不精确特性（表 3.1）。

一些来自生态学和植物地理学的著名原理也可以作为描述景观的理论。这些原理主要论及生物群落和/或生态系统在空间与组成方面的动态变化，但也可以扩展到较大尺度的景观的一些方面。这些原理中的第一个——群落演替原理属于基于进化理论的景观变化原理。人们通过观测发现：生物群落有能力使地面保持稳定，并越来越强烈地改变着地表环境（尤其是土壤、湿度和地表气候）使其适宜于其他群落。演替模式通常开始于一片裸露（贫瘠）的地表，例如为刚刚消退的冰川、烈火或强烈风蚀作用后所暴露的地表，上面最先出现一些由恢复活力的生物组成的群落，称为先锋群落。这些植物通常小而硬（如草、苔藓和地衣等），它们一如既往地其他较大而复杂的群落准备着场地。每种群落都代表着一个接替阶段并且改变着景观，使其更适合于其他生物群落，直到最终一个相对持久而稳定的群落出现，该群落被称为顶级群落。该群落代表着

地貌成因区原理

群落演替原理

表 3.1 地面成因区及其特点

地区	现状气候	过去气候	活动的作用 ^a	地形
冰川地区	冰冷的(冷,湿)	冰冷的	冰蚀	冰川地形
显著山谷构成区	极地、苔原 (冷;湿,干)	冰冷的,极地,苔原	低温作用 径流侵蚀 机械风化 (冰蚀)	盒形山谷 图案形地面 冰河作用形态
中纬度地带 山谷构成区	大陆气候(冷,温 暖;湿,干)	极地,苔原 大陆气候	径流侵蚀 (地表霜冻作用) (冰蚀)	山谷
亚热带 麓原*或 河谷构成区	亚热带气候(温暖; 湿,干)	大陆气候 亚热带气候	麓原形成作用 (径流作用)	平原地表 和山谷
热带地区 平原地表构成区	热带气候(炎热; 湿,湿-干)	亚热带气候, 热带气候	平原化作用 ^b 化学风化	平原地表 和红土带

^a 和以前的作用;

^b 平原化作用:导致低平原地表的作用。

资料来源:摘自 Büdel, J., 1963 年

* 麓原——又称砾原或山前侵蚀平原,是一种由侵蚀引起的在较陡的坡面基部的宽而缓缓倾斜的岩石层面,其上通常覆盖着冲积土。来源:《美国传统辞典》。——译者注

在较大气候环境内的生物平衡状态。

扰动理论在许多方面的陈述是与群落演替原理对立的。扰动理论认为:在相对被动或营养较好环境中,外部(主要是非生物的)作用形成或控制了景观中动植物的组成和分布,这些影响力,包括火、洪水、干旱、疾病、火山爆发、飓风、土地利用和污染,以不同的强度和频率在生态系统内部或外部发挥着作用。组成生态系统的生命体能否存活依赖于这些或单独起作用或同时发生作用的影响是否超过了它们的忍受范围。当这些影响力很强时,如飓风、火山爆发或者建筑活动的影响,处于影响区内的生态系统可能会被破坏、摧毁或者呈现出衰退。扰动理论指出地球表面或多或少地受到这些影响力的连续不断地影响,于是包括土壤、排水和景观的其他组分在内的生态系统为适应这些影响就处于不断的调节状态之中。换言之,我们在地球表面所见的生态系统处于一种不断的波动状态,而演替原理指出的那种会终于顶级状态的演化过程就显得过于简单化了。因此说来,扰动理论与演替理论相比,是把环境行为看作更为不规则或更无秩序的(图 3.9)。

我们认为是演替或扰动理论的多数实证取决于时间的视角。如果我们考虑处于强烈事件之间的时间间隔,就会发现演替原理显得较为合理。这些间隔属

扰动理论



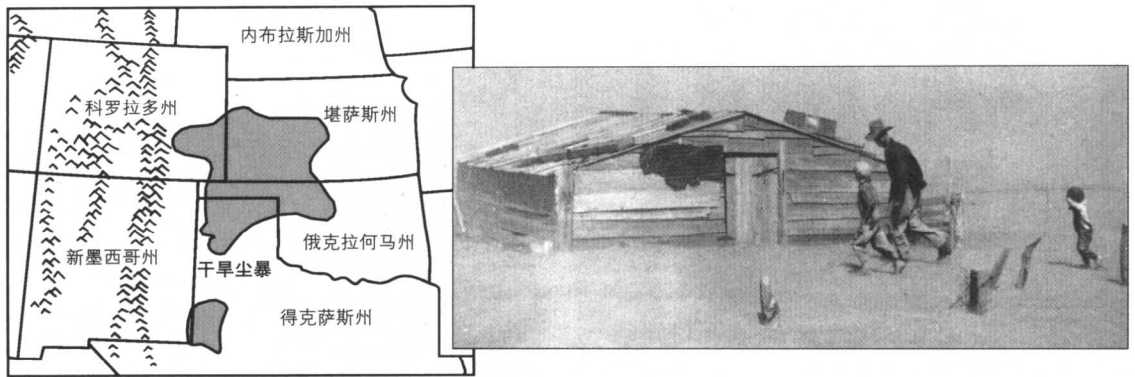
图 3.9 左图为新英格兰的皮斯加森林 (Pisgah Forest); 右图为 300 年树龄的顶级森林被 1938 年的一场飓风在一天内摧毁的场景

于相对静止时期,可以生长和繁衍。不过,如果我们用一个较长时间的眼光来看,生态系统的变化看起来就会更像是因为环境的扰动而波动,而且特定的空间分布可以很明显也可以不明显。

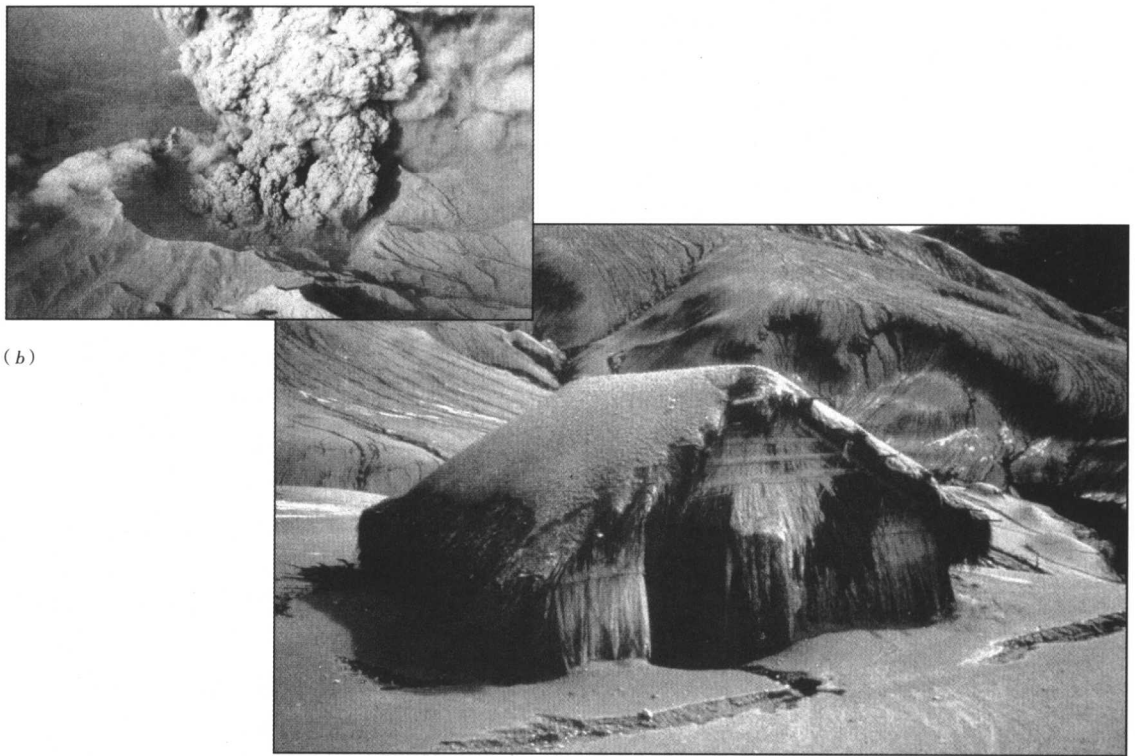
在回顾景观概念时不能忽视人为因素。但当我们考虑人类行为的时候,时间尺度尤为关键。如果从地质年代(以数百万年计)的角度考虑,人类在地球上的历史只是个很小的事件或干扰;而其最终的影响我们还不得而知。人类影响对最近的地质年代来说是最主要的事件之一。如果从历史(以几千年计)的角度来考虑,人类的史迹就可以分解为不同地点发生的并产生了不同效果的数千个事件。比如:古希腊时代地中海盆地的土地退化;18、19世纪欧洲的工业化和城市发展运动;19、20世纪美国大草原耕作运动;20世纪大面积热带雨林被破坏等等。

虽然在许多例子中,主要事件过后就会有生态恢复或接替,但这种过程却很少能完成。地中海的土地不再像公元前那样能生长森林和草地。虽然大平原(美国)在经历了19世纪30年代北美沙尘暴侵蚀破坏之后再次长起了草本植物,但是拥有较少物种的覆盖层退化了(图 3.10)。总之,在历史上,随着我们人类的数量,对资源的消耗及对这个星球表面的占有率的不断扩张,人为干扰在数量和频率上都呈现出增加的趋势。反过来说,恢复的时期或时间间隔段变短了,这就导致景观质量等级的变低,物种变少,产出下降;并且对将要出现的干扰的耐受力下降。

一些观察者认为全球环境在过去的几十年中正日益变得更加混乱。不过现今混沌理论确实正被人们普遍地接收。他们强调人为诱因导致了环境的变化,如与城市发展有关的水土流失和洪水增加,与全球变暖有关的海洋风暴增加,还有与沙漠化有关的土地超前退化等等。我们目前还不能确定这些问题是否真的如此,但我们清楚现在越来越多的人占据着易受干扰的环境。传统上处于重要的农业和居住地以外的边缘环境——如陡峭山坡、沙漠、多风暴海岸线和洪



(a)



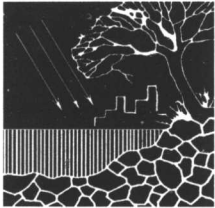
(b)

图 3.10 景观扰动产生的根源：(a) 20 世纪 30 年代的干旱尘暴 (Dust Bowl) 环境使草原生态系统退化，减少了表层土壤，降低了农业的生产潜力；(b) 1991 年菲律宾皮纳图博 (Pinatubo) 火山爆发时的毁灭性自然景象

水多发河谷等，与非边缘环境相比，明显地受到更多的不确定变化和扰动影响。随着人口增长和经济发展促使土地利用深入边缘环境，我们更加感受到扰动的影 响。于是自然灾害显得更频繁更具破坏力。也难怪，当这些经历增多之后，大自然对于许多群体来说显得更不可知，更不可预测，更加混沌。混沌理论或许会成为 21 世纪的主要景观概念。

3.9 推荐阅读文献

- Brunsdon, D., and Thornes, J. B. "Landscape Sensitivity to Change." *Transactions of the Institute of British Geographers* 4, 1979, pp. 463-484.
- Clements, F. E. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, DC: Carnegie Institution No. 242, 1916.
- Davis, W. M. *Geographical Essays* (D.W. Johnson, ed.). New York: Dover Publications, 1954.
- Hack, J. T. "Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions." *American Journal of Science*, Bradley Vol. 258-A, 1960, pp. 80-97.
- Marsh, W. M., and Dozier, J. "Magnitude and Frequency Applied to the Landscape." In *Landscape: An Introduction to Physical Geography*. New York: Wiley, 1981.
- Mitchell, C. W. *Terrain Evaluation* (2nd ed.). New York: Longman and Wiley, 1991.
- Nikioroff, C. C. "Reappraisal of Soil." *Science*, 3383, 1959, pp. 186-196.
- Peltier, L. C. "The Geographic Cycle in Periglacial Regions as It Is Related to Climatic Geomorphology." *Annals of the Association of American Geographers* 40, 1950, pp. 214-236.
- Raup, H. M. "Vegetational Adjustment to the Instability of the Site." *Proceedings and Papers of the Sixth Technical Meeting*. Edinburgh: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, 1959.
- Selby, M. J. *Earth's Changing Surface: An Introduction to Geomorphology*. Oxford: Clarendon Press, 1985.
- Wendell, Berry. *The Unsettling of America: Culture and Agriculture*. New York: Avon, 1978.
- Wolman, M. G., and Gerson, R. "Relative Time Scales and Effectiveness of Climate in Watershed Geomorphology." *Earth Surface Processes* 3, 1978, pp. 189-208.
- Wolman, M. G., and Miller, J. P. "Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes." *Journal of Geology* 58, 1960, pp. 54-74.



第4章

地形、坡地与 土地利用规划

- 4.1 简介
- 4.2 坡地问题
- 4.3 为土地利用规划服务的坡度图
- 4.4 坡地的坡度和坡型
- 4.5 坡地稳定性评估
- 4.6 坡地分析法在社区规划中的应用
- 4.7 为什么坡度图在某些地方无效
- 4.8 案例研究 在社区规划中坡度是限制增长的因素
- 4.9 推荐阅读文献

4.1 简介

对我们而言,如果有机会可以随意选择一块土地作为居住用地,相信我们中的大多数会毫不犹豫地选择山地作为首选。这个结果并不会让人感到吃惊,理由很简单——因为山地更具吸引力。山地上的植被、场地地形和水体特征富于变化,并能够为其上的住宅提供绝佳的景色和私密空间。然而,我们在山坡上的成功建设和不同形式的土地利用方式并不等价于我们对坡地的“爱”。事实上,对于很多土地利用坡地绝不是好的建设用地,因此在利用时应得到更多地关注。现在已有很多社区意识到这一点,并要求得到有关坡地的信息作为发展决策的指导。

首先,让我们来看一看坡地和土地利用的关系。在土地使用上,平地或略有缓坡的地方通常被选作工业和商业用地;农田通常被限制在小于 10° (18%)的坡地上,主要是因为受到拖拉机或其他农机的耕作和安全限制[在牛马耕作的时代, 15° (26%)或更陡的坡地都可用来栽培作物]。而坡度和地形对现代公路定线的影响主要取决于公路等级,通常坡度与公路等级成反比:公路等级越高,坡度允许的最大值就越低。例如,州际高速公路是为高速行驶而设计的公路(是一种分向的、严禁穿越的、4或6车道的高速路),由于行驶不宜受到干扰,因此坡度不应大于 4% ,也就是说每100英尺的距离只允许升高或下降4英尺。相比之下,城市中的街道对坡度的要求则稍低一些,车速被限制在20-30英里/小时,坡度允许在 10% ,车行道坡度可以达到 15% 。

除了对土地利用产生影响外,坡度还影响着大地景观中的许多环境因素,其中最为明显的是对径流和地表稳定性的影响。如在较大坡面的陡坡上,地表径流通常流速快并且具有较强的侵蚀能力;又如当土壤被雨水浸透的时候,陡坡往往是最先发生滑坡和泥石流的地方。除此之外,坡地还能够对气候造成影响,形成一些较为独特的小气候。通常南向的山坡能够接受较多的阳光,因此在气候上要比北向的山坡暖和、干燥,而植物要比北坡少,并且往往较为矮小。这些不同又进一步使得南北坡面在土壤形式、径流和栖息地等各方面发生十分显著的差异。简言之,坡地能够对景观和土地利用中许多重要因素产生明显影响,人们已将其列入社区规划中最为重要的环境评判标准之一。毋庸置疑,无论是城镇或乡村中的发展项目建设,坡度图已成为项目环境适宜性评价中使用最为广泛的工具之一。

4.2 坡地问题

现在,规划必须考虑地形已经成为了一个越来越广泛的认识,这不仅仅是因为土地利用会受到坡度的限制,并且还因为现代的土地规划中出现了越来越多的坡地被误用的例子。目前通常有两种类型的坡地误用:(1)把建筑物安放在不稳定或潜在不稳定的坡地上;(2)建筑对坡地稳定性的影响导致土壤流失加速,坡地生态环境受到破坏。

坡地的误用

第一种类型的误用是源于没有对地形中原本存在的不稳定性因素进行充分地调查和分析。当然也有其他情况(并且这类情况正变得越来越多),那就是在发展中缺少充分的规划控制(例如,分区和环境条例)。当然,在一些案例中,

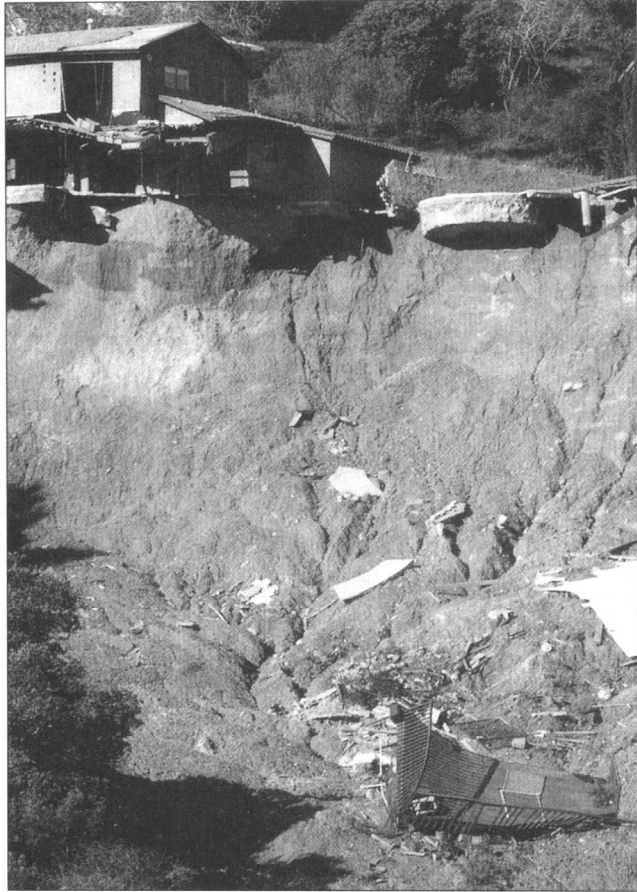


图 4.1 坡地上的居住建设导致了排水方式、植被以及土壤状况等多方面的改变，造成如图所示的坡体侵蚀现象

调查并没有显示出坡地的不稳定，并且坡地的不稳定通常也不会引起当地居民的注意。

而第二种类型的误用现已成为引起北美地区坡地问题的最普遍因素。下面列出三种破坏类型：

扰动因素

■ 机械挖填：即坡地被重型机械重整。这包括使之更陡或更平，导致原本的自然条件失去平衡。这种现象在美国和加拿大的矿区和高速公路两旁最为常见；

■ 山地的森林砍伐：由于伐木业、农业和城市化发展所导致的山地森林砍伐。山地上植被的减少直接降低了坡地的稳定性，并且还导致了排水量增加，增加了地表径流和地下水的压力（见图 3.4）；

■ 排水方式的改变：因为在坡地上的不恰当建筑物和设施导致山地排水方式发生改变，坡地平衡受到破坏，加速了径流对地表的侵蚀（图 4.1）。

4.3 为土地利用规划服务的坡度图

多年来，地形轮廓只能通过对场地的实地调查才能得出。其中最简单的一

种测量方法，就是从一个已知海拔高度的点拉出一条直线，然后测出地形上不同点与已知点之间的距离。一旦高程点被确认并确定了它们之间的相对位置，等高线图也就建立起来了。

等高线图由许多等高线组成的，它们是由具有相同海拔高度的点组成的连接线。在现代地图制作过程中，如美国地质测量局（U.S. Geological Survey）所做的一个项目，等高线地图是从一套预先准备好的航拍图片中得来的。制图员借助光学装置可以将航片放大，直接观察到三维地形。在这些图片的基础上，制图员能够在地形上划出等高线。等高线的海拔高度是在测绘标志物的基础上进行标定的，标志物就是水准点，是在航拍之前区域测绘人员安放在大地上的标志物。

地形等高线图

要从地形的等高线图上推算出坡地的倾斜度，就必需知道地图的比例和两条等高线间的海拔高度变化，即等高线间距。这样就可以计算出一定距离之间的海拔高度变化，其百分比计算公式为：

计算坡度百分比

$$\text{坡度百分比} = \text{海拔高度差} / \text{距离} \times 100\%$$

最常见的坡度表示方法有两种，其中之一是上文介绍的百分比表示法，另一种则是角度表示法。借助图 4.2，我们可以进行角度和百分比之间的相互转化。角度表示法常常用在工程中表示坡地的稳定性，而百分比表示法则作为标准单位用来表示规划中的坡度分类。

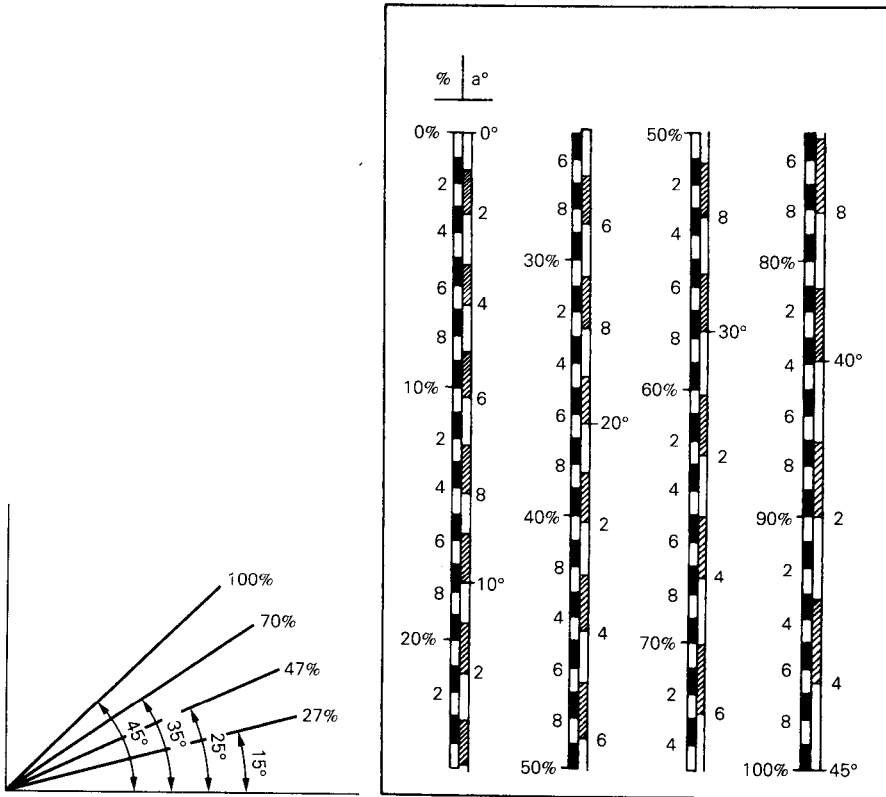


图 4.2 坡度表示法：度与百分比的换算图

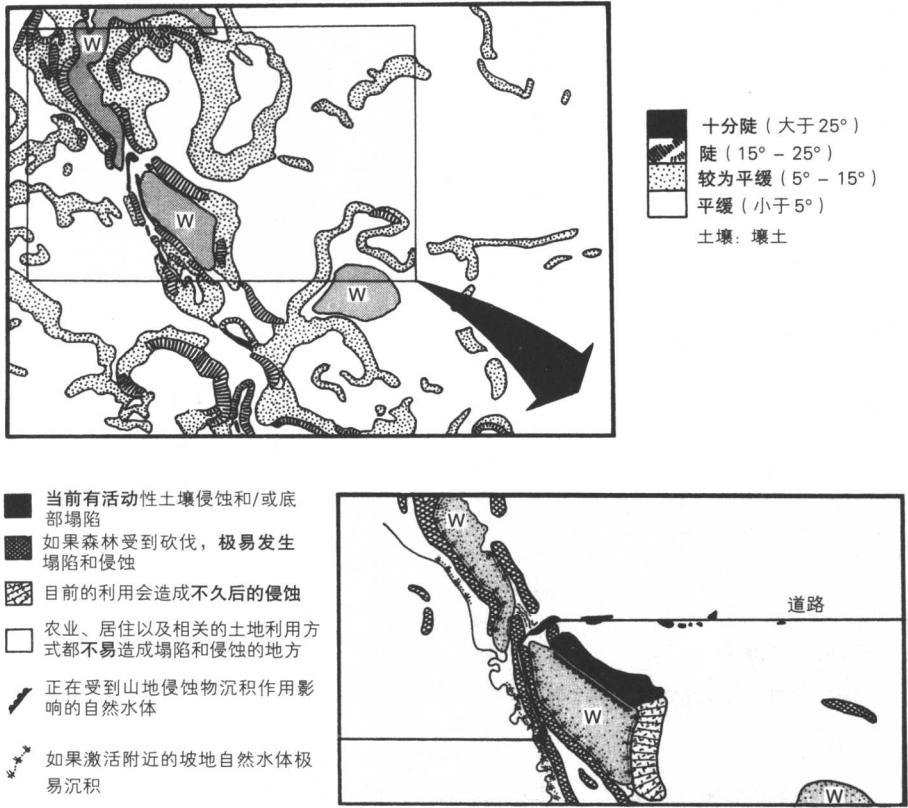


图 4.3 以确定侵蚀和泥石流倾向为目的的坡地分类。水体周围是已废弃的农业用地

绘制坡度图

为了避免对环境、建筑和公共设施的严重破坏，有必要建立起坡度与土地利用之间正确的相互匹配关系。事实上，在大多数实际案例中，这仅仅只是一个该如何利用好原有地形的简单问题，我们（1）没必要改变坡度来获得满意的操作；并且（2）坡地环境和建设过程不会对其自身造成破坏。一般来说，地形等高线图并不能单独为大多数规划建设的适宜与否提供信息，我们必须将等高线地图转化为标有坡地类型的地图才能用于规划中的实际问题。这样的坡地类型图有以下功能：（1）提供建立坡地类别的标准；（2）后续制图的比例依据。

地图比例

地图的比例和细节标准严格受限于基础图的比例和等高线的间距。如果一个区域有两到三种不同比例的地图，则针对不同的规划（如场地规划、建筑规划或高速公路规划）要选择不同的地图，做到地图比例与所要解决的问题相匹配。

区分坡地类型

坡地类型的分类标准首先取决于该地图所要解决的问题。图 4.3 中的区域是一片山地，面临着严重的越野交通问题。规划所要解决的问题是如何管理交通，将交通对环境的影响降到最小，包括减少土壤流失、改善湖泊淤积状况。场地的坡度和环境信息对于规划而言相当重要。对于那些存在发展压力的偏远地区而言，面临的问题是：何种方式的土地利用和设施适宜（或不适宜）哪一处的坡地？在坡地的限制标准上，有一套是针对各种社区活动的最大坡度和最小坡度的限制标准，另一套是针对坡地自身的自然限制，这将在下一部分做详细的叙述。就场地的各项利用活动而言，我们必须知道用于停车场，住宅，街道，运动场地、草地等等建设的最适宜坡度（表 4.1）。

表 4.1 不同类型土地利用对坡度的要求

土地利用类型	最大坡度	最小坡度	最适坡度
居住用地	20%—25%	0%	2%
运动场	2%—3%	0.05%	1%
公众场所的阶梯	50%	—	25%
草场(能使用割草机)	25%	—	2%—3%
排污场地	15%*	0%	0.05%
铺装表面			
停车场	3%	0.05%	1%
人行道	10%	0%	1%
街道和道路		—	1%
20英里/小时	12%		
30	10%		
40	8%		
50	7%		
60	5%		
70	4%		
工业场地			
工厂	3%—4%	0%	2%
仓库	3%	0.05%	1%
人行道与街道间的草坪分隔带	3%	0.05%	1%

* 一些较为特殊的排水场地会要求坡度在 10%—12% 之间。

除了坡度分类的选择和适当的基础图外,坡度图的准备工作还包括以下几个方面:

1. 定义最小的地图单元。这将是地图上表示出的最小地块,通常根据基础图的比例大小、等高线间距以及土地利用的规模来确定。例如,对于美国地质测量局绘制的 7.5 分美国地质勘测方格网而言(1:24000),地图的最小单元不得小于 10 英亩,或 660 平方英尺。

绘制坡地图

2. 建立等级比例。在地图每页纸的边缘注明等级比例,代表每一种坡地类型等高线间的距离。例如 7.5 分地图的方格,1 英寸代表 2000 英尺,等高线间距为 10 英尺,10% 的坡度可用间距 1/20 英寸的等高线来表示。

3. 标明地图比例。在垂直于等高线的地方标上地图比例,并区分出具有不同坡地类型的区域(图 4.4)。

4. 最后,每一块划出的区域要标出代号和特征,并且列成图表。

4.4 坡地的坡度和坡型

在进行坡地规划时,为提供土地利用的合理解释,通常我们还必须知道除坡度外的其他信息。首先,我们应该考虑坡地的组成成分和岩石性质,即坡地的岩石成分。对每一种地表物质而言,它们都具有一个可承受的特定最大坡度,这一坡度被称为物质的**休止角**,物质在这个倾斜度以下是安全的,否则就会崩塌。休止角是物质所具有的特定属性,不同的物质具有不同的最大倾斜度,如坚硬的岩床具有 90° 休止角,而坡体中疏松的非固化组分的休止角却只有 10°。另外,这些非固化组分的休止角还会随水分含量、植被覆盖和颗粒结构的变化

休止角

坡地的组成

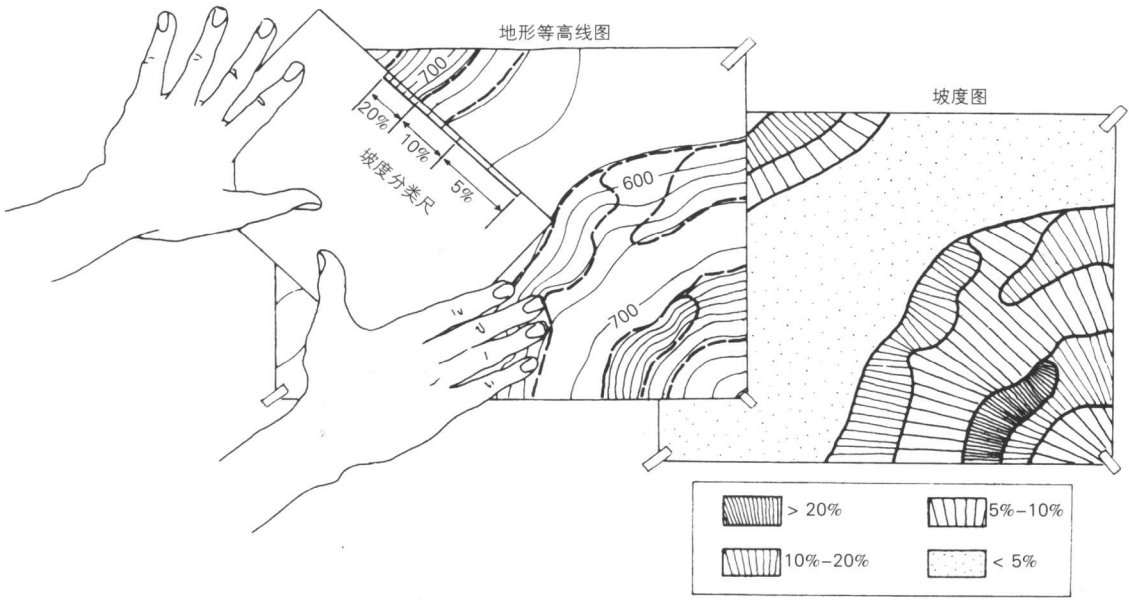


图 4.4 使用坡度尺从等高线图绘制坡度图。右图为绘制结果

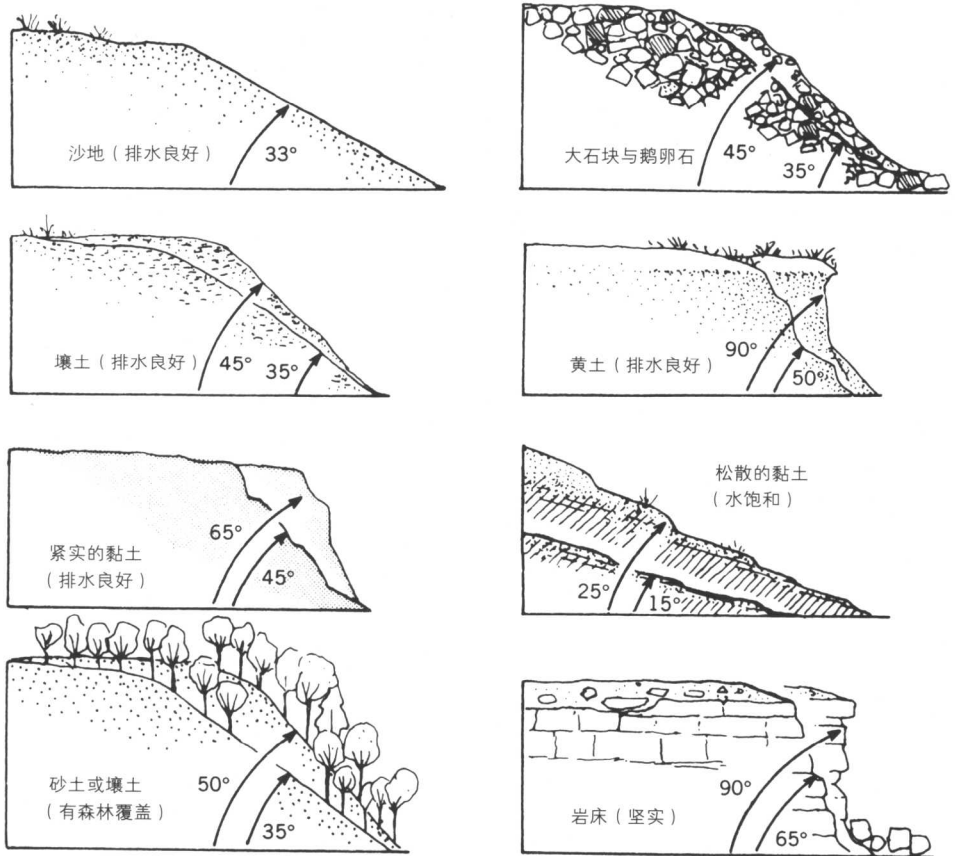


图 4.5 不同坡地物质的休止角

而变化。其中黏土尤其如此：不紧凑的饱含水分的黏土休止角小于 5° （8%），而紧凑干燥的黏土休止角则要大于 45° （100%）。然而，由于影响物质休止角的因素常常富于变化（例如湿度就经常变化），因此大多数表面物质的休止角难以进行精确地测定。

然而，对于那些由较多同质组分构成的地表物质，我们对其休止角的确定则更有信心。这尤其表现在粗糙的坡地组分中，例如沙子、小卵石、鹅卵石、砾石和岩床本身，相比而言，它们不易受水分含量和紧凑性变化的影响。图4.5列出了这些材料的休止角。不过一旦超过那些角度，这些材料就很容易坍塌，由它们组成的坡地也就会发生裂开、滑坡、下沉或坍塌等现象，而那些被水分饱和的材料（如黏土、淤泥和壤土等）就会顺坡而下。

植被对坡地的影响具有很大的差异，这主要取决于植被类型、植被覆盖密度和土壤类型等三个因素。具有发达根系的植被无疑能增加由黏土、泥沙土和卵石组成的坡地的稳定性，但这种影响只是发生在地表下1m至2m处（3-6英尺），这一深度是植物根系最为集中的范围。而对于那些由非常粗糙、大块材料（如鹅卵石、砾石或岩床等）组成的坡地，植被对它们的影响则很小，除非是大树长在疏松的岩石上。沙质坡地如沙丘，其原本的休止角大约为 33° ，而当有森林覆盖时，休止角可再增加 10° - 15° ，并依然处于准稳定状态。这种坡地的特征是常常具有十分明显的凸起剖面。

植被

除坡度外，坡地的形状也是分析的重点。坡地的形状在地理上通常用坡地

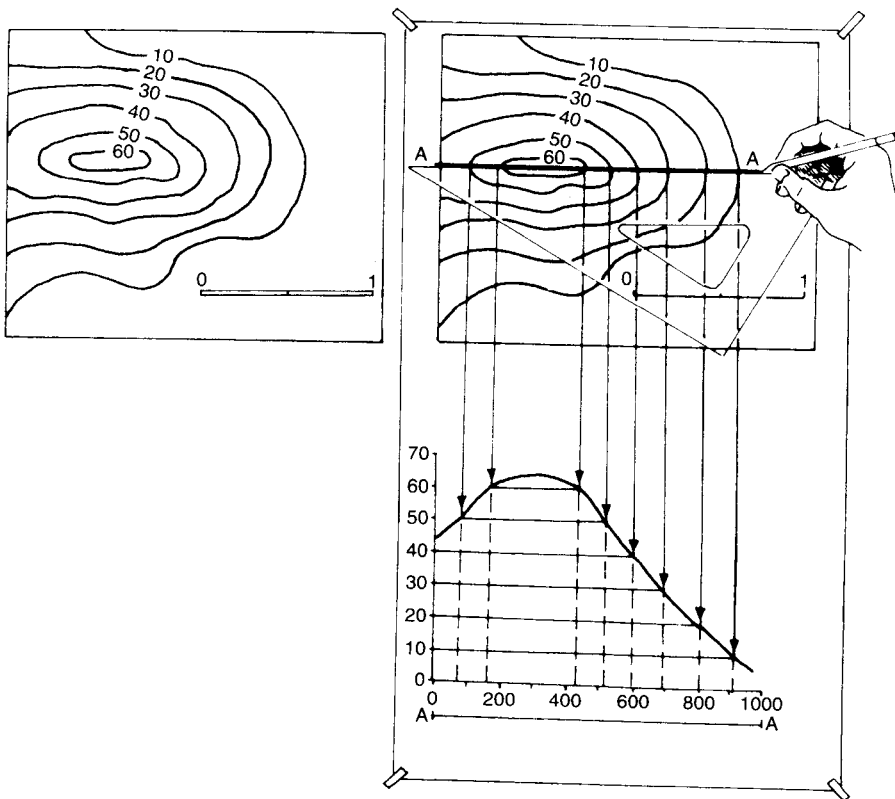


图 4.6 由地形等高线图绘制坡地剖面图

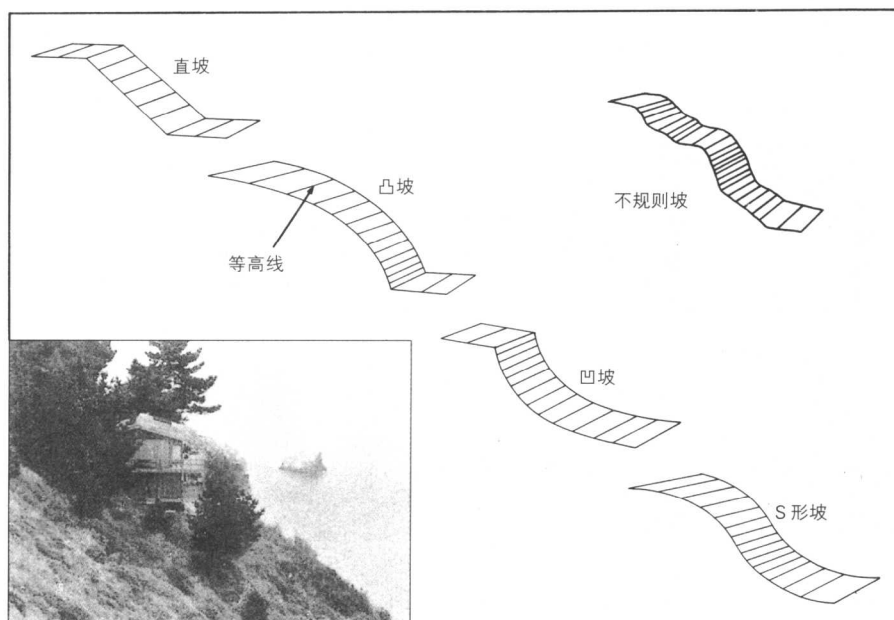


图4.7 用地形等高线的间距表示出的五种基本坡地形态：直坡、凸坡、凹坡、S形坡和不规则坡；左下角的图片为一处危险的陡峭凸坡建筑物极有可能滑入大海

坡地形状

剖面 (*slope profile*) 来表示，它是一种二维的几何图形，横轴代表坡地的水平距离，纵轴代表坡地的垂直高度。坡地的轮廓图常常通过纵轴进行夸大，以方便构建并反映出较为精确的地形细节 (图 4.6)。

通常，我们可以从等高线图中分析出五种基本的坡形：直坡、S形坡、凹坡、凸坡和不规则坡 (图 4.7)。这些形状常常能够反映出坡地的组成、过去的运动和潜在的稳定性。为解决土地利用规划和景观管理中遇到的问题，并确定不同区域中坡地形状的类型 (典型坡地或不典型坡地) 和坡地状态，我们有必要理解坡地形式与不同地质环境、土壤、水文以及植被条件之间的关系。例如那些由疏松物质 (土壤和不同类型的疏松沉积物) 组成的坡地 (岩床并不是这种坡地的形状构成的支配性因素)，它们的形状通常是植被、土壤成分以及径流过程相互作用和平衡的结果。在这个模型的基础之上，坡地的形状还会受河流掏蚀、道路和建筑的开挖、排水系统的改变、森林砍伐造成的水土流失以及坡地坍塌过程的影响。

平滑的S形坡地通常意味着较为长期的稳定性，坡地已达到稳定和不稳定力量之间的平衡。这类坡地很少超过 45° ，并且有着丰富的植被覆盖来抵御严重的侵蚀。陡峭的S形坡地通常出现在丘陵山地、大山的山脚以及长期有植被覆盖的海岸地带。直坡和其他一些S形坡地上出现的凹地则是坡地受到破坏后遗留下来的痕迹，如滑坡和塌陷，并且人们还可以通过凹地推断出破坏因素，如伐木业、公路建设、管道铺设，以及其他类型的地表环境破坏，如地下水渗漏等。

凸坡常常暗示着坡地中部有抗压性岩床的存在、坡地上部和下部有沉积物 (自然的或人为的) 的填充、或是坡麓处的后退 (如溪流冲刷或道路破坏) (图 4.8a)。另外，不规则坡地的存在也是一种暗示，表明一些不同的条件特征。例

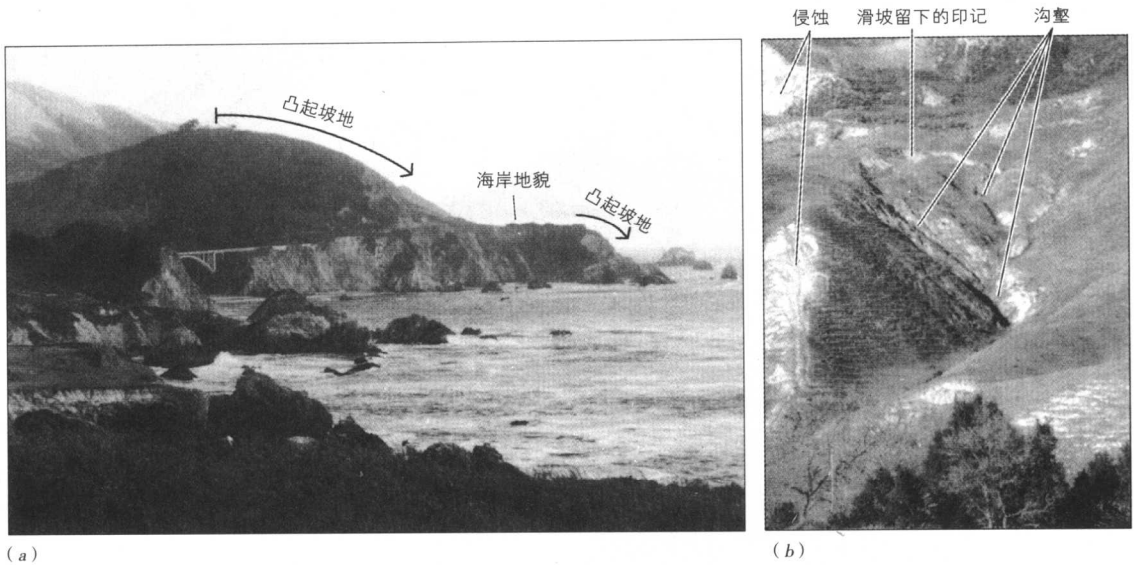


图 4.8 (a) 加利福尼亚海岸中部的一些绵亘凸起的山坡。山的前缘受波浪侵蚀而不断后退，中部有基岩起到抵御作用；(b) 滑坡和侵蚀在山体上留下的印记，形成与周围景观的明显区别

如，将岩床作为考虑因素时，陡坡段和缓坡段的差异则意味着相邻岩床层对风化和侵蚀抵抗能力的差异。在其他一些例子中，坡地剖面的杂乱无序来自岩石个体或沉积物本身的不稳定以及其行为随湿度变化而变化的特性。

4.5 坡地稳定性评估

在进行坡地的稳定性评估时，我们需要考虑许多可能导致坡地不稳定的因素。其中最为重要的是坡地的倾斜度、坡地的组成（包括构成坡地的土壤基岩）和坡地过去的活动记录。通常，曾经有过滑坡现象的陡峭坡地发生再次滑坡的可能性要比没出现过此类现象的同样坡地大，当遭受土地利用方式改变（土地利用造成坡地结构变化、植被丧失以及排水方式变化）时，滑坡的可能性会加大。如坡地中还含有不稳定的（或易被侵蚀的）岩石层或沉积层，那么则更容易出现滑坡了（图 4.9）。坡地危险性评估对规划而言是十分必要的，参加过加利福尼亚州规划的工作人员都知道，地图上标出的陡坡不稳定构造及其相应位置能够为土地利用规划提供极具价值的信息。这些不稳定构造通常有一些较为明显的标志，如坡地剖面图中出现的不平滑部分，以及（或是）烙印在坡地植被和土壤表面的滑动痕迹（图 4.8b）。随着时间的推移，这些坡地运动的痕迹会由于地表径流和侵蚀的作用发生一定的改变，但从不规则的排水和地形以及植被上的细微差别仍然可以探测到这些远古的瘢痕。

植被覆盖是判断坡地是否稳定的另一重要标准，很显然，有植被覆盖的坡地要比没有植被覆盖的坡地稳定。通过对美国西部坡地的研究表明，在遭遇特大暴雨的时候，那些被砍伐掉森林或因公路建设而被砍伐植被的坡地与植被覆盖完好的坡地相比更容易受到破坏。从空中俯瞰大地，植被覆盖中断的地方往往能够发现坡地滑动或严重侵蚀的迹象。在航拍图片中，坡地的新伤疤十分明

坡地稳定性指示物

坡地的不稳定因素



图 4.9 1995 年 3 月发生在加利福尼亚州圣巴巴拉的拉肯奇塔的 (La Conchita) 山体滑坡。这个山体几乎拥有全部的不稳定因素,包括倾斜角大于 60%、曾有过滑坡记录、在大雨下的基岩不稳定以及不恰当的土地利用方式(注意图中半山腰处的横向道路)

显,能够直接辨别,而老伤疤则需要依靠植被的品种和类型进行判断(图 4.8b)。虽然植被对坡地稳定作用还不很明确,但毫无疑问的是,茂盛密集的植被能够加强坡地的稳定性、降低轻度滑坡发生率、有效减小坡地地表侵蚀。除了植物根系对坡地的直接加固作用外,植被还有很多非直接的加固作用,如植被能够通过蒸发降低土壤湿度,增进坡地稳定。此外,连续完好植被中偶发的不规则现象还是发现坡度问题和潜在坡度问题的良好线索。

除以上因素外,由人类活动或自然因素造成的掏蚀和地震对坡地的稳定性也有很大影响。溪水、河流对坡脚的持续侵蚀或人工挖掘会使得坡地倾斜度增大,降低坡脚的限制力量,增加坡地的不稳定因素(图 4.8a)。另外,在坡地上建设道路也是一项需要谨慎对待的事情,道路的建设对山体造成的影响不仅使得坡地更为脆弱,同时还有可能引起地下水的下渗和径流作用,破坏地表物质。土地开发时的震动会使岩石和土壤物质松动,削弱颗粒间的联系,材料的抗压性降低,容易发生危险。事实上,坡地的许多大灾难都是由震动引起的,尤其是那些表面被雪、岩石碎片和沉积物等松散物质覆盖的高山,坍塌的危险性极大。

在评定坡地稳定性时,坡地的排水状况是另一个十分重要的评判依据。尽管我们通常很难测定坡地的径流过程、土壤含水量以及地下水含量等数据,但排水状况

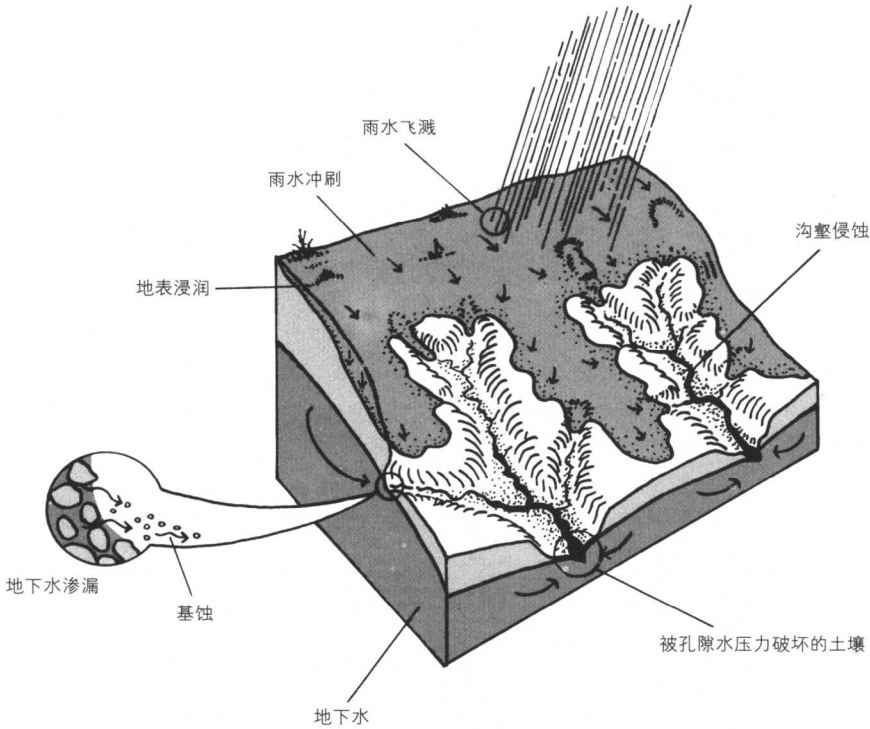


图 4.10 排水状况对坡地稳定性和侵蚀的影响。当冲沟深切并且地下水渗透时，坡地最不稳定

它们的确对坡地的稳定性产生十分显著的影响。虽然径流过程（如雨水飞溅和雨水冲刷）通常不会对地表产生影响，但雨水浸润了土壤，使泥土变成泥浆，加大了形成泥石流的可能性。当径流沿下坡方向水流量逐渐增大，并集中在沟渠里，其侵蚀力量也就大大加强，使坡地形成冲沟，冲沟通过破坏表土进入底层土壤使得坡地变得脆弱（图 4.10）。在地表以下 3-6 英尺深处，冲沟和沟渠会截取地下水，使之渗漏，进而湿润土壤，使之变成疏松的弹性物质或流体物质，易于被侵蚀和产生泥石流。

此外，地下水渗透产生的基蚀和管涌也会对坡地造成破坏。我们知道，地下水的流动是由静水压力——即孔隙水压力驱动的，这种力量能够减弱坡地物质的骨架力量，破坏坡地。孔隙水压力会严重威胁水库周围的坡地，因为那里水平面被抬高，静水压力在水库一侧的坡地处增大。在那些有灌溉水或管道水的地方，水的存在加大了坡地渗透负荷，孔隙水压力使地表变得脆弱。孔隙水压力和饱和土壤产生的淤泥是 1996-1997 年冬季太平洋西北部坡地崩塌的主要原因。

最后还要考虑土地利用因素。当坡地受到来自公路、矿业、公共设施和建筑基地开发的时候，坡地形式、排水系统和植被覆盖都会被改变，坡地的整体稳定性被打破。其中，排水系统的改变对坡地的影响是最大的。正如上文中所提到的，水库的建设是造成坡地不稳定的一大原因。土坝也是被同样的机械力量破坏，即渗漏和孔隙水压力。公路、排水管道和桥梁周围排水方式的改变同样会导致渗漏量的增加，被改道的水流也会弱化坡地并造成严重的破坏。

然而不幸的是，直到今天，我们仍然缺少一个对坡地有效的综合分析方法，

表 4.2 斜坡稳定性清单

坡度	<input type="checkbox"/> <10%	<input type="checkbox"/> 10%-25%	<input type="checkbox"/> 25%-50%	<input type="checkbox"/> 50%-100%	<input type="checkbox"/> >100%	
组成	<input type="checkbox"/> 坚固的基岩	<input type="checkbox"/> 断裂的基岩	<input type="checkbox"/> 断层角砾岩	<input type="checkbox"/> 沙、砾、壤土	<input type="checkbox"/> 紧密黏土疏	<input type="checkbox"/> 松湿润黏土
历史	<input type="checkbox"/> 过去无滑坡	<input type="checkbox"/> 过去滑坡 (19世纪以前)	<input type="checkbox"/> 最近滑坡 (19世纪或20世纪)	<input type="checkbox"/> 新滑坡 (1975年至今)		
植被	<input type="checkbox"/> 完全的森林覆盖	<input type="checkbox"/> 稳固的乔木和 草本覆盖	<input type="checkbox"/> 较小面积的稀疏植被	<input type="checkbox"/> 大面积的稀疏植被	<input type="checkbox"/> 广阔的荒地, 如火烧地或 废弃地	
排水	<input type="checkbox"/> 无渗漏; 无排水线	<input type="checkbox"/> 较小的季节性渗漏; 较小的沟壑侵蚀	<input type="checkbox"/> 较大的渗漏和/或强烈的 沟壑侵蚀	<input type="checkbox"/> 强烈的渗漏, 年老的沟壑 侵蚀; 中断的排水; 池塘 和水库		
土地利用	<input type="checkbox"/> 完全没有开发	<input type="checkbox"/> 较少的开发, 少量的道 路建设切断自然坡地	<input type="checkbox"/> 开发并切断了主要的坡地	<input type="checkbox"/> 在陡坡上完全开发; 林地 被毁, 因建设道路而强行 切断坡地并铺设管线(坡 地地不稳定因素)		

坡地因子的综合
分析

无法将这些变量结合起来进行综合分析, 现有的方法仍不够成熟, 并且在大面积区域或实验室试验都没有经济上的可行性。计算稳定性的工程模型通常也是不可靠的, 因为大多数自然坡地的组成和排水系统对于工程模型而言太过复杂。并且, 工程规则常常只是某个特定坡地或场地独有的, 不能用到其他项目中去。因此在进行土地利用规划和环境管理时, 为评价坡地的稳定性必须参考上文中提到的一系列标准: 它们包括坡地的原有稳定性、组成以及坡度等。表 4.2 提供了一个基本对照数据的列表。在制作地图时, 这些标准的选择和使用将取决于数据的有用性和可靠度以及制图者的分析和综合能力。

数据来源

一般说来, 地形等高线图、航拍图、地质图、地震图和土壤图都可用作数据资源, 但由于测量比例, 途径和单位的不一, 我们需要对它们进行综合和挑选。当一种理想的标准被采用后, 地图覆盖技术就能标出坡地不同稳定性级别的区域——GIS 技术对此大有帮助。最后, 需要注意的是, 坡地的稳定性通常是由各种各样或短暂、或长期、或可见、或不可见的因素综合而成, 坡地滑动或坍塌事件难以预料也不足为奇。在加利福尼亚, 一些由于火灾而失去植被的

山体(没有不稳定记录的山体),加上长期的地表浸润,已经弄得土崩瓦解;而另一些山体则变得更陡、更湿、更裸露。

4.6 坡地分析法在社区规划中的应用

过去几十年里,在缺少发展规划和必要基本信息的情况下,美国和加拿大的人们在山坡上建立并发展了许多社区。房地产开发所带来的巨大利润驱动了近几十年来的山地建设热潮,对地形、排水等相关因素的考虑排在了十分次要的位置。显而易见,在利益主体方面,现在的房地产建设与人类发展早期的社区建设是完全不同的。过去,居住者拥有决策、开发和居住的多重身份;而现在的社区建设中决策者、开发者和居住者通常是不同的利益主体,有着各自不同的利益。

因此,在现代社会中的大规模项目规划中,许多开发商很少考虑项目的选置,然而通过房产之间的买卖,麻烦却转移到了购买者(居住者)的头上。当问题真的出现时(如地基破坏和洪水等),责任是需要当地居民来承担的。如果房产是再次经过转让的,有第二或第三个主人,那么事情将变得更加复杂。修复行为的社会和经济成本都十分高、代价昂贵,常常由当前的产权拥有者、社区、一些较高层政府部门或三者一同承担。一些惨痛的经历对其他许多社区起到了教育作用,他们知道应该借助土地利用规章来限制那些有可能超过地形承受能力的发展规划,以及(或是)通过对开发商和购买者进行适当的教育以纠正他们的行为。

买方注意事项

现在,美国和加拿大已经颁布了许多有关坡地的环境法规。并且法规背后的基本理由各不相同:例如,有些社区设立法规是为了控制发展;而有些用来保护环境;有些则是用于危险品的管理等。在许多案例中,坡地环境法的实施是十分必要的:(1)首先绘制坡地地形图,划出适宜区和不适宜区;(2)建立对项目、场地规划的核查和评价程序。

与坡地相关的
法规

在制定与坡地相关的环境法规时,社区会利用几种不同的方法。第一种方法是依据用地的平均坡度来确定整体的发展密度。对于那些包含许多由类似个体组成的坡地群(如山谷和山丘),社区根据地形单元的平均坡度来确定最大建设密度(图4.11)。表4.3中显示的是加利福尼亚州的三个社区按要求保留的未开发土地的比例。例如在丘拉维斯塔,坡度平均达到30%,这意味着每开发1英亩的土地就需要保护9英亩的土地。

第二种方法是严格依据单个坡地坡度制定开发密度。人们根据如前所述的方法对某块特定区域(通常是那些有可能进行开发的区域)中的每一个坡地绘制地图。并将坡地分成四至五个等级,每一个等级都法定最大允许的开发密度。例如在奥斯汀和得克萨斯,当坡地倾斜度为0%~15%时,最大居住密度为每英亩一个单元。对于那些更陡的坡地,如倾斜度高达15%~25%或25%~35%的坡地,只有经过正式申请并获得批准后才能够进行开发。

第三种方法是综合考虑坡地的多种特征(包括坡度)来进行开发密度的制定。例如,由不稳定土壤组成的坡地,长期有森林覆盖的坡地以及景观价值很高的坡地都需要连同坡度一起在地图上标出。开发计划则需要直接针对其中的

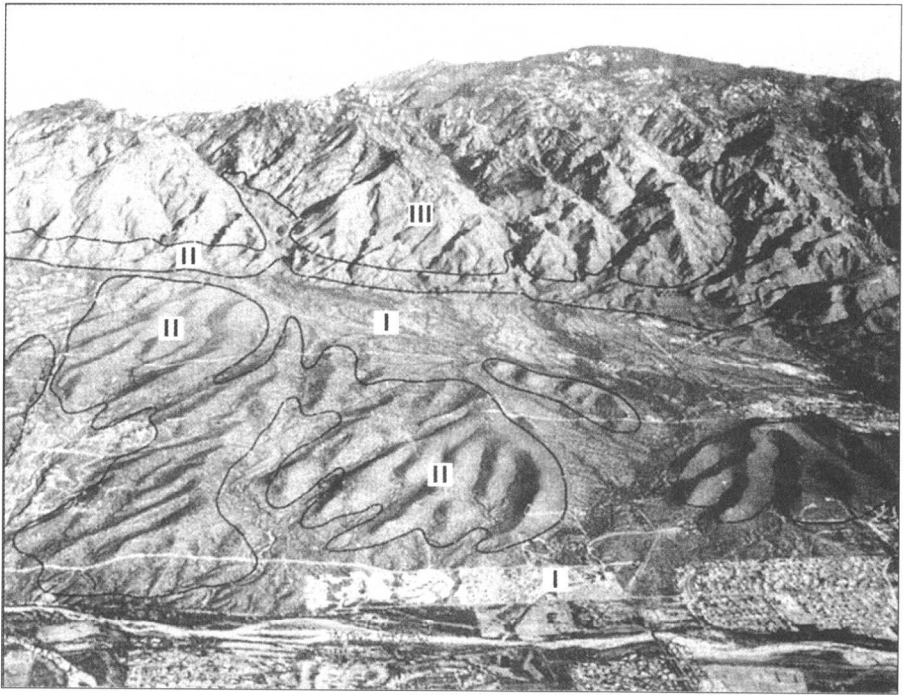


图 4.11 山地中的地形单元。高密度的开发可在类型 I (平均坡度小于或等于 10%) 中进行

每一项因子。这种方法适用于地形复杂的地区。

流域管理中的 坡地

然而,在进行坡地法规的制定时,所有的社区都未能做到从流域的角度出发来划分基本地形单元或地质单元。事实上,稳定或不稳定的坡地并非偶然地分布于景观之中,它们常常会表现出一些特殊的空间格局(如陡峭的地表、崎岖的地形)或是特殊的排水状况(如土壤水饱和、地下水渗漏、快速的径流等)。而这样的地形和排水状况绝大多数又都是出现在流域的起始处——山头、山丘或山坡。

那些为保护和管理坡地的法规不仅需要减少土地利用、使环境免遭破坏,同时还起着保护水供应、管理洪水,保护公共空间和栖息地等多重作用(图 4.12)。可以说,所有的社区都无一例外地位于不同大小、不同形状的流域之中,并且其中的大部分位于流域盆地的下游区域。而那些偏远郊区和乡村的居民区却大多位于流域的上游区并有继续推进之势,那些地方通常具有较好的自然风光,并且环境更为敏感。除非社区能够真正意识到这种趋势,认识到基于流域方法的土地利用规划的必要性,并制定出一个能够结合地形、坡地稳定性、排水状况、洪水、土壤以及植被等多因子的综合框架,坡地的问题才真正有可能得到

表 4.3 加利福尼亚州三个社区的坡地开发时必须保留的未开发土地比例

平均坡度 (%)	丘拉维斯塔	帕西菲卡	橡木城
10	14%	32%	32.5%
15	31%	36%	40%
20	44%	45%	55%
25	62.5%	57%	70%
30	90%	72%	85%
35	90%	90%	100%
40	90%	100%	100%

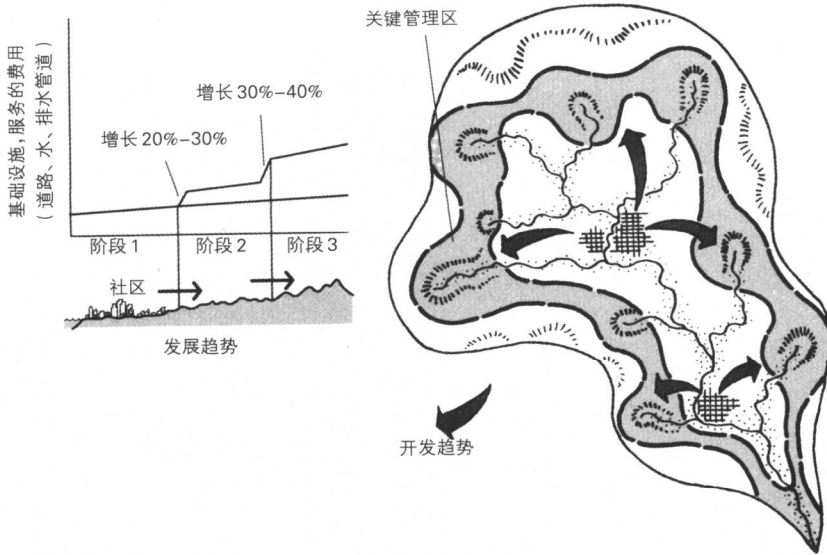


图 4.12 流域中不稳定地表以及潜在不稳定地表的分布图 (图中的关键管理区)。箭头所指的方向代表开发的趋势, 其中很多都指向了关键管理区。如左图图例中所示, 居民建筑向更高、更不平坦的地形处蔓延, 设施和服务所需的费用也逐渐增加

有效的解决。目前那些只是针对其中某种因子的法规从长远看来是没有多大意义的。我们将在后面的第 8 章和第 9 章详细介绍流域和其中的排水系统。

4.7 为什么坡度图在某些地方无效

社区限制陡坡开发的主要理论是因为设施会威胁到坡地环境以及坡下的相关区域。人们普遍认为, 坡地上的开发建设会加速地表径流, 造成更严重的土壤侵蚀、更大的洪水、降低坡地下游的水质, 并且径流速度和相关的环境破坏还会随坡度的增加而增加。然而, 事实上许多理解都是错误的, 具体原因如下: 其一, 由于陡坡坡地比缓坡坡地暴露在空气中的表面积要小, 因此越陡的坡地雨水总量小, 如垂直的悬崖就没有汇水处; 其二, 坡地上方的区域常常是坡地径流的主要来源, 位于缓坡高处大面积区域所带来了大量的径流, 使得许多缓坡比临近的陡坡更危险; 其三, 标准的坡地地图是不会标明径流方式的, 也就是说地图并不理会径流到底是以何种方式 (分散的或是集中的) 流出坡地的。这是因为传统的坡地地图采取的只是二维的表现方式。相比之下, 三维的表达形式带给我们一种全新的体验方式。

坡度与径流速度

在坡地的三维表达方式中, 许多坡地既有凸处也有凹处 (它们形成凸起“鼻”和凹陷的“洞”), 这些形式决定了径流的走向。如凸坡上的径流是分散的, 而凹坡上的径流则是集中的 (图 9.10)。由于凸坡通常比凹坡陡峭, 容易干燥, 因此缓坡中的凹坡往往更危险, 易于给设施和环境带来破坏。此外, 由于凸坡很少有上下坡的连续径流, 也会更加干燥一些。这也就是说, 遵循传统的坡地地图 (仅仅依靠坡度) 就会作出与环境法规意图恰恰相反的决定。请注意, 法规的意图是控制土地利用对坡地排水系统、水质和其他相关因素 (如栖息地) 的影响。

坡地形状与径流

4.8 案例研究

在社区规划中坡度是限制增长的因素

威廉·M·马什

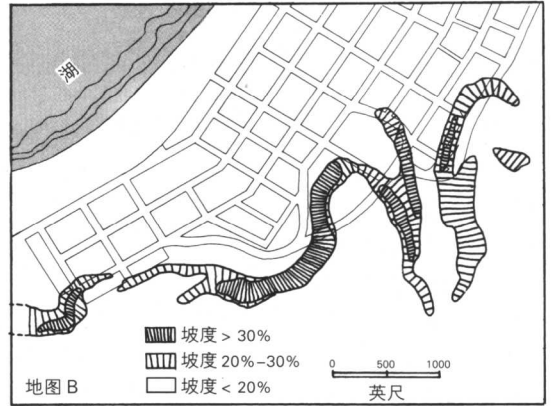
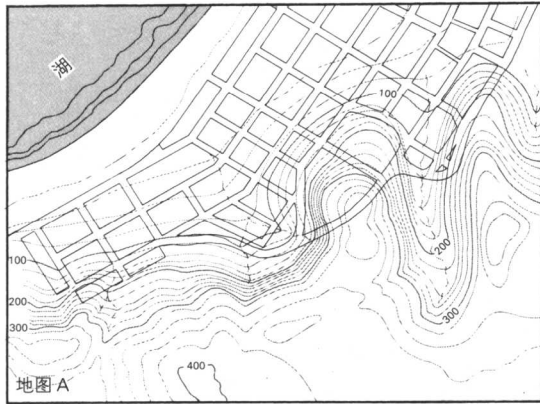
多年前,当美国和加拿大的许多乡村社区正在建立政府系统的时候,凭借在合并期间夸大城镇的边界,社区获取了大量未开发土地。然而,这些土地往往不受重视,在当时的社区地图中,通常没有这些土地自然地形的反映,并且在大多数情况下,城镇也没有对它们的发展进行过规划,因此导致了社区自身在这些地方的无序蔓延。有些社区甚至直接在地图上将这些土地分成小块,并不加分析地赋予功能,将它们划分为居住区、城市街区、街道和邻里单位等。

近几十年来,其中的一些社区以令人难以想像的速度迅速侵占着那些空地。许多土地被划分成小块,并且糟糕的是,很多社区已失去了对土地开发的控制。他们现在惟一能做的就是建立规划法规来帮助管理那些新开发的土地,并保持社区与这些基本资源的平衡。

由于所处的具体地形有很大差别,因此针对新开发土地的规划法规也有着许多不同的制定方式。其中之一是增长性控制法规——即确定开发的数量、类型和发展速度,这种方法可以通过设定土地开发密度的上限或设定建筑的配额来实现。另一种方式是通过环境法规来实现的——即设立有关开发的环境限制,如加利福尼亚州的一些社区把水供应作为限制因素,一般而言,社区会用一个或多个景观因素如坡地、土壤、湿地和濒危物种等来调控开发。

地图A中所示的为密西根南部的一个社区,在19世纪末20世纪初时,社区曾将土地不加区分地划分成了小块。但所幸的是,由于这些陡坡不易到达,难以进行建设,且耕作困难,因此那时的人们不大愿意进行坡地的开发。然而今天的情况却发生了很大的转变,人们愿意住在山地上,苏必利尔湖(Lake Superior)的美景吸引着有远见的房地产开发商,并且现代化的交通工具使得陡坡易于到达。很显然,为保护社区环境中有一部分的这一部分,坡地法规是很有必要的。

为使法规更加有效,我们需要将法规建立在理性的标准之上,使土地使用者能够理解法规并支持法规的管理。换句话说,也就是法规(禁止在坡地上进行建设的规定)以及其背后的原因能够符合个人或社区的立场,并为市民所接受。在苏必利尔湖的例子中,许多坡地由沙质土壤组成,上面有阔叶树,坡地上的破坏活动很容易导致坡地失衡,并且对坡地地下部分造成破坏。在此,我们可以通过规划文本的说明将问题科学地解释清楚。另外,在坡地上开发居住区不能使用城市统一的下水道系统,因此需要就地的污水处理。充足的证据表明,就地的污水处理系统对陡坡开发是严重的限制。基于这样或那样的原因,在社区发展中,我们有充分的理由将坡地因子作为控制居住或其他类型建设发展的限制因子,并应当根据恰当的原则在地图上划分出坡地上严格限制发展的区域(发展的禁区)(如地图B)。



4.9 推荐阅读文献

- Briggs, R. P., et al. "Landsliding in Allegheny County, Pennsylvania." *Geological Survey Circular* 728, 1975.
- Carson, M. A., and Kirkby, M. J. *Hillslope Form and Process*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1972.
- City of Austin. *Comprehensive Watersheds Ordinance*. Austin, TX: 1986.
- Cooke, R. U., and Doornkamp, J. C. *Geomorphology in Environmental Management* (2nd ed.). New York: Oxford University Press, 1990.
- Crozier, M. J. "Field Assessment of Slope Instability." In *Slope Instability* (D. Brunsten and D. B. Prior, eds.). Hoboken, NJ: Wiley, 1984, pp. 103-142.
- Dorward, Sherry. *Design for Mountain Communities: A Landscape and Architectural Guide*. Hoboken, NJ: Wiley, 1990.
- Gordon, Steven I., and Klousner, Robert D., Jr. "Using Landslide Hazard Information in Planning: An Evaluation of Methods." *Journal of the American Planning Association* 52:4, 1986, pp. 431-442.
- Keaton, J. R., and DeGraff, J. A. "Surface Observation and Geologic Mapping." In *Landslides: Investigation and Mitigation* (K. A. Turner and R. L. Schuster, eds.). Washington, DC: National Academy of Science Press, 1996, pp. 178-230.
- Milne, R. J., and Moss, M. R. "Forest Dynamics and Geomorphic Processes on the Niagara Escarpment, Collingwood, Ontario." In *Landscape Ecology and Management*. Montreal: Polyscience Publications, 1988.
- Schuster, Robert L., and Krizek, Raymond J. *Landslides: Analysis and Control*. Washington, DC: National Academy of Science Press, 1978.
- Terzaghi, K. "The Mechanism of Landslides." In *Application of Geology to Engineering Practice* (S. Paige, ed.). Geological Society of America, Berkeley Volume, 1950, pp. 83-123.
- Turner, K. A., and Schuster, R. L. *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special Report 247. Washington, D C: National Academy of Science Press, 1996.



第5章

土壤，土地利用适宜性 与废弃物处理

- 5.1 简介
- 5.2 土壤组成
- 5.3 土壤质地
- 5.4 土壤水分与土壤排水
- 5.5 土壤、地貌和地形
- 5.6 在土地规划中的应用
- 5.7 有关固体废弃物处理的规划
- 5.8 有害废弃物的管理和处理
- 5.9 案例研究 为私人场地开发绘制场地土壤图
- 5.10 推荐阅读文献

5.1 简介

对于我们之中的大多数人而言,我们几乎都能够从任何尺度上觉察出土壤组成与农业耕种之间的关系,尤其是在那些传统的农业区。然而,对于其他形式的土地利用方式而言,土壤的构成与利用方式之间的关系对我们来说却显得不是那么明显。那么,到底是什么原因导致产生了如上所述的现象呢?下面我们仍以北美地区作为分析对象来进行解释。在北美,其中的部分原因是由于现代开发商对土壤的关注甚微,有的人甚至认为,令他们自鸣得意的现代工程技术可以解决建设中遇到的所有土壤问题。诚然,我们不可否认现代工程技术的确具有在任何环境里建设任何建筑的能力,但是,在那些不稳定土壤上进行建设以及为缓解环境压力所需要支付的额外费用常常是十分昂贵的。现在,已经有越来越多的决策者开始意识到这一点,并借助土壤调查的方式来帮助指导场地选择和场地规划,包括居住区、工业区以及其他类型发展区的地表和地下结构的规划。

除土壤质地方面的考虑外,土壤中越来越多固体废弃物和有害物质的处理也成了在一个建设中值得高度关注的问题。目前,除细致的土壤评估、地形和排水等方面的考虑外,寻找新的垃圾处理场地已经成为场地规划时需要面对的“永恒”问题。今天,许多大城市几乎快要被垃圾包围,城市中过多的垃圾处理场和垃圾填埋地不仅给环境带来威胁,同时也给城市进一步的发展设置了障碍。如果人们在进行道路、建筑、公益设施等项目的建设时遇到垃圾掩埋地,那么这个选址就很有可能被放弃,惟一可以挽救的方法也只能是将废弃物挖出后在其他地方进行妥善处理。对于大多数的土地所有者而言,为减缓废弃物对建筑的影响所需支付的巨额费用是他们根本无力承受的,这也是为什么要在开发前进行土壤调查的第二点原因。

然而,土壤仍然未像其他主要环境因素那样引起规划者们的注意,当然,除非是存在某些特殊的需要(如需要掩埋废弃物或存在不稳定的坡体),否则土壤常常是不被重视的。人们往往会直接将许多农业土壤调查的数据和信息[来自美国自然资源保护局(U.S. Natural Resource Conservation Service),通常只是包括十分粗略的信息]转绘到场地地图之上,而不顾及其比例大小以及其他的一些限制。在另一些情况下,土壤的信息可能来自工程调查,工程师们为进行建筑或设施的设计和建设,会有目的地对土壤进行调查,然而这些调查工作通常也都是十分局限的,仅限于建筑的场地和地下的土壤物质。显然,在环境规划中,以上的土壤数据都是不全面的,无法满足规划编制的需求。

5.2 土壤组成

通常,我们会用一些特征或性质来描述包括土地开发在内的土壤问题。一般来说,土壤的质地与组成是最具意义的两项属性,通过以上两个属性,我们可以得出土壤承载能力、内部排水能力、可侵蚀性和坡体稳定性等土壤特征。

土壤组成,指构成土壤的所有物质。基本上包括以下四种组成要素:矿物质、有机质、水和空气。其中,矿物质颗粒会占到土壤体积的50%~80%,是构成土壤骨骼的重要物质。由矿物质颗粒相互挤压形成的土壤骨架不仅可以支撑其

组成

表 5.1 岩石和土壤物质的承载能力值

类别	物质	容许的承载值(吨/平方英尺)
1	块状结晶质基岩 如花岗岩、片麻岩	100
2	(岩石) 变质岩 如片岩、板岩	40
3	沉积岩 如页岩、砂岩	15
4	高度紧密的砂砾、砂土	10
5	紧密的砂砾、砂土/砂砾混合物	6
6	松散砂砾, 紧密的粗砂土	4
7	(土壤物质) 松散的粗砂土; 松散的砂砾/砂土混合物, 紧密的细砂土, 湿润的粗砂土	3
8	松散的细砂土, 湿的细砂土	2
9	硬黏土(干)	4
10	中硬度黏土	2
11	软黏土	1
12	有机质, 或粉砂	(野外试验确定)

资料来源: Code Manual. New York State Code Commission.

自身的重量, 并且还可以支撑起土壤的内部物质(如水分)以及叠加在其上的景观的重量(如建筑物等)。通常砂粒和砾石能提供最大的稳定性, 并且当它们相互排列得十分紧密时, 还会产生相当高的承载力。承载能力指的是土壤对插入其内部的重物(如建筑物地基等)的抵抗能力。总体上看, 砂土、砾石具有较强的承载能力, 而黏土则较低。在压力的作用下, 大块松散的湿黏土常常会被压缩并且发生侧向滑动的现象(表 5.1)。

土壤中的有机质

有机质是构成土壤的另一大组成要素, 通常不同土壤的有机质含量会有很大的区别, 并且同时具有积极和消极两方面的作用。消极方面: 有机质颗粒承载力低, 只能提供较弱的土壤骨骼; 在路基或地基的作用下, 有机质容易产生不同程度的压缩和下陷, 并且在脱水后, 由于经历腐烂、风蚀或其他一些过程, 有机质的体积会大大缩小。在那些有机质土壤达到 20 英尺或者更深的地方, 往往是不能够进行设施建设和土地利用的。

积极方面: 有机质对土壤的肥力和水文是极其重要的。由于风蚀和径流作用的影响, 农业用地的表土流失现象已经成为当今世界上最为严重的环境问题之一。值得注意的是, 含有有机质的表层土以及湿地中的有机沉积物都具有重要的水分存储功能, 因此有机质在陆地水的平衡中起着十分重要的作用。表土通过吸收绝大部分的降水, 从而减少地表径流的流量; 另外, 有机沉淀物常常还可作为湿地植被的水分贮存器以及地下水的补给点。

5.3 土壤质地

土壤质地的定义

土壤中的矿物颗粒在大小上具有很大差异, 可以从微小的黏土粒到巨大的砾石。其中最为常见的颗粒有砂粒、粉粒和黏土粒, 它们也是土壤质地研究的焦点(图 5.1)。质地是一个用于描述土壤样品中颗粒大小的专业术语, 可以通过一种较为简单的方法测出: 首先, 我们将土壤中的砂粒、粉粒和黏土粒分开后称重, 然后用百分比形式表示出每一类颗粒的重量与土壤样本总重量的比值。

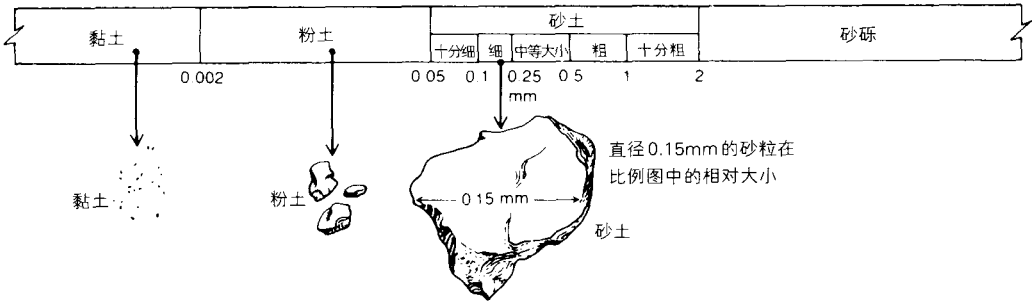


图 5.1 土壤矿物颗粒大小比例图。图示中给出了与直径为0.15mm的砂粒相比的黏土颗粒和粉土颗粒的大小

然而，由于土壤颗粒并不完全是由以上三种颗粒构成，因此我们还需要利用其他的术语来描述土壤颗粒的大小组成。土壤学家采用了12种基本的土壤质地术语，并将壤土作为基准物——因为其中砂粒、粉粒及黏土粒的含量都是较为适中的。根据美国自然资源保护局(U.S. Natural Resource Conservation Service)提供的标准，壤土由40%的砂粒，40%的粉粒和20%的黏土粒构成。如果是由50%的砂粒、40%的粉粒和10%的黏土粒构成的土壤则被称为砂壤土。在农学中，人们用一种三角形的图表来表示土壤质地的名称和相对应的比例关系(图5.2)。如果我们通过土样测定知道了各种颗粒的百分含量，则可以查表得出正确的土壤名称。

在野外，土壤质地可以通过野外手测的方法获得。首先，我们需要提取一把土壤样本，然后把它紧捏成三种基本形状：(1)铸型，在紧握拳头中将其捏成团块(以手为模具获得的形状)；(2)圆条型，在手掌中将土壤搓成铅笔形；

野外手测

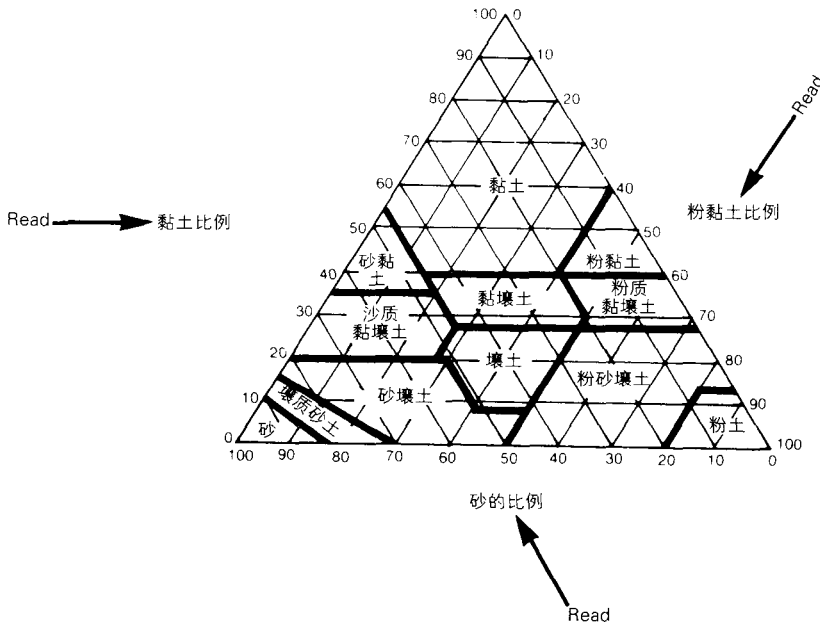


图 5.2 土壤质地三角图，包含主要的子类（美国农业部）

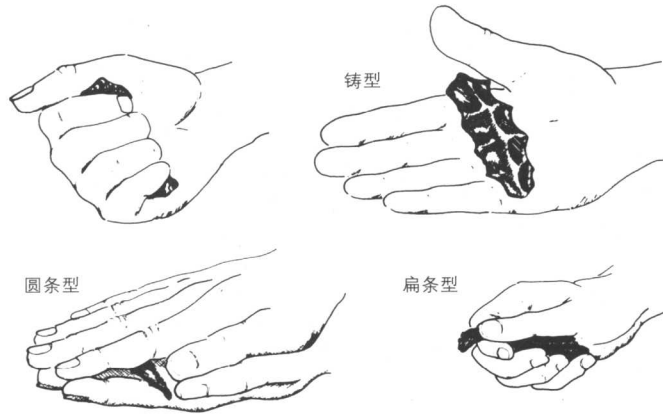


图 5.3 野外手测土壤的四种基本方式。见图 5.2 中的判别标准评判土壤类型

(3) 扁条型，用拇指和食指将一小块土样捏成的扁平状(图 5.3)。如果可以完全定型，则可以基本上确定样本土壤的结构类型(应先将土样适当潮湿后再进行试验)。

在手测中，土壤的性能取决于土壤中的黏土含量。黏土具有很高的黏性，当被润湿时就像塑料。因此如果土样中黏土的含量很高，那么该土样会很容易成型，并且会长时间地保持着被捏成的形状。表 5.2 给出了五种常见的土壤质地的性能特征。

筛分(法)

另一种确定土壤质地的方法叫筛分法，这种测定方法需要借助特定的设备——沉淀筛，沉淀筛是一种带有不同大小特制网眼的筛子。当土壤通过一系列不同大小网眼的筛子后，土壤颗粒就会被根据大小分为不同的粒级。接着将每一种等级称重，就可以用重量的百分比得出土壤的结构值了。

这种方法很适合测定那些由粉粒、砂粒和一些较大颗粒物组成的土壤。但对于黏质的土壤，这种方法则不太适用，由于黏土粒太小往往难以分离，因此对于这样的土壤，我们需要先把黏土粒从土壤中分离出来。分离的方法利用了

表 5.2 野外手测土壤质地的评判标准

野外测试 (形状)	土壤类型				
	砂壤土	粉砂壤土	壤土	黏壤土	黏土
铸形土	可以承受谨慎的搬运而不破碎	非黏结性的粉壤土承受谨慎的搬运而不破碎；粒级好的粉壤土可以自由搬运而不破碎	可以自由搬运而不破碎	可承受多次搬运而不破碎	可以被捏成各种形状而不破碎
圆条形土	厚、脆、易碎	厚、软、易碎	当捏成铅笔芯的细度时易碎	可以搓成很细的线状	可以搓成很细的线状，且柔韧性好
扁条形土	不能成型	不能成型	形成短、厚的带状土块，在自己的重量下会破碎	形成细的带状土块，在自己的重量下会破碎	长且细的可弯曲条带，且在自身重量下不会破碎

细粒在悬浮液中沉降速度不同的原理。与砂粒和粉粒相比,黏土粒的沉降速度是十分缓慢的。黏土粒将被分离出来,然后将含有黏土粒的水倒出后进行蒸发,最后将剩下的黏土粒残渣称重。

5.4 土壤水分与土壤排水

不同的土壤具有不同的水分含量,并且其中的水分含量会随黏土粒大小、当地排水状况、地形、气候等因素的变化而变化。土壤水有以下两种存在方式,一种是充斥在土壤微粒的间隙中(大部分土壤水的存在方式);另一种是存在于土壤颗粒中(只有一些有机质土壤和黏土才会用黏土粒明显地吸收到一部分水分)。然而无论是矿物质土还是有机质土,主要土壤水形式只有两种,即毛管型和重力型。毛管水是一种分子水,水分依靠水分子间的凝聚力保持在土壤之中。在这种凝聚力的作用下,水分子常常从土壤的潮湿处向干燥处运动。在夏季,大部分的毛管水会从地下向地表转移,然后在蒸发和蒸腾的作用下消失。

土壤水形式

重力水是在重力作用下移动的液态水,在土壤中主要是至上而下运动,并在底土和下垫基岩之间聚集形成地下水。地下水充满了黏土粒间的全部空隙,因此,地下水位以下的土壤基本上与空气隔绝。

地下水位

在众多有关土壤的研究中,关于土壤排水方面的文献会经常提及重力水和土壤水下渗方面的问题,并常常用以下的术语来描述这些过程:(1)渗入能力,指水渗入土壤表面的速度(通常用厘米或英寸每小时表示);(2)渗透率,指水在土壤内部通过特定体积物质的速率(通常也用厘米或英寸每小时表示);(3)渗滤率,指土壤内小坑或小管中的水分被其周围土壤吸收的速率(主要应用于污水吸收测试,以英寸每小时为单位)。例如,如果文献中提到“排水性差”则意味着土壤通常或永久保持着水饱和状态或者总是含有水;如果提到“排水性好”则意味着重力水可以不断地被土壤转移,并且土壤不会长时间处于水饱和状态。当然,有许多原因可以引起土壤的水饱和:(1)由当地地表水聚集引起(如河水泛滥或低洼处的汇流);(2)由于土壤中水位上升(如水库上涨或过量灌溉);(3)由于土壤的颗粒太小以至于不能传输渗入水分(如土壤中存在不透水层或黏质土壤)等。

排水过程

排水良好的含义

5.5 土壤、地貌和地形

几乎所有的土壤都是在地貌过程的作用下由地表沉积物分化而来,如风、冰川融水、海浪、洪水及山崩等都是地貌过程,它们能够促使土壤的生成。在美国和加拿大,主要有以下三种类型的地表沉积,分别是冰碛物、冲积物和风积物(如黄土和沙丘)(见图 2.12),这些沉积物是北美大陆大部分土壤的母质,这一特性能够帮助我们对许多地球事件进行推断,如什么物质会出现在什么地点,或是哪里又可能会出现何种的空间变化等。例如北美大平原的中心区,那里的地形广袤平坦,地表的土壤物质也几乎一样(事实上是黄土覆盖了除河流以外的所有地表)。然而在崎岖不平的地形里,情况则完全不同

母质

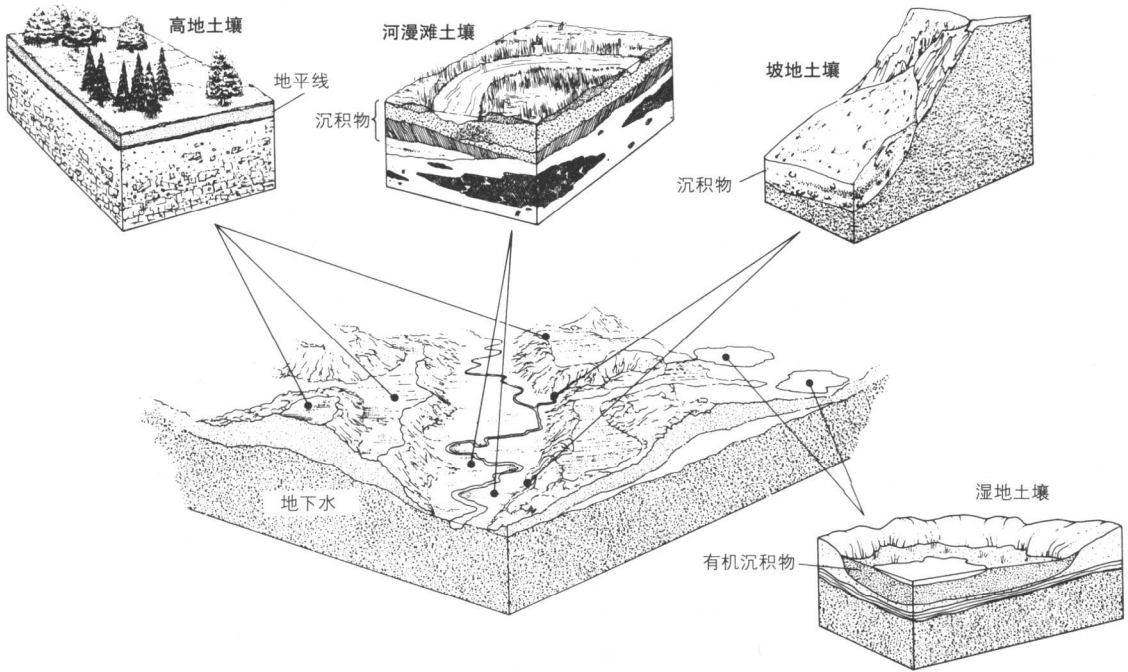


图 5.4 常见的成土源和沉积环境：湿地、斜坡、洪积平原、高地

了,我们可以在小到10英亩的土地上找出许多组成上具有明显差异的沉积物,例如在河谷地带,河漫滩上会混杂地分布砂砾和有机质的沉积物;又如在冰川地带,松散的砂粒与密实的黏土间的距离只有几百米或更少。事实上在地球表面,每一种沉积物都会有某些特定的暗示:向人们暗示出地貌、水体或植被的类型(图5.4)。

风化土

风化土是指地表沉积物在经历了与气候、植被、地面排水和土地利用有关的成土过程的改变后,形成的一个具有一定次序、并由不同物理、化学、生物成分组成的复杂介质,又称为“真土”,通常有3-8英尺厚。真土层是土壤学家在进行国家、区域及县域尺度上测量以及绘制地图时调查的对象(附录A列出了用于美国和加拿大的基本土壤分类系统)。真土层的下方是大量的沉积物,它们仍保留着其形成时的基本特性,这对于土地开发而言非常重要,因为垃圾掩埋、房屋地基、道路路基、削坡等类似的工程都是建设在沉积物之上的。目前土木工程中广泛应用的统一土壤分类系统也适用于这些物质(表5.3)。

地形和土壤

地貌学家已经根据不同的沉积物类型制定出了一套基本的地貌分类法,依据此分类法,我们可以从地形特征推断出一些土壤特性。然而值得注意的是,在推断时,我们必须考虑到地理尺度对推断结果的影响。一般来说,最大的尺度只能提供最少的满意答案,对于那些只具有单个地貌类型的地区,如湿地、沙丘或冲积平原,地形和土壤的相互关系比较明显,对规划目标相当有用。附录B列出了一系列地形特征、土壤组成以及排水系统之间的相互关系。

表 5.3 土壤统一分类系统表

类别	描述	基本准则	更细的准则
G (Gravel)	石砾和砂砾土 (基本上是卵石大小, 直径大于 2mm)	土壤质地	基于均匀的粒径和存在小物质如黏土粒和粉粒
S (Sand)	砂土和砂质土	土壤质地	W 良好的 (均匀的粒径) 和纯净的 (没有黏土、粉土和有机质残骸) C 良好, 有微量黏土粒与土壤黏在一起 P 差, 但相当纯净
M	很细的砂土和盐分 (无机)	土壤质地、组成	基于塑性和压缩性性能标准
C (Clay)	黏土 (无机)	土壤质地、组成	L 中低压缩性和低塑性
O (Organic)	有机质粉质土和黏土	土壤质地、组成	H 高压缩性和高塑性
P (Peat)	泥炭	组成	

土壤组成和独立地貌单元内的地形坡度也有着一定联系 (图 5.5)。那些能够反映地形因素的土壤叫做**地形序列土壤**(指一系列能够反映出地形影响其特征的土壤, 又称为**土链**), 可为场地规划提供有用信息。例如在冲积扇地区, 土壤质地由山顶到山脚是逐渐变小的。此外, 冲积扇的结构非常复杂, 由多层沉积物构成, 并且其中可能含有一些不适合建设的不稳定水饱和层。而另一种沉积物形式——**岩屑坡**——是由从坡顶掉下来的岩石堆积而成, 它在土壤质地方面与冲积扇恰恰相反, 坡底颗粒大而坡顶颗粒小, 总体排水状况良好。在植被覆盖的坡地, 地形序列土壤通常变化很小且基本处在表层, 尤其是坡地上的表土, 会随坡度不同发生明显的变化, 在倾斜度最大的半山坡, 径流冲走大部分有机质, 表土的发育程度最低; 而在坡脚处, 由于径流速度的减慢和有机质的沉积, 表土发育良好 (图 5.6)。

地形序列土壤

5.6 在土地规划中的应用

在美国和加拿大, 政府机构会进行大量的土壤调查对土壤进行分类并绘制土壤图。**土壤调查**的最初目的是为农业的发展服务, 但大约从 1960 年开始, 人们便把这项服务扩展到社区的土地利用和环境行业。本书的第 3 章曾提到过, 美国自然资源保护局是美国农业部下属的一个机构, 负责进行国内的土壤调查工作。调查以县为单位组织进行, 结果公开发表成册, 称作县土壤调查, 内容包括土壤的种类、各种土壤数据、有关土地利用和限制利用的指导方针以及土壤分布图。在最基本的层面, 土壤调查提供了关键地区三方面的主要土壤数据和信息: 土壤排水、土壤质地和土壤组成。然而调查会受到以下三方面的限制: (1) 调查不包括大城市区; (2) 地图比例尺和精度被限制在 100 英亩内; (3) 分析的深度限制在 4-5 英尺内。此外, 由于传统制图方法在大多数地区的许多制图过程中都带有推测性, 因此存在着固有的准确度问题。

土壤调查

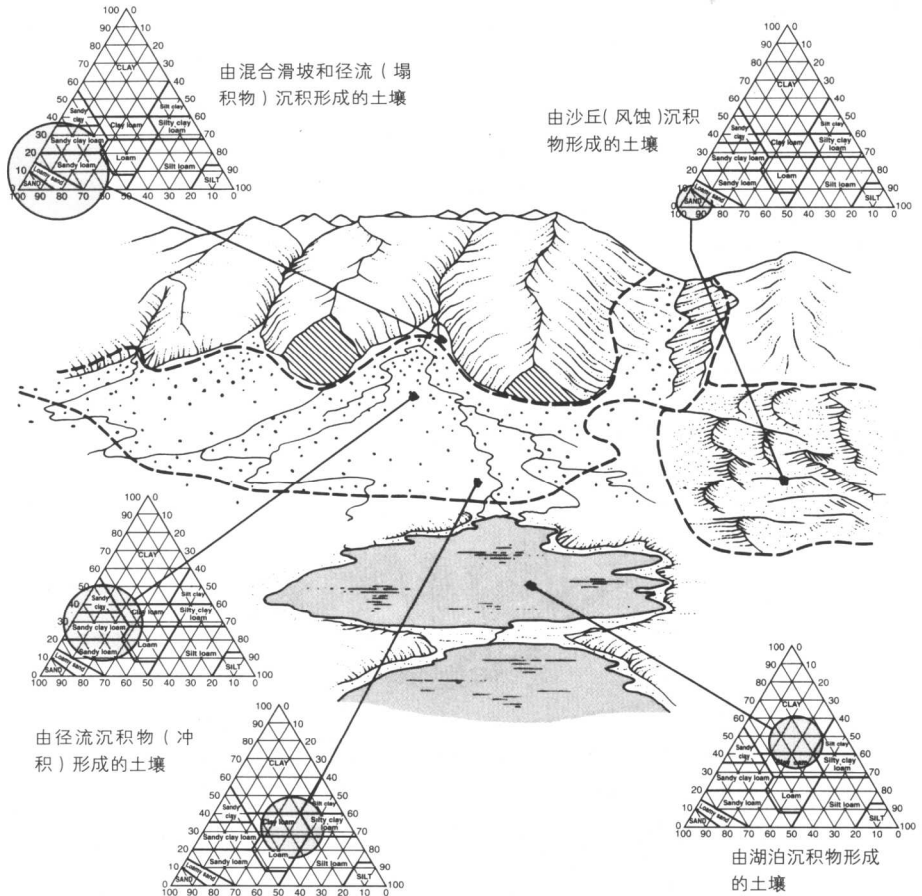


图 5.5 山岭地区土壤与地形的关系。注意土壤质地的变化与河道距离之间的关系

处理有机质土壤

在研究包括居住、工业、商业和相应的土地利用等社区开发的规划问题时，土壤的组成是首先需要考虑的问题。其中，有机质土壤又是考虑的重中之重，因为它们在建筑物的重压下极易发生收缩，并且还容易遇水腐烂，而腐烂与收缩都会导致下陷。已有的研究资料表明，那些在有机质土壤上进行耕种、建设以及有机土遇水的地方，土地常常会在几十年内下陷1-2米。如果有有机土质较浅，我们可以将它挖走并以另一种好的材料替换，但这又往往造成开销过大（每立方米挖掘和填充费用一般从5-10美元不等），以及生态危害或排水问题。在排水区，人们需要谨记的是：有机质是在地表水和地下水自然聚集的地方构成的，因此挖掘并不能消除这种环境；并且挖掘会释放有机质对周围流入水的限制压，反而有可能加剧塌陷。从生态的角度讲，我们还必须认识到有机质土往往是湿地存在的迹象，可能维持着珍贵的群落植物和动物。因此从长远的平衡看，应极力避免在有机质土壤处进行场地的开发。

对于矿物质土壤，开发时最需要考虑的因素是土壤质地和排水状况。粗质的土壤（例如砂壤或砂土）几乎可以进行任何形式的开发，因为它们具有

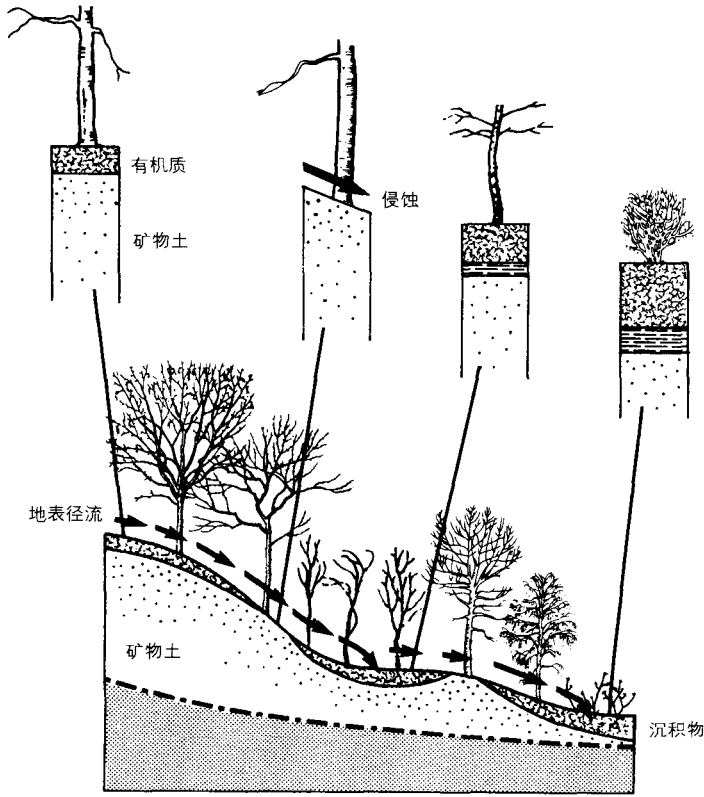


图5.6 典型山地地形系列土壤(径流速度较慢的缓坡处,表层土壤较多,而陡坡处表层土壤较少)

很好的排水性和承受力(见表5.1)。因此,建筑物的地基会很稳定并且很少积水。然而对于黏土而言,情况则大大不同了,它们的排水性很差,并且承受力也较低,很有可能不适合进行建设。此外,有些类型的黏土还容易随土壤水分的变化发生收缩或膨胀的现象,对地基和地下管道设施产生一定压力(图5.7),这使得在黏土上进行的开发往往比较昂贵(它们需要特殊的地基和排水工程)。因此,场地分析经常要详细的现场地图,另外还必须进行工程测定来决定场地内的黏土是否能够承受来自建筑物的压力,并能良好解决排水等其他问题。

在准备土壤图时,尺度分析和土壤类型分析也是十分关键的步骤。对于区域尺度上的问题,美国自然资源保护局(Natural Resources Conservation Service, NRCS)提供的地图基本已经够用,尤其是与地形图、航片、地表物质图或地貌图结合时。然而对于那些较小场地的规划,自然资源保护局提供的报告和地图对大部分的项目则都显得不够详细。我们需要更精细的空间信息,使用一张更大比例、更为清晰的场地地形图帮助重新划定NRCS地图中的土壤类型边界是一种可行的方法,场地地形图上的地形趋势和其他详细情况都要比土壤学家在NRCS地图上的所表示的信息更加显而易见,能够提供更加精确的土壤边界。在那些土壤随地形变化而变化的地区,利用土壤边界

矿物质土壤的适宜性

尺度的考虑



图 5.7 美国黏土（易于膨胀和收缩）分布图。黏土（蒙脱黏土）是造成挤压、地基和管道设施破坏的主要原因

处的特殊地形，我们可以借助大比例尺的场地地图来确定精确的边界结构（图 5.8）。

场地规划的土壤分析

对于那些在自然资源保护局考虑之外或是保护局地图上没有覆盖的区域，场地规划的土壤分析应从以下两个基本的考虑入手：第一，区域的近代地貌史，它可以对土壤的物质构成有个大致的估计，近代地貌史可以通过电话咨询当地的大学（地质、地理或土壤科学系），州地理学家办公室或是自然资源保护局办公室。然而，不论任何情况，我们必须从一开始就知道土壤的大致类型，如是否为海成黏土、沙丘沉积物、冰川冲积物或其他类型的物质；第二，当地的地形和排水，利用地形图和现场考察，将排水道（河谷、沼泽、河漫滩）和不良排水区域（湿地、池塘和相似的水体）绘制在地图上，它们是排水性差和有机质土壤可能聚集的地带，而剩下的区域则可视作坡地和高地，尽管这些地带的土壤质地也会有很大差异，但可以确定的是，这些地方的排水会较好并且有机

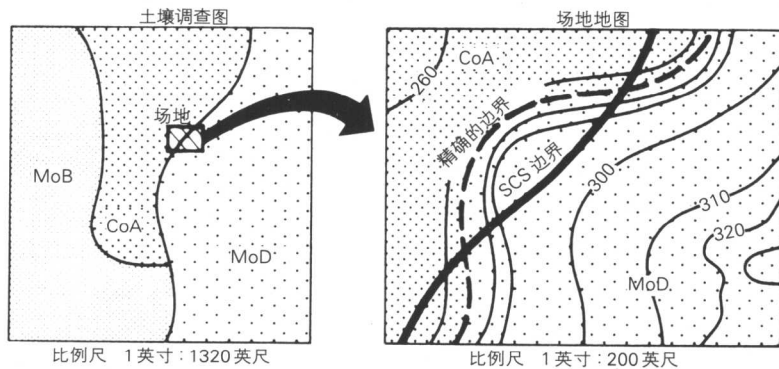


图 5.8 结合如右图所示的大比例尺场地等高线图，我们可以辨别出左图中不可见的坡地地形特征，进而在场地规划时进一步精确左图中的土壤调查结果

[SCS: 小比例尺的土壤调查边界 (左图中的边界); MoB、CoA、MoD 分别代表不同的土壤类型。——译者注]

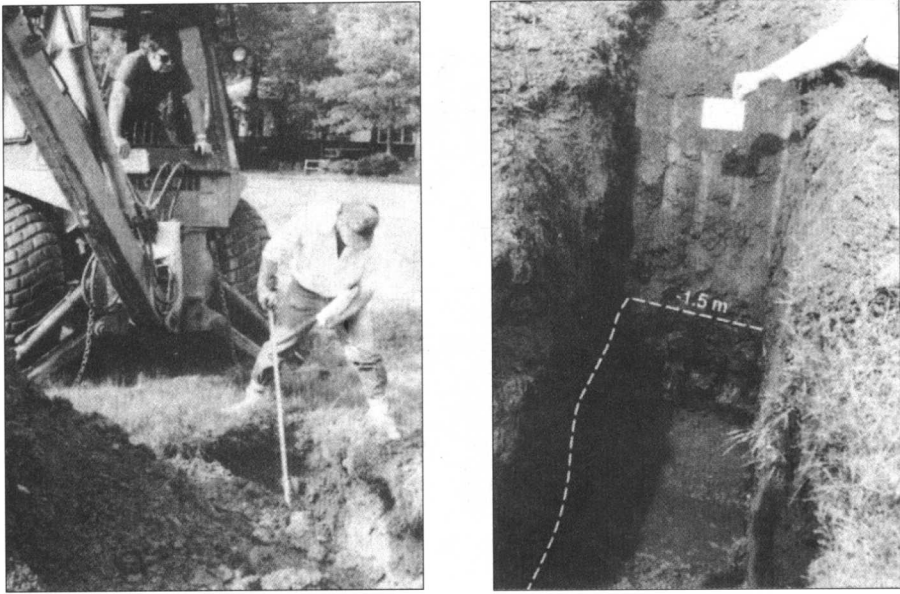


图 5.9 (左图) 使用锄耕机的土壤挖掘试验; (右图) 试验坑的照片显示出地下 1.5m (5 英尺) 深处的有机质

质土壤少。

在这样的框架下, 我们可以选择一些有代表性的地方 (沿着沼泽、漫滩、山坡或脊线选择一些点), 进行挖坑试验。这些工作最好用反向挖土机完成, 它可以快速挖出 2 米多深的坑; 对于较浅的坑, 则可以用铁铲或者土壤钻孔机来挖 (图 5.9)。一旦试验点被挖开, 下列问题就会有清楚的答案:

- 是否地表以下物质主要为有机质?
- 是否水会快速渗入且最后充满大部分坑?
- 在挖空或渗水的情况下, 坑的边壁是否会很快地坍塌?
- 现在是否埋有废弃物 (如农业废弃物, 工业碎块, 城市垃圾或有害物质等)?

如果所有的回答都是肯定的, 那么这块土壤是不适合开发的。对于工程开发目的而言, 现场调查还需要做更深入的分析, 但对于场地规划而言, 这个水平上的调查就足以布置出可开发区域、循环系统和建筑的建设场所了。注意: 此外, 季节性因素也会对测验带来影响。例如, 夏天干燥且稳定的土壤到了冬、春季可能就会变得 (水) 饱和、柔软, 且具有流动性。因此, 在某一季节里的单一样点测试有可能会对判断产生误导。

土壤孔是一种用来测量 10 米以下地层及土壤物质组成的试验孔。在大部分情况下, 我们仅在对地下水或基岩有疑问的地方才钻这样的孔。孔的深度取决于建筑工程的需要 (较重的建筑物或较轻的建筑物)、地下遇到的物质类型以及基岩深度。如果土被相对较浅 (如小于 30 英尺), 并且基岩稳定, 那么大建筑的地基则往往直接放在基岩上。但如果建设时遇到的土壤不稳定, 如固结性很差的湿黏土或较脆弱的基岩等 (如穴管状石灰岩), 则需要特殊的稳固措施来提供必要的稳定性。

场地测验

在怎样的情况下
打土壤孔

5.7 有关固体废弃物处理的规划

如今城市和工业区面临最紧迫的土地利用问题之一就是如何妥善处理好那些种类繁多的废弃物——城市垃圾、化学工业排放物、采矿和城市开发产生的垃圾、各种工农业垃圾以及近年来核电站、军工厂等发展产生的核废料等。根据其是否含有有毒物质，我们将它们分为固体废弃物和有害废弃物。其中，固体废弃物混杂了废物、废料、垃圾、凋落物等各种被认为是无害的物质（指那些不会对人类和其他生物造成危害的物质），这些物质中的大部分（约80%）来自乡村的农业和矿业。其余的少部分是城市固体废弃物和工业固体废弃物，它们在城区及其周围的垃圾掩埋场被处理，现已成为发达国家主要担忧的问题。

垃圾掩埋场，即处理垃圾的场所，常用于地下掩埋垃圾，这是美国和加拿大处理固体废物的首选方法（图5.10）。而处理废物的其他方法（如燃烧、地坑倾倒法、海洋倾倒等），则因为污染环境或是费用太高而不太被采用。尽管同农业和矿业相比，城市和工业产生的垃圾要少得多，但固体废弃物的处理仍是规划者们“头痛”的问题，这包含如下的几个原因：地下水污染和公众健康；受到日益关注的废弃物中潜在的有害物质危害问题；美学和房地产开发价值之间的矛盾；城市周围有限的处理场地；收集和运输垃圾的高额费用等。此外，在美国和加拿大，大部分城市和工业垃圾的产量有逐渐上升之势。

城市和工业垃圾处理场地的选择在城乡规划中是一个十分重要的过程，需要考虑以下三方面的因素：（1）费用，这与土地价值和运输距离有紧密联系；（2）场地毗邻区域和运输沿线地区的土地利用状况和环境；（3）场地条件，主要是土壤的排水性能。无论是城市区还是工业区的垃圾掩埋场，场地面临的主要问题是垃圾腐烂时流出的液体所造成的污染。

这种液体统称为**沥出液**，是一种由高浓缩的溶解成分组成的溶液，并会对当地供水造成污染。沥出液的化学复杂性和成分随垃圾成分的不同而不同。并且，我们对沥出液在水文系统尤其是地下水中的行为还知之甚少。因此，垃圾场规划和管理的一般性原则就是限制沥出液与地表水和地下水的接触，因为沥出液造成的地下水污染会导致好几十年可饮用水的丧失（图5.11）。

在大多情况下，通过正确的场地选择，我们能够有效避免沥出液对环境的污染。一个理想的垃圾掩埋场地应该是挖空土壤，进行有效密封，既不吸收也不排放地下水，并且不易于和地表水（如河流或湿地）发生接触的场所。具有致密性黏土并且地势相对较高的地方是首选的典型场地，值得注意的是，黏土不能处于砂土土壤和砾石土壤的中间层，并且还要满足在干燥时不易破碎，能在土壤大规模运动（如塌方）时保持稳定等条件。

如果在某些地方无法满足这些条件，则场地必须经过改造来取得满意的性能。如遇到图5.11所示的情况，土壤是砂壤且有渗透性，那么我们必须铺设一层黏土或人造物质如乙烯基塑料以取得必要的防水效果。同样的方法还应当用在层状土壤、湿土、坡地以及与水体或水井相邻的场地中。在北美的许多地方，由于存在严格的规章制度约束着垃圾掩埋场地的选址，填埋场的开发者或经营者不能对场地的改造做出自己的决定。而那些具有先天劣势的场地也已经通过



图 5.10 清洁的垃圾掩埋操作。大量的垃圾（左图）被堆起，并在其中添加黏土夹层。最后的垃圾堆（右图）在覆盖了一层几英尺厚的土壤后种上植物

这些条款或政府的其他行为被严格地排除开了。

除形式上的场地选择和准备方案外，越来越多的地方和州（省）政府开始要求垃圾场的开发者提供一个设计和运作垃圾掩埋场的预备管理方案。如用于处理城市垃圾的垃圾掩埋场，要求规划者能够解决以下问题：

1. 能够将垃圾掩埋场划分为“细胞”单元或一些设备齐全的单元；
2. 分阶段安排运转；如，任何时间只在某个限定区域内挖掘和填充；
3. 在实施时要进行景观美化、害虫防治和保护场地；
4. 通过在垃圾中填埋土壤层来限制垃圾的总厚度；
5. 填满后用一层土壤回填，并且在需要的情况下预备一根聚乙烯管来排放气体（图 5.10）；
6. 为分级、景观美化、和未来的场地利用编制一个计划。

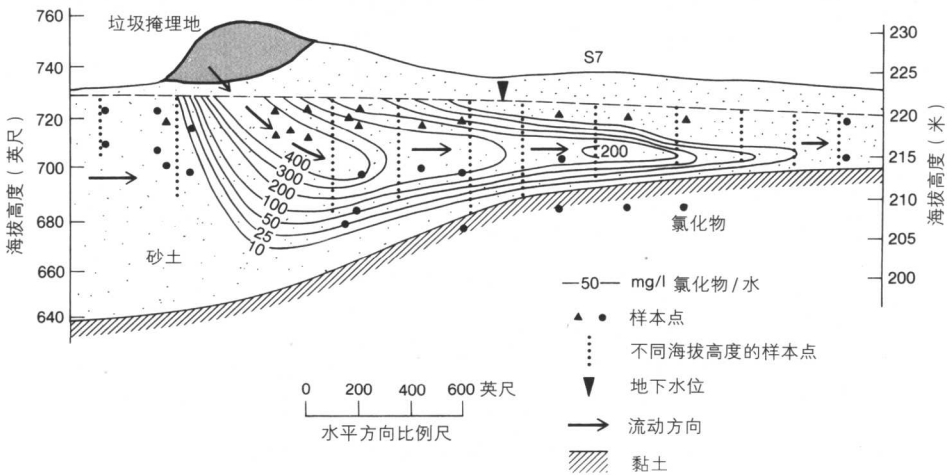


图 5.11 垃圾掩埋场内沥出液的扩散轨迹图。来自点源的污染在 35 年间扩散了 2200 英尺，污染了当地 40-80 英尺深处的地下水

5.8 有害废弃物的管理和处理

在1976年美国国会通过了**资源保护与恢复法案**(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA), 该法案给出了有害废弃物的法定定义, 并规定了在合乎环境要求下的有害物质的管理、存储和处理的方法指南。在美国, 影响最广泛的一部有关有害物质管理的立法计划是“**超级资金计划**”(Superfund Program)。1980年, 该法案作为一个议会法令通过, 正式的名称是“**综合环境响应补偿与义务法案**”(Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act), 其主要目的是清理有害废弃物堆积场, 并对无限制向环境排放有毒物质的行为做出回应。该法案的关键点是能够从资金上支持地方政府清理有毒物严重污染的场地。

超级基金情况

大约有2000个场地已经给予了优先处理的地位, 据EPA估计将耗资300亿美元来完成这些清理。另外还有大约10000多废物处理场等待给予优先权的评价。尽管大部分不会得到超级基金的资助, 但仍有很多项目得到了资助, 并且受超级资助的场地正在逐年地增加。从1980年起, 国会已经为该计划批准了135亿美元的资金, 然而实际用于废弃物清理的部分仅占到了总资金的10%, 并且只有少数的几个场地得到了改造。该基金的大部分不幸落到了法律和行政费用的花销中, 其中又以申请获得清理资金的资助而开展法律诉讼的开销为最多。因为法规总是在环境污染者应该支付的处罚金上纠缠不清, 致使超级计划已经慢慢停止下来; 此外, EPA早先几处场地的改造方案还曾引来过严厉的批评。目前, 超级计划正再次被公众和私人集团重新评价, 有迹象表明, 人们对国会提出针对该计划的重大改进措施。

污染者付费

大多数有害物质堆放场地并不满足地方政府提供帮助的条件。房地产买方对场地是否埋有废弃物的关注日益增长, 为此, 已经有几个州通过了**污染者付费法令**。这些法令要求以前掩埋了废弃物的财产所有者必须负责清理废弃物。经证明这种法令非常有效, 因为改造的费用加到了房地产的身上, 将污染费用返还给市场体系要比转稼给州和联邦政府好得多。不足为奇的是, 污染者付费的想法后来对城市土地, 尤其是**废弃工业地**的再次利用起到了显著的促进作用。

处置和处理

在有害物质管理方面, 现已存在一些切实可行的策略, 然而它们每一个又都包含有一定的缺点。一般来说我们将其分为两类: 处置和处理。其中处置是指垃圾的收集、运输和存储; 处理是指使垃圾经过几种处理过程以减少其危害。由于人们对健康与安全的要求日益增高, 加上土地利用问题与公众意见不断增多, 土地处理的花销变得越来越多。基于这样或那样的原因, 有害物质的管理越来越倾向于“**就地**”的处理方式, 但是“**远离现场**”的处置方法在今天仍是最常见的。

垃圾的安全掩埋法

其中应用最广泛的土地处置方法是**垃圾安全掩埋法**。这种方法的目的是将废弃物限制在场地内, 阻止其向外扩散。规划的第一步是正确的选址, 一定要选择一个对地下水和地表水污染可能性最小的地方。通常这是一个漫长并且复杂的过程, 包括现场的挖洞试验、评价、反馈、听取公众意见以及许可申请。接下来是垃圾场的设计, 这必须包括: (1) 由塑料衬垫支撑的黏土

衬垫（塑料衬垫是黏土衬垫的基础）；（2）黏土排水沟和黏土覆盖层；（3）沥出液收集系统和排水系统，以及（4）场地周围的监测井，用来检查沥出液是否渗透到土壤和地下水中。尽管使用了这些方法，垃圾场仍有可能发生渗漏。因此，我们还要再次强调场地的选择，好的场地对于安全而言极其重要，我们要求场地具有很厚的致密黏土，缓和的地形（较小的高差），以及较深的地下水位（图 5.12）。

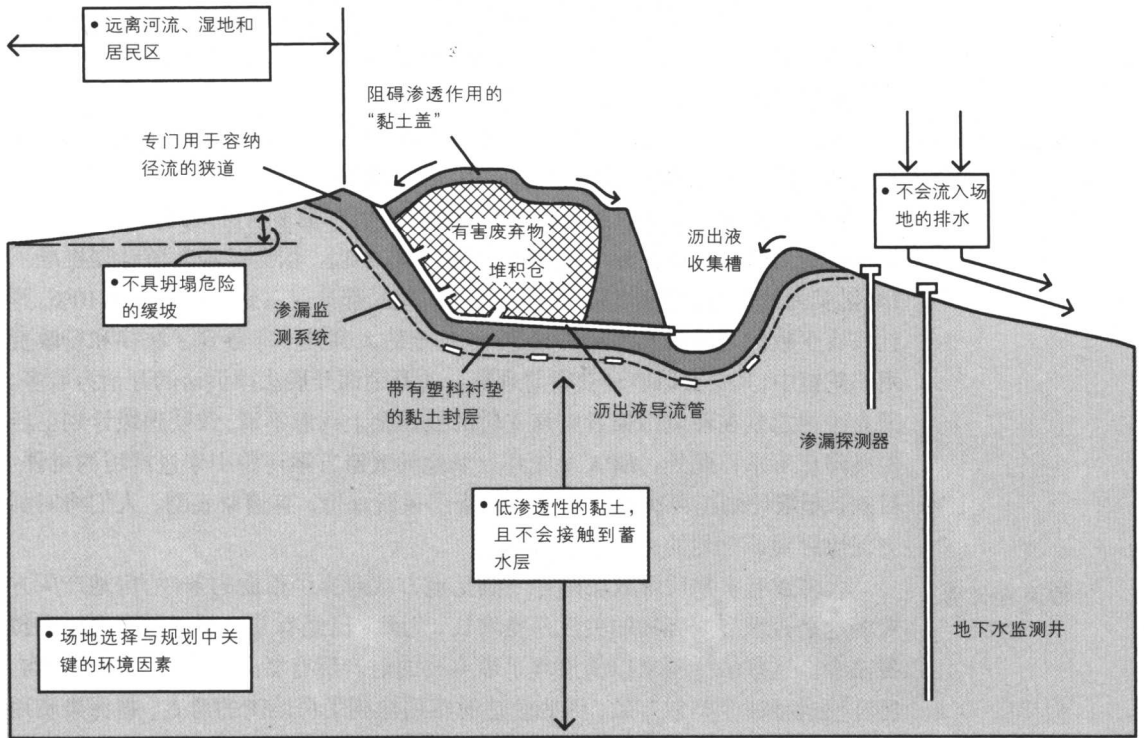


图 5.12 安全垃圾掩埋场地的环境标准和设计要求图（依照美国现行标准）

为私人场地开发绘制场地土壤图

威廉·M·马什

5.9 案例研究

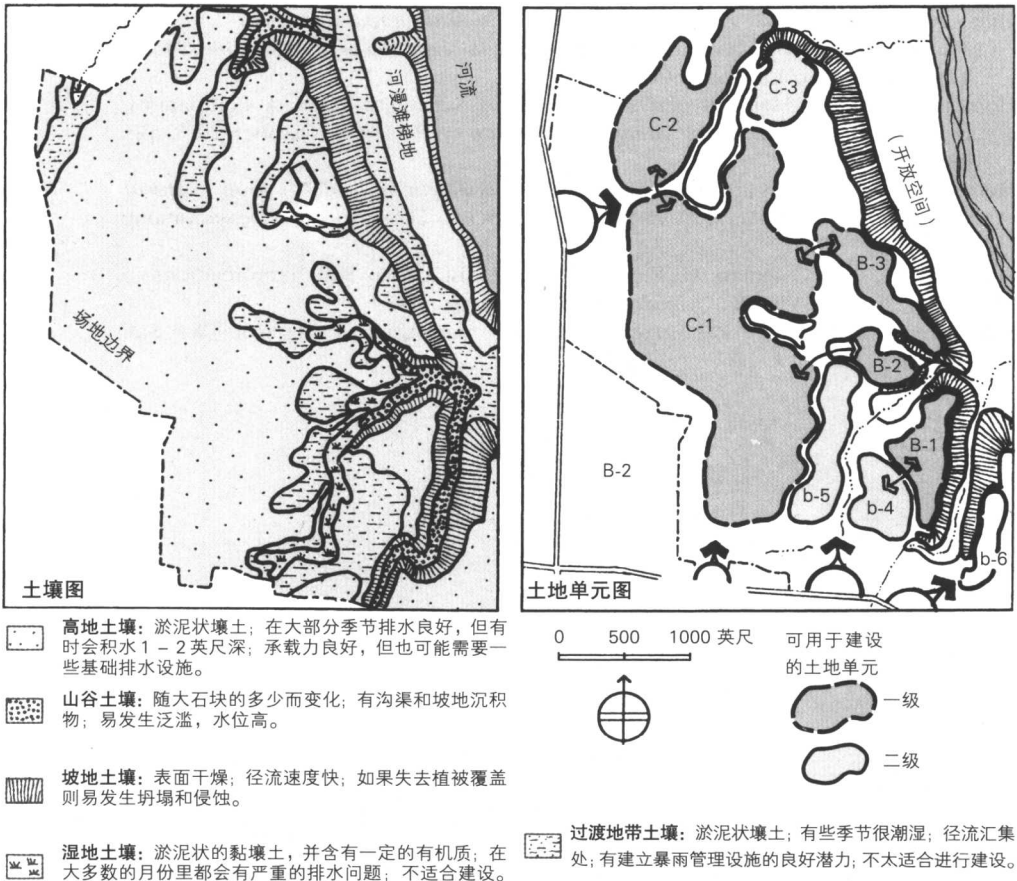
在进行建筑工程项目时，由于绘制土壤图的目的以及所要解决的问题（需要确定道路和建筑等设施的土壤适应性）同农业（仅仅是作物的适宜性）完全不同，因此我们需要确立针对工程的相应研究尺度和调查半径。这需要对开发的项目有深刻地理理解：即需要建什么，需要多大的房屋面积，需要哪些必要的附属设施（诸如停车场之类的设施）、公用系统，需要什么样的开放空间、动植物栖息地以及景观美化区域等等。以上这些是确定下列问题

的前提条件：(1) 所需绘制地图的比例；(2) 应该记录的土壤特性（参量），以及(3) 必须检查的土壤深度。

每一项建筑工程都需要做自己的土壤调查，我们需要把自己的调查结果与其他相关联的调查（如排水、坡度、交通等）相结合，给场地开发做出合理的多种规划方案。下面，是针对一项具体的案例进行的分析，这是建设一幢大型研究/办公楼的计划，人们打算在大学校园中实施该项目。首先，我们必须了解一些标准的土壤参量，包括土壤质地和排水状况等，另外，还需要知道土壤形成期的自然环境以及成土的因素，这些对规划而言十分重要。土壤图的结果能够确定哪里是适合建筑的单元，并可作为多种规划方案的简明表达框架。

土壤与地形，尤其是地貌、排水以及植被的状况密切相关，这对于合理推断并确定土地单元是至关重要的。土地单元是一种空间实体，具有一系列统一的物理特性（如丘陵地形、排水优良的土壤，以及年代久远的野生植物覆盖）。尽管焦点是可建筑的土地单元，但事实上，其他类型的土地单元在开发规划中也非常重要。尤其是那些如湿地、坡地和谷底等对开发项目的其他部分有重要意义的土地单元（它们能够影响到如栖息地保护、景观美化和暴雨水管理等方面的问题）。

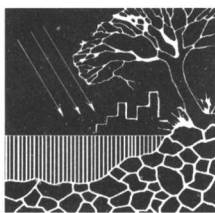
与过去私人开发有许多的不同（在过去，建筑物就是开发的全部），今天



的私人开发会努力创建一个综合的计划，并关系到很多其他类型的土地。建立多种规划的过程应该以下面的内容为目标，那就是能够将可建设土地与不可建设土地融和成为一个可操作的整体，而这个过程也终将导致主规划的产生。对多种方案的选择完成后，我们需要进行更详细的、针对空间的土壤分析，包括在拟订的建筑物和其他设施处进行土壤钻孔试验，以及以风景美化和栖息地保护为目的的土壤肥力和水分条件的测定。

5.10 推荐阅读文献

- Briggs, David. *Soils*. Boston: Butterworths, 1977.
- Colonna, Robert A., and McLaren, Cynthia. *Decision-Makers Guide to Solid Waste Management*. Washington, DC: Government Printing Office, U.S. Environmental Protection Agency, 1974.
- Davidson, Donald A. *Soils and Land Use Planning*. New York: Longman, 1980.
- Eckholm, Erik P. *Losing Ground*. New York: W. W. Norton, 1976.
- Gordon, S. I., and Gordon, G. E. "The Accuracy of Soil Survey Information for Urban Land Use Planning." *Journal of the American Planning Association* 47:3, 1981, pp. 301-312.
- Hillel, Daniel. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. Berkeley: University of California Press, 1992.
- Hills, Angus G., et al. *Developing a Better Environment: Ecological Land Use Planning in Ontario, A Study Methodology in the Development of Regional Plans*. Toronto: Ontario Economic Council, 1970.
- Hopkins, Lewis D. "Methods of Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation." *Journal of the American Institute of Planners*, October 1977, pp. 388-400.
- Metropolitan Area Planning Commission. *Halifax-Dartmouth Metro Area, Natural Land Capability*. Halifax, Nova Scotia: Nova Scotia Department of Development, 1973.
- Pettry, D. E., and Coleman, C. S. "Two Decades of Urban Soil Interpretations in Fairfax County, Virginia." *Geoderma* 10, 1973, pp. 27-34.
- Soil Society of America. *Soil Surveys and Land Use Planning*. Madison, WI: Soil Society of America, 1966.



第6章

土壤和废水处理系统

- 6.1 简介
- 6.2 土壤吸收系统
- 6.3 环境影响与系统设计
- 6.4 就地处置的土壤适宜性评价
- 6.5 标准 SAS 的替代方案
- 6.6 小流量湿地系统
- 6.7 案例研究 借助于土壤分布图的污水处理规划（加拿大新斯科舍省）
- 6.8 推荐阅读文献

6.1 简介

从有人类活动以来一直到20世纪,土壤就一直是处理人类大部分垃圾的主要介质。农民(农场主)将未经处理的有机废物直接堆放在地表或通过挖坑的方式把废弃物填埋在土壤中,自然的生物化学过程将它们分解、而水流则会带走剩下的部分,废弃物中大部分有害成分都可在该过程中除去。但如果人的数量很大,这种过程经常是无效的。因为垃圾太多,土壤几乎处于饱和状态,已经超出了生物化学过程将有害成分的浓度降低到安全水平的能力。

对于一个城市或城镇,这种结果有时是灾难性的。水源被污染,老鼠和苍蝇泛滥,环境的恶化导致痢疾、霍乱和伤寒症的流行。为了缓解垃圾造成的环境和卫生问题,19世纪后半期,人类发明了一些较为安全的垃圾处理方式并将它们应用于城市的垃圾处理。城市中的垃圾问题是非常严重的,人们发明了下水道废水处理系统,使废水通过地下管道输送到城市之外的河流或湖泊等大型水体区域。例如芝加哥市,于1855年建立了自己的第一个下水道系统,在当时有效地解决了当地居民的健康问题(然而后来,这项系统引起了更为严重的大面积的水体污染)。在城市之外的地区,人们依然使用挖坑埋藏的方法处理垃圾并一直延续到20世纪。然而随着郊区人口的不断增长,到了20世纪30年代,户外厕所的方式在郊区也行不通了。取而代之的是个体家庭使用的化粪池和排泄地。而在城市内部,则是由大规模的处理系统来处理污水排放引起的水污染问题。

在美国,联邦政府曾在20世纪70年代花费大量财力去帮助改善并扩建了许多污水处理设施。主要目的是扭转全国水质恶化的状况,那时处理得很差的水流倾入数以千计的河流和湖泊中。到了20世纪80年代,联邦政府削减了大型一体化的中央处理系统的资金,转而鼓励社区开发其他的可选方案,包括小型处理系统,如化粪池和排水场系统、利用微生物进行水体净化的湿地和小型机械系统。在本章,我们将介绍一些就地处理的污水净化系统,它们主要依靠土壤去吸收和过滤污水。

个体家庭所使用的化粪池排泄系统依赖土壤环境将人类粪便进行安全处理。该系统主要是在地下运行,取决于土壤的吸收能力和过滤速率,然而并不是所有的土壤都有此功能,因此,对于那些缺乏市政排水设施的居民区,区分出合适的或不合适的土壤是非常关键的,这项工作通常是居住规划环境评价的一部分。

6.2 土壤吸收系统

使用化粪池处理粪便的方法是**土壤吸收系统**(soil-absorption system, SAS)的一种形式,之所以称之为土壤吸收系统(SAS),是因为该系统主要是依靠土壤来吸收、过滤并分散废水。人们精心设计出的土壤吸收系统具有如下的功能:(1)阻止污染水接触地表环境;(2)从水中过滤出化学和生物污染物,阻止它们与地下水、河流或湖泊的接触。污染水中最大的隐患是生物体(即病原体),例如那些杆菌类的细菌,它们会危害到人类的健康,另外,污水能提供大量的氮、磷等营养元素,会加速水体中藻类的生长,破坏水体生态环境。

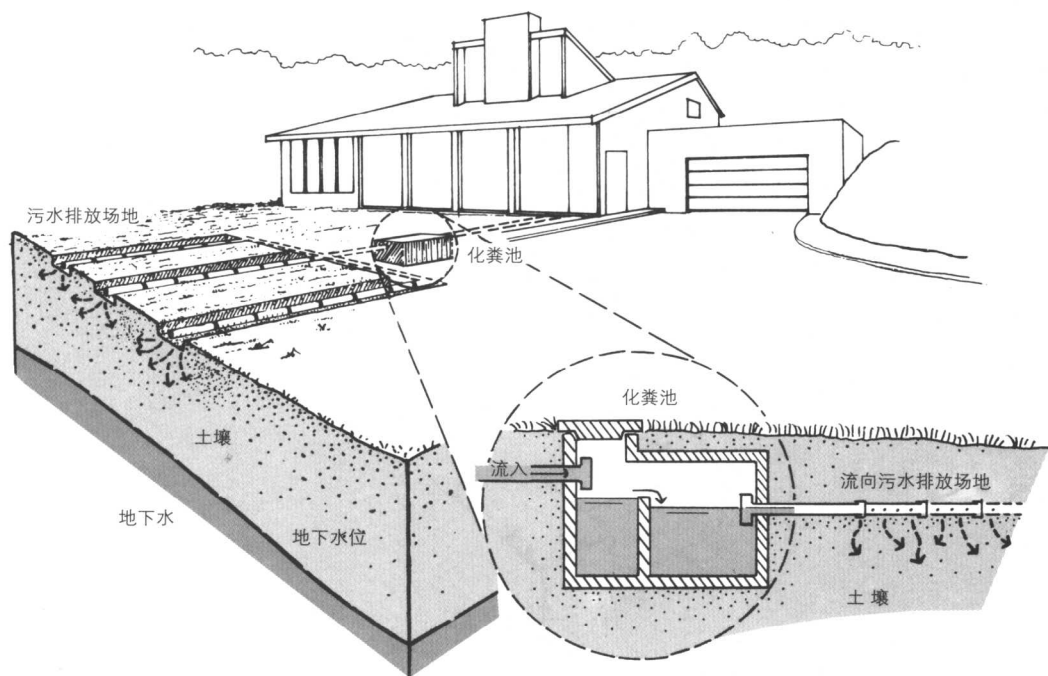


图 6.1 标准土壤吸收系统示意图。固体废物在化粪池中堆积，流出的水流动到污水排放场地并渗漏到土壤中

SAS 的组成

大多数 SAS 系统由两个部分组成：(1) 一个容器或化粪池——用于存放固体废弃物，细菌分解有机质的“反应器”；(2) 污水排放场地，通过它把废水分散到土壤中。污水排放场地由带有孔隙的管道或瓦片搭建而成，液体可以渗漏到土壤中去（图 6.1）。污水排放场地有几种常被使用的结构模式，其大小可以根据废水的输入速度和土壤的吸收能力加以调整。

土壤的渗透能力

在土壤吸收系统的运作过程中，土壤接收废水并将其分散开来的速率是至关重要的。高渗透性的土壤明显比低渗透性的土壤具有更强的吸收能力。**渗透能力**是指土壤每分钟或每小时里通过的水量。在保健科学中，渗透能力由渗漏率表示，指土壤吸收水的速度（测量时会挖出试验坑，如图 6.2 所示）。渗漏率试验通常在现场进行，这意味着试验是在室外而不是在实验室进行。

浸透的影响因素

土壤的渗漏率由三个因素控制：土壤质地、含水量和坡度。精细质地的土壤一般比粗糙纹理的土壤传输水的速度慢一些，因此其吸收废水的能力要稍低；然而，在过滤废水中的化学和细菌成分方面，精细结构的土壤则显得更为有效。处理废水的理想土壤是粗糙颗粒（传输水分）和精细颗粒（充当有效的生物化学过滤器）合适比例的混合，这样能很好地平衡上述两方面的属性。一般来说，亚沙土具有更好的结构，但是其密实度和水分含量常常会发生变化。

在任何土壤里，含水量的增加都会降低土壤的渗透性。例如，高水位土壤在处理废水方面是有限的，因为它们已经处于饱和状态，额外的水会引起系统能力的降低或水的溢出。低渗透性土壤，如紧实的黏土能引起同样的问题。

除了土壤排水外，坡度也是一个需要考虑的问题。坡度影响渗透性的原因在于它会影响到污水排放场地的倾斜程度。如果地面的坡度超过每 100

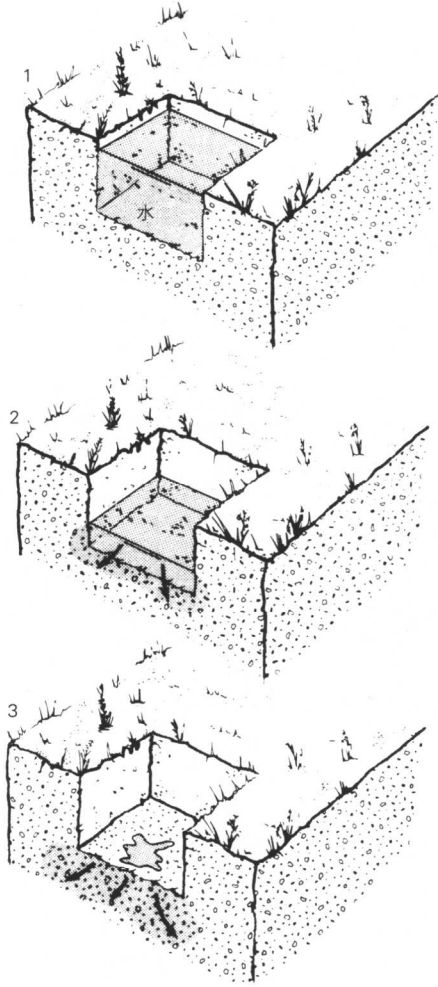


图6.2 渗透试验的基本构思。挖一个可以装水并允许排水的小坑，然后在坑内装满水让水自由下渗，然后再加水再让其下渗，水面的下降速度就是渗透率

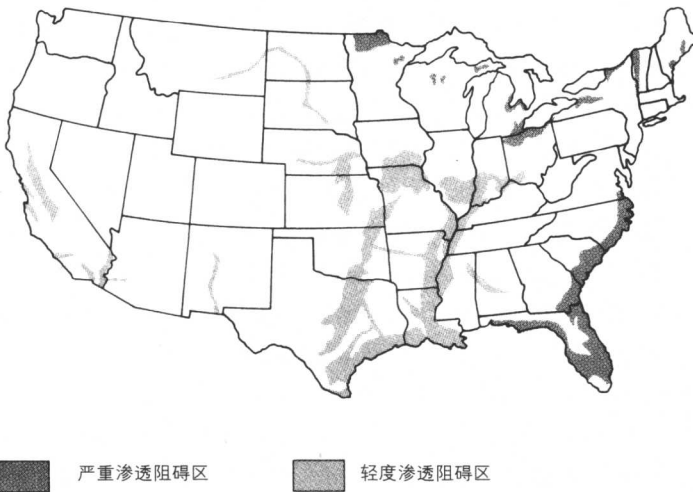


图6.3 美国境内有局限性的土壤吸收系统的总体分布图。事实上在美国和加拿大本土，有渗透局限性的地区是随处可见的，比图中标出的要多得多

英尺3-4英尺,安排污水排放场地是比较不合适的,推荐的坡度为每10英尺2-4英寸,当超过这个坡度时,废水会沿着排水管道快速下流,并很快在污水排放场地的末端聚集。最后,我们还必须考虑土壤层的厚度,在土壤覆盖层薄的(不到4-6英尺)地方——基岩离地表很近——废水受到基岩的影响,向下的渗透性可能会很慢,这些要根据基岩的类型和条件而定。但是,如果基岩阻碍了渗透,废水就很可能受到堵塞,引起系统功能的丧失和/或地表的污染(图6.3)。

6.3 环境影响与系统设计

土壤吸收系统是全世界污水处理的通用方法。在美国,有多达25%的人依赖这些系统;在加拿大,这个百分比可能会更高一些。在发展中国家,如墨西哥,至少80%-90%的人使用某种形式的土壤吸收方式来处理废物,包括坑式厕所。然而,并不令人感到意外的是,这些系统常常不能很好地发挥功能(出现故障的百分比很高),经常导致严重的健康问题和环境破坏。

SAS 的故障

引起系统故障的原因通常和下面的一个或多个情况有关:不适当的选址——没有很好地考虑土壤结构,土壤排水和坡度;污水排放池设计不当;超载(也就是使用过度);化粪池和瓦沟系统维护不当;由于颗粒间空间堵塞或污水排放池下的地下水饱和导致土壤渗透能力下降。故障常常使得废水进入土壤层表面,进而到达地面。这样,人类便很容易接触到这些污水,引起严重的健康后果,甚至引起一些致命的疾病(如霍乱等)。废水还可能会进入地下水,污染水井,也可能进入湖泊和溪流,污染水源,并加速藻类繁殖,造成总体水生环境的退化。

水污染

在美国和加拿大,由于废水渗漏导致湖泊、池塘和蓄水池的富营养化已经成为水环境恶化的一个主导因素。例如,水体中营养成分的变化是最令人们关注的问题,污水中大量的氮、磷进入湖泊,导致藻类和其他水生植物的生产力的稳定提高,有机物大量聚集。这种聚集不仅会填满湖泊底部,并且会产生更多的细菌,耗尽水中可用氧。水中的氧容量很快降低,鱼类变得稀少,湖泊富营养化,不再令人赏心悦目,并且散发出难闻的气味(图6.4)。在第11章“水质,径流和土地利用”里,我们会进一步详细阐述富营养化的问题。

SAS 的选址和设计准则

为从根本上避免公众健康和水污染问题,我们需要从土壤吸收系统的场地分析和土壤评估开始。渗透率不到1英寸每小时的土壤被认为是不适合建造标准土壤吸收系统的。在满足了可接受的土壤渗透率后,我们还需要进一步考虑额外的准则:坡度,土壤厚度(基岩深度)以及季节性高水位。如果给定的这些准则都能满足,那么就可以开始进行系统设计了。设计中需要重点考虑的是污水排放场地的大小,这要依据如下两个因素:(1)土壤的实际渗透率;(2)加载率,也就是人们释放废水到土壤中去速率。对于住宅结构,加载率是建立在卧室数目的基础上(并假定每一个卧室有两个人)。加载率、渗透率和污水排放场地大小有如下的关系:加载率越高,渗透率越低,则所需的污水排放池就越大(图6.5)。

系统的成功操作需要定期的维护,尤其是从化粪池中清除淤泥,避免超载

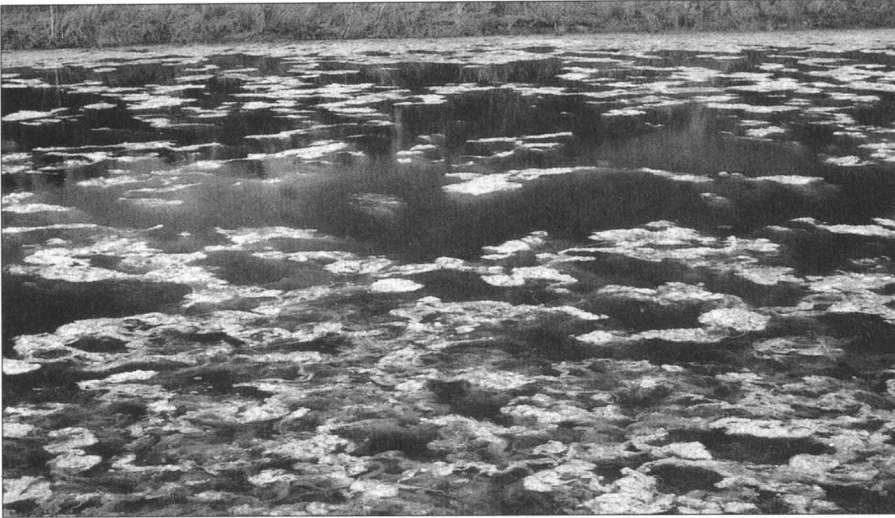


图 6.4 由于营养物从排水场渗入湖泊导致藻类过度繁殖

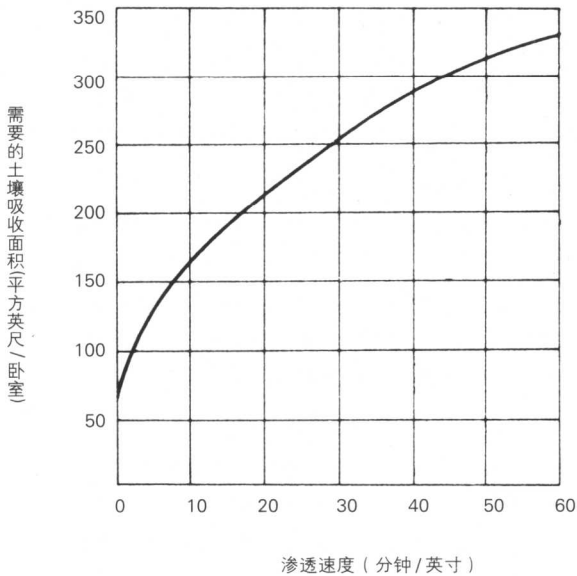


图 6.5 土壤渗透能力 (从 0 至 60 分钟每英寸范围内) 与所需吸收面积关系图

和与高地下水位的冲突。其中所说的最后一项可能发生在不寻常的多雨年份或者是因为附近的湖泊、湿地或蓄水池水位的上升。一般平均下来，污水排放池的寿命约是 15-25 年，这主要取决于当地的情况。到达年限后，土壤可能会变得太湿而不能很好地运输水分，原因在于多年来污水排放池排出的水已使地下水位抬升和 / 或土壤孔隙被小颗粒阻塞。此外，累积的化学物质（如磷等化学元素）可能已经过多，导致土壤渗透能力的下降。不论发生以上哪一种情况，我们都应该放弃旧的污水排放场地，选择在一个新的地方重新建造。

维护和生活循环

6.4 就地处置的土壤适宜性评价

图纸和资料来源

现场的场地观察和渗透实验是决定一个地区是否适合做污水处理场地的最好办法。然而对于那些较大区域的规划问题,如果对每一个地方都进行详细的测定是不太现实的,并且实验的花费也是一个必须考虑的问题。因此在许多案例中,调查者都会使用到现有的图纸和资料(如在本章节末提到的新斯科舍案例也是用到了现有的一些图纸和资料)。当前,在美国最常用的资料来源就是美国自然资源保护局(U.S. Natural Resource Conservation Service, NRCS)所做的县郡土壤调查报告。但正如第5章中提到的那样,在大多数的地区, NRCS提供的图纸都显得太过概要而不适用于场地规划,尤其是在住宅规划的尺度上。在加拿大,类似的土壤图是由省或地区的环境部门提供的。对于那些没有 NRCS 的研究作为参考的地方,以及不适宜使用 NRCS 研究结果的地方,调查人员就必须借助其他资料,并将现存的图纸和资料进行综合分析提取那些对污水处理有帮助的信息。

图 6.6 是美国地质测量局(U.S. Geological Survey, USGS)在康涅狄格州为研究土地利用承载力而做的图纸中的一部分。其中的三类图(坡度图、季节性高地下水位图、基岩深度图)可直接用于污水处置问题。但对于其中第四类“不稳固物质分布图”而言,在使用之前必须进行一定的转化,以便能够替代土壤类型图或土壤质地图。我们需要将图中所示的六种物质类型转化为相应的土壤对应物,以明确它们在污水处置方面的潜力。举例说明:

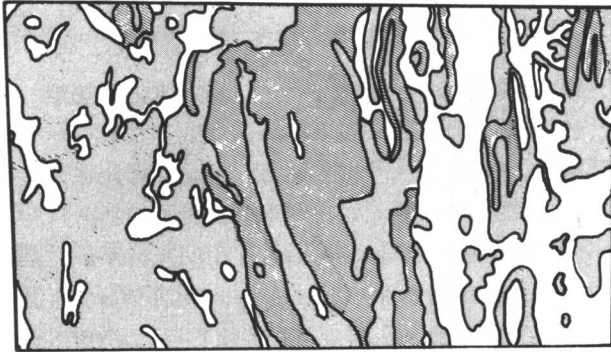
USGS 图上的不稳固物质 ¹	近似的土壤的对应物	污水处理的潜力
冰碛土(Till)*	壤土	好
紧实的冰碛土(Compacted till)	壤土或排水不畅的黏土	良/弱
黏土堆积物	黏土或黏质壤土	弱
崖屑堆积物	岩石碎屑	弱
沼泽	有机物:垃圾,泥炭	弱
砂或砂砾堆积物	砂土、砂质壤土、砂砾	良

1. 也被称作表面堆积物

* 冰碛、冰碛土——由黏土、沙子、石子、圆石及砾石等多种成分混合构成的不坚固的冰碛物。——译者注

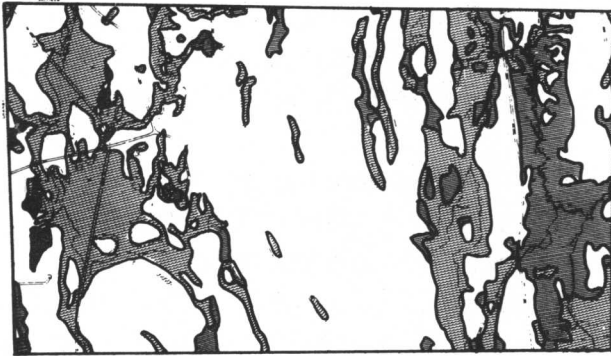
图纸综合

在这些资料的基础上,我们可以继续把这四张图进行综合从而做出一张适用于污水处置场地设计的图。工作中重要的一个程序是为土壤分级(主要是根据土壤吸收污水的能力)。在这个例子里,四张图所对应的四种特性都分别具有三个不同的等级,而每一个等级都可以被赋予一个相应的量化值(表 6.1):好(3);良(2);弱(1)。对于每一个特定的区域或地点,我们只需将这四种特性值进行简单的相加就可以得出污水处理的适宜性值了。然而仅仅只有数值也是没有什么太大意义的,最后,我们需要建立起一个用于划分适宜性界线的数量标准体系,将适宜性值用定量的方法表示出来,例如我们可以用高,中,低



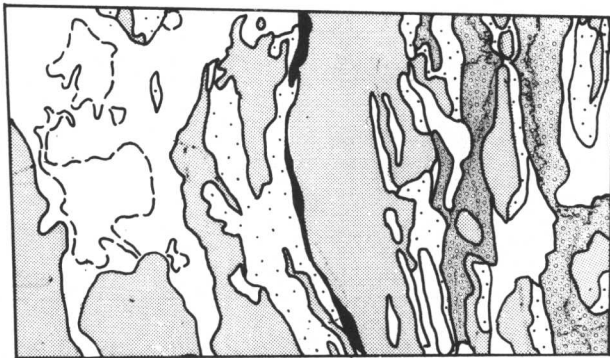
坡度图

- 0% - 3%
- ▒ 3% - 15%
- ▓ ≥ 15%



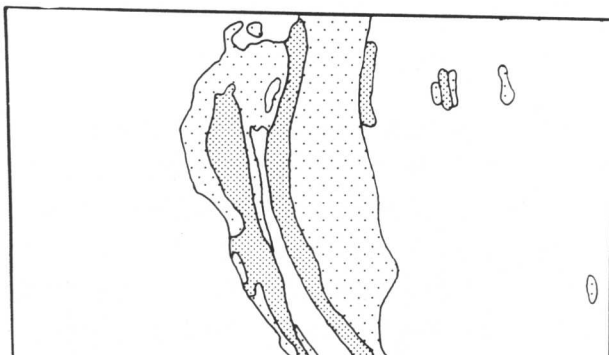
季节性高地下水水位图

- 排水良好的地区
- ▒ 一年中会有 1-2 个月出现较高的地下水位的地区
- ▓ 一年中会有 2-12 个月出现较高的地下水位的地区



不稳固物质分布图

- ▒ 冰碛土
- ▓ 紧实的冰碛土
- ▒ 黏土堆积物
- ▓ 崖屑堆积物
- ▒ 沼泽
- 砂或砾堆积物



基岩深度图

- ▒ 基岩距地表不足 2 英尺的地区
- ▓ 基岩距地表不足 10 英尺的地区
- 基岩距地表超过 10 英尺的地区



图 6.6 可用于场地污水处置适宜性评估的系列地图

表 6.1 针对图 6.6 的 SAS 土壤适宜性的标准和量化评估

	特性				
	材料	基岩深度	季节性地下水位	坡度	
等级	3 (好)	冰碛土	> 10 英尺	排水良好	0%–3%
	2 (良)	砂土、砂砾 或紧实的冰碛土	2–10 英尺	一年有 1–2 个月 具有较高地下水位	3%–15%
	1 (弱)	黏土、崖屑 堆积物或沼泽	< 2 英尺	一年中有 2–12 个月 具有较高地下水位	> 15%

三个层次来体现土壤的污水处置适宜性。

在工作中，如果我们需要利用 NRCS 的现代土壤调查图，那么以下问题是我们需要注意的。NRCS 图的表现方式有些与众不同：首先，所有的数据和信息的编排和表达方式都是根据土壤类型而定的；其次，在许多地区，NRCS 提供的土壤适宜性信息都是从 SAS（土壤吸收系统）的考虑出发的。在这样的情况下，我们就只需要绘制出 NRCS 所作的各种分类——当然还需要到现场核查 NRCS 的土壤分类——然后记录下来每一种类的分类标准和分类的基本原理。然而，这些标准和原理有可能不是很清楚，或是人们还希望根据当地土地利用中存在的问题以及当地的现状对原有的标准进行一定的修改，如果遇到这些情况，除了已经建立的绘图单位（图 6.7）和数据来源可能不同外，在程序上和前面所提到的都基本是相同的。一般 NRCS 提供的县土壤报告会包括土壤渗透性，季节性的最高地下水位，基岩的深度以及土壤质地和坡地坡度等，在那些数据符合标准的地方，我们可以按照表 6.2 中提供的步骤绘制出污水处置的土壤适宜性图。

NRCS 图

6.5 标准 SAS 的替代方案

除标准的 SAS 外，SAS 还为人们提供了许多可供选择的替代方案，它们同

表 6.2 适用于 SAS 的土壤适宜性分类程序

步骤 1：选择有待评价的特性并建立含有每种土壤类型及其特性的矩阵。例如：

土壤 *	特性				
	质地	基岩深度	季节性地下水位	渗透性	坡度
贝基特 (Becket)					
伯克希尔 (Berkshire)					
彻科勒沃 (Chocorua)					

步骤 2：建立一个如表 6.1 的等级体系，把土壤每个特性做数字评估以完成矩阵；

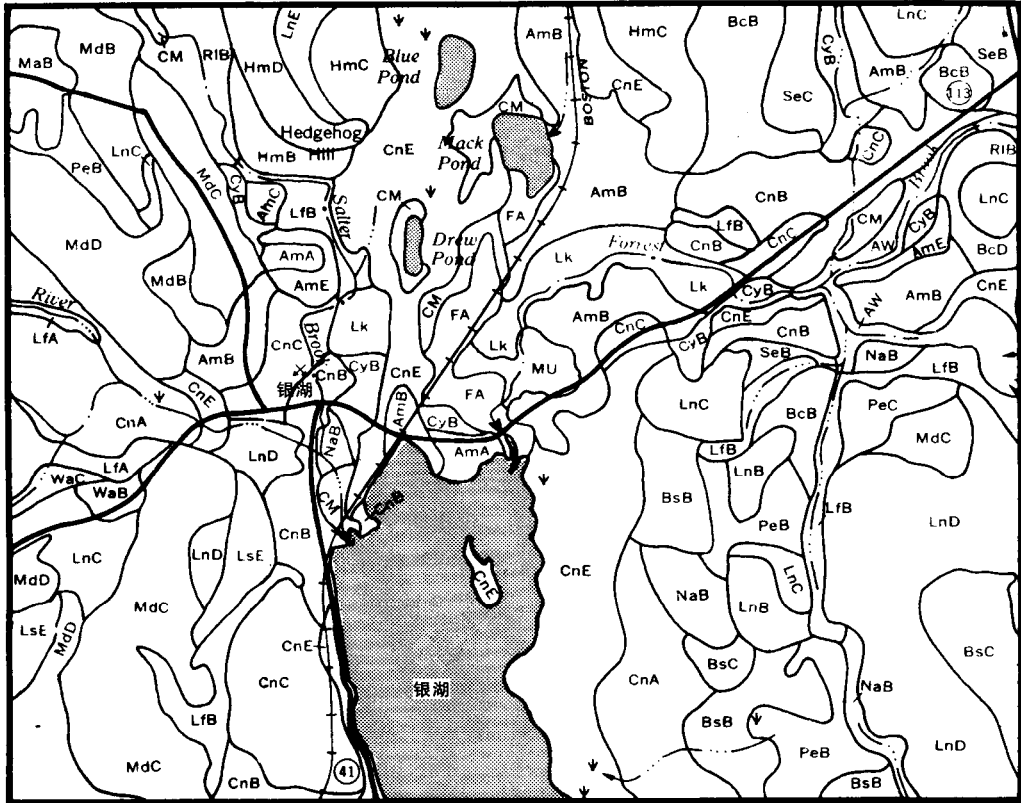
步骤 3：计算出每种土壤类型的总得分；

步骤 4：在总得分的基础上，把土壤分为高、中、低三类；

步骤 5：在土地图上用颜色区分每种适宜性的地区（为此你必须先设计一个三类颜色和图例的方案）；

步骤 6：对照其他资料地图（如详细地形图）检查所划土壤区域边界并加以相应的调整（见表 5.8）。

* 选自美国三个不同地方的土壤。——编者注



土壤图

新罕布什尔州卡洛尔县

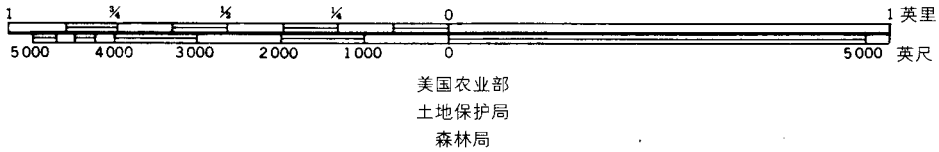


图6.7 标准NRCS地图的一部分。图中的字符代表不同的土壤类型，县土壤报告中定义了每个代码的意义

样是在场地尺度上为克服土壤和地形限制而设计的污水处理系统。因为各地的卫生状况和规划规范不同，所以其选择的SAS系统也相应的不同。其中，无水卫生间就是最简单的选择，它完全或在部分水平上免除了和普通住宅中安置排泄装置的必要。这种无水系统使用了一种安全环保的方式将固体垃圾进行集中，并在消除病菌后可以作为土壤肥料。无水系统在许多社区深受欢迎，因为（1）它无需对大量的、令人头痛的污水进行处理，而且（2）它节省了本地的用水量。除无水厕所外，还有一种不需要大型排水设施的SAS系统，它包括一个独立的厕所废水处理装置，厕所废水独立于水槽、洗衣机、浴缸等排出的废水之外，厕所用过的水是排入排水设施中的，而其他不含病原物的废水则可以直接重新利用，比如灌溉田地和花园。

无水系统

在那些土壤比较匮乏的地区，有一些其他的SAS系统可供选择。选择之一，利用吸收率和渗透率都比较高的介质来替代土地最上面两英尺的土壤，与它相

土壤系统

联系的系统就叫做“土壤系统”。这样的一个系统需要在地面上建造一个由一堆土壤介质组成的排水装置,其中包含有释放管道,同时需要一个水泵将污水泵到这里。

在那些斜坡是主要限制因子的地区,有时人们会将污水排放场地布置在几个台地上,它们被分隔开来,污水也根据每个台地的大小和容量来分配性地排入其中。另外一个方法就是借助水泵的压力把污水运输到合适的污水处理场地。这种体系通常会需要研磨机来打碎固体物质,然后利用储藏罐和水泵把水抽到污水处理场地。这种**研磨机/水泵系统**可以使许多家庭的污水排放到同一个污水系统中。

研磨机/水泵
系统

对于这些可选择的系统来说,除了无水厕所之外,这些设施的建造和维持费用要高于标准的污水处理系统(SAS)。另外在设计上还需要注意更多的问题,在美国和加拿大一些地区,建造这些设施比较难以得到本地政府机关的许可,尤其是一些标准的居住小区,无水卫生间更是不被接受。但是在那些水资源紧张或是担心地下水或河流受到污染的地区,无水厕所正在赢得越来越多的关注。

6.6 小流量湿地系统

在处置污水的规划方面,湿地也正在受到普遍的关注。事实已经证明湿地是一种净化水体的有效过滤系统。湿地具有许多的物理和生物化学功能,能够有效减少悬浮沉积物,消除有害的生物病原菌和化学污染物。下面就是湿地净化水质的过程:

湿地过程

- 迫使沉积物沉降:湿地中植物的根茎、有机物碎片能够降低水流速度,并吸附微粒使水流中沉积物沉降。
- 过滤悬浮物:水渗入土壤层的过程使悬浮物得到过滤。
- 吸附作用:营养物质,有机复合物,生物制剂被有机微颗粒(胶状)吸附。
- 植物吸收:营养物和溶解的化学离子被植物吸收。
- 特定污染物的分解:特定污染物在微生物的作用下分解。

系统组成

当前,不论是自然的或是人工构建的湿地都被用来处置居住污水。尽管公共健康部门广泛地对它持有怀疑态度,但是由于成功的例子逐步增多,所以在美国和加拿大湿地污水处置系统正在被越来越多的人接受。实验的前期阶段是小规模的,人工湿地主要是为个人家庭服务。这些系统包括一个化粪池(若需要的话可带一个水泵),湿地单元(带有一个可供湿生植物生长的饱和砾石基质层),一个渗透床(用来疏散湿地中释放出的水)。该系统为了阻止回流安装了一个止回阀,并在湿地单元底下有塑料衬垫以防止水流失到土壤中。至于湿地单元的大小则可以根据当地的气候条件和家庭大小而定,一般都是一个800-1200平方英尺的区域。对于一个中等大小的家庭而言,每天产生的污水大约是600加仑,而其在人工湿地上滞留的时间为两个星期。在这期间,悬浮沉积物被过滤下来,并且营养物质也被微生物和高等植物所消耗。然而湿地也是需要定期维护的,其中包括疏减湿地植物,去除废物与外来的植被。



图 6.8 一个小型社区的污水系统——利用一系列的湿地水池来处理污水

在一部分社区，比较大型的湿地系统已经被用来有效地处理污水了。当然它们也同样受到了来自公众健康和环保界的质疑。而且，这些职业领域的人们更倾向于能从外部控制社区处理系统，即使用机械系统来进行污水的处理。尽管湿地的设计和运行方式随着当地的土壤、排水和气候条件而有所变化，但是大多数系统都是由沉积池和湿地水池两部分构成，首先依靠沉积池去除污水中的固体物质，然后再让污水经过一系列的湿地水池使其分散（图 6.8）。湿地处理流水的能力会随着季节性水温 and 供应量的不同而有所差异，因此系统监测和日常的管理都是十分必要的。

社区湿地系统

借助于土壤分布图的污水处理规划（加拿大新斯科舍省）

迈克尔·D·西蒙兹（Michael D. Simmons）

尽管在加拿大新斯科舍（Nova Scotia）省人口增长速度已经很慢，但最近几十年来，大量家庭的分解使得人们对住房以及政府住房补贴的需求量变得越来越大，而且在总体上，人口有一种向乡下和郊区迁移的趋势。这些新住宅有很多都建造在服务设施不完善的、距都市中心有一定距离但交通还比较便利的地方。为了便于规划哪些地方该建住宅哪些地方不该建，新斯科舍省进行了大规模的土壤适宜性评估，以确定合适的废水处置场地。

我们把基本的土壤单位和新斯科舍的土壤调查图作为地理上的依据，而

6.7 案例研究

污水处理的标准则依据了新斯科舍省公共卫生部门制订的导则：

■渗透率必须少于每英寸30分钟；经过适当的修正，每英寸60分钟也是可以接收的。

■基岩的深度必须低于处理区域4英尺或更多；相当于低于地表大约6英尺。

■地下水位必须也同时低于处理区域至少4英尺，水处理区的位置不能位于易遭受洪水淹没的地带或者湿软地区。

■必须考虑地形或该地块的相对高程。

除了导则所包括的因素外，以下还有三个需要考虑的限制因素：

■与上层滞水面或洪水有关的土壤表层的水饱和。

■过度的快速渗透，可能导致地下水的污染。

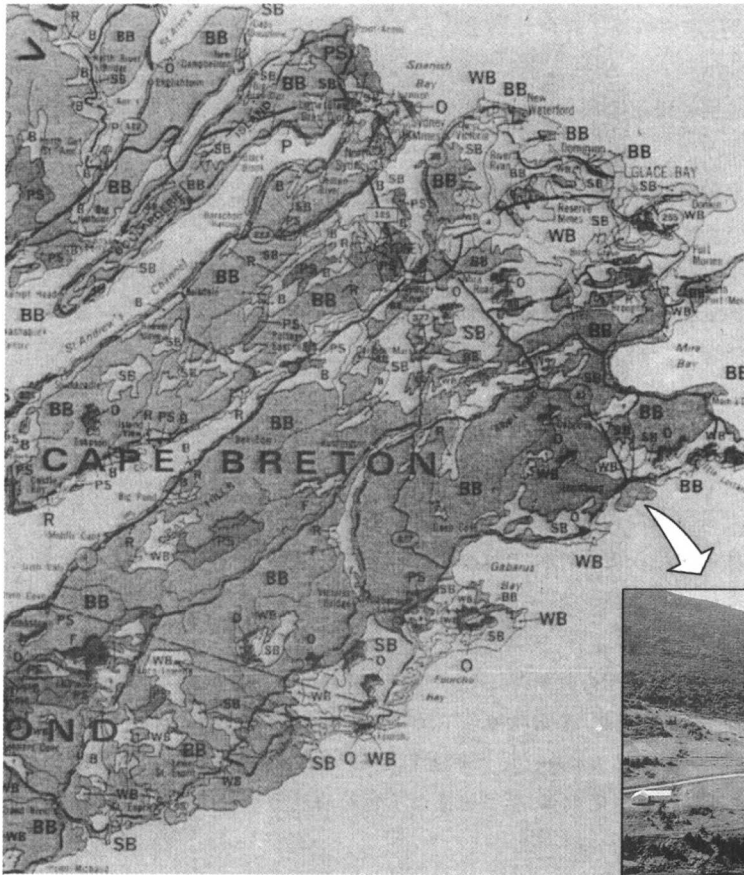
■地表的极端坡度。

这些标准与土壤调查数据库进行比较，并产生以下6个限制性的操作标准：(1)渗透率太慢；(2)基岩到地表不足6英尺；(3)长期的水饱和；(4)季节性水饱和；(5)易遭受水淹；(6)渗透率太高。除了土壤调查外，人们可以结合来自公共卫生检查的数据、钻井记录以及额外的现场试验记录进行土壤适宜性图的绘制。

在尝试合成数据的时候，会发现土壤调查和现场调查的土壤描述之间时常存在矛盾。这归结于以下两个原因：(1)原有土壤分布图的比例尺度；(2)现场试验的时间和季节。土壤湿度常常会随季节变化，因此，在低湿度的时期，如果仅仅做单个渗透试验，土壤测试或许会呈现出令人满意的结果。为了避免土壤试验因季节导致的误差，渗透试验最好能够在大多数年份的5月、6月初和11月进行，这样得出的结果会比较可靠。

确定图的范围是一个更难的问题。因为关于该省有14个小比例尺(1英寸：1英里，1英寸：2英里，1英寸：1/3英里)的土壤调查报告，缺乏定点地区必要的细节资料。由于这个原因，我们有必要使用基于限制因素出现概率的绘图技术。这种技术需要确定每一种类型土壤的一种或两种主要的限制性因素，然后对土壤单位进行抽样以判定这些限制因素出现的一致性。事件一致发生的总概率在80%—90%之间——尽管在某些地区会受到基岩的限制，基岩则仅被认为占有所有试验点的50%。80%的可能性意味着：在给定的土壤制图单位内随机选择五个发展地，其中会有四个地点出现给定的限制性因素。

由于我们是根据新斯科舍省土壤调查分布图绘制地图，因此由这个项目所制出的最大比例的地图可达到1：50000。这些地图已被应用于很多方面：首先，作为公众信息载体，以图解形式说明存在问题的土壤的范围和分布；第二，在那些不愿意接受现场试验结果的社区，向人们提供关于有问题的土壤的确证事实。这不仅强化了地方规划的规程序，而且也为民政和地区发展计划提供了导则。



新斯科舍的土壤对于废弃物存贮分解场地的限制*
(图中CAPE BRETON为布列塔尼地区——译者注)

图例

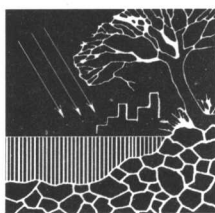
区域内的主要限制因素	事件发生可能性(%)	次要限制因素	事件发生可能性(%)	英亩 ('000)	公顷 ('000)	占总面积的百分比 (%)
N	85	无	-	709	287	5.5
B	65	无	-	1016	411	7.9
BB	90	无	-	6439	2606	49.4
P	90	无	-	420	170	3.3
PS	90	周期性饱和	80	1322	535	10.3
PW	90	长时间饱和	90	264	107	2.0
PB	90	基岩	75	498	201	3.9
SB	90	基岩	80	1073	434	8.3
WB	90	基岩	80	388	157	3.1
R	80	无	-	163	66	1.2
WR	90	高渗透力	80	30	12	0.2
F	90	渗透 (高或低)	80	171	69	1.4
O	95	-	-	444	179	3.5

*我们可以进行适当的改造来克服场地的固有缺陷。这些技术包括：额外的填充、人工方式排水以降低地下水位、翻动深处的土壤增强渗透能力等。另外，还需要现场的仔细勘察，以判断建造污水处理系统的可能性以及为克服土地固有缺陷而花销的费用。

作者简介: 迈克尔·D·西蒙兹 (Michael D. Simmons), 新斯科舍省阿
姆赫斯特海洋资源管理署的资源规划师。

6.8 推荐阅读文献

- Clark, John W., et al. "Individual Household Septic-Tank Systems." In *Water Supply and Pollution Control* (3rd ed.). New York: IEP/Dun-Donnelley, 1977, pp. 611-621.
- Cotteral, J. A., and Norris, D. P. "Septic-Tank Systems." *Proceedings American Society of Civil Engineers, Journal of Sanitary Engineering Division* 95, No. SA4, 1969, pp. 715-746.
- Environmental Protection Agency. "Alternatives for Small Wastewater Treatment Systems." *EPA Technology Transfer Seminar Publication*, EPA-624/5-77-011, 1977.
- Huddleston, J. H., and Olson, G. W. "Soil Survey Interpretation for Subsurface Sewage Disposal." *Soil Science* 104, 1967, pp. 401-409.
- LaGro, J. A. "Designing with Nature: Unsewered Residential Development in Rural Wisconsin." *Landscape and Urban Planning*. 33, 1996, pp. 1-9.
- Last, J. M. *Public Health and Human Ecology*. East Norwalk, CT: Appleton and Lange, 1987.
- Public Health Service. "Manual of Septic Tank Practice." United States Public Health Service Publication No. 526. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 1957.
- Wilhelm, S., et al. "Biogeochemical Evolution of Domestic Wastewater in Septic Systems: 1. Conceptual Model." *Ground Water*, 32, 1994, pp. 905-916.
- World Health Organization. *The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade Review of Regional and Global Data*. Geneva: WHO Offset Publication No. 92, 1986.



第7章

地下水，土地利用， 蓄水层保护

- 7.1 简介
- 7.2 地下水来源与特点
- 7.3 地下水流动系统
- 7.4 地下水的衰退和蓄水层受到的影响
- 7.5 地下水的污染源
- 7.6 景观规划中的应用
- 7.7 社区的水源保护
- 7.8 案例研究 应用地理信息系统制订地下水保护规划
- 7.9 推荐阅读文献

7.1 简介

在过去的土地利用规划中,人们对地下水的关注仅仅只限于水源的供给问题。不可否认,直到今天,地下水依然是居住、工业和农业用水的重要水源,并且在规划中,布置可靠的用水来源仍然十分重要。然而,不同于以往的是,今天我们另有一个难题需要对付,那就是“地下水污染问题”。地下水污染是当今最令人担忧的环境问题之一,尤其是当考虑到地下水是这个地球上惟一的一个最大的液态淡水储备时。

虽然地下水经常被描述成是一种与环境关系甚微而且十分复杂的事物,并且在过去,规划师也并没有把它当作影响规划的主要因素来考虑,但是我们应该认识到,事实上地下水与景观之间有着密切的联系——地下水来自景观并消亡于景观。因此,地球表面的环境变化——尤其是涉及土地使用方式的改变都会在某种方式上影响到地下水。对于从事土地利用与环境方面的规划师们而言,问题不仅在于要了解是什么活动导致地下水受到污染,更为重要的是还要摸清这些污染活动的场所与地下水之间的位置关系。事实上,地下水保护的关键就是对土地利用的地点做出明智的选择和判断,以杜绝潜在的威胁。

而今,规划师们的责任已经变得更加的艰巨,因为他们还需要解决“隐性的”土壤污染源对地下水的污染问题。事实上在许多地方,有数以千计的地下储油罐正在向地下渗漏矿物油、汽油和其他类型的石油产品。在美国和加拿大,有成千上万的含有有害物质的垃圾掩埋堆,它们大都位于大都市内或其周围,并且其中有数目惊人的一部分无法确定其位置。因为不明确垃圾存放的位置,越来越多新的土地拥有者会在不知情的情况下将这些储油罐和垃圾堆挖开,从而也认识到他们确实应该承担清理垃圾和环境恢复的义务。因此在编写关于环境评估、场地选择与场地规划的清单时,我们必须确定那些尚无记载的垃圾堆、有害废弃物堆积地和地下储油罐的位置。

7.2 地下水来源与特点

地下水开始是由地表水渗透到地下而逐渐形成的。在地表下,水的移动方式有两种途径:(1)一部分被土壤吸收;(2)另外一部分被重力吸引到更深处。其中后者被称作“重力水”,最终到达地下深处充满水的开放空间(土壤微粒间的空隙和基岩的缝隙)——水饱和区或者地下水区。

重力水

地下水区的上层水面被称为地下水位(图7.1)。在某些土石介质中,地下水位是一个可见的边界线,但是大多数情况下,地下水位是一个有着不规则外形的过度性区域。在地下水位以下,地下水可以向地下延伸好几公里,然而在很深的地方,水的含量会变得很少。在可用地下水区上部5000英尺左右的范围内,水的多少也会随着土壤和石质的不同而发生显著的变化。

地下水位

孔隙度是指物体材料中的空隙量,孔隙度的大小决定了材料本身的持水能力。在土壤和近表面基岩中,它通常都在10%~40%之间(图7.2)。一般来说,孔隙度的大小会随着深度的加深而减小,在地壳下几英里深处的地方,来自岩层的巨大压力会压紧土石间的空隙,使得这里的孔隙度常常小于1%。

孔隙度

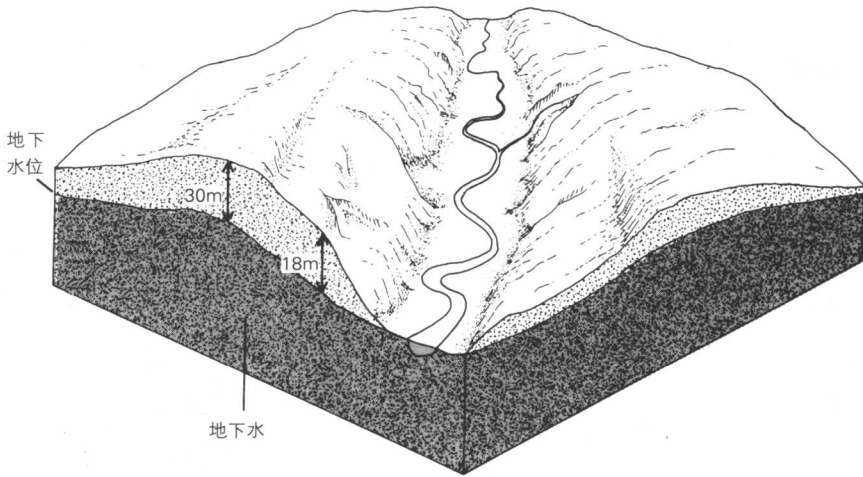


图 7.1 地下水位的形态以及与上层地表地形之间的一般关系图。通常地下水位高程的变化幅度要小于地表的变化幅度，从而形成了许多地下水与地表之间的交错地带

在大多数地区，地下物质都是按照一定的层次和构成、或是孔隙度的大小及含水量的多少来排列的。通常，我们将那些含有大量地下水（可供人类利用）的地下层称为**蓄水层**。显然，有许多材料都可构成蓄水层，其中多孔的材料——如砂床和碎石是最好的。蓄水层的评估和分级可以根据以下的标

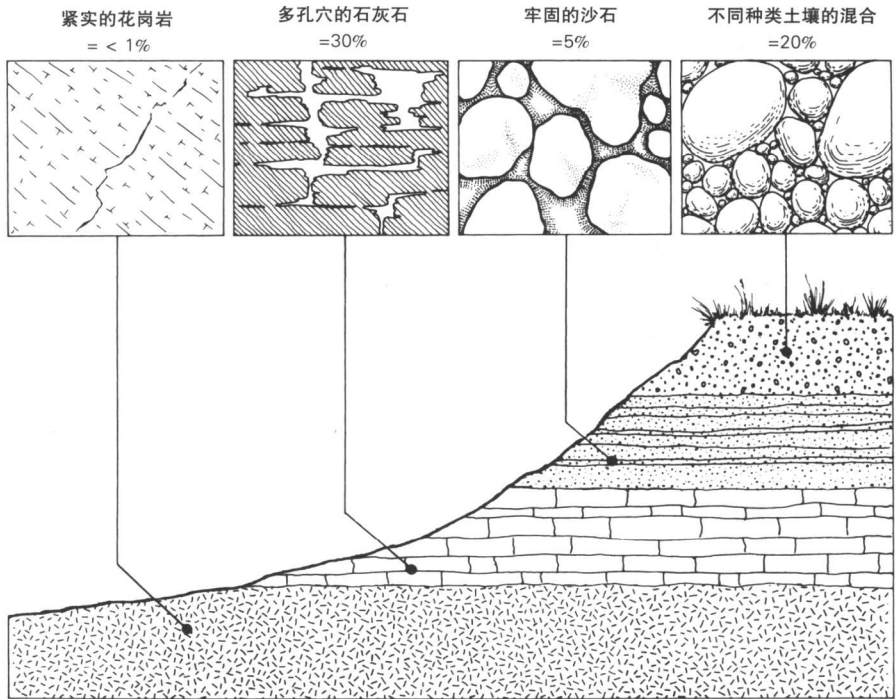


图 7.2 接近地表的四种物质的孔隙度示意图。对任何物质而言，孔隙度值会随深度的增加而减小（来自土壤和岩石的重压会减小介质内部的空隙）。如接近地表的基岩孔隙度可高达 45%，而在深度超过 2000 米的地下，基岩的孔隙度则不会超过 2%–3%

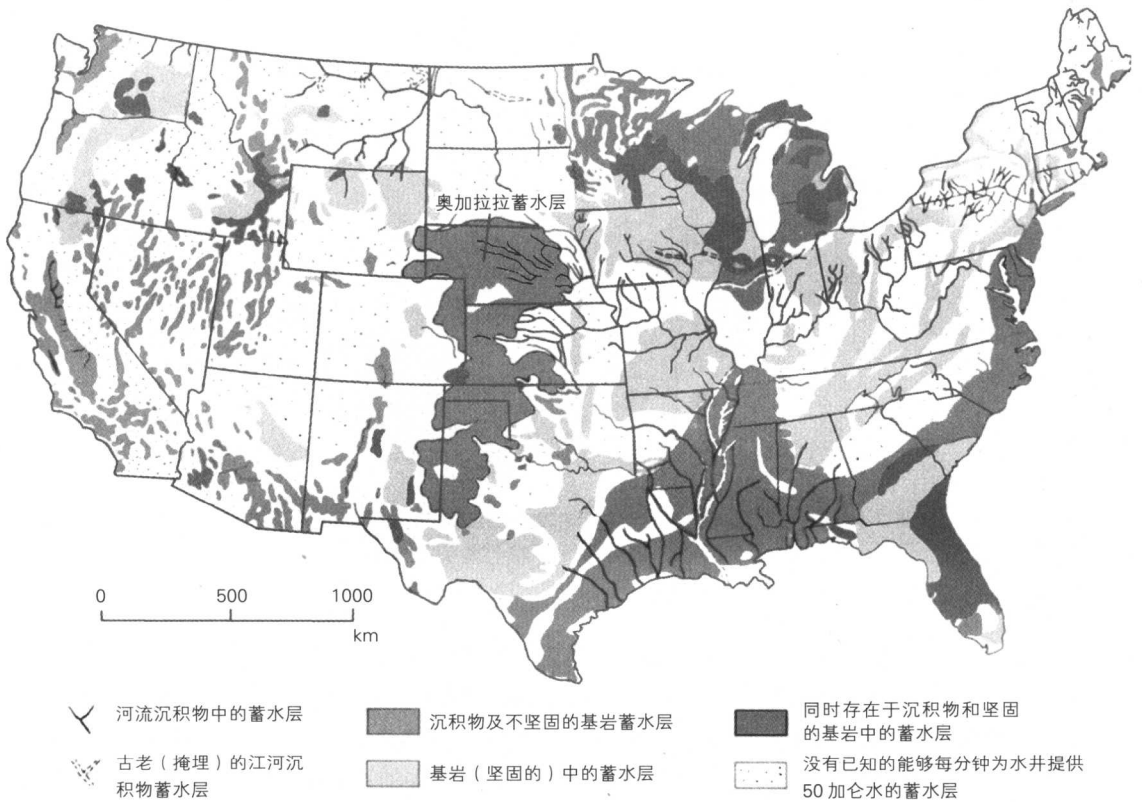


图 7.3 美国大陆上主要蓄水层的分布图。所谓主要蓄水池，是指那些具有超强供水能力的蓄水池——每分钟能为单个水井提供超过 50 加仑的水，并且其中的固体溶解物浓度不能超过 2000ppm*

准进行：(1) 在不会导致水平面严重下降的情况下可以从中抽取水量的多少；(2) 水的质量。从水质方面而言，例如含矿物量高的水如盐水，则一般不能用来做农业和市政用水，并且通常不被算做一个地区的地下水资源。

人们根据构成介质将蓄水池分为两种类型：牢固型（主要由基岩组成）和松散型（主要由表面沉积物组成）（图 7.3）。在北美的中部地区，沉积岩床上覆盖有 50-500 英尺厚的冰河期沉积物，这里的沉积物和基岩床中都存在蓄水池。但其中的冰川沉积物常常变幻莫测，其颗粒大小、厚度以及水供应在不同地区变化很大，使得这一区域的沉积物蓄水池在不同地方也存在很大的差别。与之相比，基岩蓄水池的相对变化则要小得多，常常跨越广阔的面积——特别在沉积岩地区——能占据几百平方英里的区域。在北美，最大的蓄水池是奥加拉拉，它是一个主要由砂石组成的蓄水池，从南达科他州一直到达得克萨斯州的北部，延绵了 1000 多平方英里（图 7.3）。

蓄水池类型和构成介质

在有河流流经的低洼地区，如伊利诺伊河（Illinois）、瓦伯什河（Wabash）、普拉特河（Platte）、阿肯色河（Arkansas）等大型河流以及其他一些小型河流的低地，存在着许多连续的蓄水池，这些蓄水池通常都很浅——深度不超过 500

* ppm——浓度单位，百万分之一。——译者注

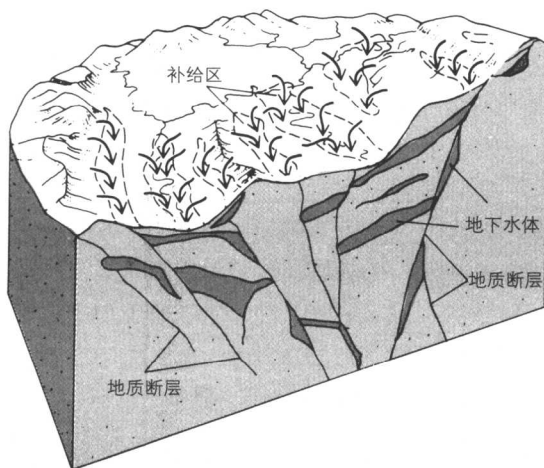


图 7.4 地下水盆地示意图: 处于一个共同地质环境中的不同地下水水体 (由一个或多个补给区构成)

英尺, 是所谓的冲积蓄水区 (由掩埋的河流沉积物构成的蓄水区)。河水是它们水的来源, 因此其水含量会随河流季节性流量的变化而变化。另外, 河流蓄水区的地理分布也比较有规律, 主要受河流支配, 呈现出沿河及其支流的带状分布模式。

在美国西部, 沉积物和基岩中都可以找到蓄水区, 但是许多干旱地区, 蓄水层的水含量很少——每分钟的供水量小于 50 加仑。然而, 在局部一些地区, 有一些河流蓄水区, 其水含量由山体地表径流量的多少决定, 山体上的径流成为干旱地区地下水的重要来源。总体而言, 美国西南部地区的地质环境是富于变化的——由多变的山体地形、深厚的山谷沉积、山脉侧面的冲积扇, 以及断裂的基岩构成, 这一系列的地质环境导致一种变化多端的地下水环境 (即一种与地质结构、河川径流及相关沉积紧密联系的地下水环境) (图 7.3)。

地下水盆地

地下水盆地是指由一组蓄水区相互连接形成的大型流动系统, 是一种典型的复杂三维体系, 能够在各种不同的地下水体 (包括可以称为蓄水层的或不能成为蓄水层的地下水体) 之间以及地下水体和地表之间作垂直和水平的流动 (图 7.4)。地下水盆地的空间结构在很大程度上取决于所在地区的地质状况, 也就是说, 取决于容纳地下水体的沉积物和岩石的范围和结构。因为这些沉积物及其构成方式在大小、组成成分、形状上有很大的不同, 因此我们很难精确地搞清楚一个地下水盆地中的不同地下水体在不同的深度是如何连接的。然而, 这样的一种不确定性对于我们来说又是十分重要的, 它会影响到水源的供给规划以及蓄水区之间污染水的扩散问题。

7.3 地下水流动系统

如果我们需要绘制蓄水区的高程图, 就会发现几乎所有的地下水都以一定的角度倾斜。对大多数浅的蓄水区而言, 我们可以通过追踪穿越景观的地下水

水位的海拔高度加以证实。一般情况下，地下水水位的高低都是随地表地形的高低变化而变化的。对于较深的蓄水层，地下水通常是在岩石构成的下降处出现坡度。人们习惯于将蓄水层或是某段地下水水位高程的变化率称为“水力梯度”，其计算方法和地形学上的坡度计算是一样的——用两点之间的高程差除以它们之间的距离。

水力梯度

地下水流动由沿着水力梯度的重力驱动。对于某种特定的介质而言，水力梯度越陡，流动速率越快。为确定地下水的流动速率，我们需要了解水力梯度大小以及介质对地下水流动的阻力的大小。阻力是渗透率的一个函数，而渗透率由介质孔隙空间的大小和连接度决定，如黏土的渗透率较低，砂土和砂砾的渗透率较高。地下水速率的基本公式，即著名的达西定律（Darcy's Law）：

流动速率

$$V = I \cdot k$$

其中 V 指速率； I 是水力梯度； k 是渗透率。

与地表水的流动相比，地下水的流动速度是非常慢的。大型蓄水层中，典型的流速仅为每年 50-75 英尺。人们将水流完全经过一个蓄水层的时间称作滞留时间或交换时间，需要以十年或世纪作单位来衡量。以典型的直径为 3 或 4 英里的蓄水层为例，交换时间可能要达到 250-350 年之久。当然，如果蓄水层中有水井的话，这个时间可能会短的多，因为水井会将水在流经蓄水层的中途时抽出。但是无论在何种情况下，地下水系统的运动都是十分缓慢的，因此将污染物从受到污染的蓄水层中冲刷出来所需要的时间也是超长的。

“补给”是指地表水在重力的作用下补给到地下水体中的一个过程，地表水可以来源于土壤、湿地以及湖泊等等。大多数的蓄水层都是从某些特定的地表区域获得补给水，只有少部分的（尤其是一些较浅的）蓄水层是从广阔的（非特定的）地表区域获得补给水。我们将那些特定的、能够提供地下水的区域称为补给区域，它们可能是：（1）地表水汇集区——如湿地或地形凹陷处；（2）具有高表面渗透率的土壤或岩层区，以及（3）蓄水层暴露于地表或接近地表的地方（图 7.5）。在所有这些情况下，补给区域对于蓄水层管理都是非常关键的，因为补给区域是土地使用活动产生的污染物进入蓄水层的直接入口。

补给

当补给水进入蓄水层后，接下来的运动将取决于它所流经的介质的渗透性和蓄水层的水力梯度。如果蓄水层接收到快速的补给，但介质的渗透率却很低（也就是阻力大），则新的地下水容易受到堵塞，结果使得水力梯度增加，依据达西定律，水力梯度增加后，水流的速度也会增大，而水流速度的增大将继续导致水力梯度的增长，直到水体的横向流动速度（即传输速度）与补给率相等时，这一循环促进的现象才会停止，系统达到平衡。而与之相反的是，即在补给需求的速度低而渗透率高的情况下，水力梯度则会一直下降，最终依然是实现传输和补给之间的平衡。

通常而言，浅蓄水层比深蓄水层接受补给的速度要快。虽然补给速度会随着深度的增加会或多或少的不断下降，不过总体上距离水面 3000 英尺以内的蓄水层是需要几百年（平均 300 年）才能彻底更新一次的；而那些比 3000 英尺深的蓄水层则需要几千年（平均 4600 年）才能彻底更新。这种差别不仅与补给水

补给速度

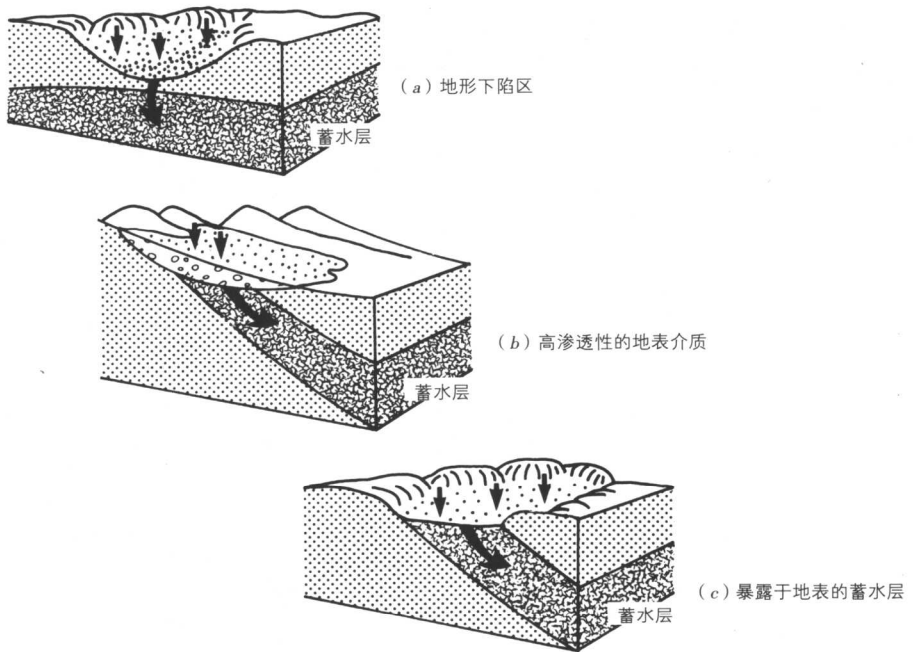


图 7.5 三种类型的补给区: (a) 地形凹陷区, 如湿地; (b) 地表物质为高渗透率的地方, 如冲积扇或岩屑坡, 以及 (c) 蓄水层的暴露区, 如陡峭坡地的附近

所要通过的距离有关, 也和深处空间小、水流渗透慢的事实有关。

尽管大量的地下水在某些蓄水层可以待上几千年, 不过大部分的水在地下逗留的时间只有从几年到几个世纪。除了被人类强行泵出地面外, 地下水释放到地表主要通过以下两种方式: (1) 毛细管上升进入土壤并由此蒸发, 或被植物吸收后通过蒸腾作用散发出去; (2) 释放或渗流进入溪流、湖泊和湿地, 从而成为地表径流系统的一部分。实际上, 这两种释放方式都涉及大量的水, 然而在景观中却几乎都是无法感知的。

许多不同的地质或地形状况都能产生渗流现象。例如, 在高山地区, 我们可以在岩层的断层线或露出地面的倾斜岩层上发现渗流的痕迹 (图 7.6)。对于那些基岩上覆盖有深厚沉积物的地方, “**渗流地带**” 则常常出现在山坡脚下。陡峭的斜坡显示出地表高程上的“突变”, 然而这种变化可能太突然, 因此并不能使地下水位产生相应的高程变化。在这种情况下, 地下水位就很有可能截断地表——尤其是在那些地下水位本身就比较高的湿润地区。如果因此而产生的渗流是比较缓和的, 就会形成涌泉; 但如果渗流的强度很大, 则有可能形成湖泊、湿地或溪流。渗流地带, 也称作补给地带, 由于能够提供可靠的水源供应以及适度的热力条件, 因此在任何地理环境中都具有十分重要的生态意义。在河流的底部, 地下水能够通过渗漏作用进入河床, 形成河水的“底流”, 这是地下水的一种长期而重要的释放形式。

地下水有许多不同的渗流形式, 这取决于许多因素, 它们包括渗流的速度、凹陷接收区的面积大小, 以及水流进入径流和蒸发的速率。例如, 明尼苏达州、

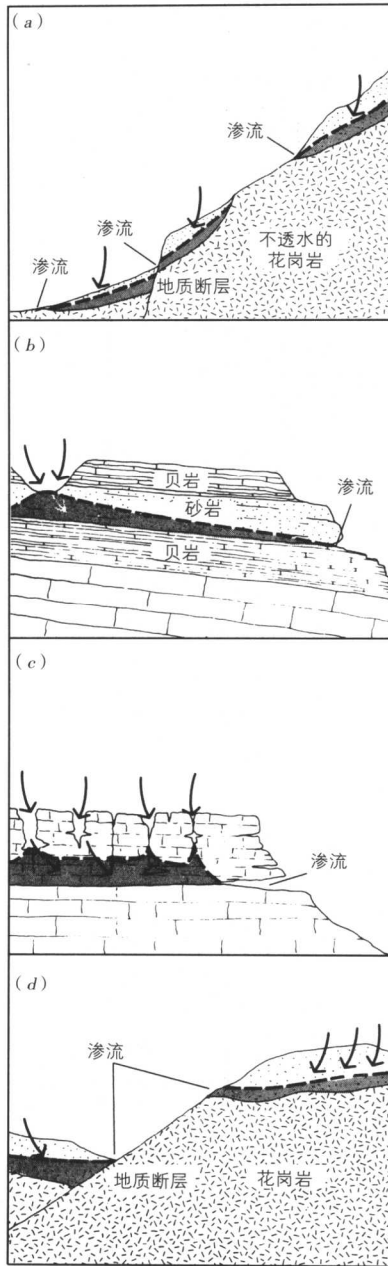


图 7.6 与各种自然地理环境相关的渗流区域: (a) 不透水基岩上的疏松沉积物; (b) 页岩上倾斜的沙石; (c) 未风化石灰石上的多孔石灰石; (d) 被断层破裂的疏松材料

威斯康星州和密歇根州的大部分内陆湖泊都属于“渗流型”湖泊，它们的水位会随地下水位的季节性变化而变化。这些湖中的大部分或是与湿地相连，或是自身在有机物碎屑的填充下演化为湿地。例如，在那些地下水被来自居民的排水系统、肥料或暴雨污染的地方，污染物中的营养物质会加速湖泊中的藻类和其他水生植物的生长，也就间接地加速了湖泊向湿地的演化过程。

7.4 地下水的衰退和蓄水层受到的影响

几乎在北美的所有地方, 人们都把地下水作为饮用水、农业用水和工业用水的来源。在乡村, 地下水提供了超过95%的饮用水和70%的农业用水。在美国和加拿大, 共有25%~50%的社区是依靠地下水作为公共用水来源的。

水的供应

对于供水来说, 最佳的选择是那些含有大量纯净水、并且在抽取后可以自行恢复的蓄水层。若想要一个蓄水层在多年内都能够提供可靠的用水, 那么人们在使用时就需要注意以下两方面的问题: 第一, 抽取水的速度一定不能超过蓄水层自身的输水能力, 一旦人类的取水速度大于蓄水层的供水速度, 则安全的单井产量将很快被超过。安全单井产量是指在不会造成地下水位下降的最大泵水速率; 第二, 抽水的速率不能超过蓄水层的补给速率, 否则蓄水层的水平面将会下降。当蓄水层有明显回落的时候, 安全的单井产量通常就已经被超过了。如果这种过度抽取水的行为一直延续多年的话, 这个蓄水层将会被耗尽。

在干旱或半干旱的地区, 人们使用地下水进行灌溉, 这种作法通常都会超过蓄水层的安全产量, 而且很多情况下都是大幅度的超量。在美国西部, 数几千年前的冰川时代及其后期形成了许多蕴含丰富地下水资源的蓄水层; 而今, 人们正以远高于目前补给速率的速度抽取这些蓄水层中的水。假如我们不对其进行调整(减小抽取率实现抽取与补给之间的平衡), 那么很显然, 地下水水平面将会降低, 随之井也会越打越深, 最后直至蓄水层的枯竭。

蓄水层的回落

在亚利桑那州的部分地区, 由于农业和城市用水的需要, 过度抽取地下水的现象十分严重, 一些蓄水层的水平面平均每年会下降多达20英尺。在大平原区域, 也存在类似的现象, 农业灌溉使用了大量的地下水, 使得巨大的奥加拉拉蓄水层部分地区的水平面正在以每年3英尺的速度下降(图7.3)。现在, 美国人口有一种南迁的趋势, 这不仅将造成南部地区对地下水需求的增加, 同时还会使得地下水被污染的风险增大。在佛罗里达州, 十年来人口增加了约300万, 而这些人的用水又基本上全是依赖地下水, 在这里, 人们面临的一个主要问题就是地下水的水质下降问题, 由于在蓄水层补给过程中, 雨水中的污染物会随着补给水一起透过沙土, 进入地下水系统, 从而造成地下水水质的下降。

沉陷锥

在城市或城市周边地区(以及带有许多大型地下井的农业区), 地下水位会由于过度抽取而下降, 同时还会形成一种“崎岖不平”的地下水表面。这种情况大都发生在那些从一口井中连续过量抽取水的地方, 这会使得围绕井周围的水平面下降几米甚至几十米, 从而形成一种漏斗状的水平面, 就好像洗澡盆中间的排水区, 人们将这样的地下水表面形象地称为“沉陷锥”(cone of depression)。

随着泵水的进行, 沉陷锥也会继续加深, 水力梯度增加, 从而加快了地下水向中心井方向的流动速度。一般情况下, 如果抽取速率不发生很大的变化, 那么锥体通常也就会处于相对稳定的状态。但是在城市地区, 水井的分布往往是十分密集的, 沉陷锥会相互交错, 因此很有可能造成整体地下水水平面的下降。假设有许多不同深度的水井, 那么较浅水井有可能落在较大较深的井所形成的沉陷锥中, 从而使得较浅的水井无法获得地下水。

大面积地下水位的降低将会导致地下水蓄水材料体积的减小, 最终有可能导致整个地面的下沉。正如得克萨斯州休斯敦市发生的情况那样, 随着地下水

的消耗, 这些大城市的地面下沉了1米甚至更多。除此之外, 沉陷锥还会加快地下水中污染物的迁移速度, 因为沉陷锥的存在直接增加了水力梯度和水流动的速度, 因而也加快了污染物的扩散速度。在沿海地区, 地下水水位的降低有可能导致底部含盐的地下水向水井的入侵。**盐水入侵**通常发生在地下水被过度抽取的地方, 由于水压的降低导致下层盐水的上升, 形成盐水入侵。一旦地下水被盐水污染, 井作为水源的作用实际上也就丧失了。

地面沉降和盐水入侵

7.5 地下水的污染源

在现代的大地景观中, 地下水的污染源几乎随处可见。它们包括一切主要的人类土地利用地区: 工业用地、居住用地、农业用地以及交通用地。因此, 在地下水的保护规划中, 我们不仅需要考虑城市和工业区的垃圾, 而且还需要考虑各种农业、矿业、居住、高速公路以及铁路等用地活动产生的垃圾。尽管都会产生污染物, 然而我们对各地的关注程度却是不同的, 这主要是因为: (1) 各地的地下水本身对污染物的敏感性存在差别; (2) 污染物的加载速度会由于土地利用类型以及利用方式的不同而不同(如杀虫剂的使用剂量在不同的农业耕作方式中就存在差别); (3) 释放到环境中的污染物对人类和其他有机物的危害性是存在差别的。

以下是六类主要的地下水污染来源:

掩埋垃圾 人类掩埋在地下的垃圾, 包括固体废弃物和有毒废弃物。它们能够释放出具有污染性的液体——沥出液(详见第5章5.7节)。沥出液的组分会随垃圾组分的不同而不同, 例如由居民垃圾所组成的城市垃圾, 沥出液可能包括如甲烷和苯等有机化合物; 对于农业垃圾来说, 它则可能包括许多如磷和氮等营养成分和有机化合物; 而工业垃圾, 一般会含有较多的微量元素, 如铅、铬、锌、铁等金属元素, 另外它还会包括许多有机化合物、石油类产品以及放射性污染物。

污染物来源

农业用地 农业中使用的肥料和杀虫剂通常会由土壤水或重力水带入蓄层。农用肥料主要包括氮、磷两种元素。其中, 氮元素在土壤和地下水中的移动较快, 因而常常出现在蓄水层中, 构成了公共用水来源中一个十分严重的健康问题。而杀虫剂一般则富含有机化合物, 并且大部分为人工合成的有机物, 如二嗪农、氟和苯等。

城市雨水 城市地区产生的地表径流, 尤其是那些来自街道、停车场、工业和居民区的地表径流通常都包含有各种各样的污染物。雨季来临时, 大部分的暴雨雨水都形成了径流, 但是仍然存在着不容忽视的一部分直接渗入了土壤(图7.7)。尽管污染物的浓度在土壤的过滤作用下能够得到降低, 但在那些较为粗糙的土壤中, 还是会有相当一部分的污染物到达地下水区域。这些污染物包括金属元素(铅、锌和铁)、有机化合物(主要是二嗪农和马拉息昂等杀虫剂)、石油残渣、硝酸盐以及路盐。

排水区 下水道流出的污水能够渗透进入土壤。这些污水都是由家庭或社区产生的, 当它们渗进土壤时, 大量的氮、硫、氯化有机物等就有可能一同被释放, 进入地下水系统。

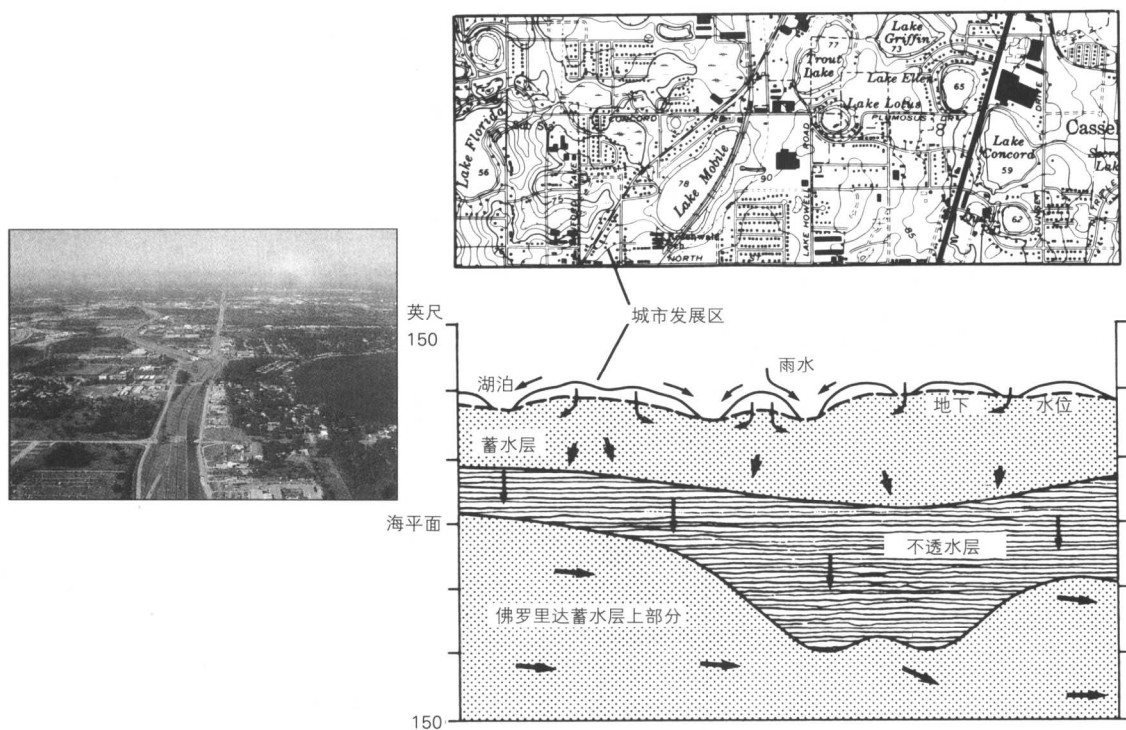


图 7.7 佛罗里达州奥兰多市区内蓄土层地下水位与地表排水状况的关系图

采矿 矿物的萃取以及其他的一些相关过程(如精炼、储存和垃圾处理等)都会对地面和地下水造成各种各样的污染。而其中有一些行为是十分有害的,例如金矿开采中的某些操作步骤中采用的过滤方法(这种过滤方法是以在碎石中加入氰化物为基础的)。在大多数矿物的开采过程中(如煤、铁和磷等),污染物是从那些分解废石的沥出液中释放出来的。

溢出液和渗漏液 这种可能性似乎是无止境的。由石油残渣、各种各样的有机复合物、肥料、金属以及酸等物质组成的溢出液会经常出现在高速路、铁路以及工业厂矿区的周围。从地下储藏罐(在美国和加拿大有超过1000万个这样的地下储藏罐)、管道以及化学物质储备地流出的渗透液也几乎随处可见。此外,居民区也为此做出了不小的“贡献”,如:家用涂料、清洗剂、汽车的机油以及汽油等。溢出液一般是点源污染,并且这些地点通常与已知的事件有关,因此可以采取一些适当的补救措施。然而相比之下,地下的渗透却是不为人知的,并且有可能隐藏许多年都不被发现(图7.8)。

7.6 景观规划中的应用

在环境规划问题中,与地表水(我们可以相对轻松地观看、测量和绘图)相比,地下水要显得难以捉摸得多,别的暂且不提,就空间结构而言,地下水

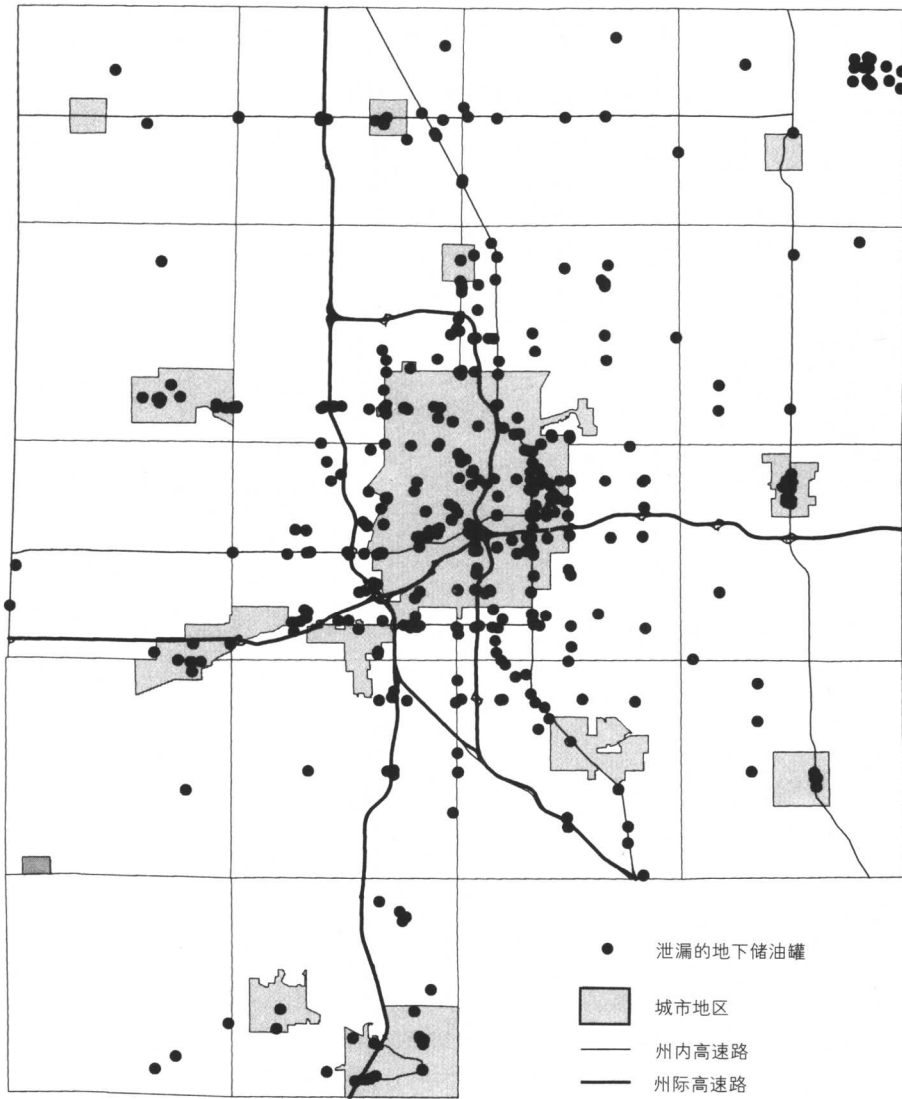


图 7.8 有泄漏的密歇根州杰纳西地下储油罐记录（杰纳西是美国中西部的一个典型城市，距底特律河 75 英里）。除图中标出的地下储油罐外，杰纳西内还存在大量没有记录的有泄漏的地下储油罐点

就要复杂得多，它们通过不同的蓄水层和不同水平面上的活动占据着复杂的三维空间。因此不足为奇的是，要弄清楚某地的土地利用与“巨大的”地下环境之间的联系是一件十分困难的事情。因此，我们在进行土地利用规划时，通常会将地下水的保护问题只做一种可能的处理，也就是说，在假设一系列不同的位置、布局、密度和管理安排的情况下，估计出土地利用对地下水的可能影响，从而选出最优的方案。

对于一项新的土地利用建议，我们首先需要了解项目可能造成的污染，然后再制定出相应的地下水保护规划。对于地下水保护而言，特别值得关注的土地利用方式有：（1）工业设施，包括制造安装装置、燃料、化学药品存储设备、铁路站和发电厂；（2）城市建筑群，包括高速公路系统、垃圾掩埋堆、公共管

污染物来源

道线路、污水处理厂以及汽车修理设施;(3)农业用地(*agricultural operations*), 包括农田、饲养场、化学药品(农药)存储设施和石油加工厂(炼油厂)。此外只需一般考虑的土地利用方式有: 单一的家庭住宅区、公共机构(如学校和教堂)、商业设施(排除大的停车场)、公园和开放空间。

场地评估

在确定了项目有可能造成的污染后,我们下一步的工作就是对项目所在地的地下水敏感性(对污染物的敏感性)进行评估。首先,我们必须知道蓄水层的深度、蓄水层与地表之间的联系,以及饮用水源的位置。关于地下水的利用以及水井位置的信息通常可从当地或是州内的卫生部门获得。大部分的州都会有一份卫生部门的日志,日志中包括居住区的水井记录,记录的内容则包含了钻井时所穿透的地下介质以及水井的具体深度。在有些情况下,日志中还可能包括水质检测的结果。

在具有高污染可能性的土地利用项目中,一个十分关键的问题是如何精确地定位出地下水补给区域的位置。一般来说,工程要避免补给地带,尤其是那些较浅蓄水层的补给地带(图7.9);另一个关键的问题则是有关地表物质的渗透性,因为地表物质的渗透性决定了污染水和沥出液渗透进入地下的速度。

最浅的蓄水层是地下水位含水层。它可能离地表只有几米的距离,因此更容易受到污染。尽管人们没有将它们作为饮用水源来使用(因为有关健康的规定通常要求井深大于25英尺),但这并不意味着它们不重要,事实上这些地下水位含水层是地表溪流、池塘以及湖泊的重要水源。污染物的“羽状”扩散能够对流入这些水体的渗流水造成污染,尤其是当它们位于污染源1000英尺的范围内时(见图5.11)。

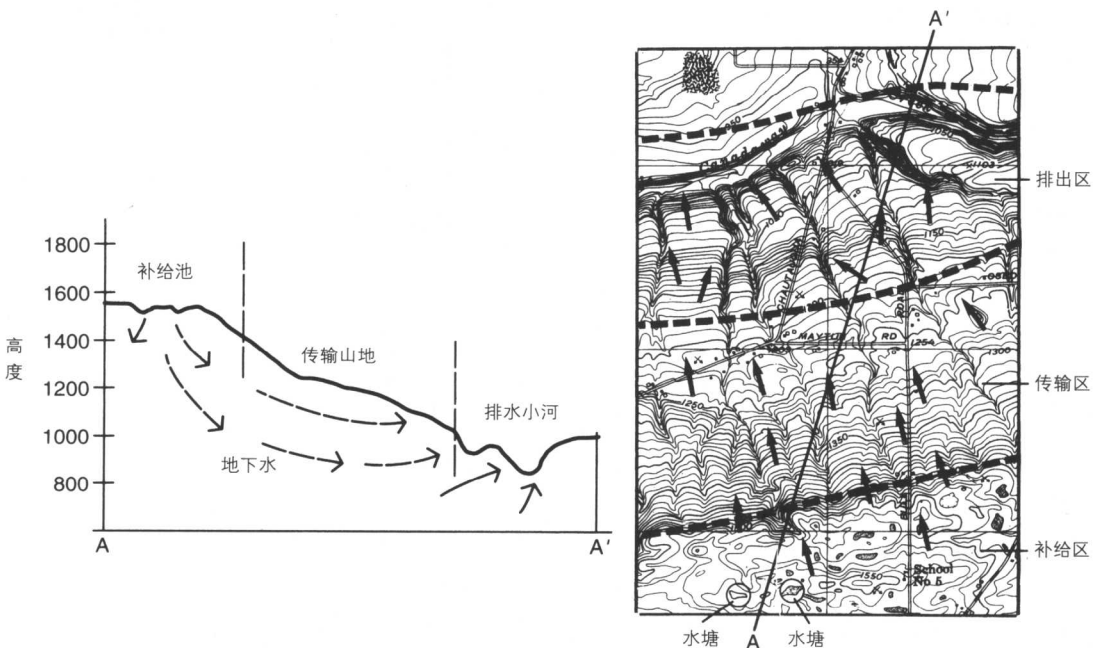


图7.9 位于居民区水井上坡的补给区。补给通过位于坡顶的小水体实现。这种补给区在冰河作用的景观中比较常见

表 7.1 土地利用规划中的地下水保护标准

标准	预想的结果	
	最糟糕的结果	最好的结果
污染物	多	无
处理和储藏危险	高（如开放土壤中的非安全性储藏区）	低
蓄水层利用	饮用水（水井密集，井与井之间的距离不足 1000-1500 英尺）	无
蓄水层深度	浅（不到 200 英尺）	深（超过 1000 英尺）
覆盖材料	高渗透性（如沙和砾石）	不可渗透（如黏土和不透水层）
蓄水层系统	补给地带	流出（渗流）的地带
流动方向	朝向井	远离井

对于一项建议的土地利用方案，在进行地下水污染的可能性评价时，规划者的清单中应该包括以下几个方面的内容（同时参看表 7.1）：

评价清单

■ 污染物产生的可能性以及处理和存储有毒废弃物时相关的危险是什么？

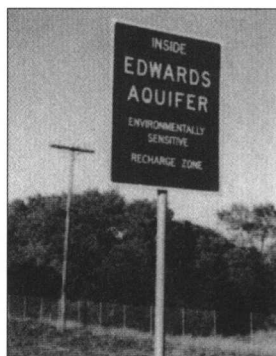
■ 场址位于蓄水层之上吗？（a）现在此蓄水层是否为饮用水源；（b）未来此蓄水层是否有可能成为饮用水源；（c）是否为溪流，湖泊和池塘等的补给水源；（d）此蓄水层的水是否来自一个岩床洞穴体系？

■ 蓄水层是深还是浅，表面覆盖物是否主要由渗透性材料构成（如沙或者砾石）？同样地，蓄水层是否有不透水材料保护——是否有密质性岩石或密质土壤材料层阻止上层水源的渗入？

■ 土地利用场地与蓄水层系统的哪一部分相关：补给、传输、消退、或释放（渗流）？

■ 蓄水层中的水流方向：朝向或远离土地利用区域？（地下水地图中的等势面会暗示出水流的方向，它相当于一种指示器，通过水井中水平面的读数表示出蓄水层的总倾斜度。）

■ 规划中的设施是否会因为扎根太深、地基太深、地下设施太深或隧道太深而直接与地下水接触？



得克萨斯州奥斯汀市关于地下水保护公众意识计划的一部分

对于已经存在的土地利用，我们需要拟订一个管理规划，以尽量减小地下水污染的可能性。管理规划应清楚地阐明导致系统污染三个阶段：（1）污染物的产生；（2）污染物从其产生地或垃圾处理场地扩散开来；（3）进一步扩散进入蓄水层（图 7.10）。如果我们能够在污染物的产生阶段就实施污染物管理条例或地下水保护计划，那么地下水系统被污染的风险会最小。基本上，我们可以通过以下三种策略来降低污染物产生阶段的危险性：（1）降低污染物的产出率；（2）改进技术以减少有害的污染物；（3）降低意外渗漏的可能性。

管理规划

当污染物产生后，即将进入扩散阶段，此时我们的目标是限制污染物在源头的扩散。传统的方法是在污染物的存储、运输和处理阶段将其进行很好的包装，以防止污染物的泄漏。美国环境保护局想出了各种各样的方法，包括安全的容器式废弃物掩埋法（详见图 5.12）。此时，土壤的状况非常重要，因为紧实

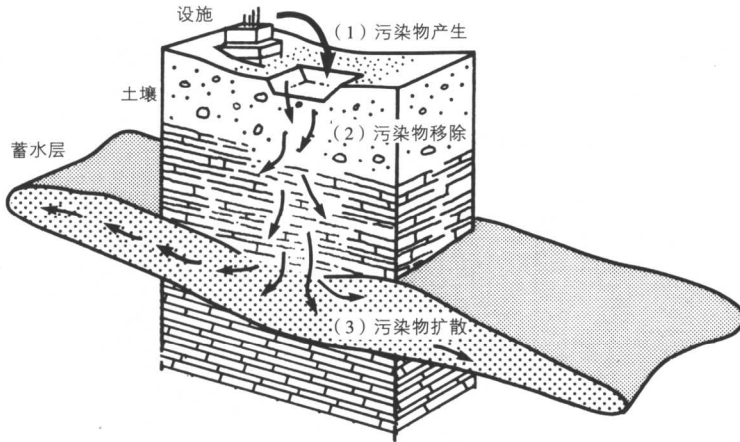


图 7.10 地下水管理三阶段: (1) 污染物产生阶段; (2) 污染物扩散阶段 (从其产生地或垃圾处理场地扩散开来); (3) 进入蓄水层阶段

的黏土自身的低渗透性能够妨碍沥出液的扩散, 而沙土的高渗透性则会允许沥出液的扩散。

当逃逸的污染物进入最后阶段 (扩散进入蓄水层) 时, 污染物影响蓄水层以及人类水供应的可能性会显著地上升。不过由于土壤的过滤、吸收、氧化和生物降解等作用的影响, 沥出物的浓度和化学成分可能会在迁移的过程中被削弱。一旦污染物侵入蓄水层, 预防性的措施不再有效, 此时人们仅有的选择是:

最后的选择

7.7 社区的水源保护

为了保护社区的水源免受污染, 美国环境保护机构 (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) 授权各州制订各自的水源保护计划。水源保护计划包括了对社区水井所在补给区的土地利用与污染源的管理 (图 7.11)。在此命令下, 各州制订了各自的计划并提交给 EPA 以待批准。尽管各州的计划在设计方案上有所不同, 但所有州的计划都必须提供以下有关地下水的信息: 地下水水位、地下水流动方向、运输速率、补给/交换次数、补给区域, 以及水井所涉及的补给区域内的全部污染源。

社区的规划必须包括: 一份测试公共用水的计划; 一个有关污染源和污染地区的管理计划, 以及一份意外事件 (如化学物质溢出等事件) 的风险管理计划。尽管水源保护计划被人们普遍认为是提升地下水源管理的一个重要步骤, 但是该计划却没能得到联邦资金的支持, 因此许多州和当地社区对此项计划的热情并不很高。

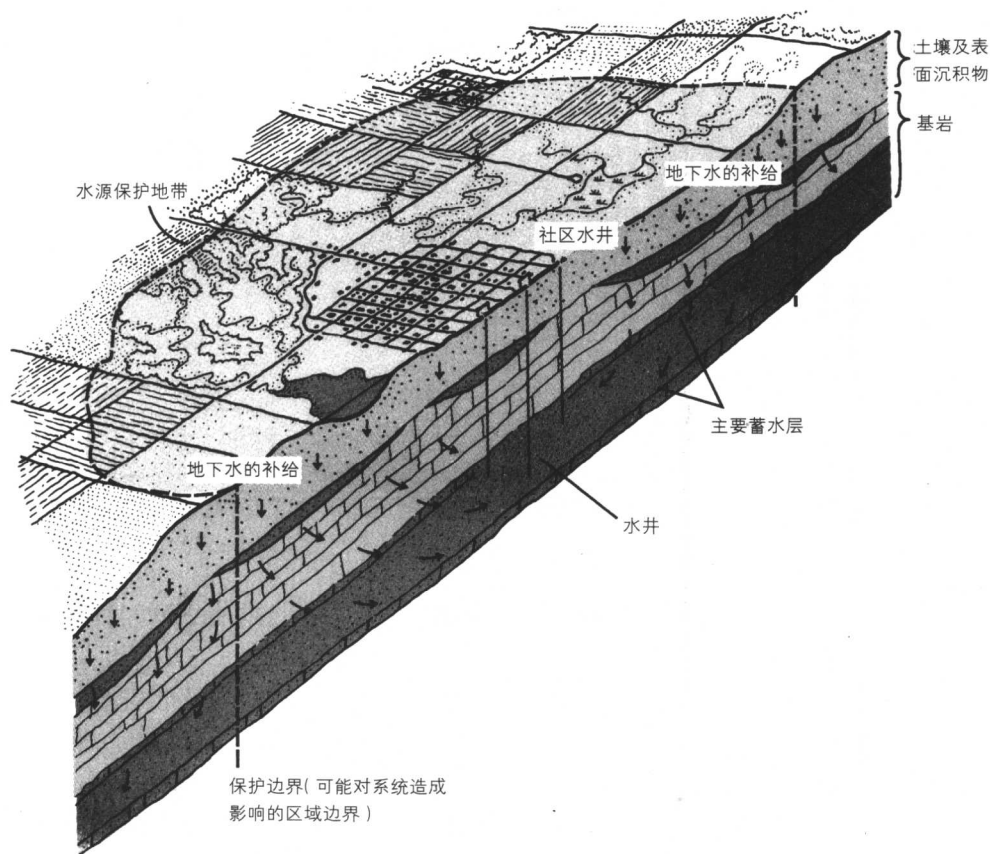


图 7.11 水源保护示意图，显示出社区水井周边的保护地带

应用地理信息系统制订地下水保护规划

马丁·M·考夫曼 (Martin M. Kaufman)

蒂龙 (Tyrone) 镇位于密歇根州的东南部，地下水是当地居民的饮用水来源，而这些水几乎全部来自冰碛中的蓄水层（岩床上覆盖着由沙、砾石以及其他的一些相关物质组成的表面沉积物）。由于小镇自身人口的增长以及附近城市中心区人口的不断迁移，蒂龙镇开始关注起蓄水层的水污染问题，并着手启动有关地下水脆弱性的研究计划，以期待：（1）更深入地了解其饮用水的资源系统；（2）制订出一个未来的发展指南。在此项研究中，人们使用了地理信息系统（GIS）来绘制地图和合成数据。

为何会选择地理信息系统来完成该项任务呢？原因在于：（1）蒂龙镇的占地面积很大，共有36平方英里，如果采取手工绘图的方法来解决该问题的话，任务量将是非常巨大的；（2）此外，在研究过程中，我们还必须使用到一些已有的数据（如土壤报告和水井日志等），而它们又都拥有各自不同的格

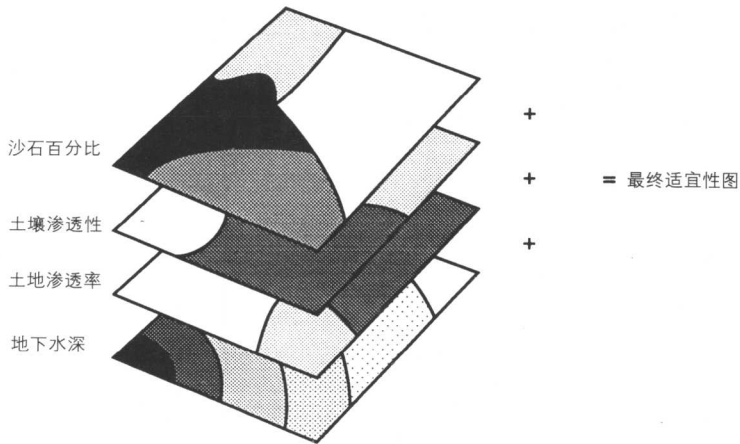
7.8 案例研究

式和地图比例; (3) 最后, 由于用于该项研究的时间和资源有限, 野外作业和手工绘图是不能考虑的。

地理信息系统是将数字化数据进行叠加的良好工具——这些数据在空间上由已建立起来的坐标体系定位, 例如经度和纬度定位系统。使用GIS时, 叠加操作能够将拥有几何特征(点、线、面、网格单元)的数据层以及其相对应的属性数据(如土壤类型或质地)进行组合并产生新的图层。相比之下, GIS的方法在适时(和成本效益上)数据管理、分析和图形显示方面的能力是远远优于手工操作的。

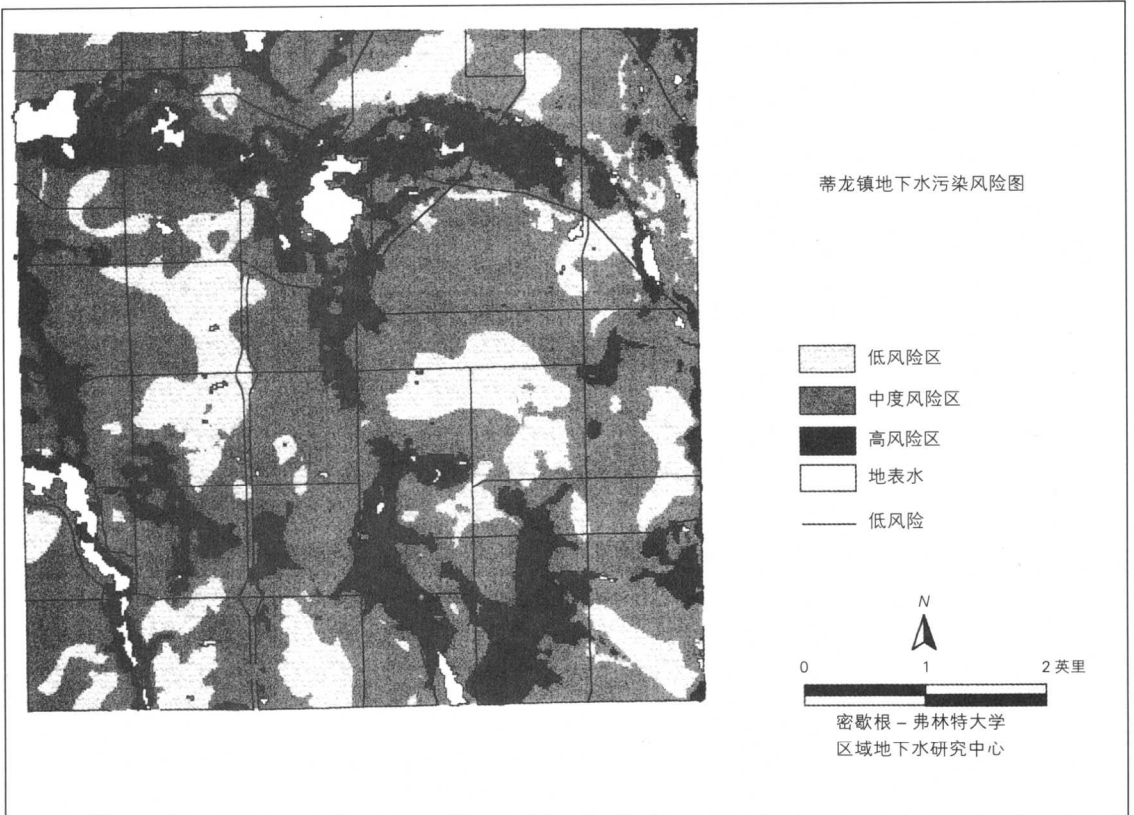
那么GIS怎样用来实现该项目的呢? 为准确描述地下水的敏感特性, 我们需要获得水井日志、数据化的高程信息、地下水位测定数据、土壤数据以及当前的土地利用等方面的信息。通过这些信息, 可推算出包括水深、沙石的百分比、土壤的渗透性以及土地的渗透率(infiltration rate)等额外的信息。我们可以将这四个变量在一张地图中进行叠加, 从而划分出那些受雨水、掩埋垃圾和化学溢流等污染源影响的低、中、高敏感度的区域。

为显示过程模型, 我们选择使用了GIS中的向量工具。向量工具能够将数据存储为点、线以及多边形(几何点阵)的形式, 并用几何点阵的方式赋予其多种属性; 而GIS中的栅格数据则不同, 它是使用网格单元表示地球表面, 每个网格单元对应一个特定的属性值。例如在本案例中, 我们共使用并叠加了四层多边形的数据来模拟地下水的敏感程度, GIS中的向量工具与分析的过程是很相配的。最终的图像模型如下图所示:



GIS 叠加过程

那么, 我们能从该项目中得到哪些启示呢? 项目小组清楚地意识到, 使用相近的资料和比例能够将GIS图层叠加操作时产生的错误减小到最少。既然在1:24000地图上的数字化数据可从同一起来源的高程图、土壤图和土地利用图上得到, 那么我们选择使用这些数据的同时就已经避免了在GIS操作中可能犯下的严重错误。GIS开发者往往专注于软件系统的组分和信息所提供的图像



信息，而常常忽略项目操作中关键的地理学原理，而比例问题就是其中之一。

数据层之间相互较好的吻合性同时也提高了GIS最终应用的灵活性，并使其更加便于扩展。例如假设蒂龙镇在作图时还需要另外的地形参考资料——如额外的数字化道路层，并且已有的也是1:24000比例的，那么这个道路层很容易叠加到现有的图中。

GIS发展中的另外一个关键方面是数据的准备。在实践中，与GIS发展有关的数据获得、数据转为可用格式、编辑以及精度检验会花费掉超过50%的费用。而许多GIS项目之所以出现“问题”也就是因为操作者没能花费大量的劳动在数据之上，因此在GIS开发过程中逐步地引入一个完善的数据管理方法是非常重要的。使用少量的数据做典型化的研究可以减少人力物力的投入，并且还减少接下来的操作费用。

在选择分析工具之前，我们必须根据对现实世界的了解来准确地判断问题所在，收集数据，估计工作过程中的人力操作以及人们在操作时会用到的不同比例的地图；然后再准确地描述这些过程，并建立描绘系统的模型。只有这样，我们才能决定该选择是否该使用GIS或者是其他工具。

作者简介：马丁·M·考夫曼（Martin M. Kaufman），密歇根-弗林特大学地球与资源科学系的一位教员，其研究方向为水资源和GIS应用。

7.9 推荐阅读文献

- Butler, Kent S. "Managing Growth and Groundwater Quality in the Edwards Aquifer Area, Austin, Texas." *Public Affairs Comment* 29:2, 1983.
- DiNovo, Frank, and Jaffe, Martin. *Local Groundwater Protection: Midwest Region*. Washington, DC: American Planning Association, 1984.
- Hill-Rowley, R., et al. *Groundwater Vulnerability Study for Tyrone Township*. Regional Groundwater Center, University of Michigan-Flint, 1995.
- Josephson, Julian. "Groundwater Strategies." *Environmental Science and Technology* 14:9, 1980, pp. 1030-1035.
- Moody, D. W. "Groundwater Contamination in the United States". *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 45, 1990, pp. 170-179.
- National Research Council. *Groundwater Contamination: Studies in Geophysics*. Washington, DC: National Academy of Sciences Press, 1984.
- Page, G. W. *Planning for Groundwater Protection*. New York: Academic Press, 1987, 387 pp.
- Pye, V. I., Patrick, Ruth, and Quarles, John. *Groundwater Contamination in the United States*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1983.
- Rutledge, A. T. "Effects of Land Use on Ground-Water Quality in Central Florida—Preliminary Results: U.S. Geological Survey Toxic Waste—Ground-Water Contamination Program." *Water-Resources Investigations Report 86-4163*, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1987.
- Tripp, J. T. B., and Jaffe, A. B. "Preventing Groundwater Pollution: Towards a Coordinated Strategy to Protect Critical Recharge Zones." *Harvard Environmental Law Review* 3:1, 1979, pp. 1-47.
- U.S. Council on Environmental Quality. *Contamination of Groundwater by Toxic Organic Chemicals*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1981.



第 8 章

暴雨水排放，水管理和景观变化

- 8.1 简介
- 8.2 地表径流
- 8.3 小流域径流的计算
- 8.4 推理法的应用
- 8.5 其他一些径流模型与概念
- 8.6 雨水排放的趋势
- 8.7 雨水调蓄
- 8.8 性能的概念
- 8.9 综合的水管理规划
- 8.10 案例研究 不列颠哥伦比亚省萨里地区的绿色基础设施在暴雨水管理中的应用实例
- 8.11 推荐阅读文献

8.1 简介

土地利用开发导致的一个最为严重的问题就是到达溪流和河流的径流的速度和数量的变化。城市化和农业开发都会使地表径流量增加,也会使洪峰频率和流量大幅度增加。这种变化的后果无论在经济上还是环境上都是相当严重的,如由洪水导致的财产损失增加、水质恶化、河道侵蚀加快和栖息地退化。

合理的景观规划与管理取决于对土地开发引起的径流变化所进行的准确评价。在美国和加拿大的一些地区,这个问题已到了愈演愈烈的地步。而且,在大多数社区里,开发商必需对其方案将会产生的地表径流和河流排水情况的变化进行分析预测。这种预测不仅能作为传统雨水系统的替代方案的基础以减少对环境的影响,而且也是对有很多开发计划的整个流域的性能进行评价的基础。

本章主要涉及暴雨产生的雨水径流,影响径流的景观因素,以及如何管理雨水使其对环境的影响减小三个方面的问题。我们首先回顾一个传统预测小流域雨水的模型,然后介绍一些可以供选择的模型,最后总结调洪措施的选择,以及综合的水治理问题。

8.2 地表径流

到达地面的降水主要由四部分组成(图 8.1)。其中一些被植被表面拦截,这个过程称为**截留**。一部分直接被土壤吸收,这个过程被称为**渗透**。将雨水集留在地表一些小的凹地和洼地内的过程称为**洼地蓄水**。剩余部分称为**地表径流**,雨水沿地表流动,最后汇集到沟道和河流中即为**暴雨水**。在传统的暴雨水治理

渗透与地表径流

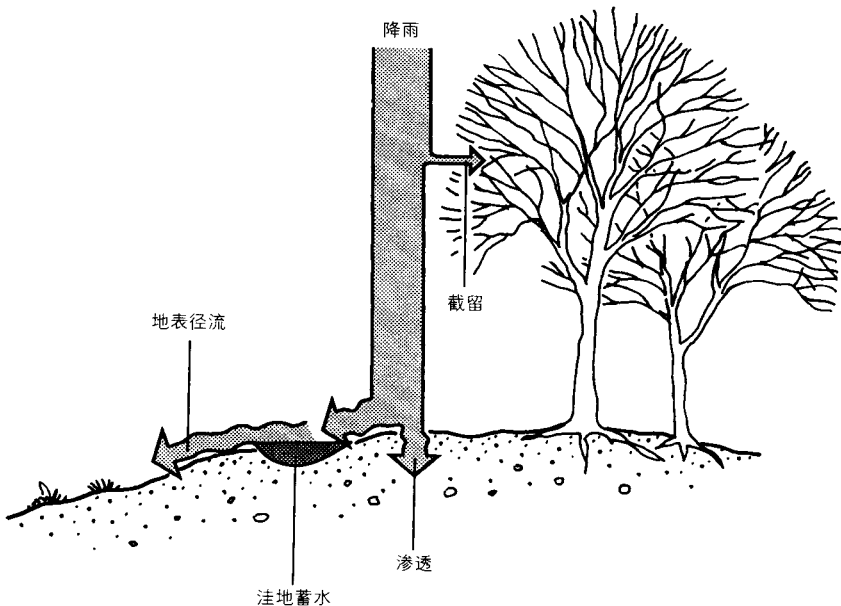


图 8.1 自然或部分开发的景观中降雨的处理方式: 截留, 渗透, 洼地蓄水和地表径流

地表径流的
控制因素

中, 渗透和地表径流是需要研究的主要对象, 在大多数地区, 二者呈负相关。

在现代景观里, 降水中渗透与地表径流所占的比例发生着很大变化。在植被覆盖度很高的地区, 渗透量很大以至地表径流在实际可忽略不计, 此时, 河流的流量来源于地下, 主要是地下水和土壤中的水流, 又称为壤中流。这种水流在森林茂密的地区(如西北太平洋地区)以及具有高渗透性土壤的地区(如 Nebraska Sand Hills) 尤为明显。在植被稀疏或缺乏的干旱地区, 或是在森林或地表覆盖物被清除且被农业、住宅和相关土地利用取代的湿润地区, 地表径流相比之下就占有很大的比重。如果仔细考查地表来确定影响渗透和地表径流的主要因素, 我们会发现地表覆盖(植被和土地利用), 土壤组成和质地, 地表倾斜度(坡度)是主要的影响因子。图8.2说明了一个山坡上地表

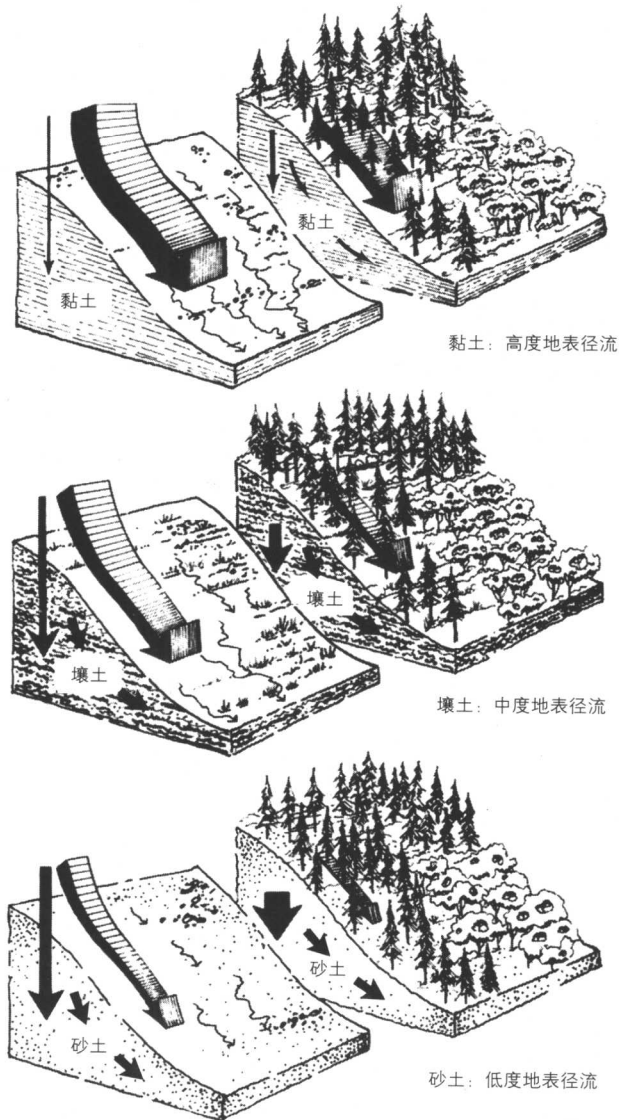


图8.2 坡地上地表径流与土壤类型和植被覆盖示意地表以下的箭头标明了水流进入地下水系统以及壤中流的状况

表 8.1 农村地区径流系数

地形和植被	松散沙壤土	黏土和粉壤土	坚实的黏土
林地			
平地(坡度 0%~5%)	0.10	0.30	0.40
起伏地面(坡度 5%~10%)	0.25	0.35	0.50
多山地带(坡度 10%~30%)	0.30	0.50	0.60
草地			
平地(坡度 0%~5%)	0.10	0.30	0.40
起伏地面(坡度 5%~10%)	0.16	0.36	0.55
多山地带(坡度 10%~30%)	0.22	0.42	0.60
农田			
平地(坡度 0%~5%)	0.30	0.50	0.60
起伏地面(坡度 5%~10%)	0.40	0.60	0.70
多山地带(坡度 10%~30%)	0.52	0.72	0.82

径流与土壤类型、植被覆盖的相互关系。通常,地表径流随着坡度的增加而增加,随着土壤有机质含量和粒径的增加而减少,随着地表覆盖硬化程度的提高(如水泥和泥青地面)而增加,随着植被的增加而减少。

对这些因素进行特定的组合可得到一个径流系数来反映地表的综合情况。这个系数是一个介于 0~1.0 之间的无量纲数,它表示一次降水在渗透发生后的地表径流所占有的比例。如径流系数为 0.60 表示雨水(或雪水)中有 60% 形成了地表径流,而其余 40% 发生渗透。表 8.1 列出了一些基于坡度、植被和土壤的农村地区标准径流系数。对于城市地区,径流系数主要是地表硬质覆盖物的函数,表 8.2 列出了一些常用的标准值。

有几种瞬间作用的因素可能会引起径流系数和地表径流的变化,但他们通常都不在考虑范围内。随着降雨强度的增加,大多数地表径流系数会临时增大。诸如 30 分钟内产生 2~3 英寸降水的高强的暴雨通常会超过土壤的吸收能力。另一个需要考虑的因素是前期土壤湿润度。如果前期的降雨已经使土壤充满水分,或者地下水位上升,这时渗透能力下降而径流系数大幅提高。事实上,自然饱和土壤如湿地相当于一个不透水的表面,径流系数达到 0.90 以上。如果没有吸收水的介质存在,地表径流将充满湿地并与河流连接。

径流系数

瞬间影响因素

表 8.2 部分城市地区径流系数

商业区	
商业中心	0.70~0.95
购物中心	0.70~0.95
居住区	
单户(5~7 户/英亩)	0.35~0.50
多户联住	0.60~0.75
郊区(1~4 户/英亩)	0.20~0.40
工业区	
轻工业区	0.50~0.80
重工业区	0.60~0.90
铁路调车场	0.20~0.80
公园,墓地	0.10~0.25
运动场	0.20~0.40

8.3 小流域径流的计算

推理法 小流域（面积通常为小于100英亩的区域）坡面径流和暴雨水产生的径流可以运用**推理法**（rational method）进行简单计算。该方法是径流系数、降雨强度和流域面积的乘积的一个公式。一次暴雨在流域出口所测得的**洪峰流量**为：

$$Q=A \cdot C \cdot I$$

式中

Q = 每秒的流量（立方英尺）；

A = 面积（英亩）；

C = 径流系数；

I = 降雨强度（英寸或英尺/小时）。

设计暴雨的概念

为了运用推理法必需生成一些重要的数据。除了测量流域面积和确定正确径流系数，还必须选择一个合适的降雨强度值。很显然，在流域内各种类型的暴雨中，我们必须选择一次可能产生强大径流的暴雨，即**设计暴雨**来进行运算。设计暴雨是根据当地短时（通常为一小时）高强度暴雨的降水记录来确定的。例如：平均每10年，每25年或每100年发生一次的暴雨，分别称为1小时时段内10年，25年，100年一遇的暴雨。这个数值可通过当地负责暴雨管理的部门来获得。图8.3列出了加拿大毗邻美国及南部边界范围内一小时时段内10年一遇的设计暴雨值。根据当地部门的记录可获得更精确的值。

一旦期望的暴雨值确定之后，下一步要做的就是通过一些步骤获得计算排

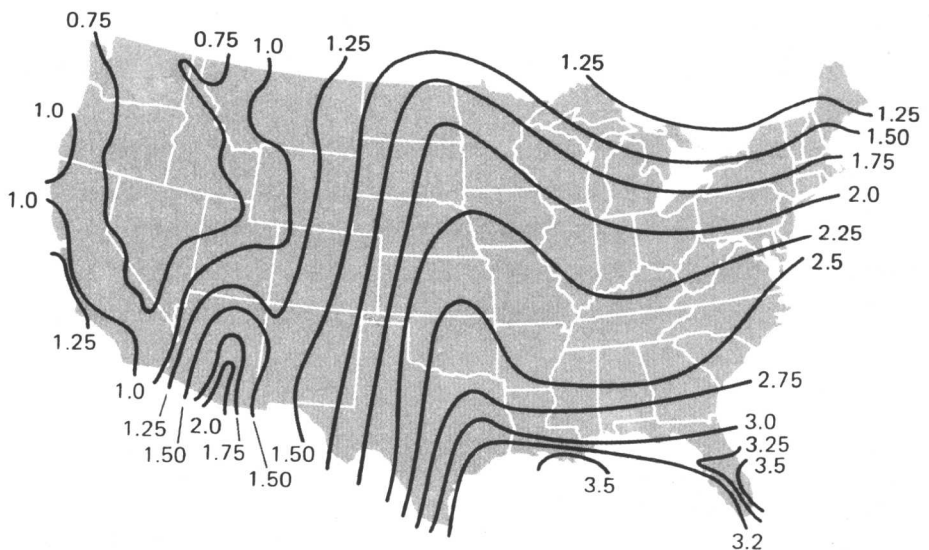


图 8.3 一小时时段内十年一遇的暴雨量预测图。注意太平洋海岸、落基山脉山间地区以及加拿大南部和美国南部地区间存在的巨大差别

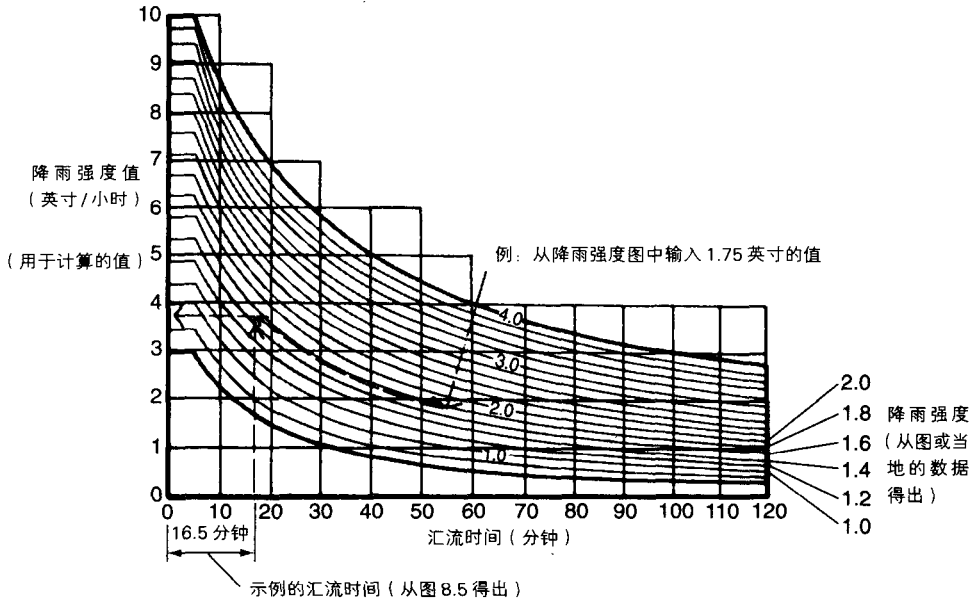


图 8.4 降雨强度曲线 (使用方法: 首先在曲线中找到期望的暴雨值, 然后在图的底部找到合适的汇流时间, 然后就可以从图的左边垂直刻度上两条线的交点处读出降雨强度值。在图中的例子中, 降雨强度值大约为 3.75 英寸)

放量所需的真实值。这一步计算的两个依据是: (1) 比如说在 60 分钟的暴雨历时内, 暴雨强度最初上涨, 达到峰值后逐渐停止; (2) 径流从流域边界到出口所经历的时间即汇流时间是随流域大小和环境而变化的。综合这两个因素我们可以了解在小流域内汇流时间可能小于暴雨历时。因此, 为了精确计算最大暴雨的排放流量, 必须选择相应于汇流时间的降雨强度值。图 8.4 即为各种暴雨的特征曲线, 并由一个图例介绍了该图的使用 (16.5 分钟的汇流时段对应的降雨强度为 1.75 英尺/小时)。

汇流时间

显然在小流域流量的计算中汇流时间的准确估计是非常重要的。为解决这个问题一般对以下项目做分别估计: (1) 坡面径流的时间; (2) 沟道径流的时间, 然后将二者相加。图 8.5 可用来估计三种情况下的坡面径流时间: (1) 从流域的外边界到渠道的入水口的路径长; (2) 主要的地表覆盖类型; (3) 地表到渠道的入水口的平均坡度。如果这些都未知, 可通过地表径流的流速的特征值进行估算 (表 8.3)。

表 8.3 地表径流速度 (ft= 英尺; ft/sec= 英尺/秒)

到入水口的距离	铺装	草皮	荒地	居民区
约 100 ft	0.33 ft/sec	0.20 ft/sec	0.26 ft/sec	0.25-0.33 ft/sec
约 500 ft	0.82 ft/sec	0.25 ft/sec	0.54 ft/sec	0.50-0.65 ft/sec

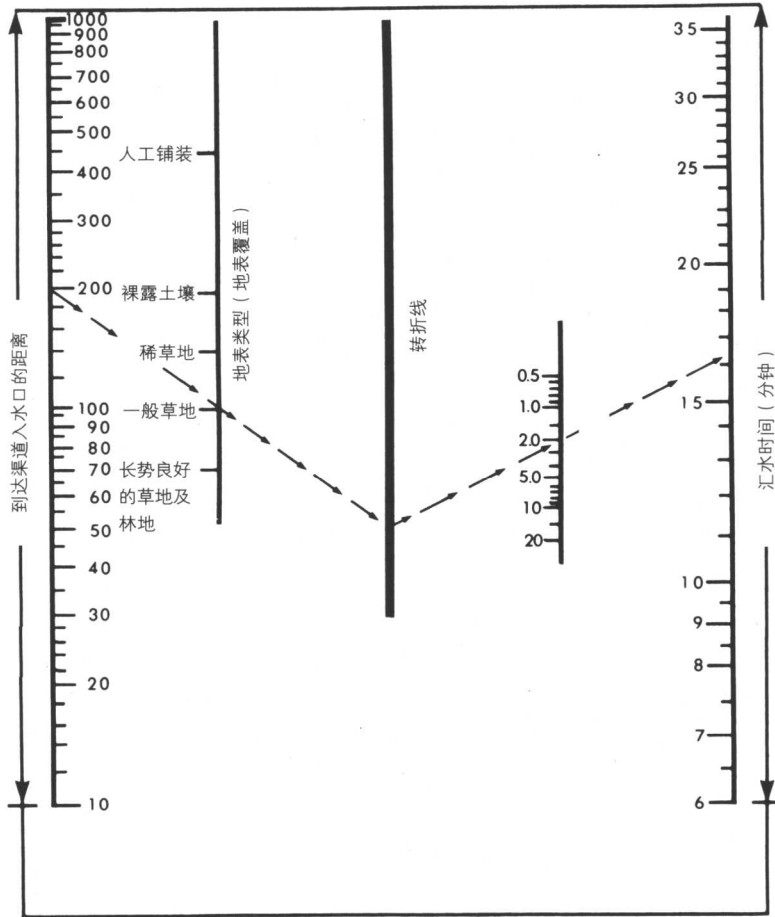


图 8.5 坡面径流从流域边界到沟道或河流入口的汇流时间的估算图

渠道径流速度

渠道径流速度一般较地表径流大, 河流水流流速通常为4-8英尺/秒, 如果河道坡度, 粗糙度和形状已知, 通过下式即可算得流速:

$$v = 1.49 \frac{R^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

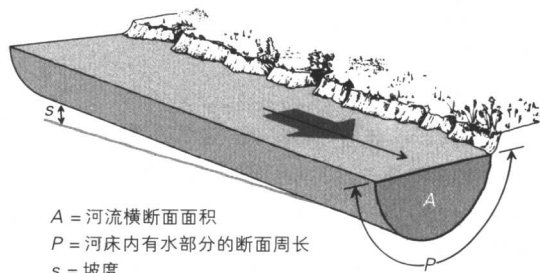
式中

v = 流速(单位: 英尺或米/秒);

R = 水力半径(指河床内有水部分的断面周长与河流横截面积的比值);

s = 渠道坡度或等级;

n = 粗糙系数(参见第



A = 河流横断面面积

P = 河床内有水部分的断面周长

s = 坡度

14 章的粗糙度值)。

由于渠道中的水流速度远大于地表径流的速度(通常快10倍),因此描绘出流域中完整的渠道系统或排水网是很重要的。这意味着要比普通的地形图所表示的溪流渠道更为详尽,要包括仅仅断续输水的小型自然溪流或人工渠道。它们包括自然的沼泽、路边的阴沟以及农田的排水渠,但是仅指那些明确地与主要渠道系统相连并直接构成排水的部分渠道(见图8.11b)。可以确定的是,具有大量渠道的城市化地区的水流速度要比未开发地区快得多。

8.4 推理法的应用

推理法作为一种预测方法,不仅很好地适用于小流域,而且适用于那些部分开发或全部开发的流域。除此之外,该方法的可靠程度取决于径流系数、集水面积、暴雨强度取值的精确度。除了暴雨强度,所有必要的数据都必须通过实地考察和研究或通过第二手资料获得,尤其是地形图,土壤图和航片。还必须补充说明的是,已经研究出很多推理法,可以把功能和精度扩展到各种情况和地理位置。

现在,假设已经取得有关数据,则可用下列步骤来计算一次特定暴雨产生的**高峰流量**(peak discharge Q_p),最后的计算结果是某一渠道在峰值流量的瞬间从流域流出的径流量(如果流域或排水区域内没有渠道,则不能用推理法进行计算,但是可以计算总的水量作为地表径流量)。

计算步骤

1. 确定流域范围和量测流域面积;
2. 根据覆盖类型、土壤和坡度,进一步划分流域,确定每个分区的径流系数并测量各分区面积;
3. 确定每个分区所占流域的比例,将该比值与对应的径流系数相乘,得出按各分区面积进行调整的系数;
4. 将调整的系数相加,即可得出整个流域的径流系数;
5. 用图8.5和流速公式确定汇流时间;
6. 选择当地的降雨值和期望降雨值,在图8.4中用降雨值和汇流时间确定相应的降雨强度;
7. 将流域面积,径流系数和降雨强度相乘可得到最大流量,用立方英尺/秒表示(如果你用的I的单位是英寸,则结果为英亩英寸/小时,然而这些单位与立方英尺/秒很接近,因此一般可以互换。);
8. 一场暴雨产生的**总排水量** Q_v 也可以用推理公式计算。暴雨径流量的公式是:

$$Q_v = A \cdot C \cdot R$$

式中 A = 排水总面积; C = 径流系数; R = 总雨量。

这里用的是满满一小时的雨量值并且我们可以按英亩英尺或立方英尺来计算。这是一个比较简单的计算,因为这里没有考虑雨水汇集所需的时间和降雨的强度。但是对于估算场地开发前后径流量的总差异这个公式还是很有用的。

8.5 其他一些径流模型与概念

部分面积概念

科学家们认识到了推理法及其原理存在许多缺点, 已经设计出了其他一些值得人们关注的替代模型。这些替代模型的产生是基于以下的观察: 当发生了高强度降雨时, 大多数未开发和许多部分开发的流域并没有产生流域范围的坡面径流。换句话说, 当降雨强度非常大时, 流域中仅有部分地方产生地表溢流以及向河流排放雨水。对这些现象的观察之后, 人们构造出了部分面积或变水源的概念。

根据这一原理, 在暴雨洪水的流动过程中, 活跃地区大约只占整个流域面积的10%~30%。此种作用主要集中在集水区的沟头洼地、坡脚部位和靠近河溪的低地(图8.6b)。而且, 此面积的大小和形状随着土壤湿润情况, 地下水位和其他因素的变化而变化。

管理的启示

部分面积理论对暴雨水管理有重大意义。首先, 推理法在许多流域所预测的暴雨排水量比实际流量大。其次, 如果一个流域的大部分地区没有产生地表溢流, 很明显这些地区存在着自然缓冲带(natural buffers), 它可以滞留降雨, 减少向河流排放暴雨水。这些缓冲带一般是高渗透能力的土壤、林区、湿地或者是可以容纳降雨或周围汇流的洼地蓄水区。如果在规划和设计中, 在非产流区布置暴雨水装置, 按照推理法中的逻辑假设, 这些区域就会转化为暴雨水的产流区。这样, 不仅流域暴雨排水量会增加, 而且可能失去已有的减少暴雨洪水流量的可能性。

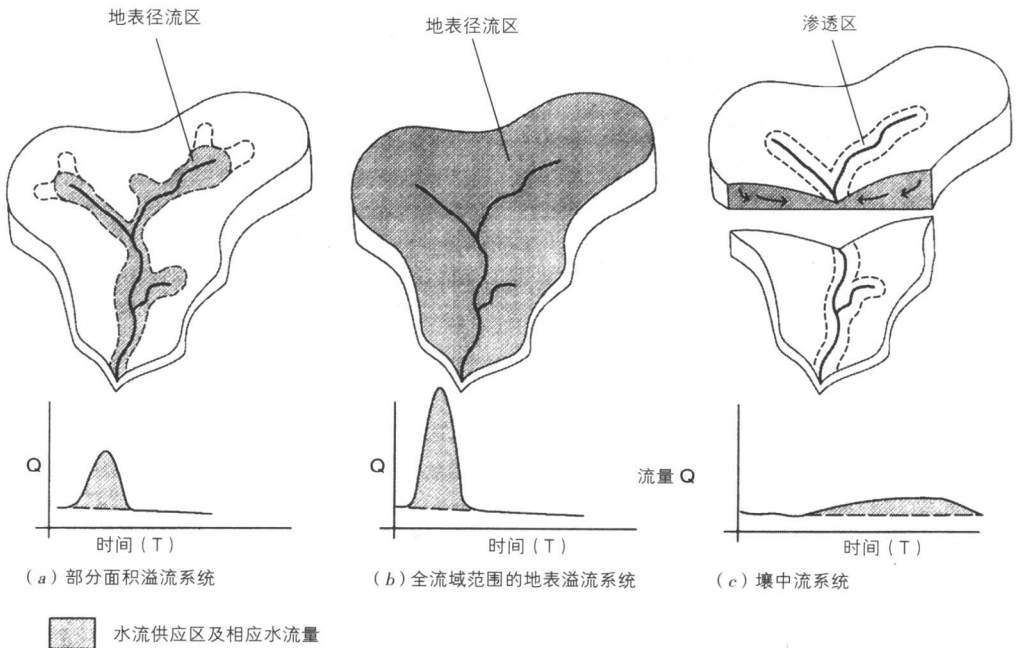


图8.6 同一流域地区三种不同排水系统及其相应暴雨水文图。(a) 部分溢流系统, 来自山谷或渠道两侧的地表径流;(b) 全流域范围的地表溢流系统, 整个流域地区内的水全部以地表径流的形式流入河道;(c) 壤中流系统, 雨水从河道的两侧渗流进入

在一些森林流域,实地观测已经证明了地表溢流不存在。因此,这些流域的小河道完全依赖于地下流即壤中流(interflow)来补给水源。水分在雨水汇集区渗入地下,在土壤中侧向流动到河岸。与部分面积溢流系统、全面积溢流系统相比,在暴雨流量水文图上,径流流量变化对暴雨的响应较慢,流量增加量较少但持续时间较长(图8.6c)。不幸的是,还没有什么像推理法那样容易应用的方法来计算壤中流的排水量。第10章将介绍的单位流量曲线图法在这方面倒是有潜力的,但是它要求有每次暴雨后溪流排水量的测量值,而对大多数流域而言还没有这种排水量的记录。

壤中流的概念

8.6 雨水排放的趋势

在过去的200年中,土地清理和农田、定居地的建立已成为北美景观变化的主要表象。这种变化几乎总是导致地表径流量和径流速度的增加,在河流中产生更高频率和更高强度的洪峰。随着20世纪大规模的城市化运动,这种趋势会愈演愈烈,并且会造成愈来愈多的洪水泛滥和洪灾,同时也对水生环境造成了严重的破坏。

从水文学角度来看,可将这些问题的原因归结为两个因素的变化:(1)由于地面清理、采伐和防渗物质在景观中的大幅增加而导致的径流系数剧增(见图8.7);(2)相应的汇流时间的减少(图8.8,上图)。在农业地区,这种变化是由于田地排水管渠的修筑以及河流渠道的加深取直造成的。在城市里,渠道被下水管道所取代,小溪送入地下管道,在路边配置了排水沟,所有这些因素

主要原因

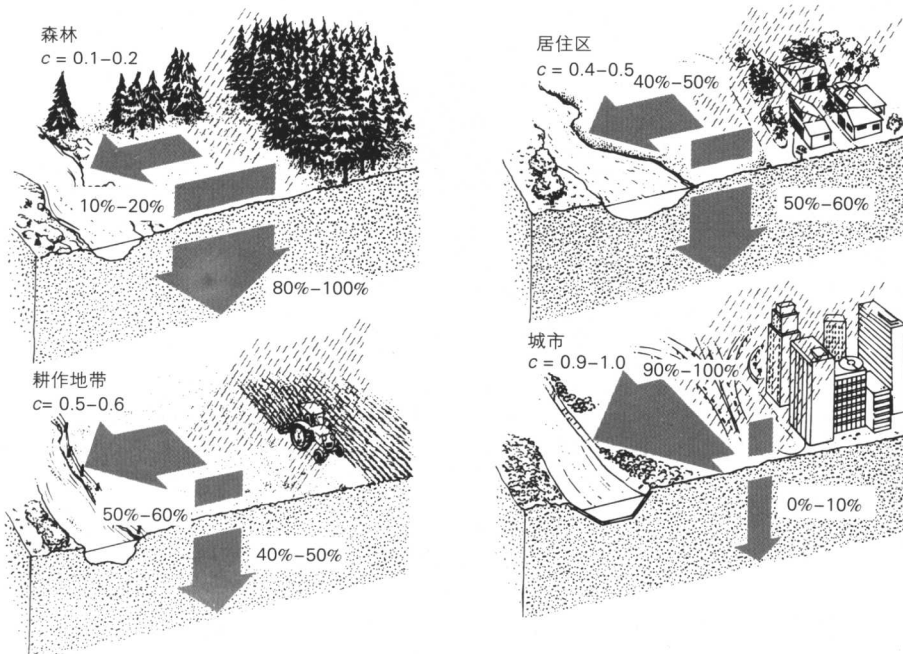


图8.7 径流系数随土地覆盖/利用状况的变化:森林、耕地、居住区和城市。一般而言,地表径流系数 c 与水流渗透率的大小成反比

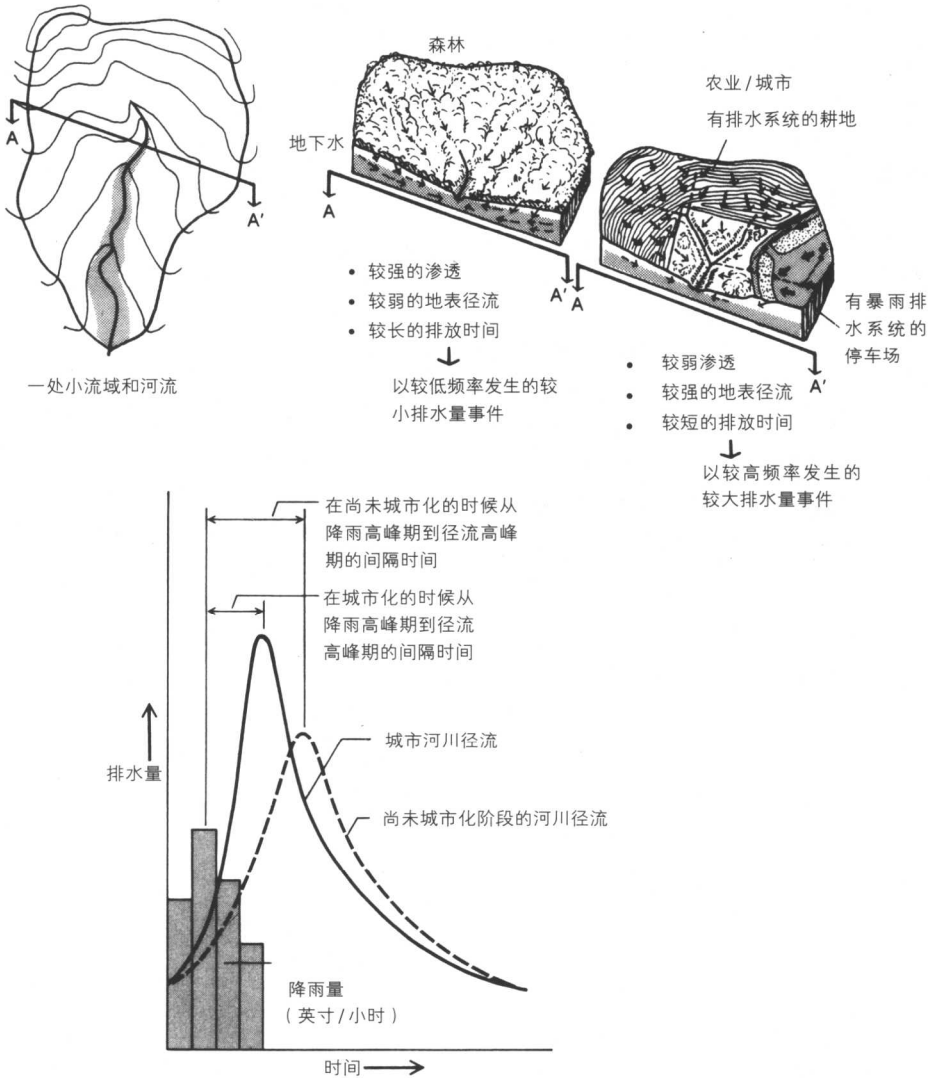


图 8.8 上图: 由于开发而导致的一个小流域的水文变化; 下图: 城市化后的河流流量的变化 (从图上可以看出城市化后有更大和更快的水文曲线)

的作用, 可能使汇流时间减小 10 倍之多。这些变化都将导致河流的洪峰流量及其发生频率显著增加 (图 8.8, 下图)。第三个变化的因素是暴雨强度, 它也可能导致流量的增加。在美国的大城市里, 暴雨量正呈现出增加的趋势。然而, 目前这种趋势仅在特定城市地区表现明显, 所以归纳起来很难, 但是它已经明显地影响大部分大城市。

其他原因

因开发导致的其他变化包括洼地蓄水功能的降低和道路排水沟向水系网络的转变。洼地蓄水是指在微地形的小坑洼处将地表径流拦蓄、滞留的一个过程 (图 8.9)。比如, 在古老的森林中, 被风吹倒的树木、腐烂树干、动物挖掘等形成的坑洼和土堆都使得细部地形变化很大。当林地被开垦为农田, 由于微地形被犁平, 大部分洼地蓄水能力也就消失。随着住宅及其相关联设施的开发, 地面不仅被均衡填平, 而且常常通过地形改造来“提高”排水能力。



图 8.9 开发前后的洼地蓄水区。(a) 开发前大量的洼地蓄水；(b) 开发后洼地蓄水区大量减少

道路是大多数流域径流增加的主要原因。这些地区不仅渗透率较低，而且道路及其附属排水设施提高了排水网络的密度并且把其他一些径流量较弱的地区也联系在一起。这些地区本来应该拥有较低的径流速率，但由于道路系统叠加在流域上，流域通过沟道系统连接起来，失去了它们天然的缓洪能力（图 8.10）。下面需要简要介绍一下有效不透水铺装的概念。

为了让不透水铺装表面产生的径流进入河网系统，必须把铺装表面与河道相连接。如果不采取这种沟渠连接方式，铺装表面的雨水径流就不得不返回到景观中，在那里经过过滤、沉降贮存以及其他一些相关处理过程。这就是**高效不透水铺装**背后的思想基础。这一概念也可以解释为通过沟渠或管道与河道相连的不透水铺装。

高效的
不透水
铺装

现在，除了乡村地区的不透水铺装如岛屿一般散布在地表并不与河道相连外，大多数地方的不透水铺装和一些类似的土地利用方式都是通过工程性的暴雨水管道系统与河流相连的。目前城市中最为常见的不透水铺装系统就是街道了，因为所有街道的两侧都会有与道路平行设置的暴雨水渠。因此，发展过程中随着道路的不断增长，流域内的排水密度（每平方英里土地面积上沟渠和河道的总长度）也不断增加，高效不透水铺装系统不断发展，直到最后所有的硬质路面都通过雨水管道与河道相连，原有景观中存在的地表径流也最终消失（图 8.11）。

8.7 雨水调蓄

社区法令逐渐增加了对土地开发者的严格要求，即土地的开发不能引起场地暴雨水排放的净增长，这就意味着开发后通过场地边界的暴雨水排放速度与

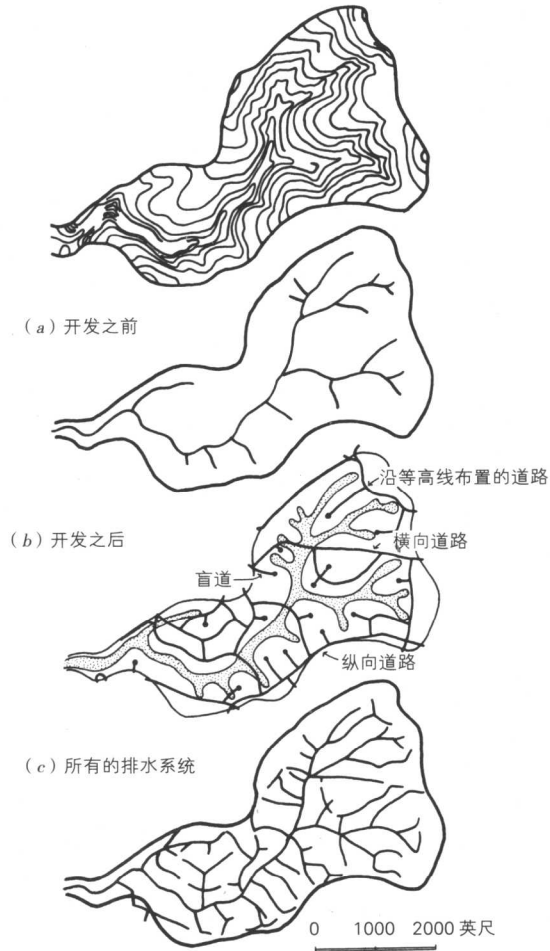


图 8.10 得克萨斯州奥斯汀附近小流域 (320 英亩) 在开发前后的自然沟道和道路格局。在自然的排水系统中加入地沟和水渠, 使排水系统密度增大 2 倍以上 (排水系统密度的增加提高了洪水的流量和频率)

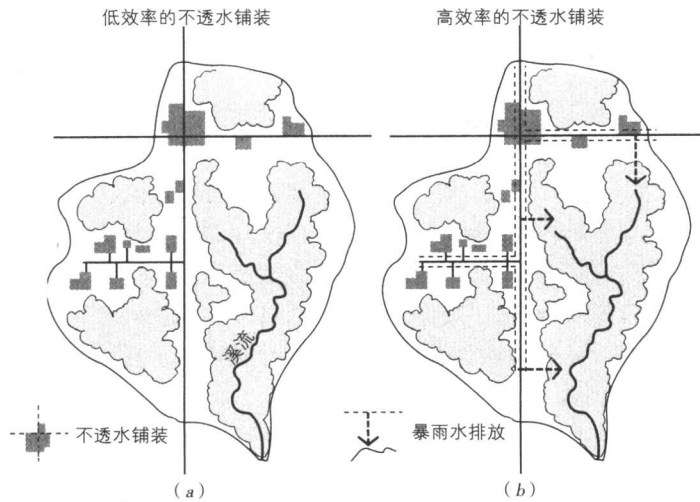


图 8.11 高效不透水铺装示意图。(a) 不透水铺装与溪流间没有直接连接; (b) 所有不透水地面都直接与溪流相连

之前相比不能有显著的增加。但问题是大部分开发形式都将导致径流增长，而同时这些开发本身又要求减轻暴雨水所产生的径流强度。

对暴雨水的管理一般采用以下三个策略：(1) 将多余的水储存在场地或其附近地方，使其在较长时间内缓缓释放；(2) 和开发之前一样，将多余的水渗入地下；(3) 合理规划开发使地表径流不会显著增加。其中第一个是最为广泛使用的策略，又称为“管道与池塘”系统。这种系统首先将暴雨水导入一片滞留洼地（池塘），然后十分缓慢地将雨水释放出去，因而能够有效减少高峰水流量。其主要目的是减少暴雨水向河流的排放速率，常采用的是修建蓄洪水洼（图 8.12a）。

基本策略

这种洼地是池塘大小的蓄水区，其容量按设计暴雨进行设计，然后以特定的速度排放所蓄之水。例如一个场地的设计暴雨在一小时内产生了 4.2 英亩英尺（182952 立方英尺）的径流，且允许的排放速率是 12 立方英尺/秒（43200 立方英尺/小时），则总共需要 3.2 英亩英尺的蓄水量。长时间蓄水并且能将水渗入地下或蒸发的盆状地区称为滞洪区（retention basins），一般用于大面积的暴雨水管理。但是，人们也逐渐发觉了这一方法带来的弊病。首先，由于滞留作用的存在，许多河流常常处于夏季缺水的境地。此外，滞留使得原有自然的高峰水流不再存在，水生生境和滨水生境的自然压力降低，反而纵容了外来物种入侵事件的发生。

蓄滞洪区

第二个雨水调蓄策略依赖于对暴雨水源头的控制（source control），也就是进行就地处理。该策略利用了土壤下渗功能，并且这个过程通常在场地内完成。在具体的操作过程中，暴雨水被直接引入植被区、浅洼地、排水沟或者地面的坑洼处，水从这些地方渗入地下（图 8.12b）。因为下渗速率往往较降雨速率低，所以这种方法通常对大暴雨第一阶段所产生的径流以及小型暴雨的拦截很有效。图 8.12 下图举例说明了在住宅区开发中运用洼地蓄水的原理。在 0.25 英亩（11000 平方英尺）的土地上，0.5 英寸的降雨可被面积为 140 平方英尺且深 4 英寸的蓄水池容纳。在干旱地区，这种方法在补给土壤水分和减少庭院和林荫地冲刷方面是行之有效的。为了更有效地运用坑洼蓄水的方法，社区、工程师和景观设计师都需要调整他们现行的标准和措施，不必再要求庭院和林荫道平坦或形成缓坡。

源头控制的策略

第三种策略减少了对各种改造措施的需要，依靠谨慎的场地规划来解决暴雨水问题。这个策略的重点是：严格要求铺面材料，尽可能避免不透水材料的使用；限制密度比，也就是说，要保持开发土地和开放空间的平衡。聚集是一种通过聚集住宅区和相应设施来减少场地内不透水地面的比例，从而通过采用更全面的途径来管理雨水的方法（图 8.12c）。尽管仅仅通过详尽的场地规划就可以实现场地内径流的零增长，尤其是将以前的农田包括进来效果会更加明显，但是大多数成功的洪水管理项目都需要各种策略的相互配合（这一策略将在第 13 章中有更详细的论述）。

场地规划策略

运用哪种策略和调蓄措施取决于许多因素，包括场地的地形、土壤状况和开发计划的特点和布局。在一些地方用何种方法是没有选择余地的，因为当地的条例法规明确规定了所使用的方法，而且许多条例是严格建立在传统的工程措施之上的。有些时候我们虽然可以选择调蓄措施，但是必须遵循几个标准：

选择调蓄措施

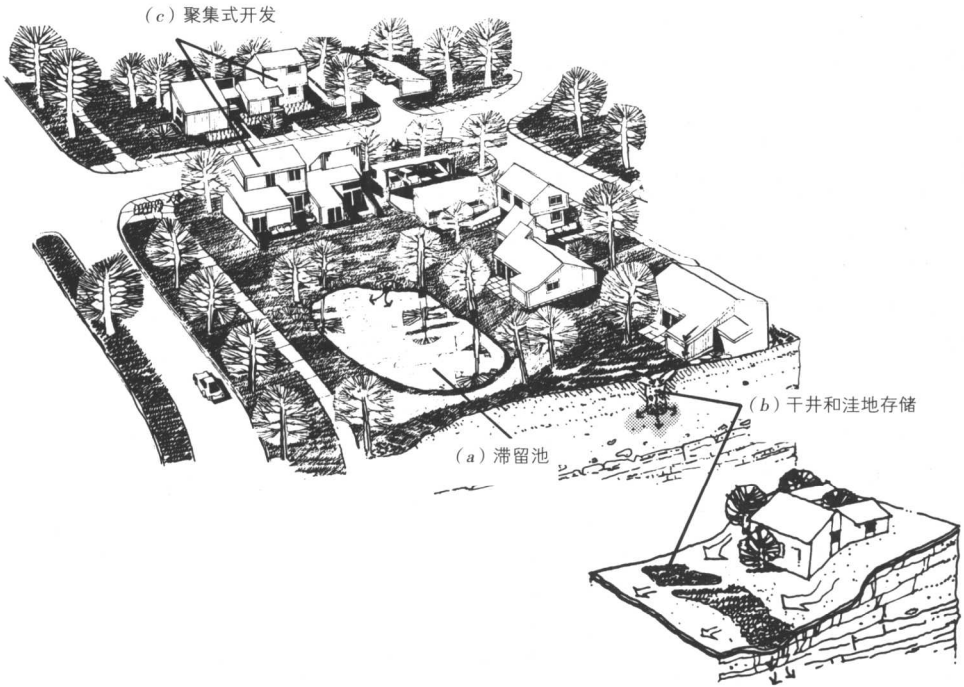


图 8.12 雨水调蓄措施的实例：(a) 滞留池；(b) 就地下渗；(c) 聚集式开发。下方的图片显示了 (b) 洼地蓄水的一种方案

第一个是流量等级。问题是在水流系统中的什么地方需要重点加强调蓄措施，是在 (a) 规划区内或其周围的小水流处，还是在 (b) 在大流量的下游？这一点在实践中是非常重要的，因为流动水的压力也就是其施加在沟道周围的压力，会随着排洪量的增大而显著地增加。因此，在大多数情况下，大洪水比较小的流量等级标准

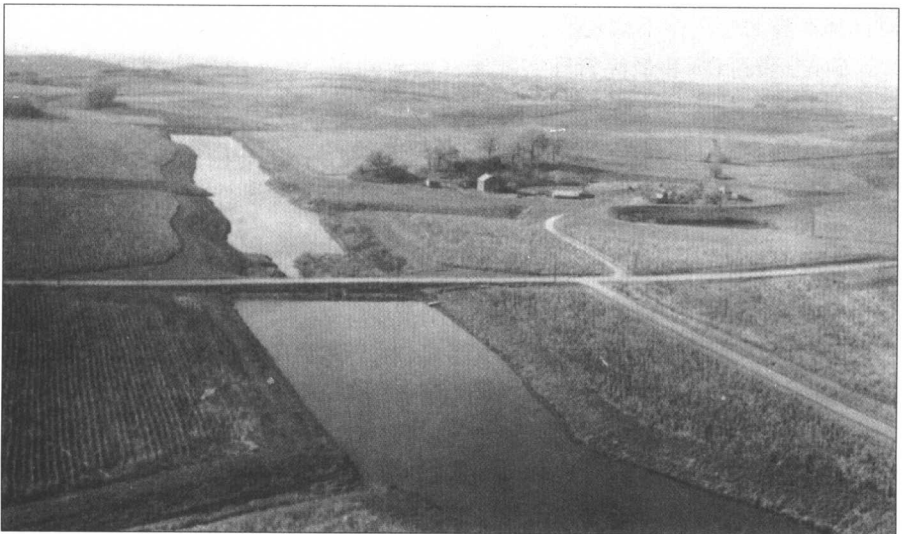


图 8.13 在艾奥瓦州为控制洪水而修建的存储水的水塘。由于主要考虑的是农业需要，这些措施可能会和其他目标相冲突，如栖息地保持和下游水的供给

洪水更难调蓄和管理。因而大的流量要求坚固的工程措施，而小的洪水常常可以通过景观规划设计得到处理。然而遗憾的是，在北美的许多地区，对暴雨水的管理还局限于传统的工程措施，即沟道、排水管道、街区下水道和道路网，而且这些网络是和当地河流衔接在一起的。因此，如果对这一体系进行改造，则要牵扯到地区性的蓄水池，这无疑需要更大的工程量和大量的资金投入。

第二个标准是环境适应性。需要解决的问题是：(1) 环境的牺牲以及由此带来的湿地影响和栖息地减少；(2) 与景观规划设计诸如审美和土地使用问题的协调性(图8.13)。另一个需要解决的问题包括多用途利用的潜力，如娱乐设施和环境的美化。第三个标准是费用，包括建筑和维护费用。第四个标准是不利因素，孩子们在池塘附近玩耍的风险和洪水向下游排放可能产生的危险是不利因素的主要方面。风险防范和管理是现在环境规划领域的重点研究对象，要求工程师、规划者和设施管理者予以重点关注。

其他标准

8.8 性能的概念

所有对环境的规划和管理都是建立在环境应如何运行的基础上的。当规划被制定后，他的目标就是来引导和构筑将来的变化，以防产生不希望的结果，或者是改善被判别为不适当的环境、设施和系统的性能。“判别为不适当”这个词是很重要的，因为任何对性能的判别是建立在人的价值基础之上的。如“这条河流经常泛滥对当地居民构成了威胁”是对环境性能的价值判别。类似地，条令严格限制湿地的开发反映了一个对于湿地性能，土地使用性能或两者皆有的社会价值。

性能概念

在流域规划和管理中，项目的性能目标必须提前设定来确定在规划过程中使用的最优管理实践(best management practice——BMPs)。一般而言，由于大的流域经常包含许多有不同观点和政策的社区或利益集团，流域越大，任务越艰巨。在小流域里，任务就没这么复杂，这不仅是因为小流域涉及的范围窄，而且其本身的情况就不太复杂。

性能目标

确定运行目标和最优管理实践通常始于确定当地(流域土地使用者)的价值观取向、态度和政策。接着考虑地方因素，尤其是有关开发密度的政策、暴雨水滞留，湿地和开放空间等，而且必须充分考虑河流下游的利益和需要。例如，上游河岸土地所有者利用流域及河道来排泄洪水，而下游计划保护河流附近的栖息地和住宅区，两者是相互冲突的，如果不调整，下游的目标则很难实现。

确定性能目标第三个要考虑的因素是基于生物物理特征的流域承载能力。我们必须充分了解整个流域环境的多样性，即水文学多样性，即使是较小的流域也不例外。这意味着流域中经常具有不同性质的土地类型，必须采用不同类型、不同密度、不同配置的发展方式。换句话说，不能把流域视为均匀的实体而忽略不同地方在地形、土壤和水文过程中的根本差异。

流域的水文学多样性

流域必须作为一个环境实体来评价，应该基于当地和区域利益和政策进行充分权衡，并与所提出的目标进行比较。一个在开发前不能维持鲑鱼种群的流域和河流在开发后当然也不可能维持，因此提出鲑鱼栖息地质量的性能指标是

不现实的, 这就需要水文学、土壤学、生态、林学方面的环境专家对流域做细致的调查来确定环境情况和潜能, 并对提出的性能目标提出适当的修改。

性能标准

一旦性能目标确定之后, 就要确定性能标准和限制。性能标准是性能目标实现后要达到的特定的水平。例如, 一级河流暴雨水排洪标准要求: 在一段特定时间内或者实现开发密度后, 洪峰流量应该为零增长。这就意味着在设计新的开发项目时必须考虑在这段时间内流域土地利用的所有变化, 均衡其正负变化来决定是否需要采取特定的措施和策略。例如, 农地被林地所取代的同时林地也被用来做住宅开发, 分析表明一种变化补偿了另一种变化, 因此也就维持了整体上暴雨水排水的性能指标的零变化。

性能控制

性能控制是用来强化标准和目标的法规和条令, 包括限制不透水面积比例的条令, 对场地规划的复查和批准的要求, 或者是修复公共场地的减税奖励机制等。控制是很必要的, 否则规范就没有真正的实施力度, 从而起不到制约的作用。

8.9 综合的水管理规划

问题

现代土地规划和设计的趋势是分离环境中的不同组分, 然后分别加以解决, 这是因为地方条例在解决暴雨水、湿地、坡度改造、景观、道路、停车场、设施等问题时, 把它们看作是完全独立的。因此, 法令和指导方针不仅缺少平衡和协调, 实际上有些还是互相冲突的, 比如, 在中西部地区社区场地平整规范要求隆起林荫道的草地, 这往往增加地表径流, 而洪水管理的条例却要求在场地内通过有利于蓄水的改造而减少径流。在加利福尼亚地区, 房地产所有者一方面被号召或要求实施水资源保护, 另一方面当他们想要存储和回收暴雨水用于花园和草坪灌溉时候却有受到条例的限制。

统一主题

水是所有环境规划的中心环节, 而且场地规划通过它可以统一起来。水管理规划可将各种土地利用衔接起来, 从长远来说可以减少建设和管理景观的费用, 加强了风险管理, 提供更多可持续利用的景观和设施。水管理必须从全流域系统出发, 这对于所有陆地环境(流域及其排水网络)都是通用的。每一个规划场地都处于一个排水系统中。首先要考虑的是它的位置和特点, 如场地是处于河流的上游还是下游以及由此带来的机遇和限制因素(如洪水风险、供给水量和雨水管理); 第二个要考虑的问题是寻找互相补充的系统以及如何将他们组成一个整体。湿地和暴雨水就是典型的例子。

互补的系统

尽管目前湿地调查是规划的一个基本要求, 但作为项目的一部分, 却对其关注很少, 甚至不关注。在湿地流域的土地开发中, 人们很少将湿地的水源补给与维持作为暴雨水管理的一部分。一些湿地由于改道的暴雨水进入而超负荷, 而另一些却失去了天然径流的补给。如果暴雨水系统能和湿地水分供给的需要相协调, 适当考虑排泄速率和水量的变化, 完全可以以较低的费用使两者都有较好的性能。类似的相辅相成的系统有湿地和地下水系统、暴雨水和灌溉系统、景观(坡度整理, 土壤治理, 地表覆盖等)和洪水径流等(图 8.14)。

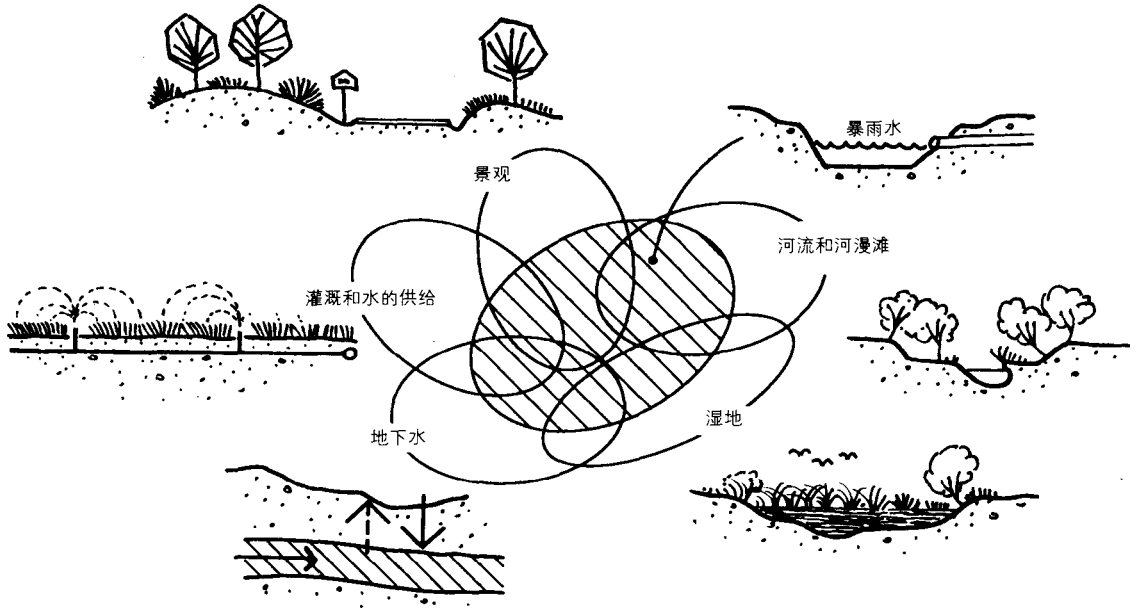


图 8.14 为开发项目所做的综合水管理规划中所包括的主要系统

不列颠哥伦比亚省萨里地区的绿色基础设施在暴雨水管理中的应用实例

8.10 案例研究

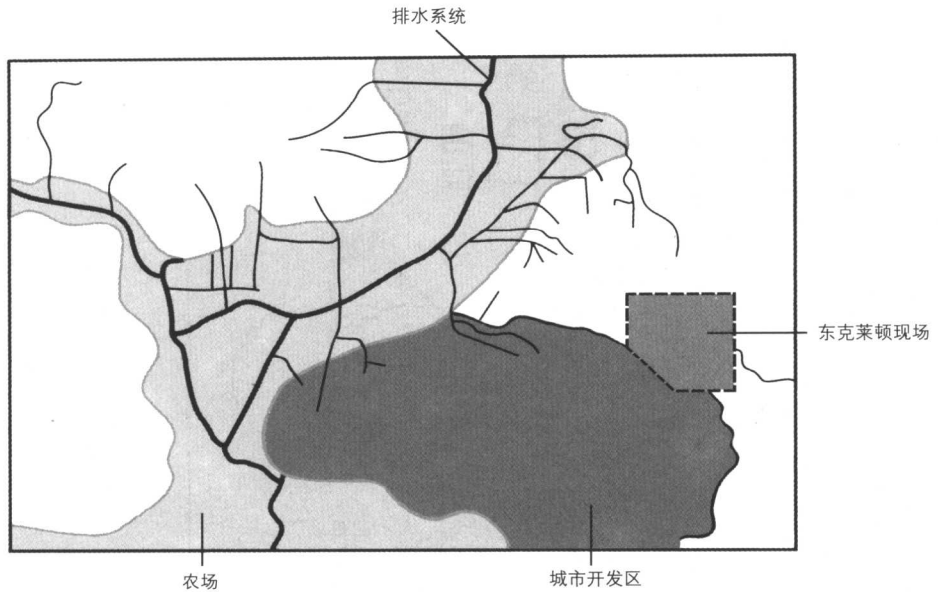
帕特里克·康顿 (Patrick Condon)

1998年,农民们向不列颠哥伦比亚省的萨里市提出诉讼,因为洪水冲毁了他们的农田,为此他们得到了未被公开的达数十万的和解赔偿款。农民们指责说位于郊区开发地段的上游洪水席卷了那里的森林、草地和人工不透水覆盖表层,以漏斗状的形态流入泄洪道,随之并未被河流所吸纳,而以毫不减弱之势淹没了下游的农田。

低密度而铺装率较高的居住社区是影响自然排水系统不能正常发挥作用的主要因素。在这种地方,通常暴雨水被处理成沿着街道的纵坡流入排水篦子,随之通过管道直接流入水道,这样一来暴雨水的流速和流量就会猛增,数倍于自然状态下的降水,不断冲刷着河床,有时就会导致洪水泛滥。

这种排水系统除了会对环境造成破坏之外,建造和维护附带有排水管道和主干道路的标准设施对社区和开发商而言代价不菲,而这些最终还是由住户分担。低密度开发地带住房的高价位说明,在暴雨水设施建设中费用主要用在了无效和过度建设的街道网络建设上。更何況,在传统的低密度居住开发区,这种设施的置换和检修花费了大量的市政开支,并且比重还在不断增大。

于是,萨里市认识到应该改变暴雨水管理的基本方法。1998年,该市政



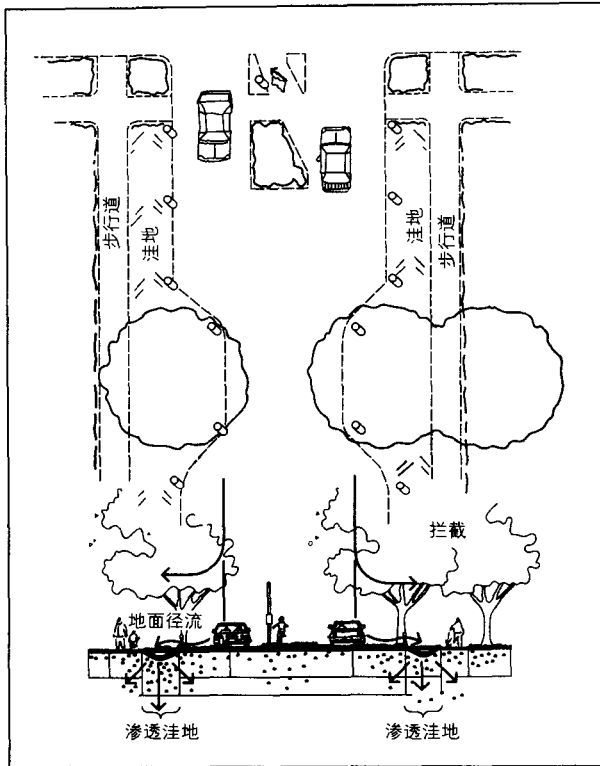
务委员会投票决议与不列颠哥伦比亚大学的詹姆斯·泰勒景观与居住环境研究中心合作, 委托他们运用可持续规划原则和新的发展标准建立一个示范性社区。河流廊道及其排水体制的保护和改进是一个关键的可持续性目标。该市选择了一个 250 公顷的被称作东克莱顿的地方来实施这一示范工程。

我们选择实施了一项绿色设施策略, 将此视为不但是管理暴雨水、完成社区对下游土地拥有者应尽义务的方法, 还是对不可持续的传统开发措施的挑战。绿色设施注重对暴雨水源头的控制, 即它提倡雨水就地或就近渗入土壤或被树木所吸收, 以转换成地下水或者在地下水与河水的交流中缓慢释放进入河流。这种方法增加了河流的平时流量, 降低了高峰流量, 消除了下游的洪涝, 最终使整个流域恢复到近似于未开发前的状态。

另外, 围绕绿色设施来组织开发创造出了更适宜步行的社区。郊区过多的铺装和等级类型的街道(典型地方的单位面积上的铺装甚至是传统高密度城市邻里区的 5 倍之多)所创造的是不友好和功能紊乱的步行环境。相比而言, 绿色设施系统布置了互相连接的狭窄的街道网络, 这使得在减少暴雨水地表流量的同时, 步行和自行车都更为方便; 反过来说, 人们对驾车出行的需求减少了, 特别是对于高频率的短途出行而言, 因此就减少了单位面积上的能量使用, 降低了绿色居住区的气体排放。促使人们步行的街道网络也为居民改善健康状况提供了机会, 对于这点研究人员发现肥胖与郊区开发中人们的久坐和过度依赖汽车的生活方式有关。

2003 年, 东克莱顿邻里区的第一期建成, 占地 20 公顷。在东克莱顿设计中整合了一套绿色设施系统, 该系统是在现存水道的基础上建造出的一套集河流、绿色街道、绿廊、自我缓冲区、公园和滨水区为一体的完整、多方位网络。东克莱顿的暴雨水系统每天可以吸收 2.4 厘米(1 英寸)降雨, 这要占该地超过 60 英寸的年降水量的 90%。

为了维护整个流域的生态平衡和建设实惠的、可持续发展的社区, 将综

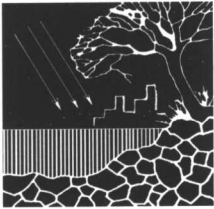


合的绿色设施建设引入到我们的环境建设中是非常可行的解决方法。建设绿色设施的花费还不到传统设施的一半，每一户可为萨里市节省12000美元的开支。较低的建设投入接下来还能为人们带来较低的家庭开支和长期维护费用。总之，绿色设施创造了更适宜步行的邻里空间和更为人性化的可持续发展社区。东克莱顿的成功建设为人们提供了一个实惠的、可持续发展的和适于步行的典范社区。

作者简介：帕特里克·康顿（Patrick Condon），不列颠哥伦比亚大学景观设计学教授，主持着詹姆斯·泰勒景观与居住环境研究中心。

8.11 推荐阅读文献

- Burchell, Robert, and Lostokin, David. *Land, Infrastructure, Housing Costs and Fiscal Impacts Associated with Growth: The Literature on the Impacts of Sprawl Versus Managed Growth*, Lincoln Institute of Land Policy Research Paper, Cambridge, MA, 1995.
- Condon, Patrick and Gonyea, Angela. "Status Quo Versus an Alternative Standard, East Clayton Two Alternative Development Standards Compared." *Technical Bulletin No. 2*. James Taylor Chair, University of British Columbia, 2000.
- Dunne, Thomas, and Black, R. D. "Partial-Area Contributions to Storm Runoff in a New England Watershed." *Water Resource Research*, 1970, pp. 1296-1311.
- Ferguson, Bruce K. "The Failure of Detention and the Future of Stormwater Design." *Landscape Architecture*, 81, 1991, pp. 76-79.
- Hewlett, J. D., and Hibbert, A. R. "Factors Affecting the Response of Small Watersheds to Precipitation in Humid Regions." In *Forest Hydrology*. Oxford: Pergamon Press, 1967, pp. 275-290.
- Horton, Robert E. "The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle." *American Geophysical Union Transactions* 14, 1933, pp. 446-460.
- Marsh, W. M., and Marsh, N. L. "Hydrogeomorphic Considerations in Development Planning and Stormwater Management, Central Texas Hill Country, USA." *Environmental Management* 19:5, 1995, pp. 693-702.
- Poertner, Herbert G. *Practices in Detention of Urban Stormwater Runoff*. Chicago: American Public Works Association, 1974.
- Seaburn, G. E. "Effects of Urban Development on Direct Runoff to East Meadow Brook, Nassau County, Long Island, New York." *U.S. Geological Survey Professional Paper 627-B*, 1969.
- U.S. Natural Resources Conservation Service. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release No. 55. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, 1975.
- Whipple, W., et al. *Stormwater Management in Urbanizing Areas*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983.



第9章 流域、排水网络 和土地利用

- 9.1 简介
- 9.2 排水网络及流域的构成
- 9.3 绘制排水盆地地图
- 9.4 小排水盆地的发展态势
- 9.5 规划与管理上的思考
- 9.6 小排水盆地的土地利用规划
- 9.7 案例研究 流域观念在墨西哥萨尔蒂约地区工业场地管理中的应用
- 9.8 推荐阅读文献

9.1 简介

地表径流在地表流经很短的距离后就会汇集一系列细小的水流,而这些小水流又会彼此融合,形成能够冲蚀土壤、塑造沟渠的小溪。同理,这些小溪进而汇集成小河,而小河又汇集为大江。这种由河流彼此联络构成体系的水道系统,就如同树上的枝条一样,被称为**排水网络**,也是自然界将液态水体带离地表的最有效方式。而为排水网络供给水源的区域则被称为**排水盆地**,或者称作**流域**。对某些特定的地理环境而言,通常主河道的大小以及其水流的多少会随排水盆地增大而增加。

在人类文明的早期,人们就认识到了水系网络的益处,它们既能供给水源,又可以将水流带离地表。最早的人工排水系统实际上是用来携带暴雨水的,它们被修筑成类似于自然河道的网络系统。不论远古的人类是否意识到这一点,然而他们在建造排水渠道和田地灌溉系统的时候,的确都遵循了河流等级原则。这个原则描绘了一条河流在排水网络中的相对地位(即河流的等级),它有助于我们理解一个复杂的水流系统内河流间的相互关系。

现代的土地发展利用往往会使排水网络的状态发生变化,如消除自然水道,添加人工沟渠,或者改变排水盆地的规模大小。这些变化会产生严重的环境后果,包括增加洪灾、减少水生生物栖息地、减少枯水季水源供给、降低水质等等。在土地利用规划中,人们几乎从未把排水网络当作一个地理实体加以考虑。场地规划师和设计师们通常忽略了场地在排水网络中的位置以及由其位置所带来的一系列暗含的风险、责任和水资源管理方面的问题。同样,社区规划师也经常忽视从区域角度来考虑流域的涵养水源的作用,以及关于河流水量、水质和洪水管理等其他一些问题。

9.2 排水网络及流域的构成

河流等级原则是建立在一种河流等级分类系统之上的,排水网络系统内所有河流的分级是该河流分类系统的基础。其中,一级河流是那些不具备任何支流的河流;二级河流是至少包括两条一级河流为其支流的河流;而三级河流又至少需要两条以上二级河流的参与,其后的各等级河流可据此类推(图9.1)。

河流等级

通常,高一等级的河流会由平均约3.0个低一等级的河流汇集而成,这一比率被称为**河道分叉率**。从函数的观点分析,该比率告诉我们高一等级河道的容量必须至少是其支流水道平均容量的3倍。对整个排水网络而言,某一等级中所含河流的总数与其对应等级的比较可以揭示出一种显著并稳定的相关性,即河流的数目是随着等级的增加而递减的,并且该相关性还决定了河流的等级原则。很显然,在每个排水网络系统中,一级河流的数量是最多的。

河道分叉率

如果给定一个排水网络内河流的分类等级,我们就可以据此来检验河流等级与河流系统中其他水文特性之间的关系,如排水区域、河流排水量、河流的长度等等。我们能够根据这一特性对处于不同气候、地质和土地利用条件下的排水网络进行比较;也可以根据该特性对特定的河水流量的某些方面进行分析,如由都市化而带来的改变等;也可以以此划分出具有不同土地利用潜力的区域。

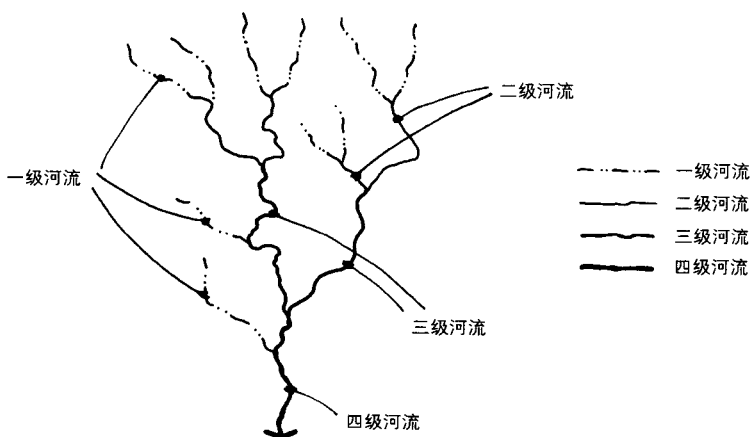


图 9.1 依据排水网络中的河流等级而划分的河流等级体系。根据罗伯特·霍顿 (Robert Horton) 最初提出的图示绘制而成

表 9.1 列举并限定了几个与排水网络系统和流域相关的分析要素。

排水盆地等级

排水盆地或流域也可以按照河流等级原则进行分级。一级排水盆地是一级河流流经的区域，二级排水盆地是那些主河道为二级河流的流域，而在五级排水盆地中，其主干河流必须是五级河流。就像所有高一级的河流完全由一系列低一级河流构成一样，高一级的盆地同样完全由一系列低一级的盆地构成。这一关系有时被看作是一种“嵌套的等级体系”，如图 9.2 所示。

非排水流域区域

在考虑构成较大流域系统的组合流域时，并不是所有的陆地范围都会由更低级的流域所占据。总有一小部分陆地是不经由一系列的低级流域而直接组成较高等级的流域系统 (图 9.3)。这些地域被称为非盆地排水区，在二级或更高级别的流域中通常要占总面积的 15%-20%。

表 9.1 解析排水网络系统的几个重要因素

河流的数量 —— 每一等级的河流总数；

河道分叉率 —— (支干比率) 某一等级河流数目与相邻的高一级河流数目的比值：

$$BR = \frac{N}{N_u}$$

式中

BR = 河道分叉率；

N = 某一特定等级的河流数目；

N_u = 相邻的高一级河流的数目。

排水流域等级 (Drainage Basin Order) —— 相当于流域中最高等级河流的等级；

排水区面积 (Drainage Area) —— 整个流域范围内 (边界内) 的平方英里或平方公里数；

排水密度 (Drainage Density) —— 每平方英里或平方公里内排水区域所包括的河流总长度。

$$\text{密度} = \frac{\text{河流总长度 (英里或公里)}}{\text{排水区面积 (平方英里或平方公里)}}$$

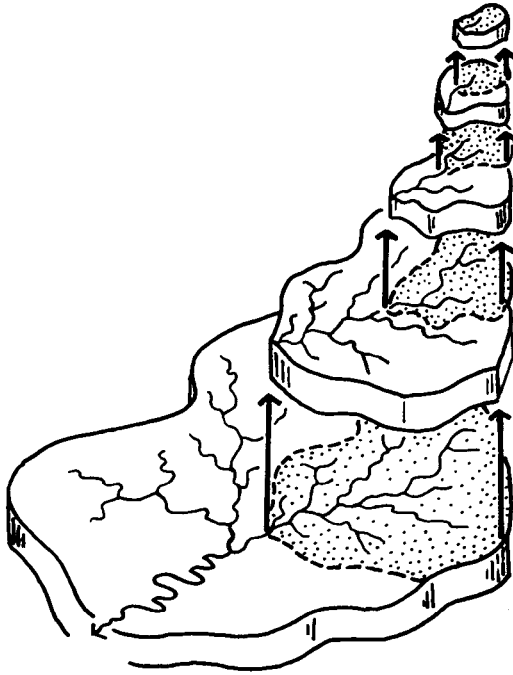


图 9.2 大型排水盆地中低级流域的嵌套等级体系

排水密度 (Drainage density) 指单位面积土地 (平方英里或平方公里) 上水道的总长度。是一个在流域管理中十分重要的参数, 它反映出地表排水效率的高低。由于水道是排泄径流最有效的方式, 因此每平方英里内水渠数目越多, 就意味着地表水历经地面的速度越快。在许多景观中, 沿道路和农田开设的排水沟渠会形成冲沟侵蚀山坡, 排水密度随土地清理面积的增加而增加。除非采取水管理措施来加以缓和, 否则在这类景观中的暴雨负荷还会随排水密度的增加而增加, 同时会导致水质的恶化。

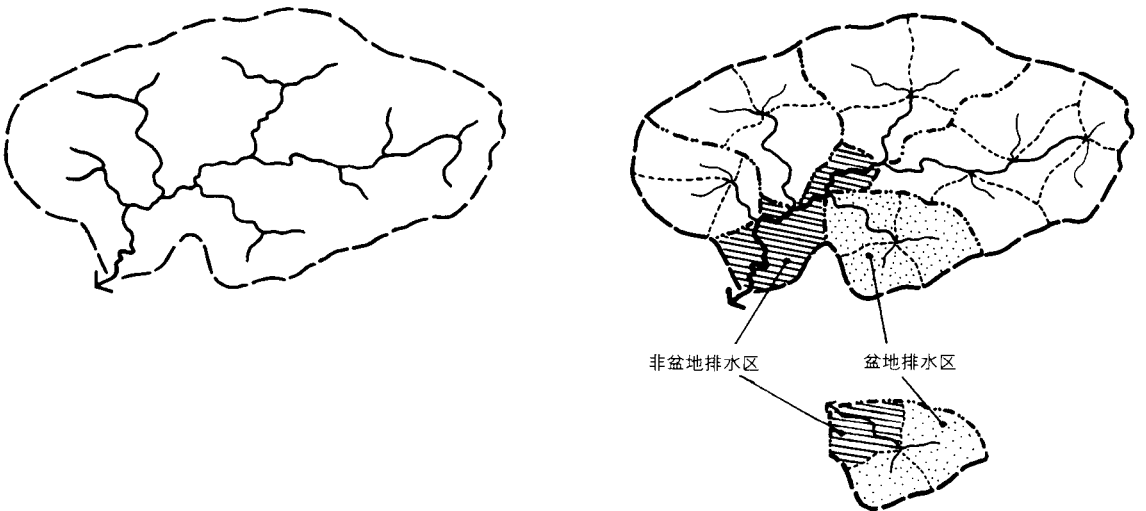


图 9.3 所有高于第一等级的排水区又可分为两个区域: 盆地排水区和非盆地排水区。非盆地排水区是指那些接近主干河道并将水直接排放到主河道中 (不经过其他等级的支流) 的区域

9.3 绘制排水盆地地图

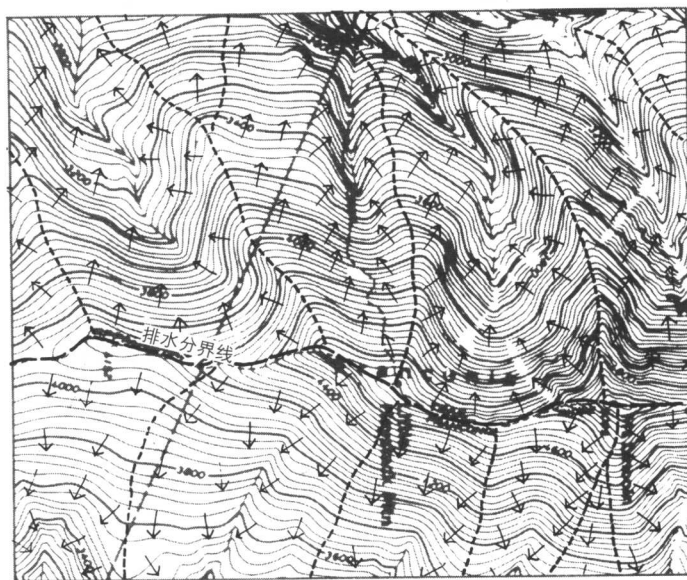
绘制排水盆地及
排水网络地图

在一个大的排水网络中绘制单个排水盆地地图,首先是要找出某一级别河道间的排水分界线。这项工作通常都需要借助地形等高线图,然而,有时也需要在建成区内进行现场调查以确定排水渠、导流口等改变排水的因素。确定分界线的第一步应该标出河道并对其进行分级,同时应该关注基础地图的比例尺及水文地理细节。这一步非常重要,因为大比例的地图比小比例的地图具有更高的分辨率,所以将会显示更多的一级河流。

在一些地形复杂的区域,确定流域的边界线是一项十分繁琐的工作,但如果我们首先能够把地表径流的范围界定下来,那么这些工作就会变得简单一些。在整个排水区域内,我们用垂直于等高线的短箭头表示出径流的方向。当绘制完成后,就会出现两种基本的地表径流模式:分散模式和汇聚模式。根据箭头的指向,区域内的排水分界线可以很容易地确定下来(图9.4)。另外图9.10中也有这两种地表水模式的图示解释。

将一级河道间的排水分界线连接起来,整个流域就被分成一系列的一级盆地。它们会占到总排水区域面积的80%~85%,而余下的部分就是非盆地排水区。依照这一模式,二级流域也能够描绘出来。它由两个及两个以上的一级流域加上一小部分非盆地排水区共同构成。

由于永久性河流都是由地表水和地下水共同补给的,因此在很多情况下,即便是同一条河流,这两类补给水源都会分属不同的排水盆地,认识到这一点是十分重要的。但是,在大多数情况下,如果缺乏对整个区域内地下水的全面



← 径流方向

图 9.4 利用地表径流的走向描绘和划分流域。径流在流域分界处是分流的,而在盆地是汇流的

研究，我们是很难弄清系统的分布状况的。但我们有时可以在一些第一或第二等级的河流中发现二者之间存在显著差异的线索——与该地区内类似等级的其他河流相比，这些河流在它们的地表排水区域内会出现异常大或者异常小的基本水流。

9.4 小排水盆地的发展态势

土地清理或者土地开发利用往往会对排水网络和流域产生十分深远的影响。森林的采伐和农业的发展会导致土壤侵蚀和冲沟的形成。随着冲沟的扩展，整个排水网络系统会随之扩展，使得一级河道的数目和排水的密度相应增加。并最终导致一些重要的水文后果：地表径流或地下径流形式的水体运动距离的缩短（图9.5），从整体上缩短了各类径流形式的“汇聚时间”（concentration time, c_t ），即加快了整个水流过程的“响应时间”（response time）。而对小流域而言，由于水流的“汇聚”过程几乎同步于高峰时期的暴雨强度（水体一到达地面，便进入了沟渠系统），因此水的流量反而变得更大。由此可见，随着土地利用方式的改变，高强度的径流将会更加频繁地发生，水土流失现象将更加严重，水道排水方式也将会更占优势，而水质的下降也就在意料之中了。

此外，城市化也会使排水网络系统的密度和形态发生相当大的改变。最初的变化之一便是对自然水道的“修剪”，即去除部分的自然水道。而去除的部分通常会被沟渠、地下排水管道和污水管所取代。然而尽管自然的排水网络系统会有所删减，但城市化的“净影响”通常还是会使水道的总量增加，进而导致总体排水密度的增加（图9.6，也可参见图8.10）。再加上城市化范围内地表的渗透率低，使得排水盆地内的径流量增加，“汇聚时间”变得更短，两者同时导致高峰时流量的增加。因此，对于接受这些区域水流的河道而言，其高峰流量的水量和频率都会随之加大（见图8.8）。

城市化

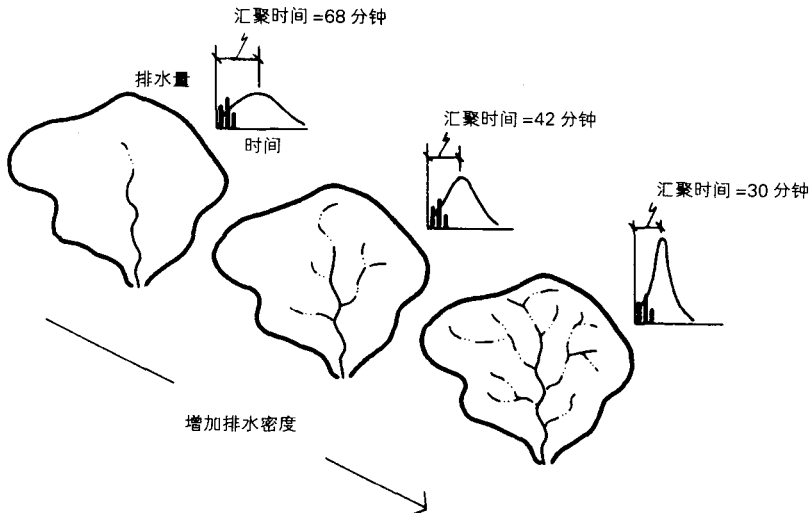


图9.5 该水文图向我们展示了随排水密度增加而产生的相应变化：汇聚时间缩短，对于某一特定的暴雨而言产生了更大的高峰流量

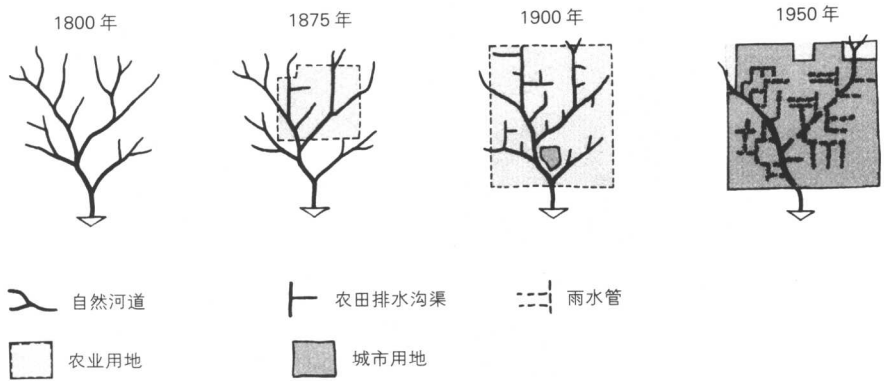


图9.6 社区发展而导致的排水网络系统的变化（水道的删减、置换和加密）

雨水管道

雨水管道是将流经街道、建筑、露天停车场和相关设施的地表水，利用重力作用通过地下管道排泄到河道中。这些管道通常由混凝土制成，大小依据它们所服务区域的面积而定，能够高速率地排泄暴雨雨水。研究表明，在完全城市化的地区，暴雨水管以及不透水的地表共同导致河道洪水的发生频率增加了将近6倍（图9.7）。

图9.7是在假定排水流域面积不因修建下水道而发生改变的情况下得出的。但是在许多情况下，流域的面积会随着地下水道的修建而增加，就像以里德湖（Reeds Lake）流域为例的图示所阐释的那样（图9.8）。这类附加的排水区域是完全城市化的区域，雨水管交错纵横，与面积相同但是没有雨水管并且严重开发的区域相比较，前者所产生的高峰流量有可能比后者大出4-5倍。

现代农业

现代化的农业也要对排水流域和河流网络系统的变化负责。在湿润地区，农民们发现有必要改善农田的排水状况以便于早春的春耕和种植。除了开辟穿越和环绕农田的沟渠以及对小河流进行挖深和取直外，人们还常常在农田里装配由排水瓦管构成的网络系统。排水瓦管是一些钻了孔的小型管道（最初是陶瓷的，但现在都是塑料的了），就埋在犁过的土层下面，用来收集渗进土壤中的水并迅速将它们导入到开敞的渠道中。尽管这种排水瓦管系统对河水流量的影

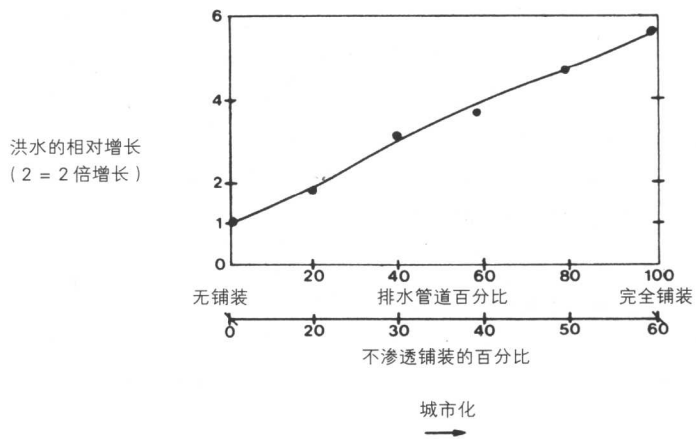


图9.7 随雨水管和地表不渗透性铺装的增加而增加的洪水频率

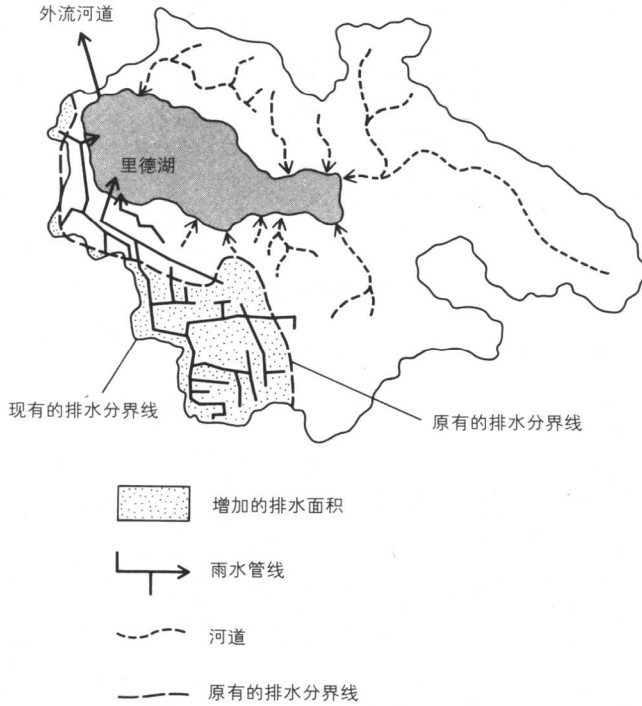


图 9.8 里德湖流域的状况表明，随城市发展排水区域会由于雨水管线的铺设而增加

响还没有详实的资料证明，但是毫无疑问，就像城市中的庭院排水沟和雨水管一样，它们也会增加当地高峰水流的水量和频率。除此之外，湿地的排水也是一种与农业紧密联系的重要水文变化。湿地在蓄积径流和洪水方面起着十分重要的作用，而在湿地被削减的地方，河流的高峰水流量就会随之增加。

如同河流的流域一样，为湖泊和水库（蓄水池）服务的流域遵循同样的组织原则，因为水库自身也就是排水网络系统中某一等级的一部分，或者是把较低等级的河道连接在一起的一个节点。另一方面，土地利用方式在以下的一个重要方面有很大差异：开发程度最高的地区往往是在非盆地排水区（见图 11.11）。这是一片环绕着水体的不连续的湖岸带，对居住、娱乐和商业开发有极大的吸引力。排水的需求随开发而增加，于是在自然条件下不会有沟渠存在的地方，修建起场院排水管、排水沟渠和雨水管线。此外，由于雨水管的修建，滨湖陆地向内陆延伸，其结果就是更多被截获的径流直接流入水体。

湖泊和水库

9.5 规划与管理上的思考

由于小排水盆地是大排水系统的构成单元，因此流域的规划和管理必须从小盆地开始。首先，我们需要明确，大多数小盆地（主要指一级、二级和三级）都由三个相互联系的部分构成：（1）产生地表径流和短暂渠道水流的外围高地；（2）位于流域上游，汇集来源于高地径流的一片低地或集水区；（3）中心输导区的河谷和河流水道，把集水区的水输送到高一等级的水道中（图 9.9）。每一

盆地的组成部分

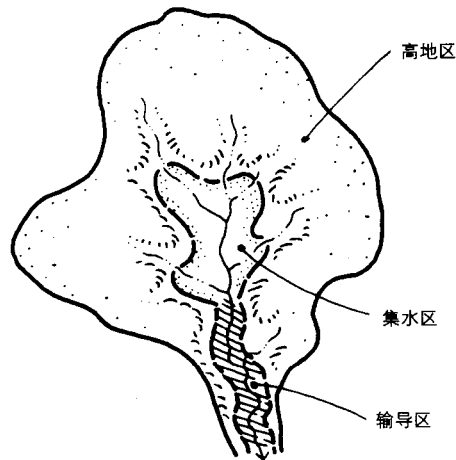


图9.9 小型排水流域的三种主要水文区，其中低处的两个区最不适于开发利用

个区的水文活动都是各不相同的,因而也需要采取相应的不同规划和管理对策。

水文学区

供水区 (contributing zone) 是最不易受排水问题影响的区域。由于处在这一区域的大多数地块几乎都不需要考虑上坡排水问题,并且该区域内地表水流通常很小而且分散,因此高地区内场地范围的暴雨管理相对容易。然而与之不同的是,位于流域上游的**集水区**则会受到排水问题的严重困扰。在一年中的大多数时间,沿集水边界的渗漏现象十分普遍,低地的中心区会长时间受到地下水的浸润。在地表径流产生的时候,由于接受来自高地表面的大量雨水,这一区域很容易产生“内涝”。对于那些排水状况不佳的乡村地区而言,内涝更加容易发生。事实上,在安大略湖区西部和南部的大部分地区,内涝可能是导致当地洪水灾害的最常见因素。

边缘形式

在景观规划中,划分出高地区和集水区之间的边界线是最为关键的问题之一。这种边界线有两种基本的形式:凸出的形式和凹陷的形式(图9.10)。凸出的形式会产生发散的径流模式,因此沿中轴线的部位通常是干燥的——事实上在有些情况下是十分干燥的。而凹陷的形式则会产生汇聚的径流模式,沿下坡方向汇聚水流,因此中轴线两侧的部位通常是潮湿的。事实上,凹陷边界是流域内高地表面(能够产生径流)和低处集水区(能够汇聚水流并且产生河流源头)间的功能性连接线。作为通向低地和集水区河岸环境的入口,凹陷边界在排水流域的管理中占据了十分重要地位,并且它们还是高地和低地地表间重要的生物廊道。

输导区

中心**输导区**包括了流域内主要的河道和河谷,以及小范围的河漫滩。中心输导区的水体来自上文中提到的两个区域以及直接流入河道的地下水。其中,地下水提供了河流的基本水流(基流),并构成全年河水水流量中的绝大多数。而来自流域中上面两个区域的暴雨雨水,尽管在总量上很小,但在已开发的和部分开发的盆地,仍是构成河流最大高峰时水流的最主要来源。与流域上游集水区类似的是,中心输导区同样容易遭遇洪水,并且通常是由于河水漫过河堤而造成的外溢。由于容易遭受较大洪灾(尤其是上游流域为已开发用地的情

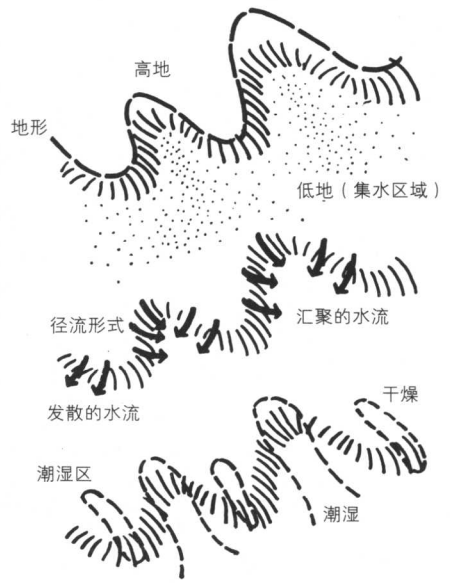
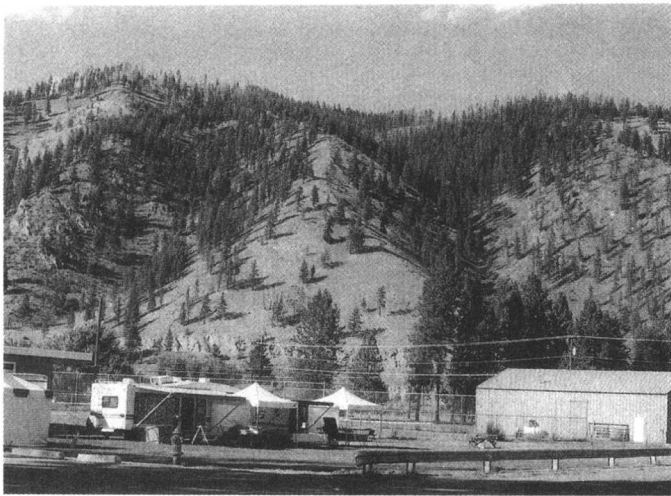


图9.10 凸出和凹陷的边界以及与之相联系的径流形式。左图中的植被状况明显反映出山地上不同地方湿润度的差异

况下),因此流域中的中心输导区通常是最不适于进行土地开发利用,同时也是最难进行水文管理的区域。在丘陵和山地地形中,例如加利福尼亚州的海岸带,山地斜坡在潮湿的季节很不稳定,中心输导区的上部边缘以及集水区上部就会成为接受塌方岩屑和滑坡泥石流的主要场所(见图4.12)。

在小盆地的开发和利用过程中,认清每一类排水区域的限制性因素和有利条件是确定其指导方针的重要步骤,这包括建筑用地、开敞空间和特殊用途的区域。然而,这种分析方式仍不能提供一个确立具体发展密度方面的理论基础。此处的密度是指一种衡量开发利用强度的标准,通常可以用不透水表面的百分比、每英亩土地中的总建筑面积,或是人口密度等来进行衡量。对于水和土地的管理而言,人们往往用不透水区域的地表面积占总面积的百分比来表示密度。通常情况下,雨水流量和污染物含量会随不透水铺装表面积的增加而增加。

土地利用的启示

为排水盆地确立合适的开发建设密度应该建立在性能目标和标准(参见第8章中对于性能观点的讨论)以及**盆地承载能力**的基础之上。其中,排水盆地的承载能力是指在不造成水体形态改变、水质下降、生物退化、土壤侵蚀以及土地利用下降的前提下,排水盆地所能维持的最大开发及利用的强度。虽然这种概念很容易理解,但真正需要确定一个盆地的承载能力还是十分困难的。对于大多数的盆地而言,通常百分之三十的开发利用强度是适度开发的最高限度。当然这也会因开发类型和盆地特性的不同而有所变化。例如,在居住用地的开发中,我们首先需要明确的很重要的一点就是:不同的建设方式所形成的人均不透水铺装面积的大小是有显著区别的。因此,在那些以不渗透性的地表比率来衡量盆地土地利用密度的地方,大量的单户型住宅只能容纳少量的人口,并产生最大量的人均径流量。而反之,若以居住组团的形式开发,那么同样大小的不渗透地表则能容纳更多的人口,并且对径流量和水质影响较小。

盆地承载能力

除上述因素外,盆地的自然地理状况和水文多样性也会对盆地的承载能力

盆地自然地理

产生强烈的影响。例如,对丘陵或山地地形的地区而言,由于存在大量陡峭险峻且不适于建设利用的斜坡,以及暴雨来临时高速流动的暴雨水流,因而这些地方通常是盆地承载能力最差的区域。再加上较薄的土壤层,不仅大大降低土壤的过滤能力和土壤的持水性,并且还增加了潮湿季节时山体的滑坡频率(参见第4章4.6节)。比较而言,对于那些水流释放量较少、坡度平缓、土壤层深厚,并且土壤排水能力良好的盆地,其承载能力则要高得多。然而令人费解的是,直到目前,当正式涉及土地利用规划和工程条例方面的问题的时候,仍只有少量的社区将盆地的自然地理状况和水文多样性纳入考虑的范畴之中。在进行土地利用结构、道路定线和雨水工程项目时,人们几乎是不加任何区别地对待拥有不同自然地理状况的盆地——而不论它们是陡峭且排水系统复杂的山地或是具有简单排水系统的低排泄量盆地。

土地利用与工程

除了盆地在自然地理状况方面的一些基本差异外,人们关于盆地承载能力的思考还应该考虑到开发(土地利用)的性质以及针对该盆地计划而实施的暴雨水管理策略。暴雨水管理策略的形式与土地利用密度的高低有相当大的联系,例如在那些能够有效使用暴雨管制如就地阻滞或干井技术的地方,就能够实现较高密度的土地利用(参见第8章图8.12)。而对于那些在社区法令中明确规定必须开设边沟、排水沟及暴雨排水管的地方,由于现有的排水设施会导致污染物的迁移,增加受水河道爆发洪灾的可能性,因此这样的社区是十分有必要全面实施正规的全盆地范围内的雨水缓解计划的。理想的措施是尽量采取多元化的举措,首要的一点目的就是减少场地内的暴雨雨水的产生量,接下来便是阻止过量的水流汇入河道和其他水体之中。

9.6 小排水盆地的土地利用规划

步骤一

在为小排水盆地制定土地利用规划的过程中,我们首先需要对河流系统、径流方式和三种水文区域进行限定。对于每一类水文区域,都应对其土壤、坡度、植被和现有的土地利用状况进行分析,以明确影响其开发利用的限制性因素。陡峭的山坡、径流汇集区域、不稳定且贫瘠的排水土壤、关键性径流区域中的森林地带,以及容易发生洪灾和塌方的地区都应被认为是不适宜开发的土地。余下的区域便是可开发利用的土地(但这些土地的开发适宜性仍存在很大差别),其范围通常取决于盆地内高地区面积的大小,这里的高地区指的是上文中提到过的那些由凸出和凹陷边界划分出来的与低地区相区分的区域(图9.11a)。

步骤二

接下来的步骤就是限定土地利用的单元。土地利用单元是土地上的一种物质实体,用于确定开发的规模和大体构造,通常对开发具有最少的限制条件(图9.11b)。在这一框架之内,开发计划将得以评估,它们要么被彻底舍弃,要么被安排在一个合适的土地单元之内。要想达到预期的效果,我们还应该反复推敲不同活动项目的选址,例如,影响力强的活动就应该设置在具有林地缓冲带和渗透性土壤,并且远离陡坡和径流汇集区域的地块单元上。

指导原则

一般说来,对于小排水盆地,建议的场地选择和场地规划指导原则如下:
 (1) 尽量使雨水从场地流向集水区或河流的距离达到最大;
 (2) 通过降低暴雨雨水的径流速度使汇聚时间达到最大化;
 (3) 使每单位面积土地上的地表径流

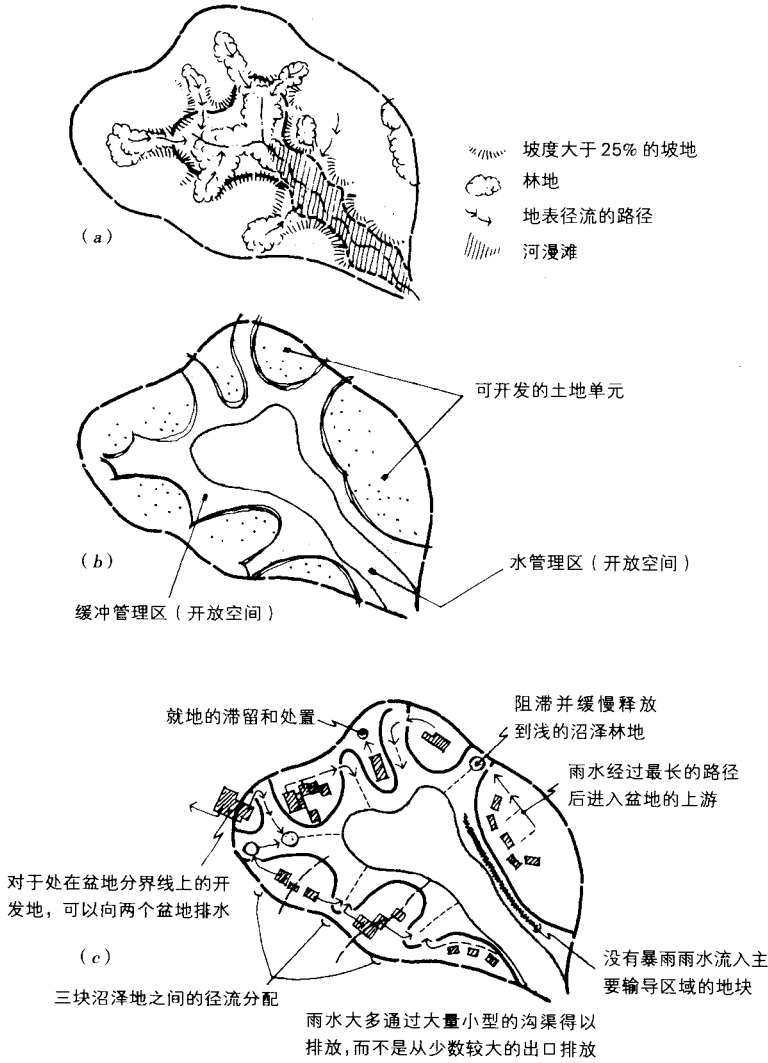


图9.11 小排水盆地土地利用规划的部分步骤图示: (a)三种类型的水文区域及各自的明显特征; (b)土地利用单元; (c)场地选择和场地规划方面的一些对策和指导原则

量达到最小值; (4) 利用或提供诸如林地和湿地之类的缓冲, 以保护集水区域和河流, 使其远离开发区域; (5) 使雨水绕开或者环绕关键性地形, 如陡坡、不稳固的土壤或是重要的生物栖息地 (图 9.11c)。

流域观念在墨西哥萨尔蒂约地区工业场地管理中的应用

杰克·古德罗 (Jack Goodnoe)

9.7 案例研究

随着工业运作从美国转移到墨西哥, 许多公司面临着定位和设计新式制造设备的挑战。但是不同于20世纪早期的工业场地规划和设计, 在部分场地

上,今天的操纵需要更多强有力的工程设备。在墨西哥的北部城市萨尔蒂约(Salttillo)的工业场地的情形正是如此:在那里通用汽车公司(General Motors)建立了一系列汽车制造工厂。不同于大多数在美国温暖、潮湿环境下设立的通用汽车公司设备,这一计划不仅需要高级制造系统,而且需要水资源和景观管理系统。

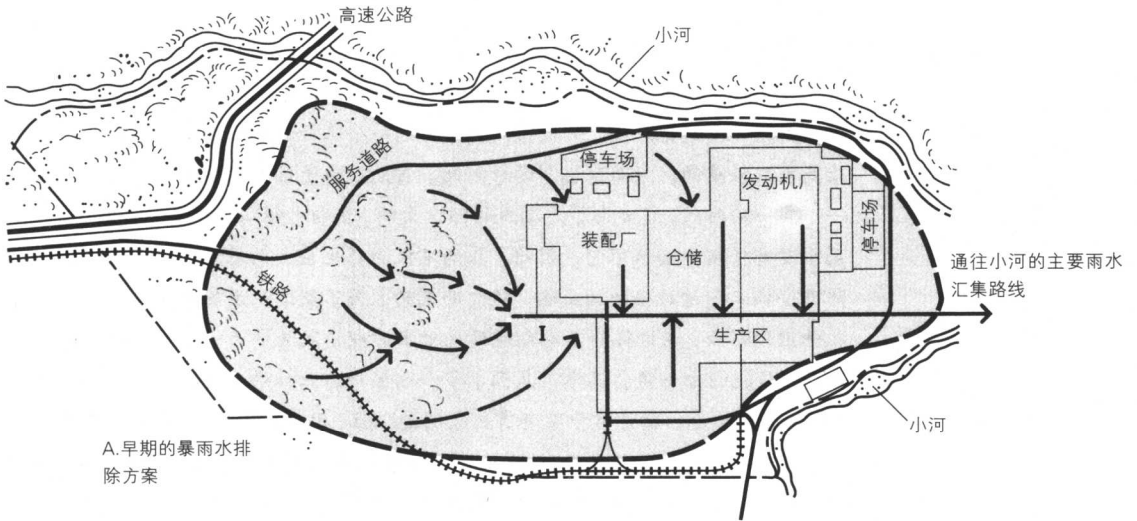
紧靠马德雷山脉(Sierra Madre Mountains)的萨尔蒂约峡谷是个不毛之地。每年的平均降水量大约为10英寸(25厘米),并且绝大部分都会被蒸发掉。因此,人们会认为,如果在该区域规划一个工业场地,雨水管理系统在此是无足轻重的。然而事实却远非如此。首先,由于每年大多数降雨发生在一个集中的时段,或者由于是剧烈的倾盆大雨,当雨水倾泻到这不毛之地时,几乎没有任何方法阻留它。因此,暴雨不仅会产生巨大的暴雨径流,而且会严重侵蚀不受植被保护的土壤。随之而来的,为了使工业设备免受洪水和沉积作用的影响,在这样的不毛之地设立雨水管理系统就成为一个至关重要的议题。传统的方法是将雨水汇集到水管和水渠中,正如供选择的可行性方案A所显示的那样,但是该方案具有极大的局限性,这是因为(1)该系统将雨水集中后会形成更大的水流,从而给下游带来更大的侵蚀和更大的洪水危害;(2)由于沉积作用,将会造成水管和水渠堵塞;(3)该地区的植物将失去维持生长不可或缺的水分。

假定要开发一个包括发动机厂、装配厂和管理性建筑(包括停车场和仓储用地在内大约要150英亩土地)在内的项目,为了满足多重目标需要,确定雨水管理和景观发展对策是极其必要的。具体内容归纳如下:

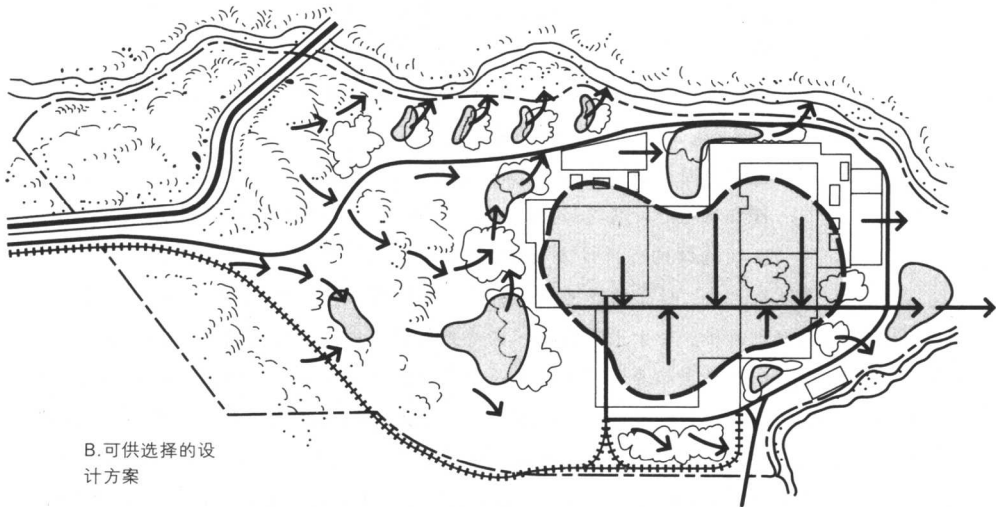
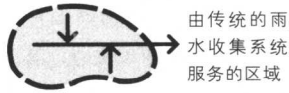
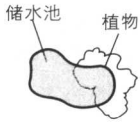
- 雨水径流和下游洪水;
- 损害加工生产并且卷走散落废料的灾难性现场洪水;
- 土壤侵蚀和水管、水渠以及河道的淤积;
- 空中飘浮的尘埃,不仅对人类健康造成威胁,而且对工业制冷所需的空气供给和汽车喷漆操作带来危害;
- 建筑底层基础建造和维护费用;
- 该场地严苛的工业特性,使它作为一道工业景观更具吸引力和可操纵性。

如供选择的可行性方案B所显示的,我们进行水资源管理和维持景观稳定性的方法,始于将场地视为数个小型汇水盆地,而不是当作一个完整的大流域来对待。由于上游排水流向生产区域,因此将径流分流,并且对源头进行控制是非常必要的,这也是一条主要的防御路线。依据这种方法,雨水系统将径流尽可能局限在靠近其起源点附近,从而阻止水流快速转移,并且在下游汇集起来。这种方法的好处在于,通过使水流变小以及加速雨水的就地渗透,减少了径流量和土壤侵蚀,从而减少了对雨水管道和灌溉系统的需求。由于工业场地的面积有550英亩之多,以及对开挖地基时获得的土壤的有效利用,我们有机会创立一些小型的汇水盆地,使得上游水流在到达中央生产地带之前就能够被截获。在每一个汇水盆地中,我们都设立了一个宽广的凹陷储水池。每一个汇水盆地和储水池共同构成一个“水管理单元”,也就是将部分土地加以设计,使得水、土壤、植物以及景观融为一体,并且最终成为一个容易管理,能够延续的次场地或景观单元。通过这种方式,场地被设

计成一系列独立的水管理单元，也就是围绕着一个微型的流域主题，用一个大型的景观设计方案对场地加以设计。



A. 早期的暴雨水排除方案



B. 可供选择的设计方案

每个单元或多或少都可以独立运作，从而用管道输送上游水流穿越场地中央的需求实际上也就不存在了。只有当大量雨水被滞留在凹陷储水池，并且渗入到土壤中后，暴雨流才会被允许溢流，而且将流水改道，流入到场地周边的小河中。制造业生产和设备被破坏的风险减小的原因在于：(1) 将雨

水系统分解成数个较小的排水单元（而不是像传统的雨水工程那样将它聚集成一个单独的大系统）；（2）减少雨水长距离迁移的需求；（3）在场地的中央地带，使水流改道，远离制造设备；（4）减少了场地较低处及其周边的破坏性水流的流量和频率。

凹陷储水池的形状近似于较浅的盆地（平均深度在0.5米至1.5米之间）。



这是选用可行性方案A，利用水管系统排除雨水流所形成的径流造成的后果。这个入水口位于靠近标志点I处

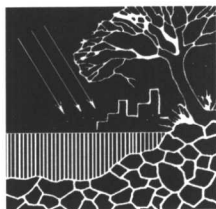
它们的规模小，设计简单，只需要简单的工程设计以及一般性的挖掘机，不需要专业水平就可完成。在这些单元的周围种有草丛和丛生的树木，如美国赤松（*Pinus resinosa*），这些物种只需要偶尔的水供给。通过在单元周边种植树木，对工业建筑和仓储庭院起到了屏蔽和柔化作用。此外，工人娱乐场所也被设计成能够滞留雨水，并且具备“自我灌溉”能力的“零消费”水管理系统。

这种将雨水管理和景观设计合为一体的设计策略创造出一种多功能的工业景观，在该景观中，水、土壤、植物和土地利用不仅能够互为补充，而且能够相互支持。就单个景观系统而言，这样有助于改善使用功能，提高成功率，同时可以分担费用，提升美学品质，减少环境和经济风险。另一方面，这一方案也表明对于工业场地管理系统而言，这一供选择的方案是行之有效的，人们不应该仅仅依靠传统的雨水和场地工程。最后，水管理单元的思路可以轻而易举地转化为场地管理规划。由于设计和操纵简单，水管理单元可以被传统操纵人员所使用和维护，他们能够轻松地掌握水管理单元的精髓，并且了解水管理单元作为一个整体是如何为场地提供服务的。

作者简介：杰克·古德罗（Jack Goodnoe），景观设计师，是密歇根州安阿伯市土地规划与设计委员会的首席设计师（Land Planning and Design, Ann Arbor, Michigan），擅长于用策略性的方法进行工业规划和景观设计。

9.8 推荐阅读文献

- Copeland, O. L. "Land Use and Ecological Factors in Relation to Sediment Yield." U.S. Department of Agriculture, *Misc. Publication 970*. Washington, DC, 1965. pp. 72-84.
- Dietrich, W. E., et al. "Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks, and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model." *The Journal of Geology* 101, 1993, pp. 259-278.
- Dunne, Thomas, and Leopold, L. B. "Drainage Basins." In *Water in Environmental Planning*. San Francisco: Freeman, 1978, pp. 493-505.
- Dunne, Thomas, Moore, T. R., and Taylor, C. H. "Recognition and Prediction of Runoff-Producing Zones in Humid Regions." *Hydrological Sciences Bulletin* 20: 3, 1975, pp. 305-327.
- Gregory, K. J., and Welling, D. E. *Drainage Basin Form and Process*. New York: Halsted Press, 1973.
- Horton, R. E. "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology." *Geological Society of America Bulletin* 56, 1945, pp. 275-370.
- Leopold, L. B. "Hydrology for Urban Land Planning—A Guidebook on the Effects of Urban Land Use." *U.S. Geological Survey Circular 554*, 1968.
- Leopold, L. B., and Miller, J. P. "Ephemeral Streams: Hydraulic Factors and Their Relation to the Drainage Net." *U.S. Geological Survey Professional Paper 282-A*, 1956.
- Meganck, Richard. *Multiple Use Management Plan, San Lorenzo Canyon* (summary). Organization of American States and Universidad Autonoma Agraria, 1981.
- Riggins, R. E., et al. (eds.). *Watershed Planning and Analysis in Action*. New York: American Society of Civil Engineers, 1990.
- Strahler, A. N. "Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks." In *Handbook of Applied Hydrology* (Van te Chow, ed.). New York: McGraw-Hill, 1964.



第 10 章 河川径流， 河谷和洪水危害

- 10.1 简介
- 10.2 河川径流的来源
- 10.3 河川径流量的预测方法
- 10.4 河谷及河漫滩的大小和形态
- 10.5 在土地规划中的应用
- 10.6 绘制河漫滩地图
- 10.7 案例研究 亚利桑那州北部，被森林覆盖的小流域的洪水风险和火灾影响
- 10.8 推荐阅读文献

10.1 简介

19世纪前,人们普遍认为,河流中的水流不可能是由降水造成的。因为假如这是事实的话,那么为什么不下雨的时候河流中依然有水流呢?并且人们还认为雨水不可能有河里的水流那么多,尤其是一些大的河流,如塞纳河和莱茵河。18世纪时,一个名为皮埃尔·佩罗(Pierre Perrault)的法国人决定通过比较塞纳河流域的降水量和河流水量来验证这一假设。结果发现,流域的年降水量居然有河水流量的7倍之多。

直到20世纪前,有关河水是如何进入河流以及什么因素控制着传输速度等问题依然令人迷惑。现在我们知道河流能够从许多源头获得水流——有的水量大,有的水量小;有的水流缓慢,有的水流湍急;有的水量不稳定,而有的是长年稳定地供水。而所有这些水流全都始于自然的降水。另外还有一些其他因素(包括我们在前面的章节中探讨过的许多人为的原因)会影响到水的性状以及水体流进河道的路径。有时,进入河道的水量会超过河流的承载量,从而导致洪灾的发生。

千百年来,洪水一直是人们经历中熟悉的一部分。在过去一个世纪的时间里,我们逐渐对洪水的自然特性及其形成机制有了相当的了解,但洪水引起的生命和财产损失却仍在不断上升。很显然,这一趋势的产生与全球人口的不断增长以及发展中国家人口不断向河谷、海岸以及城市聚集的趋势密切相关。当然,发达国家也不例外。在美国,洪灾已成为国家环境问题议事日程中的首要问题。美国有7%的土地处在受百年洪灾影响的河漫滩上,在20世纪,这些地区已成为最受欢迎的农村和城市发展用地。1980年,将近350万至550万英亩的河漫滩被开发为城市用地,包括6000多个容纳2500人或更多人口的社区。从那时开始,对河漫滩的开发利用以每年2%的速度增长。目前,被列为易受洪水危害的土地总数已经相当巨大。

国家对付洪水问题的传统办法是“用工程消除威胁”,联邦政府于1928年和1936年颁布了首个涉及防洪工程的法案——洪水控制法案(Flood Control Acts of 1928 and 1936)。以密西西比河为例,国会指派美国军事工程署(U.S. Army Corps of Engineers)负责,沿河流及其较大的支流修筑水库、大堤、沟渠和改道导流以防止洪水的损害。自20世纪30年代后期以来,仅仅美国军事工程署就在密西西比河流域上游修建了76座水库,修筑或加固了2200英里的大堤。而各地州和地方政府还在许多流域的上游修建了总共接近5800英里长的大堤。此外,在另一个联邦机构——即美国自然资源保护局(U.S. National Resources Conservation Service)的资助下,人们在密西西比河流域上游一些较小的支流上建造了3000多个水库。然而尽管采取了这些措施,自1900年以来,密西西比河及其他流域的洪水灾害依然不断攀升。在经历了令人震惊的20世纪90年代的大洪灾,特别是1993年密西西比河的洪灾和1997年红河(北达科他州/明尼苏达州)的洪灾之后,人们逐渐意识到仅仅依靠工程技术是无法解决这一严峻问题的,我们必须寻找新的出路。

10.2 河川径流的来源

排水量

河流运送河水的量被称为河流的排水量(discharge),它可以用一段时间内流经河流中某点(比如一座桥)的水的体积来衡量。在讲英语的国家,常用的单



图 10.1 河川径流的来源: 河道降雨、地表径流、地下径流和地下水(根据它们进入河道的先后次序排列)

位是“立方英尺/秒”(cubic feet per second, 缩写成“cfs”)。近年来,人们开始使用立方米取代立方英尺。但目前,后者仍然广泛应用于自然科学、工程技术和土地规划中。

排水量的来源

排水量有四种来源:河道降雨、地表径流、地下径流和地下水(图 10.1)。河道降雨是指直接降落在河道水面的水,在大多数河流中,这部分的水流量是极少的。事实上,地下水是河流排水量的主要来源。地下水从河道与地下水相切的地方进入河床,它在旱季和雨季都能供给河道稳定的水量,被称为**基本水流/基流**。由于地下水是河流能够获得的主要水源,而且降水对地下水的影响缓慢,基流量只在长时间尺度上发生变化。

地下径流是指渗进土壤的水,这些水历经地下水位上部区域的土壤,从侧面进入河道。大部分的地下径流是在土壤内部传导,还有一部分会沿土层水平移动。直到现在,人们对地下径流在河流水量中的地位仍不甚了解,实地调查研究表明,对处于林地中的河流而言,地下径流对河流水流量的贡献仅次于基流,是河流水量的重要来源。这一研究同时揭示,在森林覆盖率高的区域,地表径流对河流水量的供给是微不足道的(见图 8.6)。

暴雨水流

但是,在干旱地区、耕地和城市地区,地表径流通常是河流水流量的主要来源,这点对一些小河流而言尤其明显。**地表径流**是直接由降雨(或融雪)产生的径流。开始只是薄薄一层水流,极缓慢地在地表流动(通常小于0.25英尺/秒)。然而,在高强度的降雨下,如果缺乏粗糙地面、植被和吸收性土壤之类的屏障,地表径流就会迅猛增长,并且快速注入河道,导致水流量激增。城市地

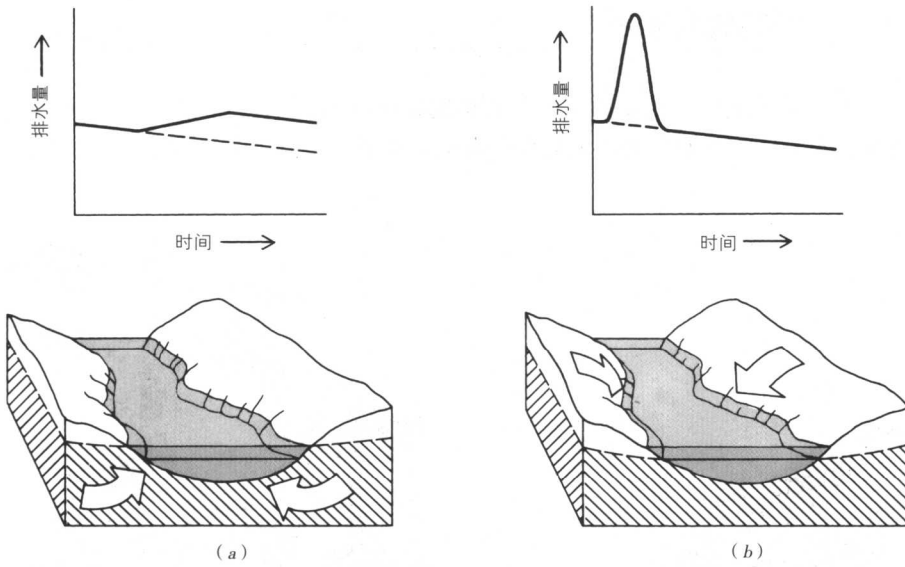


图 10.2 (a) 河流对长期稳定降雨的反应——地下水回灌，基本水流量增加；(b) 河流对急剧暴雨的反应，只是产生地表径流



图 10.3 1993 年密西西比河的洪水，该河有史以来最大的一次洪水，是春夏两季长期降雨的结果

区的降雨和河流水流量之间的反应时间最短，城市中的庭院排水沟、街道排水渠和雨水管汇集地表径流并迅速地排入河道。

地表径流、地下径流和地下水对河流水流总量的相对贡献会随着 (1) 降雨

影响径流的因素

的性质以及(2)排水盆地状况的不同发生显著改变,了解这一点是十分重要的。我们在第8章已经阐明,林中的空旷地和开发用地会逆转地表径流和渗透活动之间的自然平衡。此外,暴雨流的传导速度还会随着土地的开发利用而发生改变。因为原本缓慢流动的地表径流排水区面积减少,取而代之的是如沟渠、檐沟、明沟和雨水管等更迅捷的输导系统。伴随土地开发而来的地表径流流量增加,输导时间缩短,致使河流水流高峰的流量增加,更为频繁。

排放到河流中的水量和速度还会随着降雨强度和持续时间的不同而发生改变。小雨很少产生径流,但是,如果小雨一连持续很多天,大量的雨水渗入土壤也会导致基本水流量的增长(图10.2a)。因此,即使没有感觉到有地表径流的供给,水量也可能会增加。和上述情形形成鲜明对照的是由短促剧烈、降水强度远远超过土壤渗透能力的暴雨造成的河流水流量,其结果是迅速产生地表径流,并且河水量激增。如果这种情况发生在一个“发展迅速”的流域,也就是说,一个经过开发并且设置了纵横交织的人工排水系统的区域,暴雨流就会以最大的流速汇聚到河流中(图10.2b)。

1993年密西西比河的洪水

1993年密西西比河的洪水,是该河流有史以来最大的一次洪水,由春夏两季高强度、持续时间长的降雨造成。最初,雨水浸透了流域上游超过300000平方英里的土地,这极大地降低了土壤的渗水能力,使得土壤只有极小的或根本没有蓄水的能力。由于降雨持续不断,地表的洼地、湿地、池塘、沟渠和农田蓄满了地表径流和雨水。由于土地不再具有蓄水能力,迫使富余的降雨流入支流河道,进而汇入密西西比河。将近一个多月的时间里,从数百条支流汇入密西西比河的总水量超出了密西西比河的承载能力,致使河水溢出河堤,流入临近的河漫滩(图10.3)。而在某些地区,洪水被人工修筑的大堤阻塞,不能溢流入大部分河漫滩,因此这些地区的洪水水位被抬升得更高。

10.3 河川径流量的预测方法

单位流量过程
曲线图法

如果一条河流的排水面积相对较小,而且没有排水量记录,我们必须利用推理的方法对排水量进行估算(参见第8章)。但是,如果一条河流有按时间顺序记载的排水量记录,我们就能够利用水位曲线图对某一特定暴雨的排水量进行短期预测。这种方法要绘制出一段时间内流域的排水量图以流域及其河流对暴雨的响应情况反映,被称为单位流量曲线图法。该方法只是针对特定暴雨在特定时段内产生的径流,反映暴雨后河流河水上涨、达到高峰然后下降的时间。一旦降雨与径流之间的关系建立起来,那么降雨数据就可以用来预测给定暴雨下的河水流量,这种给定暴雨被称为标准暴雨。标准暴雨是指已知其大小和频率的高强度暴雨。一种对单位水位曲线图进行分析的方法,是统计每小时或每天的河流水流量的增加量与总径流量的百分比。依照这些数据绘制图表,就形成了一场特定暴雨的单元水位曲线图,表示增加到雨前基本水流量中的径流量(图10.4)。

然而,该方法通常很难用于一些较大型排水盆地,因为在一个大排水盆地中,如俄亥俄(Ohio)、哈得孙(Hudson)、或哥伦比亚(Columbia),各个组成部分的差异极大。当与雨量分布联系起来时,这种差异便更为明显,因为单独的一场雨很少均匀覆盖一个大型的排水盆地。因此,对于一场特定的暴雨,盆地

水流时间段	总水流量	暴雨流量
0-12小时	63m ³ /s	6m ³ /s
12-24	192	127
24-36	1065	991
36-48	1101	1019
48-60	714	623
60-72	453	354
72-84	275	170
84-96	194	85
96-108	144	28

高峰流量 = 1253; 在第 36 小时的流量为 1175

水流时间段	占总流量的百分比
0-12小时	0.2%
12-24	3.6
24-36	29.0
36-48	29.8
48-60	18.3
60-72	10.3
72-84	5.0
84-96	2.4
96-100	0.8

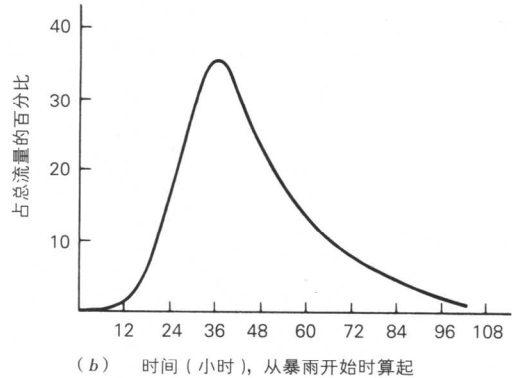
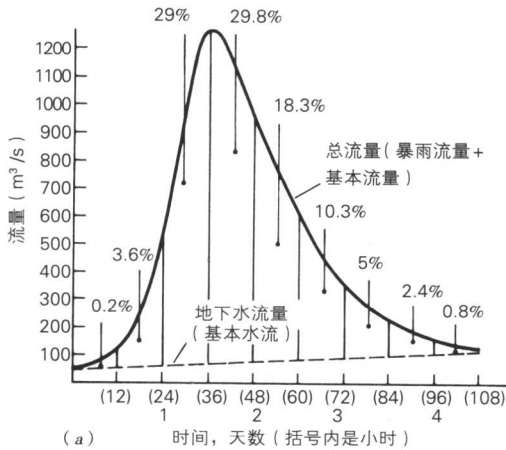
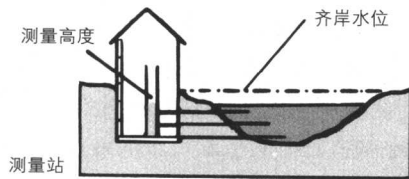


图 10.4 约克盖尼 (Youghiogheny) 河 (位于宾夕法尼亚和西弗吉尼亚的边界附近) 最上游部分的单位流量过程曲线图。河流水流量表示为与总流量的百分比于。河川径流量 (a) 表示成总流量 (b) 的百分比

不能简单地被视作一个单元, 使得绘制可靠的单位流量曲线图变得十分困难。在这种情况下, 我们转而借助幅度和频率法, 即根据过去历年的水流记录计算出大型水流复发的概率。在美国, 大多数江河和大河流的数据资料由美国地质测量局水文分部 (Hydrological Division of the U.S. Geological Survey) 保留着。对于一个面积达到或超过 5000 平方英里的盆地而言, 我们可以选取河流系统中的五到十处地点进行定点测量。而在每一个测量点获取的数据被用于该点上游的那部分区域。

幅度和频率法



由于我们主要关注的是最大水流量, 因此对于大多数河流而言, 人们都记录下了年度高峰水流量。借助一些统计技术, 我们可以利用这些水流量数据, 确定某一特定水流量在该河流中复发的概率。从每一个测量站可以获取的关键性数据包括:

- 年度高峰水流量: 一年内最大的一次水流量 (单位, 立方英尺 / 秒)。
- 年度高峰水流量发生日期: 年度高峰水流量发生年月。

- 测量高度: 水面距离河道底部的高度。
- 齐岸水位: 河流漫溢到与堤岸齐平时的测量高度。

以下步骤告诉我们如何计算年度高峰水流量复发的时间间隔和概率:

- 第一步, 将河流水流量按从高到低的次序排列, 也就是从最大数值排列到最小数值。对于规模大小相同的情况, 把时间较早的排在前面。
- 第二步, 确定每一种水流量复发的时间间隔

$$t_r = \frac{n+1}{m}$$

式中

t_r = 复发的间隔年限;

n = 水流量总数;

m = 根据第一步得出的水流量等级。

- 第三步, 确定任一水流量的复发概率 (p)

$$p = \frac{1}{t_r}$$

计算的结果会是一个小数, 如 0.5, 可以将其与 100 相乘转换成百分数 (50%)。

■此外, 了解什么时候会产生高峰水流也十分有用; 相应地, 依据年度高峰水流量发生的日期, 可以确定每月发生高峰水流的频率。而且, 把每一次水流的水位高度与测量点的齐岸水位进行比较, 可以得出真正导致洪水发生的年度高峰水流的百分比, 也就是说, 任一超越齐岸水位的水流都被看作洪水。

如果给定一条河流几十年内的年度高峰排水量, 就可以对这段时间内没有出现过的的一些大流量进行某种程度上的预测。这一技术应用极其广泛, 它是将年度高峰排水量与各自复发的时间间隔相对应, 标绘出投影点而形成的一条预测曲线。但是, 在大多数情况下, 曲线的弯曲度会相当大, 这就使得绘图时很难使用所有的点作出精确的预测 (图 10.5)。这一问题可以通过将排水量或者复发时间间隔标绘在对数坐标纸或对数/概率纸上得以解决。一旦采取这种标绘法, 穿越这些点就可以画出一条直线。进行预测的过程很简单, 只需要将直线

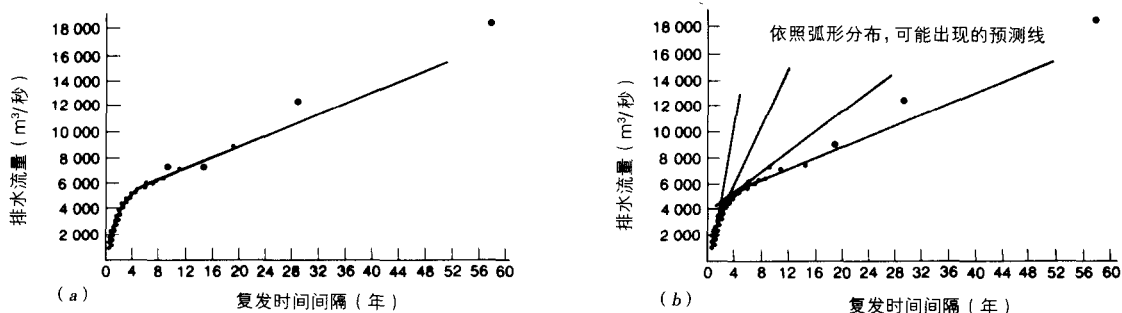


图 10.5 (a) 1911-1969 年间, 依据加利福尼亚伊尔河 (Eel River) 的复发时间间隔和年度高峰水流量绘制的预测曲线图; (b) 这幅图表明为什么不可能依据点的弧形分布标绘出一条直线

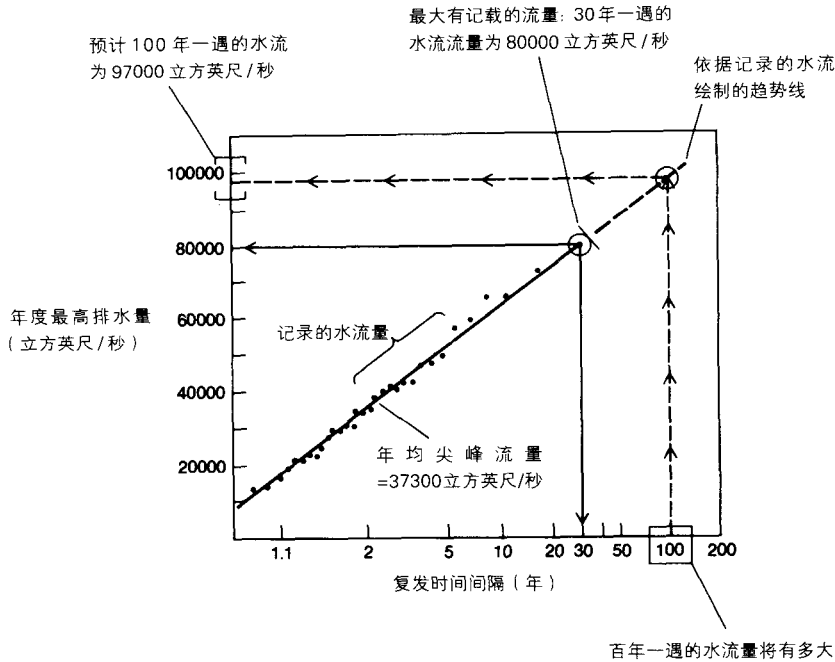


图 10.6 依据华盛顿州的斯凯科米什河 (Skykomish River at Gold Bar, Washington) 的排水量分布绘制的直线图。现在就可以对超出 30 年一次的最大水流量进行估算了

延长, 然后读取设定的复发时间间隔的相应水流量就可以了。在图 10.6 中, 由于在复发时间间隔轴 (水平轴) 上采用对数比例, 使得曲线变直。记录只涉及 30 年一遇的水流量, 但是我们能够从图中推算出 100 年一遇的最大水流量大小。如图 10.6 所示, 假定 100 年一遇 (或者更长时间) 的最大水流量并没有在 30 年一遇的记录中提及, 那么我们可以将曲线延伸到 30 年的结果之外, 然后读取出 100 年一遇的结果, 其水流量为 97000 立方英尺/秒。这一数值表示的是与百年一遇的水流量最接近的值。

依据排水量记录对河流水流量进行预测, 对于在河谷内和周边区域制订土地利用规划, 修筑桥梁、建筑和高速公路用处极大。然而另一方面, 这种预测技术还有几个明显的局限因素。第一, 与河流流动的总时间相比, 资料记录的年限极其短暂, 因此, 我们进行预测所凭借的基础仅仅是河流活动的一个瞬间。对于一条有资料记录的河流而言, 例如, 1900-2000 年这个时间段内, 没有任何资料可以确定 100 年一遇的事件不会在这段时期内发生。第二, 在美国北部的大部分地区, 由于城市和农业开发、林业生产及矿业开采, 流域已经发生了很大程度的改变, 对许多河流而言, 目前的排水量记录和几十年前相比意义已经截然不同。第三, 许多地区的气候发生变化了。如靠近大都市的区域, 在 50 年或 100 年的时间里, 气候的变化大到足以对径流产生相当大的改变。所有这些因素综合起来, 表明基于以往水流量的趋势图所做的预测, 只能看作是未来水流量的近似值。为了取得最大的可信度, 对未来结果的预测应该被限制在距记录年限不太远的时间段内, 例如, 未来 50 年、100 年或是 200 年。

预测的局限

10.4 河谷及河漫滩的大小与形态

不相称河流的
概念

对洪水的分析和预测还需要对河谷地貌有透彻地了解。因为河谷的大小、形态和地形会影响洪水的分配、运动和强度。一般说来,河谷由占据它们的河流冲蚀而成,并且遵循大河流在大河谷流动,小河流在小河谷流动的规律。不过也有一些例外,被称为不相称的河流,它们专指那些相对其河谷而言要么太大或要么太小的河流,例如,中纬度地区的河流在最后一次冰河作用时期,曾经承载巨大的水流并冲蚀出宽广的河谷,然而在今天,它们只承载相当小的水流了。但是,我们遇到的多数河流,特别是那些在农村和未开发景观中的河流,或多或少都是与其河谷规模相适应的。

然而,在已开发的景观中,尤其是城市或周边地区,许多河流已经变得不适合其河谷的规模。城市河流的暴雨负荷(一些农村也同样如此)使高峰水流的流量和频率发生了很大的变化,以至于这些河流经常表现得如同更大的河流。这不仅使得洪水事件变得更加频繁,同时,由于这种情形经常发生在相对较小的河谷中,就使得水位变得更高,也就是说,洪水变得更深而超过河谷地面了。当河流水流量超过河道承载能力的时候,水流就会进入河谷地面。这时河谷或多或少就起到一个巨大河道的作用。漫溢到河谷地面上的洪水高度,主要由河谷的大小和形状决定。如果河谷宽广,水流在广阔范围内散播开来只有薄薄一层;但是如果河谷很狭窄,水流就会汇集成厚厚一层,就像我们在前面提到的,沿密西西比河修筑的大堤,减小了河流的有效河谷面积,约束并且提升了1993年的洪水水位。在圣路易斯,密西西比河河道的宽度1849年为4300英尺,而现在却只剩下1900英尺。

河谷大小与形态

河谷的形成包括两个必要的地貌学过程:下切加深和侧切增宽。下切通常产生V形河谷,在河流水道与河谷壁之间,只有很少的或没有平地或河漫滩,V形河谷是许多上游河流和处在山地地形中河流的典型特征。在一些极端的例子中,河谷是如此的轮廓鲜明,以至于同河流连为一体,在地形上没有任何中

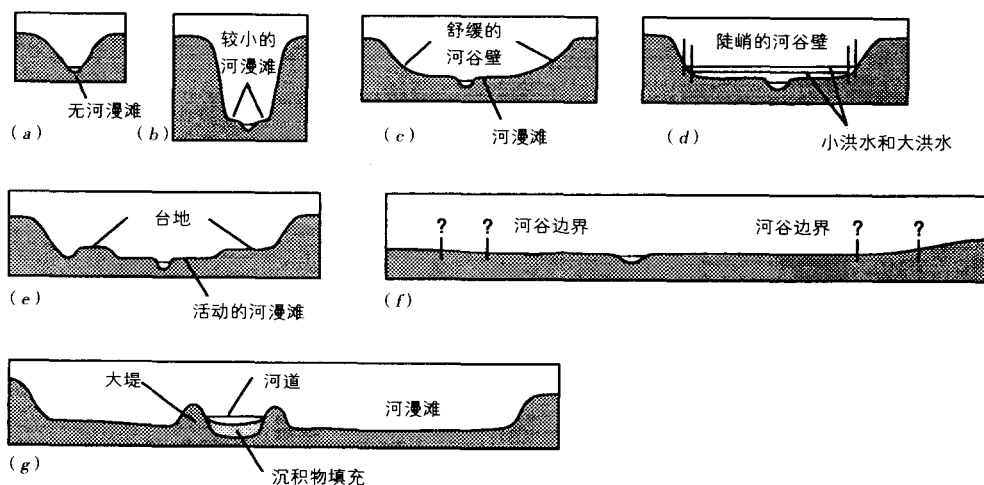


图 10.7 河谷和河漫滩的基本形态及其同洪水的关系

断(图 10.7a)。但是,许多河流的河谷,即使是那些处在深邃的大峡谷中的河流,其河谷地面上都有一块平地,或者河漫滩(图 10.7b)。这种河谷内包含流水道,并且河流会在其中改变其运动轨迹,侵蚀和淤积沉积物,塑造土壤和生物栖息地,并同洪水一起泛滥到河漫滩。这些过程及其相关的特性,对于我们理解泛洪的原动力十分有帮助,它们是河漫滩多样性地形景观的组成部分,我们将在后面的第 14 章做更详细的探讨。

除了 V 形河谷和拥有小块河漫滩的峡谷外,还有另外五种基本的河谷形态。如果我们把 V 形河谷加宽,就会形成 U 形河谷(图 10.7c)。这种河谷拥有中央河道和河道两侧平缓的地面,舒缓的斜坡构成平地的边界,并一直向上延伸至陡峭的河谷壁。其中,舒缓的斜坡由各种各样的沉积物构成,例如一些小支流以及山崩和泥石流碎石构成的冲积扇。如果河谷壁较矮并更耐冲刷,或河流一直与河谷壁接触,这类舒缓的斜坡便不再存在。这时河谷更像长方形,并且具有更加笔直而陡峭的河谷壁(图 10.7d)。

台地式河谷有一块高于河谷地面的“长凳状”区域(图 10.7e)。通常当河道和河谷地面都在河谷中的较高高度的时候,以前河漫滩的残留部分就构成了台地。台地一般会紧邻河谷壁,沿河谷两边分布。但是,在现代的河漫滩中,台地偶尔也会以一块孤立地(岛屿)的形式存在。当然,台地比较不容易遭受洪水危害,如果足够大的话,也是很具吸引力的居住地。

具有宽广、平坦的河漫滩却没有明显的河谷壁,这是许多穿越低地的河流的典型特征,如海岸平原(图 10.7f)。这类河谷最适于用水文学而不是地貌学的特性来描述,因为与地形上的特征相比,不同洪水蔓延的地域大小更能反映出其独特的地貌特征。事实上,对于洪水管理而言,了解河谷内部的堤坝、台地、漫滩沼泽以及其他一些特征比仅仅区分出河谷的边界地显得更具重要意义。大约占密西西比河三分之一的较低处的河谷(被称为河湾的地区)是这类平坦型河谷的最佳实例。其他许多河流,包括特里尼蒂河、红河、汤比格比河以及萨凡纳河,在穿越海湾和大西洋海岸平原的时候,也表现出这类水文学特征。

无疑,最危险的河谷或河漫滩是我们称之为“倒置型”的类型。在这类河谷中,河床处于或者高出河谷地面,河水被自然的或修筑的堤坝围住(图 10.7g)。这种倒置状况,是由于沉积物在河道中叠加累积而形成的,造成这种情形的原因很多,包括流域上游严重的土壤侵蚀。这种类型的河流并不多见,在密西西比河较低处位于河湾的部分就属于这一类,在那里支流流域与主河道平行。可能最极端的例子就是中国的黄河,抬升的河道危险地高矗在河漫滩之上,对居住在河漫滩区域内的数百万人民造成极大的威胁,因为在洪水的压力下,限制性的堤坝很可能会对此无能为力。

10.5 在土地规划中的应用

20 世纪以来,美国和加拿大由于洪水造成的财产损失明显增加(图 10.8)。为了抑制这种趋势,对河流及江河水文特性的进一步了解显得很有必要。这不仅仅需要将河流总排水体系与大部分河谷地区联系起来,而且还要考虑河道两侧河漫滩的面积和高度、支流的水流量、河谷的制约性因素如桥梁、堤坝或自

V 形河谷和 U 形河谷

宽广、平坦的河谷

水流量与地形的联系

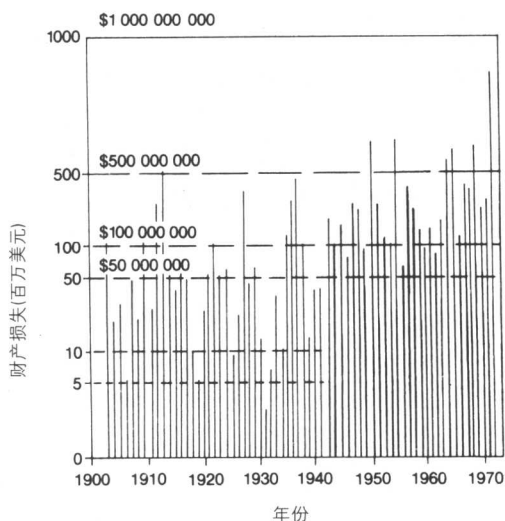


图 10.8 美国 70 年来由于洪水而造成的财产损失 (以百万美元为单位) (数据来源于美国国家气象局)

然狭道的改变等。在分析一条河流发生洪水灾害的潜在危害时，首先需要先将某一特定排水量转换成水平（海拔）高度的形式，然后把这一水流的海拔高度与河谷地形联系起来（图 10.9a）。通过这种方式，我们能够确定什么地方会被淹没，什么地方不会被淹没。该过程需要精确的排水量、地形数据资料，以及对河道现状的了解。并且后者在计算水流速度时是必不可少的，河道现状是确定河流不同河段水流海拔高度的基础，也就是说，对于某一特定排水流而言，确定它能够超出河道堤岸的高度。

然而为了规划的目标，我们通常既没有足够的时间，也没有足够的金钱来为此作详尽的分析，因此我们只能借助现有的地形图和排水量数据资料，对不同频率水流的蔓延范围做一个最近似的估算。这种估算的精确性，不仅取决于可靠的数据资料，并且还取决于河谷的形态。在河谷壁从河漫滩上陡然升起的那些地方，洪水的范围通常很容易界定，正如图 10.7d 中的剖面图所示。再如图 10.9b 所示，由于河谷所具有的盒状外形，在这里，25 年或 100 年一遇的洪水的蔓延范围几乎没有什么不同。但是，如果在河流流经宽广低地的地方，这个问题就会变得十分复杂。确定 25 年、50 年和 100 年一遇的洪水各自不同的蔓延范围，成为一件让人茫然无措的事（图 10.9b）。

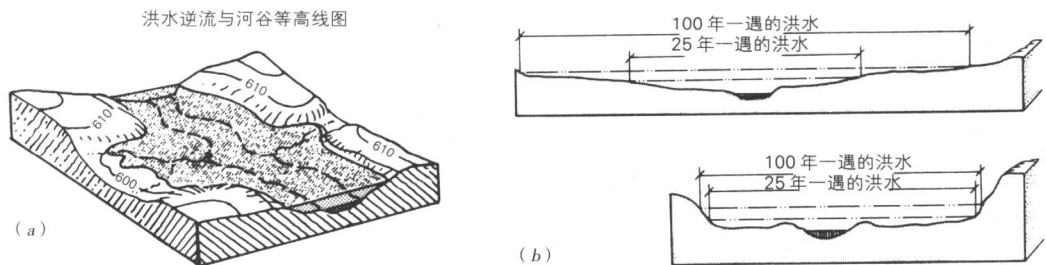


图 10.9 (a) 洪水逆流与河谷等高线的联系；(b) 河谷形态对 25 年及 100 年一遇洪水蔓延范围的影响

美国国家洪水保险计划 (U. S. National Flood Insurance Program) 是以百年一遇洪水所需的“河漫滩”为基础制定的。在大多数地区,这一区域的边界是通过将排水量数据、水流海拔高度与河流河谷的地形联系起来确定的。按照这一计划,实际上限定出了两大区域:(1)常规分洪区,是河漫滩上最低的部分,用来疏导流量较小而频率较高的洪水;(2)分洪边缘区,处在常规分洪区的外侧,是受百年一遇洪水轻度淹没的区域。位于常规分洪区内的建筑物不具有受洪水保险计划保护的权力,而对那些处在分洪边缘区的建筑物,该计划会提供适宜的安全保障,即建立一系列的洪水保护设施(图 10.10)。制定洪水保险计划的本意是作为一项管理措施以限制河漫滩区域的土地开发,然而事实上,它却起了相反的作用,并且以提供政府安全保障作为交换,为建筑物增加某些“洪水防护处理”措施,如加高基础和使用防水剂等,刺激了在分洪边缘区的开发。实践表明,这些洪水防护处理措施,对于阻止真正大洪水的破坏仍然是无能为力的,当然,分洪边缘区发生真正大洪水的事实是不可避免的。

为限制河漫滩的土地开发,人们还制定了一些其他的管理措施:例如制定区域限制法规以阻止对易受影响的土地的利用,颁布教育大纲以提醒未来的居住者们河谷会造成的危害。就那些已经被大量开发的河流谷地而言,对易受洪水危害区域的重新安置,以及减小危害性河流流量的大小是减小危害的仅有办法。由于重新安置的花费高昂并且会带来一些社会问题,因此决策者们习惯性的选择是借助减少水流和控制洪水的方法来减小危害。这就需要采取构造上的(工程性的)改变以限制水流,如修筑水库、疏浚河道、转移流向以及建设堤坝(大堤)等。然而所有这些都是花费高昂,并破坏环境的。而且对大洪水而言,某些措施已经被证明反而会增加当地洪水的规模和危害。不过值得安慰的是,由于高昂的建筑费用、更加严厉的环境法规,以及日益增长的对公众义务

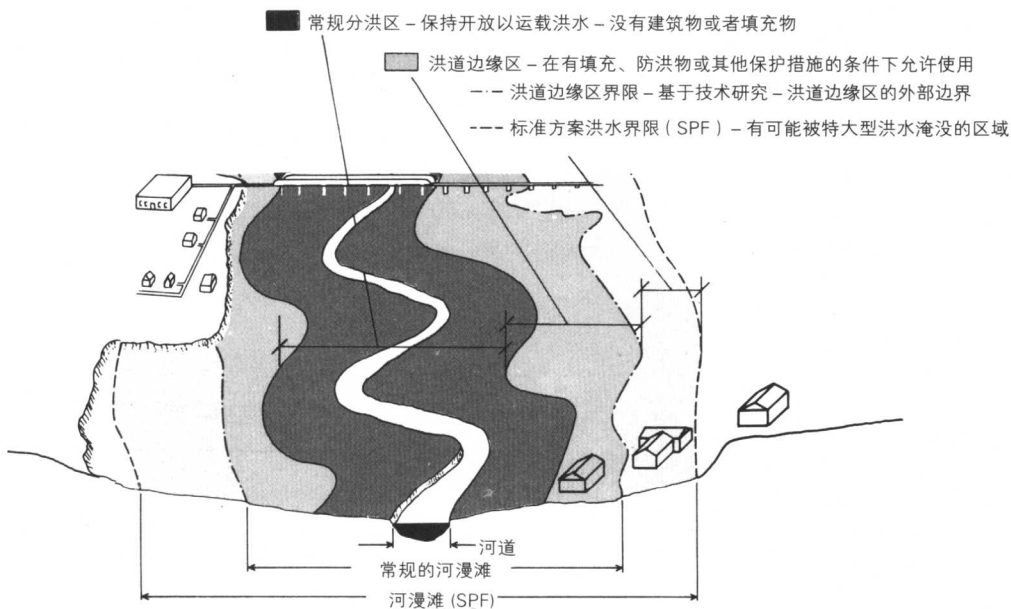


图 10.10 按照美国国家洪水保险计划规定的常规分洪区和洪道边缘区

的忧虑, 目前公众事务机构正制定越来越多的重新安置法规和其他各种非建筑性的纲领以应对洪水问题。

风险管理

风险管理措施的制定为解决问题提供了更大的选择余地, 并为传统措施提供了补充方法。首先, 这一措施承认了洪水的不可避免性, 以及洪水对河漫滩和海岸地区所造成的危害。风险管理规划致力于制定相应的方案, 以使破坏程度、财产灾害和生命损失减小到最低限度。这些方案包括关于预防灾害的公众信息计划、早期预警系统, 疏散方案, 以及一些为灾后重建而制定的方案和纲领。

10.6 绘制河漫滩地图

小溪流河谷

许多河流由于太小而不具备设立官方测量观测站的条件, 然而在当地的土地利用规划中, 它们仍应受到足够的重视。与这类河流相邻的社区, 不仅迫切需要关于洪水危害的资料, 还需要了解河谷其他方面的特性, 这些资料对规划决策是十分重要的。一般需要考虑的因素包括: 土壤作为地基和建筑物基础的适宜性, 掩埋式垃圾处理场和废水处理设施的选址, 湿地在河漫滩环境中的作用, 以及林地和野生生物栖息地的分布状况。大部分信息能够从已出版的原始资料中获得, 特别是地形等高线图、航拍图片和土壤图。

河漫滩的重要性

从规划的观点看, 在河谷的众多特性中, 河漫滩占据着最重要的地位。其一, 除河道自身外, 河漫滩通常是河谷中最低的部分, 因而也是最容易发生洪水泛滥的地方; 其二, 河漫滩土壤的排水性能通常十分的差, 这是由于此处的地下水位靠近地表, 并且河漫滩常常会被洪水浸透; 其三, 河漫滩的形成, 是由于河谷中的河流向侧面迁移、不断侵蚀和沉积共同作用的结果。因此, 河漫滩的边界可以被看作是淤积土边界的指示物。这些特征是绘制河漫滩地图时的关键参考特性 (图 10.11)。

河漫滩绘图标准

河漫滩边界可通过以下四种途径描绘出来, 按照 (1) 地形、(2) 植被、(3) 土壤和 (4) 以前洪水的蔓延范围。如果河谷壁的高度变化显著, 足以标注上两条或两条以上的等高线, 那么我们就可以利用地形等高线图来描绘河

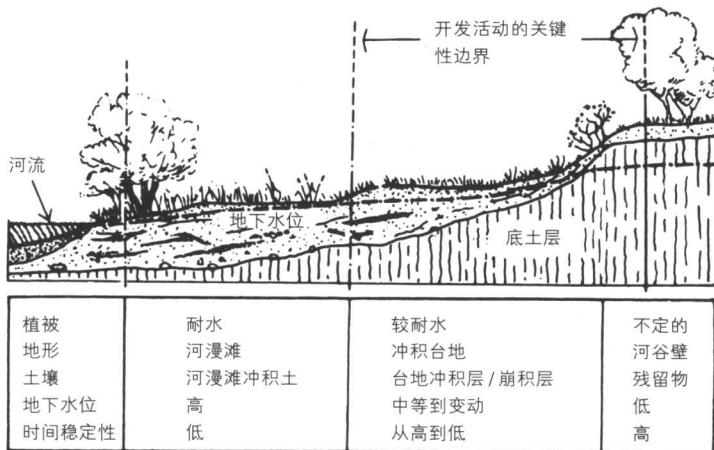


图 10.11 图示明确阐释了从河漫滩到河谷壁范围内地形、土壤、排水和植被显著变化的状况

漫滩的边界。但是，如果河谷壁的高度变化不显著，等高线图中只有一条等高线落在其中，或者整个河谷壁干脆落在两条等高线之间，那么，对野外观测者来说，即使谷壁具有显著的地形特征，也是无法依据等高线图描绘出河漫滩边界的。当遇到后一种情形时，我们可以借助航拍图来描绘这一特征。利用标准的立体视镜来看，地形特征会被明显夸大。因此，在许多情况下，对河谷特性的识别就变成一件相对简单的事情。

数据来源

同时，航拍图还有助于我们了解河漫滩、湿润地区的植被以及该处的土地利用方式。在大草原上和较大的农业区，如大平原地区和玉米带*地区，江河的河漫滩通常由林地形成廊道划定其边界。与此类似，在森林覆盖的区域，河漫滩与非河漫滩区域上的覆被植物，会在植物的种类及构成上有明显的不同，一旦了解了这些不同之处，我们就能实现对河漫滩的判别（河漫滩上的生物栖息地和植被会在第 14 章的 14.7 节进行探讨）。

植被和土地利用

因为河流的河漫滩由河流沉积物构成，因此河漫滩处的土壤具有与邻近高地土壤截然不同的特性。它们通常被美国国家资源保护局 [U. S. National Resources Conservation Service (NRCS)] 的研究报告描绘成地下水位高，有季节性的洪泛，并且构成成分多样化的土壤类型。因此，NRCS 编绘的土壤图也可以被用来确定河漫滩边界。但是，在利用这些图纸的时候，有一点必须留意，因为 NRCS 在绘制不同土壤类型的边界时，所做的大多数决定是以地形、植被和土地利用方式为基础的。因此，我们必须意识到一点——依据 NRCS 的土壤边界确定的河漫滩，以及与凭借观测到的植被、地形和土地利用情况确定的河漫滩，两者之间存在着一定的互补关系。

土壤

最后，河漫滩的边界还可以根据以前洪水的蔓延范围给予确定。以前洪水的证据可以从直接观察员那里获得，这些直接观察员能够根据与洪水紧密联系

过去的洪水蔓延痕迹

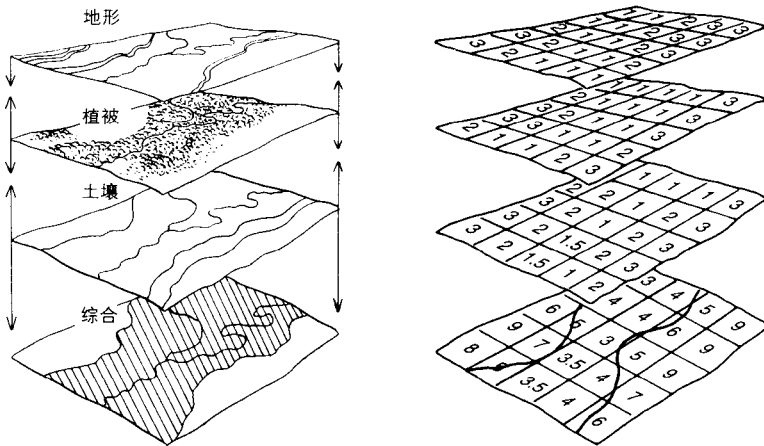


图 10.12 图层叠加技术的简要示意图。左图，显示具有不同潜在特性的图层；右图，用数值的形式表示出各类特性的土地利用适宜性程度

*美国中部的一农业区，定在艾奥瓦州和伊利诺伊州，也包括印第安纳州、明尼苏达州、南达科他州、内布拉斯加州、堪萨斯州和俄亥俄州的部分地区。此区的主要产品是玉米和食玉米的家禽。——译者注

的一些现象(如围栏上的有机物残体和路上的沉积物)推断出景观中曾经出现过的水平面高度。此外,植被也能够起到良好的指示作用,如由于冰雪或洪水淹没而在树干上留下的伤痕,以及部分被埋没的树木等,它们都是十分有用的证据(见图14.12)。不难理解,这种方法通常需要广泛的实地考察,包括与当地居民的交流以及徒步穿越灌木丛生的低洼地。

图的综合

图层叠加技术是一种最常用于对资料进行综合整理的方法。尽管这一技术长时间以来为地理学家所用,但是在近几十年中,为了在多组数据中解决一些复杂的空间安排问题,景观设计师和规划师对这一技术进行了极大的改进。在一幅叠加图中,人们需要根据土地利用的适宜性程度,将景观中每一类组成成分(植被、排水、土壤等等)分成不同的利用等级,并赋予数值进行定量。然后将所有的组成成分进行综合,计算出数值的总和,其结果被用于描绘具有不同开发利用潜力的地区或区域(图10.12)。然而值得注意的是,不要给这一数字结果附加太多的含义,因为这些数值并不具有本质上的数量关系,而仅仅是指定土地性质等级的粗略数字。GIS技术是绘制河漫滩地图最为理想的方式。然而,同手工操作一样,你会遇到一些同样的难题,如数据的获取、数据的可靠性以及如何为各类特性赋值的问题。

10.7 案例研究

亚利桑那州北部,被森林覆盖的小流域的洪水风险和火灾影响

查利·施林格(Charlie Schlinger), 科里·赫尔顿(Cory Helton), 吉姆·亚内切克(Jim Janecek)

建造了大型土坝的下游社区面临着大规模洪水的潜在威胁。事实上,由于土坝失效所带来的灾难性洪水,例如1889年宾夕法尼亚州琼斯敦(Jonestown)的“雨天”(rainy day)的洪水,以及1976年“旱天”(sunny day)蒂顿(Teton)大坝的失效,都使立法者和管理者的注意力集中到应付最坏情况的方案上来。虽然这些方案所防御的灾情发生概率极小,但是没有人愿意承担一旦发生时的可怕后果。

除了大坝失效所带来的洪水灾害之外,许多地区还面临着罕见的高密度暴雨可能导致严重洪水泛滥的风险。对那些干旱和半干旱地区短暂存在的河道而言,它们的耐受期限极其短暂,一场“转瞬即逝”的高强度暴雨产生的暴雨流量会迅速达到河道的高峰流量。对许多不熟悉水文学过程的人来说,这好像是不可思议的。为了使事情更富有趣味性,火灾对流域的影响能够更夸张地反映出这些河流系统的“瞬时效应”,并且会大大增加河流的高峰流量,尤其是当流域经历低强度到中等强度降雨时更为鲜明。高强度的大火不仅会灭绝吸水性植被,而且会改变土壤结构,产生一种被称为“疏水性”的现象,即地表成为高度不透水表面,使得地表径流迅速汇集起来。对筑有土坝的流域而言,要使它们能够成功抵御潜在的洪水危害和森林大火的影响,

需要一种策略，不仅要考虑堤坝必须具有可靠的工程结构，还要考虑到流域和河道自身的现状。

布莱克峡谷湖 (Black Canyon Lake) 水库及其流域占据了 5.6 平方英里土地，位于亚利桑那州中北部的莫戈永缘 (Mogollon Rim) 之上，是一处偏远而半干旱的长满美国黄松 (Ponderosa Pine) 的山地。该水坝接近 80 英尺高，建于 20 世纪 60 年代早期，有 1580 立方英尺的容量。下游位于亚利桑那州的希伯 (Heber) 社区，该社区总人口有 2500 人，部分占据了河漫滩地区。布莱克峡谷大坝的失效对希伯社区是灾难性的。因此，当 2002 年夏天，Rodeo-Chedski fire 火烧掉布莱克峡谷流域的大部分地区时，管理机构的设立就提上了议事日程。在这场大火中，大约 84% 的流域面积受到火灾的影响，25% 的流域受到毁灭性灾害 (见图 A)。

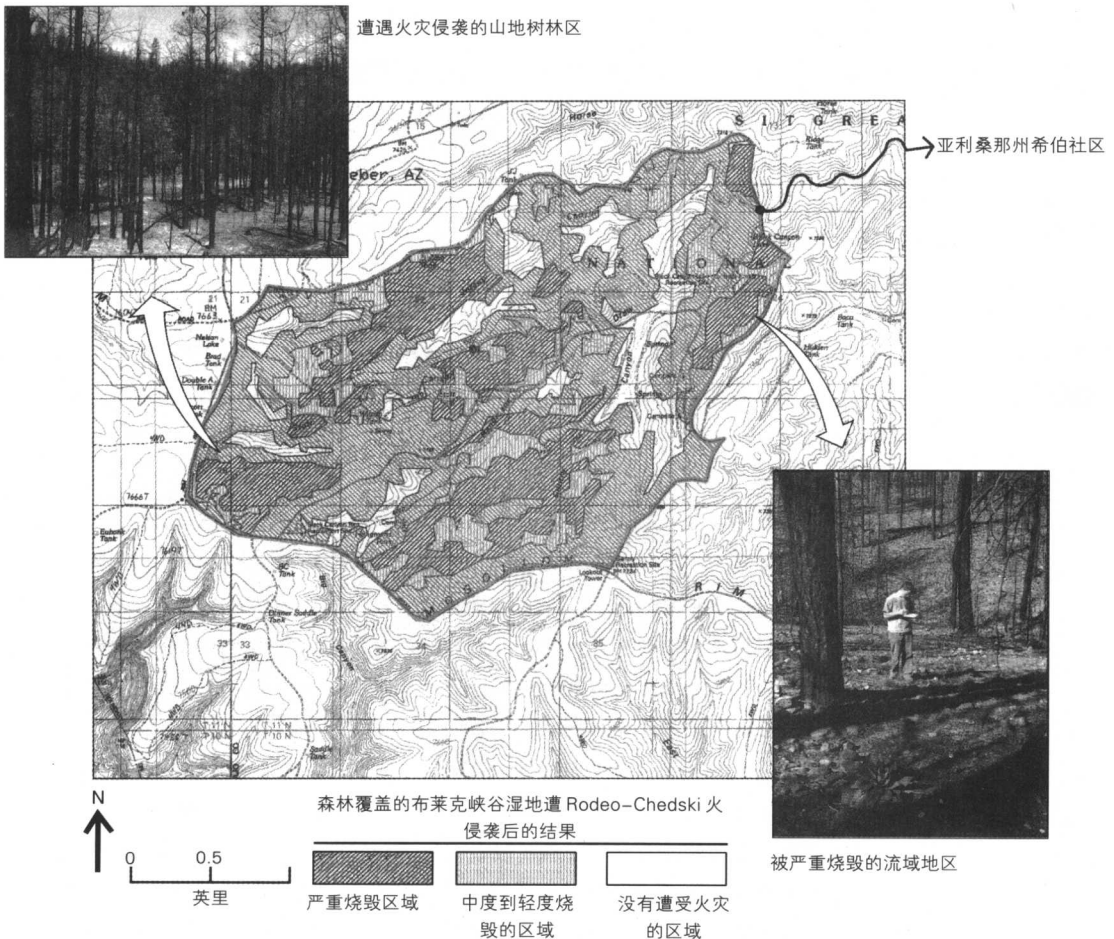
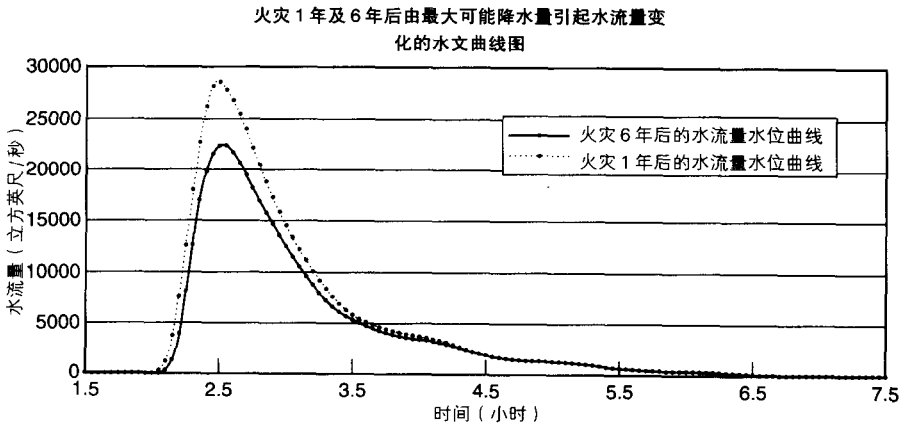


图 A

布莱克峡谷大坝由亚利桑那州水资源部门管理 (Arizona State Department of Water Resources)。为了避免布莱克峡谷大坝失效对下游的威胁，该部门规定了水库和泄洪道能够容纳的最大可能洪峰值 (PMF)。最大可能洪峰值

(PMF)源自假想的最大可能降雨情形,也就是最大可能降水量(PMP)。因此,当最大可能洪峰值(PMF)发生时,土坝的漫溢将会导致土坝的灾难性失效;与此同时,下游洪水波的蔓延,不仅受最大可能洪峰值(PMF)的影响,而且据推测,还受到水库中将近1600立方英尺的水库水的影响。

据估测,6小时暴雨的最大可能降水量(PMP)大约为10.4英寸,而其中5.5英寸是由暴雨中途15分钟的降水形成的。布莱克峡谷的泄洪道当初设计时所考虑的百年一遇的6小时暴风雨的降水量为4.5英寸,比估测的最大可能降水量要少得多。根据美国国家资源保护中心(US Natural Resources and Conservation Service)所提出的单元水位曲线法,以及一个多重盆地模型(该模型可以用来计算其他流域参数的燃烧和空间的变化程度),水流量的投影可以用来计算最大可能降水量(PMP)。对于表示火灾一年后的恢复程度的流域情况而言,高峰流量的估测值为28000立方英尺/秒。对于表示火灾6年后的



图B 反映流域在火灾1年及6年后水流量变化情况的水文曲线图,表明流域水流量与流域植被状况密切相关

恢复程度的流域情状况而言,流量的估测值的变化范围是5500-22500立方英尺/秒(见图B所示的较低曲线)。

对于2年一遇或25年一遇的暴风雨而言,建立一个考虑到各种细节的水文模型通常是很重要的,该模型是把整个流域分解为多个集水区。然而,这对于最大可能降水量来说还是不够的。火灾对流域流量的影响可以被考虑到极致,特别是对一些小流域和低-循环-间隔的暴风雨而言尤其重要。但是,下层植被(草和灌木)和表层土壤从火灾中恢复过来大概需要5至10年的时间。最终的考虑就是最大可能降水量(PMF)对土壤类型和植被状况不是极度敏感。但是,对流量却十分敏感。

为了控制由最大可能降水量(PMF)产生的水流量,需要对水坝或者流域做出一定的改变。对布莱克峡谷大坝所做的改变包括:通过提升大坝高度来增加储水量;通过扩宽泄洪道或者降低泄洪道高度来增加排水容量;通过加固土坝的方式,保证漫溢水流漫过堤坝也不会造成严重的危害,或者,对

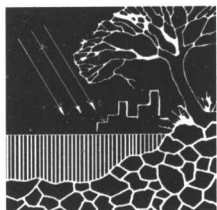
上述三个方案加以综合。

最后,正如上面所显示的那样,虽然对最大可能降水量(PMF)的研究结果常常导致将注意力集中到结构修补上来,但流域和森林现状应受到同等的重视。对于森林覆盖的流域进行管理可以减少其遭受灾害性火灾的风险,进而能够缓和最大可能降水量(PMF)进行评估时极端保守的要求,从而减少进行结构修补时所需的数量和费用。

作者简介: 查理·施林格(Charlie Schlinger),一位进行城市和环境工程研究的副教授;吉姆·亚内切克(Jim Janecek),一位水文学家,他们就职于北亚利桑那州立大学进行水资源管理问题的研究。科里·赫尔顿(Cory Helton),乔恩·福勒水文集地理公司(Jon Fuller Hydrology & Geomorphology, Inc)的一名工程师。

10.8 推荐阅读文献

- Bhowmik, N. G., et al. *The 1993 Flood on the Mississippi River in Illinois* (Miscellaneous Publication 151). Champaign: Illinois State Water Supply Survey, 1994.
- Burby, Raymond J., and French, S. P. "Coping with Floods: The Land Use Management Paradox." *Journal of the American Planning Association* 47:3, 1981, pp. 289-300.
- Dunne, Thomas, and Leopold, Luna B. "Calculation of Flood Hazard." In *Water in Environmental Planning*. San Francisco: Freeman, 1978, pp. 279-391.
- Glassheim, Eliot, "Fear and Loathing in North Dakota." *Natural Hazards Observer*, 21:6, 1997, pp. 1-4.
- Interagency Floodplain Management Review Committee. *Sharing the Challenge: Floodplain Management into the 21st Century*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1994.
- Kochel, R. Craig, and Baker, Victor R. "Paleoflood Hydrology." *Science* 215:4531, 1982, pp. 353-361.
- Linsley, R. K. "Flood Estimates: How Good Are They?" *Water Resources Research*, 22:9, 1986, pp. 1595-1645.
- Natural Hazards Research and Applications Information Center. *Floodplain Management in the United States: An Assessment Report*. Boulder: University of Colorado, 1992.
- Platt, R. H. "Metropolitan Flood Loss Reduction Through Regional Special Districts." *Journal of the American Planning Association* 52:4, 1986, pp. 467-479.
- Rahn, Perry H. "Lessons Learned from the June 9, 1972, Flood in Rapid City, South Dakota." *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 12:2, 1975, pp. 83-97.
- Schneider, William J., and Goddard, J. E. "Extent of Development of Urban Flood Plains." *U.S. Geological Survey Circular 601-J*, 1974.
- Thompson, A., and Clayton, J. "The Role of Geomorphology in Flood Risk Assessment". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Paper 12771, 2002, pp. 25-29.
- White, Gilbert F. *Flood Hazard in the United States: A Research Reassessment*. Boulder: University of Colorado, Institute of Behavior Science, 1975.
- Wolman, M. Gordon, "Evaluating Alternative Techniques for Floodplain Mapping." *Water Resources Research* 7, 1971, pp. 1383-1392.



第 11 章

水质， 径流和土地利用

- 11.1 简介
- 11.2 水体污染物类型、污染源和衡量标准
- 11.3 暴雨、土地利用和水质
- 11.4 陆地上的水质缓解方法
- 11.5 水体富营养化
- 11.6 湖泊营养物负荷及土地利用
- 11.7 小流域的水质管理规划
- 11.8 案例研究 威斯康星州德拉文湖附近一处人工湿地滞留沉积物和营养物的效率研究
- 11.9 推荐阅读文献

11.1 简介

近三十年来,湖泊和河流的水质问题一直是美国和加拿大关注的焦点。两国分别制定了一系列复杂的法令,以求实现全国范围的污染控制计划。美国在过去的30年中就颁布了好几项重要的法令。如1972年的水体污染控制法案(The Water Pollution Control Act of 1972),现已经过修订并更名为清洁水法案(Clean Water Act),法案的目的在于为需要新建或有待改进的污水处理设备提供联邦基金。这一举措减少了美国内陆和沿海水体中的大肠菌及营养物质的浓度,以及水体中有机物质的生物耗氧量(BOD, biological oxygen demand)。另外,由于现在的汽车改用无铅汽油,因此也降低了水体中铅的含量。

然而,尽管清洁水法案的贯彻执行在水体保护方面取得了相当的进展,但美国地表水的总体质量仍然没有达到预期的水平。许多城市排放的污水仍然没有得到完好的处理。当雨季来临时,污水处理厂就会超负荷运作,依赖下水道溢流系统的1000多个社区,包括相当数量的大城市,会把未经处理的污水从雨水管直接排放到河流、湖泊和海洋中。由于牵涉高昂的造价(据估计建造每英里排污管要花费将近2000万美元),因此这些城市不愿意为污水建造独立的排放系统。

另外,在暴雨雨水的管理方面,尽管比起10年或20年前,我们对这一问题的理解进步了许多,但取得的进展却依然十分小。随着经济的发展和人口的增长,暴雨量也在大幅度增长。在美国的大多数地区,来自农业和城市地区暴雨水源中的生物耗氧量(BOD)负荷大大增加,抵消了通过改善市政和工业的污水处理设施而取得的进展。此外,暴雨还是导致水体中氮、磷、沉淀物和氯化物等物质增加的原因之一。其中,氮含量的增长应主要归咎于农业中肥料的大量使用;同时,沉淀物含量的增加也与农业有密切联系;而道路除冰(多是通过撒盐的方法)则是导致水体中氯化物含量增加的主要原因。

11.2 水体污染物类型、污染源和衡量标准

按照不同的分类标准,水体污染物能够按照不同方式进行分类,这包括环境影响、对人体健康的影响、污染源类型和污染物构成等。在此,我们根据水体中污染物对环境和人体健康的影响将它们分为以下八种类型:

- **耗氧废物** 指存在于污水和其他有机废物中的有机化合物。当它们通过化学和生物过程被分解时,就会消耗水中可利用的供给鱼和其他水生动物生命活动的氧气。生物耗氧量(BOD)是这种形式水污染的最常用衡量标准。

水污染物的类型

- **植物营养物** 是指可溶于水的营养物质(如磷和氮)。它们能够加快水生植物的生长,致使这些植物有机残骸在水体中的积聚,增加生物耗氧量(BOD)并且导致河流、湖泊等水体中某些生物的消亡。

- **沉积物** 指那些来自农业、城市和其他土地利用中侵蚀形成的土壤和灰尘微粒。它们导致水体浑浊,覆盖水底的生物体、消除某些水生生命形态,并且还有可能阻断河流水道,堵塞水供给系统。

- **致病生物** 主要是指与动物和人类有联系的寄生物如细菌、病毒、原生动

物以及寄生虫。如果进入饮用水, 就会引发一些疾病, 如痢疾、肝炎和霍乱等。

- **有毒矿物质和无机化合物** 指来自工业或各种工艺过程的物质如重金属(例如铅、汞)、纤维(如石棉)和一些酸性物质。它们会对水生动物造成伤害, 也给人类带来包括一些癌症在内的许多疾病。

- **合成的有机物化合物** 包括一些可溶于水的物质(如洗涤剂 and 杀虫剂)及不溶于水的物质(如利用有机化学制造出来的塑料和石油残渣)。它们会对动物和人类产生各种不同的影响, 包括肾功能紊乱, 生育能力下降, 并且有可能引发癌症。

- **放射性污染物** 指那些在商业和军事的核能制造过程中附带生成的能产生射线(可以导致突变)的物质, 会导致癌症发生。

- **热排放** 主要从发电厂和工业设备排放出来的热水, 会造成物种改变, 并且加快许多水生生物的生长速度。

描述水污染的来源有两种传统方式: 一种是依据导致污染物产生的活动, 另一种是依据污染物排放到环境中的方式。后者又包括两种类型, 通常被称为点源和非点源。点源污染是指来自特定源头的污染, 通常是一种设施, 并且是从一个已知的排放点或出口释放出来, 一般需要通过管道和水沟。目前, 主要的点源包括市政污水管系统、工业和发电厂。虽然点源污染物十分严重, 但现在, 美国和加拿大量河流的污染物主要来自非点源。

非点源污染表现为空间上的分散, 通常没有特定的来源, 污染物是通过不同的渠道从许多点排放到环境中去的。在城市和农村, 暴雨雨水是非点源污染的一个主要来源。它们产生于各种不同土地利用方式的地区, 通常会包括大面积的土地, 并且沿着河道、滨水带从不计其数的地点流入河流、湖泊和其他水体。可以说, 在绝大多数地方, 农业生产活动是产生非点源污染的“主要贡献者”, 其中, 沉积物是主要的污染物。另外值得一提的是, 地理分布范围最广泛的非点源污染是来自大气的微尘回降过程(包括干、湿两种形式)。

一般而言, 暴雨雨水污染系统包括以下三个主要组成部分: (1) 场地内污染物的产生, 接着是 (2) 污染物从产生点的转移, 最后终止于 (3) 污染物的传输并进入河流、湖泊或湿地。污染物的产生表示的是由土地利用而产生的污染物数量和类型。例如, 在街道和高速公路上, 汽车和卡车是主要的污染物制造者(如燃料油、石油和废弃的轮胎), 其生成量直接与交通状况联系在一起。转移的完成主要靠径流, 道路中间较高, 水可以快速的流到两边, 携带污染物汇集到道路两旁的排水沟中。传输是指将来自道路两边的暴雨雨水用水管和下水道的形式沿着一定的线路排放到河流和水体中(图 11.1)。了解这一系统非常重要, 因为它是一个基本的框架体系, 而规划和管理活动就发生在该框架内。

为了描述和分析水污染问题, 我们必须制定一个标准来衡量污染的程度。对大多数污染物来讲, 如沉积物、植物营养物等, 我们一般是首先将其从水中分离出来, 然后计算一定体积水中所含污染物的总和或是分别计算出各种成分的含量, 通常用百万分之几(ppm)作单位。应用更广泛的一种度量单位是每升毫克数, 每升毫克数是指 1 升水中污染物质的重量, 用 mg/l 表示。尽管两者

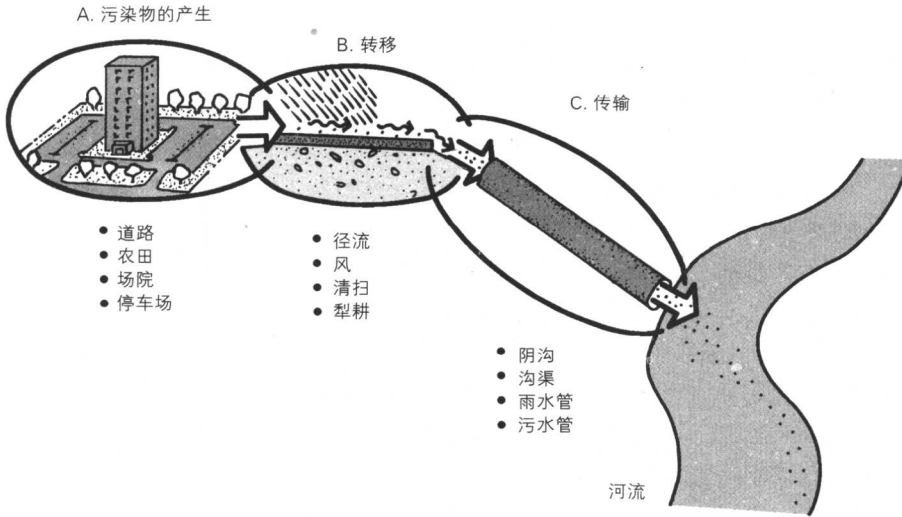


图 11.1 暴雨污染系统的三个部分：产生、转移、传输

单位不同，但是 ppm 和 mg/l 的基本意义是相同的，并且两者都是表示污染浓度的标准度量单位。

为了理解污染的数据，我们有必要对污染物浓度和总污染物负荷量或排放量的概念进行区分。其中，**污染物浓度**是指某一时刻水体中污染物的含量，如在污染排放期内，一般用 ppm 或 mg/l 作为度量标准。该浓度会随河水流量和污染物排放量的变化而变化：当水量大时，污染物被稀释，则浓度低；当污染物多而水量小时浓度就增高。**污染物负荷量**是指一定时期内（比如一年）增加到河流中的污染物总排放量。与污染物浓度不同的是，污染物负荷量的大小与河流水量的多少无关。

浓度和负荷

在大多数情况下，当衡量水体污染的问题时，通常我们首先需要确定待测污染物在河流中的背景浓度。因为河水在自然状态下就会含有许多被人们看作是污染物的物质（如沉积物、氮以及某些重金属）。对于那些以沉积物为主要污染源的河流，其沉积物背景浓度就很难确定，这是因为自然条件下，水体中沉积物的浓度就会随着水流量的改变而发生波动，因此我们在确定背景浓度时往往需要大量的取样分析。但是，如果从污染源来的沉积物已经存在的话，情况又会怎样呢？事实上，我们没有精确确定背景浓度的方法。因此，对于能够在自然条件下产生的污染物，其背景浓度常常只是一个估算值，而对于那些只可能是人为制造出来的物质（如合成的有机化合物等），它们并不自然地存在于环境中，因此严格地说，我们能检测到的任何浓度都表示构成了污染。

污染物的背景浓度

作为环境控制的一部分，由暴雨所引发的水质问题日益受到更多的关注。大多数市政当局都认识到建设暴雨滞留盆地的重要性，它们将有助于减少径流中的沉积物和一些其他的污染物。美国环境保护署（EPA）最近实施了一系列有关暴雨管理的条例和方针，其中规定了在**国家污染物排放消除系统**（National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES）管理下的污染物许可规范。NPDES主要是针对水体中的点源污染，同时也包括遭污染的暴雨水，比如来自工业区由管道释放的暴雨水。1987年，这一规范包括的范围进一步扩大到了人

NPDE 系统

口超过10万的社区,要求这些社区的暴雨管理系统必须获得NPDES的批准。然而遗憾的是,尽管农业是水体污染的一个重要来源,但至今为止却仍然不受到暴雨法规的限制。

11.3 暴雨、土地利用和水质

城市和乡村的
非点源污染

在水质和土地利用的相互关系中,第一个重要问题在于城市和乡村土地利用之间的平衡。这不是一个能简单回答的问题,普遍的一个答案是在城市和乡村中暴雨污染的程度都很大。以BOD作为判断标准,据估计(1)美国35%的流域中,城市中非点污染源(主要是暴雨)的污染多于点污染源的污染,同时(2)在54%的流域中,农业非点污染源(也主要是暴雨)的污染也要多于点污染源的污染。与现代的污水处理设施排放出的水流中的BOD浓度相比,暴雨中BOD污染物的浓度通常与之相当或稍大一些,但是,由于陆地上暴雨流量过于“巨大”,因此使得来自暴雨中的总负荷量可能要比来自点源污染的负荷量大许多。

与汽车的联系

在此,我们关注的主要是城市暴雨,这包括了暴雨与汽车之间的相互关系。自20世纪20年代以来,城市暴雨污染的上升就或多或少地呈现出一种与城市的发展和汽车的使用量相平行的趋势。在美国,仅仅75年的时间里,汽车的使用量增长接近2亿。从1970年至1995年,美国人每年行驶的总英里数增加了2倍多,从1970年的1.1万亿英里增至1995年的2.25万亿英里。如今,为汽车铺设了多达100万多英里的铺装路面以及不计其数的停车场、车道、车库和其他硬质路面(图11.2)。

由于具有不透水的表面,这些设施导致大量暴雨雨水径流的产生,径流中包含了許多由汽车带来的污染物——如燃料油、油漆、铅、有机化合物和许多其他残余物等。现在,每年从街道、高速路、停车场和工业区冲洗下来的石油残渣的数量,已经远远超过来自全世界范围内油轮和驳船的总泄漏量。1950年至1980年间,美国高速公路上盐的施用量增加了12倍。在春季径流期间高速公路的排水中,盐的含量可能比淡水中盐的自然含量高出100倍。由于我们没有像要求开发(土地利用)规划人员一样地要求交通规划人员,因此直到今天,他们仍然沿用传统的、最迅捷、最俭省的工程实践方法,被污染的暴雨在没有经过任何处理的情况下,被直接排放到河流和其他水体之中。

与土地利用
密度关系

在城市地区,暴雨污染负荷随土地利用密度的增加而增加(图11.3)。土地利用密度的大小以地表覆盖的不透水材料的百分比来衡量,能够反映出与污染物产生相关的活动的程度,如汽车交通、溢出物、泄漏物、大气微粒回降和每英亩或每公顷垃圾等;同时该密度值还能够反映出暴雨径流冲洗地表的效率,在高建筑密度的区域,该值几乎达到100%。在此,有必要解释一下“第一冲刷水流”的概念,我们通常把承载有最大量污染物的暴雨水流称之为第一冲刷水流,由于污染最严重的暴雨水流产生在第一场半英寸左右的暴雨,因此有“第一”之称。

尽管不透水地表是污染负荷最重要的指示物,但它并不是导致暴雨污染的直接原因。实际上,与不透水地表相联系的土地利用活动的数量和类型才是污

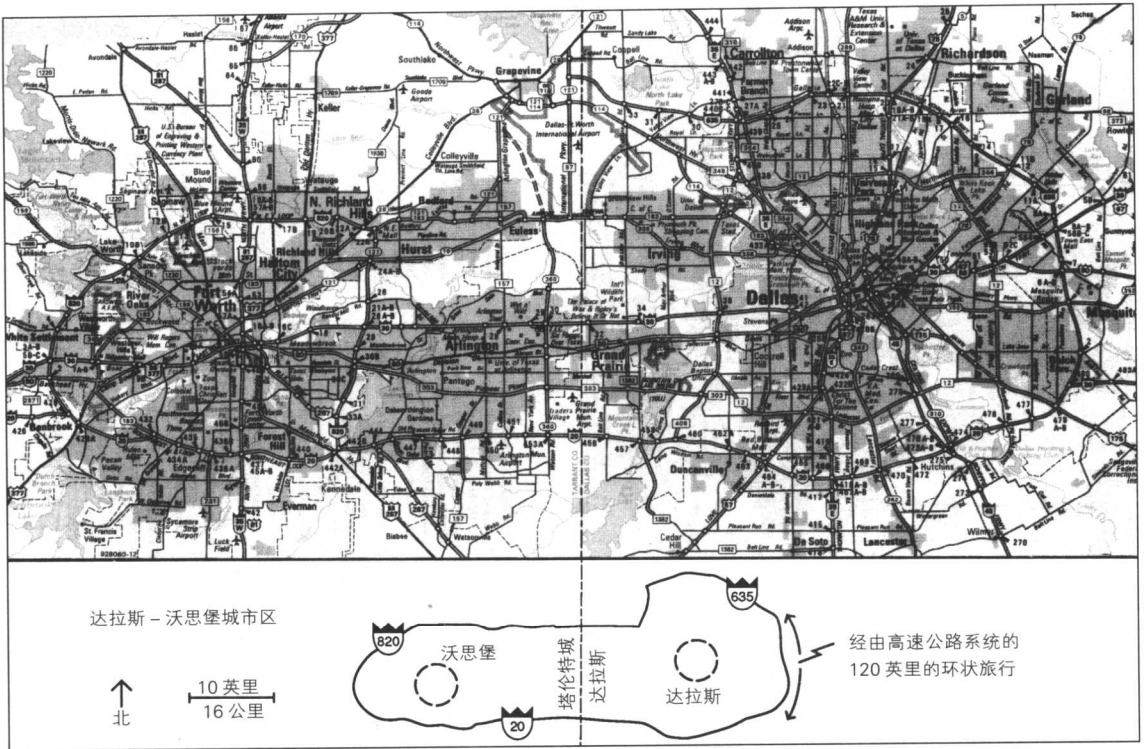


图 11.2 这是从达拉斯 (Dallas) 到沃思堡 (Fort Worth) 城区的高速公路系统, 绝大多数大城市的高速公路系统都是与之相似的。如果将城市街道增加到这一系统中, 道路密度会增加 2 倍多

染物的真正来源, 例如, 商业活动、汽车交通、空气污染、垃圾的产生。因此除土地利用密度外, 土地利用的其他表现形式同样可作为衡量水体中污染物负荷多少的指标。例如, 每英亩土地上的居住单元或每英亩土地的总人口数, 如表 11.1 中的数据所示, 居住区的污染负荷随每英亩土地上的居住单元和人口数的增加而增加。了解这一点对于规划而言非常重要, 同时, 不同密度水平下每人的负荷率或居住单元的负荷率也是同样重要的。

表 11.1 由居住开发导致的年暴雨雨水中的污染负荷

密度	磷 ^a (每人负荷率)	氮 ^a (每人负荷率)	铅 ^a (每人负荷率)	锌 ^a (每人负荷率)	沉积物 ^b (每人负荷率)
0.5 单元 / 英亩 (1.25 人 / 英亩)	0.8 (0.64)	6.2 (4.96)	0.14 (0.11)	0.17 (0.14)	0.09 (0.07)
1.0 单元 / 英亩 (2.5 人 / 英亩)	0.8 (0.32)	6.7 (2.68)	0.17 (0.07)	0.20 (0.08)	0.11 (0.04)
2.0 单元 / 英亩 (5 人 / 英亩)	0.9 (0.18)	7.7 (1.54)	0.25 (0.05)	0.25 (0.05)	0.14 (0.03)
10.0 单元 / 英亩 (25 人 / 英亩)	1.5 (0.06)	12.1 (0.48)	0.88 (0.04)	0.50 (0.06)	0.27 (0.01)

a——每年每英亩磅数;

b——每年每英亩吨数。

资料来源:《城市非点源污染管理策略手册》, 北弗吉尼亚地区计划编制委员会, 1979 年。
(*Guidebook for Screening Urban Nonpoint Pollution Management Strategies*, Northern Virginia Planning District Commission, 1979.)

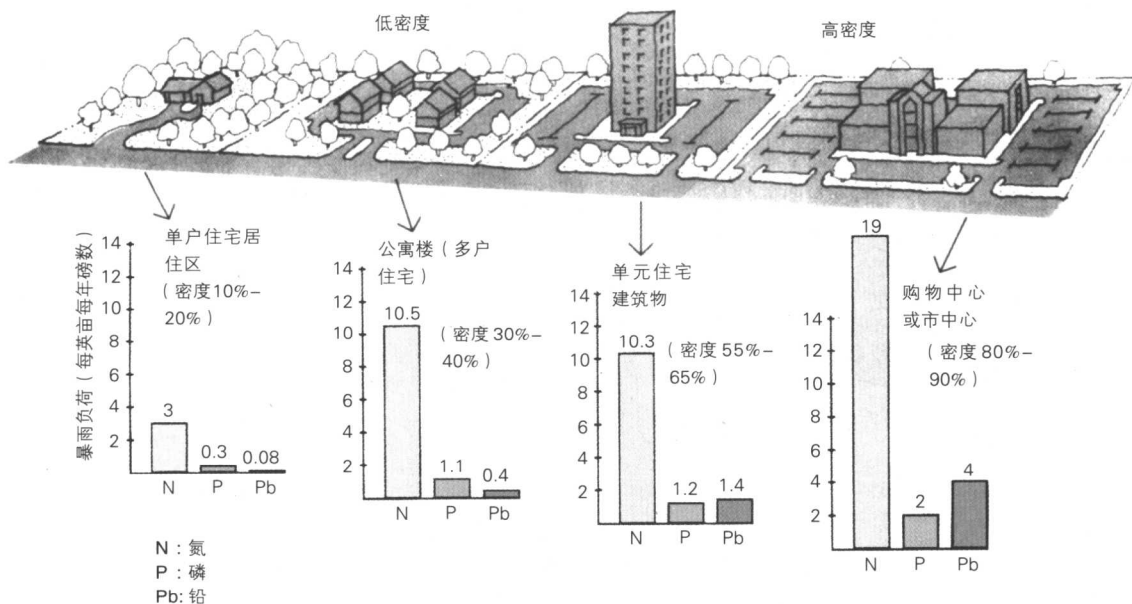


图 11.3 城市地区土地利用密度与暴雨雨水中污染物含量之间的相互关系。污染物负荷随着土地利用密度的增加而增加(从郊区边缘到市中心)

人均负荷比率, 即人均的雨水污染量, 实际上是随居住密度增加而减少的。为举例说明, 我们且考虑每英亩居住单元密度分别为 0.5 户、2.0 户和 10 户时的情形: 每英亩土地 0.5 户住宅 (2 英亩每户) 的密度与每英亩 1.25 个人大致相当, 那么每人每年磷负荷比率为 0.64 磅 (用表 11.1 中数据 0.8 除以 1.25 人得出, 后面的依此类推), 铅为 0.11 磅 (即 0.14/1.25); 当密度为每英亩 2 户住宅时 (0.5 英亩每户), 每人每年磷负荷比率为 0.18 磅, 铅为 0.05 磅; 当每英亩土地达到 10 户住宅 (城镇公寓) 时, 每人每年磷负荷比率为 0.06 磅, 铅为 0.035 磅。

这一趋势很明显: 当人均居住面积为 1-2 英亩的较大范围时, 对水体的污染最严重。这主要是由于人均大面积的草坪、每户家庭拥有的汽车数量以及道路及车行道的相对长度等原因综合的结果。很显然, 人均污染负荷率有随居住密度的增加而减少的趋势。这一结果表明, 在社区开发中, 为减缓水体污染, 我们应尽量避免城市边缘区较大单户住宅区的开发, 并且鼓励组团开发的方式。社区面临的难题是如何在尽量减少水质恶化的前提下增长发展, 而答案是很清楚的, 即不要建设大片单个家庭式的住宅。

11.4 陆地上的水质缓解方法

概括地说, 缓解暴雨水体污染的首要目标就是要设法减慢暴雨水流系统总的反应速度, 即延长暴雨水流在地表上 (指流入江河、湖泊等水体前) 的总的停留时间 (图 11.4)。整个反应系统的“减慢”能够为水流在地表的渗透、污染物的沉积提供更多的时间, 同时还能够降低地表冲洗和侵蚀的速度。通常, 我们用汇流时间来衡量这一系统反应速度。如果暴雨流 (尤其是那些频繁的冲洗

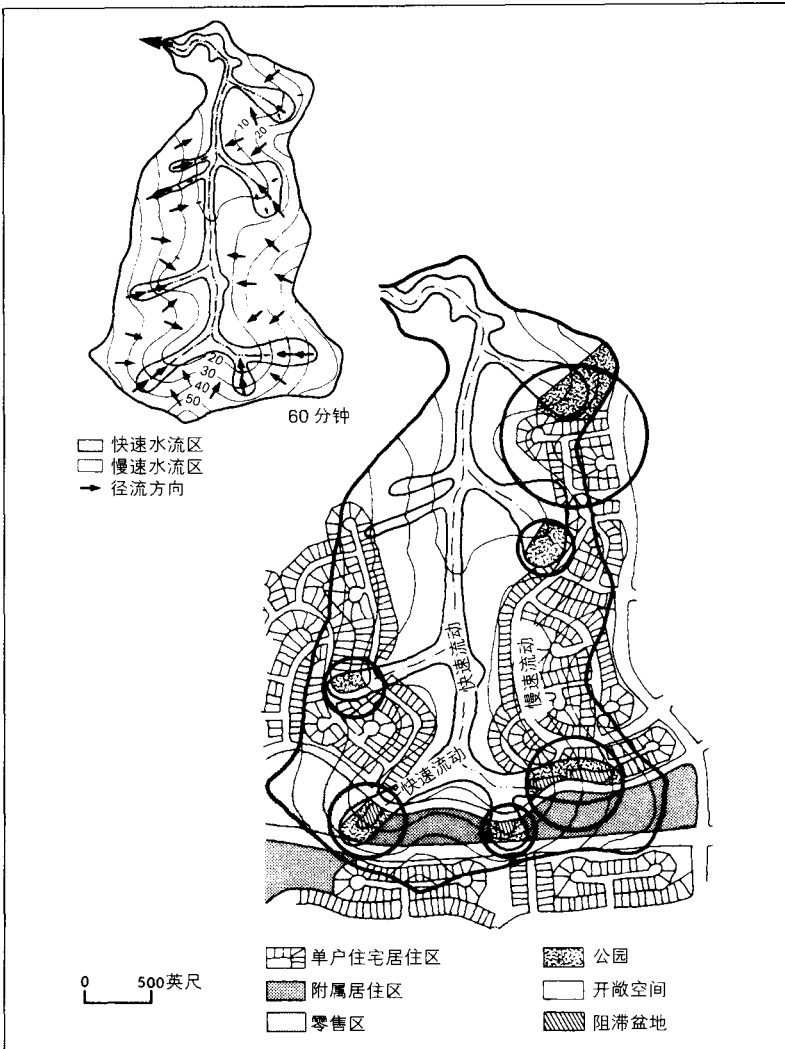


图11.4 某小流域(左上方小插图)中的径流流动时间模式图和一幅建议的土地利用规划方案图。通过限制水道上游地区的开发,同时利用暴雨盆地和公园用地减小水流输送到水道中的速度,来减小快速水流区的径流速度

地表的暴雨流——如降雨量为0.5-1.0英寸的暴雨水流)的汇流时间会随进一步的发展而得以延长(而不是缩短)的话,那么我们就可以采取一个以控制水质为主要目标的重要步骤。较慢的水流系统有利于过滤、沉降、隔离营养物质和其他污染物。另外,缓慢的水流降低了渠道腐蚀的风险,并且减少了它释放到排放系统本身的沉降物。

另外,以下的三种方式也可用于缓解这一难题:(1)控制污染物产生;(2)控制污染物从产生点的迁移;(3)控制污染物从传导系统传输。其中,第一种缓解方法包括控制土地利用类型、开发密度、草地施肥、垃圾燃烧等等;将人均的污染物负荷率与大面积居住区开发联系起来考虑时,我们发现组团开发是减少居住区暴雨污染负荷的一种重要规划策略(第13章还将详细介绍这一方法)。

缓解对策

控制污染物从生产点的转移:其主要目的在于控制径流量。最为常见的方法是增加土壤吸收能力,例如,增加不透水地表覆盖物中植被覆盖的比率,运

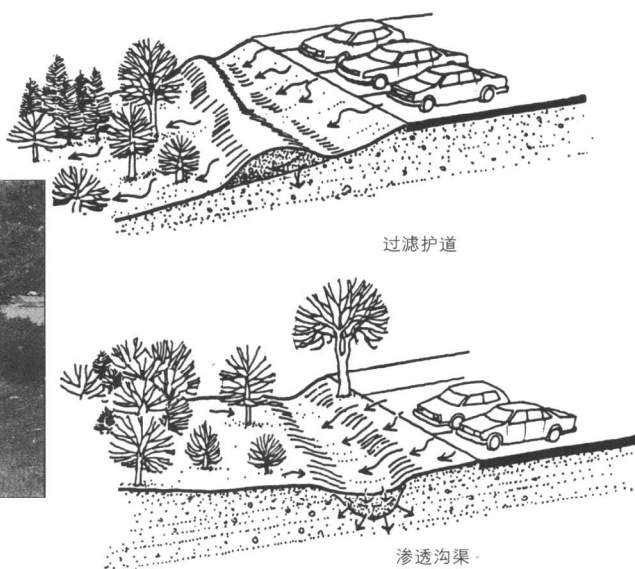


图 11.5 图示的是一种过滤护道和渗透沟渠，是为减少暴雨中污染物含量的两种简单、小尺度的缓解设施

土壤吸收

用多孔铺装材料，使径流入土壤的渗透层或排水井中。根据在华盛顿特区进行的一项研究表明，**土壤吸收**是除去暴雨中污染物的最有效方法。同时，研究还发现，就土壤平均的渗透能力而言，预计土壤可去除每年污染物中磷总量的35%–65%、生化耗氧量（BOD）的40%–85%和铅总量的80%–90%（其具体吸收比例要依据具体的土地利用方式而定）。

今天我们已经有许多不同的土壤-吸收/过滤系统，下面介绍其中的一些系统。我们已经提到过干井和洼地贮水池。干井是竖井，填满着石头和粗糙的团粒物，用于贮存和过滤暴雨水。它们的优点是不占太多的表面面积而把水释放到深处。过滤床有多种形式和名称，有植物或没有植物。有植物的过滤床易于与景观的设计方案整合在一起。最有意思的是暴雨水花园和雨水花园（图11.5）。

过滤护道

现在，许多社区都采取将土壤材料作为过滤中介物的水质缓解方法。例如得克萨斯州的奥斯汀市，该市在新区的开发中就采用了两种措施：它们分别为过滤护道和过滤盆地。其中**过滤护道**是一种沿坡度等高线建造的泥土护堤。它们通常由泥土建造而成，包括有不同粗细等级的沙子和一种过滤结构，在形式和功能上都与土壤渗透沟渠比较类似（图11.5）。而土壤渗透沟渠则是一种目前比较公认的、能够高效去除污染物的简易设施。过滤护道以及一些相类似的措施是专用于处理一些小型水流的，即那些来自单个场所的水流或是来自一系列小组团的水流。通过美国不同地区污水处理厂的检测数据表明，土壤对污染物的过滤效率是极高的。

过滤盆地

过滤盆地，又称水质盆地或过滤池塘，是一种混凝土构筑物，底部铺有几种不同粗细等级的沙子和一种过滤用结构，暴雨经引导后通过它们（图11.6）。与过滤护道相比，过滤盆地通常适用于土地利用密度相对较高的地方（如购物中心），用以过滤最初的、污染物含量最大的0.5英寸暴雨径流，即上文中提到过的第一冲刷水流。奥斯汀市区的实践表明，过滤盆地对于处理较小的暴雨水流（少于

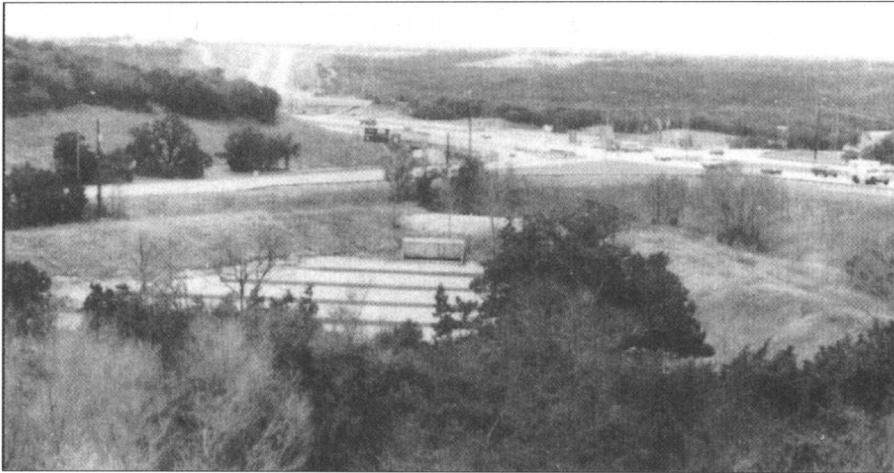


图 11.6 用来减少暴雨中污染物负荷的过滤盆地。水流流经挡板间的沙土层而得以过滤

0.5英寸的径流)十分管用。该市还出示了一份关于过滤盆地对第一冲刷水流处理结果的报告,经处理后水流中各污染物含量占处理前含量的比例为:76%的大肠杆菌、70%的悬浮固体、21%的氮、46%的氮(经凯氏定氮法测定)、0%的硝化氮、33%的磷、70%的BOD、48%的有机碳、45%的铁、45%的铅和45%的锌。

另一种深受众多社区喜爱的过滤方法是设立**植被缓冲带**。许多试验研究表明,如果达到以下标准,植被缓冲带对于清除沉积物是极其有效的(可达到90%甚至更高):(1)连续的草地/草皮覆盖物;(2)缓冲带宽度通常要求大于50-100英尺;(3)舒缓的坡度,一般小于10%;(4)较薄层的地表径流,不宜超过草的高度。在山地地形中,这种植被缓冲带应被设置在尽可能高的地方,并和一些能够储水的洼地及土壤过滤措施(如过滤护道和排水井)结合在一起(参见图8.12b)。但是,单独用植被缓冲带来减少氮和磷等污染物的有效性是令人怀疑的,尤其是当暴雨从树木茂盛的斜坡上猛冲下来的时候。

植被缓冲带

最后,我们还可以在暴雨水流的传输系统中设置一些缓解设施。它们是**持水盆地**,通常是一些滞留水塘和保留盆地。这些设施可用来保留一部分从水流系统出来的暴雨雨水以减小高峰时的水流量。同时通过暴雨雨水的滞留,尤其是对来自一场暴雨的早期径流而言,水质也可以得到一定的改善。关于这一点,调查人员通常都会强调阻滞盆地在沉淀沉积物方面的重要性,以及在全面去除水中污染物质中的重要作用。表11.2是阻滞盆地对几种代表性污染物的去除效率,其中的数据是通过保留盆地和滞留水塘的各种研究获得的。与滞留盆地相比,由于保

持水盆地

表 11.2 暴雨阻滞盆地的几个有代表性的去除效率

污染物	去除百分比
悬浮沉积物	40%-75%
总磷量	20%-50%
总氮量	15%-30%
BOD	30%-65%
铅	40%-90%
锌	20%-30%

资料来源:基于得克萨斯州奥斯汀市迈克尔·沙利文联盟(Michael Sullivan Associates)的编辑资料。

留盆地可以将水流阻滞在一个永久性盆地中, 因此其去污效率相对要高些, 并且在沉积物的沉淀和生物化学综合作用方面的潜力都要更大些。另外, 保留盆地往往比滞留盆地大得多, 除了那些径流量过大而导致水流溢出盆地的情形以外, 前者往往采取渗透和蒸发两种方式而不靠排水对暴雨进行处理。

11.5 水体富营养化

营养物过剩

在众多导致水体污染的问题中, **营养物过剩**是美国北部最严重, 也是最普遍的一种污染问题。营养物是指一些供给水生生物(如水藻和细菌等)生长所需的、可溶于水的无机营养物质。在众多可以在自然水体中发现的营养物质中, 氮和磷通常被认为是最重要的种类, 因为当氮和磷都大量存在于水体中的时候, 就会导致生物生长活动的加快。而湖泊和水库中水生植物的大量生长会导致(1)水体中溶解的氧气、二氧化碳和微生物间平衡状态的改变, 以及(2)有机物质总产量的增加, 这些改变会进一步导致水生环境的变更。从人类使用的角度而言, 大多数的变更是绝对不受欢迎的:

- 加快死亡的有机质填充盆地的速度;
- 水体透明度下降;
- 鱼类的种类构成向耐受力更强的类型转变, 如鲤鱼类;
- 降低水体的美学质量, 例如, 出现让人不快的臭味;
- 增加市政和工业污水处理的成本;
- 降低水体的娱乐休闲价值。

富营养化

总而言之, 水体中营养物质的聚集, 生物活动的加速以及有机沉淀积聚的过程就是众所周知的**富营养化**。富营养化通常被描述成水体老化的过程, 它原本是一个自然的生物化学过程, 和地球运动过程一起使我们的水体最终走向消亡。但如果仅仅是依靠自然力的作用, 通常一个中纬度地区的内陆湖泊通过富营养化过程的自然毁灭需要好几千年的时间(不过这一时间随湖泊的大小、深度和气候与生物之间关系状况的不同会有很大差异)。然而, 在实际的例子中, 由于受到人类土地开发利用的影响, 湖泊中的营养物和沉积物的含量得到前所未有的快速增长, 水体富营养化的速度被明显加快。科学家们将发生在已开发区域水体中营养物质含量的变化归结于以下两个因素: 自然力和人为力(图 11.7)。

对植物而言, 为获得快速度的生长, 就必须从环境中获得尽可能大量的五种基本因子, 它们分别是热量、光照、二氧化碳、水分和营养物质。根据生物学上的限制性因素的原理, 植物的生长受其中一个最小量因子的控制, 而该因子即为限制植物生长的控制性因子。在内陆和沿海的水体中, 热量、光照、二氧化碳和水分在整年或某些季节中都是十分充足的, 因此, 在这里, 我们可以说营养物质就是最具局限性的一项因子。这不仅仅表现在营养物质数量上, 也同时表现在营养物的种类上。如果存在大量可利用的氮和磷, 植物的生长率就会很高, 但如果缺乏其中的任何一种, 植物的生长率就会缓慢下来。

磷和氮

当以溶解的形式进入环境时, **磷和氮**对径流过程会有不同的反应。对于氮

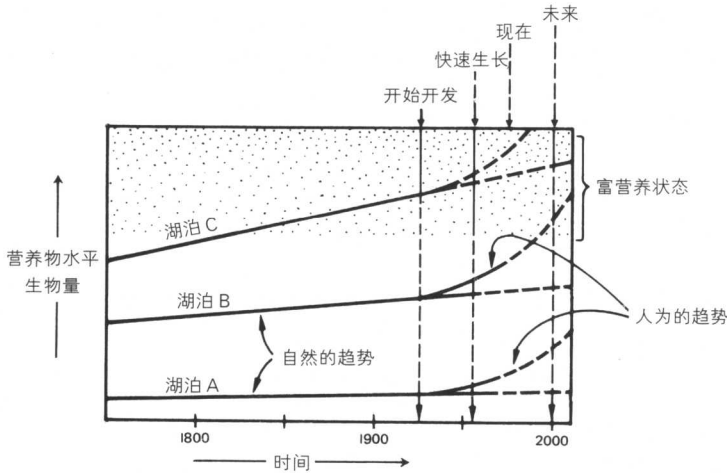


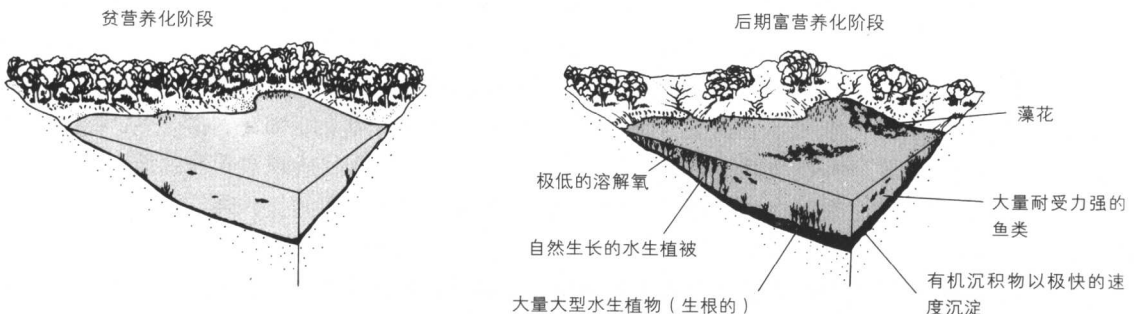
图 11.7 图示说明了自然过程和人为过程的富营养化概念。三种类型的曲线分别代表在自然条件下水体富营养化的趋势，以及 20 世纪当有人类活动干扰后的变化

元素而言(水体中的含量通常很充足的),它一般在土壤和下层土壤中具有很强的移动性,会随土壤中的水流和地下水一起移动到受体水体中。例如,我们施用到农田中的氮肥,其中的大部分都会在随着渗透水渗进土壤颗粒的过程中穿越土壤,通常这一过程在潮湿的气候条件下只需要短短几周的时间。而与此相反的是,磷往往会留在土壤中较长的时间,其溶解于地下水的过程相当缓慢。因此,在自然状态下,大多数的水体会表现出磷的缺乏,当大量的磷被直接引入到水体中的时候,就会引发植物的迅速增长。相应地,在为限制富营养化而专门制定的水体管理规划中,控制磷的含量就成为了最为主要的目标。在对内陆湖泊的研究中,我们通常是依据湖水中总的磷含量(包含有机的和无机的两

表 11.3 根据水体中溶解磷的含量划分水体富营养化程度

所处程度或阶段	总的磷含量 mg/l *	水体特性
贫营养化阶段 (富营养前阶段)	少于 0.025	没有藻花或妨害性植物,水清澈明亮,有丰富的溶解氧
早期富营养化阶段	0.025-0.045	
中期富营养化阶段	0.045-0.065	
富营养化阶段	0.065-0.085	
后期富营养化阶段	大于 0.085	有藻花,并且在整个生长季遍布妨害性的水生植物,光渗透能力极弱,少量溶解氧

* 水体中年平均磷含量(指那些磷元素为限制性因素的水体)。



种类型) 对水体富营养化的水平或阶段进行划分 (表 11.3)。

11.6 湖泊营养物负荷及土地利用

营养物预算概念

对于任一水体而言, 我们可以对它的营养物含量进行估算 (营养物预算), 具体方法是将某段时间内水体磷、氮的注入、排出和储存编制列表, 然后进行计算。其中, 水体中营养物的注入主要来自以下四种途径: 点源注入、地表径流 (河水流水、暴雨雨水等等) 注入、地下径流 (主要是地下水) 注入以及大气注入; 营养物的排出则包括随河水水流排走的部分、渗入地下水系统的部分以及携带有部分营养物的有机沉积物的掩埋 (图 11.8); 而营养物的储存主要是依靠植物和动物 (包括活着的或死亡的动植物形式) 完成的, 生物能够通过分解作用将合成的营养物质释放出来。以下是营养物的预算公式:

$$P + R + O + G + A - Q - S - B = 0$$

式中

- | | |
|-----------------|--------------------|
| P = 点源方式的注入; | A = 来自大气中营养物的注入; |
| R = 地表径流的注入; | Q = 河水水流的损耗量; |
| O = 有机沉积物的注入; | S = 进入地下水的损耗; |
| G = 地下水的注入; | B = 有机沉积物的掩埋损耗。 |

虽然营养物预算的公式很容易描述, 但是用来为大多数水体进行精确的计算却是十分的困难。造成这一结果的原因主要在于: (1) 难以得到某些相关的精确数据, 如难以得到有关向地下水渗漏而造成的营养物损耗量的数据等, 以及 (2) 难于测定营养物质在水体、生物体和有机沉积物之间的交换量。因此, 大多数的营养物预算只能依据有限的资料, 通常包括那些河水水流、腐烂排水场地的渗漏、点源和大气中的微尘。这些有限的资料均是来源于对径流

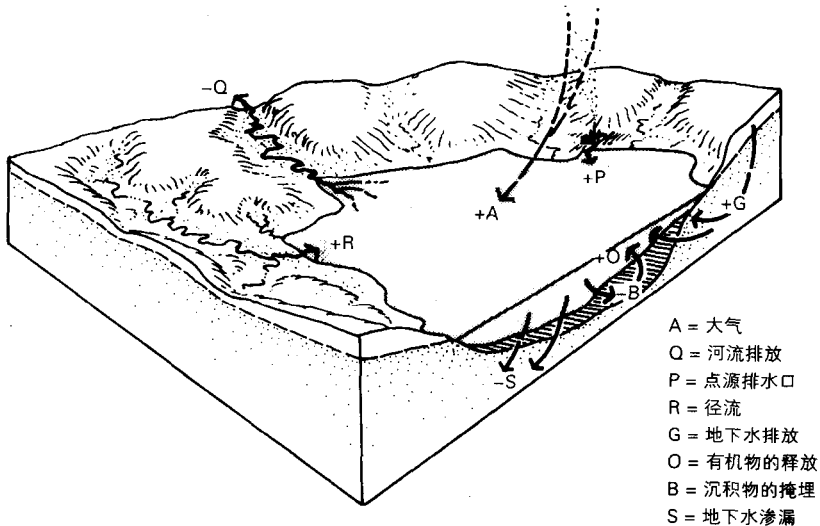


图 11.8 水体中营养物注入和排出主要方式的示意图。通过对一段时间内营养物含量的计算, 得出水体中营养物浓度的发展趋势

中营养成分与土地利用和地表覆盖物的关系所做的实地调查。

在对美国河流中氮和磷含量的研究中，美国环境保护署（United States Environmental Protection Agency）和各州的水质保护计划取得了几个有趣的调查结果。首先，对于具有相似土地利用方式的不同流域或是不同径流事件而言，土地向河流输送的营养物质的含量具有很大的差别。其次，对美国的小型排水流域而言，尽管营养物的输出有区别，但营养物的输出与地区的岩石和土壤并没有明显的相关性。反之，它们与输出地的土地利用方式和地表覆盖物的类型（尤其是和流域中的农业和城市用地的比率）具有十分显著的联系。例如，流经农业用地的河流中的氮磷浓度通常要比流经林地的河流高出 5-10 倍。

径流的营养物质含量

表 11.4 六种土地利用模式 / 覆盖类型的营养物承载量

土地利用 / 覆盖类型	氮 (千克 / 平方公里 / 年)	磷 (千克 / 平方公里 / 年)
森林	440	8.5
大部分为森林	450	17.5
大部分为城市用地	788	30.0
大部分为农业用地	631	28.0
农业用地	982	31.0
混合用地	552	18.5
高尔夫球场	1500	41.0

资料来源：J·奥梅尔尼克，土地利用对河流营养物质含量水平的影响，美国环境保护署，1997年。（J. Omernik, The Influence of Land Use on Stream Nutrient Levels. U. S. Environmental Protection Agency, 1997.）。

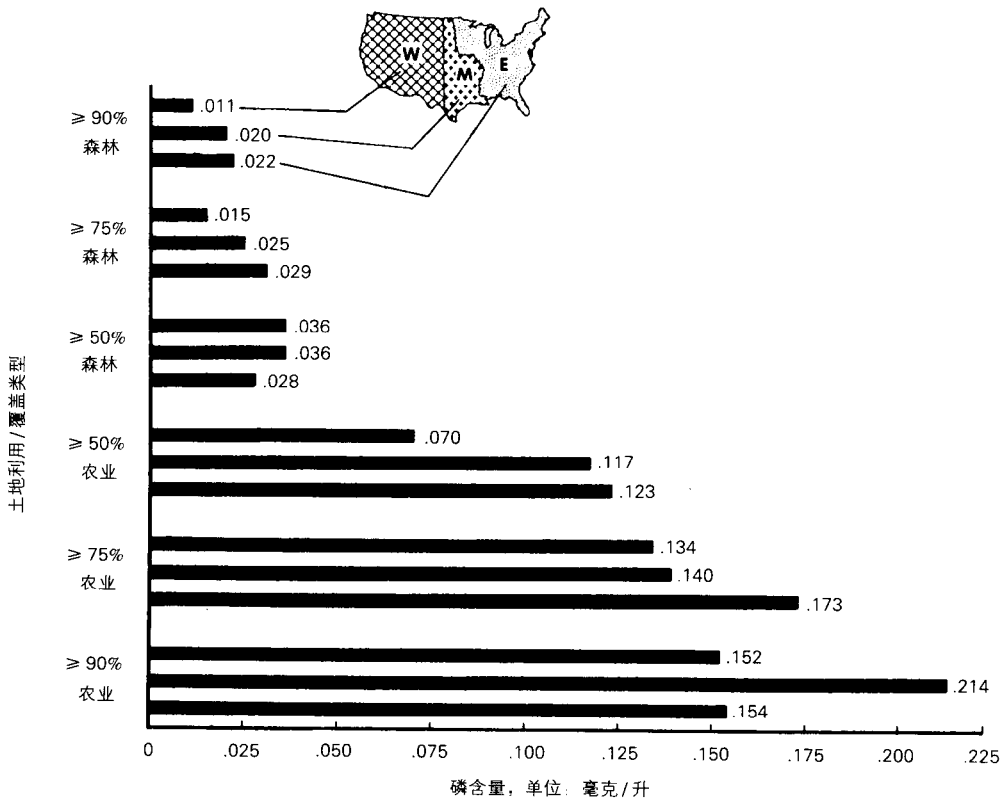


图 11.9 位于美国本土内的（除阿拉斯加和夏威夷以外的美国国土）农业用地和林业用地 / 覆盖类型的径流中每升的磷含量

基于以上的研究结果,对大多数地区的河流和湖泊中氮磷含量进行预测是可行的。这种含量预测值适用于地表径流,尤其是河道径流。表11.4提供了七种基本的土地利用/覆盖类型中每平方公里氮磷含量的千克数(每一种土地利用/覆盖类型的定义将在下一节中给出)。图11.9则是将美国本土分成了东、中、西三个大区,并指出各个区域内不同用地类型情况下每升水流(径流)中营养物含量的毫克数。为了方便比较,我们将那些有代表性的水流系统中营养物质的含量列在了表11.5中。

估算营养含量

为了对水体中营养物含量进行估算,我们首先需要描绘出与该水体相联系的排水系统的形状,并限定其排水区域。然而由于土地利用类型的复杂性以及大量附加在自然排水系统之上的人工排水设施,使得这一任务在开发过的地区变得很难完成。作为首要的步骤,我们必须识别该地区内不同的土地利用模式和覆盖类型,记录下它们与排水系统和水体形态之间的相互关系,它们容易造成什么样的污染(包括营养物和其他类型的污染),以及重要的进入点的位置,这些对我们的工作十分有益。余下的步骤如下:

- 确定每一个排水区域中森林、农业和城市开发区所占面积的百分比;
- 依照下述的百分比,按照排水区域中森林、农业和城市开发用地的实际百分比对排水区域进行分类:

森林	>75% 为森林所覆盖
大部分为森林	50%–75% 为森林所覆盖
农业用地	>75% 为现行的农田
大部分为农业用地	50%–75% 为现行的农田
大部分为城市用地	>40% 为城市开发区(居住、商业、工业、公共机构)
混合用地	不属于上述类型的区域,例如,25%为城市用地,30%为农业用地,还有45%为森林

- 利用表11.4中给出的具体数值,将每一种区域类型对应的数值与区域总面积(平方公里数)相乘;
- 计算来自排污区(septic drainfield)渗漏进水体的部分潜在污染物(氮磷)

表 11.5 不同水体形式中具有代表性的磷和氮的含量

水体	总磷含量(毫克/升)	总氮含量(毫克/升)
降雨	0.01–0.03	0.1–2.0
不受藻类问题困扰的湖泊	不足 0.025	不足 0.35
有严重藻类问题困扰的湖泊	超过 0.10	超过 0.80
城市暴雨雨水	1.0–2.0	2.0–10
农业区径流	0.05–1.1	5.0–70
污水处理厂排放的污水(二级处理)	5–10	超过 20

资料来源: John W. Clark et al., water supply and pollution control, 3rd ed. (New York: IEP/Dun-Donnelley, 1977); and American Water Works Association, "Sources of Nitrogen and Phosphorus in Water Supplies," *Journal of the American Water Works Association* 59, 1967, pp. 344–366.

的含量：统计每一个排水区域中海岸或河岸边 100 码距离内的住宅数量，并且将这一数目与下述的营养物含量比率相乘：

Phosphorus/Year —— 磷 / 年	Nitrogen/Year —— 氮 / 年
0.28kg/home —— 0.28 千克 / 户	10.66kg/home —— 10.66 千克 / 户

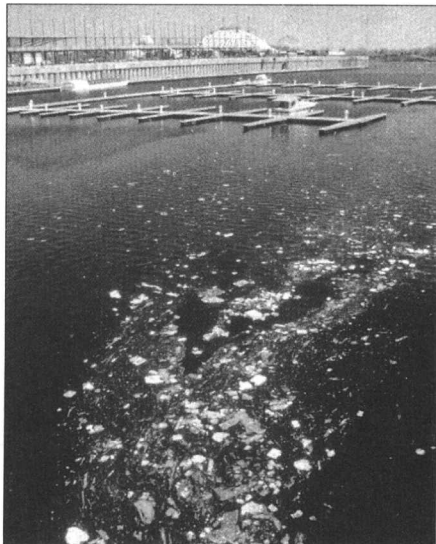
• 将以上计算出的两部分值相加，得出流域中营养物的注入量。如果要求比较严格，必须计算出所有来源的全部注入量，那么我们还需要将大气的供给量也考虑进来。大气的注入量只需要考虑水体表面，因为大气中营养物从地表进入的部分已经在先前的计算中考虑过了。假使给定该研究区域的微尘沉降速率[以单位毫克/平方米 (mg/m^2) 表示]，将该数值与水体的总面积相乘即得出来自大气的注入量。最后，将这一部分的计算结果与前面的结果（流域对水体营养物含量的“贡献”）相加，便得出水体中总营养物的获得量（没有考虑地下水营养物质含量）。

11.7 小流域的水质管理规划

在水体附近制定居住和相关的土地利用规划会陷入一个进退两难的境地：人们被水吸引，然而人们居住得离水越近，他们就越容易对水产生影响。由于人类的影响，使得水体污染和景色毁损加重，从而导致环境价值下降，因此反过来又降低了土地的价值（图 11.10）。而且，开发越靠近水体，通常也使得财产越易受到来自洪水、侵蚀和暴雨的严重威胁。然而尽管存在这些人所共知的问题，近年来，近水区域的开发压力并没有得到任何程度地缓解。事实上，从目前的趋势来看，近水开发的现象反而是增加了，而且，对于那些仅拥有的少



(a)



(b)

图 11.10 水质下降会导致土地价值降低的实例。(a) 加利福尼亚州的长滩 (Long Beach)，位于洛杉矶河的河口；(b) 位于加拿大蒙特利尔的圣劳伦斯海道 (Montreal, Canada, along the St. Lawrence Seaway)

数自然水体的地区, 开发商们为获得更多的利益, 还常常会建造一些人工的水体来提高地区的综合吸引力。

改正的方法

在以水质为目标的规划和管理方案中, 基本上要用到以下两种方式: 那就是预防和改正。改正的方法用于处理那些令人不满意的业已存在的开发状态。例如, 在石油泄漏后进行海滩和水面的清理; 又如, 当面对小水体中杂草生长的问题时, 改正措施涉及用化学方法抑制水生植物生长, 或是疏浚流域以去除有机沉积物。而这些措施通常只是作为处理受营养物严重困扰或已经高度营养化的水体的最后手段。

预防的方法

预防通常是大多数水体更喜欢使用的一种方法, 尽管相比之下, 预防方法在实际操作中更难于成功。这种方法是指限制或减少来自流域的营养物和其他污染物的供给量, 通过控制场地内的污染源, 或是限制污染物从流域进入湖泊, 或者同时采用二者。控制营养物来源的方法包括改进用于污水处理的排污区的工作状况, 用社区污水处理设施代替传统的排污区, 减少农田和草地中肥料的施用量, 控制土壤侵蚀, 并且减少燃烧落叶和垃圾控制牲畜粪便。而限制营养物输送到湖泊中的措施包括用土壤或一种土壤介质过滤水流, 就地滞留暴雨流, 在场地排水中取消雨水管, 将水质较差的水转到污水处理盆地, 以及湿地、河漫滩和自然河流水道的维护或者构建如本章末尾案例中所描述的湿地。

管理规划

对于水体而言, 水质管理规划的制定通常始于对营养物产量的估算。首先, 营养物的供应应被分为以下两类: 一, 依靠已有的技术和资金就能够进行管理的种类; 二, 不能用上述方式进行管理的种类。后者通常包括地下水和大气对水的污染, 而前者则主要是指地表径流和近地表径流, 即雨水及排污区渗漏等。

确定目标

第二个步骤便是确定管理的目标, 例如, “降低水体富营养化的速度”, 或是“改善水体某部分的视觉特性”等。这一步骤十分重要, 因为目标必须是现实的并且是可以实现的。一般来说, 如果目标的要求越高(例如, “逆转富营养化的趋势”), 那么实现该目标的困难也就越大, 并且花费也越大。一旦目标确立, 就要制定出一个方案(或一系列方案)来确定需要采取的行动和措施。某些行动, 例如禁止施用富含磷的肥料, 要运用于整个流域, 而其他的行动只是运用于某个特定的子区域, 这些区域通常是那些在营养物估算中表明污染物贡献率较高的地区。此外, 还需要制定出一些方案, 以限制那些还未开发但适宜开发的地区(因为未来的开发利用将造成营养物的产生和转移), 并且颁布关于沉积物控制、雨水排放和污水处理的实施指导方针。

实施与评价

最后, 在方案实施之后, 我们还必须对水体质量进行监测, 并且其结果要与最初目标、财政开支和公众支持相平衡。评价是一项很困难的任务, 因为经常要将现实的结果和假设的结果(如果没有实施这一方案将会是何种情形的预测)进行比较。这时, 便常常会觉得原来的预测并不是那么可靠, 并且不能确定气候、水文, 或者生态系统之类的自然干扰造成的影响是否掩盖或提高了方案的效力。

流域的基本空间范围

在为湖泊和池塘制定水质管理规划的时候, 我们必须了解我们所处理对象的排水系统特性。就如我们在第 9 章中提到的, 每一个水体都有一个赖以维持的流域, 它由许多水流系统组成, 包括河流网络系统、地下水, 以及降雨(雪)和蒸发。径流系统(特别是地表径流), 为我们提供了一个基本的空间范围, 而



图 11.11 一个小湖泊流域的空间组织显示出两种类型的分区：滨水区和子流域

与水质管理相关的土地利用规划就需要在该空间范围内进行。

图 11.11 中所示的流域是一种比较普遍的典型流域，大多数人工蓄水湖的周围都会是这样的一种状况。流域中的大部分区域为子流域所占据。在整个流域中，除滨水区部分（图中阴影的部分）是将水流通过地表径流或地下渗入的方式直接排入湖泊外（因为太窄而无法发育成溪流），其余的子流域区域的水流都是通过溪流进入湖泊的。而整个流域范围内的土地利用类型也似乎是这两类具有不同排水方式的排水区相关联的。与水有关的开发（休闲娱乐活动和居住地利用）往往集中在滨水区，而非与水有关的开发（农业、郊区居住地、商业等等）则主要位于子流域区。对于由于流域和滨水区两部分组成的流域系统而言，位于子流域的使用者往往难以体会流域治理的重要性，这在进行流域管理时是一件比较麻烦的事情。因为居住在子流域及滨水区的人们都是整个流域的利益享有者，但只有面对湖区的人们才能认识到流域管理的重要性。

排水区和土地利用

滨水区的管理通常要涉及个体的财产所有者，因为每一块场地都会直接往水体排水（见案例 21.8 中的图示）。而对于子流域区而言，众多的土地利用通过径流系统集中后单点与水体相接。因此，从某一方面而言，对于子流域的管理是一件更困难的事情，因为通常会牵扯到更多的人，并且系统更大也更复杂。然而，子流域提供了管理的机会，而滨水区却不具备这一“条件”。例如，我们可以将径流汇集到某一中心位置并通过自然的或人工的方法以减少营养物质、沉积物和其他杂质。

子流域和滨水区的管理

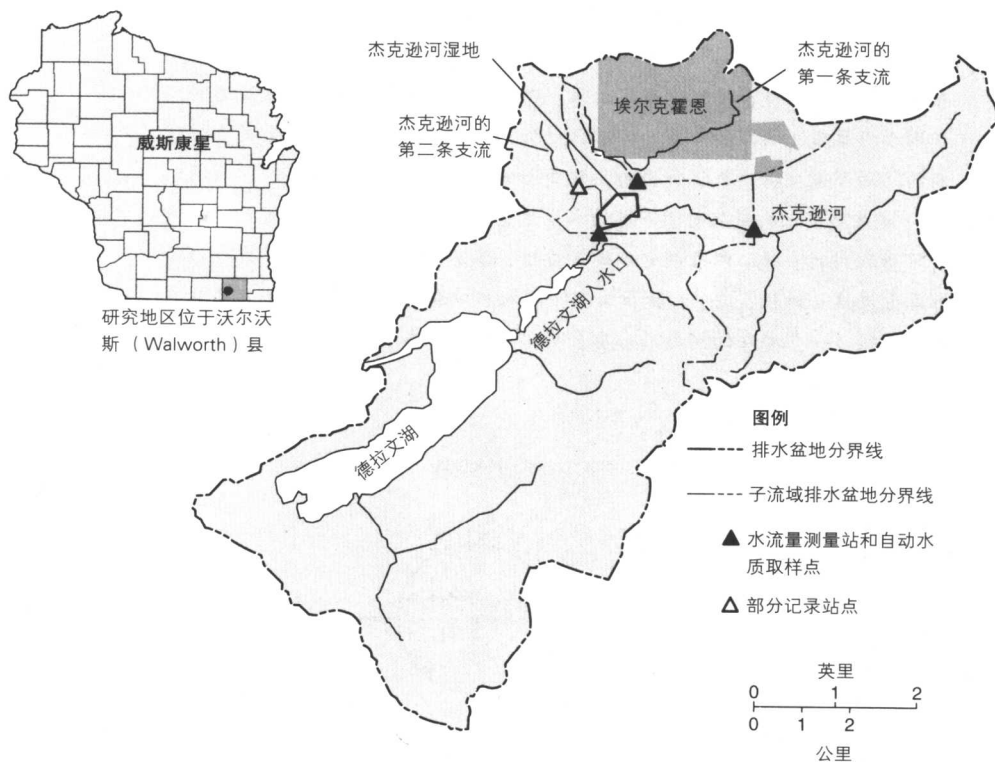
11.8 案例研究

威斯康星州德拉文湖附近一处人工湿地滞留沉积物和营养物的效率研究

约翰·F·埃尔德 (John F. Elder), 杰拉尔德·L·戈达德 (Gerald L. Goddard)

德拉文湖(Delavan Lake)位于威斯康星州(Wisconsin)东南部,是一处享有盛誉的湖泊,主要用于渔业活动和娱乐消遣,但是多年以来,该湖由于水质下降且水藻丛生而不胜其扰。到20世纪70年代末期,该湖有2072英亩达到富营养化状态。尽管在1981年的时候曾作出过努力,试图通过使污水和脏水远离湖区盆地的方法来减低营养物负荷,但是,发生在1983年的一场严重的水藻泛滥使得这一努力以失败告终。这也意味着必须从水文学和水质研究的角度出发,考虑采取其他举措,并且制定一份详细的恢复方案来改变这一现状。在其他一些介绍方案中,这一方案要求在杰克逊河(Jackson Creek)及其两条支流的交汇处建造一处人工湿地,这两条支流是德拉文湖(Delavan Lake)的主要水源。建造这一湿地的目的在于通过减少注入湖泊的沉积物和营养物以使湖泊得到长期的保护和维持。

杰克逊河湿地建造于1992年秋,它将原有的一处15英亩的湿地扩增到



德拉文湖及其湿地, 杰克逊河湿地

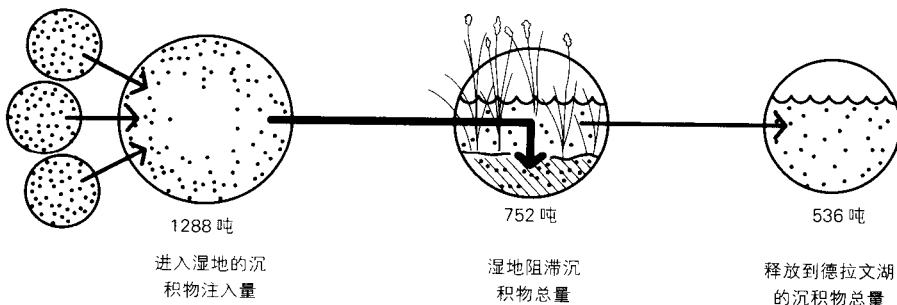
95 英亩。进入湿地的地表水流几乎全部来源于三条溪流，这三条溪流的流域面积总共达到 16.6 平方英里。随着居住和商业活动的增长，这一区域主要用于农业生产，并且居住和商业活动的面积在增长。除了占据部分面积的莎草属植物草地，湿草地和浅水沼泽地之外，湿地包括三个沿着溪流入水口上游边界建造的三个滞留水塘。这三个水塘的水表面积分别为 3.4、1.2 和 1.2 英亩。每个水塘拥有 1 至 4 个出水浅沼地，将水流导入湿地。这项研究的主要目标是评价湿地作为悬浮沉积物和营养物的滞留系统的效率。这项研究在 1993 年至 1995 年之间展开。

在这项研究中，每年都有沉积物在水塘中积聚。在两年的时间里，三个水塘中积累的沉积物总量达到了 752 吨。该结果显示出这一滞留系统的效率，即从溪流进入水塘的水流所携带的 58% 的悬浮沉积物被阻滞下来。在一年当中，滞留率除了在冬季和早春之外，大多数时段远远高于 20%。而在生长季期间，滞留率经常都远远高于 80%。但是，对于营养物而言，湿地的滞留效率却并不具备一致性。只有氮是例外，通常在每年的注入量和流出量之间会有显著的减少。但是，对于营养物来说，注入量和流出量之间的比值，一般季节性的变动极其明显。而且通常比值都小于 1，这也意味着更多的营养物是被水塘放弃而不是滞留。

1994 年，沉积物和营养物输送量最大的季节是在冬季和早春这一时段。这个时段相对于滞留总量而言，是最大的一个时期，同时，也是水中磷溶解量最多的时期。沉积物和营养物的高输送量和生物机体的吸收二者加在一起几乎等同于湿地每年的净滞留总量，这使得后期在枯水季节的小量释放显得黯然失色。事实上，在 1994 年，所有的滞留活动都仅仅发生在单独一个月份内：2 月。而几乎其他月份事实上都只有净的磷释放。这一巨大而显著的变化在第三和第四季度中清晰地显现出来。磷元素在春季和夏季的大量流通可以归因于厌氧微生物环境中磷的可溶性增加，反过来，这一现象也会是由较暖和的气温下微生物的氧化作用的高效率造成的。

这些季节性的变化对于下游的水生生态系统具有怎样的含义呢？尽管没有可资利用的直接证据表明它们的重要性，事实上，磷的溶解主要发生在晚春和夏季这一时段，几乎和德拉文湖下游入水口和湖中的水藻泛滥期发生在同一时段。一个潜在的问题进一步表明，事实上，水中溶解的正磷酸盐成比

两年内悬浮沉积物总量



例的释放——这种物质正好可以被水藻吸收利用——比起磷的总释放量更多。

悬浮的沉积物和营养物输送的动力之间缺乏联系性也是一个突出的问题。据推测, 悬浮物质被滞留的原因在于水流速度的减小, 流速降低使得悬浮物质能够沉积下来。人们或许会寄望于这样的现象, 即营养物负荷大体上和被氧化的悬浮沉积物是密切相关的, 因此, 沉积物被滞留的同时会携带着营养物一起沉积下来。但是, 这显然与事实极其不符, 实际上营养物的净释放过程总是和沉积物的大量滞留同时发生。这种结果表明, 生物地球化学过程使得沉积物和营养物一起得以流通, 因此, 也会阻止它们在湿地中有效地滞留下来, 至少也会周期性地阻止其被滞留。

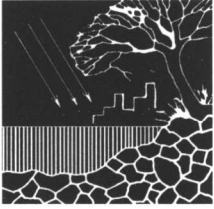
气候对于营养物负荷的特性来讲也是一个值得考虑的因素。在研究期间, 1993年的降雨量高于正常降雨量3.49英寸, 1994年的降雨量低于正常降雨量12.19英寸, 而1995年的降雨量低于正常降雨量4.74英寸。1993年的高水流量致使营养物质大量的注入和流出湿地, 巨大的水流量也降低了湿地滞留营养物的效率。

总体而言, 尽管湿地对于沉积物, 并且有时对于营养物的某些成分而言, 起着渗坑的作用, 但是其滞留沉积物的效率要远远高于营养物并且更具有持久性。在研究的全过程中, 湿地滞留了水流中46%的沉积物负荷。尽管这一研究结果用事实说明了湿地作为营养物渗坑具有某些局限性, 但是也并没有和湿地能够滞留营养物的观念产生必然的冲突。通过对其他一些湿地的观测表明, 湿地的这种变动性不仅仅影响到其作为渗坑的功效, 而且, 作为服务者, 还周期性地影响到营养物的转换和输送。因此, 这一研究结果用事实阐明生物地球化学循环在包括湿地在内的任何一个生态系统中都具有复杂多样性。理解这些复杂多样性可以使我们避免将一些不现实的期望寄托在自然的或人为建造的湿地中, 误认为湿地拥有不受限制的过滤能力。

作者简介: 约翰·F·埃尔德 (John F. Elder) (已退休) 是一位湖沼学家, 杰拉尔德·L·戈达德 (Gerald L. Goddard) 是一位水文技术专家, 他们两人都是美国地质勘探协会及威斯康星地区湖泊研究组的成员 (the U.S. Geological Survey-Wisconsin District Lake-Study Team)。

11.9 推荐阅读文献

- Clark, John W., Viessman, Warren, Jr., and Hammer, Mark J. *Water Supply and Pollution Control*. 3rd ed. New York: IEP/Dun-Donnelley, 1977.
- Dillon, P. J., and Vollenweider, R. A. *The Application of the Phosphorus Loading Concept to Eutrophication Research*. Burlington, Ontario: Environment Canada: Center for Inland Waters, 1974.
- Elder, J. F. "Factors Affecting Wetland Retention of Nutrients, Metals, and Organic Materials." In Kusler, J. H., and Brooks, G. (eds). *Wetland Hydrology*. Chicago: Association of State Wetland Managers, 1988.
- Marsh, William M., and Hill-Rowley, Richard. "Water Quality, Stormwater Management, and Development Planning on the Urban Fringe." *Journal of Urban and Contemporary Law* 35, 1989, pp. 3-36.
- Naiman, R. J., and Turner, M. G. "A Future Perspective on North America's Freshwater Ecosystems." *Ecological Applications* 10: 4, 2000, pp. 958-970.
- National Academy of Sciences. *Eutrophication: Causes, Consequences, and Correctives*. Washington, DC: National Academy of Science Press and the National Research Council, 1969.
- OECD. *Environmental Impact Assessment of Roads*. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1994.
- Omernik, James M. *Nonpoint Source-Stream Nutrient Level Relationships: A Nationwide Study*. Corvallis, OR: U.S. Environmental Protection Agency, 1977.
- Smith, R. A., Alexander, R. B., and Wolman, M. G. "Water Quality Trends in the Nation's Rivers." *Science* 235, 1987, pp. 1607-1615.
- Tilton, Donald L., and Kadlec, R. H. "The Utilization of a Fresh-Water Wetland for Nutrient Removal from Secondarily Treated Waste Water Effluent." *Journal of Environmental Quality* 8:3, 1979, pp. 328-334.
- U.S. Soil Conservation Service. *Ponds for Water Supply and Recreation*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 1971.
- Vallentyne, John R. *The Algal Bowl: Lakes and Man*. Ottawa: Environment Canada: Fisheries and Marine Service, 1974.
- Wolman, M. Gordon, and Chamberlin, C. E. "Nonpoint Sources." *Proceedings of the National Water Conference*. Philadelphia Academy of Sciences, 1982, pp. 87-100.



第 12 章 土壤侵蚀， 土地利用和河流沉积

- 12.1 简介
- 12.2 土壤侵蚀，生物气候和土地利用
- 12.3 土壤侵蚀—沉积转运系统
- 12.4 影响土壤侵蚀的因素
- 12.5 根据径流计算土壤侵蚀
- 12.6 在土地规划和环境管理中的应用
- 12.7 流域管理中需要考虑的问题
- 12.8 案例研究 加州塔霍湖南部地区一个河流恢复项目中土壤侵蚀和沉积的控制
- 12.9 推荐阅读文献

12.1 简介

今天,土壤侵蚀问题可能已经成为人类社会面临的最为严重的土地管理问题之一。仅从排入海中的土壤沉积物来看,从农业起源到现在的12000年间,全球的年土壤损失量已增加了两倍之多——从最初的每年90亿吨增加到现在的每年200多亿吨。考虑到最终流入大海的土壤沉积物仅为被侵蚀土壤中的一小部分,这种急剧增加则更加惊人。大多数土壤侵蚀后的沉积物仍然留在陆地和淡水环境中(如林地、河谷、湿地和水库等),并成为造成栖息地和水质退化的重要因素。

几乎所有的土地利用方式都会直接或间接地导致土壤侵蚀问题的产生,但可以肯定的是其中农业的影响是最大的。在农业中,又以农作物生产的影响为最。此外,放牧(如牛、绵羊和山羊)也有可能过度破坏牧场而导致土壤损失。一般而言,由侵蚀造成的土壤损失与世界人口的变化趋势是相对应的。据估计,目前已有450万平方英里的土地(这个面积比整个加拿大的国土面积还要大)由于农作物生产、砍伐森林、过度放牧和其他一些因素而导致了严重退化,土壤侵蚀则是这一后果的“元凶”。

土壤侵蚀的代价是巨大的。据科学家们估算,美国每年土壤侵蚀的损失是440亿美元,而全世界每年为4000亿美元。这数字包括土壤肥力丧失(生产力下降)带来的直接损失,同时也包括对水渠、基础设施和人类健康造成的间接损失。其中间接损失包括河道堵塞(造成洪水泛滥、破坏设施及土地利用)和水质的下降。土壤侵蚀造成的直接损失费可由恢复土壤肥力所需的肥料价值计算得来。然而事实上,不论是直接还是间接损失的估算,人们都没能将生态系统的损失计算在内。

对于大多数土壤而言,植被是控制土壤侵蚀的最重要因素。无论是草地还是林地,当植被受到破坏或清除后,都会导致土壤侵蚀的增加。除此以外,降雨强度和频率、场地的坡度、农田经营模式以及土壤自身的抗侵蚀性等也会对径流引起的侵蚀造成一定的影响。最易受到侵蚀的土壤是那些位于坡地且没有植被覆盖的壤土和淤泥地,在遇到大降雨量且没有保护性措施(如护坡、阶地和梯田)的情况下,每年土壤的损失量高达1至2英寸,相当于每英亩土地每年损失超过100吨的土壤。如果照此速度进行下去,仅需几年的时间,地球表层的全部土壤就会损失殆尽,而只剩下那些毫无肥力的矿质土。

那么在土壤侵蚀方面我们特别感兴趣的是什么呢?虽然就世界范围来说,非农业的土地利用是土壤侵蚀的次要因素,然后就是许多地方性问题的主要根源,尤其是在城市边缘,那里的土地是最有价值和使用最繁重的,因此环境所受的影响也最严重,包括河流、湖泊和湿地。农业问题早就吸引着土壤学家和地貌学家的注意,而正是根据他们的研究和管理方面的建议,我们建立了一套应对土地开发引起的土壤侵蚀问题的方法。在本章中我们要了解土壤侵蚀和沉积运输的过程、评估土壤流失率的方法以及控制侵蚀和沉积的技术。

12.2 土壤侵蚀,生物气候和土地利用

根据北美不同地区野外调查的结果,我们能够大致推断出生物气候条件与土壤侵蚀之间的一般关系。除开土地利用方式的因素外,生物气候环境与土壤

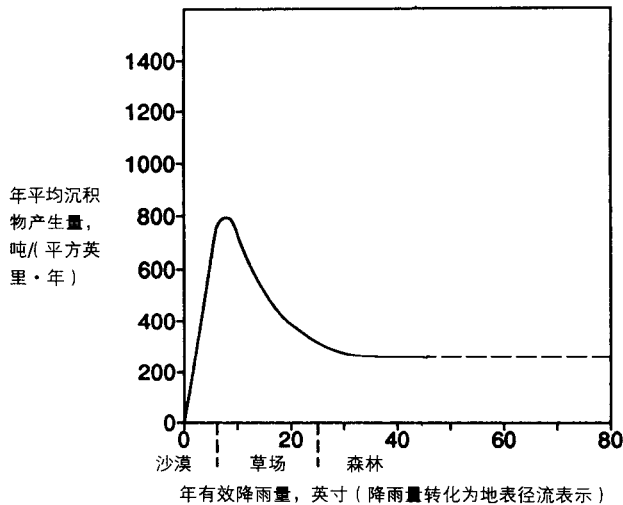


图 12.1 沉积物的产生量与土地利用方式的相关性大于生物气候条件的影响。从图中可以看出, 沉积物的产生量在半干旱地区最高(半干旱地区的矮小草本植被在强降雨来临时不能为地表提供有效保护)

半干旱草场

侵蚀间存在着一种内在规律: 在生物气候环境极端的地区(如干旱和湿润的地区), 土壤侵蚀的程度相对低, 而在半干旱地区, 特别是半干旱地区中较为干燥的地方, 土壤侵蚀的程度会相对较高(图 12.1)。有两方面的原因能够解释这一现象, 即降水和植被覆盖。在半干旱地带, 降水量适度, 其中较干旱的地方平均每年约有 10-20 英寸的降雨, 在大多数年份里, 降雨足够导致持续径流的产生, 但由于地表很少有植被覆盖(半干旱地区蒸发作用较强, 土壤湿度通常不会维持超过一周时间, 因此仅有较为矮小的草本植物在地表不连续地分布, 不能对土壤侵蚀起到防范作用), 因此土壤侵蚀现象严重。加上这些地区年降雨量变化大, 在过度干旱年份会导致植被破坏, 而在湿润年份则会产生更多的地表径流, 从而加大土壤侵蚀的程度。

湿润地与干旱地

在湿润地区有更大的降雨量, 因此土壤被侵蚀的可能性会更大, 然而, 湿润地区丰富的植被(森林)很好地阻止了土壤侵蚀现象的发生。我们可以从图 12.2 中看到这一现象——美国东部和西北部湿润地区的河流中沉积物含量比其他地区低。在另一种生物气候极端的情况下, 也就是在干旱地区, 年降水总量不会超过 7 至 8 英寸, 尽管沙漠土壤缺乏保护, 抗侵蚀性差, 但由于地表径流量太小, 因此侵蚀也极其有限。

土地清理及农业利用

如果综合考虑土地利用方面的因素, 侵蚀速率会有明显变化。在半干旱草原地区, 由于风和径流引起的土壤侵蚀会在农耕、收割、放牧等人类活动下变得更为严重。从历史上看, 干旱一直是农业发展的限制性因素, 然而在今天, 排灌设施的广泛应用已大大减少了与干旱相关的土壤损失现象(如 20 世纪 30 年代的沙尘暴事件)。然而, 无论是否存在排灌设施, 只要草原被用作农业生产, 径流引起的土壤侵蚀都将无可避免地加剧, 坡地也是如此。同理, 如果将湿润地区的森林改为农用地, 侵蚀也会同样地加剧。

土地的清理会破坏对地表起保护作用的植被, 如果没有永久性的替代覆盖物, 表层的土壤就极易遭到侵蚀。大多数的农用地在冬季通常都会闲置, 而冬季正是土壤湿度使其易于流失的时候。在加拿大以及美国北部的许多地区, 土地在一年中会有六个月的闲置。今天, 改进的土壤保护方法要求冬季仍然保留

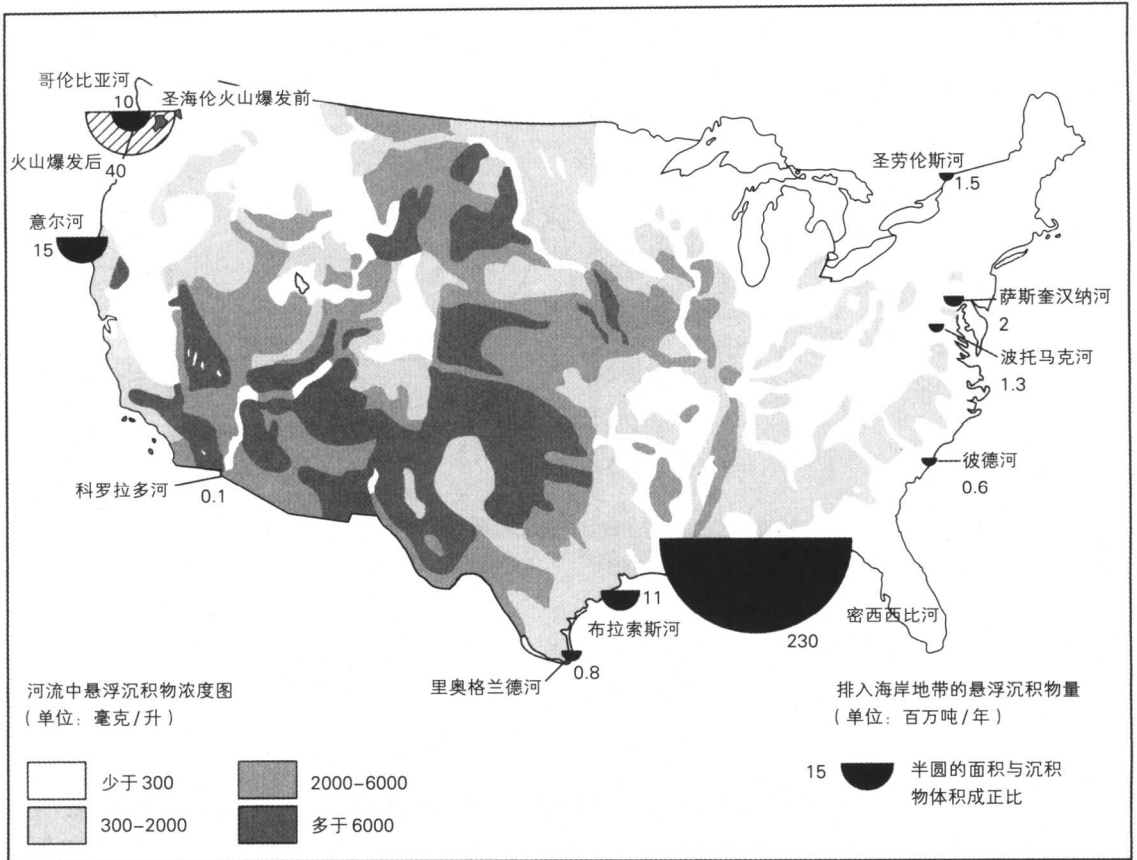


图 12.2 美国河流悬浮沉积物平均浓度图, 包括主要河流的悬浮沉积物的平均释放量数据。悬浮沉积物包括了由径流侵蚀产生的细土壤颗粒和黏土。该图同时暗示出土壤侵蚀速率

农田里作物残茬以防止土壤侵蚀。然而, 作为土壤侵蚀的防护措施, 这些方法只是原有植被的简单替代, 绝不会达到原有的防护效果。

在最近一个世纪, 城市化的影响逐渐在土壤侵蚀的问题上表现得越来越突出了, 特别是在北美城市化期间, 情况更为严重。图 12.3 指出了土壤侵蚀速率变化与土地利用方式变化之间的对应关系(人类土地利用方式的转变表现出一

城市发展之路

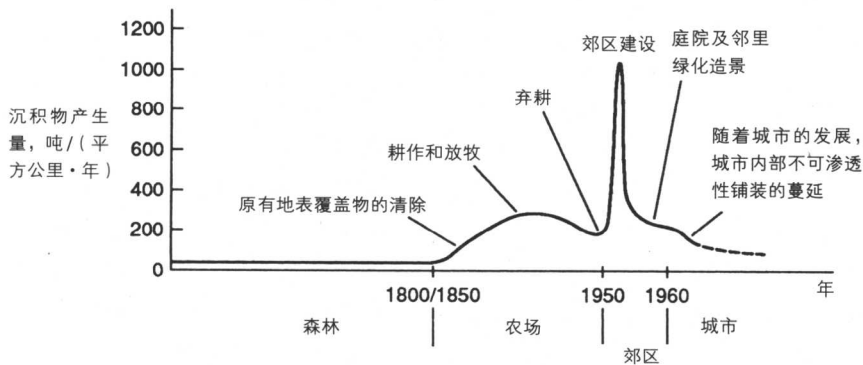


图 12.3 土壤侵蚀与土地利用方式/地表覆盖变化关系图(由最初的森林一直到 20 世纪末的城市)

定的次序规律,通常以城市用地为其最终形态)。大多数地区的土地利用方式的转变是在19世纪初发生的——人们砍伐森林用作农业生产。土壤侵蚀随着自然植被的破坏和农场和牧场的建成而加剧。这个趋势一直继续到20世纪前半叶,农业比重下降、农业人口开始迁往城市。当废弃的农用地被野生植被替代后,土壤侵蚀现象或许是得到了一定的缓解。

20世纪后半叶,城市进一步扩张,郊区有了很大发展。废弃的农业用地、林地以及城市边缘区附近仍在使用的农用地都被征用为城市建设用地。建设期间大面积土地的完全裸露增加了土壤侵蚀的速率,尤其是那些大型建设项目,场地通常会裸露好几个月的时间。虽然时间看上去并不算太长,然而对河流和湿地中的沉积而言,它的影响却是深远且持久的。当开发完成后,土壤或多或少被置于建筑、道路和人造景观之下,减少了土壤侵蚀的发生。随着完全的城市化以及近75%或更多的不可渗透的覆盖面的形成,土壤侵蚀的速度几乎降到农业开发早期时的水平。此时,河流中所含的土壤侵蚀沉积物很少,而更多的是:(1)暴雨冲刷河道产生的沉积物,以及(2)人类活动产生的污染物(空气微尘、汽车尾气以及街道和建筑物磨损产生的碎屑)(图12.3)。

12.3 土壤侵蚀—沉积转运系统

就像所有环境问题一样,有效的解决途径应该从对系统特征的分析入手。根据我们的目的,土壤侵蚀—沉积转运系统被分为四个重要的组成部分:侵蚀、转运、存储、输出。四个部分相互关联,但并不一定按顺序进行,尤其是其中沉积物的存储和输出两部分。此外,这个系统是在一个相对较小的空间框架中进行的,通常面积是几平方英里到100平方英里之间或稍大一些,比如一个当地的流域盆地(图12.4)。

系统组成 侵蚀 是指土壤颗粒从原有土壤上的分离脱落。转运是指由径流引起的土壤颗粒物从侵蚀发生点到存储点或输出点的转移。大多数沉积物的转运距离都十分短,然而对于较小的沉积物(如黏土和淤泥),转运有时会很长,直到它们最后成为河流排放沉积物的一部分。存储指沉积物的沉淀,存储的过程始于侵

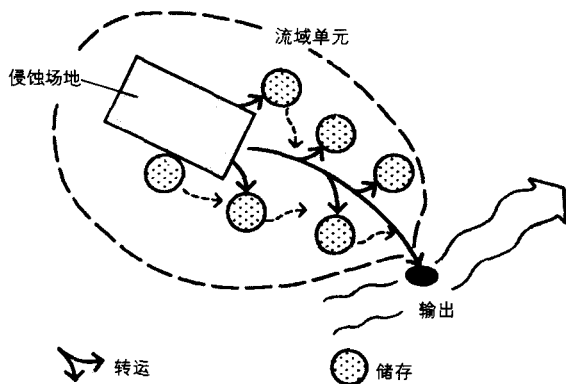


图12.4 土壤侵蚀—沉积转运系统过程示意图(侵蚀、转运、存储和输出)



图12.5 密西西比流域农场的沟蚀情景。对于易被侵蚀的土壤而言，只需数年时间就可以形成这样的沟蚀

蚀场地及其周围的较大土壤颗粒，它在移向排水盆地的过程中在不同的低洼地沉积起来。存储可以是短暂的，仅持续到下一次径流发生时，也可以是长期的，例如当沉积物被埋藏或被生长茂密的植物固定时。经过存储过程后剩下的沉积物将进入系统的输出部分。

土壤侵蚀的过程起始于雨滴降落时产生的雨水飞溅，当雨滴在重力作用下到达地面时，由于受到来自地面的阻力，雨滴会反方向地飞溅，飞溅起的水滴会携带起一些细小的土壤颗粒，当水滴与土壤颗粒再次返回地面时，仍是在重力的作用下，那些被携带起的土壤会有一个向下坡方向的位移。如果降雨速率（强度）大于土壤的渗透能力，则产生地表径流，成薄层状的地表径流称之为层流，串珠状的则称之为溪流。以上所有这些过程都能够造成沉积物的位移，并且溪流状的地表径流还能够在裸露的土壤表面形成一条小型水渠，即冲蚀细沟。这种由层流或溪流状地表径流造成的土壤侵蚀通称为雨蚀。对于坡地中部的某些场地而言，这样的地表径流会汇聚到一些小型的水道之中，随着水道中水体流量和流速的增加，它们对坡地表面的侵蚀力度逐渐加强，并形成一些侵蚀冲沟，这是土壤侵蚀中最为剧烈的一种形式，称作沟蚀。对于那些易于侵蚀的土壤而言（如淤泥和人工耕种过的裸露松散土壤），沟蚀作用形成的渠道在一年的时间内就有可能达到好几英尺的深度，并长达几十码，整个坡地有可能在数年的时间里被沟蚀作用而摧毁（图12.5）。

侵蚀过程

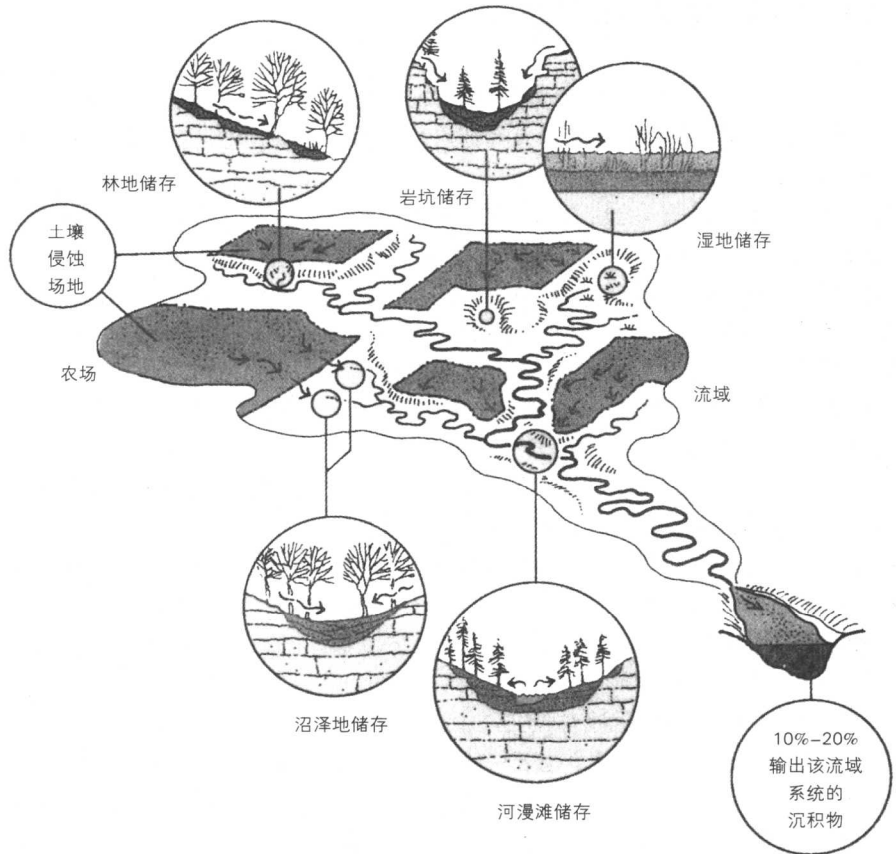


图 12.6 小型流域盆地内的沉积示意图, 只有约 10%~20% 的沉积物会流出此流域盆地

沉积物的存储和输出

研究表明, 由一个侵蚀地点产生的绝大部分沉积物都会沉积在侵蚀点所在的流域盆地内, 尽管这些沉积物会分别沉积在许多不同凹地水池中, 但这些凹地在位置上都是十分靠近侵蚀点的, 如侵蚀点附近的林坡、沼泽、河流、湿地及河漫滩等(图 12.6)。基于目前有限的研究资料表明, 通过侵蚀作用产生的沉积物中只有约 10%~20% 会被输出(这里指乡村小型的流域系统, 数据的得出以年为单位)。

在此有一个重要的问题需要引起关注。除了土壤本身的流失外, 土壤侵蚀最为严重的影响要数侵蚀后产生的沉积物, 它们沉积在侵蚀场地的附近, 被保留在当地的流域系统中, 因此, 如何控制沉积源与转运过程间的联系是一个十分关键的问题(这里所指的转运主要是一些沼泽、沟渠、河流等渠道系统, 它们能够协助沉积物的外向转运, 能将沉积物输出到更大范围的地区)。这一点也很好地解释了为什么农田的侵蚀会对潮湿地区的水生栖息地系统带来如此严重的影响。为了加速水体的流动, 正在耕种的农田必须具备良好的排水系统, 建议通过管道和沟渠系统把所有的农田与当地的河流相连接。因为有效的地表径流流动就意味着有效的沉积物流动, 这种联系农田与河流的沟渠系统将有利于沉积物的扩散, 避免它们沉积在耕种农田的周围。

12.4 影响土壤侵蚀的因素

影响土壤侵蚀的基本因素包括以下四个：植被、土壤类型、坡地的大小和倾斜程度、降雨的频率和强度（人们在进行土壤侵蚀预测时也都会考虑到以上四种因素）。在此，我们首先谈一谈降雨对土壤侵蚀的影响。试验显示，通常强烈的降雨（如雷暴雨）会引发最高速率的侵蚀现象。因此，我们可以将强烈降雨结合地区全年的降雨情况作为降雨促使土壤侵蚀的可靠测度，美国自然资源保护局（U.S. Natural Resources Conservation Service）将这些数据转化成为**降雨侵蚀指数**，该指数能够代表年平均降雨对土壤表面的侵蚀能力（图 12.7）。在美国，该指数值变化相当大，在一些地区，甚至一个州内，一侧与另一侧的差异就很大。例如，从堪萨斯州的东南角到西北角，指数值由高达250降到不足100，也就是说，东南部地区的侵蚀力度为西北部的2.5倍以上。

对于大多数地表而言，植被应该算作是惟一一种最能有效控制土壤侵蚀的因素了，植物的叶片能够阻止雨滴直接落在土壤上，从而减小雨滴对土壤表面的冲击力，而地表的有机腐殖质还能够进一步地减小该冲击力。另外，植物的根能够紧密地与土壤颗粒结合，增加了土壤的抗侵蚀能力。因此，植被的**覆盖密度**是一个影响土壤侵蚀的重要因素，植被覆盖度越高（包括地被层和树冠层），土壤被侵蚀的可能性越小。

另外，土壤自身的质地对侵蚀作用也有明显的影响。例如，砂土往往是最容易被侵蚀的；而对于黏土，地表径流在对其进行侵蚀前还必须产生足够的力量来克服黏土颗粒之间的黏合力；同理，对于一些小型的鹅卵石和较大的土壤颗粒而言，由于它们的体积要比砂土大，流水也需要花费更大的力量来侵蚀它们。因此，显而易见，当从土壤自身的角度考虑侵蚀问题时，中等大小构造的

降雨侵蚀系数

植被控制

土壤自身侵蚀度

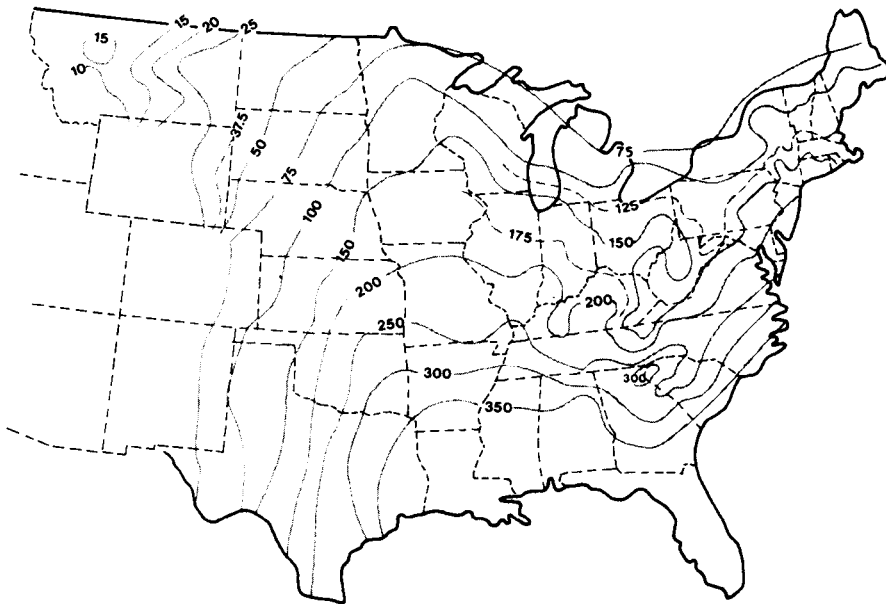


图 12.7 美国落基山脉以东地区的降雨侵蚀系数（对于落基山脉以西地区，降雨系数值随时间的波动性较大，最好以当地近年来的降雨记录进行计算）

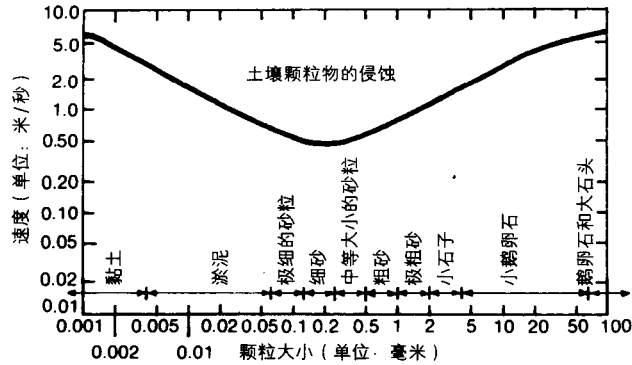


图 12.8 不同大小土壤颗粒的侵蚀临界值(从黏土颗粒到鹅卵石)。从图中可以看出, 砂土的侵蚀临界值最低, 具有最高的可侵蚀性, 最容易被侵蚀(自然界中的实际情况会随土壤颗粒间的紧密度、黏合度等因素的变化而变化——译者注)

土壤可侵蚀度最大, 而黏土和较大颗粒的土壤可侵蚀度较小(图 12.8)。除此之外, 土壤的其他一些性质也会影响到土壤的可侵蚀度, 比如土壤的紧实度和结构等, 然而在对土壤潜在侵蚀进行评估时, 土壤构造仍是最主要的参数。

坡地对侵蚀的影响

我们知道, 根据重力加速度理论, 地表径流能够获得的速度与其流经的地表坡度密切相关; 同时, 径流产生的势能与坡地的长度也密切相关, 坡地越长, 所收集到的雨水越多, 地表径流量也就越大。因此, 越长越陡的坡地侵蚀性也就越强(它能够产生高速并且大量的地表径流)。当然, 这一理论仅限于坡度小于 50° 的坡地, 当坡度大于 50° 时, 坡地在雨水中的暴露程度会急剧降低, 到 90° 时则完全消失。当然, 在大多数的土地利用问题中, 人们一般也只是考虑小于 50° 的坡地, 在城市建设、居住区建设和农业发展中尤为如此。在综合考虑坡地倾斜度和长度的基础上(倾斜度小于 50%, 长度小于 1000 英尺), 表 12.1 给出了土壤的相对侵蚀值。值得注意的是, 表中侵蚀值的变化与坡地长度有线性关系, 而与坡地的坡度不存在线性关系, 例如, 一个 500 英尺长、坡度 10% 的坡地, 相对侵蚀值为 3.1, 而同样长度, 但坡度为 20% 的坡地, 相对侵蚀值就达到了 9.3。

12.5 根据径流计算土壤侵蚀

土壤侵蚀的预测

结合上面提到的四个影响土壤侵蚀的基本因素, 我们可以大略计算出地表径流所造成的土壤损失, 这就是通用土壤损失公式 (universal soil loss equation, USLE), 通过该公式人们可以计算出每英亩土地的年土壤损失量:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot C$$

式中

A = 土壤损失量, 单位: 吨 / (英亩 · 年);

R = 降雨侵蚀指数;

K = 土壤侵蚀度因子;

S = 坡地因子, 倾斜度和长度;

C = 植被覆盖因子。

表 12.1 基于倾斜度和长度的坡地几何属性

坡地长度 (英尺)	坡地倾斜度 (%)														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
50	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.4	3.0	4.3	6.0	7.9	10.1	12.6	15.4
100	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	2.8	3.4	4.2	6.1	8.5	11.2	14.4	17.9	21.7
150	0.5	0.8	1.2	1.6	2.2	2.8	3.5	4.2	5.1	7.5	10.4	13.8	17.6	21.9	26.6
200	0.6	0.9	1.4	1.9	2.6	3.3	4.1	4.8	5.9	8.7	12.0	15.9	20.3	25.2	30.7
250	0.7	1.0	1.6	2.2	2.9	3.7	4.5	5.4	6.6	9.7	13.4	17.8	22.7	28.2	34.4
300	0.7	1.2	1.7	2.4	3.1	4.0	5.0	5.9	7.2	10.7	14.7	19.5	24.9	30.9	37.6
350	0.8	1.2	1.8	2.6	3.4	4.3	5.4	6.4	7.8	11.5	15.9	21.0	26.9	33.4	40.6
400	0.8	1.3	2.0	2.7	3.6	4.6	5.7	6.8	8.3	12.3	17.0	22.5	28.7	35.7	43.5
450	0.9	1.4	2.1	2.9	3.8	4.9	6.1	7.2	8.9	13.1	18.0	23.8	30.5	37.9	46.1
500	0.9	1.5	2.2	3.1	4.0	5.2	6.4	7.6	9.3	13.7	19.0	25.1	32.1	39.9	48.6
550	1.0	1.6	2.3	3.2	4.2	5.4	6.7	8.0	9.8	14.4	19.9	26.4	33.7	41.9	50.9
600	1.0	1.6	2.4	3.3	4.4	5.7	7.0	8.3	10.2	15.1	20.8	27.5	35.2	43.7	53.2
650	1.1	1.7	2.5	3.5	4.6	5.9	7.3	8.7	10.6	15.7	21.7	28.7	36.6	45.5	55.4
700	1.1	1.8	2.6	3.6	4.8	6.1	7.6	9.0	11.1	16.3	22.5	29.7	38.0	47.2	57.5
750	1.1	1.8	2.7	3.7	4.9	6.3	7.9	9.3	11.4	16.8	23.3	30.8	39.3	48.9	59.5
800	1.2	1.9	2.8	3.8	5.1	6.5	8.1	9.6	11.8	17.4	24.1	31.8	40.6	50.5	61.4
900	1.2	2.0	3.0	4.1	5.4	6.9	8.6	10.2	12.5	18.5	25.5	33.7	43.1	53.5	65.2
1000	1.3	2.1	3.1	4.3	5.7	7.3	9.1	10.8	13.2	19.5	26.9	35.5	45.4	56.4	68.7

当研究的对象为农业用地时,公式中需要加入第五个因子,即作物管理因子 P 。当然,对于非农业用地、废弃荒地以及城市用地,通常是不用加入该因子的。

为了阐明USLE的可靠性,我们还必须理解以下三点原则:(1)公式计算出的土壤侵蚀量仅仅只是代表所有产生位移的土壤颗粒(相对于它们原有的位置);(2)公式只包括了层流和溪流的雨蚀作用,而不包括沟蚀作用产生的土壤侵蚀;(3)该公式的建立是以农业土地为基础,因此可能不适合其他的一些用地类型。不过,开辟后的空地、弃耕地和施工场地都是可以运用该方法进行计算的。

关于USLE

对土壤损失而言,构成其损失的因素取决于研究所包含的对象。严格地说,土壤侵蚀的概念是不同于土壤损失的,任何产生相对位移的土壤颗粒都被称为土壤侵蚀(不论颗粒到底离开其起始点多远),而土壤损失则不同于此。例如,在一块施工场地上可能发生大量的土壤侵蚀,但如果产生的沉积物依然留在场地内的话,那人们则会争辩,尽管土壤由于侵蚀作用产生退化,但并没有因此而产生土壤的损失。在图12.9所示的一块场地内,坡地上部分产生的大部分侵蚀土壤都聚集在坡地的底部,因此,在计算坡脚处的土壤损失时,我们应该加上坡地上部流下的土壤量以得出土壤的净变化量。当然,对于环境规划和管理工作而言,关键的问题往往在于整个场地的土壤损失以及该损失对于周边环境的影响。

土壤损失与土壤侵蚀

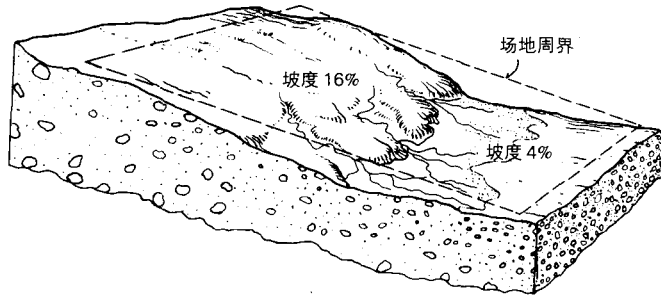


图 12.9 这是一块包括两种坡地类型的场地, 一个坡地产生沉积物, 而另一个坡地积累沉积物。坡地的上部分侵蚀现象严重, 但整个场地可能只有很少或是根本没有净的土壤损失

通常, 我们可以从地形图、县土壤报告, 以及其他地图和表格中得到用于计算土壤侵蚀的数据。当然, 我们推荐使用实地勘察的方法来确定植被覆盖、侵蚀和沉积作用的模式。对于那些无法进行实地勘察的地方, 可以使用地面和航空照片替代, 但得出的结果最好也只是近似值。当需要预测场地外区域接受到的该区的土壤侵蚀物情况时, 我们必须借助于地形图和航片描绘出领域中所有的排水线 (包括集水沟、沼泽、沟渠和河流)。

K 因子

上文中曾提到, 土壤的类型反映出土壤的抗侵蚀能力, 在此, 我们用侵蚀因子 K 来表示土壤类型, K 值反映出土壤对地表径流的侵蚀敏感程度。 K 值范围在 0 至 1.0 之间 (假定值, 包括假想的极端情况), 是土壤科学家们通过对国家内每种土壤类型的实地勘察得出的数值 (得出的土壤真实 K 值范围是 0.02-0.7), K 值越大, 土壤越容易被侵蚀。在一些情况下, 我们会给一块土地两个不同的 K 值, 分别代表受干扰和未受干扰情况下的土壤侵蚀值 (其中干扰土壤包括充填地基和粗糙分级土地)。人们通常可以从美国自然资源保护局的县或州办公机构中得到土壤的 K 值, 如果无法得到 K 值, 人们也可以通过实验分析的方法 (分析土壤颗粒的大小组成) 得出。

R、S、C 值

在图 12.7 中, 我们可以读出全国大部分地区的雨水侵蚀值 R 。在美国的西部, 由于地形的多样性使得降雨变化无常, 因此在图中没有给出 R 值的数据。对于这些地区, 依据地方上近两年内的降雨记录 (每 6 小时记录一次的降雨数据) 得到的 R 值较为可靠。另外, 表 12.1 和表 12.2 分别给出坡地因子 S 值和植被覆盖因子 C 值 (基于地表覆盖和树冠密度)。

土壤侵蚀公式的 可靠性

对于土壤侵蚀公式 USLE, 它的可靠性主要取决于以下两个因素: (1) 公式中所用数据的准确性, 以及 (2) 提出问题的方式。例如一块地形较为复杂的场地, 在进行研究时, 我们就必须将其分成一些在土壤、坡度和植被等方面都较为类似的几个亚区域, 当计算土壤损失时, 首先需要计算出每一个亚区域的土壤损失值, 然后考虑临近亚区域可能接受到的任何沉积, 进一步校正土壤损失值。在对区域内的沉积进行校正时, 我们还必须考虑到上坡区域的潜在贡献以及区域内外沟渠、河流和沼泽的行为模式 (因为地表径流和沉积物可以通过这些渠道穿越一些平坦的土地到达低地、溪流、湖泊和湿地)。

总而言之, 计算一个地区的土壤损失需要以下七个步骤:

计算步骤

1. 利用一张大比例尺的地图确定研究区域的边界, 最好是地形图。

表 12.2 植被覆盖因子

		地表植被覆盖百分比					
		0%	20%	40%	60%	80%	95%–100%
树冠覆盖百分比	0%	.45	.20	.10	.042	.013	.003
		.45	.20	.15	.09	.043	.011
	25%	.39	.18	.09	.039	.013	.003
		.39	.22	.14	.085	.043	.011
	50%	.39	.16	.08	.038	.012	.003
		.39	.19	.13	.080	.042	.011
	75%	.27	.10	.08	.035	.012	.003
		.32	.18	.12	.080	.040	.011

1	1: 由草皮或干草、树叶等有机物覆盖的绿色地表 (厚度 ≥ 2 英寸);
2	

2. 利用航空照片、土壤图、地形图、实地勘察等任何可能的方法将场地分区。当然，如果整个场地的性质都十分均一，这一步可以省略。

3. 确定每一块亚区域的 K 值（源于 NRCS）、 S 值（表 12.1）和 C 值（表 12.2）。

4. 从图 12.7 中读出降雨侵蚀值 R ，将以上的四个值相乘，即可得到每英亩土壤的年平均损蚀量。如果区域中涉及农业用地和作物管理，则还需要用到表 12.3 中适当的 P 值。

5. 确定每块亚区域间坡地和排水模式的联系，预测沉积物的积累区，如果可能的话，进一步校正步骤 4 中得出的侵蚀值，并推导出一个估计的土壤侵蚀值。

6. 将每块亚区域的土壤净侵蚀值相加得出整个场地的土壤侵蚀值。如果无

表 12.3 耕种管理因子 (P)

土地坡度 (%)	P 值		
	等高耕作	等高条植	等高灌溉耕种
2.0–7	0.50	0.25	0.25
8.0–12	0.60	0.30	0.30
13.0–18	0.80	0.40	0.40
19.0–24	0.90	0.45	0.45

法确定每个亚区域之间的联系, 则直接将亚区域的土壤侵蚀值相加。

7. 进一步考虑场地内及场地周边土地的坡地和径流情况, 确定沉积物的转运位点、区域以及沉积可能发生的区域。

12.6 在土地规划和环境管理中的应用

对于大多数当地规划部门而言, 一项最为重要的任务便是对已有的或是规划中的居住、工业及商业项目的土地发展建议进行检查和评价, 项目的评价需要依照大量的标准(包括土壤侵蚀和潜在土壤侵蚀等)。例如, 在对土壤侵蚀进行评估时, 我们不仅需要考虑到表层土的损失和土壤源的损耗, 还应该考虑土壤沉积对地表植被、湿地、河流廊道以及排水设施(如雨水沟, 雨水暗管)的影响。为了获取必要的信息, 通常会要求规划者们准备一份场地计划并回答以下一些关键问题:

管理问题

■明确场地内坡度大于15%的土地面积比例, (a) 在这些坡地中待开发土地面积比是多少? (b) 如果开发, 施工会对这些坡地带来怎样的影响?

■场地内林地、草地以及灌木的面积比例, 有多少植被覆盖将由于开发的需要而被毁坏?

■项目建议的开发区域与(a) 水体(如河流、池塘、水库、湿地等)和(b) 现存排水设施(如雨水暗管、暴雨水池、沟渠等)之间的最短距离是多少?

■在(a) 项目施工阶段和(b) 项目建成后运行阶段中将采取何种方法对土壤侵蚀和沉积现象加以控制?

■预计的施工期长度, 项目会在一年中的哪些月份进行。这些项目包括(a) 土地清理; (b) 土地的开挖和平整; (c) 建筑物和设施的建设; (d) 土地的重新平整和景观营造等。建议的施工期与该地区雨季的关系如何, 尤其是那些暴雨季节? 最后还需要了解工期的安排, 用以保证所有的场地不是在同一时间进行建设(图12.10)。

缓解土壤侵蚀的措施和方法

在许多社区的发展建设阶段, 土壤的侵蚀和沉积是一个十分重要的环境问题, 为此政府已经设立了很多关于土壤侵蚀管理的法律条例, 法令的核心始终围绕着如何能够实现控制或减缓侵蚀现象对环境的影响, 即**缓解措施**。这些缓解措施包含了许多技术和方法, 是各个领域专家和政府部门讨论的结果, 包括许可机构、科学家、景观设计师、城市工程师、施工管理方面的专家以及其他领域的专业人员。用于缓解土壤侵蚀的方法多种多样, 这主要取决于当地的要求和公众机构的监控管理力度。但通常情况下, 建设中使用的缓解方法都是较为简单和小尺度范围的, 并且绝大多数的目的在于: (1) 尽量将那些无遮掩的土壤保持在场内; (2) 阻止含有沉积物的地表径流进入水体系统, 如河流、池塘、湿地等; 或是(3) 通过构造物或麦秆过滤这些泥水。我们可以在恰当的位置设置泥沙栅栏、麦秆包, 在施工地点的周围建立护坡, 坡上使用纤维网或由黄麻制的做麻袋等用的粗麻布等构造物, 在施工场地中建一些沉积物收集池, 用来收集和分离那些含有沉积物的泥水(水质缓解技术的其他方法详见第11章11.4节)。

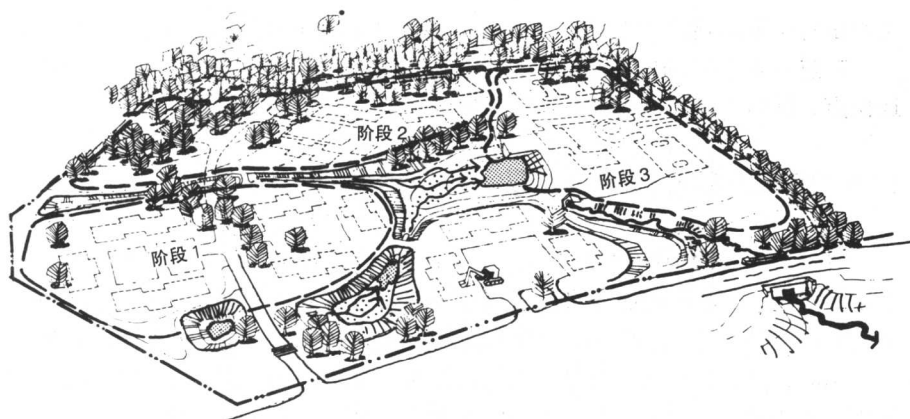


图 12.10 大型项目中的分阶段施工，能够有效减少场地及场地周边的土壤侵蚀和沉积现象。如图中所示的项目，任何时间段里施工区域只占项目总面积的 25%~30%

然而事实却是，尽管目前已经存在许多用于缓解侵蚀和沉积的方法，但这些措施在许多甚至有可能是绝大多数的施工场地仍是远远不够的。当然，这其中包括多种多样的原因：人们对泥沙栅栏的依赖性太强；对排水系统和地表径流量等问题重视不足；没有充分理解降雨量大小和频率特征等。其中尤其关键的原因在于施工过程中过于夸大泥沙栅栏的作用（对潜在的地表径流量估计不足），通常情况下，泥沙栅栏针对高速路或堤岸两旁条状地带的侵蚀比较有效，但对一块面积大于等于 5 英亩的土地就会显得无能为力。这时，应该在施工场地的外围建立一圈护岸（尤其是下坡方向）来阻止径流和沉积物的外流，护岸的高度可以依据 10 年或 25 年的暴雨强度和场地面积进行设

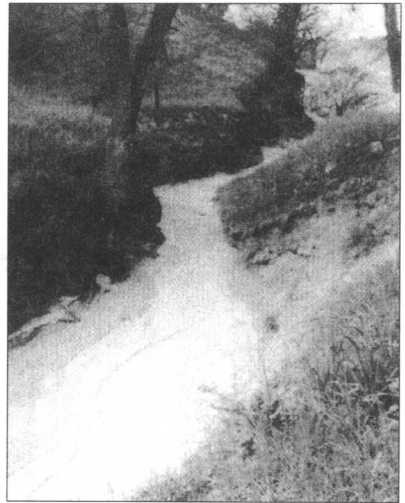
泥沙栅栏的局限性



施工场地中的典型景象：已经被沉积物掩埋的泥沙栅栏



(a)



(b)

图 12.11 (a) 使用阶梯形台地保护陡峭的坡地; (b) 一条充满泥沙沉积物的河道 (这是上游严重土壤侵蚀的结果)

计, 并可以在护岸外加设一道泥沙栅栏。对于一些十分陡峭的坡地, 除了周围的护岸外, 还应该加设梯田来减慢径流速度, 在地表径流到达护岸的边缘之前捕获沉积物 (图 12.11a)。

12.7 流域管理中需要考虑的问题

渠道容量

我们对于土壤侵蚀和河流沉积现象的研究不能仅局限于场地的尺度。正如我们在前面提到的那样, 每一块场地都位于一个较大的流域盆地之中, 土壤侵蚀产生的大部分沉积物会沉积在该盆地内不同类型的凹地水池中。但同时我们还必须认识到, 每一个流域盆地都是由众多排水渠道 (沉积物转运系统的基本通道) 组成的网络通道连接起来的。在大多数的自然流域系统中, 渠道的大小与渠道所承载的流量相适应, 当然也会有流量大于平均值的时候。因此, 可以推断当两条河流在网络中交汇时, 最终的河道承载量将约等于两条支流之和。事实上, 这就是河流渠道容量的概念, 它表示河流能够承载的流量大小随支流的合并而增加。

当然, 沉积物转运能力也会随着河流容量的增加而增加。随着河流容量的增大, 沉积物的转运量会呈指数倍增长, 由于河流偶尔会出现水量特别大的情况, 因此也就会伴随出现泥沙转运量特别大的事件, 河流几乎携带了所有的沉积物。因此, 在对由某一侵蚀场地释放到河流中的沉积物量进行评估时, 我们必须同时考虑接受沉积物河道的大小以及该河道在流域网络系统中的相对位置。流域系统上游小型溪流中的大量泥沙就能够降低下游河道的水流容量, 并常常导致汇流河道的泛滥 (图 12.11b)。洪水发生频率增加, 携带更多的沉积物进入泛滥平原、湿地和其他一些地区。许多沉积在河流山谷底部的泥沙进入到土壤侵蚀-沉积转运系统的存储阶段, 尤其是那些已经生长了植被的地方, 即便更大的水流也无法使其再次移动。

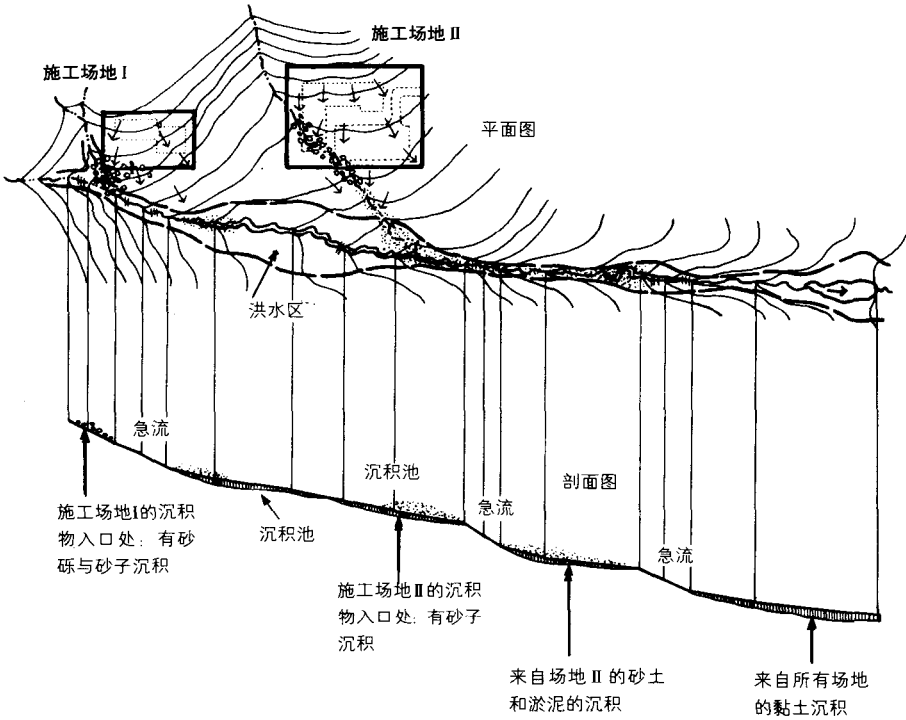


图 12.12 一个小型河流系统内的沉积场地分布图。其中，沉积物的大小、流动速度、距沉积源的距离以及河道的大小、形状、等级等因素都会影响场地内沉积物的积累

在某个流域系统内，当来自几个地点的沉积物同时进入一条河道时，由于沉积物的体积和水流波动（因为不同的河道具有不同的水流速度）的不同，使得人们难以评价该现象对河流系统的整体影响。黏土和淤泥将以悬浮的形式存在于河流中并能够迅速通过整个流域系统，而砂土和较大的土壤颗粒则会因为流动速度较慢而在一定的位点沉积下来（图 12.12）。通常，我们可以根据土壤沉积物颗粒的大小以及河道的大小、形状、倾斜度来判断流域系统内部沉积物可能的沉积位点。大量的研究已经证明，沙土、小石子和一些较大的土壤颗粒容易在流速较慢的水体中沉积。另外，如果从流域管理的角度出发，那么湿地和蓄水池（如人工水库、湖泊等）则是最为关键的地方，我们常常有必要根据流域系统内的土地利用方式对进入这些水体的沉积物含量进行估算。另一方面，关于沉积物位于何处以及为何在排水系统中沉积的知识提示我们该如何去设计捕获沉积物的设施，这在 12.8 节的案例中会有详细的描述。

出于流域管理的目的，流域盆地内的沉积物沉积量估算需要以年为时间单位，计算出整个流域内每个小块场地的沉积物含量，并且必须查明这些场地在流域及流域系统中的具体位置，对沉积物进入网络系统的地点要给予特别关注。对于那些由分水岭分开而隶属于两个流域系统的场地而言，大多数情况下场地内的沉积物很有可能进入两个或两个以上的河道。在了解到这些联系后，我们就可以确定出下游接受沉积物的水体并计算出沉积的速率。

河流渠道系统中的沉积物行为

沉积物沉积量估算

最后, 为了能够确定沉积物在河道或蓄水池系统中所占的空间, 我们还需要将沉积量转化成体积单位。下面是各种沉积物的推荐密度:

- 黏土 = 60-80 磅 / 立方英尺
- 黏土 / 淤泥 / 沙混合物 = 80-100 磅 / 立方英尺
- 沙和砾石 = 95-130 磅 / 立方英尺

如果用每立方英尺90磅的中间值进行换算, 一个水库平均每年接受一万吨的泥沙便会失去 222000 立方英尺 (8200 立方码) 的容积。假设水库的容量为 200 万立方英尺 (即一个 200 英尺宽, 1000 英尺长, 10 英尺深的水库), 那么它的“寿命”仅只有短短的九年。在 20 世纪里, 北美地区有成千上万的水库因为受到沉积物的影响而消失。

对于那些水体交换速度快的蓄水池, 交换只需几小时或几天的时间, 由于这些水池体积小, 而黏土颗粒的沉降速度又十分的缓慢, 因此大部分的黏土都不会在池中沉积。而对于那些水体交换耗时长的大型蓄水池 (水体交换可能需要 10 至 12 年的时间), 细小的泥沙就会在湖底沉积, 并覆盖在水底有机物的表面之上。

12.8 案例研究

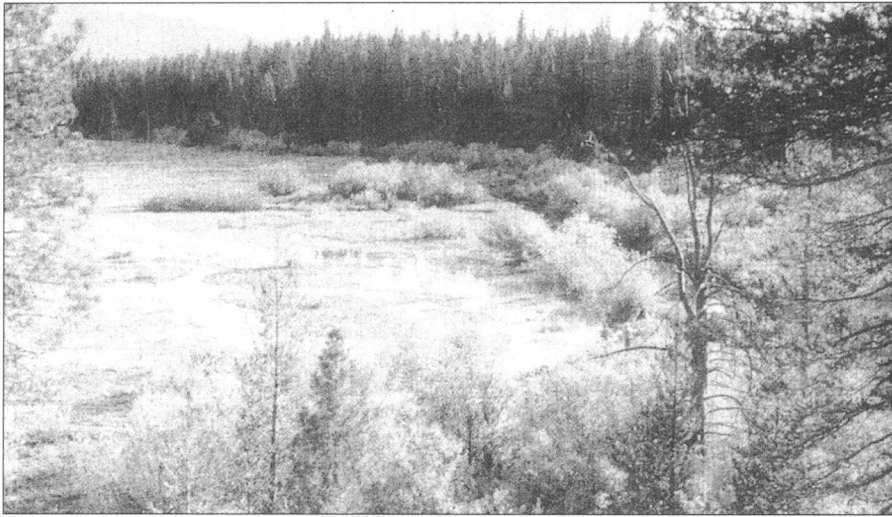
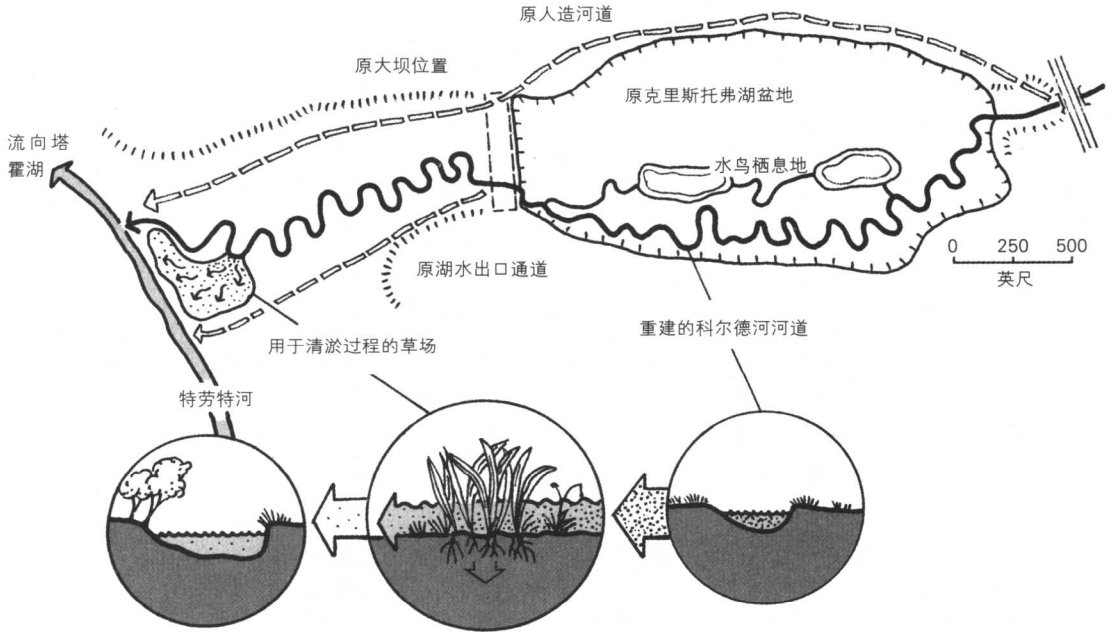
加州塔霍湖南部地区一个河流恢复项目中 土壤侵蚀和沉积的控制

史蒂夫·戈德曼 (Steve Goldman)

土壤侵蚀和沉积物治理的方法必须因地制宜, 显而易见, 世界上并不存在一项可以适用于任何地方的规划。在下面提到的一个案例中 (位于美国西部的塔霍湖附近草场中的一条溪流的恢复规划), 传统的控制方法便显得无能为力。解决的方案源自对自然的完全理解, 人们利用场地中自然的过滤系统使泥沙得到控制。

这项工程涉及 6000 英尺弯曲河道的建设。科尔德河 (Cold Creek) 位于加利福尼亚州的埃尔多拉多 (El Dorado) 县, 塔霍湖南部几英里处, 属南塔霍湖市管辖。它是特劳特河 (Trout Creek) 的一条支流 (特劳特河汇入塔霍湖), 积水区面积 13 平方英里。在科尔德河流入特劳特河前有一段 3000 英尺长的草场地带, 科尔德河就是从那里开始蜿蜒流淌的。在 20 世纪 50 年代, 一座大坝修建在科尔德河的狭窄处, 河流被迫改变流程进入一条沿草场东北方向的沟渠, 人们挖出一条小河道将水引向草场并形成了一个新的人工湖泊。这个人工湖的修建原是为了农业的灌溉, 现被称作“克里斯托弗湖” (Lake Christopher), 已成为草场西南方向重要景观元素。在加州塔霍湖自然资源保护局 (California Tahoe Conservancy) 的授权下, 南塔霍市于 1994 年启动了该河流的系列恢复计划。

这项工程旨在恢复草场内河流的自然功能, 降低土壤侵蚀, 保护塔霍湖的水质, 恢复并增加野生动物和鱼类的栖息地。在河流的恢复过程中, 人们



清淤期间靠近特劳特河的草场景象

通过一条小渠道将河流与两块水鸟栖息的池塘（池塘是另一项早期建设完成的）相连接。工程建设中一项最大的挑战就是如何挖出一条长为6000英尺的河道并同时防止挖出的泥沙和其他污染物进入特劳特河。

在此，项目的承包人需要在施工期间负责并控制土壤侵蚀和沉积。但由于在河流恢复项目中，没有标准的侵蚀控制方法可循，承包人选择了一种施工中常用的传统手段，即泥沙栅栏和麦秆包。然而，这种方法并不奏效，人们眼睁睁地看着大量的泥水流入特劳特河，河水的流量远远超过了这些栅栏的承载能力，栅栏后的土地上迅速积满了泥沙，浑浊的河水直接越过栅栏的

顶部流入特劳特河，大大超过国家制定的相关土壤侵蚀标准。

针对这一情况，州立水质监测机构立即召集了城市部门、承包人和项目小组等相关人员，他们达成协议，要求南塔霍市为项目的后一阶段提供一份土壤侵蚀控制计划，这份计划应该能够成为未来塔霍湖区河流恢复工程的典型示范。计划模仿了自然界中捕获沉积物的方法，与自然的水流泛滥流经河漫滩的形式类似，人为地使河水从草场上流过，使沉积物得以过滤。首先，在新建河道的下游末端设立一个小型木质水坝，与一个低的厚织物堤坝相邻。在新河道与克里斯托弗湖出口的交汇处放置沙袋来控制河水的流速，因为沙袋允许其两边的水流具有不同的流速，能够使流水缓缓进入新的河道，逐渐流入周边的草场。工人们则负责在不同的地点监控水流的扩散，并对新河道中流出的河水进行调整。

从草场的照片估计，水流蔓延的区域达到了72000平方英尺。按照这样的轮廓、流速以及标准颗粒沉积速度，我们可以计算出这片土地的有效沉积物捕获量，结果显示，在草场内，所有沙土和淤泥颗粒大小的土壤都将被有效截获，只有部分的黏土有可能逃脱。但该公式的计算并没有包括植被的作用，草场上长满了莎草，显然，实际的捕获能力要高于公式计算的结果。由于泥水在流入特劳特河之前，必须流经大量的植物茎秆，因此大部分的泥沙在途中就会沉积下来。另外，被捕获的细小颗粒物也不大可能再次悬浮（因为经过草场的水流速度较慢，并且这些沉积的泥沙往往都落在植物根茎的缝隙中难以逃逸）。因此，经过草场过滤后流入特劳特河的河水相当清澈，与先前第一阶段施工时浑浊的水流形成鲜明的对比。

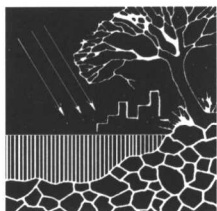
在水流蔓延流过草场的一周后，人们每隔五天就会取下水坝（位于项目最下游处）上的一块木板，每当拿走一块木板，都可以观察到少量的泥水，但持续时间通常少于30分钟。当人们取走最后一块木板的时候，浑浊的状态持续了近两小时，但水流的浑浊度远不及第一阶段。项目完成了，也最终证明了人们的成功，自然的方式帮了人们一个大忙，项目不再需要额外的调整。

从这样的一个案例中，我们可以学到很多东西。同其他的环境规划一样，与传统的技术手段相比，如果我们能够充分地理解自然、遵照自然的方式，那么我们将取得令人高度满意的结果，并且这种结果是在花费较少、对环境的干扰也较小的情况下获得的。

作者简介：史蒂夫·戈德曼（Steve Goldman），加州南塔霍湖加州塔霍自然资源保护局中一名土壤侵蚀控制和河流恢复专家。《侵蚀和沉积控制手册》（《*Erosion and Sediment Control Handbook*》）的主要作者（McGraw-Hill 出版公司出版）。

12.9 推荐阅读文献

- Environmental Protection Agency. *Erosion and Sediment Control: Surface Mining in the Eastern United States*. U.S. EPA Technology Transfer Seminar Publication, 1976.
- Ferguson, Bruce K. "Erosion and Sedimentation in Regional and Site Planning." *Journal of Soil and Water Conservation* 36:4, 1981, pp. 199-204.
- Glanz, James. "New Soil Erosion Model Erodes Farmers' Patience." *Science* vol. 264, 1994, pp. 1661-1662.
- Goldman, S. J., et al. *Erosion and Sediment Control Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1986.
- Heede, B. H. "Designing Gully Control Systems for Eroding Watersheds." *Environmental Management* 2:6, 1978, pp. 509-522.
- Hjulström, F. "Transport of Detritus by Moving Water." In *Recent Marine Sediments: A Symposium* (P. Trask ed.). Tulsa, OK; American Association of Petroleum Geologists, 1939.
- Meade, R. H. and Parker, R. S. "Sediment in Rivers of the United States." In *National Water Summary 1984*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2275, 1985, pp. 49-60.
- Patterson, R. G., et al. "Costs and Benefits of Urban Erosion and Sediment Control: The North Carolina Experience." *Environmental Management* 17:2, 1993, pp. 167-178.
- Pimentel, David, et al. "Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits." *Science*, 267, 1995.
- Trimble, S. W. "A Sediment Budget for Coon Creek Basin in the Driftless Area, Wisconsin, 1853-1977." *American Journal of Science* 283, 1983, pp. 454-474.
- Wischmeier, W. H., et al. *Procedure for Computing Sheet and Rill Erosion on Project Areas*. U.S. Natural Resources Conservation Service, Technical Release No. 51, 1975.
- Wolman, M. G. "A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels." *Géografiska Annaler* 49A, 1967, pp. 385-395.



第 13 章

最佳管理措施 (BMP), 流域与开发场地

- 13.1 简介
- 13.2 流域内径流系统和适宜 BMP 应用的场地
- 13.3 场地暴雨水系统
- 13.4 暴雨水产生段的 BMP 规划
- 13.5 暴雨雨水迁移段 (释放) 的 BMP 规划
- 13.6 传输段 BMP 规划
- 13.7 BMP 规划步履
- 13.8 总结和建议
- 13.9 推荐阅读文献

13.1 简介

前面的章节(第8、9、11、12章)中,我们介绍了暴雨水、沉积物、营养物,以及其他污染物在径流系统中的荷载情况,并简要探讨了多种管理理念和方法。在本章中,我们主要讨论最佳管理措施,简称BMP(best management practices),并提出一套有助于建立BMP规划的方法,以减缓土地利用对径流系统造成的负面影响。借此丰富BMP的内涵,并阐述BMP规划的多元概念。

BMP指的是为预防或减少土地开发利用对环境造成的负面影响而采取的一系列措施与方法。BMP涉及环境中多方面的内容,本文主要指径流系统,尤其是暴雨水的处理。因此,BMP规划中,常采用分离池这类装置,有助于导流,减少水土流失,降低水污染。除此之外,BMP还涉及诸如政策方针、概念规划、景观设计、信息工程和生态恢复等方面的措施与方法。

BMP规划方法是从流域着手,要求采取预防性措施,也就是说,需要在土地开发前就做好BMP规划。接下来是场地尺度的BMP规划,用于对开发后的景观采取纠正性的措施进行恢复。在流域尺度上,我们想了解径流系统是如何发挥作用的,如何设计土地利用才能适应这些作用,以及如何利用流域中已经存在的减灾机遇。在场地尺度上,暴雨雨水及其负载的污染物可分成由本书第11章中描述的三个部分构成的系统(详见图11.1):(1)暴雨雨水及污染物的产生;(2)暴雨雨水及污染物向场地外迁移;(3)雨水及污染物进入接受水体。然而不论是在流域尺度或场地尺度,建立BMP规划的目的都在于使场地在开发建设过程中及其后都能够模拟开发前的水流系统状态,尽可能少的使用大型的、结构性的控水措施。

BMP 定义

方法

13.2 流域内径流系统和适宜BMP应用的场地

BMP规划在传统上属土木工程领域,主要起纠正而非预防的作用。在已开发的场地中,工程性BMP尚能发挥作用,但对未开发的场地来说,这种BMP并非我们的首选。相反,作为土地利用规划与设计的一部分,BMP规划(BMP planning)应该在开发前进行,重点是找出流域内无需借助结构性装置来缓解暴雨雨水就能够进行开发的场地。换言之,在规划和开发过程中,BMP规划应超前发挥作用,而非事后补救。

预防性的BMP
规划

实际上,如果我们能科学合理地规划与利用土地,工程性BMP就会显得是多此一举。然而遗憾的是,很多情况下,我们的规划不是以土地为本,而是以追求地产和区划利益为目的,因此经常导致错失了减少甚至消除结构性排水装置的机会,并为此付出了高昂的代价。简言之,如果我们在景观规划与设计时,能采取恰当的土地利用密度、混合度及构造形式去适合变化的地形和自然排水系统时,那可能就无需再利用管道与蓄水池去对付暴雨水问题了。

任一开发场地都从属于一个流域,是排水系统固有的组成部分。对于未开发土地,其BMP规划的第一步是确定场地在排水系统中的位置、径流流经状况,及其对应的相关条件。小流域中的场地(大部分的开发都是在小流域中进行)通常属于第9章中讨论的三个水文区域中的一个,名称如图13.1。

场地——流域的
组成部分

在流域尺度上制定BMP规划时,我们需要清楚地了解以上每个水文区的水流情况及其功能。一旦理解这些重要的排水过程和排水条件,就有助于建立区

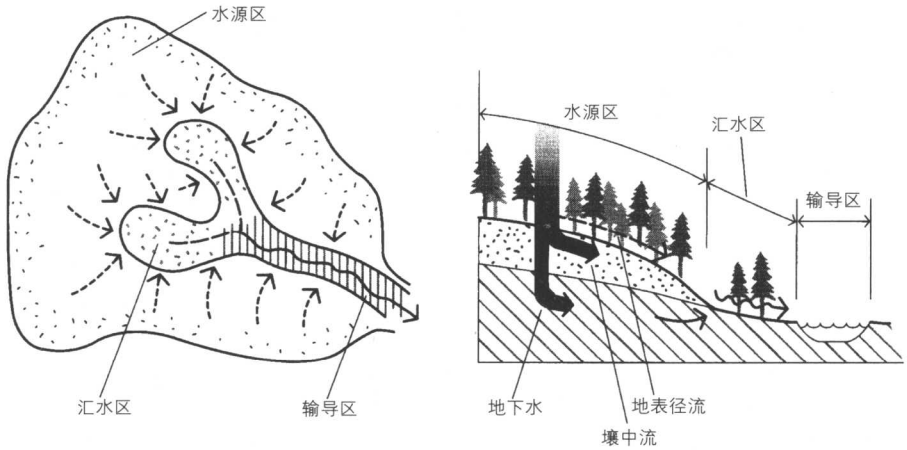


图 13.1 小流域的三个主要水文区: 水源区、汇水区和输导区。水源区占流域面积的大部分, 也提供了最多减轻暴雨水量的机会

域模型去估测场地开发前的水文状况。模型应包括预测暴雨雨水生成量, 及暴雨水流经区域的情况, 即暴雨水流经的方式和过程。

流域作为局部地区系统

大部分流域为局部地区系统(partial area systems), 也就是说, 只有局部地区的地表将暴雨雨水以地表径流的形式汇入河川径流 (见图 8.6)。根据暴雨强度和蓄水条件, 如土壤湿度、地面霜冻和覆雪情况等, 暴雨水源区一般占到整个流域的 20%~40%。在此, 十分重要的一点是找出非暴雨水源区的分布, 这有助于解答以下两个问题: 第一, 确定流域适合何种类型的土地利用方式; 第二, 确定在何处设置“内在性”的 BMP, 例如湿地和沙土等自然汇水系统。

确定非源区

确定非源区应从坡度、土壤、植被、水体特征和土地利用情况着手。渗透

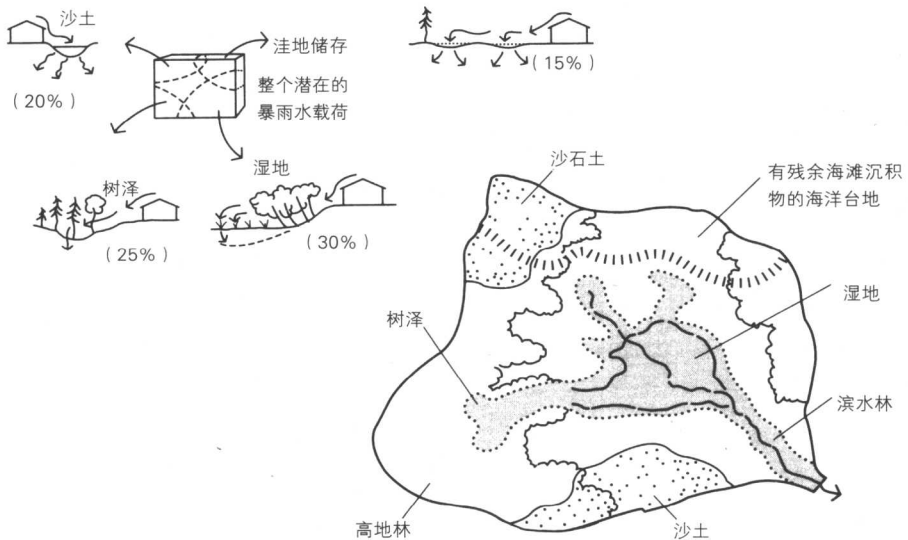


图 13.2 流域中适宜 BMP 应用的场地。确定流域内适合使用 BMP 应用的场地需要进行场地敏感性分析, 同时采用恰当的土地利用规划和场地设计。左上方插入的图片为暴雨水在流域中的分流示意图

性好的土壤和植被覆盖的地区，通常为流域的非源区，如湿地，特别是封闭或部分封闭的地区(图13.2)。一旦确定了流域的非源区，应该通过场地调查来验证其没有或只有少量的地表径流。这类地区的主要特征表现在具有小沟槽，如沼泽地、水沟、细沟。如果没有证据说明地面有短暂性的甚至是微型的沟槽，那么该场地是否有一般意义上的暴雨雨水径流即地表漫流就值得怀疑了，或者地表径流太弱或太少以至于不能形成大的水流来冲刷地表。

在这些地区中，径流发生渗透后，通过其他途径，如壤中流和/或地下水等形式流动，或被截流、洼地存储或被土壤吸收作为土壤湿度方式保留。这种现象在林地流域中较为常见，已开发土地利用方式并没有破坏原有的微地形和表土，没有扩大沼泽和修建道路、水沟、地下排水设施等(见图8.11)。因为蜕掉的树皮、腐朽的残干树桩、穴居动物和其他的障碍物，使林地地表粗糙多孔，除非是早年形成了一定的径流形式，通常这样的场地很难形成地表径流。在BMP规划时验证这些条件十分重要，因为我们可以依据这些线索，在土地利用规划中，结合自然的手段削减雨水冲刷，借此减少甚至消除对工程性BMP设施的需要，或者是开发后对设施的需要。这里有大量自然减缓暴雨雨水的方式可以加以利用，使用这些场地进行组团式的开发十分合适。本方法基于对绿色基础设施(green infrastructure)理念的运用，所谓对暴雨水控制的绿色基础设施方法就是对径流的源头加以控制(source control)。为了控制源头，我们要么直接利用现有自然条件来截流和渗透暴雨水，或是人工创建这些控制条件。在进行场地规划和设计时，我们就可以使用最有效的源控措施(如渗透床或草沼地)以及现有的技术(如分级渗透性土壤、土壤处理和种植设计等)来实现源头控制。

流域的另一特征是排水密度。在进行流域规模的BMP规划时，排水密度是很重要的参考因子。低排水密度意味着降水被拦截或储存，或通过蒸腾作用返回大气；和/或以其他形式的非地表径流方式排走(即通过壤中流和地下水流的方式)。反之，高排水密度意味着暴雨水和沟渠水流量大，而且几乎都是通过自然的或人工的暴雨水沟渠排水(见图8.10)。一旦场地出现暴雨排水管道，

绿色基础设施和
源头控制

排水密度

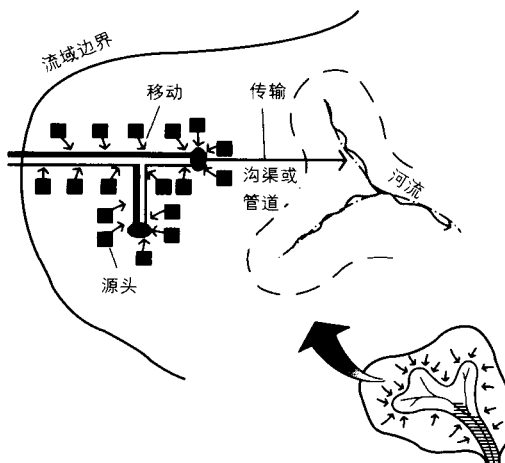


图13.3 场地暴雨水系统由三个相联系的过程组成：产生、移动、传输。本图说明在常规的暴雨水系统中这三部分的组成情况

BMP规划时使用自然方式排水的可能性就会大大减少,特别是降低了源头控制的水平,因为通常铺设的排水管道系统会连接许多场地,这使得流域自身内在的排水能力没有得到利用。有些情况下,我们可以将一块场地从排水管道系统中分离开来(不再使用原有的排水系统),单独实施 BMP 规划。

13.3 场地暴雨水系统

流域中每一个开发场地都有它自身的暴雨水系统。该系统由三个相联系的过程组成:(1)现场产生暴雨水;(2)暴雨水离开产生地;(3)暴雨水及其污染物进入接收水体。其中过程(1)雨水的产生指的是雨水降落在已开发的地表上并形成的地表水(含污染物),一旦从场地释放,就容易形成暴雨水径流;过程(2)移动是指暴雨水从场地排放到传输系统的过程;过程(3)传输指的是暴雨水被导入接收水体(图 13.3)。

系统概述

雨水及污物的产生系统由附加在场地内的所有设施和土地利用方式构成,它们增大了暴雨水量和污染物产生量。土地的去植被化、人工的土壤紧实、不透水铺装的使用、草坪施肥以及垃圾燃烧等都直接导致雨水和污染物的产生。雨水及污物的移动系统通常由水沟、喷流、庭院排水和地面铺装组成,而传输系统通常由路缘、水沟、明沟和暴雨排水管组成。通常在一个场所中,人工的水移动和传输系统会取代场地的自然水文系统,易形成“更高效”的水流系统。在常规土地利用开发中,场地会很快形成暴雨水,同时快速离开场地,迅速注入传输系统并很快被排放到附近的河流中。

从开发场地到接收水体过程中,基于开发活动与之相联系的暴雨水产生、移动和传输一系列功能,我们作出了对场地暴雨水系统的BMP选择。对应于暴雨水流的三个过程,其BMP规划可划分为:规划、设计和工程三阶段。三种不同控制程度的BMP组合,可用于处理不同的场地问题。暴雨水一旦流过系统,并注入接收水体,实施BMP规划的机会就将会大大地减少甚至丧失,单凭经验来估计,我们认为实施BMP规划的机率会随场地距离的增大而减少,而实施成

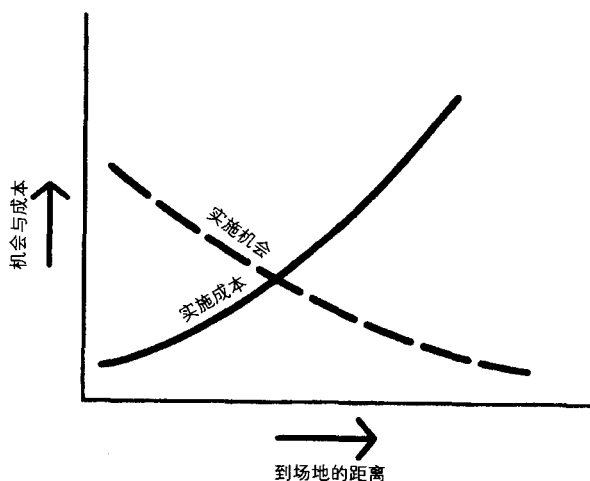


图 13.4 场地距离与实施 BMP 规划的机会及成本之间的关系

本则不断增加（图 13.4）。

13.4 暴雨水产生段的 BMP 规划

雨水产生段的BMP规划常用来减少现场产生的暴雨水径流量和污染物。然而，在常规的开发中，这种BMP一直受到忽视，人们偏爱使用“抓住一切的”BMP发展模式，该模式的指导思想就是设计能够容纳大量来自一个大型场地或数个小型场地暴雨径流的设施（例如暴雨排水管道和滞留盆地等）。而这里的产生段BMP规划指的则是利用战略规划、规划、开发政策，以及教育等方式来帮助减少各场地的径流和污染物的方法。这包括使用适合场地特性的恰当设施，评估密度及场地“承载能力”，同时设计出能促进流域和场地可持续原则的设施构造（表 13.1）。

通常，暴雨雨水产生段的BMP规划可划分为三种类型：规划政策、建筑和景观设计、场地管理。其中规划政策会影响暴雨水及其污染物的产量，包括了强调土地利用方式和密度的分区管理条例、区域用地铺装限制条例、湿地保护条例，以及街道、马路、建筑基址的坡度限制条例等。建筑和景观设计的BMP规划包括：屋顶面与地面的比例限定；场地附属建筑物、人行道、车道等所占面积的限定；地基和地下室设计的规定；坡度处理及景观营建中植物和土壤材料应用指南等。场地管理BMP内容较为丰富，尤其突出了与BMP规划相关联的废物处理、肥料和杀虫剂的应用、灌溉和水的循环利用，以及场地中家畜数量和种类等内容。

产生段的BMP规划能够通过各种方式得以实现。在政策规划阶段，它可以通过社区规划（如指定土地利用类型）、分区条例（如限定地块的铺装及密度）、细部研究（如确定道路的位置和等级规模）、开发许可认证（如对环境敏感区指

暴雨水产生段的
BMP 规划分类

BMP 的实现

表 13.1 流域和场地尺度上的规划选择和产生段的 BMP 措施

	暴雨水的产生							
	流域尺度			场地尺度				
	自然湿地的 储存	可渗透性土壤的 储存	自然蓄水区域的 储存	单位面积场地的承载能力	植被的滞留作用和滨水缓冲带	道路构造和设计	基于污染物的政策（例如：危险废弃物的处理）	教育计划
影响暴雨和污染物产生的规划选择								
地表覆盖	√	√	√		√	√		√
不透水区域				√		√		√
径流储存	√		√					√
径流处理	√	√			√			√
径流渗透	√	√			√			√
污染物				√		√	√	√

定用途)以及建筑物的许可程序(如对暴雨水处理措施的规划要求)等得以实现。另外,建筑和景观BMP的实施也与之类似。然而,BMP在场地管理水平的实施方面有明显不同,方案的实施有赖于结合公众政策强制执行(如垃圾处理)、实行激励机制(如对暴雨水循环利用的减免税),并为公众提供信息和教育(如化肥的施用和洗车)等加以实现。

暴雨雨水产生段的BMP规划包括如下部分:

关键措施

- 限制不透水铺装面积,包括降低路宽,缩窄车道,减少屋顶面积。
- 场地的管理准则应鼓励保留林地和湿地。
- 道路和邻域的框架设计应减少机动车运行距离,鼓励可持续的交通模式。
- 通过利用储水池存储与回收屋檐水,并可连接到花园和草地的输水存储装置,以便循环利用。
- 燃烧杂物、冲洗宠物粪便,及处理家庭、工业有害废物等过程中,应减少现场产生的污染物。
- 利用教育和信息手段,鼓励家庭和业主参与处理可回收利用垃圾和维护景观的活动。
- 实施鼓励政策,如对采取透水铺装、干井、林地等减少径流方法的行为实行减免税收的政策。

改造已开发场地

产生段的BMP适用于未开发和已开发的区域,但在已开发区中,我们往往不能灵活、恰当地运用这种BMP规划,因为在开发区,建筑物和暴雨水排水装置都已经存在。然而,结合邻区公园、绿带、景观大道和残余湿地,减少暴雨水径流的目的仍是可以实现。那么很有必要评价这些区域是否具备暴雨水管

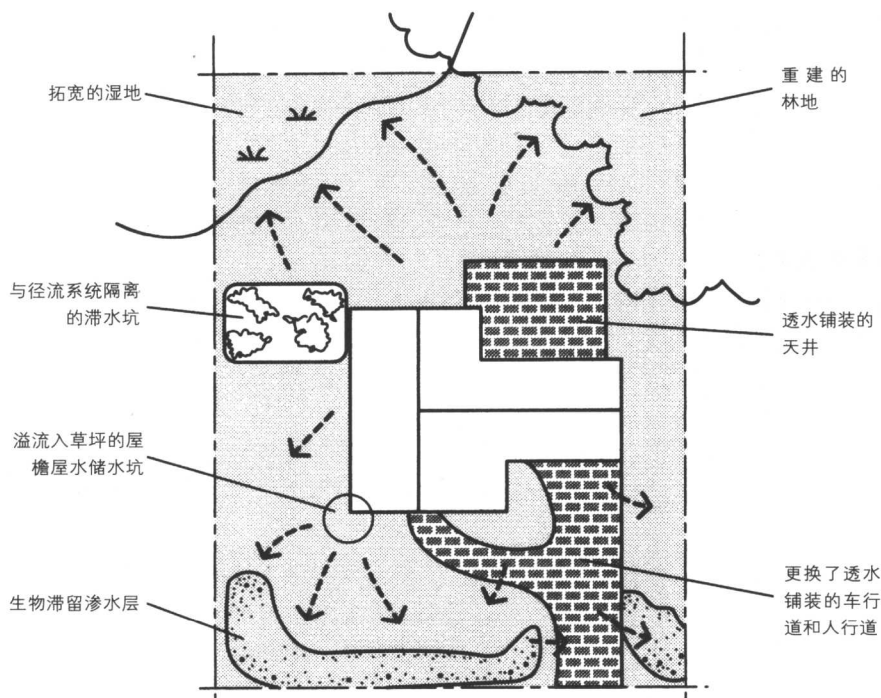


图 13.5 可用于翻新居住场地以减少现场暴雨和污染物的手段

理的潜在可能，以便确定其是否可纳入更大的管理规划体系中去。

此外，我们还可通过多种其他途径对场地进行改造以减少已开发区域的暴雨水量和污染物。一个简单的例子就是用透水铺装替换破损的车行道和人行道。另一种方法就是利用水槽中的部分屋檐水溢流，导入干井或院子周边的渗透层（图 13.5）。减少暴雨水的产生不但可降低其对环境的影响，还可减少排水管道的损耗和破裂，从而延长管道的使用寿命。

规划和设计必须最大程度的减少暴雨水的产生，尽可能增强场地的透水性。可采用径流模拟模型来检验建议规划的功效，看其是否符合开发前的标准。然而，在一些情况下，在管理过程中对已开发的场地仅仅使用产生段的BMP规划是不足以有效处理场地暴雨雨水的，我们需要接下来的BMP对其进行进一步的处理。

13.5 暴雨雨水迁移段（释放）的BMP规划

另一层面BMP的应用就是防止过量的水从场地流失，并防止过多的暴雨水对河流造成的负荷。暴雨雨水迁移段或释放段BMP的主要目的就是阻断暴雨水源地与流域排水系统的连接。此层面的BMP措施，如草地、林地渗透，透水铺装和洼地存储等都是很重要的预防手段。因为这些措施可以在暴雨水流出场地前对其进行截流和渗透。迁移段BMP措施主要是为控制中小型的地表径流，因为对很多区域来说，这些径流的总和构成了最大的暴雨水流量和最多的污染物。另一方面，较大型地表暴雨径流可以通过传输BMP措施加以处理。

在常规的设计中，场地会很快释放暴雨水径流，并快速注入排水管系统。然而，在运用了迁移BMP的系统中，径流被场地截断，并被导入滞留和吸收暴雨水的场地，例如有渗透层的场地。这些BMP措施就是通过孤立暴雨水源地而实现减少雨水及污染物进入河流的可能性。例如，目前从降雨方面来治理和渗透径流的实效还不达1英寸深，因此提高整个流域的水文成效还有很长的一段路要走。减缓地表径流的释放，阻断水源地与流域的联系，可以由以下方法实现：（1）使用更长更缓的径流路线，增加径流流经场地的时间（如图9.11c）；（2）增加地表的粗糙程度来减缓地表径流，延缓渠道水流流速并改变其原先的流动形式；（3）阻断不透水铺装与排水管道系统的联系以降低流动的连续性以及暴雨雨水的收集面积；（4）利用台地和种植设计来减弱径流，增加暴雨水的渗透（如图8.12b）。场地迁移段BMP规划的关键原则就是在场地尺度上处理暴雨水径流，就是说，控制水源场地，而不是在邻域、社区或流域尺度上来处理暴雨水。研究表明，场地层面的暴雨水处理比广泛综合的BMP措施更有效，更廉价。

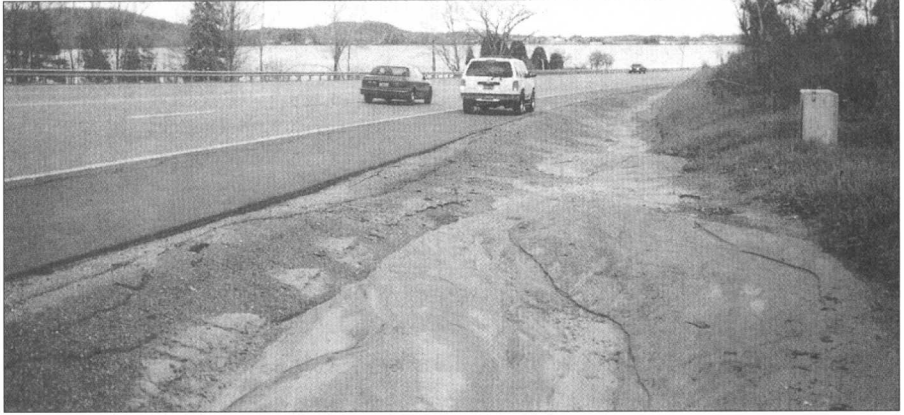
将场地独立出来

暴雨雨水迁移段的BMP包括：

- 将屋檐水落管和庭院排水沟与暴雨水系统分离。
- 利用生物滞留装置拦截暴雨水径流和治理污染，如建立暴雨水花园和洼地存储。
- 利用渗透性装置（沼泽、沟渠、干井等）增强土壤涵养地表水的能力。
- 利用导流渠将暴雨水从暴雨传输系统中移出。
- 利用洼地存储井和其他坡度缓和装置减缓径流流速。
- 利用渗透层、沟渠和（底部布满草和鹅卵石）沼泽等措施。
- 利用特殊的种植设计（例如设计“暴雨水花园”），增强渗透性，减少土壤侵蚀，截断并处理暴雨水污染。

关键措施

13.6 传输段 BMP 规划



(a)



(b)



(c)

图 13.6 在传输系统中, 并非所有的开放沼泽都是恰当的管理措施: (a) 与管道相当的糟糕方式; (b) 有草坪, 稍好一些; (c) 更好的方式

传输段BMP是对暴雨水径流和污染物进入接收水体前进行控制的最后一道措施。尽管场地尺度BMP能够管理大部分径流,但它们仍不能调节更大更频繁的径流。传输段BMP规划能减少洪水的威胁和更大降雨带来的破坏,尤其能减少那些持续的滂沱大雨造成的雨水灾害。传输段BMP,跟雨水迁移段BMP一样,通过延长径流流经时间和增加渠道的粗糙度来减缓暴雨水的迁移速度。这种BMP通常属于工程师管辖的领域,并主要表现在构造性设施的处理上。工程性BMP跟道路、排水管结构有关,包括下水管和滞留池,在暴雨水管理的BMP规划中被最广泛应用(图13.6)。

原理

传输段BMP包括:

- 建立无限制物和排水沟的开放式排水方式(沼泽)。
- 建立导流渠,从有价值的栖息地和水体导走暴雨水。
- 重新设置水流路径,延长流经时间减缓迁移速度。
- 建立储水盆地,具有保留和滞留功能。
- 建立适度低坡的迁移系统,例如有着粗糙底床的宽阔沼泽。
- 构建湿地。
- 建立渗透性沟渠。

关键措施

13.7 BMP规划步骤

根据我们描述的方法,我们推荐的BMP规划步骤如下:

1. 描述并定位区域流域及其子流域的现有开发和有待开发的情况。
2. 确定并描绘该流域排水系统,沟渠网和其他排水设施,如湖泊、湿地、漫滩和渗流区等。标记重要的栖息地,尤其是鱼类产卵的河流及其具有相关特性的地域。
3. 建立生物物理特性清单,表明整个和/或部分开发区流域所具有的暴雨水管理潜能,强调河流等重要的环境特征。
4. 制定流域规划和/或场地设计模型:
 - a. 确定可建设的土地单元;
 - b. 将土地单元与BMP实施机会相联系;
 - c. 不透水覆盖面积最小化;
 - d. 从已有的排水系统中分离出不透水地块;
 - e. 提供现场滞留/渗透暴雨水的场所;
 - f. 减少现场暴雨水(和污染物)的产生和排放。
5. 计算暴雨设计在开发前和开发后的流量变化,将过多的暴雨水疏导入场地上或其附近的生物物理设施中,注意不应超过其荷载能力。

编制BMP规划

如果生物物理手段处理后仍存留有暴雨水,则需重新检测场地设计模型(步骤4),调整使它能容纳更多的暴雨水。如果调整后还有大量雨水,则需考虑以传输为主的BMP手段了。

13.8 总结和建议

BMP规划要求建立多条防御措施来控制暴雨水(图13.7)。考虑到流域中

关注源头的控制

存在许多 BMP 实施机会, BMP 规划应首先从流域尺度着手。第一步, 调查流域, 依据不同的水文系统和重要的生物物理特性进行调查。土地利用规划和设计需要尊重流域特征, 在功能上整体开发, 并与开发前水平达到平衡。换言之, 土地利用应该同流域成为一个整体, 而不是一个外来的附加物。

BMP 应主要致力于源头的控制, 因为场地提供了最大量和最廉价的暴雨水管理机会 (表 13.2)。前面, 我们已经了解到“暴雨雨水产生—迁移—传输”的过程, BMP 的重点应放在这一系统的前两个阶段上。远离场地的 BMP, 如已并入传输系统的部分, 应被视为有选择性的替补手段, 而非惯用手段。到处都需要大型滞留洼地来减少大的径流的说法对于许多小流域是不能成立的: (1) 如西北太平洋等区域小溪流构成绝大部分地表径流; (2) 大部分地区的小流域都是局部地区系统, 汇入河流的暴雨水量要远低于全部的降水量; (3) 大的径流

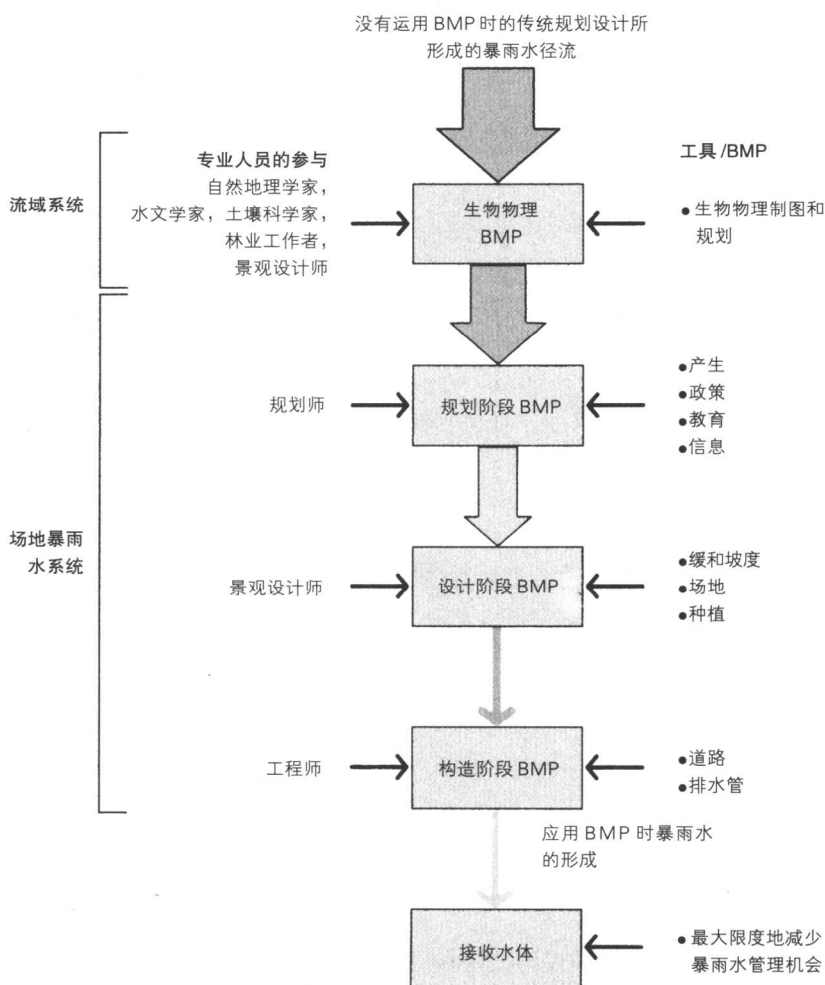


图 13.7 最佳管理措施的规划和设计过程, 应用了大量的规划、景观设计和工程技术手段, 各专业的专家作为各个层面规划的领军人物

不应从河流系统中分离出去，因为这些水流对于搬运沉积物、塑造沟渠、维护栖息地等而言十分重要；(4)大而罕见的径流，在适当的规划下可作为应急管理事件进行处理。

虽然土地利用最终会整合成为流域系统的一部分，但重要的是，我们应避免在开发过程中将流域变换成水文上高效的系统(即具有暴雨水快速输导特性的系统)。实际上，高效的暴雨雨水输导系统已经给我们今天的流域管理带来了许多麻烦。因此，明智的做法是，截断场地暴雨水系统同自然河流系统的直接联系，同时尽可能的降低不透水覆盖物的使用面积。此方法迫使土地开发后产生的暴雨水流速变得更缓慢，以更自然的方式流入沟渠。绿色基础设施是一个值得推荐的好方法，它整合了低影响的构造方式和景观设计，并将其转化成一个平衡的整体。通过这种方法，我们能够使包括人、设施以及自然的特性等在内的一切达到一种可持续的境界。当然，这也是一种与自然本身没有太大的差别的境界。

预防快速的暴雨
水流形式

表 13.2 未开发和已开发场地的规划，设计及工程 BMP

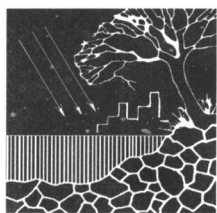
BMP	未开发场所	已开发场所
规划		
选址与定点	●	○
住宅密度 / 不透水区	●	○
城市设计和布局	●	○
排水特点	●	
渗透性土壤	●	
植被保护	●	
化肥 / 杀虫剂应用	●	●
家庭化学制品处置	●	●
宠物粪便清理	●	●
后院的焚烧	●	●
教育	●	●
设计		
洼地储水 / 存贮分级	●	
过滤器 / 缓冲器	●	
生物滞留花园	●	
植物沼泽	●	
种植设计	●	●
滤渗区 / 干井	●	●
工程		
垄沟和地下排水导流	●	●
结构型湿地	●	●
渗透沟	●	●
阻留和滞留池	●	●
低级别的输送系统	●	●

● 最适合利用 条件成熟时可利用
○ 不能利用

总之，BMP规划不应仅仅关注和局限于一个专业学科的应用前景和服务方向，而是应该广泛的涵盖一个较大范围的措施和学科专业。至少，对于均衡BMP规划而言，就应该用到规划、景观设计和工程学等学科的知识共同完成，并且需要各学科的科学家、景观设计师、规划师和工程师等的积极参与，正如图 13.7 中推荐的那样。

13.9 推荐阅读文献

- Department of Environmental Resources, *Low-Impact Development: An Integrated Design Approach*. Prince George's County, MD, 1999.
- Marsh, William M., "Toward a Management Plan for Lazo Watershed and Queen's Ditch," Regional District of Comox-Strathcona, Courtenay, British Columbia, 2002.
- Marsh, William M., and Hill-Rowley, Richard. "Water Quality, Stormwater Management, and Development Planning on the Urban Fringe." *Journal of Urban and Contemporary Law*. 35, 1989, pp. 3-36.
- Murdoch, Scott P. *The End of the Pipe: Integrated Stormwater Management and Urban Design in the Queen's Ditch*. Thesis: Master of Landscape Architecture. University of British Columbia, Vancouver, 2001.
- Richman, Tom, and Associates. *Start of the Source: Residential Site Planning and Design Guidance Manual for Stormwater Quality Protection*. Bay Area Stormwater Management Agencies Association. Palo Alto, CA 1997.
- Sabourin, J. F. and Associates. *Evaluation of Roadside Ditches and Other Related Stormwater Management Practices*. Toronto: Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority, 1997.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Urbanization and Streams: Studies of Hydrologic Impacts*. Office of Water, Washington, DC, 1997.



第 14 章

河流、河道形式和 滨水景观

- 14.1 简介
- 14.2 河流的水文特征
- 14.3 河流侵蚀与沉积物转运
- 14.4 河道动力特征及其模式
- 14.5 河道形式、曲流及相关过程
- 14.6 河漫滩的形成及其特征
- 14.7 滨水及河道栖息地
- 14.8 管理方面的问题及导则
- 14.9 案例研究 城市流域内的暴雨水管理及河道恢复
- 14.10 推荐阅读文献

14.1 简介

河流——地球上真正壮观的景象，具有令人惊讶的多样性、美学上的愉悦性、科学研究上的挑战性、经济上的价值性以及生态上的丰富性。然而，尽管拥有如此众多的良好特征，它们仍然受到了人类最“残酷和错误”的对待。今天，在北美和亚欧大陆，仅有20%的主要河流上没有修筑水坝和水库等人工设施。以位于堪萨斯州和蒙大纳州之间的密苏里州的最大河道为例，在1804-1805年刘易斯和克拉克探险队曾穿越此河，然而在今天，它已经成为了一条只是充斥着水坝和水库的狭长条带。

在美国由于土地利用与开发的需要，有70%的河流被人为地改变河道。在农业和城市地区，不计其数的河流被加深、拓宽、取直，人们在自然的河道旁修建导水渠、更改河道。河流，作为一种自然的实体，在今天已广泛地被人们转变成成为运输水与沉积物的通道。尽管缺乏最新的数据资料，但据估计，仅在美国和加拿大，已有超过30万英里的河流是如此处理的。随着土地利用与开发的进一步进行，分水岭地区、边缘及亚边缘地区已逐渐成为土地利用的对象，作为排水体系、道路建设、灌溉项目、洪水治理计划及航运工程的一部分，河流系统将不可避免地受到更多的人为操控。然而，值得庆幸的是，目前已经有一部分有识之士认识到自然河流的重要性并力图恢复河道的生态功能，使其能够提供更多的潜在生物栖息地，并起到净化水体、美化环境的作用。在环境问题（包括土壤侵蚀和沉积物控制、水生栖息地保护、滨水廊道生态与恢复等）的驱动下，以后这些活动都要求对河流河道的行为过程、形态及特征进行分析和理解。

14.2 河流的水文特征

为方便理解河流侵蚀、沉积以及其形态的形成方式，我们首先介绍一些关于水流速度方面的基本原理。显然，河道的水流速度与河道的坡度、水流的深度以及河床的粗糙度相关，这些变量构成了曼宁公式（Manning equation，常用于计算河流平均流速的经典公式——译者注）的基础：

河流流速

$$v = 1.49 \frac{R^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

式中

v = 水流速度，英尺或米/秒；

R = 水力半径，代表河水深度，指河床内有水部分的断面周长（ P ）与河流横截面积（ A ）的比值；

s = 河道的坡度或倾斜度；

n = 河床粗糙系数：

n 值	河床基质
0.020-0.025	土壤，如肥沃土
0.040-0.050	带有鹅卵石和大块石头的砂砾底
0.050-0.070	鹅卵石和大块的石头
0.100-0.150	树丛、树桩与大块的石头

从公式可以得出，河床坡度和深度（即水力半径）与水流速度成正比，而流速的控制因素

河床的粗糙度与流速成反比，并且在同等比例下，水流深度对流速的影响要略大于坡度的影响。因此，我们可能会发现河流流速最大的地方并不是高山源头，而是其远端下游，在那里河水的深度和流量都要大得多。例如，亚马逊河在亚马逊山地地区（坡度为几英寸/英里，水流深度约为150-200英尺）时，流速高达8英尺/秒，而位于黄石国家公园内的大峡谷河（Grand Canyon River）尽管其坡度有200英尺/英里，然而由于水流的深度小（仅有3-6英尺），因此河流的流速仅有3英尺/秒。

河流流速分配

在一条河流的内部，靠近河道底部和两侧的水流速度最小，而顶部中间的水流速度最大，但由于水面与上部空气摩擦作用的存在，因此水流的最大速度通常会出现在稍低于水面的地方。另外，在河道的拐弯处，流速较快的水体产生的离心力要比流速小的水体大，因此会在弯道处稍偏向外侧（图14.1），从而

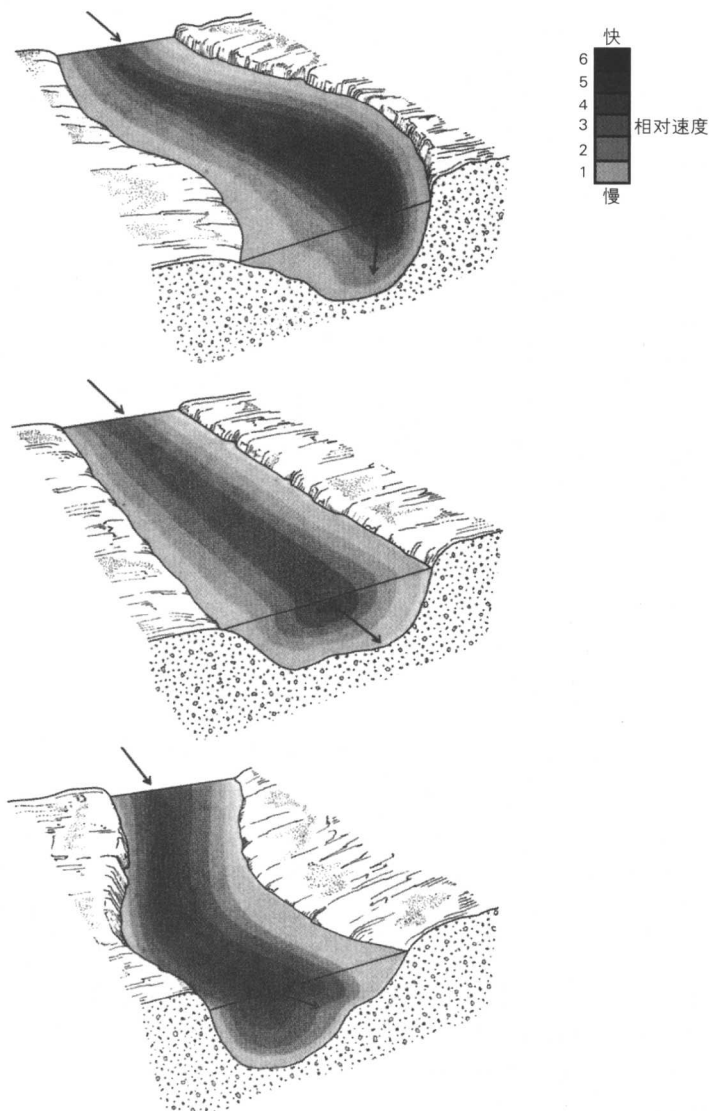


图14.1 在三种不同形式的河道里，水流速度分布图

使外侧的水体高出内侧，即所谓的“超高”现象。在河流弯曲流淌的地方，水体的流动就像雪橇运动一样，快速流动的水体会在弯曲的河道内两侧摆动，用以平衡它自身的流动。

湍流是河流在流动过程中较为常见的一种现象，表现为漩涡状的旋转，我们可以说，任何河流都存在着湍流现象。这股混合力量是靠近河床底部流速较慢的水分子与其上部流速较快的水分子间抵抗力的主要来源。有一些河流，尤其是那些水面平静的河流，看上去似乎全是层流，并没有湍流现象发生。然而事实并非如此，实际上，层流只是发生在十分接近河床底部的、流速接近于零的薄薄亚表层之中，对于高出亚表层的水流，其湍流的强度会随河流流速的增加而增加。

湍流

在进行河流行为的研究时，人们关于河流平均流速的任何推论都是基于以下一个重要的观测事实：流动的水体能快速地建立起与河道中主要摩擦环境间的平衡而保持水流速度的相对恒定。除非是河道的形状或粗糙度突然出现变化，或是河水流量突然地增大或减少，否则水流的速度是不会发生改变的。那么到底是什么力量使得河流中的水体在下坡力的作用下依然能够保持相对恒定的速度呢？问题的答案就在于**河床剪切应力**。河床剪切应力是一种与下坡重力反方向的力量，是水流经过河床时的能量损失总量。河床剪切应力等于水体密度与重力加速度、水体深度和河道倾斜度的乘积：

河床剪切应力

$$\text{河床剪切应力} = \rho g D S$$

水体的密度 (ρ) 随温度的不同会有少许的变化，但在计算中我们通常将其认为是一个定值，即 1000 公斤 / 立方米。同样，重力加速度 (g) 也会随地理位置上经纬度的改变而变化，但其基本上也是一个定值，即 9.8 米 / 秒²。那么余下的变量就只有水体的深度 (D) 和河道的坡度 (S) 了，显然河床剪切应力与水体深度和河道坡度的乘积成比例。同时，它与河水流量的乘积代表了河流能量消耗的速率。反过来，能量损耗的变化量也能够反映在河水流量、深度及坡度的变化上。在具体的实践中（如河流水流的管理以及平衡和恢复河流环境等项目），这三个变量就是解决问题的根本。最后有必要解释一下有关河流能量的问题，正如水流将动能转化为热能一样，河流中的大部分能量也都转化成了热能，这也正是为何冬日里的河水不易结冰的道理，另外，还有一小部分的河流能量会消耗在沉积物的转运过程中。

能量消耗

14.3 河流侵蚀与沉积物转运

水流冲刷是导致河道侵蚀的主要原因，河道侵蚀是指那些较重的颗粒物沿河床底部的颠簸、滑动，以及河道构成物质的松动和脱落。冲刷作用对于那些不牢固物质的侵蚀十分有效，而构成河道的大部分物质（如各种各样的土壤和沉积物质等）都是属于不牢固的范畴。然而令人惊讶的是，冲刷还能够有效地侵蚀河床中的岩石，岩石上的坑洼和壶穴就是良好的例证，它们是水流中的石子与河床上岩石摩擦形成的凹陷。尽管河流能够有效地侵蚀岩石（在上游河段中尤为明显），然而河流的主要侵蚀作用仍然是对那些河谷地区已有的转运物质的侵蚀和再侵蚀，尤其是那些位于谷底和河漫滩处的沉积物。

河道冲刷

除了侵蚀堆积物而产生的沉积物外，河流中转运的大部分沉积物都来自支流或河谷两侧山坡上的泥土。河流能够搬运的除水以外的所有物质被统称为**沉积负载**（sediment load），即通常所说的河流泥沙，沉积负载包括**河床荷载**（bed load）¹、

沉积负载

悬浮荷载² (*suspended load*) 和溶解荷载 (*dissolved load*) 三种类型。其中的河床荷载主要是一些较大的颗粒物 (如砂土、小的鹅卵石、圆石和一些大石头), 它们在河床的底部沿水流方向不断滚转、弹跳。而**悬浮荷载**则是由一些较小的颗粒物组成, 其中典型的就是黏土和淤泥, 它们在河流湍流作用下悬浮在水体之中。河流的悬浮荷载携带量取决于沉积物的供应量, 而不是河流水流的力量, 对于大多数的河流而言, 只要沉积物的供应量充足, 它们便可以携带相当大量的悬浮荷载。而河流对河床荷载的携带能力则取决于河床剪切应力的大小。

河床荷载的移动

河床荷载的移动主要依靠以下两种力量: 拖拉力 (平行于河床的力量) 和提升力 (向上的力)。其中提升力对于启动泥石的运动十分关键; 水槽实验显示, 当提升力达到颗粒物重量的 70% 时, 就足以将颗粒物沿其中轴方向举起, 这时, 拖拉力就可以将颗粒物推向下游方向。另外, 对于任何尺寸的颗粒物而言, 对移动的发生都存在一个阈值力, 即一个关键的河床剪切应力水平, 当低于此限度时, 运动不可能发生。当力量高于此阈值时, 沉积物运动的速率随河床剪切应力的增大而增大。也就是说, 不同大小颗粒物的运动存在一个与其相对应的水流阈值速度 (表 14.1)。表中的数据对于实际河道的管理工作十分重要, 它告诉我们在不同水流速度条件下、不同的河流河岸、河道或水槽中应该放置何种大小的颗粒才能保证有效地防止侵蚀作用的发生。

颗粒物的可侵蚀度

在河流廊道中, 沙粒是最容易受侵蚀的沉积物, 其次是黏土 (由于颗粒之间黏合力的存在, 其抗侵蚀能力稍强于沙粒) (见图 12.8), 黏土的侵蚀需要相当大的河床剪切应力去克服土壤颗粒之间的黏合力, 并且土壤颗粒越小, 黏合力越大, 尤其是那些较紧实的土壤。然而由于黏土颗粒体积小, 如果一旦被移动则会长期悬浮在河流之中, 即便在那些水流速度十分缓慢的河流中, 它们都可以长期悬浮。因此, 黏土颗粒是河流系统中移动性最强的沉积物, 一旦被挪动, 就会被水流带到很远的地方 (见图 12.2)。

溶解荷载

溶解荷载是一类以溶解状态存在于河流中的物质。由风化作用产生的矿质离子主要通过地下径流的形式进入河流系统。河流中离子的总浓度通常能达到 200-300 毫克/升。但是, 在地形较低而且土壤的过滤功能很高的地区, 如美国东部和南部的部分地区, 河流中每升水的离子浓度可能会有数千毫克。相比之下, 干旱地区中河流的溶解荷载的含量就非常之少, 其浓度通常不到河流总负载的 10%, 主要原因是低速率的风化作用以及干旱气候流域里较弱的土壤过滤功能。

表 14.1 河道物质对水流侵蚀的相对抵抗力

河道物质	相对抵抗力*
细沙	1.0
沙质壤土	1.13
草皮覆盖的沙质壤土	1.7-4.0
细小砾石	1.7
稠厚的黏土	2.5
草皮覆盖的细小砾石	2.3-5.3
粗糙砾石 (小鹅卵石)	2.7
鹅卵石	3.3
页岩, 泥板岩	4.0

* 所有物质的抵抗力都是相对于细沙而言, 它也是抵抗力最小的河道物质。

1 河床荷载是指沿河底以滚动、滑动或跳跃的方式随水流向前移动的泥沙。——译者注

2 悬浮荷载是指受水流紊动作用悬浮于水中随水流前进的泥沙。——译者注

14.4 河道动力特征及其模式

在解释河道内部以及河道周围的特征时,我们必须十分清楚以下两方面的事实。第一,在大多数日子里,我们所能观察到的河流过程的类型及强度大小与大多数河流或河谷特征的起源并不存在任何联系,或只是存在很少的相关性。确切地说,这种目前观察到的与某些具有特定强度的水流(或者水流的组合)相联系的过程决定了河流其他许多特征的形成。第二,在河水的侵蚀和沉积过程中,河流会不断调整它的河道,使得河床坡度、水流深度和河床剪切应力也不断发生相应改变。例如,河流某处的河床坡度和剪切应力低于某一数值时,沉积就会发生,但沉积的发生反过来又会增加河床坡度,进而增加河床的剪切应力,并最终恢复平衡。带到此处的沉积物将继续向下游转运。事实上,在河道形态、坡度以及沉积物的释放与不断变化的情况下,绝大多数的河流都是处在一个动态的平衡过程之中,也即永恒的变化过程之中。

下面介绍的河道特点是**湍流与池的交替规律**,它说明河流成形过程的复杂性。在流速较慢的时候,有些河流的水会以静止(池)和快速流动(湍流)的状态交替出现。进一步的观察发现,池中存在细小的沉积物,而湍流的水体中则含有较大的颗粒物和砾石等沉积物,并且湍流和池的分布还具有惊人的规律性,通常是在间隔5-7倍河道宽度的时候出现一个池(图14.2)。作为生物生活

水流-河道相互作用

湍流与池的交替规律

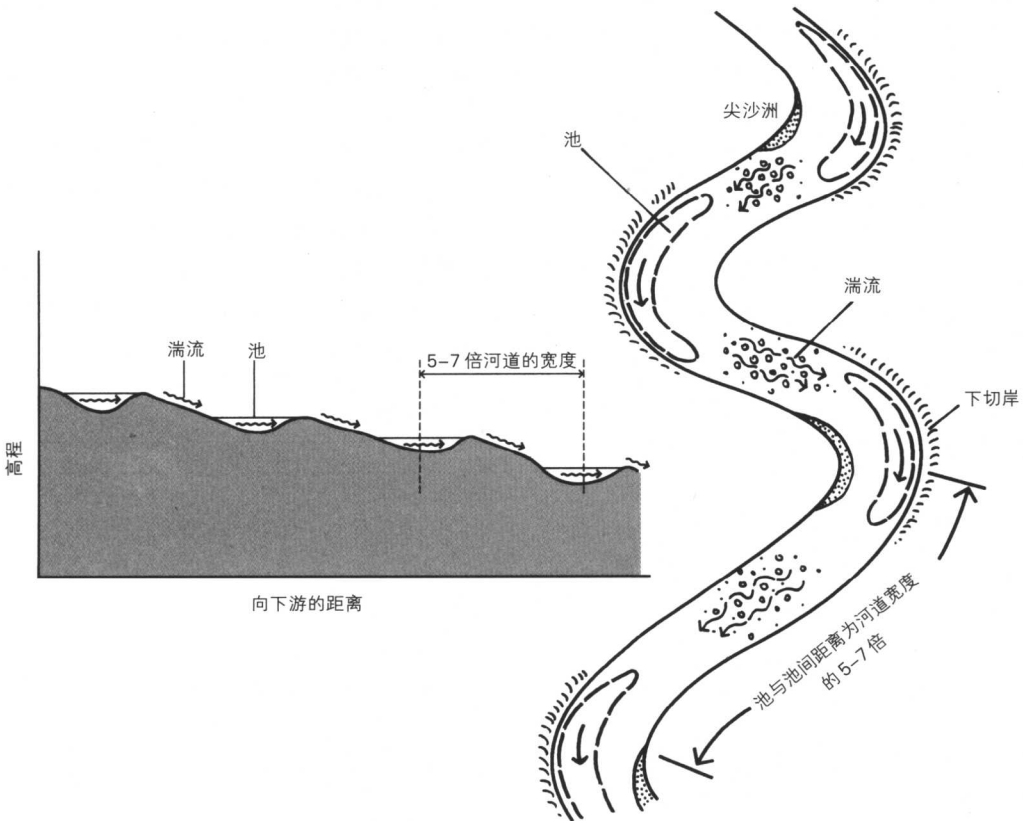


图 14.2 典型蜿蜒河流的湍流、池及其他相关特征模式图, 湍流与池的间距与河道的宽度相关

的栖息地，湍流与池截然不同的特征正好满足生物对不同栖息地的要求，湍流中水流较浅并且紊乱，而池中的则正好相反，水体较深而且平静，例如鲑鱼会将卵产在湍流区，使新孵化出的小鱼能够比较容易地借助砾石进入河流，而成年的鲑鱼则喜欢占据池的位置，因为那里有较为丰富的食物来源（湍流中的水会进入池内带来食物）。

湍流与池的维持

那么，湍流与池的交替又是如何得以维持的呢？问题的答案并不在于低速水流，而在于高速水流。首先，我们发现在流速较慢的时期，池所在位置的河水是最深的，但由于河床坡度很小，因此其河床剪切应力仍要小于湍流区；其次，我们还发现即便是在湍流区，河床剪切应力也不足以搬运砾石和较大颗粒物，因此，细小的颗粒物会从湍流中“逃出”沉积在池中。在极端情况下，池中会积满细小的沉积物。

大量水流的作用

如果再研究流速较快时期，我们便很快会注意到，池与湍流交替出现的现象被遮掩住了，而且池与湍流之间的区别也不再那么明显。然而，进一步的细致观察表明，在这种急流的河水中仍然存在池与湍流，只是先前提到的（指流速较小的河流）池与湍流处河床坡度的差别不再存在。由于此时在池和湍流处河床表面的坡度几乎相同，而位于池处的水会更深一些，因此池上的河床剪切应力被得以最大化。因此，在高速流动的河流中，池处的河床被冲刷和加深，同时较大的颗粒物被移向下游的湍流区。而我们习惯看到的河流中中等流速的部分通常与湍流和池的形成没有太大联系，湍流和池的存在使河流出现快速流动和慢速流动的部分，它们构成了河道的主要特性。

河床的侵蚀与沉积

由于河水流量和沉积物供应量的不断变化，导致河流的几何特征也处于不断的变化过程之中。当河水流量增加时，河水的水流速度和深度都会相应增加，对河床的冲刷力增大，导致沉积物的搬运量增大（图 14.3）。反之，当河水流量减少时，沉积物则会在河道中堆积。河道的这种随流量变化的规律被称作是河床的**侵蚀与沉积**，这一现象的形成与人类土地利用方式的改变存在着很强的联

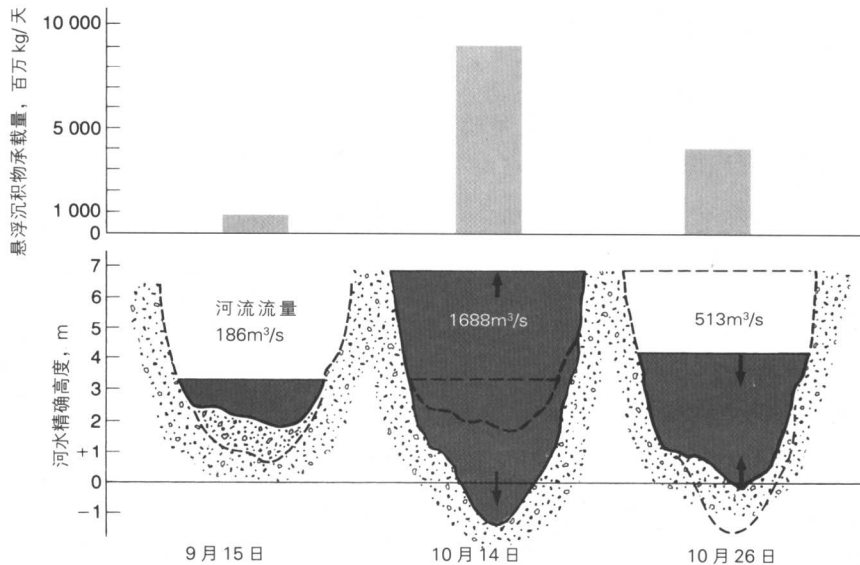


图 14.3 河道冲刷、悬浮沉积物承载量同河流流量的关系，以犹他州布拉夫附近的圣胡安河为例

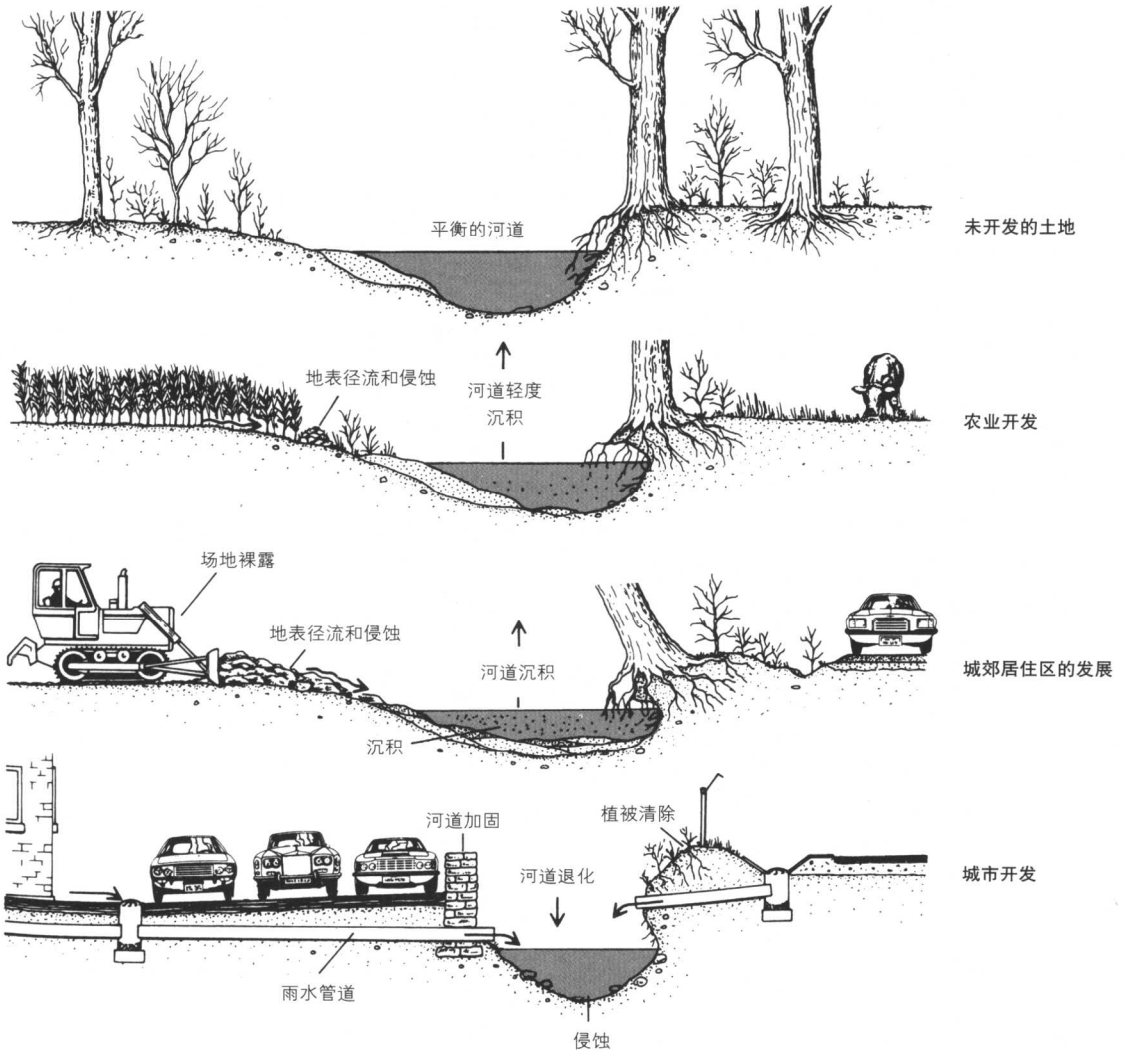


图 14.4 与土地利用方式相关联的河道变化：农业和城郊发展造成的河流沉积以及城市发展造成的河流退化

系。通常，沉积现象起始于土地的最初开垦和耕作的早期，在城郊建设活动（会产生大量的沉积物）的数年后到达顶峰（图 14.4）。在这种情况下，如果城市化能够继续进行，土地的表面则会被大量的铺装和建筑所覆盖，使得沉积物的来源减少，降雨时河水流量增加，侵蚀则会替代原有的沉积。这种现象不仅表现为缺乏典型数量的河道沉积物，而且还出现在侵蚀极为严重的河流之中（在人类的建设活动过后，这些河流的河水往往会变得更深更宽）。

14.5 河道形式、曲流及相关过程

自然状态下的河流有两种截然不同的形式：一种是编织形式；另一种则是单线形式。在单线河流（single-thread channel）中，水体被限制在惟一的一条水槽中，河道形状相对稳定，通常有一面或两面由岩石、土壤或植物组成陡岸。河流的主轴线是一股流动速度快、位于河流较深处、被称为谷底线的水流（见

单线河道

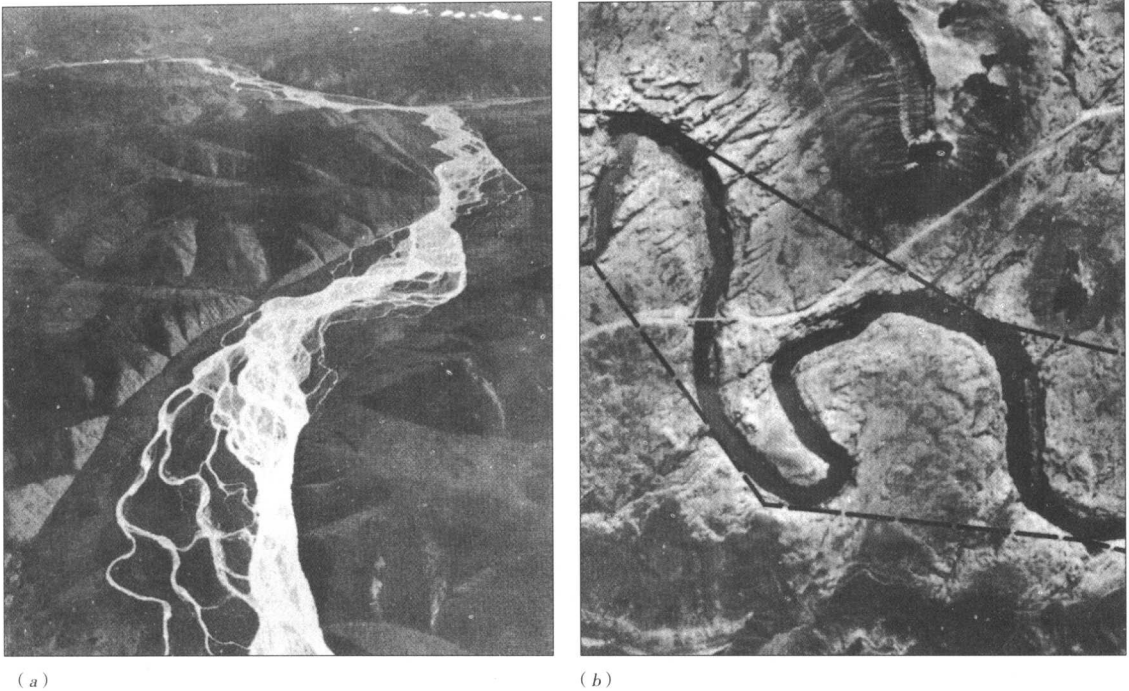


图 14.5 (a) 一条位于加拿大落基山脉的编织形河流；(b) 一条蜿蜒的单线形河道，虚线框中为河流的弯曲带

图 14.1)。大多数单一流道的河流都会十分的蜿蜒曲折，谷底线会经常从河流的中间摆向河岸的一边或另一边。有的河流也会出现有条件的稳定或亚稳定状态，这意味着它们的稳定来自一些关键性的因素，例如河岸两旁的植被状况，植被的破坏（例如，由于沉积物的过度积累或是人类的建设活动等）常常会导致河道形态的改变，使它们转变成编织形式。




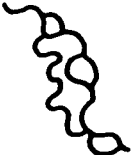
编织形河道

编织形河道容易出现在地形多变的环境中，例如冰河的前端或是一个未加控制的施工场地，河水会搬运大量的沉积物。由于缺少植被保护，河岸很容易被侵蚀（图 14.5a）。在河水流量强烈波动的情况下，并且当河道为粗糙、不连续的材质时就容易产生这种编织形河流。当河水流量减少时，一些粗糙的石头和植物碎片就会在河道中堆积，形成砾石栅栏。如果河水流量继续减小，那么这种砾石栅栏则会越堆越大，最终成为河流流动的障碍物并分割原来的河流。如果接下来的水流量增大，形成的障碍有可能会被流水冲垮，彻底地改变河流的面貌。但如果河水流量没有增大，砾石栅栏就会长期存在于河流之中，经过一段时间后，植物会在栅栏上定居，使栅栏的稳定性进一步加强，最终成为河流上的一个小岛。

蜿蜒形式

蜿蜒形河道 (meandering channels) 能够在十分宽泛的环境条件下发生，从干旱到湿润的每一类地表上都有它们的踪迹。另外，它们的存在形式也十分多样，从稍微的弯曲到极度的复杂蜿蜒。人们对蜿蜒形河的分析通常从一些几何特征的描述开始，包括弯曲带的宽度、波长和弯曲度。其中，弯曲带是指包括了整个蜿蜒系统的廊道，如图 14.5b 所示。弯曲带的宽度会随河流大小的变化

表 14.2 河道类型与特征

河道类型	河流形状	形态学特征	弯曲度	承载类型	行为
	蜿蜒曲折形	单一河道	>1.5	悬浮或混合	侵蚀河流两侧、形成尖沙洲
	直线形	单一河道	<1.5	悬浮、混合或河床底积	轻度下切与拓宽
	编织形	多条相互编织的子河道	<1.3	河床底积	沉积
	交叉汇合形	两条或两条以上的单一河道，中间有较大的岛屿	>2.0	悬浮物	缓慢的横向移动

资料来源：摘自 Selby, M. J., 1985 年。

而变化，同时还与河流的平均径流量有关，径流量越大，则宽度越大。

河流弯曲带中心处的连线为弯曲带轴线，而**弯曲度**则是指河流的曲线长度与弯曲带轴线长度的比值。地貌学家们根据河流弯曲度的大小对河流进行分类，弯曲度小于 1.5 的河流为直流河或近似直流河，弯曲度大于 1.5 的河流为蜿蜒河，弯曲度接近 4.0 或大于 4.0 的河流则为复杂蜿蜒河。自然界中形式最为极端的一种河流被称作交叉汇合河，这种河流是由多条单独的线状蜿蜒河道构成，也包括单独的复杂蜿蜒河。表 14.2 总结了不同河流形式的形态与一些相关的主要特征。

弯曲度

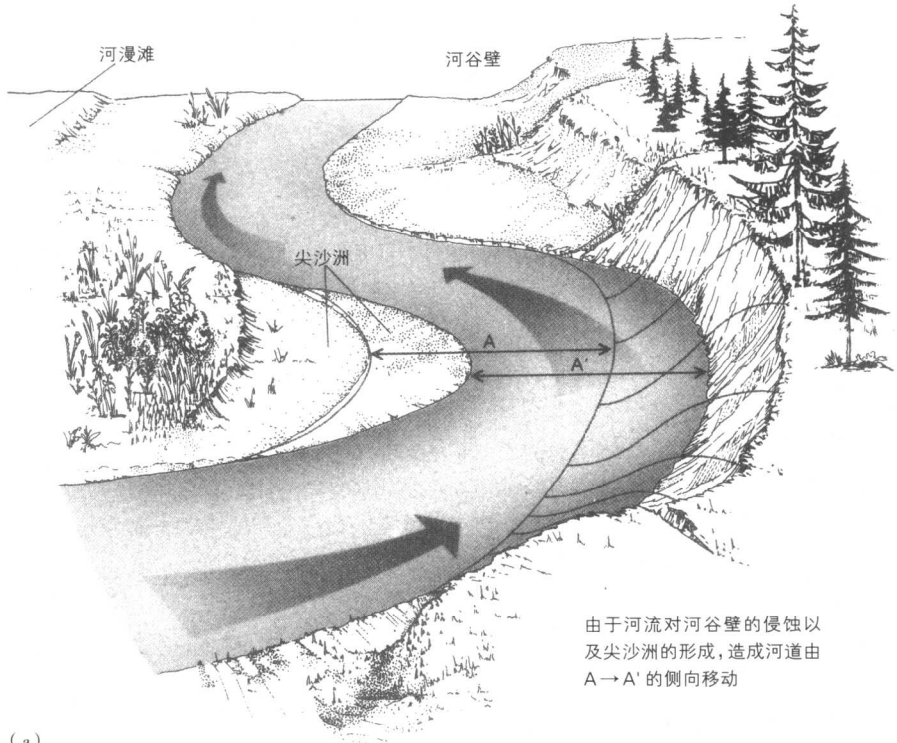
了解河流的动力机制对于河流环境的管理十分重要，这包括设施的规划与维护、生态栖息地的恢复以及沉积物的控制等问题。当池与湍流的现象发生时，我们会发现前后两个湍流发生的位置常常在河流的两侧。在蜿蜒形河道中，池往往发生在河流的弯曲处，而湍流则位于它们的中间。因此，在全部的蜿蜒流动中，共有两套湍流与池的交替（图 14.2）。

管理上的应用

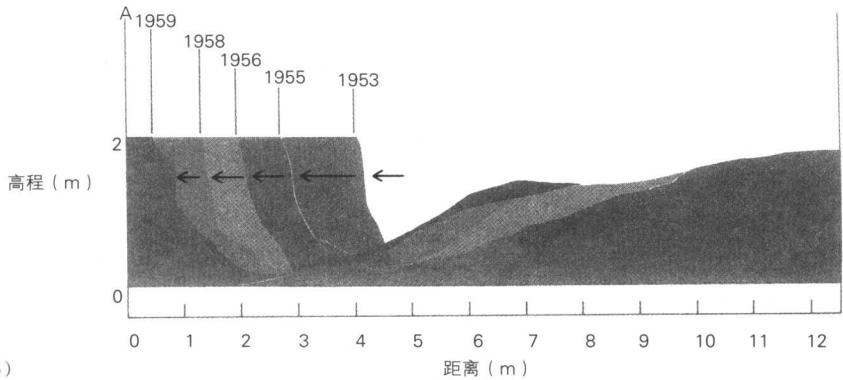
通过对同一河流不同河段（弯曲河段与直流河段）的详细观察发现，河床剪切应力的能量在弯曲河段处的变化较小，因此河流会倾向于形成曲折的形式。河流的这一特征说明，曲折流淌的形式要比直流更加稳定，也同时显示出沟渠、人工取直的河道以及土制的雨水管道是不稳定的河道形式，它们将最终冲毁堤岸、道路、田野的边缘等等。

大多数河流中活跃的弯曲流动带来的侵蚀与沉积会造成河道的不断侧移。通常侵蚀现象集中发生在弯道外侧稍稍偏下游的地方，形成下切岸；而沉积现象则发生在弯道的内侧，形成尖沙洲（图 14.6a）。每年，一些新的沉积物会堆积在尖沙洲处，同时在尖沙洲的对面，底切岸会被侵蚀相应的量（图 14.6b）。河流不断侧移，逐渐改变它在流域中的原有位置。在自然状况下，河流位置的变化通常是十分缓慢的，然而它们也有突然发生位置变化的情况（如在侵蚀出一条新的河道并放弃一条旧的河道时）。尤其是当弯曲的河流形成一个大型的环状水流，并且水流从环的反方向侵蚀并最终突破弯道时，河道的突然改变就发生

蜿蜒形河道的发育



(a)



(b)

图 14.6 (a) 河道弯曲处侧向移动的示意图; (b) 对一条小河河道侧向移动 6 年来的真实记录

了。由于新形成的河道较为陡峭(水流更畅),老的河道将被遗弃。大多数情况下,被遗弃的河道会形成一种称为牛轭湖的小湖,但有时河道会被沉积物和一些有机物碎片填埋而形成湿地。由于具有一些十分典型的特征(如沼泽或是一些覆盖其上的湿地植物),这些地方很容易从航空影像上识别出来(见图 3.3)。

14.6 河漫滩的形成及其特征

河漫滩是指位于流域中包含河流河道在内的平坦低地。与河流在谷底侧向移动相联系的过程是形成河漫滩的主要原因。下面就简要介绍一下河漫滩的形成过程:当河流中的流水冲向河谷边缘处的高地(也称谷壁)时,水流会侵蚀谷壁,使其后退。与此同时,谷壁的对岸会生成新的被称为尖沙洲的陆地(详

河漫滩的形成

见图 14.6b)。新的陆地通常都在低的高程上，接近河流表面。在水流的冲刷作用下，河谷壁逐渐被侵蚀，而对岸则形成了一些连续的带状低地，即所谓的“河漫滩”，主要由泥沙、砾石和一些其他的物质组成（它们原本都是尖沙洲、湍流、池以及组成河流其他组分中的部分物质）（详见图 10.7 中河谷与河漫滩的形成例证）。当河水泛滥时，河漫滩能够接纳那些过量的水流，这也正是“河漫滩”一词由来的基础。然而尽管洪水能够通过侵蚀和沉积等过程来改变河漫滩的外表，但它却决不是导致河漫滩形成的主要原因，如果我们仅从词的构成上来理解词义的话，恐怕就会犯一些小小的错误。

通过上文的介绍，我们知道河道的侧向移动是拓宽河谷、形成河漫滩的基础，然而除此之外，还有一些过程也同样影响着河谷的形成与河道的变化。例如河道的坡度过程，它包括许多不同的类型，如突然的坍塌、溢流、沟蚀等，它们都能作用于谷壁，使谷壁退后，并为河漫滩添加新的沉积物碎片。尤其是那些沿陡峭岩床壁、冲积扇以及塌积物发展起来的岩屑堆（指由堆积在悬崖基部的岩石碎屑组成的岩屑堆——译者注），它们是地表径流过程活跃的地区，对河道变化有显著影响。其中，塌积物是冲积物与大量废弃碎屑的混合物，在山区河谷的边缘区十分常见（图 14.7）。

由于河漫滩形成的过程较为复杂，因而其组成往往也是十分多样的。各种各样的沉积物就像层层的花边，组成了多变的河道，它们中有来自洪水的沉积物、森林和湿地的有机质以及河谷墙的岩石碎屑。显然，形成河漫滩的土壤也一定是多样的，因此在规划和工程建设中需要我们仔细地考察。但同时，我们也需要认识到，河流流域内的土壤组成也并不是完全随机分布的，我们可以根据河漫滩、冲积扇和河谷壁区中沉积物的主要成分至少辨别出三个不同的区域（图 14.7）。

河漫滩存在着许多鲜明的地形学特征，其中曲流痕与牛轭湖是许多河漫滩地区最突出的特征。正如字面上暗示出的意义一样，曲流痕是指原有河流在地表上留下的烙印，它们通常会有规律、有次序的发生，被称为卷形漩涡，显示出河流侧向移动的进程（见图 3.3）。而牛轭湖则在河谷溪流复杂蜿蜒的形式中

沿谷壁的过程

沉积物与土壤

地形学特征

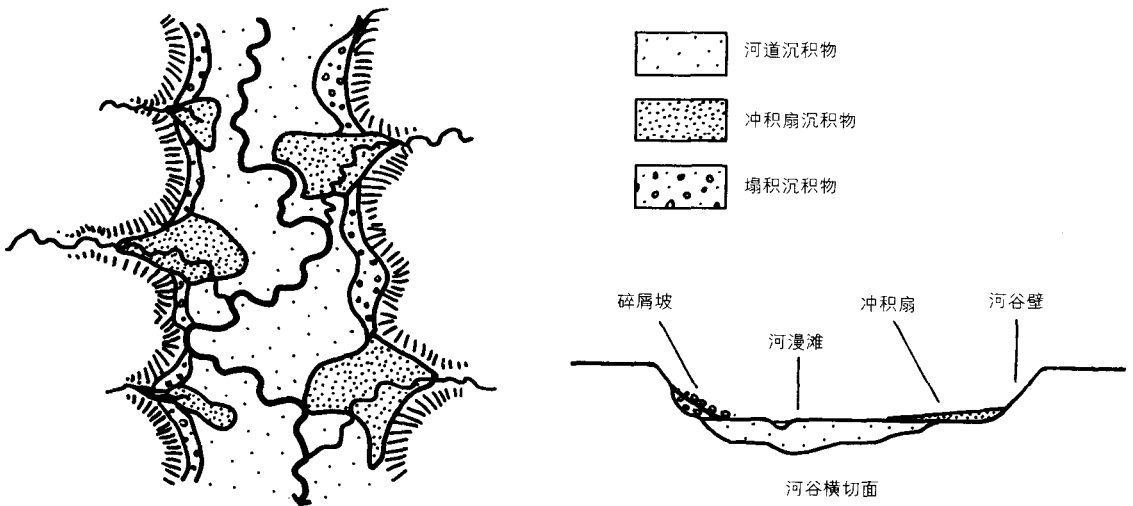


图 14.7 河谷处形成土壤母质的三种主要沉积物

最容易形成,尽管在曲折河道中环形河道的突破是一种自然的过程,然而现在,弯道常常被工程师们破坏,人们为了航行的目的使河流变得更直更通畅。

堤岸、漫滩沼泽
和阶地

自然的堤岸、冲刷形成的河流、漫滩沼泽和阶地都是河漫滩里常见的景象。其中,堤岸是指河岸边的土墩,由洪水带来的沉积物在河流两岸堆积而成。它们之所以在河岸形成是因为当水体离开河道时,流动速度急剧降低,水体中携带的沉积物就会部分堆积在河岸上。堤岸背后有时会有一些低地,水体会在那里形成漫滩沼泽,并维持很长时间。冲刷河道则是指那些在洪水作用下形成于河漫滩上的蚀刻浅水流,它们通常跨越弯曲环的颈部,只有在洪水到来时才会有水流。阶地是河漫滩里比较高的一部分区域,当河流向下侵蚀并开始建立一个新的河漫滩平台时就会产生这种阶地(见图 10.6e)。

人类的干扰

也许有些出人意料,在有些情况下,河流河道海拔高度的改变的确并不需要(地质上)很久的时间。重大的变化有可能在短短几年的时间内完成,但这样的变化常常会带来河流管理上的严重问题。在这里,列举两个值得引起注意的、有关河流沉积物承载量变化的典型案例。如当人们用大坝将河流堵塞后,由河流带来的沉积物就会集中在水库里,由于冲刷力量大,在泄洪道下游的区域会形成一种与上游水流不同的沉积物承载量,并且将更加强烈地侵蚀下游的河道。当泄洪道大量释放水体的时候,河道便会迅速退化,很快就只剩下光秃秃的大石头和暴露的岩床。另一个极端的例子则是一种过度承载沉积物的河流。例如中国的黄河,河床中的沉积量过大,以至于在有些河段,河床要高出河漫滩,只有依靠人工的堤坝将水流控制在河床内(见图 10.7g)。上游地区支流的严重侵蚀是造成以上事实的原因,当堤坝最终冲毁时,对农田和人们的居住区而言将是一场可怕的灾难。

14.7 滨水及河道栖息地

河流廊道与河谷是一些十分复杂、多变的环境。作为栖息地,它们是一种兼具吸引力和冒险性的场所。它们多样的形式、组成以及不同的大小尺度为大量的生物及其种群提供了生存的机会,并同时能够限制其他一些生物的活动。河流中的水、能量和营养哺育并维持着生命,同时生命也可能会受到同一河流系统的威胁、重新安置,甚至是毁灭。可以说,河流谷地是包含人类在内的新生命开始的地方。

适应

生物适应使得河流中以及河流旁的生存方式得以不断地进化。尽管人类一直为土地利用方式绞尽脑汁——情愿用改变的方法来操纵环境(如水坝、人工河道、堤坝等等)——相比之下,许多生物却已经能够调整自身来适应河流的基本行为变化以及相关的地形学上的改变。其中,河漫滩与滨水区的植物要算得上是众多生物中的佼佼者了,它们对于流量过程的改变以及河谷平原条件的变化有着非常强的适应性和敏感性。

河漫滩植被

在整个北美地区,河漫滩是拥有植被最为丰富的地区之一。在美国和加拿大,人们已经在河漫滩处发现超过5000种的湿生植物。其中的大多数都能适应由以下两个因素控制的一种独特水文环境:(1)洪水的发生频率与持续时间;(2)地下水条件。对于大多数河漫滩而言,洪水发生频率与地下水位变化可以从一些基本的与地形相联系的高度差别来加以估计(如上文提到的堤坝、牛轭湖、冲刷河及阶地)。图 14.8 显示的是美国南部地区一种典型的河漫滩形式,在

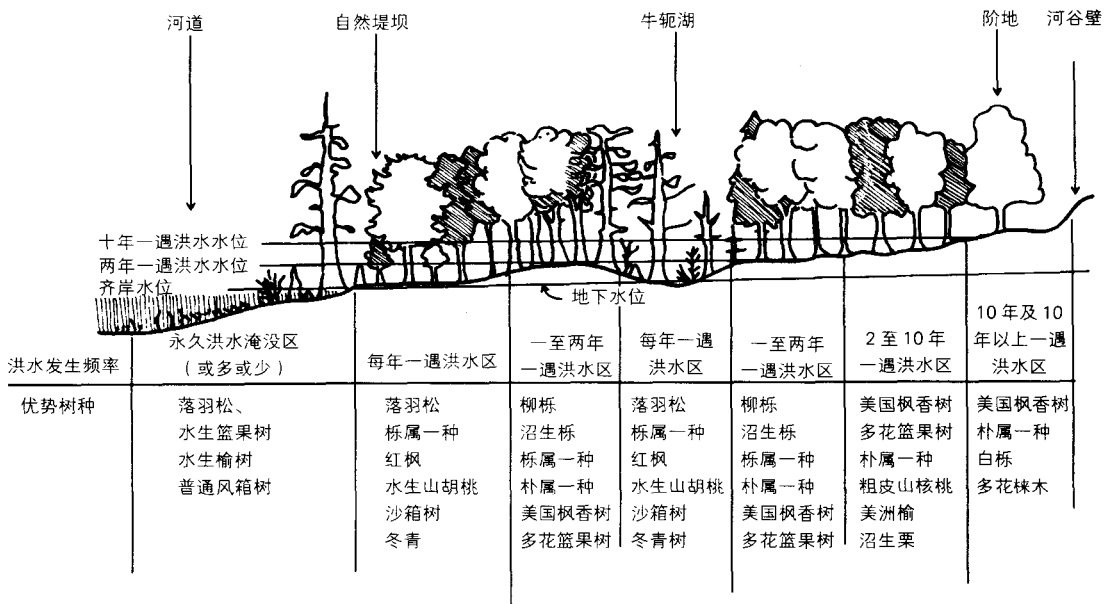


图 14.8 美国南部地区典型河漫滩植被分布图 (结合与该栖息地相关的洪水发生频率)

紧靠河流的地方生长着落羽松(美国水松)、蓝果树、美国水榆等耐水植物;在稍高一些的地方(每一到两年可能发生一次洪水的地方)则生长着柳栎、桃叶栎、沼生栎等植物。在河漫滩的边缘处——临近河谷壁的地方,洪水发生的可能性很小(十年一次或是更长),植物的品种则更加不耐水。同样,相似的植被分布也出现在美国的北部和西部地区,只不过是植物的品种有些不同并且丰富度稍低一些而已。

河流中另一典型的植被分布要数尖沙洲栖息地了。我们已经知道,尖沙洲形成于曲折河弯道的内侧,滨水植物(如棉白杨、白杨木)的种子会在上面发芽生长。上文中曾提到,当河道侧移时,会“创造”出新的尖沙洲,并且也会有新的植物种子落在上面生长。那么,显然河道的不断侧移就会不断地“创造”出新的尖沙洲,植被在河道的尖沙洲处的分布也就呈现出一种条带状的趋势——即沿着河流的曲折轴线向外,植被年龄是不断增大的。

滨水植被与河漫滩植被的另一个显著特征便是它们对于极端的洪水干扰有其特殊的耐受性。许多灌木和树木在历经严重的灾害(如洪水、冰雹或沉积物的掩埋等)后仍能继续生长。还有一些树木——如柳树、白杨、棉白杨、小无花果树等,在完全被连根拔起和淹没后仍然能够长出新的枝条。同样,这些树木和另一些树木还能够随沉积物堆积高度的变化改变自身的生根水平。另外,这些植物还可以通过加强自身的根系系统,以及克隆,或是沿堤岸、尖沙洲以及防洪堤等生成丛状茎的方式进行传播。毫不夸张地说,这些植被才是真正的生存者;它们是河漫滩地表的“稳定器”,并在滨水区栖息地的塑造和维持中起到重要作用。

滨水森林对于河流廊道中的水生栖息地环境而言,也是十分重要的。森林形成的复杂根系以及倒下的树木能够改变原有的水流形式,丰富了河流廊道的多样性并改进鱼类生存的栖息地环境。在这里,我们认为有必要说明,人类传统的洪水控制方法(为减小河道粗糙度,加快水流速度)恰恰正是对这

尖沙洲栖息地

对洪水径流的
耐受能力

滨水森林

些“宝贵”特征的改变。对于小型的河流，夏季到来时，森林的林冠可以为河流遮阴，帮助降低河水的温度，这对于鲑鱼来说是十分重要的。另外，据有关统计显示，在有森林覆盖的流域地区，有大约超过90%的水中食物都是由滨水森林提供的。

14.8 管理方面的问题及导则

管理方法

河流环境是大地景观中的自然沉积位置，那里收集了多余的水流、沉积物、地表碎片甚至被污染的水体以及一些其他物质。与此同时，河流也是我们人类赖以生存的环境之一，它为人们提供水源、供人类航行、耕作，是重要的栖息地、娱乐场所和开放空间。河流环境已经深深地烙印于人类的历史与神话传说之中，以至于河流以及河流所处的河谷地区成为今日地理学特性研究的中心。自然地，我们也将大量的有关社会、政治、科学以及生态的精力投入到对河流的利用、管理以及如何重新利用的研究之中。然而不幸的是，多年来的大量投入与创新到如今却被证实只是一种错误。甚至就在不久以前，我们对河流的管理方法仍然还是一种完全的功利主义行为，为了能够方便地控制洪水、得到稳定的水源以及航行上的便利，人们的管理工作只是集中在对河流及河漫滩结构的改造上。在耗费了大量的金钱以及不可估量的环境损耗后，得到的却仍是令人失望的结果（尤其是那些强行进行洪水控制的地区）。不过值得欣慰的是，在无数失败的教训面前，人们已经逐渐地意识到自己以往的错误，并开始尝试使用一种更加综合的方法（一种整合了环境、文化、土地利用以及其他许多“软性”因子的综合方法）进行河流的管理。

小河流被破坏

然而目前的情况是，已经有太多的河流受到不适当的对待，不仅是大型河流或大型的项目，现在连许多地方上的小型河流都已经受到了破坏。由于小的河流都是会与大河相连，因此我们很难弄清楚具体的责任和管辖权上的关系。通常，河流的管理会涉及私有财产的所有人、排水委员会、森林管理部门、州立和地方上的高速公路部门、铁路以及其他一些社会团体，他们都曾在不同时间、以不同的方式改变过河流。现在，为减小累积的环境影响，寻求一条能够保护地方河流资源（我们仍然拥有的）的有效途径已经成为以上众多团体面临的共同问题。

对大型河流的影响

对于较大型的河流而言，受损的清单已数不胜数，涉及的责任团体也更加广泛。在1940年至1971年间，美国军事工程署（U.S. Army Corps of Engineers）曾参与一项大型的滨水环境改造项目，包括河流的渠化、引流、筑坝以及修建防洪堤岸等项目，共涉及超过10000英里长的流域范围。在20世纪40年代至20世纪的80年代间，美国自然资源保护局（U.S. Natural Resources Conservation Service）共参与河流改造项目近11000英里。在田纳西河流域（Tennessee River Valley），有接近5000英里长的河段被水库阻断，受到水闸的调控。1850年，加利福尼亚州的萨克拉门托河谷（Sacramento River Valley）曾有滨水森林面积达775000英亩，但在今天，森林的面积只剩下18000英亩。造成这些滨水森林大量损失的主要原因是人类的农业耕作、灌溉、城市供水以及防洪建设的需要，这样的现象在加利福尼亚州的其他河流地区也十分典型。

目前在美国，高度超过6英尺的大坝有75000个之多。在一年的时间内，美国全国会有超过60%的河水被储存在水库之中。令人惊骇的是，仅科罗拉多河

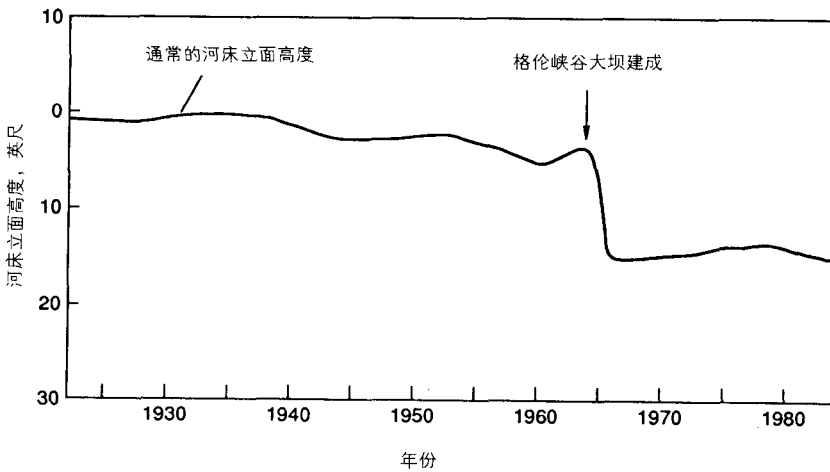
上的大坝(见图2.16)就能够储存四年的河水流量(以平均典型流量计)。在美国,水库已占到接近3%的全国陆地面积。就河漫滩区域而言,目前美国已有30%~40%达到百年一遇行洪标准的河漫滩被河水覆盖。

对自然滨水区域以及相关的水域环境而言,人工大坝和水库可以说是一种十分不恰当的严重干扰。直到目前,我们仍然不能完全估测出它们对于环境的影响,下面仅仅是我们现在能够预测到的,也是对环境有显著影响的几个方面:

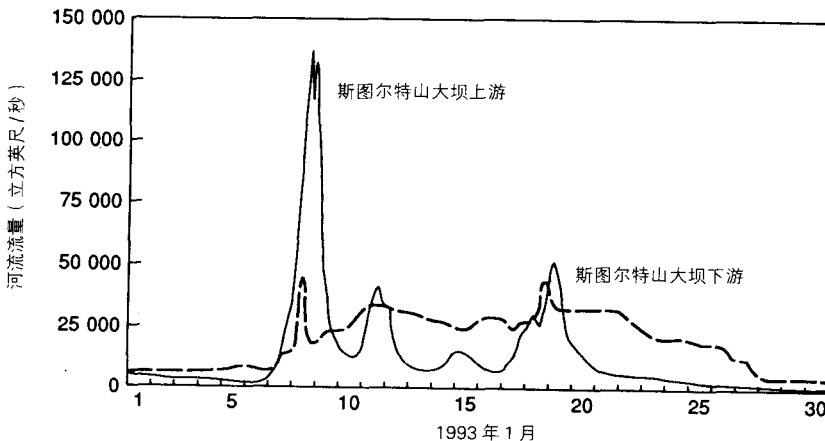
■水库的沉积作用:大坝阻断了正常的沉积物转运过程,使得大量的沉积物滞留于水库之中。人工水库最终将被泥沙完全或部分地填埋,水体供应、洪水控制以及娱乐的功能也将会完全或部分地消失。今天,在美国已有超过3000座的水坝被废弃,但是废弃并不能够使原来的环境得以重生,原有自然的河道与河谷平原已经被“埋葬”于大量的沉积层之下,总体上不能恢复到与以往相似的环境状况。

■河道侵蚀:为了补偿被水库截获的沉积物,尤其是泥石底积等沉积物,河水会加强对大坝下游河道的冲刷作用。河道被明显地加深,而河床往往也只是

大坝和水库对河流的影响



(a)



(b)

图 14.9 (a) 科罗拉多河格伦峡谷大坝建成前后河流下游区域河床立面高度变化图; (b) 大坝建设对河流流量的影响, 以亚利桑那州索尔特河为例

剩下一些巨型的鹅卵石而已(泥沙已完全被水流冲走)。例如,当科罗拉多河上的格伦峡谷大坝(Glen Canyon Dam)建成后,大坝下游的河床下切了约15英尺,对下游河流大范围内的底栖水生环境造成了严重的影响(图14.9a)。

■减小了河流流动的多样性:建设大坝的主要目的之一就是调整河流的运动以减小其自然的多样性(图14.9b)。为了减少河流高峰流量的强度和频率,尤其是针对洪水的发生,一种作用于水生及滨水栖息地环境的基本重要力量受到了人为的改变。除了水流供应和分布的变化外,河流地区发生自然干扰事件的可能性也大大降低,物种的多样性也因此而下降,耐受性物种侵入河漫滩生态系统的机会大大减少。

■栖息地破碎化:很显然,大坝和水库的建设打断了自然的栖息地廊道,降低了滨水及水生生态系统的多样性、生产力以及功能的变化性。其中最突出的例子要数迁徙性鱼类——大马哈鱼,在哥伦比亚河流域,大马哈鱼的回游过程会经过八处水坝,而通过每一处水坝都会有接近5%~14%的成年大马哈鱼死亡。而那些年幼的大马哈鱼在向下游迁徙时,经过水坝时的成活率就更低了。现在,大鳞大马哈鱼已经被列入哥伦比亚河流域的濒危物种清单之中。

然而值得欣慰的是,在过去的二十年内,美国以及世界上其他一些发达国家的水坝建设量明显降低(图14.10)。在美国和加拿大,只有极少数的大型水坝建设项目仍在考虑之中。今天,美国已经废弃了数以千计的水坝,据预测,在未来的五十年里,将会有更多的水坝被废弃。那些被堤岸、河道以及诸如此类的人工建设所破坏的环境在未来将得到逐渐地恢复,并能够重新整合成为更广泛范围的河流滨水环境。

现在,一种全新的河流与生态恢复规划方式正日益受到人们的关注,并得到来自社区、环保组织、商业组织、教育机构和州立、省立及联邦政府有关当局的广泛支持(图14.11)。这种全新的规划包括许多有针对性的措施,如修建受损的栖息地、重新规划开发空间系统,以及滨水生态环境的管理等。无论采

河流管理的
新趋势

河流恢复运动

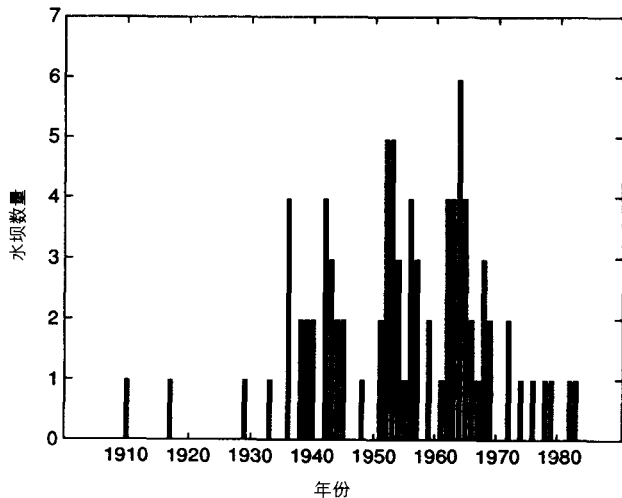
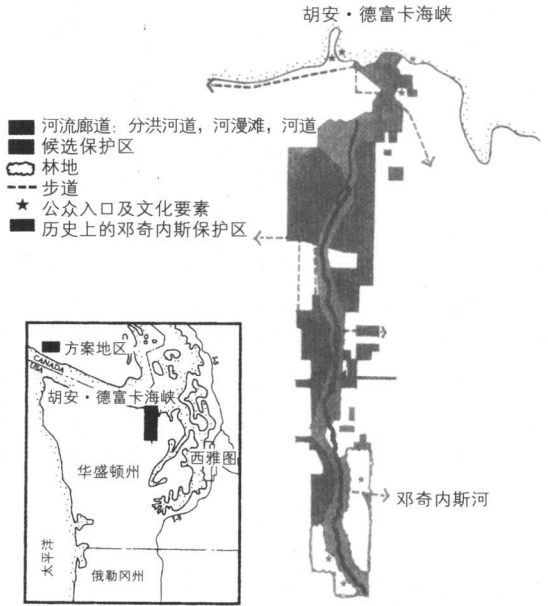
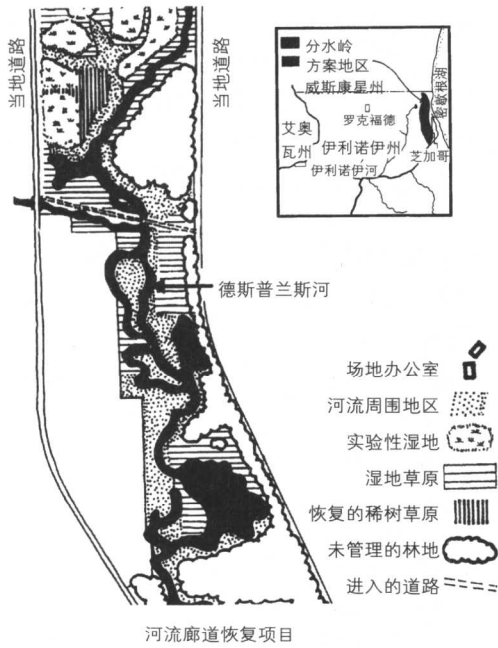


图 14.10 1910-1983 年间建成的大型水坝数量变化图。图中显示的为水库容量达到或超过 100 万英亩·英尺的水坝。现在,在许多发展中国家,例如中国和巴西,新建水坝的速度仍没有减缓的趋势



加利福尼亚索诺玛县

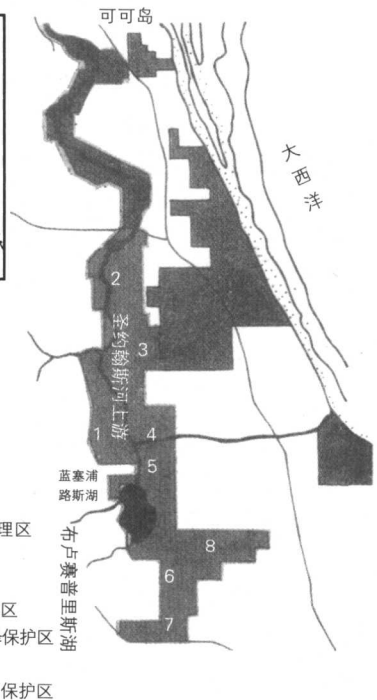


图 14.11 由美国国家公园署发起的河流、道路 (Trails) 及保护计划中的一项河流廊道恢复项目案例。项目的目的在于河岸的恢复、减少洪水损失、提高渔业活力以及增强游憩功能, 左下方的照片显示的是志愿者正在修复加利福尼亚索诺玛县一条河流的情景

用什么样的方法,这些行为都要建立在水文学、地形学以及生态学的基础之上。各个领域知识的综合利用使我们更加了解河流廊道的复杂性及其运作的动力机制。为了更加有效地进行河流廊道的恢复与管理,我们有必要对以往那些只基于传统场地规划的环境理解方式(如只是局限地针对坡度、土壤、排水特性、地形、植被及栖息地等)进行一定的改革。现在,我们的规划师、设计师和管理者们必须从整个过程系统的全局来进行统筹把握,以下是一些可供参考的建议:

■河流是水体网络系统的组成部分,从分水岭得到水,水流集中在渠道中,进一步向下游流去。这是一种单向的流动系统,因此,我们必须弄清楚研究对象在网络中所处的位置以及它与上下游区域土地利用之间的关系。关于河流系统的管理,其中首要的问题就是保护河流的源头,其次便是保护整个流域,杜绝水文学上的土地滥用。

河流恢复与管理 指导原理

■河流系统不仅仅是在河谷系统中绕行的单线形水流。事实上,它们是一种汇集了多种水体系统的水文廊道,包括渠道、洪水、地下水、湿地以及湖泊等,而这些水体系统的整合以及相互间的作用正是滨水景观形成与变化的根本。水体是河流廊道(不论是地上还是地下)运作的绝对驱动力,因此,不论规划或管理项目的目的何在,我们都必须遵循水体在水文上的特征。

■河流及其相关水文系统会随时间变化出现激烈地波动。事实上,河流的平均流动状况同我们定点观测或是本领域中的详细记录(关于河流及河漫滩的形式和特征)之间存在很大的差别。因此,在对这种景观现象进行因果分析时,我们还必须参考多方面的事实(包括河流流量记录、地形特征、植被状况、以往的地图、航空影像、当地历史等,并且在这里,无论是书面记录或口头流传都是值得参考的),以形成一种关于关键性流水事件的强度和频度的理性判断(图14.12)。

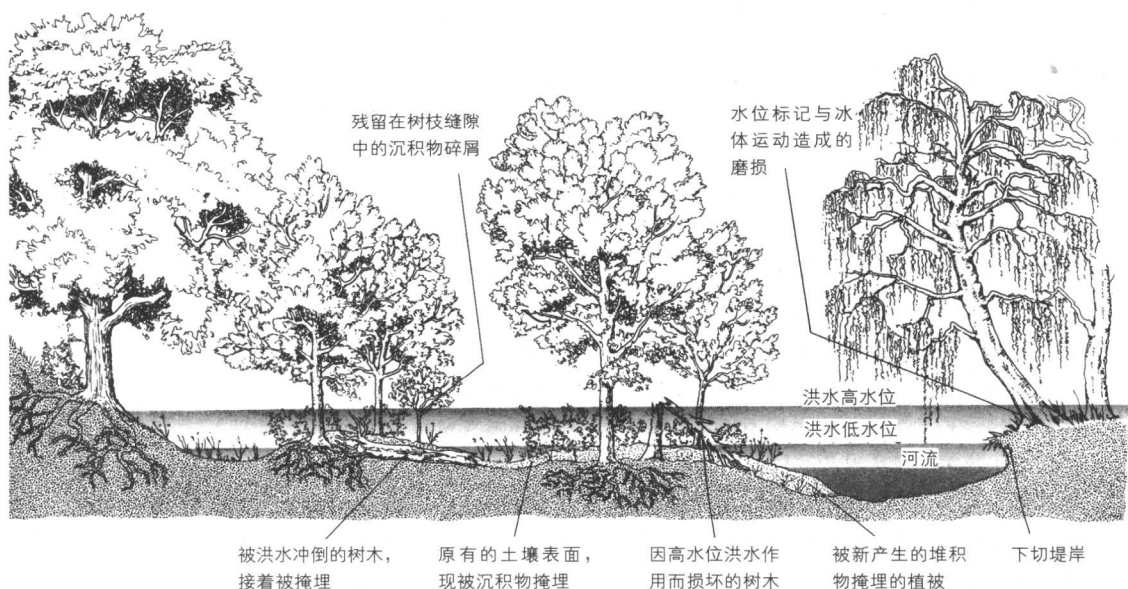


图 14.12 过去洪水的指示标记(例如水位标记和受损的植被等)在今天已经成为河流流动记录的一部分

■侵蚀和沉积是河流廊道和河漫滩中发生的自然过程。同时，重要的是我们必须分清侵蚀和沉积中哪些是自然的、地貌变化的过程，哪些又是由于人类行为造成的结果。其中，人类行为的影响包括城市地区的地表径流、森林砍伐、农耕地地表径流与沉积以及设施的建设（如建桥）等。而下切岸与尖沙洲则是河流自然动力过程的结果，因此在景观管理项目中，其中的大部分都不应成为河流是否稳定的标志。

■河流系统的基本生物地理学表示方法就是栖息地廊道。从许多方面看，河流就是一种栖息地廊道，它是生物穿越流域系统的通道，使河流周围的动植物群落得以联系和交流。但由于河流窄而长的特征使得它又极易被土地利用系统所阻断，造成栖息地的破碎化，降低了生物多样性。另外，河流廊道阻断事件对生物群落的影响大小还取决于障碍物（如高速路和桥梁）的相对渗透性。

■许多栖息在河流廊道的物种及生态系统不但能够适应河流多变的环境，并且还依赖这种变化而生存，它们依靠河流的变化获得营养、繁殖扩散、传播种子，进行其他一些生命过程和获得资源。河流系统在其行为上有时会出现一些“插曲性”的独特事件，因此在管理上仅仅依靠渐变式的生态规律（如群落接替模型）对于大多数的河流系统是行不通的。并且那些试图减小河流环境多样性的人工管理手段（如洪水治理项目等）只可能对水体及滨水生态系统造成严重的改变。设想在一个没有中低强度洪水泛滥的水滨地区，许多不耐洪水的植物便会很快地侵入这片滨水地带，从而造成生物群落类型的变化。

城市流域内的暴雨水管理及河道恢复

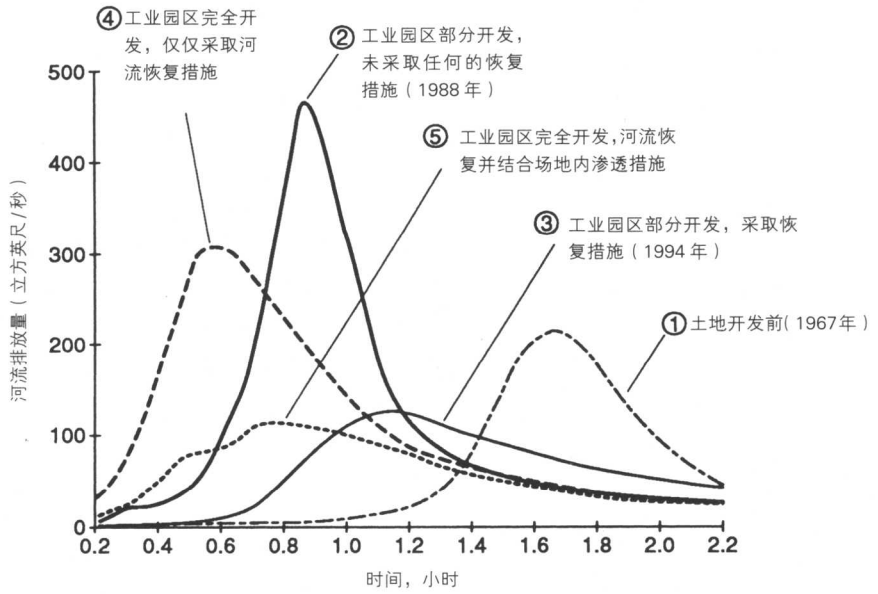
布鲁斯·K·弗格森和P·雷克斯福德·贡森

(Bruce K. Ferguson and P. Rexford Gonnson)

在过去的几十年间，美国皮德蒙特高原的南部成了快速城市化发展的地区之一。其中，于20世纪80年代在佐治亚州雅典市兴建的科京(Coggins)工业园区就占用流域地区面积达140英亩之多，主要用于发展道路、公共事业、选择性建筑以及公园。除了运用传统的标准暴雨管理办法外，人们还在流域的主要支流处增设了一个“干旱”的滞留盆地（原本是用于分流水体，然而由于不能起到设计时的意图，没有水进入该滞留池，因此称其为“干”的滞留池）。仅仅四年的时间，土地开发已覆盖了整个规划园区一半的面积。不透水的硬质铺装占到开发区域的90%以上，占整个流域的30%。

与建设前相比，在暴雨来临时，三条支流的水流承载量大大增加，高峰时超过建设前流量的两倍。大量而迅速的水流对河道造成了极大的破坏：河岸的泥土脱落、河床内物质移动，在暴雨雨水的驱动下，河流为适应这种新的流动“状况”而产生了大量的泥沙沉积物。在一些地区的建设过程中，人们甚至会挖出沟渠排干耕地中的小池塘，移走河流以寻求更多的建设用地，这些行为更加加剧了河流的不稳定性。而最初设计的滞留池（作为公园基础设施的一部分，原打算用以缓解暴雨对河流的损坏）既不能有效地缓解高峰时河水的流量，也不能有效地捕获那些可流动的沉积物，可以说，滞留池在

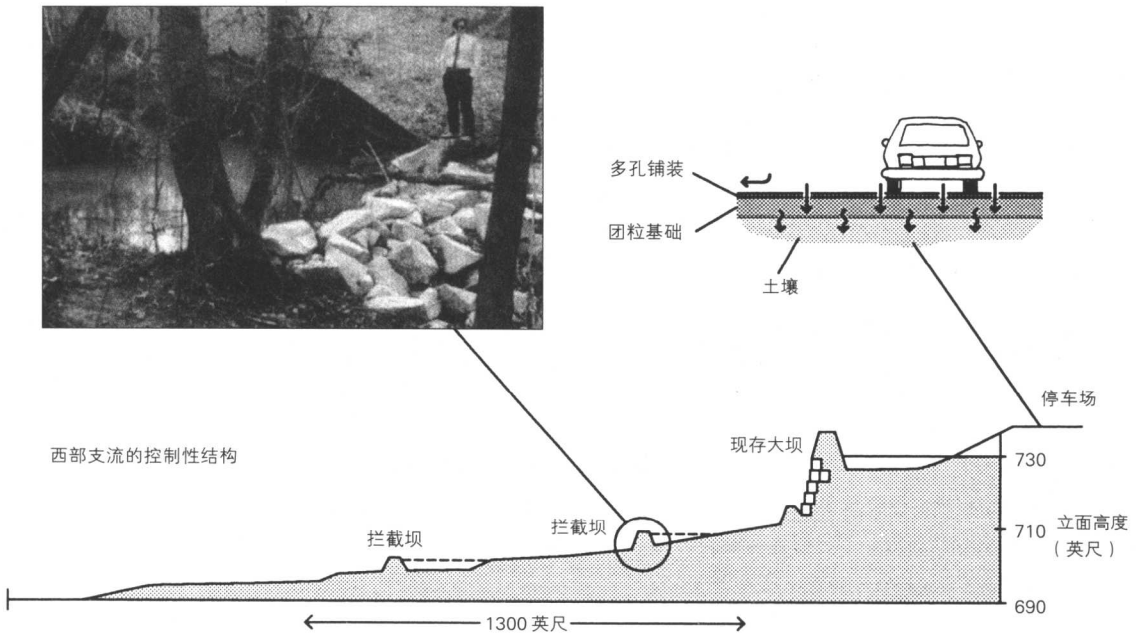
14.9 案例研究



图A 河流十年间的暴雨水位图(反映出土地开发以及后来的河流恢复中不同阶段的河流水文特征)

减小径流量以及缓解对下游河流的压力方面并没有起到预想的作用。

面对日益恶化的环境（被暴雨水流侵蚀的景观植被、充满了沉积物的浑浊河水、被掩埋的水生植物以及几乎被沉积物填满的瀑布池）与河流下游居民的控诉,尽快解决这些由于城市发展造成的问题已成为目前最迫切的需要。



图B 河岸拦截坝及路面结构示意图（原文没有图注，由译者所加——编者注）

我们需要一种具有决策力量的对策,一项旨在捕获移动性沉积物、稳固河流、缓解高峰流量、增强基本水流、建立湿地、提高水质的河流与流域栖息地恢复项目正在构思之中。

为减小水流对河岸的侵蚀并进一步稳固河道,人们在河流上增设了许多拦截坝。这些坝相当于一系列的中间基准面,能有效保护基面下方的河岸不受水流侵蚀,同时位于拦截坝后的池还能够拦截并捕获一些沉积物。当池中充满沉积物后,坝上方的河岸倾斜度就会减缓,从而有效减小水流对河岸的侵蚀以及对沉积物的转运能力,增强了河床的稳定性。当河道稳定后,河岸的沉积物上会自然地生长一些湿地与滨水的植物。同时,由拦截坝固定的沉积物增强了河岸的渗透能力,有效补充河流的冲积蓄水层,增加河流在干旱时节的基本水流。

另外,在这次的河流恢复计划中,我们利用了原有的滞留池,并将它进一步恢复和扩大。现在,它能够有效拦截来自河流上游的沉积物,增强河道稳定性,改善下游水质。除此之外,我们还在河流的“断开”处(通常是一些有道路、公共设施穿过的地方,并在土地利用允许的条件下)增设了一些小规模的控制池和更多小规模拦截坝。其目的在于建立更加稳固的河道,当这些拦截坝与控制池被掩埋后,河岸倾斜度会更加一致,并接近一种平衡状态。河流将能够容纳来自各方的水流并且不至于形成过度的侵蚀与沉积。

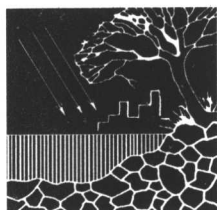
全面的流域系统水文模型显示,包括拦截坝与滞留池在内的恢复计划已经使得河流的高峰流量恢复到城市建设前的水平(图A)。然而,为控制未来工业园区外建设可能产生的地表径流,我们还需要一些额外的管理方法。当然在已经开发的地区,如科京园区,想要在工业区内寻找能够建立地面滞水池的开发空间已是不可能。作为一种替代方法,我们使用了可渗透铺装并结合团粒基础来增加地面的渗透性,减少地表径流量。渗透能力的增强是解决城市暴雨问题的根本。雨水可以通过渗透性的铺装进入底层石混结构的空隙中,再逐渐渗入底层的土壤。除了能够减少地表径流量外,渗透的过程还减少了暴雨可能对河流产生的污染,例如悬浮的固体颗粒物以及机油等污染物。多孔铺装渗透系统、拦截坝、滞留池三者的结合使用,共同将未来河流的高峰流量控制在建设前的水平(图B)。我们的水文模型显示,结合使用以上的技术手段就能够产生令人满意的结果,将环境影响控制在可操纵的范围内,并有效消除对场地外地区的严重影响。

最近,我们在科京园区的河岸边发现了海狸的踪迹,从某种意义上说,它们可以接替河水管理与拦截坝的运作工作,也许它们最终会替代人类的河流监控工作,并使整个流域系统得以维持。并且不论怎样,它们都是河流生态环境恢复的标志,是一个曾经由于人类城市发展而受到破坏的河流系统逐渐恢复的希望所在。

作者简介: 布鲁斯·K·弗格森(Bruce K.Ferguson),佐治亚大学景观设计学专业教授,擅长暴雨水文学(stormwater hydrology)。P·雷克斯福德·贡森(P.Rexford Gonnson),弗格森教授的合作者,佐治亚州雅典市比尔·贡森(Beall Gonnson)公司的一名景观规划师。

14.10 推荐阅读文献

- Collier, Michael, et. al. "Dams and Rivers: A Primer on the Downstream Effects of Dams." *U.S. Geological Survey Circular* 1126, 1996.
- Doppelt, Bob, et. al. *Entering the Watershed*. Washington, DC: Island Press, 1993.
- Ferguson, B. K. "Urban Stream Reclamation." *Journal of Soil and Water Conservation* 46:5, 1991, pp. 324-328.
- Gorman, O. T., and Karr, J. R. "Habitat Structure and Stream Fish Communities." *Ecology* 57, 1977, pp. 507-515.
- Hirsch, R. M., et al. "The Influence of Man on Hydrologic Systems." In *The Geology of North America* 0-1. Boulder, CO Geological Society of America, 1990.
- Kaufman, M. M., and Marsh, W. M. "Hydro-ecological Implications of Edge Cities." *Landscape and Urban Planning*, 36, 1997, pp. 277-290.
- Keller, E. A. "Pools, Riffles, and Channelization." *Environmental Geology* 2, 2, 1978, pp. 119-127.
- Leopold, L. B. *A View of a River*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., and Miller, J. P. *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: Freeman, 1964.
- McGuckin, C. P., and Brown, R. D. "A Landscape Ecological Model for Wildlife Enhancement of Stormwater Management Practices in Urban Greenways." *Landscape and Urban Planning*, 33, 1995, pp. 227-246.
- Selby, M. J. *Earth's Changing Surface*. Oxford: Clarendon Press, 1993.
- Smith, D. S., and Hellmund, C. A. (eds). *Ecology of Greenways*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993.
- Stanford, J. A., and Ward, J. V. "An Ecosystem Perspective of Alluvial Rivers: Connectivity and the Hyporheic Corridor." *Journal of the North American Benthological Society* 12:1, 1993, pp. 48-60.
- Swift, B. L. "Status of Riparian Ecosystems in the United States." *Water Resource Bulletin* 20:2, 1984, pp. 223-228.
- Williams, G. P., and Wolman, M. G. "Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers." *U. S. Geological Professional Paper* 1286, 1984.



第 15 章 海岸线过程， 沙丘和海岸带管理

- 15.1 简介
- 15.2 波浪运动，洋流和近岸环流
- 15.3 净沉积物运输和沉积物质量平衡
- 15.4 海岸线变化的趋势
- 15.5 沙丘形成与补充
- 15.6 海岸区规划与管理的应用
- 15.7 场地管理中的考虑
- 15.8 案例研究 传统工程性海岸保护措施的绿色替代方案：根墙概念
- 15.9 推荐阅读文献

15.1 简介

海岸线侵蚀、洪水以及这些自然现象所带来的财产损失，是海岸地带令人头痛的问题。美国和加拿大总共有超过 200000 英里的海岸线，在过去 30 年时间里，海岸侵蚀现象已成为越来越严重的问题。这不是因为海洋和湖泊的活动过程在过去这些年发生了变化，而是因为人类对海岸的开发和利用增加了。目前，无论是在经济上和情感上，这个问题都开始得到越来越多的关注。在北美地区，现有一亿多人生活在海岸带及其周围，对于他们中的大多数人来说，海岸问题也使人与海之间形成了一种苦乐参半的关系。无论对于个人还是对于社会，海岸侵蚀造成的损失都是越来越高。因此，对于海岸带土地的保护与管理的努力也从社区、州/省到国家不同的层面上得到了不同程度的关注。此外，由于未来海平面的上升和更多的海岸带人口，这个问题也将会变得更加敏感。

1972 年，美国联邦政府通过了海岸区管理法（Coastal Zone Management Act），这个法案主要是针对各州的海岸规划和管理项目而制定的。这些项目的一个主要任务，就是根据海岸线的相对稳定性（包括受侵蚀的潜在可能性）对其进行分类。要得到这个结果，就有必要理解海岸的物理组成，以及作用其上的各种动力的特点。风浪是海岸地区主要的作用力，是大多数情况下海岸侵蚀、沉积物运输和堆积的主要因素，而这几种过程协同一起形成了海岸、沙滩、堰洲岛等特征地貌。正是在这些地貌的基础上，土地利用和海洋之间剧烈的相互作用才得以进行。

在土地利用和海洋之间寻找恰当的适配点不仅要求把海岸线建成工程要塞以保护土地利用设施，它还要求进行多方位的考虑，要像保护房地产那样重视生态系统、风景和娱乐资源、历史和文化。同时还必须认真考虑海岸的地理多样性，不仅要考虑承载能力上的不同和对紊乱的土地利用的适应性，而且要考虑在历史格局和人类定居类型方面的多样性。简而言之，作为一个社会，我们必须在利用海岸时采取更慎重和可持续的方法。

呼吁有效的管理

寻找恰当的
适配点

15.2 波浪运动，洋流和近岸环流

大多数风浪产生于深水区域，由于波浪的动力在这些区域不能达到地表，因此不会引起侵蚀。在浅水区，波浪则不仅触及地表，而且通常会对其施加较大的作用力。起初，这种作用力并不是很大，但当波浪靠近岸边时，作用力就会迅速增加。在那些波浪剪切应力超过地表物质的阻抗力的地方，地表颗粒物开始发生位移。沿着由疏松沉积物和淤泥组成的海岸线，大量的土壤颗粒被搅起，特别是当波浪在近岸的浅水区激起时，这种现象更为突出。

波浪首次接触地表并开始移动微小土壤颗粒物时的深度被称为**波浪基面深度**（图 15.1），它随着波浪的增大而加深，并且大致为波高的 1 倍至 2 倍，为波长的 0.04 至 0.5 倍。沿海岸线的浅水地带是由波浪基面深度定义的。由于波浪基面是随着波浪大小的变化而变化的，因此浅水地带宽度实际上因不同的波浪运动而不同。在大洋地区，大型波浪的波浪基深通常被认为平均达到约 30 英尺，而在北美五大湖区（Great Lakes）平均只有 10 英尺左右。

波浪基面深度

波浪侵蚀和运输沉积物的能力是波浪大小、沉积物大小及沉积物可获得性

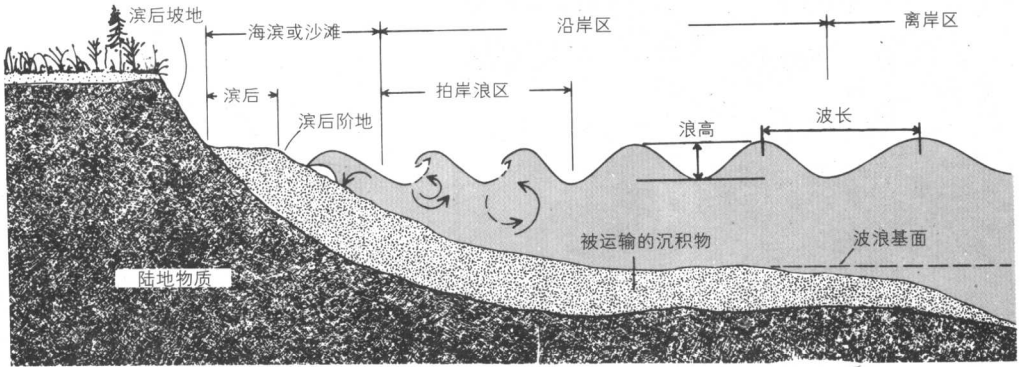


图 15.1 波浪的主要尺度参数, 三个主要的海滨区 (shore zones) 及其特征

波浪大小 的函数。在深水区, 波浪大小是由风速、风持续时间和风浪区长度决定的。风浪区长度是浪区海浪没有遇到障碍物所经过的距离, 它在很大程度上取决于水体的大小与形状。这就是为什么在小型湖泊上不能产生大风浪的主要原因。当风速、持续时间和风浪区长度都为最大时, 才能产生最大的波浪。深水区波浪大小可以利用图 15.2 中的图表进行预测, 例如, 当风速为 20 英里每小时, 风浪

波浪大小预测图

风浪区长度, 英里

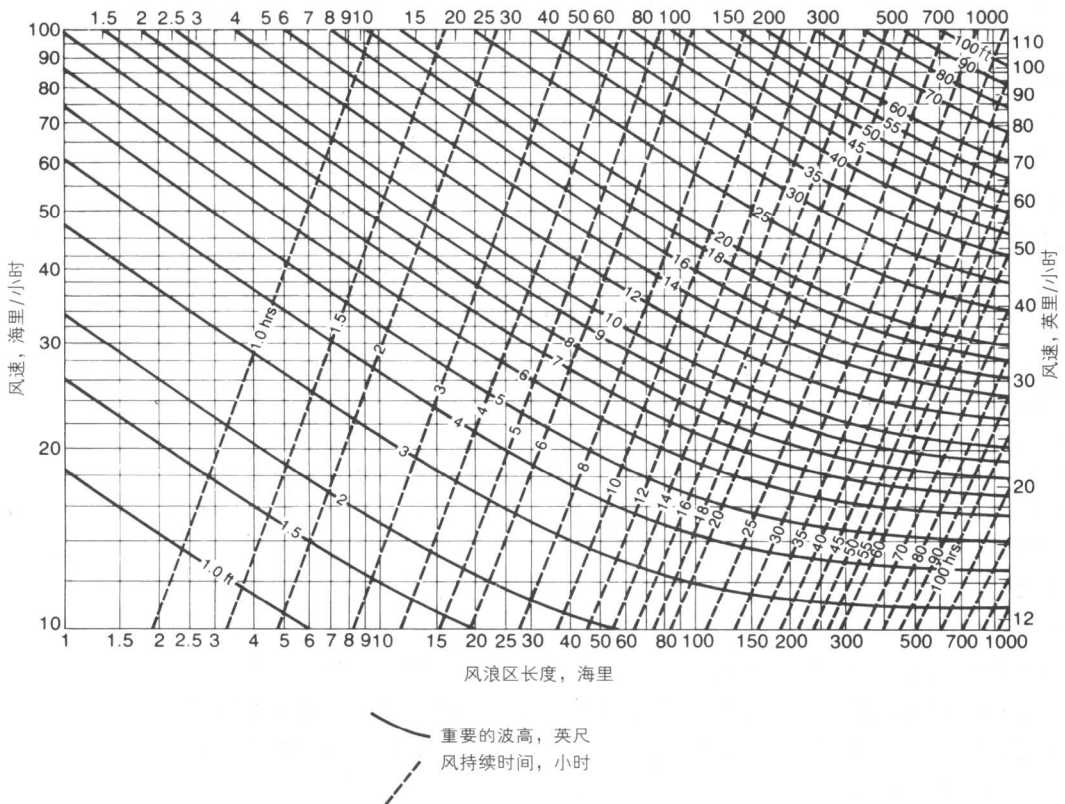


图 15.2 基于风浪区长度和风速预测深水区波浪大小 (高度) 的图表。持续时间曲线给出了当风速和风浪区长度一定时, 波浪达到最大高度时所需的最小持续时间

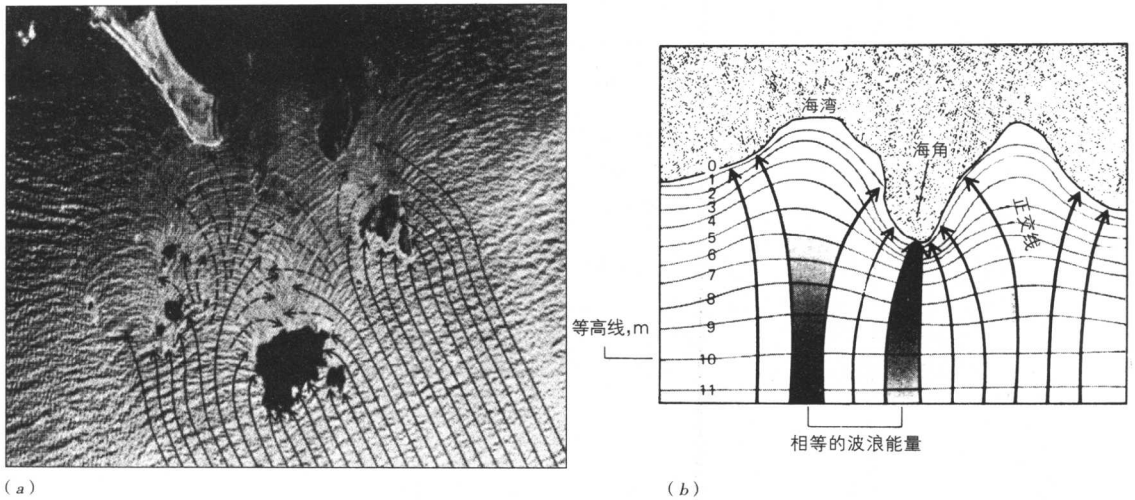


图 15.3 波浪折射模式 (a) 从航片上看到的情形; (b) 与海角和海湾附近能量分布的关系

区长度为 100 英里，在风持续大约 14 小时后，波高将达到 5 英尺。

在浅水区，波浪速度随着波浪与地表摩擦以及波浪来回运动产生的阻力所造成的能量损失而递减。波浪速度朝着海岸的方向由于摩擦力和阻力的增加而逐渐减少，并且波浪在岸边最终消失前，近岸的波长会迅速减小。如果波浪以一定角度袭向岸边，由于内部减慢的速度大大高于外部，它实际上会产生弯曲或折射。折射可以通过浅水区波峰排列的曲线进行测度，它表示了波浪能量的方向发生了改变，进而使波浪的作用力更加迎面地作用到岸上。

因为折射是受波浪的移动方向和浅水区底部地形控制的，所以可以利用深水区波浪的方向和等深线图来预测**折射模式**，也可以通过观察航片上的波浪移动时波峰的位置（图 15.3a），并沿波峰构造被称作**正交线**的垂直线。假设在深水区波浪大小（即能量）沿着整个波峰是一致的，我们可以看到浅水区任何正交线交汇或发散的地方，都表示波浪能量在相对分布和朝向上发生了变化。通常情况下，折射使波浪的能量集中于凸起的海角和岛屿中朝向海的部分，而发散于海湾和岛屿背风的部分。这些位置正好分别是典型的侵蚀和沉积现象发生的地点（图 15.3b）。

为了使波浪改变岸线地貌，沉积物必须被搅起并从一个地方转移到另一个地方。如果要实现这个过程，那么由波浪运动施加的作用力必须大得足以使土壤颗粒物发生位移。在浅水区的外边界部分，土壤颗粒物的运动是轻微的。特别是对于沙质的沉积物来说，由于每一次波浪的往复运动，使得这种位移更小。然而在近岸地区，情况大不一样。波浪移动通常伴随有抬升作用，特别是在波浪激起的地方，土壤颗粒物受到这种力的抬升作用被带到激起的水柱中，并且在它们最终返回到地表之前再经历湍流的作用。虽然单独的颗粒物的运动可以朝着任何一个方向，但是在经过多次波浪的作用后，土壤颗粒物的运动方面通常是与岸线平行的。

引起沉积物平行或**沿岸运输**的原因有两个，一个是大多数波浪都成一定角度到达和冲击海岸线，因此，波浪的作用力的方向是与岸线斜交的。虽然波浪

波浪折射

折射的重要性

沿岸运输

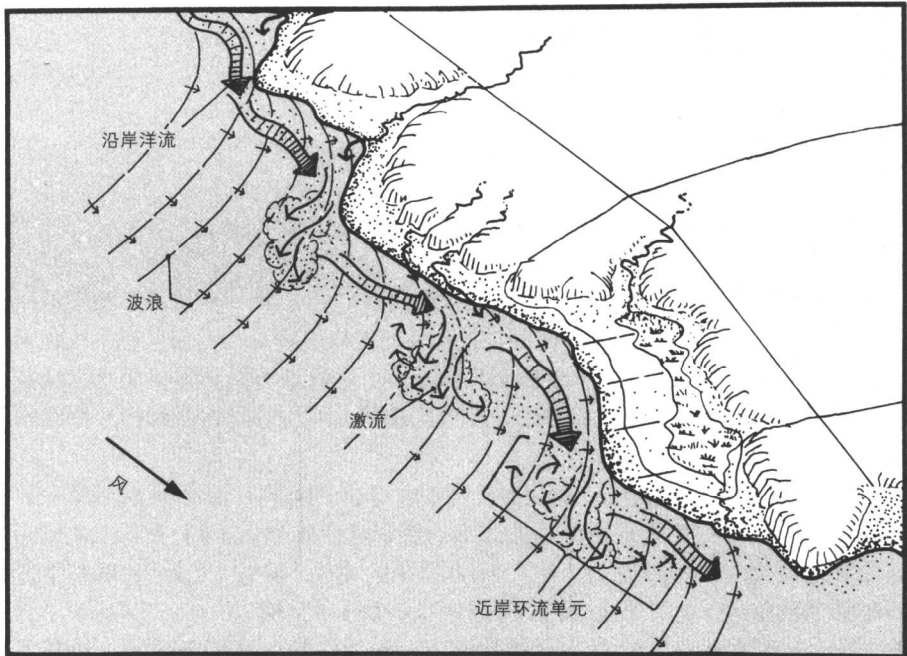


图 15.4 近岸环流显示了波浪、沿岸洋流、激流和沉积物从源 (source) (上) 到汇 (sink) (下) 运送的过程

在靠近岸线时会折射成更趋向于垂直于岸线的方向, 但是大多数在穿过浅水区时, 仍然保持一定的非直角的角度。因此, 大部分用于移动沉积物的能量是平行于岸线的。第二个原因是沿海岸移动的洋流, 通常也称为沿岸洋流, 它通常沿波浪运动的方向平行于岸线移动, 速度为每秒 2 至 3 英尺。沿岸洋流由波浪的能量作用产生, 其速度与大小 (体积) 随波浪的大小和持续时间的增加而增大。当沉积物被波浪激起并在返回水底之前, 沿岸洋流会将其沿着岸线向下运输, 直到它再次被波浪激起并再次运输。

其他类型的洋流同样沿岸线运动, 其中一个最为明显的是激流。激流从岸边面背着波浪运动的方向向海面方向流动, 它是细小的喷射水流, 通常会拦截沿岸运动的沉积物, 并将其中一部分带往深水区。激流、波浪和沿岸洋流共同构成近岸环流单元, 并将水和沉积物沿着岸线或垂直于岸线方向移动。这些单元反过来又处于更大的环流系统中, 而这些更大的循环系统则将沉积物从源地如河口三角洲运送到沉潭, 即沉积物沉积的地区, 如海湾 (图 15.4)。

15.3 净沉积物运输和沉积物质量平衡

在大多数海岸线上, 波浪和洋流可能会受风暴和季节的变化而改变方向, 这就是引起沿岸沉积物反向运输的原因。因此, 对于同样的沉积物, 一年中可能会多次流经岸边的同一地点。通过海岸线上某一点的沉积物的质量 (不考虑重复计算) 被称作总沉积物运输量。可是这个总量并不能很好地反映海岸线上某一地方沉积物的平衡状况, 因为它既没有告诉我们岸线是正在损失还是正在获得沉积物, 也没有告诉我们岸线是正在增长还是萎缩。因此, 有另一种度量

沉积物运输的
度量

近岸环流

的方式，称为净沉积物运输量。

$$\text{净 } Q_t = Q_p - Q_s$$

式中

净 Q_t = 净沉积物量 / 年；

Q_p = 主要方向上的沿岸运输量；

Q_s = 次要方向上的沿岸运输量。

净沉积物运输是指沿着海岸线不同方向上移动的沉积物的平衡。如果沿岸系统主要受一个方向上波浪的作用，那么净沉积物运输可以是很大的。与此对应，如果沿岸系统同时在两个方向运作，那么净运输量可能会很小而总运输量却会很大。最后，我们所关心的是一种变化趋势，因为它能告诉我们海岸线未来的发展情况。

在地方的观察尺度上，我们通常只考虑岸边海滩的一部分或很小的一部分水体，这样我们就需要知道更加详细的沉积物平衡情况（图 15.5）。这包括滨后坡体侵蚀与径流的输入（ R_i ）、风力侵蚀的损失（输出）（ W_o ）、夏季岸边沙洲移动的输入（ O_i ）、秋季或冬季从沙洲移动的离岸输出（ O_o ），以及沿岸的输入（ L_i ）或输出（ L_o ）。任何时期沙滩上沉积物的平衡量等于总输入量减去总输出量：

$$\text{沉积物质量平衡: } L_i - L_o + O_i - O_o + R_i - W_o = 0$$

这个值大于零表示沙滩沉积物增加，小于零表示质量减少。通常，这些趋势在超大尺度和更小尺度的海滩上非常明显。在大多数地方，我们不能获取用于计算沉积物平衡的详细资料，而且大多数规划研究中，通常没有充足的时间或资源

沉积物质量平衡

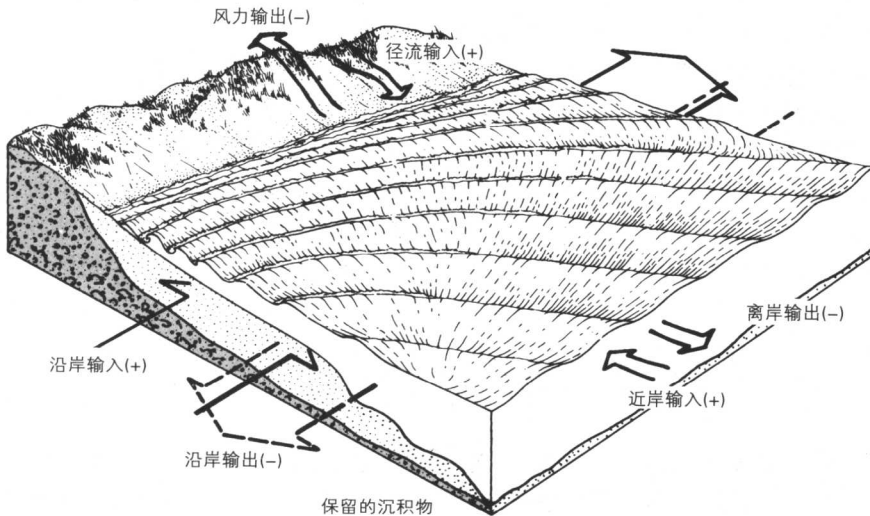


图 15.5 小部分海滩的沉积物质量平衡中的主要组成成分，同时是地方规划和管理问题中一个有用的模型

数据来源 以获得必要的的数据。因此, 在进行场地规划时, 我们通常必须求助于对当地记录的理解, 如历史地图、土地调查资料和存档的航空影像等, 以获得一个当地发展趋势的概念性认识。本章末尾的案例使用航空影像演示了这种研究方法。

15.4 海岸线变化的趋势

沉积物源 河流是沿岸运输的主要沉积物源, 在全球范围内, 它们每年提供海岸地带总沉积物量的90%。在河流沉积物丰富的地方, 几乎所有可获得的波浪能量被用于沿岸沉积物运输。然而, 在河流沉积物很稀缺的地方, 例如在南加利福尼亚, 水库夺走了河流沉积物使太平洋海滩失去大部分沉积物补充源, 因而海滩沉积物的量很小, 而且只有小部分能量被用于移动这些沉积物。此外, 正因为量很小, 这些沉积物没有对海滩和海滩后面的场地原有物质提供良好的保护, 因此滨后地带会受到严重侵蚀, 而且侵蚀产生的残留物会被吸收进入沿岸沉积物系统。当侵蚀发生时, 海岸线向陆地一侧后退, 这种类型的海岸线通常表现为海崖、绝壁或波蚀岸等形式。而且, 由于不断损失沉积物, 经过很长一段时间后, 海岸线就会逐渐向陆地一侧后退, 通常我们称这种现象为**向后递退**。

后退与侵蚀 **后退**是指海岸线朝陆地一侧发生位移的过程, 它通常由侵蚀引起, 也可能是由于水平面的上升和海岸陆地的沉降所致。当然, 三种情况的任意组合也会导致后退现象发生。在侵蚀导致海岸线后退的地方, 当给定海岸线长度(L)时, 实际原场地内物质的损失量可以通过后退率(R)乘以滨后斜坡高度(H)得到(图 15.6):

$$\text{侵蚀量} = R \cdot H \cdot L$$

向前推进 另一个极端的现象是海岸线向海面方向前进的过程, 称作**向前推进**。这种

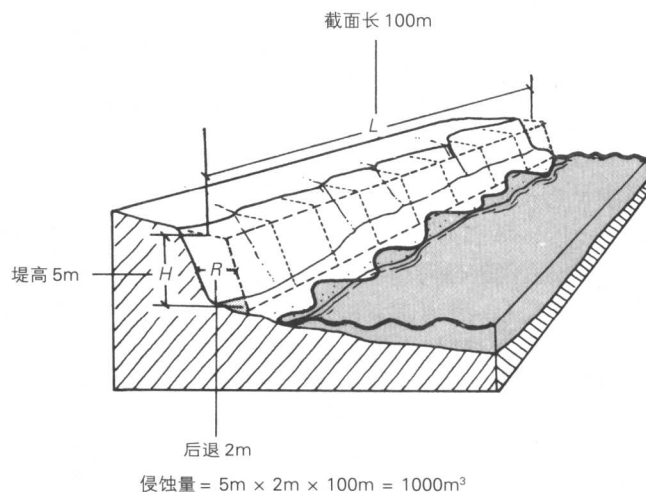


图 15.6 海岸线后退的侵蚀能量可以用后退率(R)、滨后坡面高(H)和岸线长(L)计算得出

表 15.1 基于历史资料计算出的美国海岸带变化率

海岸带类型	区域	变化率 (英尺/年)
海滨泥地	佛罗里达州	-1.0
	洛杉矶 - 得克萨斯州	-7.0
岩床	大西洋	+3.3
	太平洋	-1.7
沙质沙滩	大西洋	-3.3
	缅因州 - 马萨诸塞州	-2.3
	马萨诸塞州 - 新泽西州	-4.3
	海湾	-1.3
	太平洋	-1.0
三角洲		-8.3
堰洲岛	海湾	-2.0
	洛杉矶 - 得克萨斯州	-2.6
	佛罗里达州 - 洛杉矶	-1.7
	大西洋	-2.6
	缅因州 - 纽约州	+1.0
	纽约州 - 北卡罗来纳州	-5.0
	北卡罗来纳州 - 佛罗里达州	-1.3

资料来源：多兰 (Dolan) 等, 1983 年。

海岸线称为向前推进式海岸线。向前推进通常是因为波浪能量的减少 (如更小的风暴) 引起沉积物的沉降而产生, 也可以是因为更多的沉积物供应量、水深的减少和 / 或沉积物收集装置 (如交叉拱设备) 的建造。向前递进海岸线的特点通常是地势较低, 而且以不同的沉积特征出现, 如海湾头部的宽阔沙带, 位于海湾口和岛屿后面附近的沙嘴和沙洲, 以及沙滩脊和沙丘等。

大多数沉积物地形很容易发生形状和体积上的迅速改变, 因此, 短期的变化趋势通常不应该作为制订海岸区土地利用规划的基础。在大多数情况下, 由于这些地形的主体部分建于水下, 因此在沙洲或湾头沙滩上形成一小块面积的土地需要大量的沉积物。重要的是要记得这种地形的增减速度是与一段时间里净沉积物运输速度相关联的。在这个基础上才能继续沉积海岸线的规划和开发。

根据历史数据比如老的地图或图表来检测海岸线变化的区域趋势是可取的方法。曾经有过一个关于美国的研究案例, 研究表明美国海岸 (包括北美洲五大湖地区) 平均每年以 2.6 英尺的速度后退。更进一步来说, 后退的速度各不相同海湾海岸平均每年后退约 6 英尺, 太平洋海岸平均每年后退量小于 1 英寸。表 15.1 给出了不同区域和海岸 (地形) 类型的变化速率。这些数据仅仅在一般情况下, 即对于预测代表性海岸线的变化方向 (+ 或 -) 和变化速率有一定意义。然而在地方尺度上, 因为速率和方向的变化受到海岸线类型、当地沉积物系统、港口设施, 以及强烈的事件如风暴的影响, 因此它们可能并没有多大实际意义。通常而言, 关于海岸变化趋势 (尤其是长期变化速率) 的预测应予以小心看待, 特别是在全球变暖趋势导致海平面及气候变化时尤应如此。

区域海岸线趋势

15.5 沙丘形成与补充

另一个与活动性的特别是向前递进的海岸线相关的趋势是沙丘的形成。由

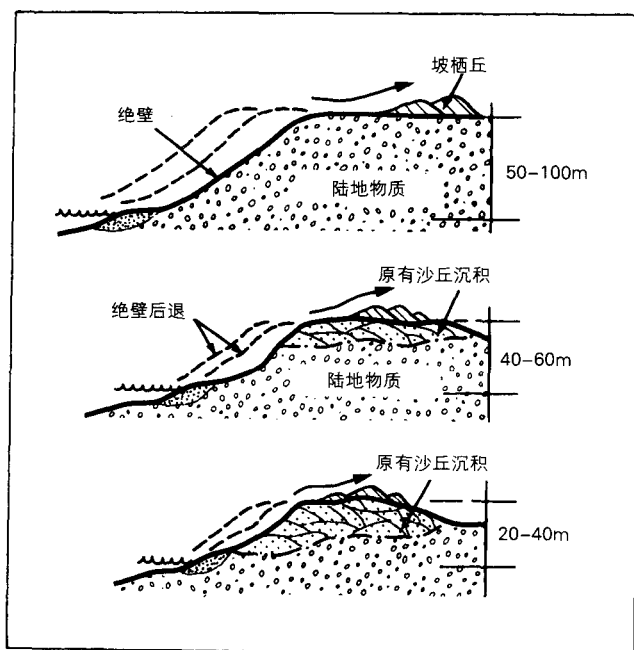


图15.7 三种类型的坡栖丘环境, 底图中的原有沙丘沉积最开始由低丘 (low-elevation dunes) 形成。最上方的图示状况在俄勒冈湖和五大湖区较为常见

波浪和洋流作用形成的海边沙滩沉积物极易受到风的侵蚀。这些沙一旦受到风的作用, 就会堆积成沙丘并且向内陆推进1英里或更远的距离。沙丘所在地也随之形成了海岸区更大沉积物系统的一个分离的亚系统。

沿海沙丘

无论是在北极地区还是在热带地区, 沙丘都是构成各主要海岸线的最普通和必不可少的元素。沙丘的形成与维持直接取决于两个关键因素: (1) 充足的可供侵蚀的沙源; (2) 驱使沙子向内陆推进的动力。对于大多数海边沙丘来说, 沙子来源于前面的沙滩, 其中没有或仅有少量植被覆盖的沙质海岸是最重要的沙源。形成沙丘的沙子的另一个重要来源是波蚀岸和沙质的悬崖地带。这两种不同的沙源产生了两种不同类型的海边沙丘: (1) 从岸边向内陆逐渐抬升的低丘; (2) 在水平面以上并且靠近绝壁和海崖额部的高丘 (图15.7)。

沿海空气力学

海滨地区与内陆相比是一个更加多风的地方, 这主要是与大气底层空气 (被称作大气边界层) 的流动有关。这一层空气大约有1000英尺厚, 当它从地表刮过时, 由于受到摩擦的作用而变慢。当大气边界层从一个开放的相对光滑的水面上空移过时, 因为受到的阻力相对要小些, 因此通常会以更快的速度移动。此外, 当气流从水面吹向陆地时, 也会在海岸附近加速, 这是因为陆地相对于水面较高, 对经过的气流会产生一定的压缩作用。空气必须从一个小的空间穿过, 通常为了维持气流的连续性, 气流必须加速, 结果产生了侵蚀和运输沙土的更大的能量。这种现象在有很高的堤岸和海崖的地方特别显著, 而且通常会在这些地方形成高丘 (图15.8)。这个现象同时也是位于海岸内几百米的内陆地区较高的沙丘脊发生侵蚀的重要原因。

在大多数海滩上, 随着与海岸平行的低沙丘脊的发育, 沙丘开始在滨后区形成。随着沙丘脊的增长, 排风口也逐渐在某些地方产生, 而沙子则从这些出

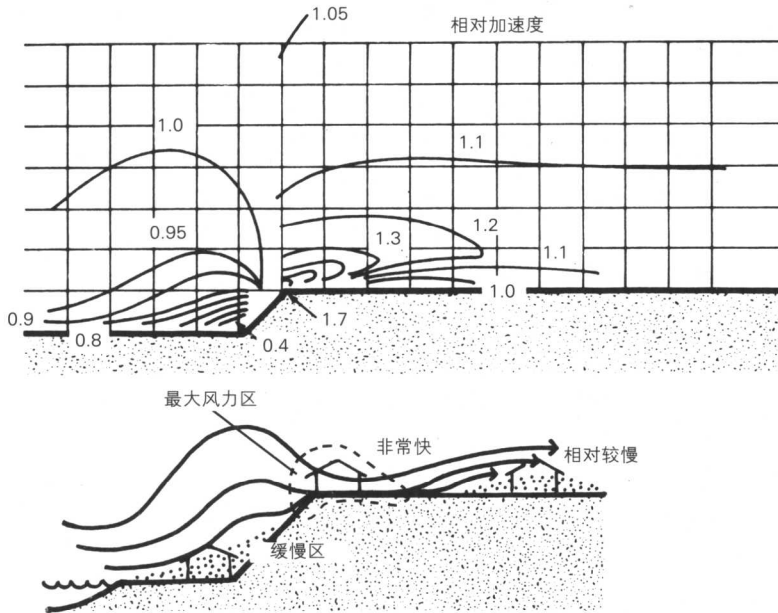


图 15.8 从海边绝壁和海崖上吹过的气流。气流速度从坡底到坡眉加快 4 倍，下图为相应的开发场地和风流线路

口向内陆迁移。同时，运输沙子的功能也从沙滩逐渐向内陆推进。沙丘沉积的边缘在向内陆地区推进的过程中会吞噬掉植被、土壤，有时也会掩埋湿地。从平面上看，排风口到沙丘边缘的形状近似于一个延长了的“U”字，在大多数地方我们称其为“发夹式沙丘”（图 15.9）。

随着沙丘向内陆地区的推进，由于沙子的不断补充，沙丘的长度和深度都会增加。在一些堰洲岛和沙洲，沙丘可能会穿过这些地形向海岸内部推进，但

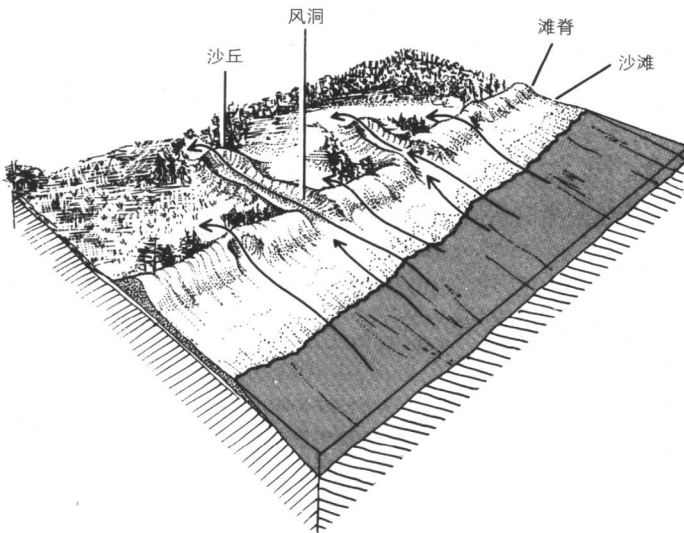


图 15.9 与海边沙丘相关的最常见的环境构成与形式。这种发夹式的沙丘是沿着从沙滩吹向内陆的主要气流形成的，沙丘侵入内陆，导致原有景观变化

沙丘移动 是在大多数海岸, 风的能量通常都没有达到使沙子的运输可以克服植被阻力的地步。因此, 沙丘在这些地方就会停止, 而植被则占据了地表。如果沙丘的形成过程沿着一段海岸线多次重复, 沉积物就会相互重叠并合并形成一个复杂的沙丘脊, 即通常所说的栅栏沙丘。栅栏沙丘通常表示沙丘地(位于沙滩内陆部分沙丘物质的总量)向内陆推进的最高程度。栅栏沙丘的下风面(内陆侧)通常较陡, 位于这些地方的风蚀沉积物通常被植被固定住, 同时, 迎风面坡度相对平缓, 沙子从排风口向上坡运动。

沙丘管理的难题 滨海沙丘会给土地利用和管理带来麻烦。这些地方通常都有非常好的开放视野, 再加上良好的地被和林地以及到达海岸的便利性, 因此对于居住、度假和游憩开发有相当大的吸引力。但是, 它们同时也是非常脆弱的生态环境, 其植被、沙土沉积物和斜坡的平衡是很细微的, 有时哪怕是某一方面轻微的改变, 也会导致一系列连锁反应, 如重新风蚀、排风口形成和沙丘再生等。

沙丘作为沉积系统 通常, 我们并没有清晰地认识到, 滨海沙丘本身就是由源区、运输区和沉积物沉潭所组成的小型沉积系统。如果要维持沙丘系统, 必须保证不断有沙子的补充, 也就是说需要维持沙源地, 并且要有从源地到沉潭(沉积区)的气流。当在沙丘地区进行开发建设时, 为了造景和控制土壤侵蚀的需要, 通常会在原来裸露的地表种上各种地被植物, 沙源地可能也会因此而减少。除此之外, 沉积系统内的运输区, 也可能会随着滨后区和低丘区的道路等设施的建设而被破坏。复杂的栅栏沙丘作为最易被人们用作布置房屋和度假区的地区, 各种建设活动不可避免地会改变原来被植被控制的处于亚稳定态的斜坡(见第3章3.4节中关于亚稳定斜坡的讨论)。

管理沙丘系统 说到沙丘补充物的减少, 与之相关的主要问题是沙丘形成与移动过程的减弱, 以及沙丘地上植被覆盖的减少。成功的侵蚀控制项目如稳定沙源区(比如滨后斜坡地), 可能会过多地限制沙的供给, 以至于地貌演变过程与植被间的相互作用——这种相互作用产生了沙丘地的主要特征——会变得过于片面, 而且沙丘地也会变得生长茂盛和不够活跃。在这种情况下, 沙丘地会被转化为沙岗, 或者是我们常说的化石沙丘。将风蚀、沙的运动和可变化的景观作为沙丘环境中最佳成分的管理项目(就如同我们将波浪运动和沙滩动力学作为具有吸引力的海岸线的基本特征一样)可能适用于很多海岸地区。

15.6 海岸区规划与管理的应用

海岸调查 尽管暴雨、侵蚀和洪水给人们带来了巨大的灾难, 可是, 目前在世界范围内海岸地区的人口与开发却仍然处于上升趋势。在美国, 现有超过50%人口生活在滨海的县里, 而且, 这些地方城市开发的压力比其他非海滨的地区要高出40%~50%。针对这种形势, 目前在美国和加拿大的滨海区内开发建设的提案都会受到严格的审查。为了评估一个提案, 首先有必要弄清相关海岸线的组成与运动情况。这个过程通常包括对海岸地区地形与岩性的详细调查, 以及对当前海岸侵蚀和沉积趋势的评估。此时, 在地图上标明沿海地貌演变趋势中的地形指示物的位置, 就显得十分重要。对这些地形指示物的标示, 主要是在地图上分别标示出由坚硬物质和柔软物组成的海岸分布情况。在这个框架下, 可以在开发活动集中的地段进行更加细致的研究。这类研究的核心部分, 特别当考虑

海岸线结构的时候，主要是分析沉积物收支情况。

在沿岸系统的净沉积物运输分析中，主要用到两种方法：岸线改变和波浪能的变化。最精确的方法是基于对岸线体积变化的测量。通常包括将历史的和现在的图表和航片进行对比，或者是对位于岸边障碍物（如防浪堤）后的沉积物累积量进行详细的测量。其中后一种方法是在建设时和若干年后分别对地形进行测量，然后计算这段时期的沉积物净变化量。在由导沙装置如挖泥船维持的海港处，每年由一处障碍物移往另一处的沉积物的数量，可以用此方法来计算（图 15.10）。第二种方法建立在对波浪能量的计算以及波浪能流量与沉积物运输率之间的联系的基础上。这种方法需要研究地点的波浪资料，但由于这种类型的资料通常是很少的，因此，很难对波浪能量进行计算。

在完成了海岸的资源调查，同时对沉积物的收支情况进行了估算之后，有两个重要的问题就可以得到回答：（1）就被移动的沉积物的数量，以及移动的方向而言，我们正在研究的系统的特征是什么？（2）海岸的特征、过程与演化趋势之间存在着一种什么样的关系？比如说向前推进的海岸线的发展，以及沙丘地的补充。这些问题的答案可以用来检验开发计划的可行性，评价社区规划，或指导海岸区管理规划的制定。在这些问题当中，私有的开发普遍面临的问题就是如何处理像沙丘、湿地和易受侵蚀的沙滩这一类“软性”环境。然而，从另一方面来看，滨海社区经常会处于进退两难的境地。这主要是因为要求保

沉积物运输分析

土地利用规划的启示

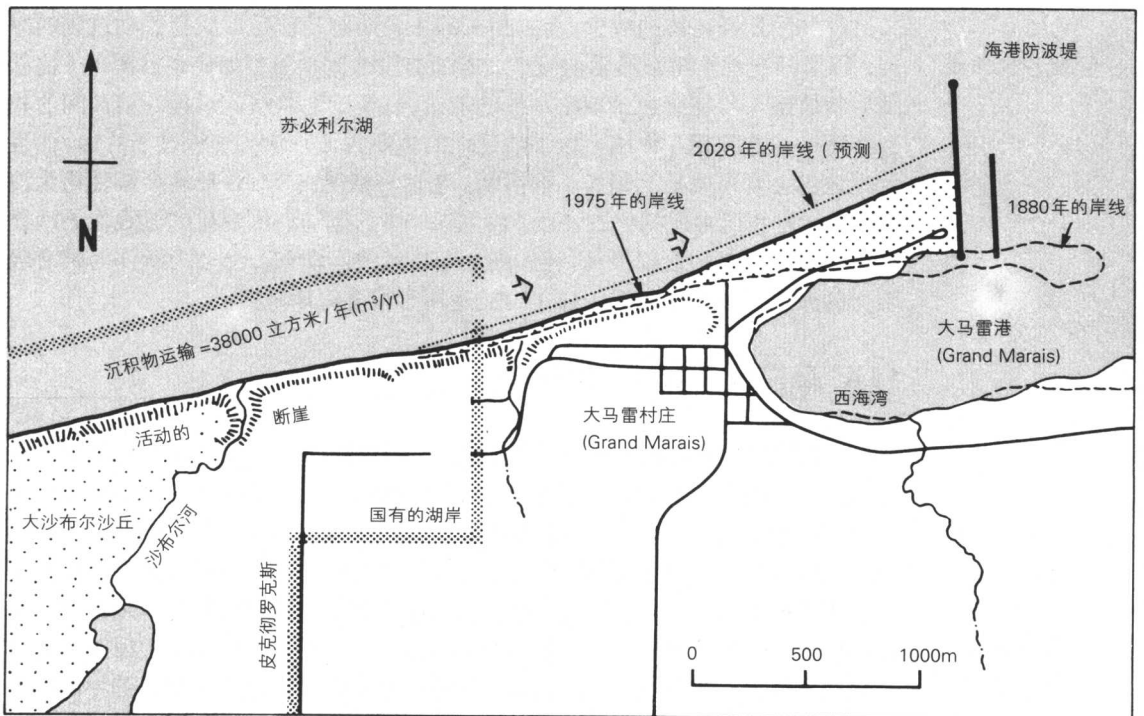


图 15.10 海岸线从 1880 年至 1975 年的变化趋势，以及对 2028 年情况的预计。记录表明，由于海港防波堤的建设（建于 20 世纪 60 年代），东部的沉积物减少，而西部增多。净沉积物运输方向为西向

护海岸资源的同时, 他们又不得不考虑到满足当地经济开发计划, 包括海港、码头和相关一些设施更新的需要。

场地规划

由于海岸区对于住宅的开发是具有非常大的吸引力的, 因此有必要对近海岸线地区的场地规划问题进行简要的介绍。正如前文中所建议的那样, 在评价一块开发用地时, 首先对场地在更大的沉积系统中所处的位置进行调查是非常重要的。同时, 还必须弄清楚场地是处于海岸线的前进段、后退段、稳定段中的哪一部分。其次, 有必要对场地的组成及其地形结构进行调查。低海拔且软质的岸线, 如沿着海湾和大西洋分布的堰洲岛, 它们通常由于受到飓风浪的作用而周期性地被剪切和淹没, 因此将其用作开发用地是相当危险的。从另一方面来看, 受到基岩保护的场地通常是不会被快速侵蚀的, 虽然基岩可能会对房屋建设、废水处理以及雨水排泄等过程产生严重的影响。

海岸线波动

在对开发项目的长期稳定性有要求的地方, 由非坚固物质(软性物质)构成的岸线应该受到谨慎对待, 这是因为经过不同的时间间隔后, 它们中大多数都容易发生海向或陆向的波动。轻微的波动会在沉积物质量平衡的冬/夏变化时季节性产生。经过更长的周期, 波动的幅度会随着平均逆程周期的增加而增长, 也就是说, 大变化比小变化的发生频率要低。研究表明, 多数海岸线的波动与每20年至60年或更长时间内一次的气候波动有关。气候波动的主要特点是, 一段时间里暴风雨增强同时海岸后退, 然而另一段时间却是平静的气候和海滩的增长。

变化的指示

然而, 即使可以利用与气候相关的波动记录, 但由于在一个连续的海岸线上, 不同部分的海岸波动幅度是不一样的, 同时, 许多地方记录中, 缺少足够的细节以计算当地的变化趋势, 因此通常很难决定建筑物需要后退的适当距离。但是, 在有些情况下, 植被和斜坡条件可以为我们进行趋势和波动的估计提供参考。暴露的根系、倾斜的树木以及底部受到侵蚀的堤岸, 都是海岸发生侵蚀和后退的标志; 同时, 滨后地区稳定的滨后斜坡和大量幼年植物的出现则是海岸向前推进的记号(图15.11a)。

地植物提供的
线索

如果能够辨别岸上不同年龄阶段的树木的分界, 我们就可以知道海水或湖水曾经向内陆推近的距离。比如, 在图15.11b中, 在距离岸边100米(330英尺)处的陆地处, 开始出现75-100年树龄的树木, 这说明这个界线之后的地区已经至少有75-100年的时间没有受到过波浪的冲击了。同时, 这个界线朝海一侧的树龄则告诉我们, 在过去75-100年时间里, 这些地区已经受到过一次海浪的侵蚀, 而且, 因此形状也发生了改变。离海最近处的植被, 揭示了此处破坏和重建的频率很明显是少于或等于25年。这个方法最适用于不同年龄阶层的树木分界明显的地区, 因为, 相邻年龄段树木的过渡现象, 说明年龄大的树木已经受到波浪的侵蚀而破坏, 同时, 幼龄的树木紧接着在新生成的沉积物上生长起来。

不适宜场地的
处理

尽管易受侵蚀、低海拔的海岸地形对于建筑和居住是极具吸引力的, 但是这些地方一般是不适宜用作开发用途的。在很多地方, 特别是直接面向海面的一些地区, 自然一次又一次地向我们显示了它的不适宜性。事实证明, 这些地方最好被用作开放空间、特殊的休闲用地、自然保护区以及公园。在已经决定进行开发的地区, 规划师的任务是设计出布局的方案。而且, 在这些方案中, 不仅建筑结构本身不易受到破坏, 而且应该能最少限度地与海岸的自然过程以及季节变化发生冲突。因此, 必须使建筑物与岸边保持足够远的距离, 这不仅

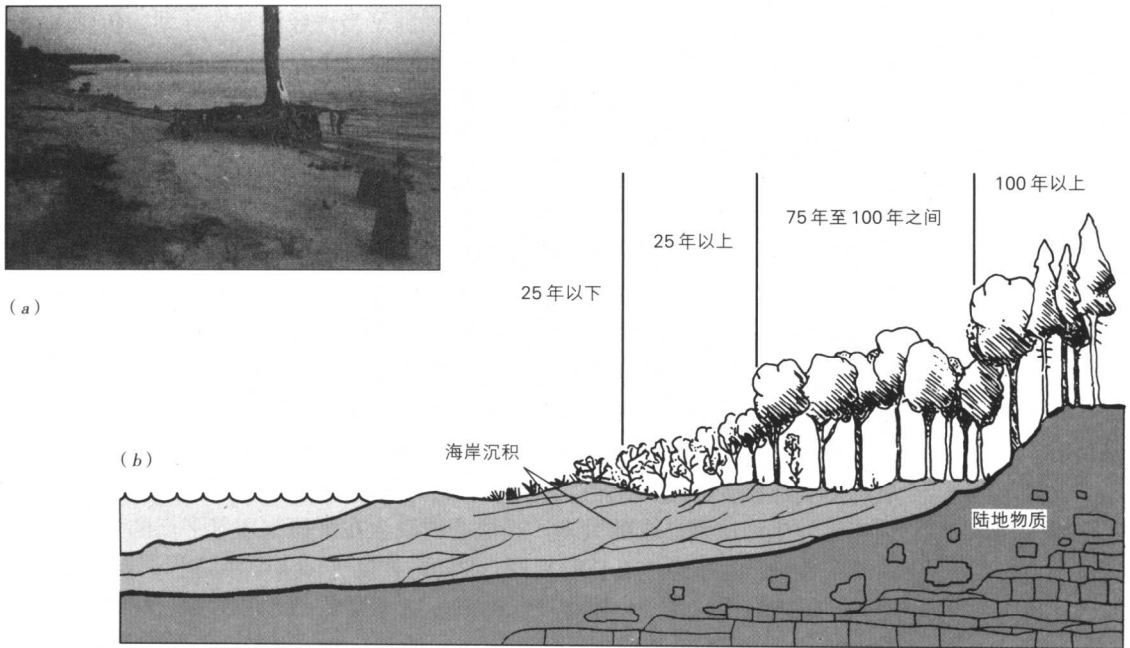


图 15.11 (a) 死树和暴露的树根是海岸后退的例证；(b) 有时可以通过海边树木的年龄结构提示过去海岸带向内陆波动的程度

是因为波浪侵蚀的威胁，而且还考虑到大风浪和洪水的影响。沿着大西洋和海湾的堰洲岛分布的滨海开发区，由于受到飓风侵蚀和洪水的影响，经常遭到破坏，造成这种破坏的主要原因是与岸边的距离太近（图 15.12）。不幸的是，由于部分受到国家洪水保险计划（National Flood Insurance Program）的支持，在许多飓风[比如雨果（Hugo, 1989年）、安德鲁（Andrew, 1992年）和弗兰（Fran, 1996年）这几次飓风]过后的重建过程中，人们并未吸取教训。正因为规划官员没有能力引导土地の利用过程朝着更安全和更经济的方向发展，所以他们逐渐将目标转向一些**风险管理**计划。这些计划包括早期预警系统、人员疏散计划以及减灾规划。

对于位于海崖或滨后斜坡顶部的开发场地来说，海浪侵蚀可能性不是很大，然而，风的影响和斜坡的不稳定性可能带来极大的威胁。流经海岸斜坡上的气流模式是：在较低的斜坡上产生低速的气流带，而在斜坡的高处速度加快，这种加快的速度是与高出水面一定高度处的风速相关的。对于很长且连续的海岸斜坡来说，当斜面的倾斜度为4:1时，风从坡底吹到坡顶时的速度会增加4倍或更多。另外，当气流经过坡眉时，它会紧贴地面（或树冠）向内陆移动一定距离，然后这股快速气流会离开地面（图 15.8）。

风的作用力大小大致与速度的立方成正比的，这个事实比原始的**有关风**的数据更能令我们相信这些地区都是非常不宜进行规划的。位于坡眉处的场地在暴风雨期间很容易受到严重的风压作用，而且，在寒冷的天气里，会造成很高的散热率和更大的地下霜冻深度。由于受到坡眉处贴近地面的风的作用，沙和雪会在气流与地面分离的地方累积起来，并经常形成沙丘和雪堤。如果坡眉上种有树林，那么沙和雪通常会沿着坡眉聚积（图 15.8）。显然，每个地区都对

抬高的场地与
风压

良好视野的风险



图 15.12 1996 年 9 月的弗兰 (Fran) 飓风严重地袭击了北卡罗来纳州的滨海地区并给海滩环境和居民财产造成了巨大损失。图中的前缘部分为海岸地带。而房屋后道路的地方才是较为安全的

开发有一定程度的限制, 而且, 在离坡顶越近也就是滨海的景色最好的地方, 通常这种限制会更大。因此, 我们有充分的理由相信, 在坡眉或靠近坡眉的地方进行建筑开发是极不明智的行为。另外有必要说明的是, 只有当对场地进行了合适的分析, 并且提出了恰当的工程和建筑方案后, 才能进行场地的开发。因此, 首先有必要进行坡面分析, 以弄清楚斜坡抵抗物质运动和侵蚀的能力, 同时, 必须对暴雨和废水处理进行相关的土壤评估, 同时还应作出风速剖面, 以了解场地的空气动力学情况。在所有需要考虑的因素当中, 首先应该做到使暴露在强风中的构筑物 and 景观设施的设计, 能最大限度地遵循场地内气流的作用规律。

15.7 场地管理中的考虑

除了上文已经提过的有关规划与开发的一些指导原则外, 在管理滨海的场地时, 还有大量需要考虑的因素。这些因素中的大多数与滨后地区有关, 同时, 也基本上是告诉我们如何维护堤岸和绝壁的稳定性的。这些滨后区实际上是位于海滨物质和陆地物质之间的缓冲区(见图 15.1)。场地管理的主要目标就是维护滨后斜坡, 使其不受土地利用以及不同过程的侵蚀作用的干扰。

岸上的堤岸和绝壁容易受到侵蚀和破坏并不仅仅是因为暴露在风浪和强风中。这些力的作用虽然值得考虑, 但是陆地的径流等自然过程, 以及堤岸上种植植被等加固措施, 也是非常重要的影响因素。当径流从陡坡上流过时, 侵蚀力会大大增强, 因此暴雨常常是相当难对付的问题。从不透水表面(如海岸线公路和居住设施)流过的雨水会在堤岸上切出深沟, 削弱堤岸, 并且令其更易受波浪侵蚀。另一个有关排水的问题是由于一些因素造成的土壤水分饱和, 这些因素包括排水场地渗透、草坪灌溉和给排水管线发生渗漏等等。随后, 这些水会汇聚在斜坡底部, 并因此降低了堤岸抵抗破坏(包括坍塌和滑坡)以及

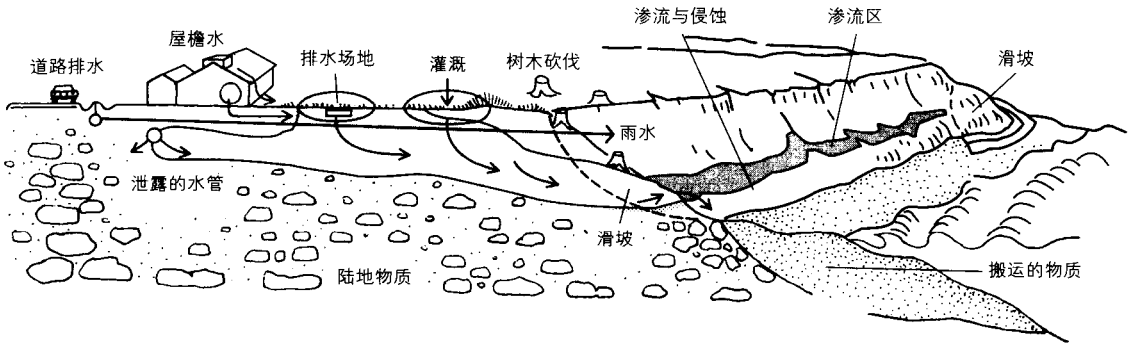


图 15.13 显示了由于排水系统和植被等土地利用方式的改变而带来的堤岸稳定性问题

海浪侵蚀的能力(图 15.13)。在南加利福尼亚的帕洛斯·韦尔德山(Palos Verdes Hills)发生的海岸滑坡事件中,每天从周围 150 处住宅排放出来的生活污水估计达 32000 加仑。如果能排除草坪灌溉、排水场地渗漏给堤岸带来的负面影响,同时辅以谨慎的雨水管理工作,我们就可以大大降低坍塌现象,以及随之而来的对房屋和基础设施的破坏程度。

植被是维持堤岸稳定性的重要因素,因此必须慎重对待。不仅根系能阻止侵蚀和滑坡,而且植物还能从土壤中吸取大量的水分,从而减少土壤水分饱和以及渗流。与居住用地开发有关的常见问题有:(1)为了改善视野而移走树木;(2)引种固堤效果很差的外来物种;(3)为了维持移种的外来植物,使用了过量的灌溉。另一种对稳定性起破坏作用的因素,是在岸上或者靠近堤岸的地方设置人行步道、台阶、观景台和沙滩房屋等构筑物。人行步道不仅破坏植被,而且人行交通也会削弱土壤,造成大量物质滑坡。它同时会使坡面暴露在径流和风的作用下,从而更易受侵蚀。斜坡上的构筑物同时也会改变和破坏植被,并且它们的基础通常是径流侵蚀和波浪冲刷的集中点。

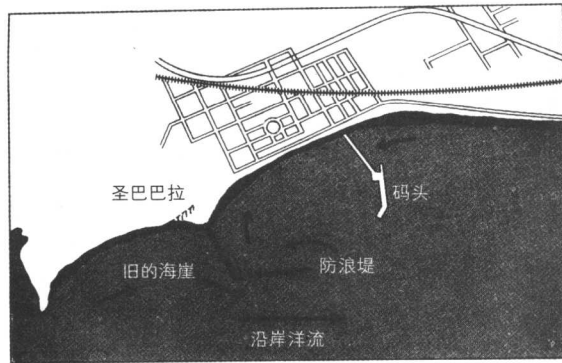
植被和人行步道

最后,我们有必要提到海堤、防浪堤(breakwaters)和交叉拱等结构性控制措施所带来的严峻问题。在美国和加拿大,为了改善航运,减少海岸侵蚀和保护海岸的房地产开发,人们花费了大量资金用于这些工程性构筑物的建设。然而,从长远角度来看,大多数的侵蚀控制措施并不是有效的,而且还经常会给滨海的环境带来更严重的破坏,特别是对岸上及岸边的生物栖息地,以及游憩和美学资源带来破坏。比如海堤,它本来是主要用作保护个人财产而设立的,可是却经常会增加海浪的冲刷,从而导致近岸处的水面变得更深。由于长期受到海浪等作用力的作用,海堤最终会破坏。但在破坏前,由于海浪汇聚在突出的海堤上,然后向左右折射开,因此会使邻近的未受到保护的财产造成更大的侵蚀。

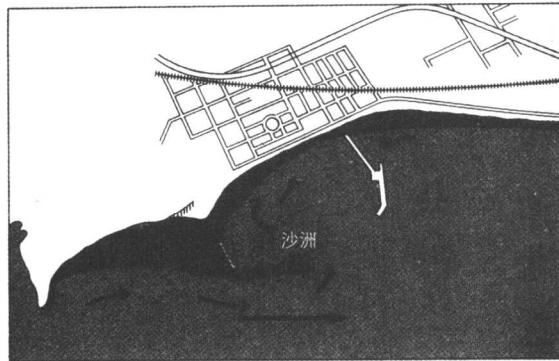
海堤

交叉拱、防波堤和防浪堤通过阻断沿岸洋流拦截沉积物,建成更宽的沙滩或者保护海港的出口。(图 15.10)。这些构筑物的功能就像是河流上的堤坝一样,它们通常会使岸边的地区得不到沉积物的补充,从而导致沙滩侵蚀和岸线的后退。这个问题在海港的入口周围是非常严重的,以至于沙子必须通过机械装置从入口的一边运到另一边。我们把这个过程叫作沙的旁通(图 15.14)。为了解决沙滩维护问题,规划师的方法是从更大的尺度上来考虑这个问题。也就是说,将更大尺度的沉积物系统,包括它的源、沉潭和运输区纳入海岸线管理

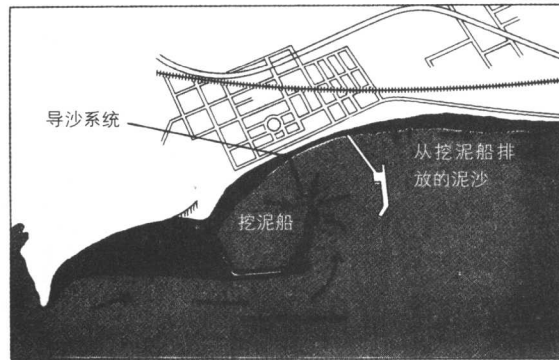
交叉拱、防波堤和导沙过程



(a) 1928年的建设情况



(b) 1948年



(c) 1965年

图 15.14 加利福尼亚的圣巴巴拉(Santa Barbara)地区, 由海港设施引起的泥沙沉积, 以及运输泥沙和清理海港口的导沙系统

计划中去。但是, 在必需保护航行设施的地方, 不可避免地会将沙的旁通费用加入到海岸区的管理成本中去。

海滩的培育

近年来, 人们越来越多地用人工培育海岸带系统的方法来帮助维护海滩环境。这种方法依靠从别处运来大量的沙子来培育海滩。迈阿密海滩就是一个十分成功的例子。人们从其他地方运来 2500 万吨的沙子, 使这片海滩维持了 20 年之久。现在, 海滩培育已成为许多地区都十分喜欢使用的方法。但是不能说这种方法不会带来任何问题, 比如大量的资金投入以及对原有环境的干扰就是最常见的问题。接下来的一个案例将会介绍另一种用于海岸恢复和稳定的方法, 在普盖特桑德 (Puget Sound) 地区的效果不错。

传统工程性海岸保护措施的绿色替代方案：根墙概念

埃利奥特·梅纳什 (Elliott Menashe)

15.8 案例研究

海滨的住宅通常有着极好的视线和令人垂涎的地产价值,但却可能是不稳定和很危险的居住地方。在土地使用的压力和海岸线健康稳定之间寻求平衡是一个迫在眉睫的挑战。在一般的开发中,像住宅建设往后退得不够、清场和造坡、清除植被和暴雨径流这些活动会一并累积作用导致海岸受到侵蚀,边坡扰动和环境退化的可能性增加,从而危害社区、规划者和土地所有者的自身利益。然而具有讽刺意义的是,影响最为深刻和对海岸自我修复破坏最为严重的却是人们用以保护海岸线的工程构造物,例如人们所熟知的各类防波堤、挡土墙、堤岸,被广泛地应用于防止侵蚀和保护海岸。但是海岸线是动态的系统,很显然要建造永久性的构件而试图将一种静态的平衡强加于这些动态的地形之上是注定要失败的,而且还会破坏海岸生态系统。

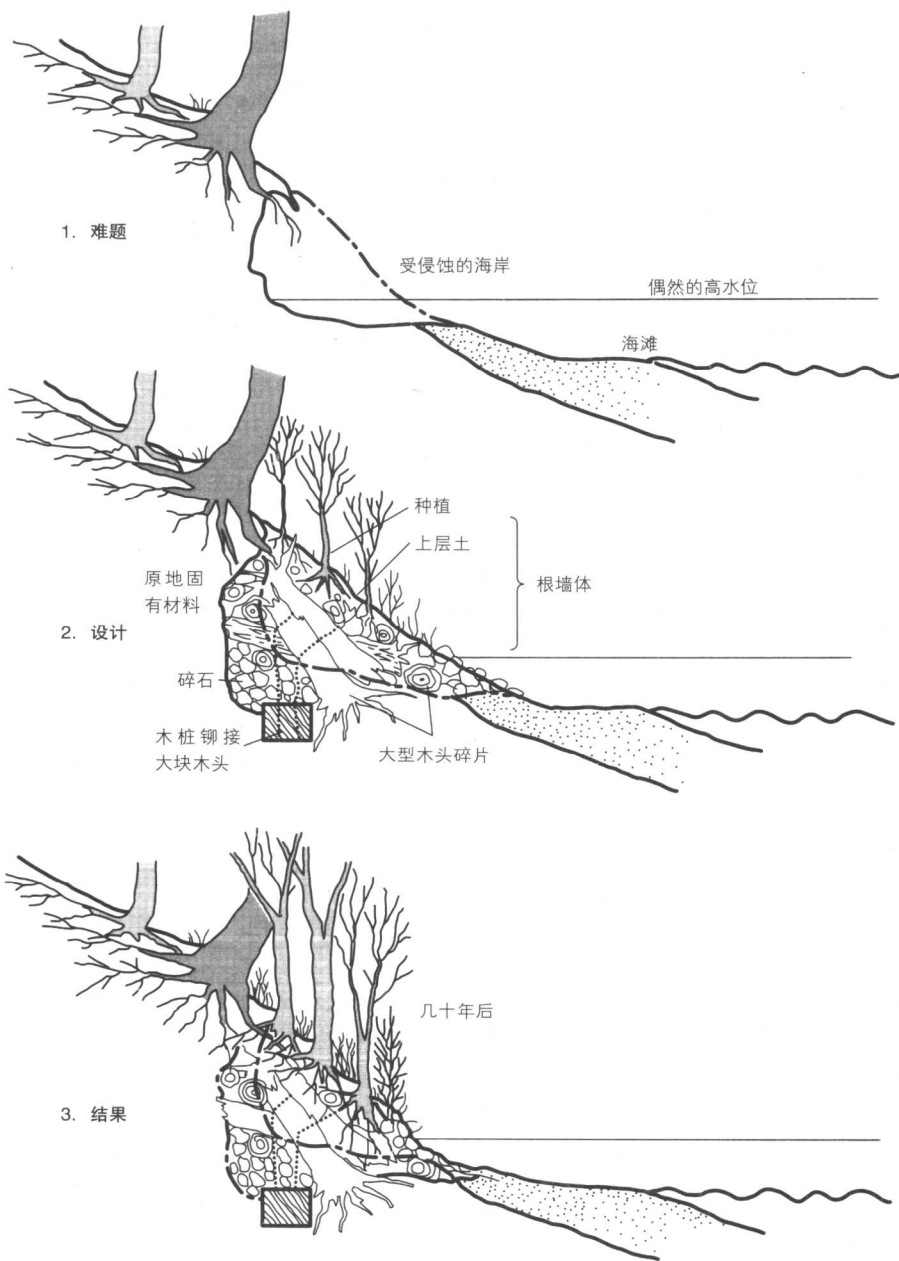
这些“硬性构件”对环境的影响也逐渐为人们所了解。研究表明,这些海岸装备在成功地降低了海滩的坡度和阻止了沉积物沿海岸的移动后,导致了更为严重的滑坡。其所造成的对生物的影响可能包括陆地有机质的减少,海岸线上植被的消失,结果导致潮间生物多样性和丰富度降低。同样重要的影响还有海滩游憩价值和美学吸引力的降低。

而今人们已经开发应用了多种“软海滩”替代物。根墙就是其中一种很有应用前景的替代物,它是被西北太平洋区的普吉特海湾地区的人们发明并应用的。



在清理掉大型木头碎片和树木之后的海滩上建造起来的失败的防波堤,注意右侧海岸更为严重的侵蚀

这种想法是建立在人们对大树的作用的观察基础上的。人们发现在有密



林的海岸地区, 不管是死的还是活的大树都可使海岸线保持稳定。树木及其根系 [称作大片木质废墟 (LWD)] 不仅可加固后海岸的斜坡, 而且当海岸和海滩围绕其进退或变化时, 它们能够适应条件的变化。并且, 当一棵树倒在海滩上后, 它们的根系和枝干称为海岸的自然盔甲, 可以缓冲海浪的能量, 为像沙丘草和沙樱这样的新生植物提供栖息地。一个完整的根墙单元要把适当的乡土植物与结构设计相结合, 它能够促使过去因人类采伐成年树林或土地开发等活动而受到破坏的植物群落重新形成, 根墙的作用不是阻止所有侵蚀发生或者海岸变化, 更确切地说, 人们设计出它是为了减少因人类活动直

接或间接引起的侵蚀过程的严重程度或范围大小。另外,根墙能够促使海岸线生态特征的重新形成。

沿着森林覆盖的海岸线,大型木质材料是近海环境中重要的结构和生物成分,大片木头碎片特别是大树的积累能支撑很大范围的生物功能,其中包括保持陆生与水生区域的重要连接。LWD位于海岸后方的堤岸之上,它提供了微生物栖息地和稳定海岸形态的框架;减少了海滩上沉积物悬浮和被海浪冲走随之漂浮的可能性,保持了海岸系统需要的沉积物富集量的稳定。同时,没有根系的小型木片或砍掉后的木头因漂浮力和松动,难以抵御潮水运动和暴雨冲刷,这种材料不能像LWD一样在同一地方待上足够长的时间以提供稳定作用,并且当暴雨来临之时,变成水面上的漂浮物,对海岸产生损害性的撞击。

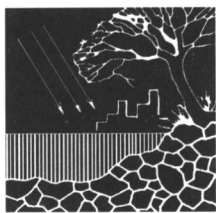
很显然,人们是受在海边发现的有益的自然集合体的暗示,从而精心创造出模仿自然的LWD结构的。额外的益处包括近海岸与远景美学效果的改善,木头碎片的低消耗(许多木片可以从沿海内陆的场地清理中获得),还有使海滨野生生物栖息地和渔场向极具特色的方向发展。从濒海场地清理作业(焚烧柴堆)到LWD的转换,还取得了一项附加好处,就是森林与海洋环境之间的联系重新建立起来了,而这已被人类打断了近100年。在内陆河道上漂浮的木头对航行而言是一种持久的威胁,人们可以变废为宝,使之成为根墙结构中LWD的另一材料来源。因为现在可供利用的LWD比人们在1850年代以前常常可在海边看到的要少得多,所以根墙结构单元必须铆接在海滩基层中。

根墙形式现在已被提议作为普吉特海湾地区海岸上传统堤岸的代替品,它们最适合用于防御受到中低能量海浪零星冲击的海滩上或区域中。毫无疑问,人们要花很多年的实地试验才能做出成功的根墙设计;然而,人们也曾在河流系统中使用木材堵塞工程技术来控制侵蚀和恢复栖息地,基于此,我们被这一想法所鼓舞。需要重点补充的一点是根墙设施不是孤立存在的,它们可以和一些“软海滩”,如海滩营养物质联合起来一起使用。另外,乡土树种在LWD结构中或其后方的种植也是这种生物结构工程系统的关键要素。最后,根墙结构的设计和营建必须明确地点,并且需要几个不同专业的人士的密切合作,其中包括景观设计师、海岸地貌学家、土工技术工程师、海洋工程承包者和海洋植被恢复学者。

作者简介: 埃利奥特·梅纳什(Elliott Menashe),华盛顿克林顿区格林贝尔特咨询机构的老板和首席顾问,擅长于植被管理和沿海环境恢复。

15.9 推荐阅读文献

- Allen, James R. "Beach Erosion as a Function of Variations in the Sediment Budget, Sandy Hook New Jersey, U.S.A." *Earth Surface Processes and Landforms* 6, 1981, pp. 139-150.
- Bascom, W. N. *Waves and Beaches*. Garden City, NY: Doubleday, 1964.
- Coastal Engineering Research Center. *Shore Protection Manual*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1973.
- Davies, J. L. *Geographical Variation in Coastal Development*. London: Longman, 1977.
- Dolan, R. et al. "Erosion of the U.S. Shorelines" in *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*. (Komar, P. D., ed). Boca Raton, FL: CRC Press, 1983.
- Gutman, A. L. et al. *Nantucket Shoreline Survey*. Cambridge, MA: MIT Sea Grant Program, 1979.
- Healy, R. C., and Zinn, J. A. "Environmental and Development Conflicts in the Coastal Zone." *Journal of the American Planning Association* 51:3, 1985, pp. 299-311.
- Inman, D. L., and Brush, B. M. "The Coastal Challenge." *Science* 181, 1973, pp. 20-32.
- Jarrett, J. T. "Sediment Budget Analysis Wrightsville Beach to Kure Beach, North Carolina," Coastal Engineering Research Center Reprint 78-3, U.S. Army Corps of Engineers, 1978, pp. 986-1005.
- Kuhn, G. G., and Shepard, F. P. "Beach Processes and Sea Cliff Erosion in San Diego County, California" in *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, (Komar P. D., ed). Boca Raton, FL: CRC Press, 1983.
- Marsh, W. M. "Nourishment of Perched Sand Dunes and the Issue of Erosion Control in the Great Lakes." *Journal of Environmental Geology and Water Science*, 16:2, 1990, pp. 155-164.
- Marsh, W. M., and Mewett, A. M. *A Framework Plan for Coastal Zone Management, East Central Vancouver Island*. Regional District of Comox-Strathcona, Courtenay, British Columbia, 2002.
- Zenkovich, V. *Processes of Coastal Development*. trans. D. Fry. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967.



第 16 章 太阳高度角、 太阳能加热与环境

- 16.1 简介
- 16.2 太阳高度角及入射辐射
- 16.3 随季节和地形变化的太阳高度角
- 16.4 辐射平衡和太阳能加热
- 16.5 土地利用方式、植被以及土壤的影响
- 16.6 建筑物与生活环境的影响
- 16.7 案例研究 中纬度地区住宅区景观设计中对于阳光的思考和利用
- 16.8 推荐阅读文献

16.1 简介

一个明智的景观规划者在进行规划时,必定会将太阳辐射作为环境分析的一部分,并同水的供应、暴雨、地形坡度及土壤稳定性等环境因子加以同等重要的考虑。事实上,在所有居住区的设计上,作为光线和能量的首要来源,太阳辐射是一个极为重要的考虑因素。具体到房屋以及景观的设计上则更加需要考虑细节的东西,例如冬季该如何利用太阳辐射得到更多的太阳热能,夏季又该如何有效地遮阳,这样既避免了昂贵设施的使用,又创造了一个更加舒适、安逸的生存环境。除了住宅和院落外,在包括小气候、土壤湿润度、植物生态等环境的设计和管理中,太阳辐射都是一个关键的考虑因素。

在进行太阳辐射的分析时,我们首先需要测量太阳高度角,并了解太阳高度角与地形以及季节变化之间的相互关系,这样做能够帮助我们理解景观中太阳能量的分布状况。接着,需要将阳光变化的信息转变成规划决策的信息,这是一项十分困难的工作,只有少数参与者能够出色完成这种转变。为了获得理性的规划,规划师们需要计算辐射平衡以及热量的收支情况,考虑辐射得失、表面反射、地面材料,以及能量流动的方式(地表热、潜热、感热)。本章中,我们从太阳高度角的基本概念出发来讨论景观中的太阳热能以及太阳热能对当地环境(包括小气候和景观生态)的影响。

16.2 太阳高度角及入射辐射

太阳高度角是指阳光入射面与地球表面之间的夹角。在想像太阳高度角时,往往会想到笔直的光线照在诸如飞机场一样的平坦表面上。当该角度接近 90° 时,物体表面吸收的辐射量最大,角度变小时,辐射量也相应变小。

太阳高度角

我们知道,太阳高度角是影响地球表面温度的重要因素。从图 16.1 (a)、(b)中可以看出,不同角度同样光束的可照射面积是有很大区别的。如(a)左上图与左下图中的光束具有同样强度,但由于左上图中光束入射时带有一定的角度,形成较大的入射区域,因此与左下图相比,其单位面积的入射辐射要小得多。我们可以用一个简单的数学公式来进行表达:

入射辐射

$$SI = S_i / A$$

式中

SI = 表面接收到的太阳入射辐射(单位: $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$);

S_i = 光束的能量(单位: cal/min);

A = 接收到光束的表面积, cm^2 或 m^2 。

由于地球本身是一个曲面的球体,大多数的太阳辐射经过大气层后,都呈一定的角度照射到地球的表面。越靠近两极,太阳高度角越小,入射光线越弥散。从图 16.1b 中地球赤道(B区)和靠近北极地区(A区)的入射光的对比可以较为清楚地看出这种趋势,其中的光束A不仅照射了较大的地表面积,并且穿过了较厚的大气层,在穿越大气层到达地球表面过程中,阳光的反射和散射几率增大,地表能够获得的热量就更少了。

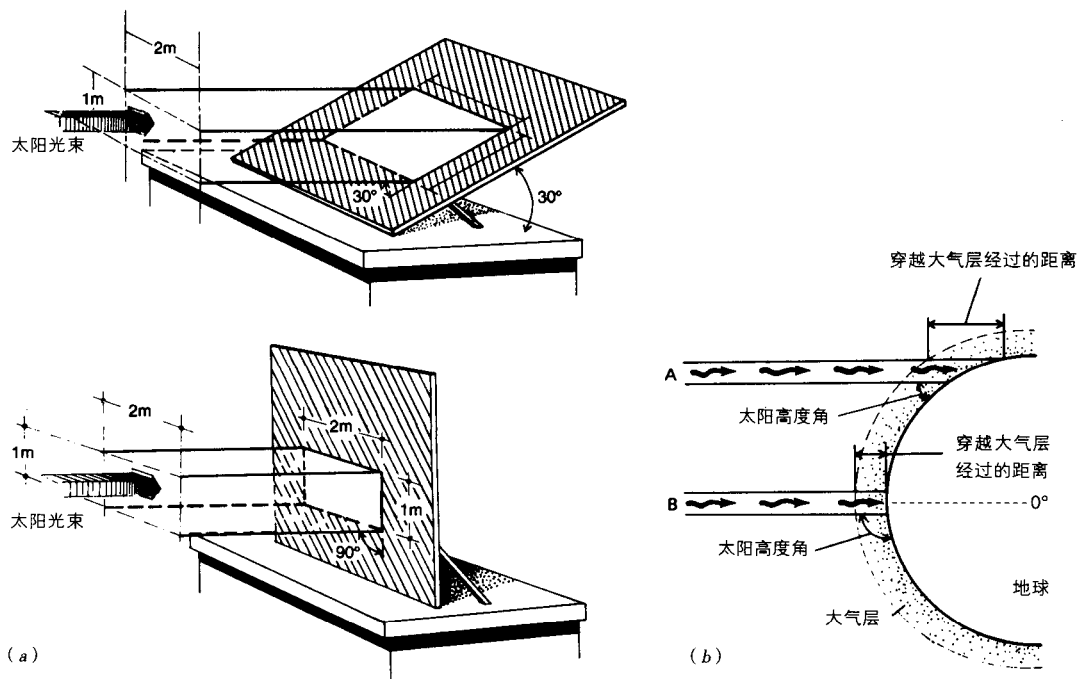


图 16.1 (a) 阳光照射在倾斜表面和垂直表面上的辐射比较; (b) 太阳高度角与地球曲率 (包括太阳入射辐射穿越大气层的相对大气厚度) 的关系图

16.3 随季节和地形变化的太阳高度角

季节变换

为了更加深入地理解太阳高度角的概念,我们必须了解其他一些相关概念,其中之一就是地球相对于太阳的倾斜角变化而引起的季节更替。由于地球旋转轴总是带有一定的倾斜度 (偏离垂直方向 23.5°), 因此, 当地球在围绕太阳旋转时, 会出现一极靠近太阳, 而另一极远离太阳的状况。太阳高度角随时间的不断变化造成地球上所有区域的季节变化。

对于行星上任何地区, 四季的太阳高度角都是十分重要的, 它们与中纬度地区的季节变化有对应关系 (图 16.2)。以北半球为例, 最高和最低的太阳高度角分别出现在每年 6 月的 20 日至 22 日和 12 月的 20 日至 22 日, 称为夏至和冬至。而每年春季 3 月的 20 日至 22 日和秋季 9 月的 20 日至 22 日, 太阳直射在地球赤道上, 太阳高度角处于最中间的位置, 分别称为春分和秋分。

从夏至到冬至, 太阳高度角在中纬度地区 (纬度 $23.5^\circ - 66.5^\circ$ 的地区) 会有 47° 的变化。太阳高度角的读取通常是在正午时分, 伸展手臂指向太阳与地面之间形成的夹角*。图 16.3 显示了北纬 50° 地区一年中太阳高度角变化的基本情况。

太阳高度角的计算

任何纬度地区不同时间中太阳高度角的计算都包括以下三个基本步骤: 第一, 必须知道太阳方位角, 即在给定日期, 地球上接收到阳光直射地区的纬度。我们可以从图 16.4 的表 (a) 中查到相关的信息。第二步, 确定天顶角, 天顶角等于太阳方位角与当地地理纬度之间的差值, 图 16.4 中的刻度尺 (b) 能够

* 这只是一个近似的角度, 因为阳光入射在经过大气层时, 会造成一定的弯曲。

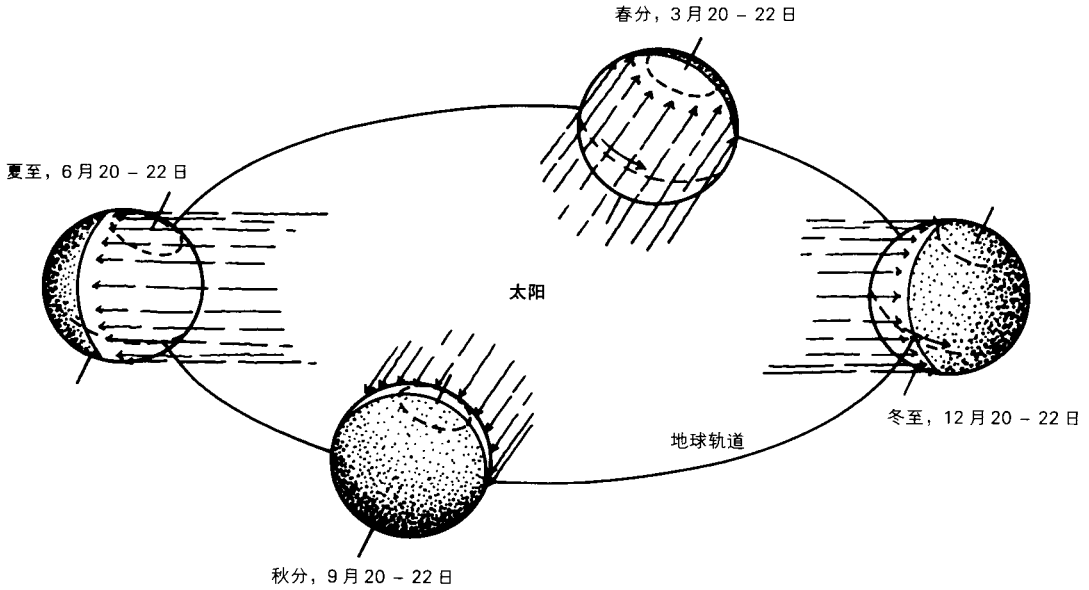


图 16.2 太阳高度角的季节变化以及地球绕太阳的运行轨道在地球围绕太阳的整个过程中，地球始终保持 23.5° 的倾斜

帮助我们快速地计算该值。通常说，天顶角是指太阳与垂直于地面的轴线之间的夹角。如图 16.3 中所示的天顶角是夏至日时太阳与地面垂直线之间的夹角。最后一步是计算天顶角的余角，即用 90° 减去天顶角的度数便可以得到我们所需的太阳高度角。下面是一个计算太阳高度角的具体例子：

- 地区 = 北纬 50° (给定)
- 时间 = 6月15日 (给定)
- 太阳方位角 = 23° (图 16.4a)

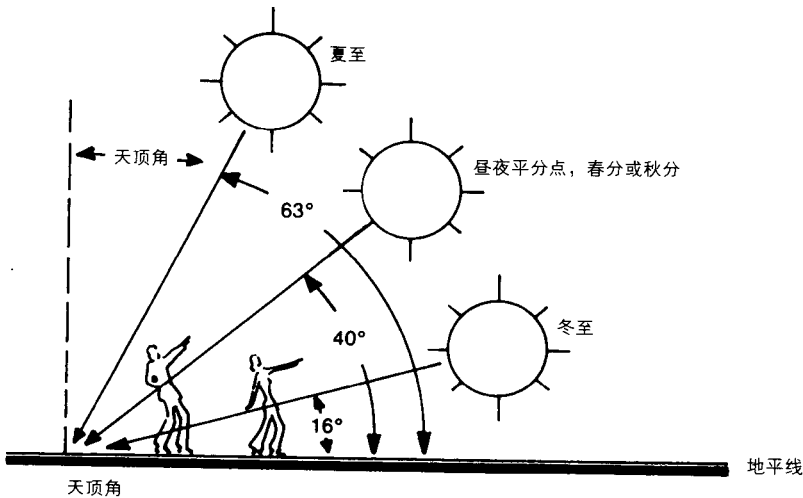


图 16.3 北纬 50° 地区的太阳高度角的年度变化

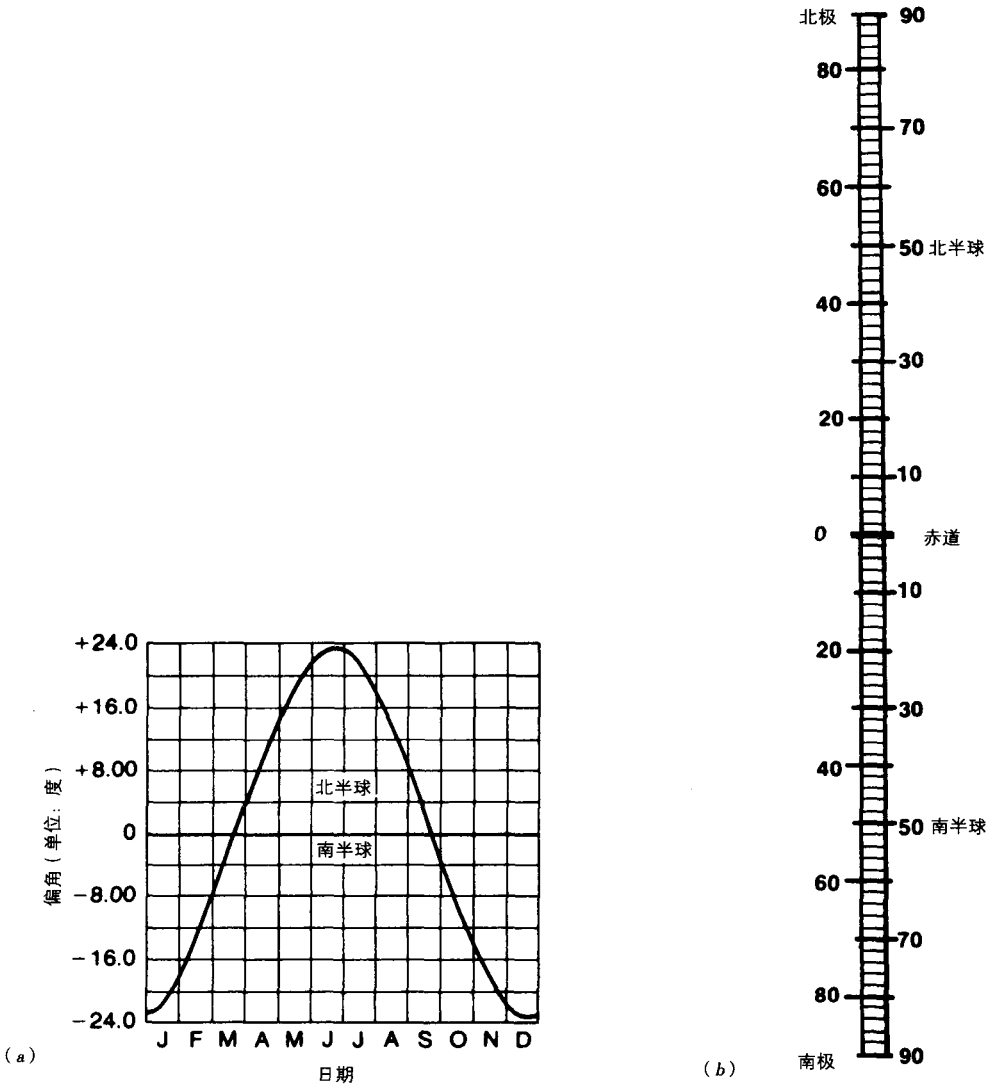


图 16.4 (a) 太阳方位角表。首先读取表下方的日期栏，找到待查询日期；从最近的垂直线向上直到表中与曲线的交点处；继续寻找最靠近该交点的水平线，水平线对应的值即为此时太阳方位角的角度。注意要分清南半球还是北半球。(b) 天顶角表。首先找到待查询的纬度，同时从表 (a) 中得到该日期太阳方位角的角度，两个角度之间的差值即为此时的天顶角

- 天顶角, ZA = 27° (图 16.4b)
- 太阳高度角, SA = 90° 减去 ZA , 即 $90^\circ - 27^\circ$
- SA = 63°

景观对太阳高度角的影响

一旦知道了一个地区的太阳高度角,我们就可以将其代入具体的场地尺度,进一步检验景观对太阳高度角的影响,如丘陵、山谷、建筑等对太阳高度角的影响。例如向阳面的山坡和屋顶往往比背阳面更加明亮、温暖。除此之外,太阳高度角在同一地区一天中的变化也很大,早上,朝向阳光的东面的物体可以获得较多的热量;相反到了傍晚,朝向西面的物体则可以获得更多的热量。

为了方便计算地物对太阳高度角(我们称之为地面太阳高度角)的影响,

我们首先需要确定 (1) 当地纬度水平物体的太阳高度角; (2) 带有坡度的地表方向; (3) 坡体的角度 (即坡体倾斜的角度)。如果坡体面向正午的阳光, 其太阳高度角等于水平物体的太阳高度角加上坡体的角度, 若两者之和超过 90° , 则用 180° 来减去该值得到近似的太阳高度角。对于背向太阳的坡体, 其太阳高度角等于水平物体太阳高度角减去坡体的角度, 若该值为负, 则该坡面为阴暗面。

地面太阳高度角

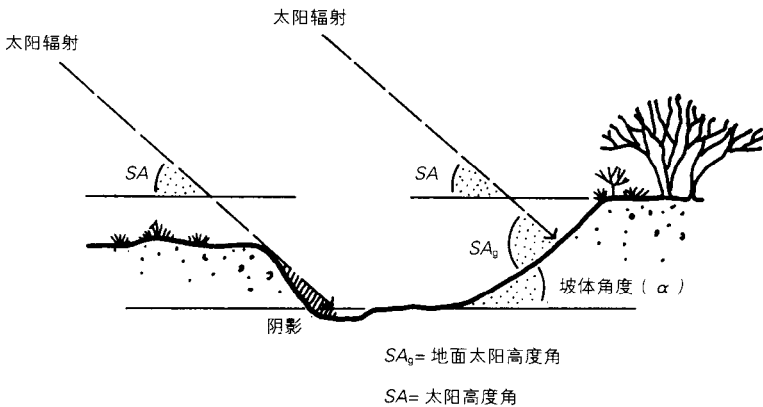
$$\text{地面太阳高度角 (Ground sun angle)} = SA \pm \alpha$$

式中

地面太阳高度角 (SA_g) = 坡体斜面的太阳高度角;

SA = 水平地物的太阳高度角;

α = 坡体斜面的角度。



16.4 辐射平衡和太阳能加热

为准确测定地物表面获得的太阳热量, 我们把地面水平上的太阳辐射分成两个部分: 反射和吸收。地表的反射能力称为**反射率**, 是指地表反射辐射与入射太阳辐射的百分比值:

反射率

$$A = \frac{S_o}{S_i} \times 100$$

式中

A = 反射率;

S_o = 入射短波辐射;

S_i = 反射短波辐射。

所有的地球表面物质都会反射一部分的太阳辐射, 反射率随地物性质的不同有很大区别 (表 16.1)。

我们把地表吸收的太阳热量称为**太阳能增益**, 相当于入射的短波辐射 (S_i) 减去反射辐射 (S_o):

太阳能增益

$$\text{太阳能增益} = S_i - S_o$$

太阳能增益的这一部分能量用于增加地表物体的热量, 提高地表温度。在吸收相同能量条件下, 不同的地物升高的温度会有所不同。例如, 两种不同的地表物质, 如水和土壤, 在吸收相同热量情况下, 物质的温度是不同的。这种现象可用来解释为什么物质会有特定热容量或比热的属性, 如水的热容量要高于沙 (见第 18 章表 18.1)。

太阳辐射产热

表 16.1 地物反射率表

地物	反射率, 百分比
土壤	
沙丘沙, 干燥	35-75
沙丘沙, 潮湿	20-30
黑土 (例如, 表层土)	5-15
灰土, 潮湿	10-20
黏土, 干燥	20-35
沙土, 干燥	25-35
植被	
阔叶林	10-20
针叶林	5-15
绿色草地	10-20
苔原	15-20
丛林	15-20
棕色草原	25-30
冻土	15-30
农作物 (例如, 玉米、小麦)	15-25
人造物	
干燥混凝土	17-27
沥青质原料, 柏油路	5-10
水体	
新雪	75-95
陈雪	40-70
海洋冰	30-40
液态水	30-40
夏季, 纬度 30°	6
冬季, 纬度 30°	9
夏季, 纬度 60°	7
冬季, 纬度 60°	21

资料来源: William D. Sellers, *Physical Climatology* (芝加哥: 芝加哥大学, 1974年)。本引用经过授权。

事实上, 在大多数的情况下, 太阳辐射总是以一定的角度照射在地物上, 为了准确获得地球上太阳热量的信息, 我们需要考虑入射辐射流 (在接收面积上的能量) 和反射率的概念。这里, 共有三个变量决定了地表上的太阳热量, 它们分别是地表太阳高度角 (由地理纬度、日期、地表倾斜度决定)、太阳辐射强度和地表反射率:

$$SH = S_i (1 - A) \sin SA_g$$

式中

SH = 太阳热能, $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$;

S_i = 入射太阳辐射, $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$;

A = 反射率 ($1 - A$ 代表吸收的百分比);

SA_g = 地表太阳高度角 (单位: 度)。

从上面的公式可以看出, 地物的倾斜度和反射率是决定景观表面太阳热能

的两个重要因素。例如在图 16.5 中显示的一小块地表景观（北纬 45°）里，春分秋分日的正午时，不同物体获得的太阳能如下：

太阳能加热的例子

1. 建筑物屋顶

- 坡度 = 45°
- 方向 = 朝南
- 反射率 = 10%
- $SA_g = 90^\circ$
- $S_i = 0.78 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$



$$SH = 0.78(1 - 0.10)\sin 90^\circ$$

$$= 0.78(0.9)1.0$$

$$= 0.70 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$$

2. 混凝土墙体

- 坡度 = 30°
- 方向 = 朝北
- 反射率 = 27%
- $SA_g = 15^\circ$
- $S_i = 0.78 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$



$$SH = 0.78(1 - 0.27)\sin 15^\circ$$

$$= 0.78(0.73)0.26$$

$$= 0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$$

3. 犁田、耕地

- 坡度 = 5°
- 方向 = 朝南
- 反射率 = 22%
- $SA_g = 50^\circ$
- $S_i = 0.78 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$



$$SH = 0.78(1 - 0.22)\sin 50^\circ$$

$$= 0.78(0.78)0.77$$

$$= 0.47 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$$

4. 沙石坡体

- 坡度 = 25°
- 方向 = 朝南
- 反射率 = 40%
- $SA_g = 70^\circ$
- $S_i = 0.78 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$



$$SH = 0.78(1 - 0.40)\sin 70^\circ$$

$$= 0.78(0.60)0.94$$

$$= 0.44 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$$

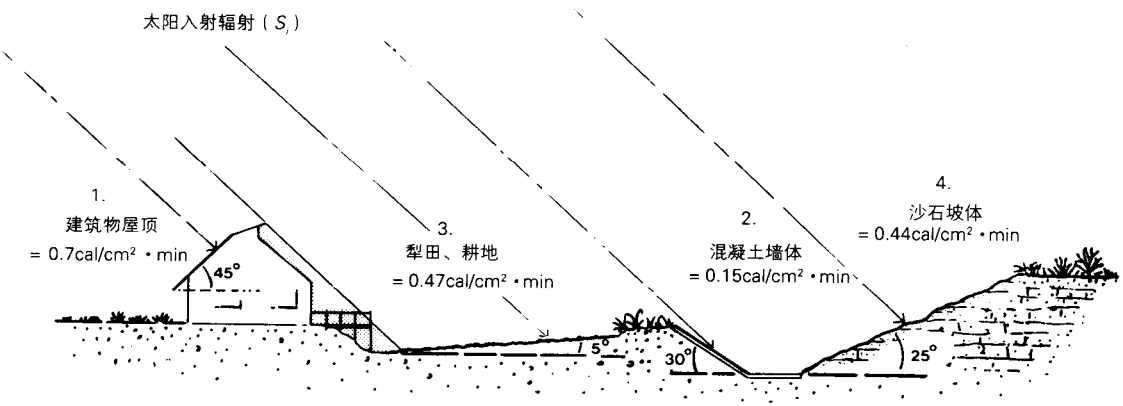


图 16.5 不同坡度及地表材料的太阳能加热情况

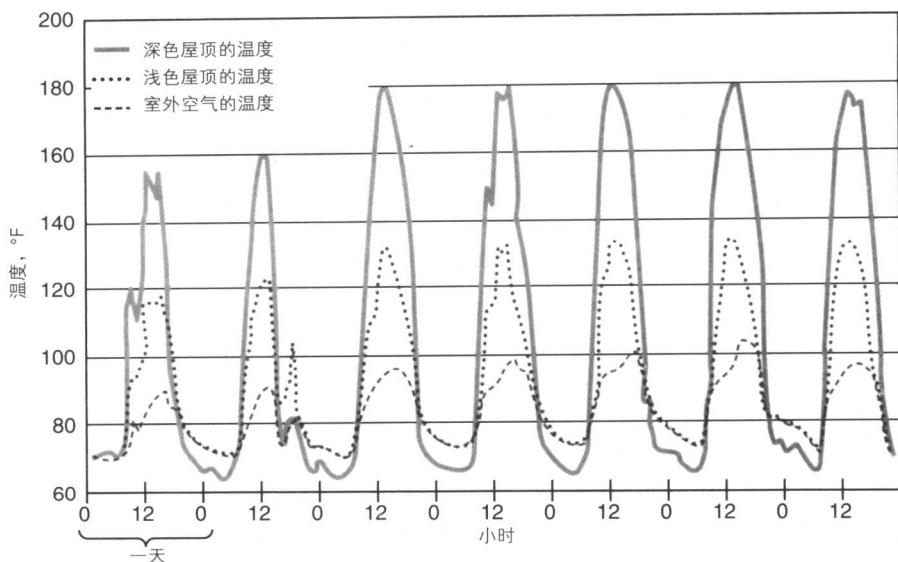


图 16.6 深色屋顶和浅色屋顶在同样环境下的温度差别，最下方的线条代表室外空气的温度

从上面的计算结果可以看出，混凝土墙体获得的能量最少，大约相当于耕地和坡体的三分之一，屋顶的五分之一。因此我们需要意识到，有时或许只是设计时小小的改动就有可能带来景观热量吸收上的明显变化。例如，颜色较浅的材质会显著降低屋顶的温度（图 16.6）。又如在一块耕地或沙石坡地上，植物的阴影也会帮助降低地面的温度。

热量小气候

显而易见，位于同一地区甚至同一地点的不同物体在温度上都会有明显的差异，这种出现在近地面水平上的气候变化称为小气候，它的形成还依赖于其他许多因素，包括（1）物体吸收了的太阳能量又有多少以热量的形式返回到物体表面上的空气里（包括可感热和长波的远红外辐射，用于加热物体表面的空气）；（2）当地风的状况（与物体表面热空气的流速相关）；（3）物体受热表面的面积大小（这一因素决定了一个区域内不同受热物体表面之间热量影响的相对平衡）。在平静的气流条件下，物体表面的空气层就会形成一个与物体所吸收的太阳热量相对应的温度模式。也就是说，物体吸收的太阳热量越多，该物体表面空气的温度也越高，反之，物体表面的空气温度越低。这样的一种空气温

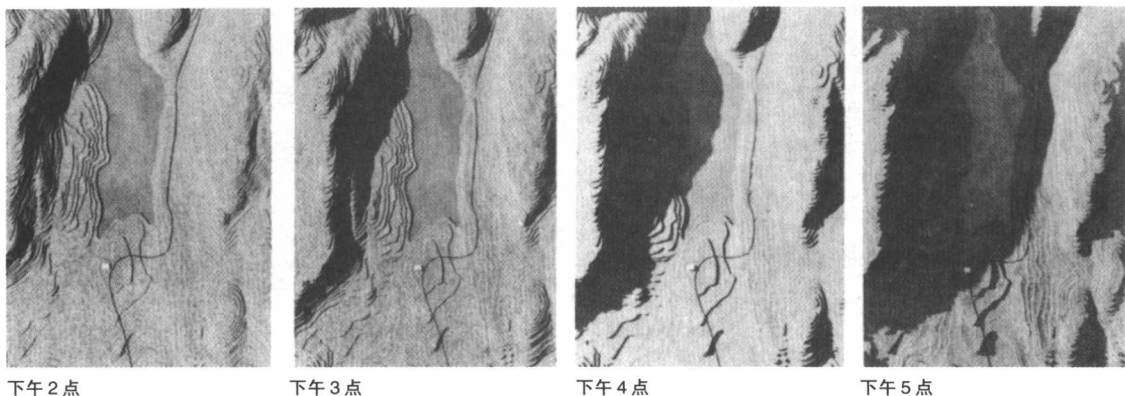


图 16.7 乔丹邦德山谷（Jordan Pond Valley）午后时日照及阴影模式，阿卡迪亚国家公园，缅因州，8月1日，基于仿真模型。傍晚后，阴影中的坡体会在午后及傍晚冷空气的作用下降温

度不均的状况会引起空气的流动,热空气上升或沿着坡面上移,冷空气则会沿坡面下降(图16.7)。在一些日子里,这样的空气流动会从太阳辐射的高峰期一直延续到夜间,给当地的气候系统带来不容忽视的影响。

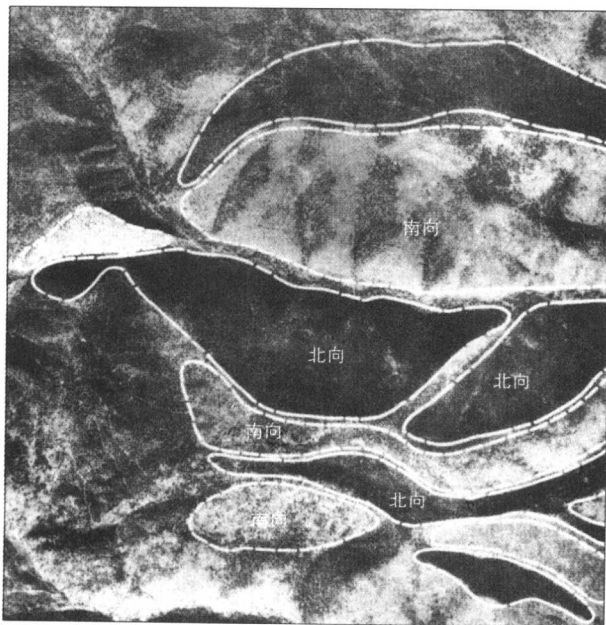
16.5 土地利用方式、植被以及土壤的影响

为了从景观角度上了解不同的土地利用形式对太阳热量吸收的影响,我们比较了改造前后的坡地(包括倾斜度和朝向)以及表面材料在太阳热量吸收方面的差别。在进行改造前,我们首先测量了坡地的倾斜度、朝向、组成,测量它们的面积,计算出其中一些时段中它们所吸收到的太阳热量。然后计算出整个地区在改造前吸收的太阳热量,并将其与改造后的预测结果进行比较。当然,这里还有一些气候方面的因素会影响到太阳热量的吸收,例如气温、风、降雨量以及相对湿度的平均值和极端值等。这样的比较的确能够为我们提供一些关于土地改造前后,即土地利用方式发生改变前后,太阳热量吸收变化的信息。

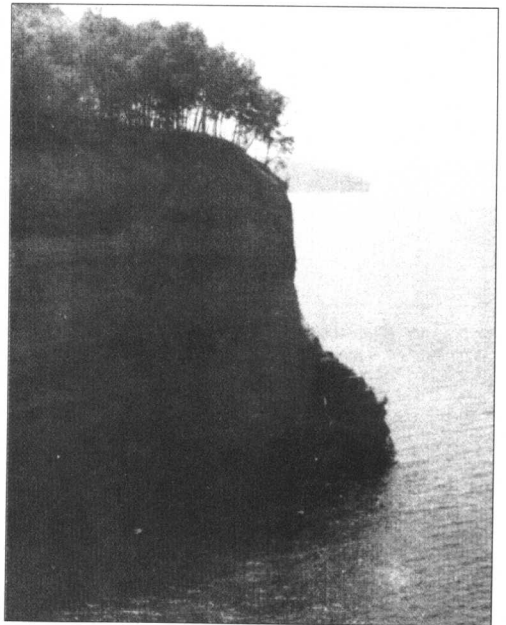
土地利用影响

随地形方向和坡度变化的太阳入射辐射会给当地的植被模式以及土壤性质造成深远的影响。例如美国的科罗拉多州、新墨西哥州和加利福尼亚州以及加拿大的不列颠哥伦比亚省等地的半干旱山地地区,山的南坡能够得到较多的太阳入射辐射,因此南坡的表面热量、土壤蒸发率以及植物的呼吸量都要高于北面的山坡。同时,由太阳入射辐射所带来的土壤湿度的差别又足以造成山体南北坡植被的显著差别。如图16.8 a所示为科罗拉多州南部山区的

植被模式



(a)



(b)

图16.8 (a)南面和北面山坡的植被区别。北面的山坡上覆盖着森林,而南面的山坡上只有草本植物;(b)苏必利尔湖北向悬崖的阴凉处产生一个寒冷的小气候环境,能够生长北极和亚北极的植物

一个例子，可以看出，湿度使树只生长在北坡。

坡度侵蚀状况及
其形状

在那些只有草本植物和灌木生长的更干旱地区，南坡的植被要比北坡稀疏，有更多的土地出于裸露状态，侵蚀作用表现得更加强烈，形成较多的沟谷和较为平缓的坡面。另外，那些特别耐干旱的植物在南坡往往占较大的比例。

植物种类

尽管不像干旱地区表现得那么明显，但是在湿润地区也同样存在着植被分布随坡地变化的差异。在中纬度地区，光和热的共同作用有可能保证某一植物种类在特殊坡地上的生存。例如苏必利尔湖南岸朝北的悬崖上生长着浓密的蕨类植物和苔藓（图 16.8 b），它们在相距北极区和亚北极区（其主要生长地区）数百英里外的地区生长。显而易见，悬崖上少量的日照以及特别的低温条件促进了这类距今已有 10000 年、最末次大陆冰川末期出现的特殊植物的生长。

16.6 建筑物与生活环境影响

太阳窗和廊道

我们知道，城市中建筑物和树木的方位以及形态能够显著影响太阳辐射的吸收量。随着人们对太阳能和建筑物内部制冷等问题的日益关注，上面的论题在城市设计和规划中也显得更为重要。“阴影廊道”和“太阳窗”是城市中最为常见的有关阳光的现象（图 16.9）。太阳窗指的是高大建筑物之间的狭长地带，太阳光能够从中通过并照射到地面。根据建筑物的朝向和大小不同，从太阳窗中通过的阳光往往只能照射很小面积的一块地面，并且仅持续较短的时间。这样极少量的阳光对于街道树木的生长是远远不够的，并且这样的少量太阳热量也不能作为可被利用的能量来源。

阴影廊道指的是地面上的狭长区域，其中一面边界是成排的能够阻挡阳光的高大建筑物。在最为极端的情况下，有些地面是终年都接收不到直接的阳光辐射的，天空的散射辐射和附近建筑物的反射辐射是它们的惟一光线来源。

建筑物或树木产生的阴影是由物体本身的高度和太阳高度角两个因素决定的，我们可以根据下面的公式求解阴影的长度：

$$S_f = h / \tan SA$$

式中

S_f = 阴影长度；

h = 物体高度；

SA = 太阳高度角。

5° - 85° 正切值	
5° = 0.087	45° = 1.0
10° = 0.176	50° = 1.19
15° = 0.268	55° = 1.43
20° = 0.364	60° = 1.73
25° = 0.466	65° = 2.14
30° = 0.577	70° = 2.75
35° = 0.700	75° = 3.73
40° = 0.839	80° = 5.67
	85° = 11.43

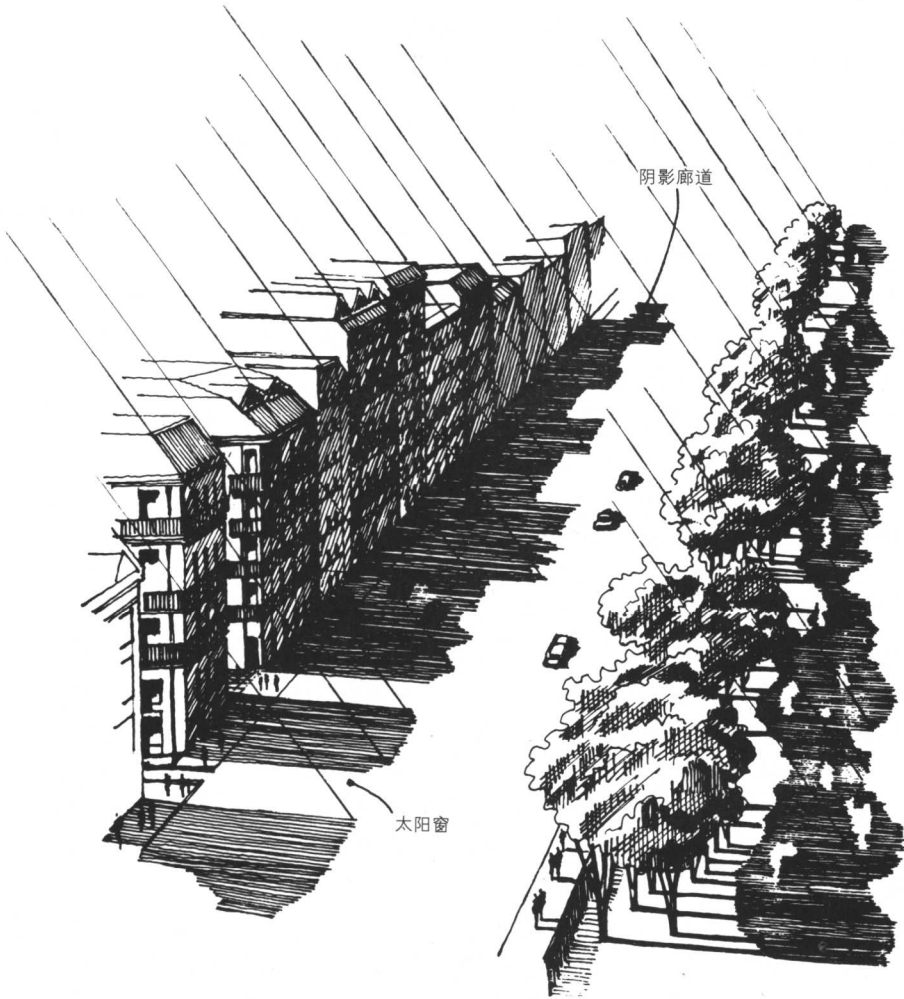


图 16.9 城市环境里的太阳辐射模式 (由高大建筑物改变)

该公式在日照十分强烈的地区显得尤为有用，在进行这些地区的规划时，我们必须利用公式计算出诸如人行道、公园、建筑物、广场等设施所需阴影面积的大小（见 17.6 节和图 17.12）。中午 11 点到下午 4 点是人们最需要阴影的时候，这段时间里太阳辐射最强，同时气温也是全天中最高的（图 16.10）。

树木在提供树荫方面的效率与若干因素有关，包括树木的位置、树叶的密度、树冠的大小和结构。图 17.10 所示的多层森林能提供最有效的树荫，可以使太阳辐射减少 80%。在居住区，院落和街道上的树木通常只可能有一层，因此树冠的大小和密度应成为考虑的重点。最有效的树种是红橡木、北方的糖枫和南方的榉树。只要位置合适，一颗健康的成年树可以减少 50% 以上的直射光的太阳辐射。

树荫

在炎热的地区，那些阴凉的地方为当地的行人和居民提供了明显的好处，然而在那些寒冷的北方城市，如明尼阿波利斯、底特律、卡尔加里和蒙特利尔等，阴影廊道却促使了冰和积雪的形成，给行人和交通带来潜伏的隐患（图 16.11）。另外，这些地区北面的住宅单元几乎没有阳光的照射，室内温度很低，需要花费大量的保暖费用。英美两国最近的一项调查表明，室内温度过低能够造成十分严

冬季小气候

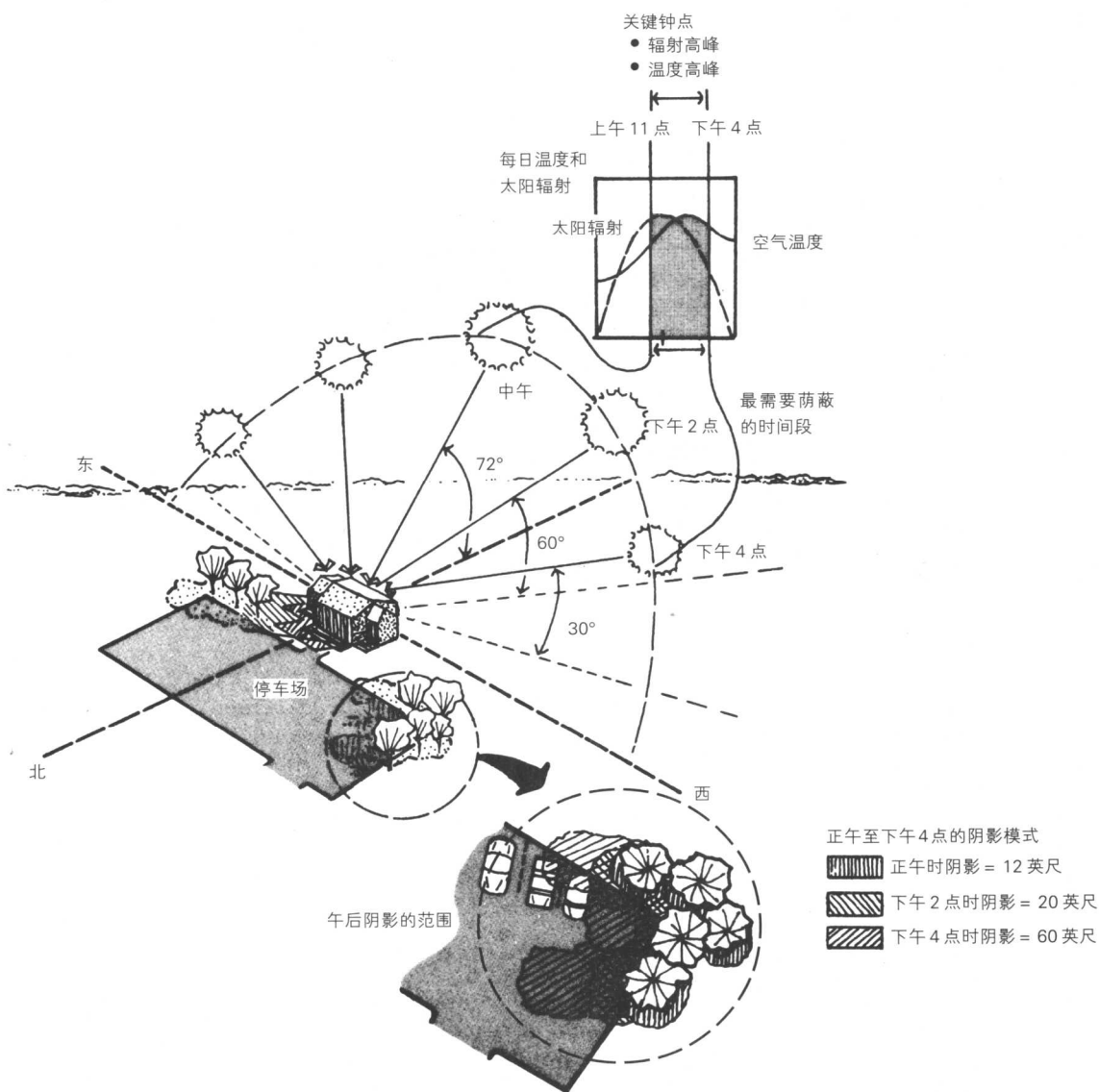


图 16.10 正午至下午 4 点的阴影模式，以停车场附近的一栋建筑和树木为例。上午 11 点至下午 3 点是阴影范围最小的时候，也是空气和地面温度最高的时候

重的后果，年迈者常常由于体温过低而引起疾病甚至死亡。

低温症

偶发的低温症 (Accidental hypothermia) 是一种由于体温过低 (接近 90°F) 而引起的生理失调现象，表现为心率减缓、血压降低、说话含糊等症状。当室内温度低于 65°F、穿衣过少、长时间没有活动的老年人 (年纪超过 70 岁) 就有可能产生这种病症。然而有阳光照射的室内情况则有所不同，两者的室内温度会有好几度的差别，特别是在寒冷的日子里，这样的差别对老年人而言十分重要，常常能够决定他们是否体温过低或是处于健康状态 (图 16.11)。据美国国家健康协会的估计，美国每年约有 200 多万老年人会出现偶发性体温过低现象。不容置疑的是，无论从建筑的朝向、设计以及与邻近建筑的关系上看，他们当中许多人的生活空间无法接收到足够的阳光辐射。然而相反的是，对北方城市的夏季这无疑又是一个优点，室内会比较凉爽。

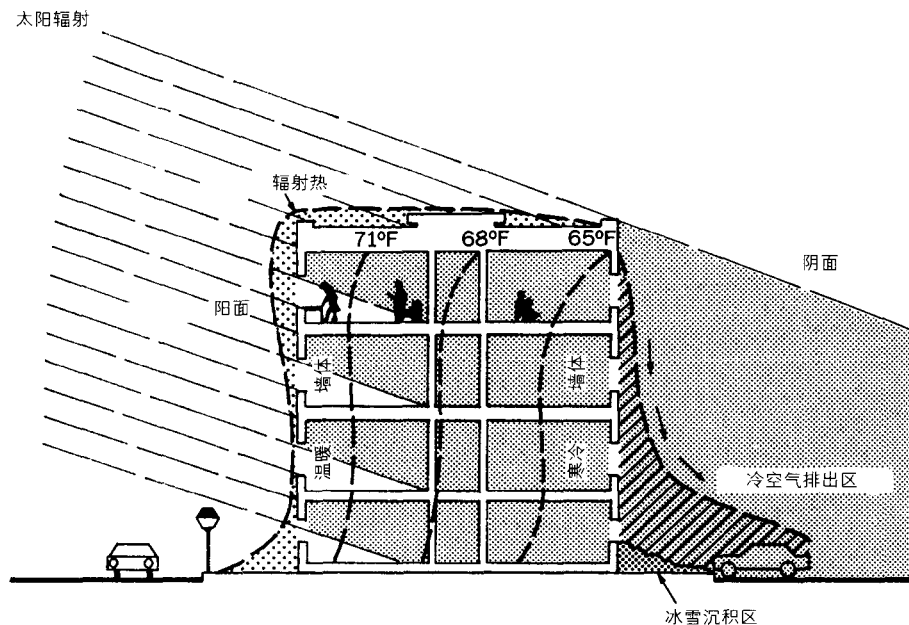


图 16.11 本图示意了冬季时太阳高度角对北向公寓内部及周围居住条件的影响。建筑北边的墙体无论是外墙还是内墙的温度都很低

中纬度地区住宅区景观设计中对于阳光的思考和利用

卡尔·D·约翰逊 (Carl D. Johnson) 和布赖恩·拉尔森 (Brian Larson)

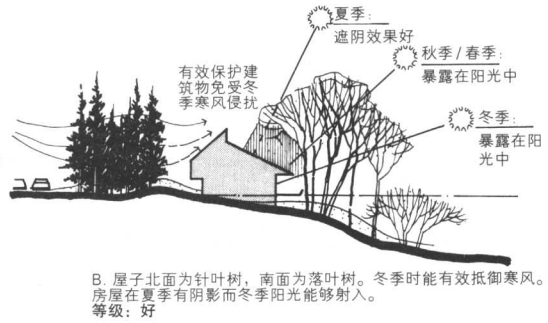
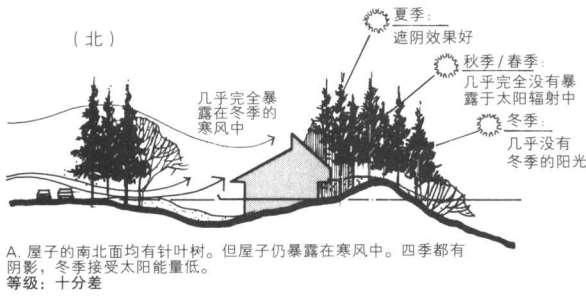
16.7 案例研究

住宅和城市设计的一个首要目标就是对人们所处空间的极端气候加以调节。在建筑学中,其焦点集中在建筑物内部的气温,建筑师们可以通过使用空调、控制光线等手段来加以实现。而在景观设计学中,首先要考虑的则是户外的空间,景观设计师们通过植被的使用、调整建筑物的位置、多样化的地表材料、地形本身特征的利用以及改造等手段来实现对气候的调节。

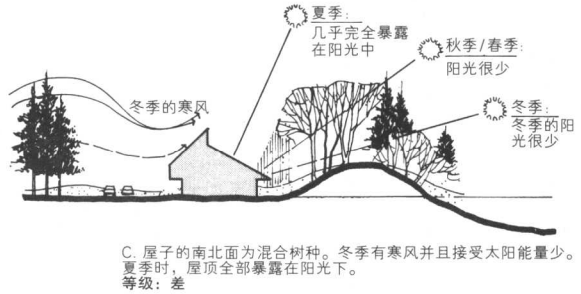
在中纬度的大陆地区,冬季的严寒是阻止人们外出活动的一个重要因素。因此,在进行现代居住区的设计时,设计师们需要考虑应如何改善小气候,提高人们在户外场所活动的可能性。然而可以理解,依赖景观设计进行的改善是很有限的,尤其是像明尼苏达州和魁北克省等地区的冬季。但另一方面,对于春秋两季,景观设计对小气候的改善是可以实现的,并且相当有用,通过理性的规划和设计,那些较为寒冷的日子就会变得相当舒适了。

在密歇根州安阿伯 (Ann Arbor) 的东北边缘区,有一个正在规划建设着的小镇西纽波特 (Newport West),它是由一个大的洼地包围着的多山地区。其中一个洼地(一个四周有树的老农场)的东面和南面山坡被选择作为村落的建设用地,因为该地区提供了最大的优化小气候的机会,并且这种地形还有助于保持建筑物的能量。

房屋是成簇安排的,形成一些“太阳口袋”(solar pockets),并为寒冷、多风的北面房屋提供了缓冲保护。那些太阳口袋能够在春秋季节为人们提供舒适

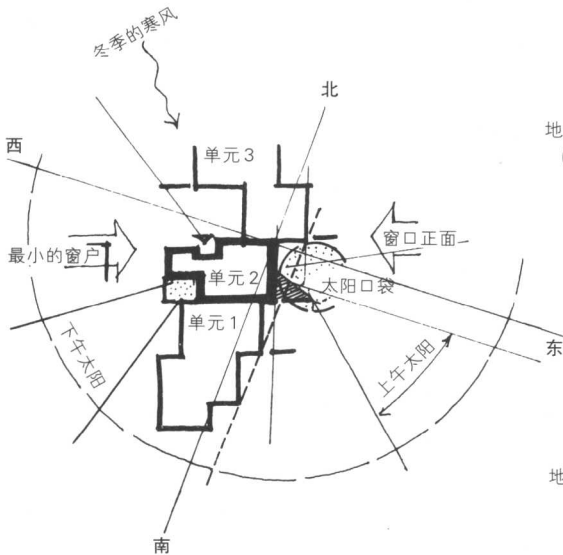


1. 可供选择的方案：A、B、C

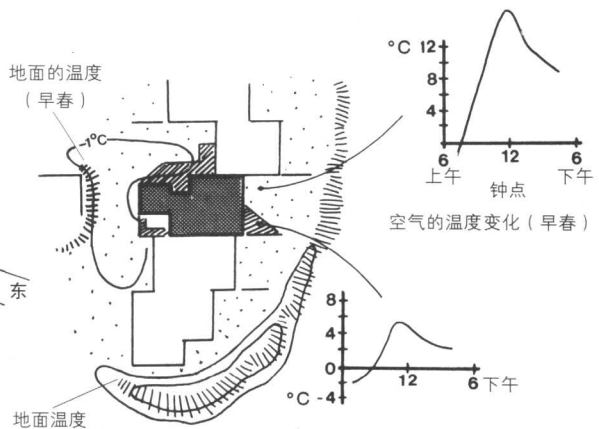


的户外活动空间，并且可以作为一些外来植物如杜鹃等的生长地。房屋内朝南的窗户设计得较大以便接受更多的太阳辐射，提高秋冬季节室内的温度。另在房屋的西南面种植一些大的落叶乔木避免午后强烈阳光的直射。

在房屋、景观以及内部的结构建造完成后，我们在3月上旬使用了一些温度计来检测这样的设计对于小气候的调节是否有效。结果发现依阳光的暴露程度不同，地面的温度会有很大的区别，靠近南面墙角5厘米处的温度要比北面和西面墙壁高出7℃。在房屋的院落中，气温的高低与阳光的有无也有着密切的相关性，晴朗的日子里，朝向东南面的太阳口袋日最高气温（在地表水平上）比附近终日没有日照的地方高出将近10℃，不过在阴雨或大风的日子，气温是没有明显区别的。



2. 平面图：小气候矢量与设计



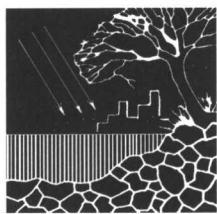
3. 结果：空气温度与地面温度

一项气候记录表明,美国中西部地区春秋季节里会有10到20天气温较低。简单的研究显示,在风和日丽的日子,设计师们可以通过以气候为导向的建筑和景观设计,建造出宜人的室外活动空间,使人们在这些气温较低的日子里仍然可以进行室外活动。同时,这样的户外环境(如太阳口袋)还为外来植物提供了良好的生长场所,尽管夏季的热量会有些过度,我们需要同时种植一些落叶乔木对它们进行保护。这项研究还表明,那些能够提供既温暖又凉爽户外活动空间的居住单元要比那些只能提供温暖或者凉爽的户外空间的房屋更受人欢迎,因为它们提高了户外空间在每个季节里的使用时间。随着人们居住社区的院落变得越来越小,这样的一些考虑也将会变得越来越重要。

作者简介: 卡尔·D·约翰逊(Carl D. Johnson),是约翰逊、约翰逊和罗伊(Johnson, Johnson and Roy)公司的创始人之一;布赖恩·拉尔森(Brian Larson),得克萨斯州奥斯汀市资深景观规划师。

16.8 推荐阅读文献

- American Institute of Architects Research Corporation. *Solar Dwelling Design Concepts*. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, 1976.
- Buffo, John, et al. "Direct Solar Radiation on Various Slopes from 0 to 60 Degrees North Latitude." *U.S.D.A. Forest Service Research Paper PNW-142*, 1972.
- City of Davis (California). *A Strategy for Energy Conservation*. Davis, CA: Energy Conservation Ordinance Project, 1974.
- Griggs, E. I., et al. "Guide for Estimating Differences in Building Heating and Cooling Energy Due to Changes in Solar Reflectance of a Low-Sloped Roof." ORNL Report 6527, Oak Ridge National Laboratory, 1989.
- Heisler, G. M. "Effects of Individual Trees on Solar Radiation Climate of Small Buildings". *Urban Ecology*, 9, 1989, pp. 337-359.
- Huang, J. et al. "The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings." *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26, 1987, pp. 1103-1116.
- Land Design/Research, Inc. *Energy Conserving Site Design Case Study, Burke Center, Virginia*. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 1979.
- Marsh, William M., and Dozier, Jeff. "The Radiation Balance." In *Landscape: An Introduction to Physical Geography*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1981, pp. 21-35.
- National Institute on Aging. "A Winter Hazard for the Old: Accidental Hypothermia." Washington, D.C.: U.S. National Institutes of Health, Department of Health, Education and Welfare, 1981, Pub. no. (NIH) 78-1464.
- Sizemore and Associates. *Methodology for Energy Management Plans for Small Communities*. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 1978.
- Sterling, Raymond, et al. *Earth Sheltered Community Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981.
- Tuller, S. E. "Microclimatic Variations in a Downtown Urban Environment." *Geografiska Annaler* 54A, 1973, pp. 123-135.



第 17 章

小气候、空气 污染以及城市环境

- 17.1 简介
- 17.2 城市热岛效应
- 17.3 城市空间中的小气候变化
- 17.4 城市区域中的大气污染治理
- 17.5 城市规划中的气候问题
- 17.6 城市规划及设计中的气候标准
- 17.7 案例研究 通过景观设计改善城市气候，减少能量使用
- 17.8 推荐阅读文献

17.1 简介

城市的发展使得近地面空间的大气状况发生了显著的改变。在一些极端的情况下,如大城市建筑物密集的区域中,这种影响可以一直蔓延到离地面几百米高的大气中,形成了一种特殊的气候效应——城市小气候。一般来说,与所处位置的当地气候相比城市小气候较热、光照少、风小、多雾、多雨,而且空气污染加剧。

在城市景观的设计中,我们应该考虑到城市小气候的多样性。如在工厂区和交通廊道周围,空气质量特差;夏日里部分居民区的气温要高于平均气温;在城市的中心区,热浪到来引起的炎热天气甚至导致人们的死亡。另一方面,夹在高楼大厦中间的区域却又终日不见阳光或极少见到阳光,在冬季,它们的能量大多来自临近建筑物释放出的热量。

城市气候

由城市建设带来城市中不同地区小气候的差异现象是规划及设计中值得注意的问题。譬如把有植被地区的有利气候影响整理成文有助于阐明要在城市总体规划中包含花园和绿化带的理论。今天,在美国和加拿大城市的交通规划中无一例外地要包括空气质量指南和目标,而工业开发方面的建议也必须对气体和颗粒物排放量及其在不同大气条件下的扩散模式进行预测。但是对城市的热量状态来说,就没有这方面的要求,而且在发展中世界就更没有这方面的要求了,而在那里本世纪正进行着城市的扩张。

在未来的几十年内,一些城市中心人口将超过5000万,而上海会接近1亿。伴随着城市的扩张,就会有汽车,增加空气的污染,有大面积的硬质路面,消耗将达到前所未有的程度,所有这一切都使城市气候越来越趋向极端。在某些地方,夏天的热浪将达到特别高的水平,尤其是在全球变暖的强制效应下更是如此。本章归纳了我们在城市气候方面的知识并提出了在城市规划设计中考虑气候问题的一些建议。

17.2 城市热岛效应

城市化过程将城市转变成为一个在形式、材料和活动方面都与农村景观大不一样的复杂环境。同时,城市景观中的能量流也发生了变化。总的来看,与临近的乡村相比,城市所吸收的太阳热辐射相对较低,然而在地表生成的可感知热量(干燥空气的热量)却很高。同时地表依靠远红外辐射及空气流动所散发热量较乡村地区少。从热量平衡上考虑,尽管吸收的太阳热辐射较少,但总体上收入仍是大于支出的,从而导致城区的气温高于乡村。这种现象往往在城市的中心区更为明显,产生了一种在景观学中称为“热岛”的效应。城市热岛效应的地理区域范围及密度与城市的规模(主要取决于城市人口的多少)和当地的气候条件有关。通常,大城市在风和日丽的天气条件下,热岛效应会更为突出(图17.1)。

城市热平衡

城市的大气结构就像一个位于城市上方的巨大穹顶,即所谓的**城市边缘层**。由于含有大量的颗粒物质,它们对阳光的反射及散射率很高,从城市地表到5000英尺高度的大气就可以反射太阳辐射50%的能量。越来越多的研究指出,如果城市中出现多云及降雨的天气,位于城市下风的临近地区也会出现类似的趋势。这表明,在相对晴朗温和的天气里容易产生城

城市边缘层

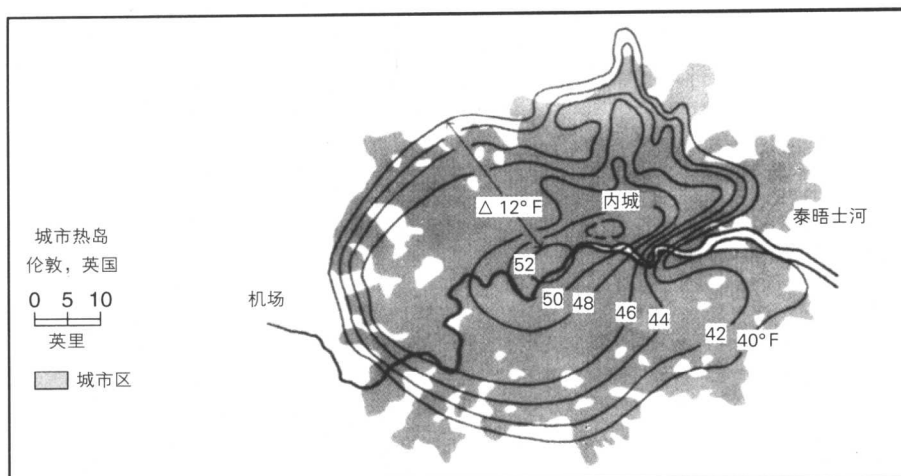


图 17.1 英国伦敦冬季城市热岛效应轮廓图。城市中心区与边缘区的温度差异高达 12°F

市边缘层的效应，而在那些有风的日子，这个巨大的穹顶往往被风吹散而弥漫在空气中。

表面加热

造成城市热岛效应和城市小气候的原因是复杂多样的。首先，与乡村相比，城市有不同的热学特征。例如，城市街道和建筑材料的体积热容量（或比热）就要比乡村中诸如潮湿土壤等物质低（详见第 18 章表 18.1），这就意味着在吸收相同热辐射的情况下，城市表面物质的温度将高于乡村，并使其上层的空气迅速升温。其次，城市景观中由于水体、植被及裸露的土壤空间有限，造成其 **Bowen 比值**（Bowen ratio，Bowen 比值是指显热与潜热通量之比）远远高于乡村地区。由于缺乏产生水蒸气的源头，因此以潜在的形式从地表释放出的热量相当少；反之可感知热量释放得相当多，造成空气温度上升。除此之外，许多人造物（如机动车、建筑物等等）也散发出大量的热量。在中纬度地区，在一些大城市例如纽约，冬季由这些人造物所释放出来的热量甚至要高于从太阳那里得到的热量。

热耗散

以上提到的热量吸收仅仅是热量系统中的一个方面，下面谈一谈关于城市大气系统中热量消耗的问题。在这里，风速的大小是最重要的，因为风的流动能够带走表层气体的热量。但由于城市里大量高大建筑物的存在，加大了风在流动过程中的阻力，因此在近地表的水平上，城市里的风速小于乡村，由此带来的一个直接结果就是位于城市中的热空气不容易流动。此外，由于二氧化碳的浓度较高，温室效应的存在，城市大气会保持更多的热量。从总体热量的平衡看，城市景观产生并且保持更多的热量，因此出现大范围的热岛效应。

17.3 城市空间中的小气候变化

整个城市的气候对空气污染治理部门和区域交通的规划师是一个重要问题，但是对于城市规划者、景观设计师和建筑师们来说，最重要的问题是城区内小气候的差异。或许最容易看到的差异是高楼周围的太阳辐射，但是城市景观内的其他参数，例如气温、风、雾和污染也有显著的差异（图 17.2）。除了空气污染外，我们对这些变化的描述甚少。但我们都承认，这些产生于城市景观内的

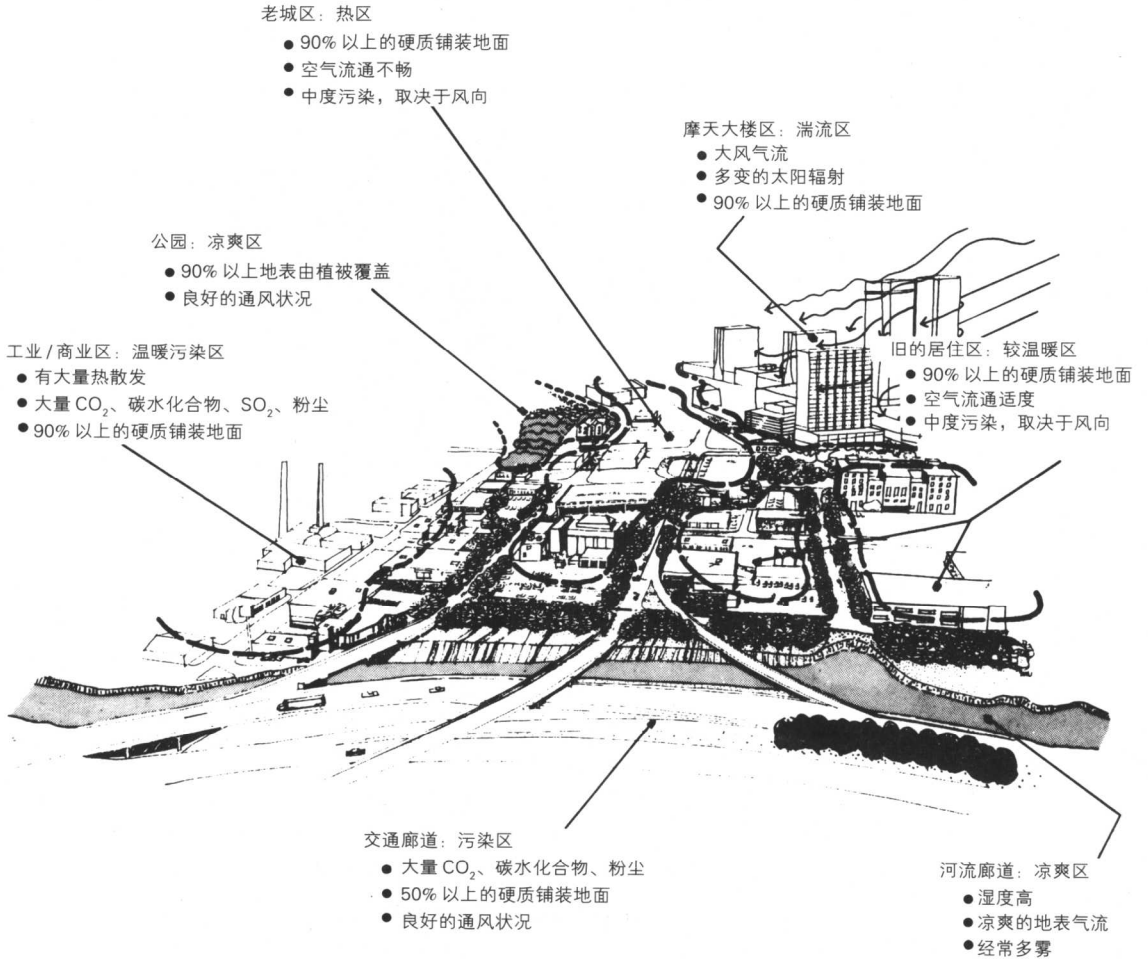


图 17.2 一个城市里不同区段的小气候情况（这种小气候会随着地表覆盖类型、太阳辐射、空气流动以及空气污染等因素的变化而有差异）

极端大气状况会对人类的健康、安全及舒适度造成很大的影响。下面的段落将简要介绍五个有关城市气候的重要参数。

太阳辐射 太阳辐射的强度取决于太阳高度角和建筑物的高度，它们会被建筑物所阻挡，产生大小不同的阴影。当建筑物分布密集时，将会形成一个阴影廊道（详见第 16 章图 16.9）。对于一幢单独的建筑，其吸收的太阳辐射能将随着季节、朝向，以及每日时刻的变化而变化。在寒冷的季节里，建筑物中阴面和阳面的热量及舒适度是显著不同的（图 16.11）。同样地，在炎热的夏季，建筑物的朝阳面会吸收大量的热，尤其是当周围高温的空气与太阳的热量结合时会产生热浪。1995 年，芝加哥市由于热浪现象造成 700 人的死亡，其中一半以上的死亡者是居住在顶楼的居民，那里正是太阳辐射热量最强烈的地方。然而另一方面，那些被高大建筑遮挡而没有阳光的地方却只能依靠散射和反射得到少量的太阳能。这些角落往往阴暗潮湿，尤其是那些空气流通不畅的地方。通常这种角落还是垃圾的堆放处，环境状况实在令人担忧。

向阳及背阴

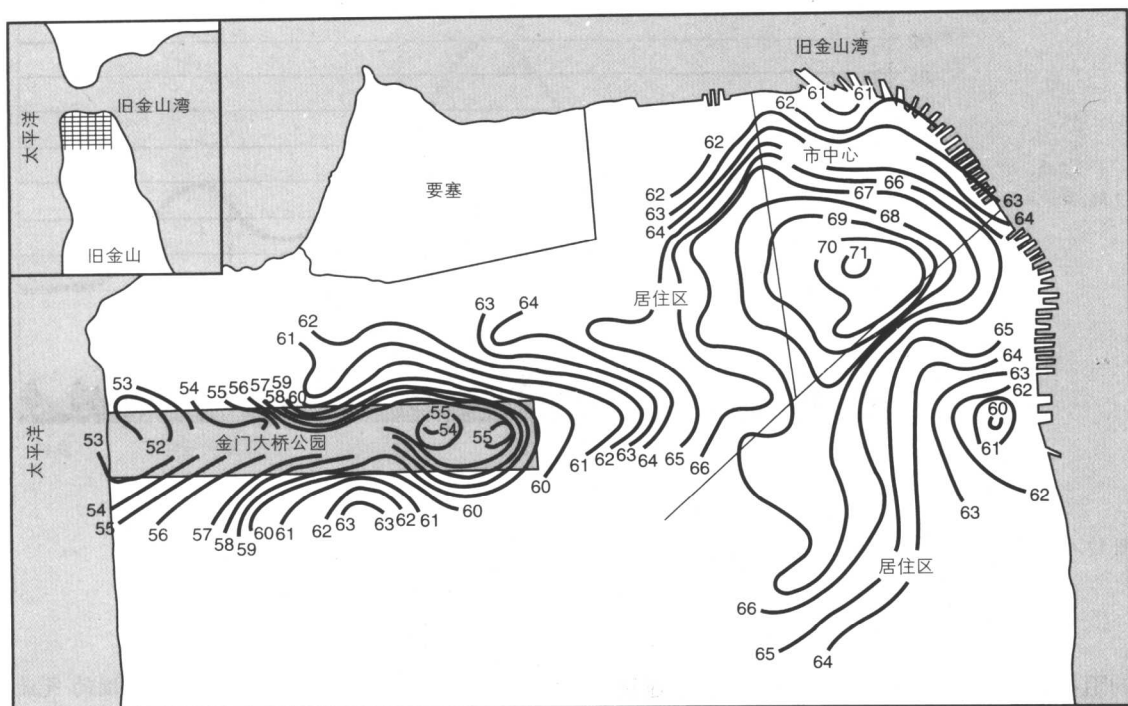


图 17.3 大公园对旧金山温度的影响与市中心建筑密集区的热岛现象形成鲜明的对比

热差异

温度 大多数城市里的表面材料、物理形式及性质都存在很大的区别，我们常常想像公园和工业区的温度应该存在显著的差别。然而研究表明，只有在那些几乎不受当地气候系统控制或对气候状况有极端影响的地区才会出现人们想像中的现象。例如，城市中心区一个小小的绿色公园，它对于气候的调节效应是完全会被四周的高楼大厦产生的热量给掩盖的。

城市中的低温区

然而，城市中大型的公园或绿带对城市热岛效应的调节作用是显著的。例如，占地 90 英亩的蒙特利尔公园，整个夏季的平均气温比周围的建筑区低 2℃（图 17.3）。另有研究结果表明，那些有着成年大树的老居住区要比新建成的居住区更为凉爽。在华盛顿夏季炎热的日子里，沿波托马克河河谷的公园和水体廊道的气温要低于河流两岸建筑区的温度。

热岛边界

在城市景观与乡村景观的交界处，热岛效应边界区的气温呈急剧下降趋势。从英国伦敦的等温线图中可以看出来（图 17.1），这类边界像个峭壁。另外，即便在城区内，温度的分布也是十分不规则的，凉爽的内层是公园、河流廊道而温热的外层是大型购物中心及工业区地（图 17.4）。

风速分布图

风及对流混合 城市对于大气运动的整体影响是在地表面层面上降低其流动速度，从城市和乡村的风速图上就可以发现这一点。城市环境内地形的复杂性造成整个风速分布图的上扬，在地表附近形成一个流动缓慢的空气层（图 17.5），然而风速在小面积范围内却存在很大的差别，主要随建筑物的大小、形状及排列方式的变化而变化。下面举三个具代表性的例证。第一，对于一个单独的建筑物而言，它就是空气流动过程中的一个障碍，空气在流经这个建筑物的时候必须加速以保持流动的持续性。在二维模拟模型里，风速在到达建筑物的迎风面及经过屋顶时最大。其中一部分气流由于受到建筑物

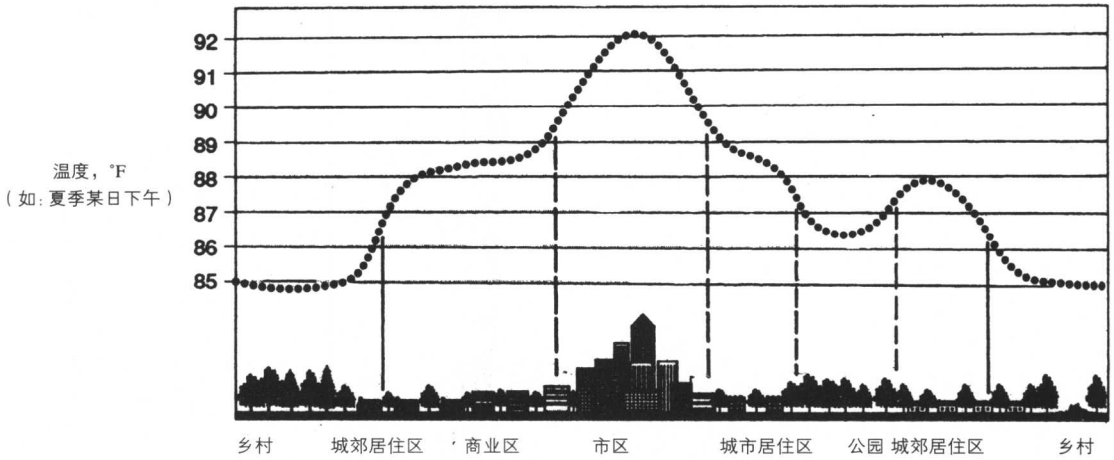


图 17.4 城市热岛以及城市周边地区温度变化图

的阻挡而向地面回流（图 17.6 中 A）。在建筑物的下风面，风速减缓并扩散开来，一部分向地面下降。

建筑周围的气流

对于两栋相邻的具有相同高度的高大建筑物，高速运行的风并不从建筑物流向地面，而是继续保持高速向第二栋建筑物的屋顶通过。这样的流动使得两栋建筑物之间产生了一个气流相对平稳的小空间，里面的空气与外部大气很少流通（图 17.6 中 B）。正如我们在前文中指出的，基于当地的条件，这样一个小

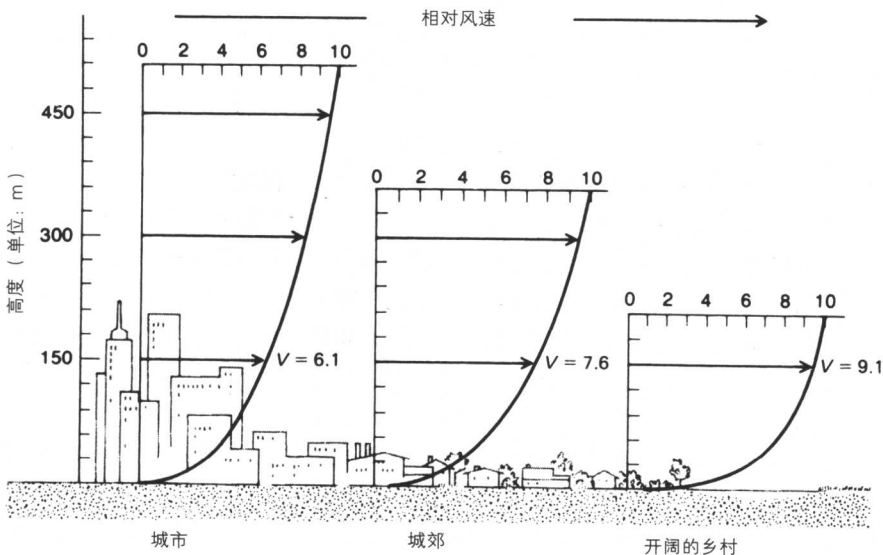


图 17.5 城市与乡村风速比较图。虽然城市地面水平风速较乡村低，但由于大量高楼的存在，湍流现象较为严重

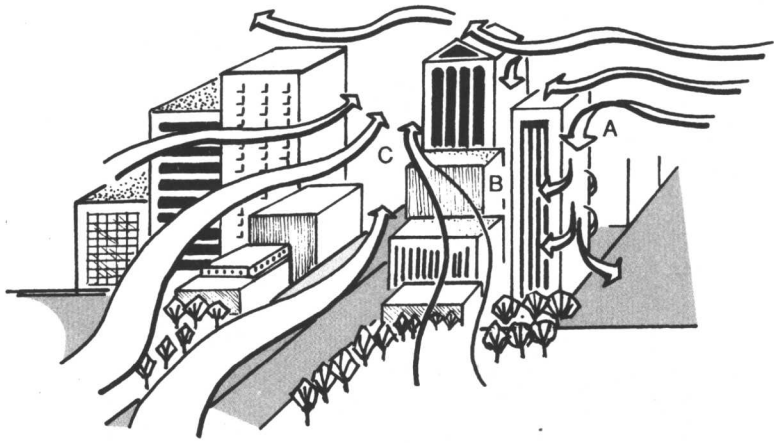


图 17.6 建筑物周边气流示意图。(A) 高大建筑物的迎风面和屋顶处风速最大, 另外建筑物迎风面阻挡而产生的向下气流也十分强大; (B) 两栋建筑物之间的气流相对平静; (C) 由高大建筑物包围形成的峡谷状街道会产生加速的气流

空间内的空气可能会与周围的大气存在明显的差别。

第三个例子是关于建筑物和街道。那些两旁存在连续高大建筑物的街道则与峡谷的地形特征有些类似, 如果伴有同方向的大风, 它们则会具有渠的功用, 压缩并限制气流从中间通过, 导致街道上产生更大的风速, 尤其是在狂风大作的日子里, 则更增加了“峡谷”壁上大气的湍流运动(图 17.6 中 C)。

雾和降水 城市中雾的发生频率几乎是乡村地区的两倍, 这是由于城市大气中含有大量凝核结(小尘埃和小颗粒)。另外, 雾在城市中出现也是有选择的, 有些地区频率高, 有些地区频率低, 那些空气流动缓慢并且夜间地表气温较低的地方更容易产生雾。除大气的因素外, 还有许多其他因素与雾的形成有关, 例如地面附近的水蒸气含量等等。在海岸或河流流域附近, 水蒸气含量高, 出现雾的频率则高于城市的其他地区。相反的, 在建筑物密集及充满硬质铺装的地带则不太容易出现雾, 这是由于这些地区夜间气温下降缓慢的缘故。

相关因子

另外, 通常城市的降水量也要比乡村多。例如, 在底特律大都市区, 其年降水量比附近的非城市区多出 8 英寸。另外, 圣路易斯和芝加哥等大城市由于风力的作用, 其下游地区的降水量明显加大。然而也有许多大城市除雾和风的出现频率较高外, 降水的增强不明显。但毫无疑问的一点是, 降水量增加的一个最重要原因就是城市大气中固体污染物含量的增加。另外, 由于城市热岛效应造成的不稳定性(空气上升)也是其中的原因之一。

空间分布

空气污染 我们知道, 城市的上空被一个巨大空气污染层所笼罩, 并且城市中心区的污染程度要高于市郊地区(图 17.7)。一个城市内部的不同区域每日的污染程度也截然不同, 这主要受两个因素的影响: (1) 污染源所处的位置, 例如发电厂、高速公路以及工业区等; (2) 城市边界层扩散及流动能力的短期改变。多风、不稳定的天气条件有利于污染物的扩散, 降低空气污染程度。即便有一些十分严重的污染, 也仅限于污染源下风的局部地区。

然而在平静稳定的大气环境下, 污染物会在污染源地区的上方集聚。如

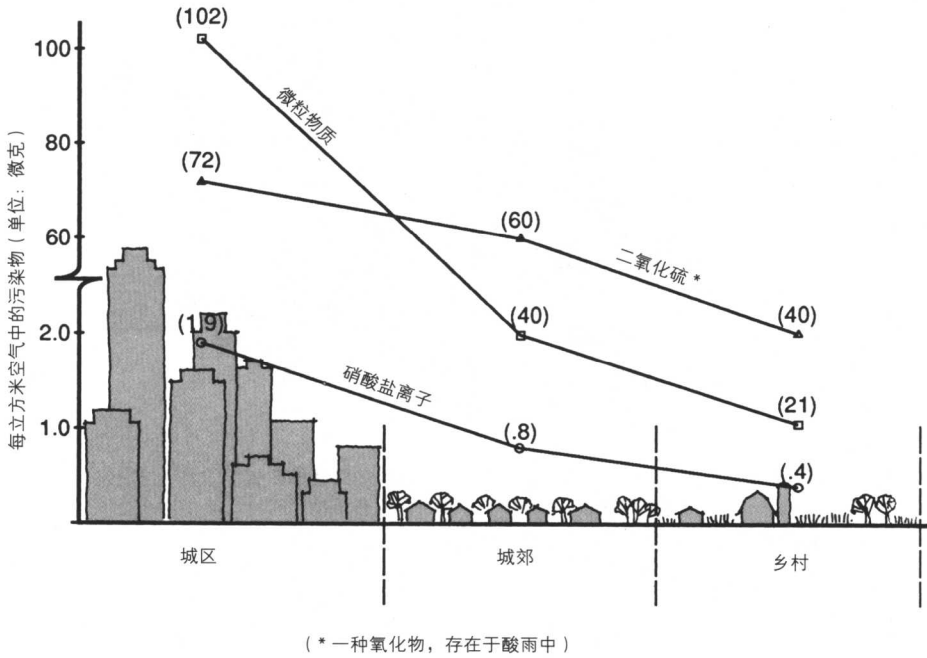


图 17.7 城市、城郊以及农村地区上空空气污染物含量变化图

果这种天气状况长时间持续, 污染物的浓度和影响范围会扩大, 笼罩在整个城市区的上空。其中悬浮的颗粒物对人类的健康伤害最大, 它们常常会在城市上方形成一个可见的**尘埃穹顶**(图 17.8)。空气中的颗粒污染物大致可分为三类: 那些由发电厂、铸造厂以及建筑工地产生的较大颗粒污染物常常分布在污染源的周围, 它们的沉降形式可以直接从临近区域地面污染物的分布情况分析得出; 中等大小的颗粒物可以在空气中悬浮许多天, 影响的范围较广。它们同许多小颗粒物一起形成一个巨大的尘埃穹顶, 有时甚至可以覆盖到整个城区; 最后一类则是最小的颗粒物, 直径小于百万分之一米, 可以在大气中飘浮长达数月的时间。另外, 大多数的气体污染物也可以在空气中逗留很长的一段时间, 对于那些比空气还轻的气体, 例如甲烷、氯氟碳化合物等, 它们会在大气中上升并一直存在直到它们的化学性质发生改变或是参与到地球表面的循环系统。

城市尘埃穹顶

在给定大气体积的条件下, 污染物的平衡可通过污染物的产生速度及其扩散速度估算得出。扩散包括水平和垂直两个方向, 因此, 当将各个方向上的气流忽略不计时, 我们可以大致估计大气污染物在空气流通不畅条件时的污染量。更加糟糕的是, 污染物在大气中的长期停留增加了它们发生氧化及光化学反应的机会, 例如二氧化硫、氮氧化物和一些碳氢化合物会形成硫酸、硝酸和有臭味的气体(臭氧)进而产生**烟雾**现象。当大气污染特别严重时, 除调节人们的户外活动外, 惟一可行的方法便是短期减少污染物的排放量。为避免人类面临的这一健康灾难, 许多城市的政府(例如洛杉矶政府)已经开始限制机动车辆及工业活动中污染物的排放。这些规定不仅仅控制空气污染物的总体标准, 还重点关注了一些关键污染物在大气里的含量问题, 其中主要限制了碳氢化合物、氮氧化物、二氧化硫及悬浮颗粒物的排放量(表 17.1)。

污染物平衡

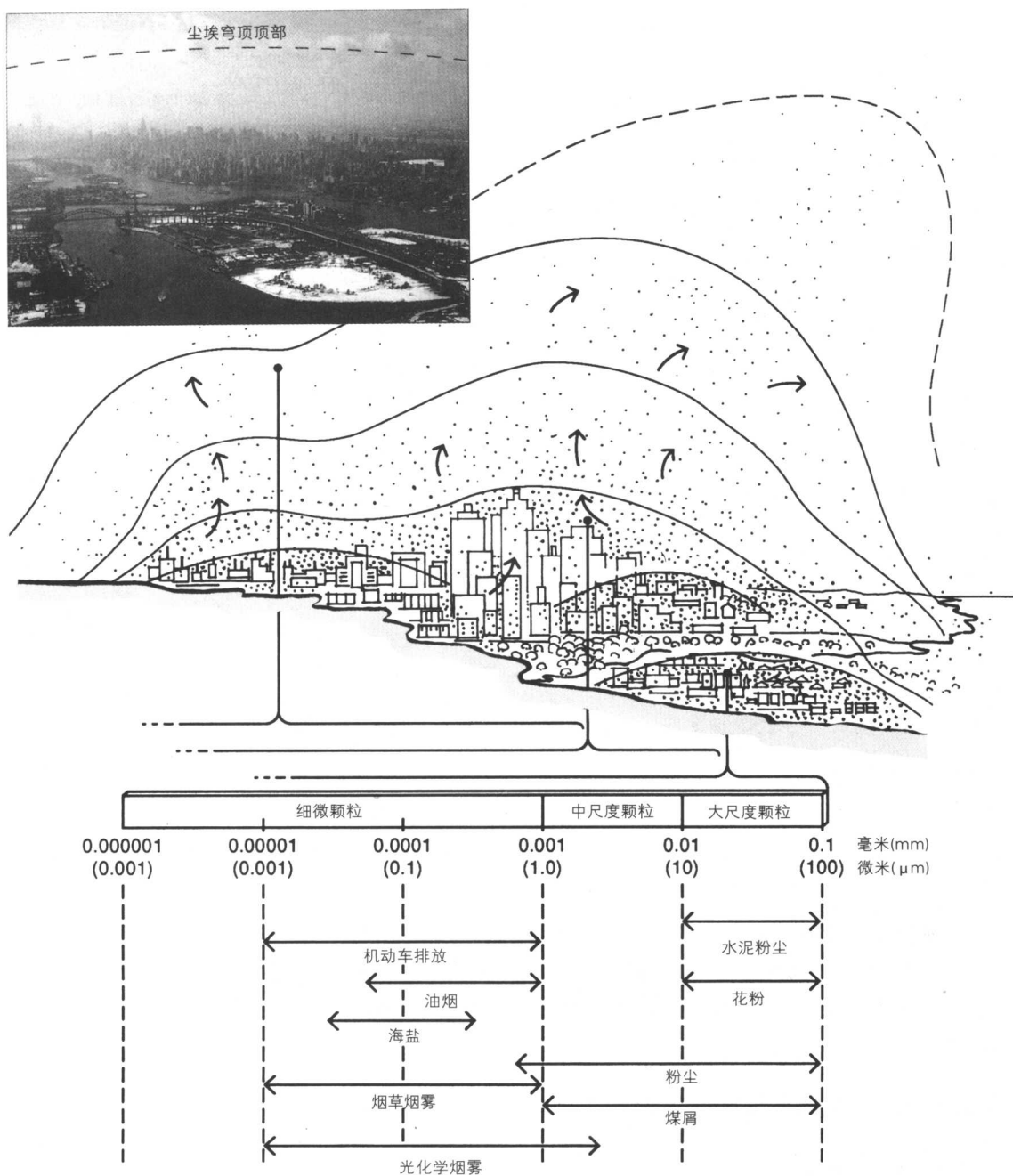


图 17.8 平静气流时大城市上空尘埃穹顶示意图（较大污染颗粒不易扩散，滞留在污染源附近）。左上方插入的图片显示冬天的某日，尘埃穹顶笼罩下的纽约市上空出现雾蒙蒙的景象

区域效应

我们知道，那些由城市产生的污染空气可以缓慢扩散到几十、几百甚至几千里以外的地区。我们并没有详细记录它们对地区性气候所造成的影响，但就目前的情况看，一些地区的气候或某些季节的气候已经发生了改变——云量加大、降雨量增多、恶劣的天气时常出现等等。现在，在加拿大的东南部以及美国的东北部又出现了一种新的地区性气候现象——酸雨，它是由污染空气中携

表 17.1 城市主要空气污染物及其来源

污染物	污染源	污染造成的影响
CO、CO ₂	以汽油为动力的机动车 工业用油和瓦斯 取暖用油和瓦斯	CO ₂ 的温室效应* CO能迅速进入人体血液循环系统， 导致神经系统功能紊乱甚至死亡
SO ₂ 、SO ₃	工业用煤和油 取暖用煤和油 使用煤、油和瓦斯的发电厂	刺激人体呼吸道，恶化心血管疾病 损害植物，尤其是农作物的健康 加剧建筑物表面材料的风化
NO、NO ₂	以汽油为动力的机动车 取暖用油和瓦斯 工厂和发电厂	刺激人体眼、鼻和上呼吸道 损害植物 诱发光化学烟雾的产生
碳水化合物 (由氢和碳形成的化合物)	以石油为动力的机动车 石油精炼厂 普通的燃烧	高浓度时对人体有毒害作用 产生光化学烟雾
氧化剂 (烟雾中的二次污染物，包括臭氧)	机动车排放物 工业 光化学烟雾	刺激眼 损害植物 诱发癌症
粉尘 (包括液体和固体颗粒，通常直径小于100微米)	机动车排放物 工业 建筑取暖 普通的燃烧 能够产生孢子和花粉的植物	有些对人体有毒 部分花粉和孢子能导致人体的 过敏反应 诱发降水的产生

* CO₂对太阳短波辐射吸收很少，但能强烈吸收地表长波辐射，致使地表辐射的热量不易散失到太空中。它可能改变大气热平衡，导致地面和低层大气平均温度上升，引起严重的气候问题。这种现象即 CO₂的温室效应。——译者注

带的三氧化硫与潮湿气体结合形成硫酸而导致。由于天气系统的地区性流动经过中西部地区，那些产生于工业区的酸雨降落在北美的安大略湖区、加拿大的魁北克以及新英格兰等地，造成水体 pH 值过低，数以千计的湖泊和池塘生境从而遭到破坏。

17.4 城市区域中的大气污染治理

在美国洁净空气法案 (U.S. Clean Air Act, 1970 年颁布, 1992 年修改) 的授权下, 美国环保署 (EPA) 制定了一系列空气质量标准用以维护人类的健康。该机构颁布的《国家环境空气质量标准》(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS) 主要包括以下两个基本标准: 一是空气的质量要保证人类的健康; 二是空气的质量要保证环境不会进一步恶化。洁净空气修正案同时还针对不同地区做出了相关的规定, 将所有的地域分为三个类别, 分别执行不同的标准。

空气质量标准

- 类别一: 如公园、野生地等区域执行最高标准 (也就是说, 要求破坏最小);

- 类别二：广大的中间区域执行中间标准；
- 类别三：城市的工业区执行最低标准。

在实施该修正案时，先将所有的地区视作第二类，由美国环保署(EPA)进一步从中分出一类和三类。

1970年代至1980年代间，美国政府致力于大型污染源的整治。在此期间，两项重要的治理措施得以实施，大型工业厂矿和机动车的污染物排放量受到严格的规定。所有机动车统一执行新的尾气排放标准，所有新车要求安装催化式排气净化器并使用无铅汽油。此外还颁布了针对燃料问题的CAFE标准(总体平均燃料节省标准)。作为这些行为的结果，在此期间平均每辆机动车的污染物排放量显著下降，空气和水体中的铅含量低于多年来的水平。以北美五大湖为例，1970年至1980年间，铅含量显著下降。另一方面，1970年至1988年间，机动车的数量却是急剧增加的，年均行驶总英里数翻了一番(从年均10000亿到大于20000亿)，然而得益于平均排放量的减少和路况的改善，总体的污染物排放量反而有所降低(图17.9)。

20世纪80年代末，洁净空气法案得到进一步的修正，主要包括以下三个方面：

当前目标

- 1990年代后，发电厂二氧化硫的排放量要求降低1000万吨/年；
- 降低有害空气的污染(主要针对人工合成物质，如苯、多氯联苯等)；
- 改善部分地区的空气质量，主要是城市等环境空气质量遭受到长期破坏的地区。

洛杉矶市的经验

在空气污染问题突出的加利福尼亚南部地区，人们考虑到许多空气治理的新方法。例如洛杉矶市空气管理部门颁布的一项基于市场刺激理念的措施。该措施规定，给每一污染物排放者一个固定的标准排放量，并保证排放总量满足美国环保署(EPA)规定的标准。这项措施的新奇之处在于，它允许污

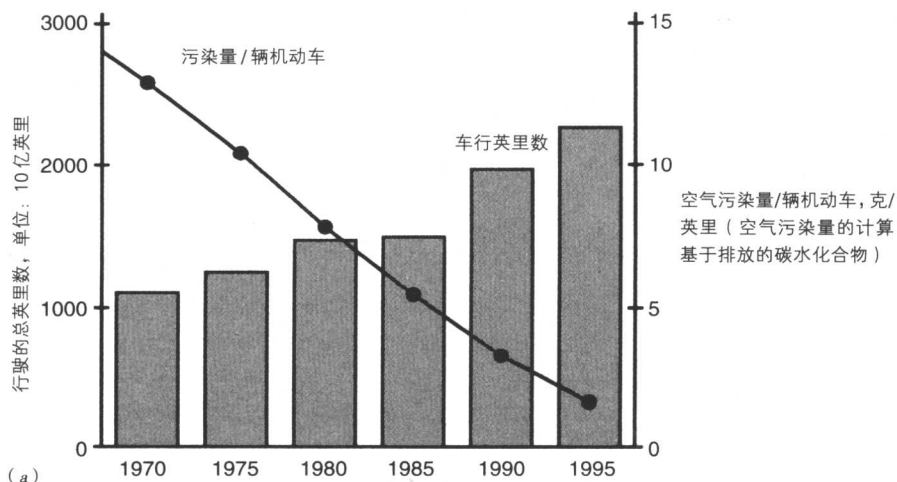


图 17.9 美国 1970-1995 年间机动车行驶总英里数以及平均污染物排放量趋势图；机动车总行驶英里数的增加与改进的污染物排放标准相互抵消

染物排放者们（不包括机动车用户）自由买卖所分配到的排放量。这对于那些低于排放标准的单位而言，相当于是一定的奖励措施，它们可以从其他排放者那里获得一些利润。总的来说，该区域是以不断降低污染物总排放量标准为目的的。另一方面，关于机动车的污染问题，该区域一直严格执行国家规定的排放标准。

洛杉矶的城市空气污染状况是一个极端的例证，在美国，每一个大都市的中心区都面临着类似的问题。造成这一问题的根本原因就是日益增长的城市人口，他们带来汽车使用量的增多，旅行距离的增长。那些位于大都市中或周边的高速道路车流量竟高达20万-30万辆/日，这是一个多么惊人的数字。现在，许多城市已经开始寻求减轻交通负荷的方法，他们鼓励人们搭便车或使用公共交通系统。然而，与此同时，国家和联邦政府却还在不停地进行高速公路的建设，这无疑会造成长途旅行的加剧和城市的进一步扩张。

机动车、道路及其扩张

事实上，高速公路造成的城市扩张促进了一种新的城市形态的产生，那就是位于城市周边和城市区域之间的主要交通结点处的**边缘城市**（edge city）。边缘城市主要由机动车交通支撑，因此通常会带来更大的交通量，特别是通勤交通量，如今人们每天从家里到工作地要走上50或75英里已不再稀奇。20世纪90年代美国统计数据表明：长距离通勤的趋势越来越明显；美国约有25%的工作人员每天需要驾车到其他的县上班，比20世纪60年代增长了10个百分点。目前美国和加拿大已经建成了对于环境、城市居民和地方政府来说都要花费很高代价的城市交通系统，这种交通系统过多地依赖小汽车和卡车来运输人和物资，从而促使了每日长距离交通流的产生。其结果不仅造成了大量能源的消耗和空气污染，而且助长了对大型、昂贵的公路基础设施的需求，进一步则引起了土地利用格局的蔓延式扩张以及效率极低的社区的产生。

17.5 城市规划中的气候问题

目前，城市的规划者和建设者们都能够意识到在城市的设计中，气候是一个十分重要的因素，但是很少有人能把风、热和太阳辐射等变量有效地纳入决策用的数据库中。当然，这里面存在许多的原因，其中最重要的一点就是人们对建筑环境中的气候的科学理解水平。目前的情况是，我们的艺术家和工程师们知道许多关于气候对单个建筑物的影响，例如风力、太阳照射以及建筑物表面的腐蚀等，但对于多个建筑物，尤其是建筑物集中的大规模建筑群的影响，他们却知之甚少。与城市的水文地理相比，城市设计者们所能得到相关信息十分少，例如，技术上的设计只能提供极少的可供参考的模式，并且在诸如建筑物的高度、硬质铺装与植被的平衡关系以及街道的宽度等问题上，不能给出精确的预测。

科学的理解

另外，第二个重要的原因是与气候相关的规划准则相对不足。尽管人们都知道，城市的气候会影响人类的健康和安宁，引起医疗费用的增加。然而，直到今日，除了有关空气质量方面的规定外，关于建筑物周边气候环境标准的规定仍然少得可怜。为提高城市的生活条件，国家对一些工业和机动车的污染物排放量都做出严格的规定。由联邦基金资助的地方交通项目也都将空气的质量状况作为重要的考虑因素。在那些易于遭受严重空气污染事件的地区（如洛杉矶县），当地的机构有责任对学生们的户外活动进行调整，在一些紧急的情况下，则需要适当减少交通和工业方面的活动。然而，除了空气质

寻找规章

量外,规划机构很少考虑其他的一些气候因素,例如温度、气流、烟雾以及辐射等等。当这些因素与人们的人身安全和经济利益有很大关系时,也就是说当它们能对个人、公司、政府及其他公共机构带来显著的经济效益时,情况就会有明显的改变。一个典型的例子就是20世纪80年代出现的太阳能社区,由于太阳能能给人们带来经济效益,因此有关“阳光权利”的条例很容易就通过了立法。

环境影响报告
(EIS)中的气候
问题

当然,目前的环境影响报告(EIS)的确一直提到气候问题,但是它们常常只包括对现状的描述以及预测提议中的行动会带来的潜在变化。只有那些涉及空气质量变化的案例才被作为考虑的重点,它们可能会成为反对或改变一项提议行动的基础。至于气候组成成分的变化,则不存在任何指导方针或执行标准去帮助规划师们进行规划和评议。这种状况的结果是,在绝大多数情况下,没有人能够十分清楚地知道,对于自然气候中发生的一些可疑变化,究竟应该如何评价其重要性。因此,这个问题就被归类于无用信息筐。

17.6 城市规划及设计中的气候标准

力求平衡

在社会经济和政治发展的压力下,大多数国家的现代城市都正在经历着一个持续的物质变化过程。这就要求我们的城市设计师和规划师们能够始终抓住一切改善的机会(包括提高行人流动性、上下班往返交通、土地利用以及废水处理等等)。最大的挑战就是如何去实现既能满足城市的必要经济功能又能保障城市居民的健康和安宁。从目前正在美国进行的一场关于是否为了发展经济而降低污染标准的辩论可以看出,有关改善气候及空气质量的计划就是这种挑战的一个很好的例证。

在大多数的城市中,有以下五个气候因子会影响到人们的舒适度和健康,它们就是空气温度、湿度、太阳辐射、风以及空气的污染程度。我们可以采取一些措施来减少极端的气温和与城市中小气候相关的严重空气污染,然而,在进行城市的设计时,如何对抗地方性大气条件(例如一些受气团控制的大气条件),我们能做的却很少。基本上,以改善过热和空气污染的生活条件为目标时,通过城市设计和规划的手段可以实现的只有以下四种气候控制方式:

设计目标

1. 在城市中关键的地方设立遮蔽物以减少夏日的太阳辐射。如人行道、等候处、繁忙的街道处。
2. 减少水泥和沥青等铺装材料的比例,增大植被和水体的面积。这样可以提高体积热容量(volumetric heat capacities),以及潜热通量(latent heat flux),从而降低空气的温度。
3. 加强地表的空气流通,便于热量和污染空气的扩散。
4. 降低污染物排放量,提高空气流通速率,对点状污染源进行定位,减少其对人口密集区的影响。

尺度及方向

当在城市设计中考虑气候因素时,重要的是要清楚问题的尺度。如以整个城市作为考虑的尺度,那么在规划街道的位置、结构、布局,建筑物的大小和工业园区的布局时,必须与气流方向、污染源的位置、已有的道路系统和工业

区以及开放空间与建设用地的比例等进行权衡比较。具体到一个内陆城市,夏季地表的通风状况是十分重要的,因此,街道必须足够宽,并且与盛行风向平行,同时注意避免大型的障碍物。

在建筑物内部或周围的可用空地,应该尽可能多地种上植被。城市内部的街道两旁、小型公园以及屋顶等都应进行绿化。在进行工厂、发电厂等污染工业的布置时,应结合考虑气流和天气的季节性变化。在中纬度地区,冬季常常会产生羽流模式:被污染的空气飘浮在地面上方不易散去。这样的现象一旦发生,就必须采取措施来减小污染物对居住区的影响。

从单个建筑物的尺度上考虑气候因素时,注意力应集中在气流方向、太阳辐射强度以及建筑物的大小和形式上,还需要考虑该建筑物与周围建筑物的相对高度。例如,研究证明,为减小风尘对行人的危害,两栋相邻建筑物中的一栋的高度不得超过另一栋的2倍。可以说,建筑物越高,就越要考虑到它们的位置、方向、形状、表面材料以及其他一些因素对小气候的影响。

如果从垂直层面上考虑城市气候,那么哪一种高度是最能满足不同人群活动需求的呢?很显然,城市内部的地面层是有许多明显缺点的,例如严重的空气污染以及繁忙的交通。同样,高空也是不适合人类活动的,因为大风会带来危险。因此比较而言,在城市里4-10层楼的中间高度是最适合人们活动的,那里的空气比地面上干净,而风速也没有高空的大。只需要进行恰当的规划以保证安全和阴凉(就像纽约和其他的一些城市),屋顶和阳台就可以为人们提供一个既清洁又安全的活动场所。这样的一个概念大体上有些类似于生物气候分区,在热带森林里,树冠的中间层为许多生物提供了理想的气候区,比较而言,树顶多风炎热、地面则显得潮湿阴暗(图17.10)。

垂直分区里的
机遇

另外,我们还可以利用屋顶储存雨水以调节城市气候。通过蒸发,大量的可感受热以水蒸气的形式消散,降低了屋顶及其表面上方空气的温度。例如得克萨斯州,平均每年有多达80英寸的水分从开放的水体表面蒸发——相当于国内大多数地区年平均降水量的2倍。很显然,如果能够利用屋顶来储存雨水,不仅对城市气候具有一定的调节作用,而且还能够有效地缓解暴雨带来的灾害。

最后从街道的尺度上考虑气候因素。此时,我们就必须考虑人们在街道上行走或等待时是否会受到热应力的潜在威胁。这一点对于那些夏季官方记录温度时常超过90°F的城市而言是尤其重要的,因为此时街道上小气候的温度极易超过100°F(图17.11)。除高温外,强烈的太阳辐射、不良的通风、潮湿的环境以及机体的疲惫等综合起来很容易使人产生**热威胁**或热综合症。显而易见,那些有着强烈太阳辐射、不良通风环境以及较长行走距离的人行街道很容易导致行人的热综合症。为避免热综合症的产生,我们需要在街道上恰当的位置设立具有良好通风条件、阴凉的休息处,并且休息处的设置需要考虑到不同行人的需求,尤其是老人和残疾人的需求。

街景及热威胁

当城市规划(以小气候的考虑为主,同时结合健康、安全、能量消耗以及美学方面的考虑)完成后,需要对其效果进行评价。例如热威胁方面,评价标准必须基于一个通用的规则(图17.12),测量出人们所占据的不同空间里一天中关键时刻的相对湿度、风速、温度以及太阳辐射等。最后基于评价结果进行局部的调整以达到更好的效果。

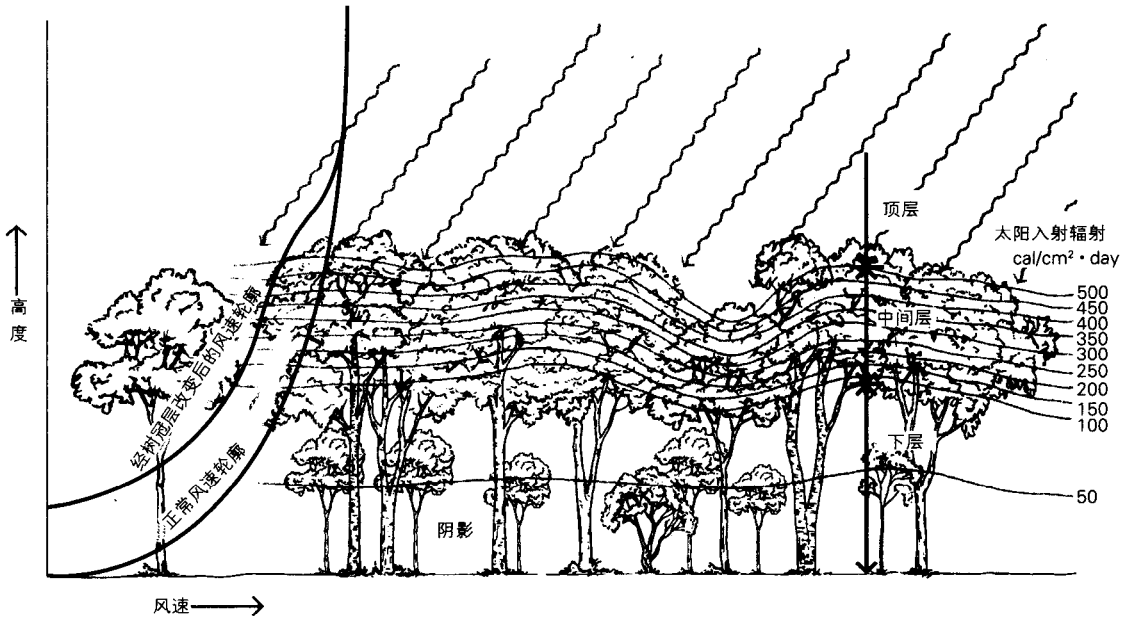


图 17.10 森林树冠层垂直气候带以及太阳辐射量分布示意图（人类在城市中居住的最合适条件与图中中间层有些类似）

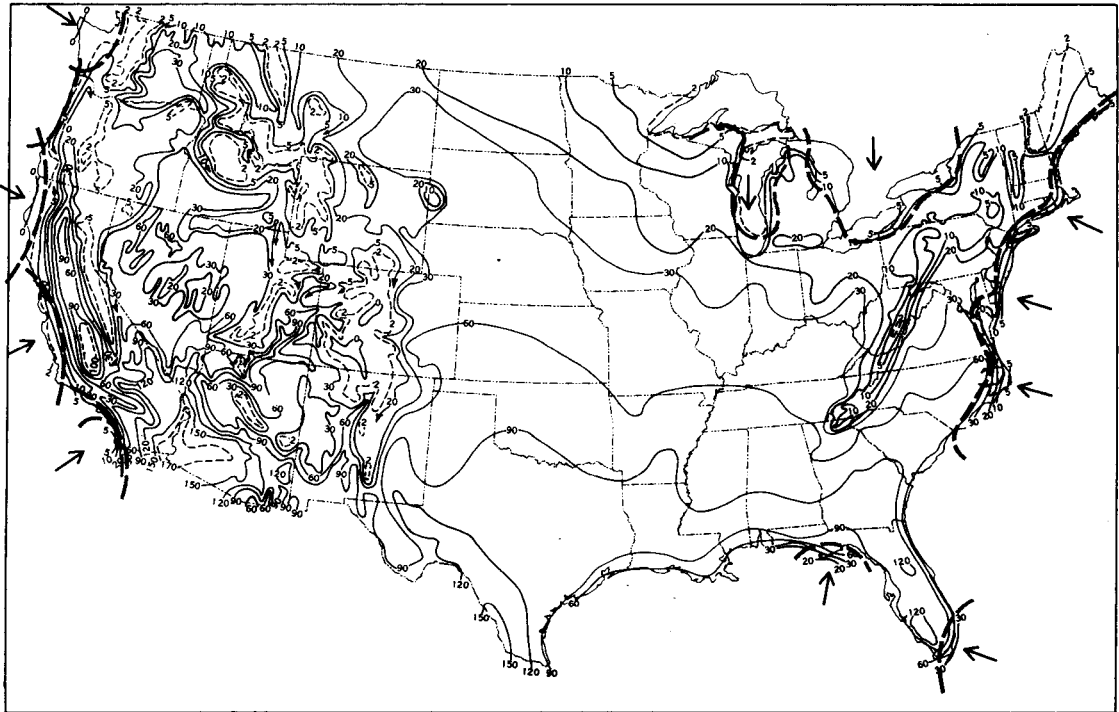
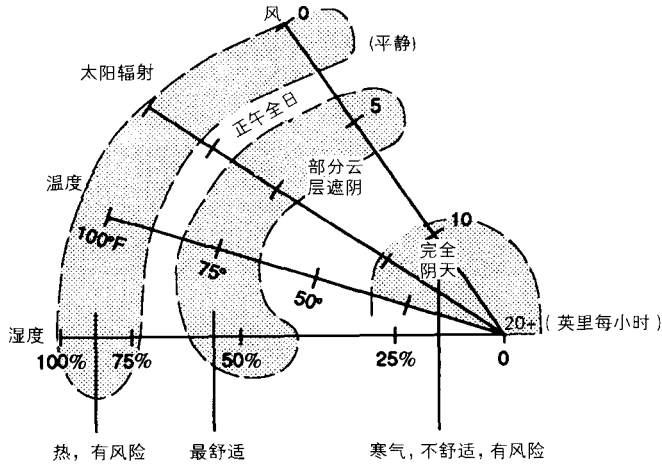


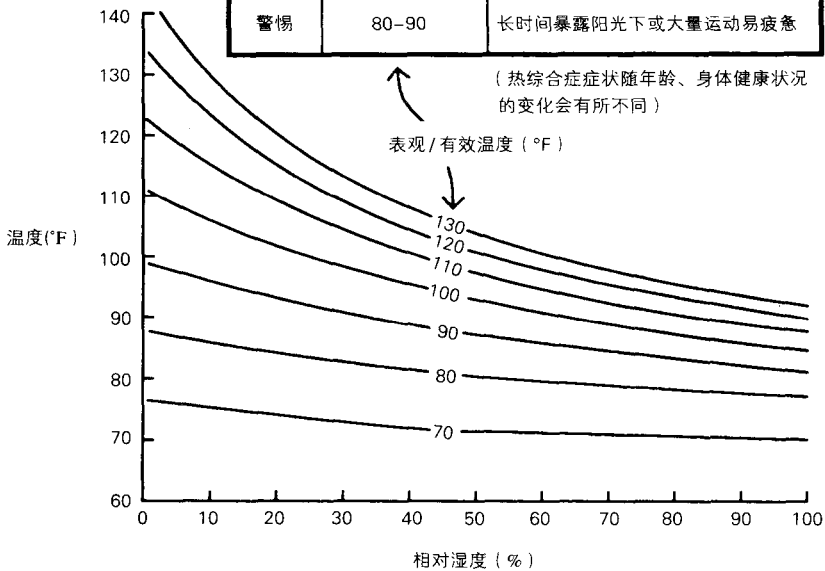
图 17.11 每年气温 $\geq 90^{\circ}\text{F}$ 的天数分布图（图中箭头所指为相对凉爽的沿海地带）



(a)

通用热威胁指标

危险等级	表观温度 (°F)	热综合症表现
极度危险	高于 130	立即表现为中暑或日射病
危险	105-130	日射病、热痉挛或轻度中暑 长时间暴露阳光下或大量运动则可能导致中暑
高度警惕	90-105	长时间暴露阳光下或大量运动则可能导致日射病、热痉挛或轻度中暑
警惕	80-90	长时间暴露阳光下或大量运动易疲惫



(b)

图 17.12 (a) 概要性气候舒适度指示图 (可以用来评估城市环境中人体的舒适度);
(b) 基于气温和相对湿度的热应力表

17.7 案例研究

通过景观设计改善城市气候，减少能量使用

W·M·马什

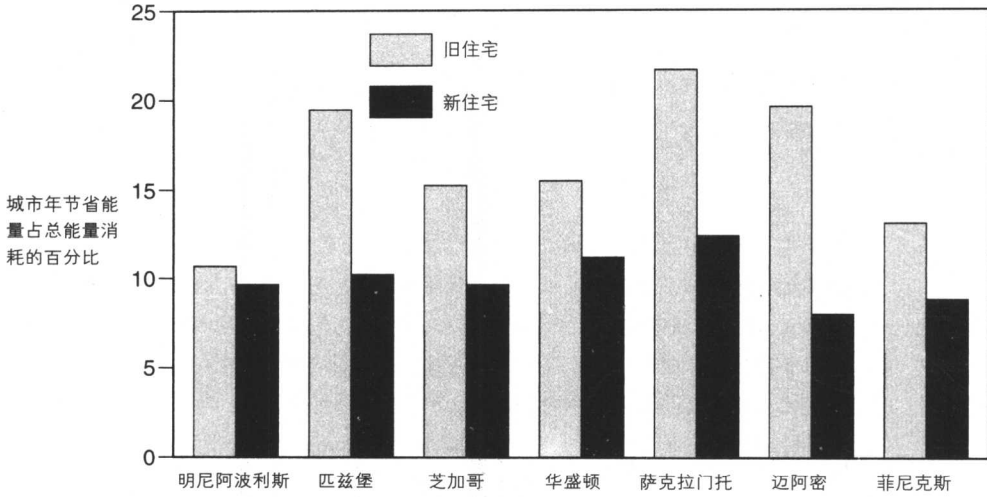
几乎每个地方的城市都在增长，当其扩大之时，城市热岛的体量和密度也随之增加，而当这种情况出现时，区域气温随全球变暖而上升。自从1940年以来，洛杉矶的峰值温度至少上升了5°F，这主要是因城市面积增长引起的。研究者们估计上升5°F所增加的气温调节费用要每小时至少15万美元。在美国其他有类似趋势的大城市中，因温度上升导致的能量损耗，使气温调节费用每小时增加了5万美元至10万美元。粗略估计的话，全美每年因热岛效应所引起的相关气温调节总费用上升了约每小时100万美元或每年1亿美元。

为了显著减轻城市热岛效应，我们需要对设计、运作方式和生活方式做出较大的调整。首先，我们只要通过对城市景观做出两点调整就可减少空调使用，即（1）使用高反光率的建筑材料和（2）更多的遮荫树，就是说减少直射到房屋和道路上的光线。在加州的研究显示，居住区中的一棵成年树的遮荫能使其下部在白天的温度降低最多可达9°F。而树木对居住建筑的遮荫可减少其空气调节费用的40%或更多，具体多少因建筑类型而不同。将屋顶和墙壁由暗色变成亮色也可减少气温调节的费用，某些城市的某些住宅可减少22%之多。延伸至整个城市，较亮材料的应用可使城市热岛的气温降低5°F。再加上由于用来产生能量以降温的矿物燃料使用量的减少，这些降低能耗措施带来的间接好处还包括排放到空气中的二氧化碳也会减少，给人们带来有着较清洁、凉爽的城市空气的居住条件。

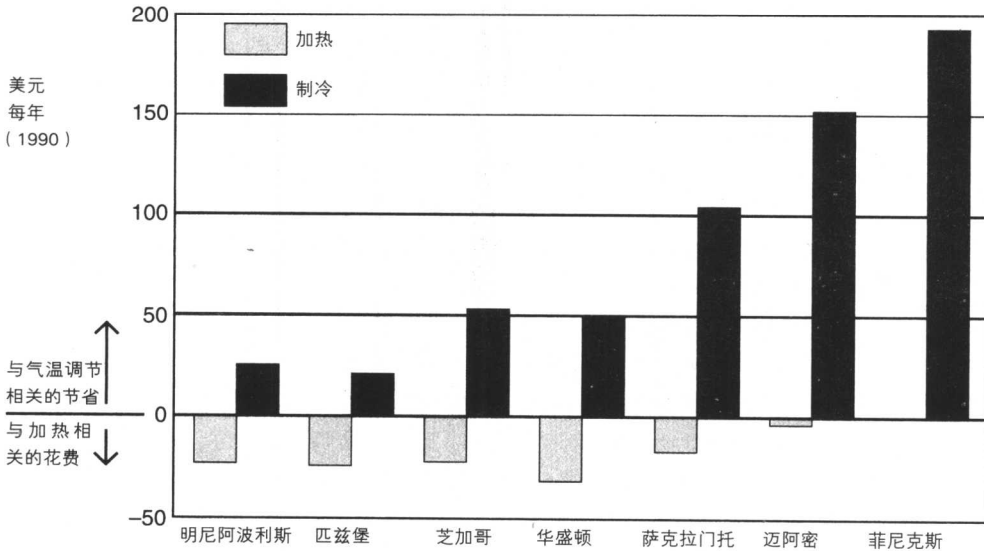
通过上章的介绍可知，提高物体表面的反射率能有效降低物体温度。经计算机模拟实验，研究人员发现，隔热性较差的旧住宅与隔热性较好的新住宅在提高反射率后都能降低空调使用费用。对于旧住宅而言，反射率由30%提升到40%时，使用空调降低的能耗为11%—22%；而对于隔热较好的新住宅，同样的反射率改变可降低能耗8%—13%（图A）。南方城市景观中改用反光率较高材料得到的益处是显而易见的；而对于北方城市而言，我们则需要考虑在冬季使用反光率较低的屋顶以降低取暖能耗。

在某种程度上，树荫的作用也很明显。从理想的角度出发，我们应该为夏季设计更多的树荫而冬季更少的树荫，这点我们在16.7节的案例研究中论述过。因此，树木类型的选择和它们沿街道及围绕建筑物布置的位置非常重要。图B所示的是根据能量使用情况得出的树荫在夏季和冬季带来的利弊表，这些数据也是建立在计算机模拟基础之上的。因为景观设计师非常清楚，社区管理者通常不情愿在基础设施工程建设中使用较大的行道树。不过，我们现在依据这些发现，就有可能说服那些认为树木对改善城市气候毫无意义的人，建设出更适合人居的居住邻里，并节省资金投入。事实上，种植和维护树木的费用可在其生命周期内带来的能量节省中回收过来。

在居住单元的尺度上，研究表明，最廉价的减少气温调节费用的方式是给空调装置本身遮荫，因为在高温状况下这些机器的效率很低。树木、灌丛或布满藤蔓的廊架带来的绿荫能使空调设备周围的气温降低6°F—7°F，这可使



(图A) 图示为将住宅反射率由30%提升到40%后, 空调节省能量的百分比 (来自Taha, 1988)

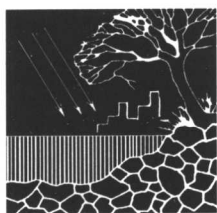


(图B) 在有植物季节变化及挡风的作用下, 夏季空调和冬天供暖的花费节省表 (来自Huang, 1990)

其效率提高达10%。除了遮荫外, 将空调设备布置在建筑物北边较凉爽的一侧是首要考虑的一步。最后, 在需要大量气温调节之处对暴露在阳光下的窗户或墙体进行遮荫是十分必要的。一个有效的遮荫系统可使居民减少40%或更多的气温调节费用。树木是墙和窗户最佳的遮荫源, 这不仅是因为它们能大幅减弱太阳辐射, 还因为它们能通过蒸腾作用使其周围的空气变凉。树木应如此种植: 接近成年, 枝条伸展到东面或西面墙壁的5英尺之内, 南面墙壁的3英尺之内, 这样可使树木与房屋之间形成一道凉爽屏障, 从而降低建筑表面温度和减少热量的渗入。

17.8 推荐阅读文献

- American Society of Landscape Architects Foundation. *Landscape Planning for Energy Conservation*. Reston, VA: Environmental Design Graphics, 1977.
- Berry, Brian J. L., and Horton, F. E. *Urban Environmental Management: Planning for Pollution Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1974.
- Chandler, T. J. *The Climate of London*. London: Hutchinson and Co., 1965.
- Duckworth, F. S., and Sandberg, J. S. "The effects of Cities Upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients", *Bulletin American Meteorological Society* 35, 1954, pp. 198-207.
- Ellis, F. P. "Mortality from Heat Illness and Heat-aggravated Illness in the United States." *Environmental Research* 5:1, 1972, pp. 1-58.
- Federer, C. A. "Trees Modify the Urban Microclimate." *Journal of Arboculture* 2, 1976, pp. 121-127.
- Huang, Y. J. et al. The Wind-Shielding and Shading Effects of Trees on Residential Heat and Cooling Requirements. *ASHRAE Transaction*. Atlanta, GA: Society of ASHRAE, 1990.
- Landsberg, H. E. "The Climate of Towns." In *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Chicago: University of Chicago Press, 1956, pp. 584-606.
- Marsh, William M., and Dozier, Jeff. "The Influence of Urbanization on the Energy Balance." In *Landscape: Introduction to Physical Geography*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1981.
- Oke, T. R. *Boundary Layer Climates*. New York: Halsted Press, 1978.
- Oke, T. R. "Towards a Prescription for the Greater Use of Climatic Principles in Settlement Planning." *Energy and Buildings* 7, 1984, pp. 1-10.
- Olgay, Victor, *Design with Climate*. 4th ed. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1973.
- Quayle, R., and Doehring, F. "Heat Stress." *Weatherwise*, 34, June 1981, pp. 120-124.
- Taha, N. G. *Site-Specific Heat Island Simulations: Model Development and Application to Microclimate Conditions*. LBL Report No. 24009. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley Laboratory, Univ. of California, 1988.
- Thurrow, C. *Improving Street Climate Through Urban Design*. Chicago: American Planning Association, Planning Advisory Service Report 376, 1983.



第 18 章 地面霜冻、永久冻土带、 土地利用与环境

- 18.1 简介
- 18.2 土壤热量的日变化和季变化
- 18.3 土壤热量和地面霜冻的控制因素
- 18.4 永久冻土带
- 18.5 土地利用与冻土
- 18.6 规划应用
- 18.7 案例研究 永久冻土带与穿越阿拉斯加州的输油管道
- 18.8 推荐阅读文献

18.1 简介

在大地景观的每一处角落，随处可见地表热量对于景观直接或间接的影响，例如，种子萌发、土壤水分蒸发等自然现象的发生都不可避免地受到土壤温度的影响。永久冻土带（占陆地面积 25%–30%）作为一种地面霜冻形式，对大多数现代的土地利用有着严重的影响。在北美洲地区，绝大部分永久冻土带位于加拿大以及美国的阿拉斯加。随着穿越阿拉斯加地区地下管道的铺设以及加拿大几个类似项目的进行，永久冻土带环境问题逐渐受到了社会各界的广泛关注。其中最主要的关注问题是：冻土带的开发与利用会给地球上这块最后极少受到干扰的生态系统造成怎样的影响？随着社会和经济压力的增加，冻土地带的石油、铁矿以及许多极具吸引力的项目即将开展，这个问题也变得越发尖锐（图 18.1）。

另外，除永久冻土带外，中纬度地区季节性的地面霜冻现象也是规划和工程建设中存在的一个十分重要的问题。例如，在存在季节性地面霜冻现象的地区，地下水管和污水管道的铺设必须低于冰冻线；建筑物的地基以及道路的路基建设必须考虑减小冰冻对其造成的影响。尽管已经运用现代化的道路设计手段，地面霜冻现象仍然会给道路带来损害。通过比较许多已建成道路的现状，并查阅美国西北部许多州的高速公路的维护费用，我们能深刻地了解霜冻现象的“力量”。

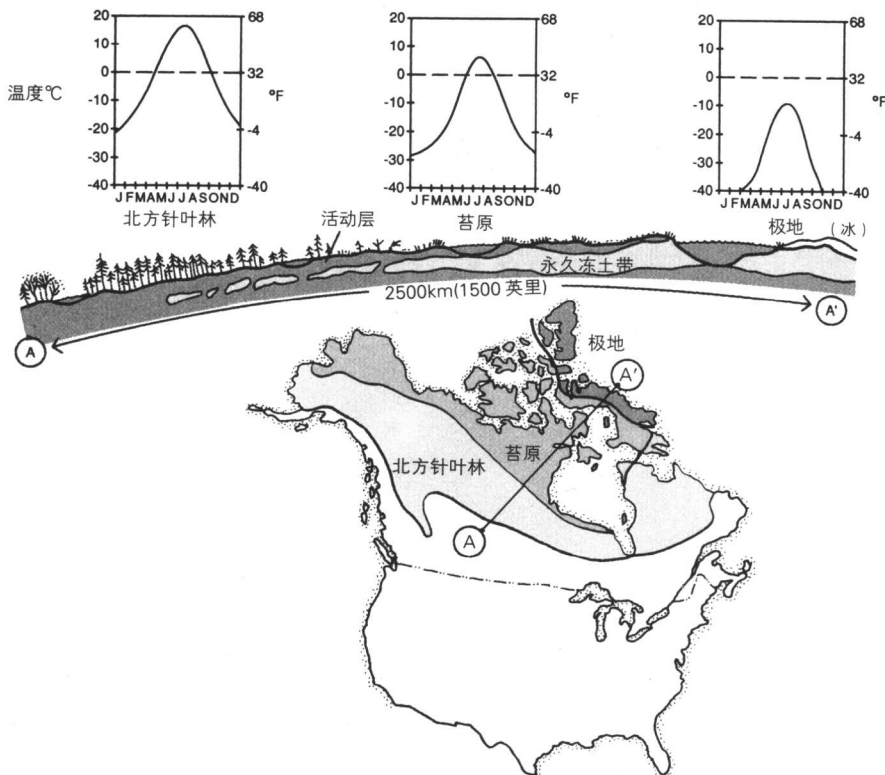


图 18.1 位于极地、苔原和北方针叶林下的永久冻土带以及相应的气温动态示意图

18.2 土壤热量的日变化和季变化

土壤热量流

土壤的热量状况是地表气候作用的结果。土壤的温度也会随着天气的变化而发生变化，并且对太阳辐射和空气温度的波动尤为敏感。土壤与地表空气温度的差异导致垂直能量的交换。当地面空气温度高于土壤温度时，土壤吸收热量，温度上升；反之，土壤释放热量，温度下降。由于大气温度变化快，土壤温度变化慢，并且温度变化随土壤深度的增加而变慢，因此土壤与空气的温度很少相同。

昼夜循环

我们可以在不同时间段里监测土壤的热量流，即以昼夜为周期，24小时一个循环。例如夏季，白天地表的温度可以高达100°F，然而在地下1-2英尺深的地方，土壤温度只有70°F。在这样的情况下，热流是向下的，但由于土壤并不是热量的良好导体，在日落时，地表热量来源消失前，热流也只不过向土壤下传递了2-3英尺深。此时，地表仍然会同时向地面空气和地下土壤释放热量，到夜晚的某个时刻，地表温度甚至低于地下土壤的温度，可能只有50°F，这时热量会出现与白天相反的流向，土壤白天得到的热量会反向流入地面的空气里。在所有经历黑夜和白天交替变化的地区，一年中的大部分日期都会出现这种土壤与地表空气的热量交换，并呈现类似的变化规律，只不过是交换热量的多少有差别。依据地表接受热量的程度以及土壤导热的性能，每一种土壤都存在一个最大的导热深度，即“日阻尼深度”，它给出了土壤每日温度变化的界限（图18.2）。

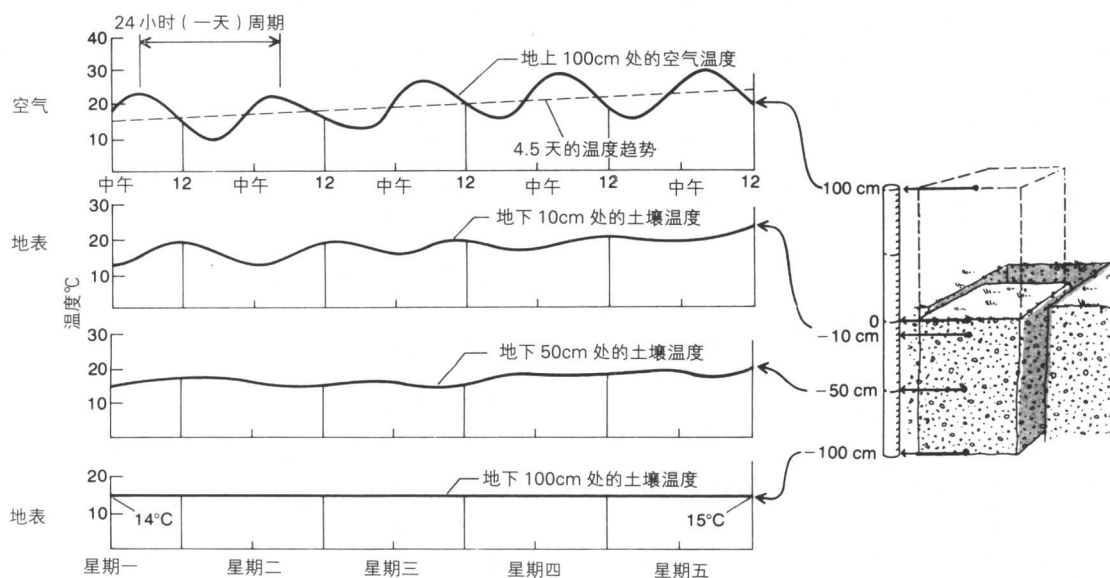


图 18.2 地下三个不同深度土壤温度随地面空气温度变化图（4.5天）。从图中可以看出，日阻尼深度约为50厘米。对于低于这个深度的土壤，地表昼夜温度变化的影响不明显

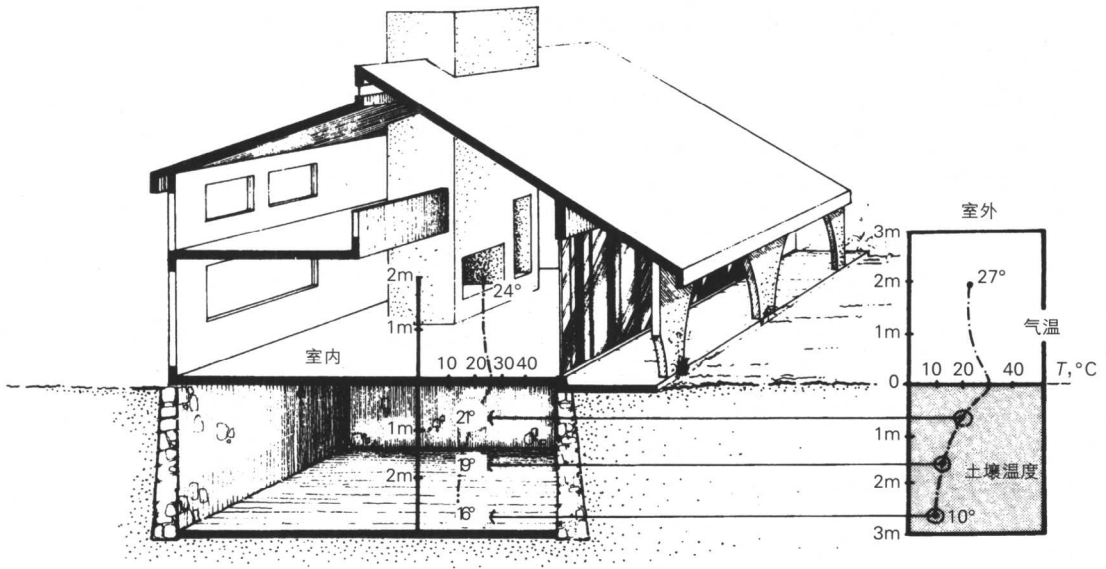


图 18.3 夏季地下土壤与地下室分别在 1 米、2 米和 3 米深处的温度比较

当然，地面温度还随季节的变化而变化。如果我们测量了春夏秋冬的地表平均温度就能够发现，从冬季到夏季，土壤温度是不断升高的，而从夏季到冬季，土壤温度则是不断降低的。季节间土壤温度的变化是要大于昼夜间变化的，因此季节阻尼深度也相应较大，在中纬度地区可以达到 10 英尺。然而，热量到达土壤深处需要花费大量的时间，通常土壤温度是在地表温度到达最大值的一个或两个月后才能达到最大，因此地表温度最高值与土壤温度最高值的出现存在时间差异。土壤高温季节的出现要滞后于地面和地表空气的高温季节，与地面温度比较而言，土壤温度在冬季较高，而在夏季较低。土壤的这个性质可以在建筑物的设计和能源的节省上得到较好的利用。那些冬季寒冷、夏季炎热的地区，如加拿大南部以及美国的中西部，地下建筑在温度的舒适度方面要明显优于地面上建筑。例如地下室就是冬暖夏凉的典型，它在调节温度方面的费用要低于地面上的房屋（图 18.3）。

季节性热量流

18.3 土壤热量和地面霜冻的控制因素

热量流出和流入土壤的速率取决于以下两个主要因素：地下某个深度的土壤与地表土壤的温差，即两者间的温度梯度，以及由土壤的组成决定的土壤的导热性（表 18.1）。表 18.1 共列出了地球上常见的九种不同物质的导热性能，其中沙与不含有机质的黏土的导热能力高于有机物质，并且导热能力随土壤湿度的增加而增强。从表中数据可以看出，有机质的导热能力是最差的，仅为沙和黏土的十分之一。因此有机质可看作是一种有效的绝热体，这也就解释了为什么永久冻土现象会在有机质充足的土壤地区（粪肥、垃圾、肥料、泥炭块）出现的原因。

热量参数

表 18.1 地球上常见物质的热学性质

物质	导热性 ^a	体积热容量 ^b
空气		
静止 (10℃)	0.025	0.0012
湍流	3500-35000	0.0012
水		
静止 (4℃)	0.60	4.18
搅动	350.00 (近似)	4.18
冰 (-10℃)	2.24	1.93
雪 (新鲜)	0.08	0.21
沙 (石英)		
干燥	0.25	0.9
湿度 15%	2.0	1.7
湿度 40%	2.4	2.7
黏土 (不含有机质)		
干燥	0.25	1.1
湿度 15%	1.3	1.6
湿度 40%	1.8	3.0
有机土壤		
干燥	0.02	0.2
湿度 15%	0.04	0.5
湿度 40%	0.21	2.1
沥青	0.8 - 1.1	1.5
混凝土	0.9 - 1.3	1.6

a 当温度梯度为 1K/m 时, 通过 1m² 表面时的热通量 (单位: W/m);

b 使 1m³ 物体温度升高 1K 所需的热量 (单位: 百万焦耳)。

热扩散率 在某个给定的温度条件下 (例如在 0℃ 时), 热量流入土壤的速度——土壤热扩散率, 并不完全取决于土壤的导热性, 而是由土壤单位体积热容量 (见表 18.1 的第三列) 和土壤导热性 (见表 18.1 的第二列) 共同决定。当物质的湿度为 8%—20% 之间时, 其扩散率达到最大值。因此, 浸透水的土壤的霜冻深度通常没有一般潮湿土壤那么深, 这是由于水饱和的土壤具有更高的热容量。

地面覆盖 另外, 大地的景观状况也能明显影响地面霜冻的扩散速度。例如, 积雪和植被能降低地表风速, 因而减少土壤热量的散失。另外不同的土地利用方式也能够影响地面霜冻状况, 如建筑能够降低土壤热量的散失, 而一条光秃的高速路则起到相反的作用 (图 18.4a)。如果上述三者的联合作用, 则其影响将是十分强烈的, 如果有这样一块土地, 上面覆盖的森林刚刚被砍伐用于农业或城市的发展, 而覆盖的积雪又被风刮尽, 那么这块土地此时的热量散失和霜冻扩散速度将达到最大值。图 18.4b 表示的是明尼苏达州草原地区积雪覆盖量与冰冻深度的关系, 从图中可以看出, 积雪覆盖量与冰冻深度成明显的负相关, 这主要是因为那些没有积雪的地方, 携带寒冷空气的风能够迅速而直接吹向地表, 造成地面温度的降低。

积雪覆盖 在北美的大部分地区, 有关冻土的深度并没有确切的记录, 大部分是通过一些气候记录估算而得到的, 例如美国本土冻土深度的标准图也是基于有代表性的冬季气候推算得到, 而没有考虑积雪或植被覆盖方面的因素 (图 18.5)。因此, 冬季实际测量出的冻土深度常常与图中值不符。例如美国东北角的缅因州, 有积雪覆盖的沼泽地区是没有冰冻现象的, 然而就在此附近的一个飞机场冻土的深度就大于 6 英尺。

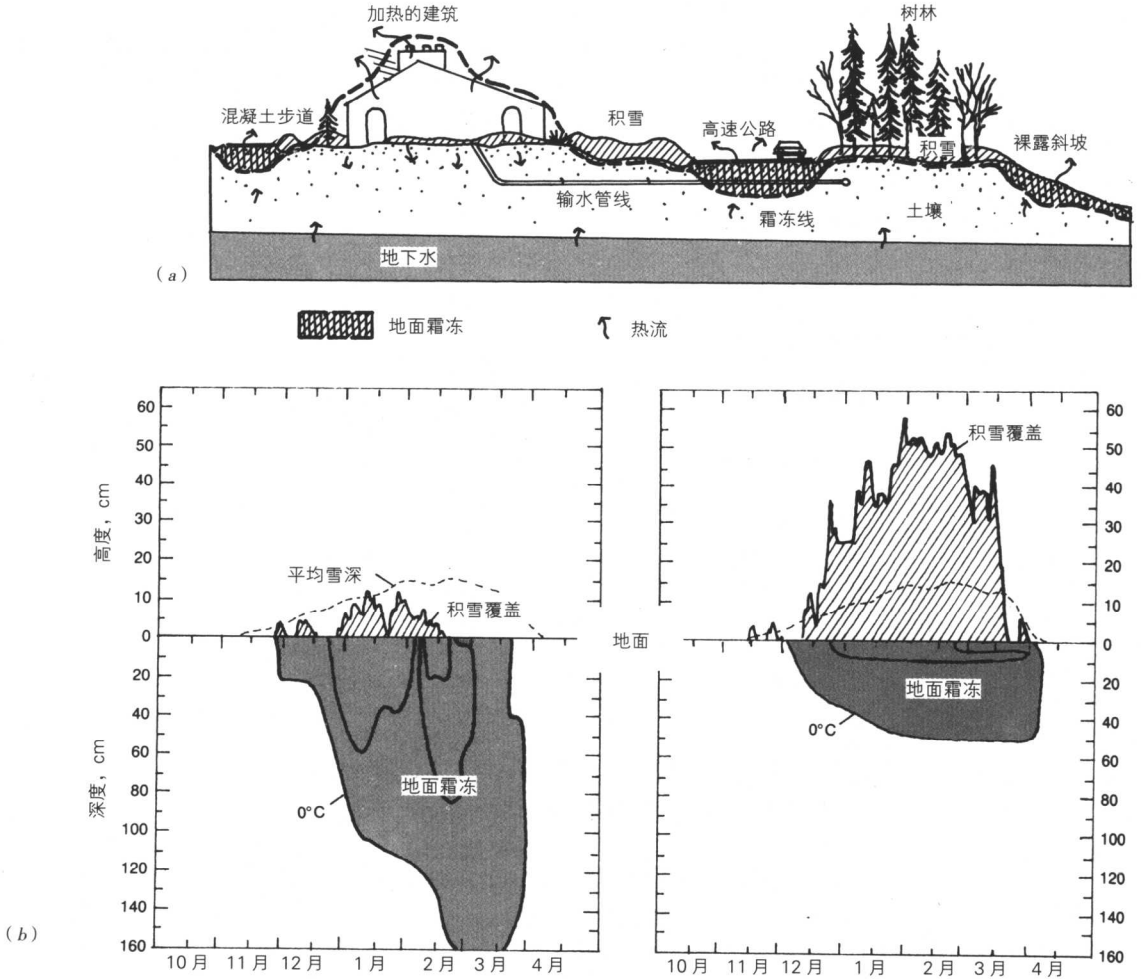


图 18.4 (a) 植被、土地利用方式、积雪覆盖等对霜冻分布和深度的影响示意图；(b) 积雪覆盖对霜冻深度的影响。左图中积雪少而霜冻深，右图中积雪多而霜冻浅

下面的公式和曲线图则是在考虑了积雪影响的情况下对霜冻深度的计算，可应用于美国北部和加拿大的南部地区，公式结合考虑积雪深度和热度日数来得出每英寸（或厘米）深度土壤温度变化值。利用这个公式的计算结果，我们可以从右边的曲线图中读出冬季零度等温线的最大深度（就如图中所示的20°F/英寸或4.4°C/厘米处的作法）。在这个例子里，零度等温线的深度大约为105厘米（41英寸）。

$$T = \frac{\sum HDD_{10月-3月}}{\sum (S \cdot n)_{11月-3月}}$$

式中

T = 每英寸（或厘米）深度土壤温度值（为了得到霜冻深度，这个数据应该从曲线图的纵轴上读出）；

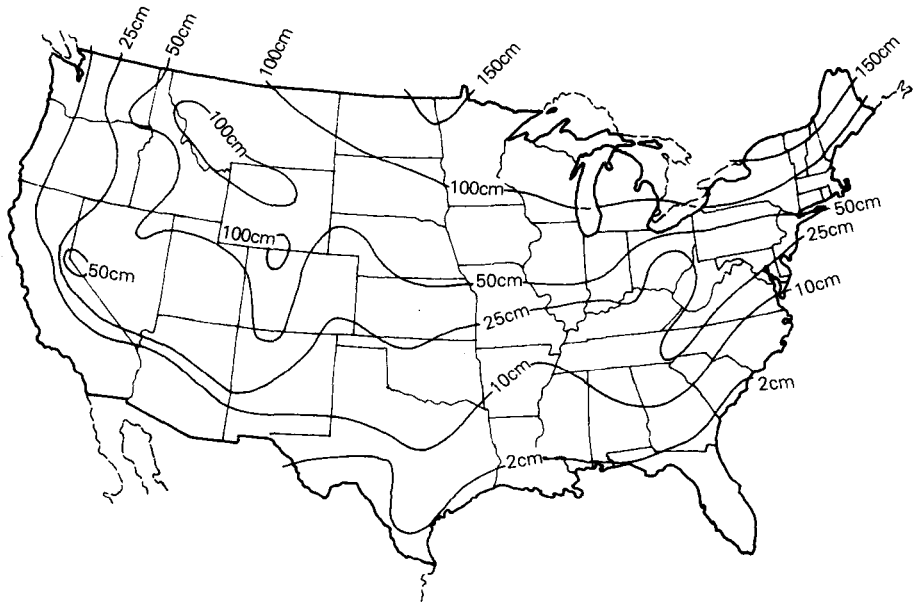
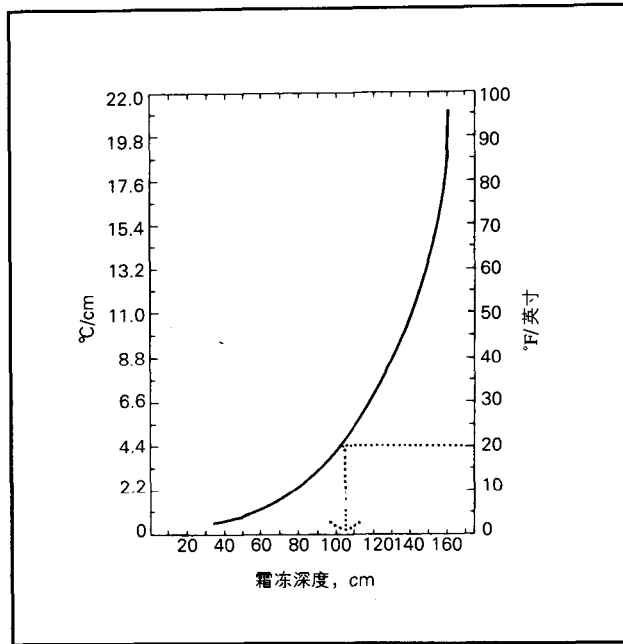


图 18.5 冬末土地霜冻深度预测图 (如果考虑到年度变化、场地积雪、土壤状况以及土地利用方式, 所得出的结果会与上图所示的有差异)

HDD = 热度日数, 从头年 10 月至第二年 3 月的总和;

S = 月平均雪厚度; 单位: 英寸;

n = 雪厚度大于等于 0.5 英寸的总天数 ($S \cdot n$ 是按月计算的, 并对从头年 11 月一直到第二年 3 月的值进行求和)。

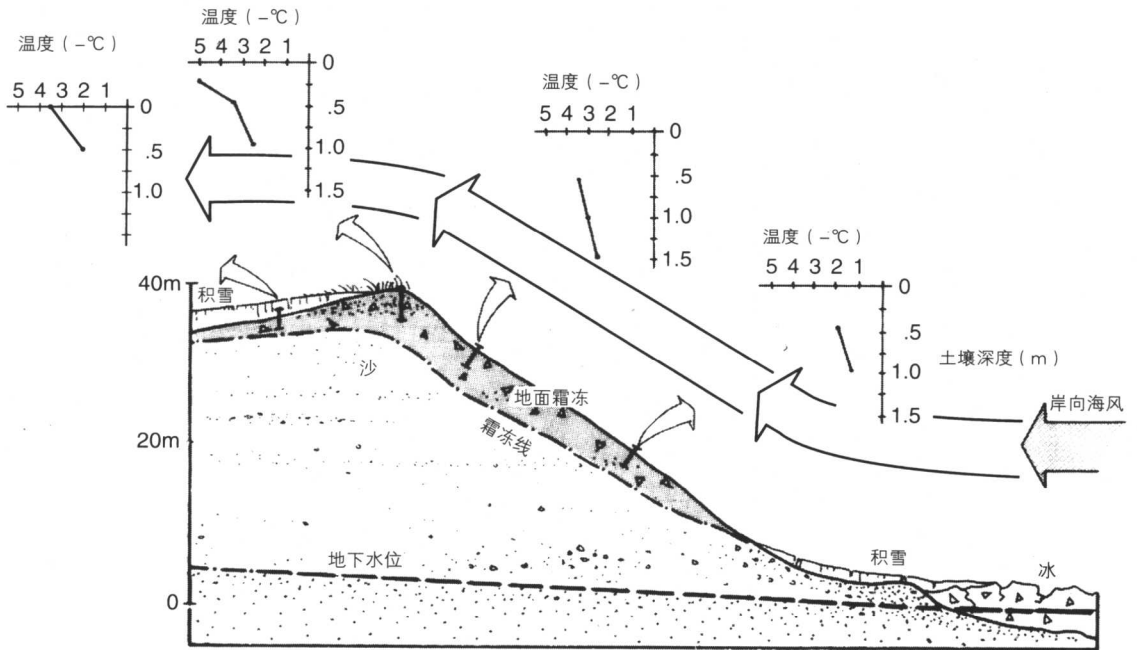


图 18.6 北向沙质坡面在冬季苏必利尔湖北风作用下的霜冻深度。风速随坡面上升而增大，热量散失相应增多；在坡面最高处风速最大，霜冻最深（参见图 15.8）

另外，地表的朝向以及裸露程度对冻土的形成也有很大的影响。很显然，朝南的坡面获得的太阳辐射要比朝北的坡面多（见第 16 章图 16.7a），而且北面的坡面还会经常暴露在寒冷的北风中（图 18.6）。除此之外，随着坡面高度的增加，风速也会相应增大，这样进一步加速了土壤热量的散失以及霜冻的纵向往透过程。在风速最高的山峰处，尤其是那些朝北的山峰，冻土层往往是最深的。

裸露的坡地

表 18.2 地面霜冻敏感度表

	低度敏感	中度敏感	高度敏感
土壤类型	有机土	潮湿矿物土 (黏土、壤土、沙土)	排水良好的矿物土 (壤土、沙土)
土壤湿度	水饱和土壤	潮湿土壤(接近饱和)	潮湿土壤(但远未饱和)
植被状况	有密集的植被	草坪以及低矮灌木	荒地
风的状况	很少暴露在寒冷、高速的风中(通常为南、东南及西南面的坡地)	中度暴露在寒冷、高速的风中(东、东北及西面的坡体)	高度暴露在寒冷、高速的风中(通常为北和西北方向的坡体)
积雪的覆盖	>50 cm (11月-3月)	10-50 cm (11月-3月)	<10 cm (在整个冬季间断出现)
太阳辐射	面南的坡面>20%	平地和一些场地内不规则的地形	面北的地区和阴地
土地利用/土地覆盖	公园、湿地、河流廊道的植林地	牧场、有植被地区以及高尔夫球场	机场、高速路、停车场以及荒地

绘制潜在霜冻
地区图

总而言之,在进行地面温度波动模式及霜冻深度的预测时,尤其是那些地形复杂的地区,我们必须综合考虑许多因素。然而不幸的是,这种包括了多个变量的数学模型是难以操作的,我们需要大量搜集有关场地的数据,并且这样的数据并不有利于绘图工作的完成。在为环境影响研究、总体规划以及限制性研究所作的环境资源调查过程中,我们往往是利用一些简单并且相对便利的方法来确定霜冻高度敏感区。其中应用最为普遍的是地图叠加法,我们首先绘制出一系列能反应霜冻可能性的单项地图,它们包括地形、植被、积雪覆盖、暴露程度、土地利用方式以及土壤状况等。其中,每一张单项地图的内部要素又依据对霜冻敏感程度分成三个等级,例如土壤,被分成(1)潮湿有机土;(2)潮湿矿物土和(3)排水良好的矿物土,对霜冻的敏感程度分别是不敏感、敏感和高度敏感(表18.2)。在对每一单项的地图进行分级后,我们需要再将它们进行叠加,这样就可以较为便捷地得到一张能够反应霜冻敏感性的综合地图了。当然,这种方法并不能反应出霜冻的具体深度,但它能够提供一个相对的概念,帮助我们分离出那些需要重点分析的区域,对以后一些较为细节的工作有指导性的意义。

18.4 永久冻土带

不连续的永久
冻土带

从美国南部边界一直往北进发,地面霜冻程度在不断的增大,直到加拿大的某个地方,夏季的阳光已不足以完全溶化寒冷冬季产生的霜冻,这里出现了永久冻土带。在持续寒冷的土壤条件下,永久冻土带可达到几百英尺的厚度,最深处受到来自地壳热量的补偿而停止继续渗透。在遇到不断变化的地形时,永久冻土带首先是在一些朝北的坡面下(这些地方的太阳辐射较少)或是在一些具有绝热作用的有机土壤层下形成一些彼此独立的小块。据报道,在北美地区,这样的小块冻土带的南部界限出现在北纬50°的劳伦高原(加拿大东部一高原地区,从五大湖区和圣劳伦斯河向北延伸至北冰洋,这一高地还包括了格陵兰岛的大部分,并构成美国的阿迪朗达克山脉的一部分——译者注)和更南边罗基山脉(Rocky Mountains)的高海拔地区,然而,它们只是以零星状态分布。这些小块冻土是大量永久冻土地带区域的南缘,被称为不连续的永久冻土带。它们横穿整个北美地区,从加拿大东部的拉博拉多到阿拉斯加西部的白令海峡。

连续的永久
冻土带

再向北行,块状的永久冻土带变得更广和更深,而且通常会被一层被称作是活性层(永久冰冻层上的溶化层——译者注)的土壤所覆盖。活性层随季节的变化结冻或溶化。在北极圈附近,不连续的永久冻土带逐渐被连续的冻土带所替代。在这里,冻土层连绵不绝,覆盖着广袤无垠的大地,最深处甚至超过1000英尺。当然,永久冻土层的厚度也会随夏季的到来发生一些变化。在不连续的永久冻土带,冻土通常是6-12英尺的厚度,但朝向北极的部位往往十分薄,或者消失在与连续永久冻土层相连接的地带(图18.7)。尽管永久冻土显然是一种陆地现象,然而其中有一部分却一直延伸到了北冰洋浅海区下,这是冰河时代的残留物,也是那一时代的有力见证,要知道,那时的海平面是要远远低于今天的海平面的。

夏季霜冻溶化

永久冻土地带的另一个重要特征就是土壤热量的季节性变化显著。在夏季地表热量的作用下,活性层逐渐开始活动(图18.8a)。随着地表的解冻,土壤

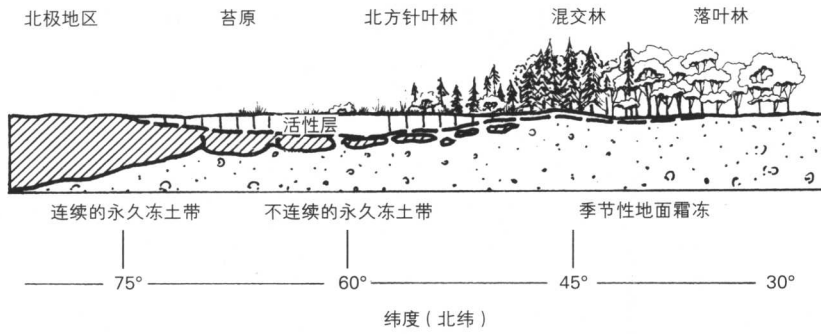


图 18.7 北纬 30° 至北纬 80° 地区植被及地面霜冻带示意图

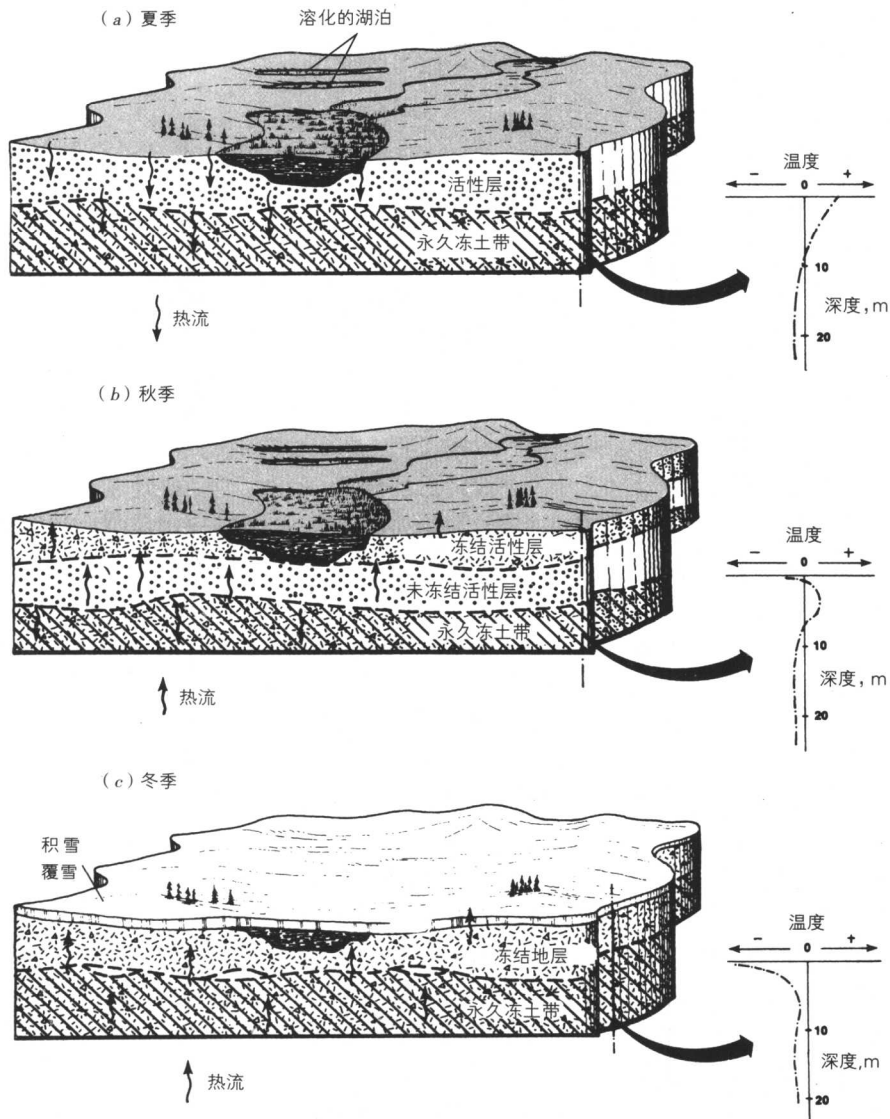


图 18.8 永久冻土带地面热量的季节性变化模式

冻结 逐渐被冰雪融化成的水所饱和，地面上形成一些融化湖，地表径流系统也得到活化。但在秋季到来时，活性层上部热流倒转，地面水体结冰，径流系统停止活动，霜冻由地表缓缓向土壤的深处渗透。然而在此时，活性层的下部仍处于融化的过程中，热量从这一相对温暖的区域向上下两个方向流动（图 18.8b），温度曲线图就像一个勺。在接下来的冬季里，活性层完全冻结，地面温度远远低于零摄氏度，整个温度梯度与夏季相比完全相反，热流由下向上，此时，永久冻土层反而成了冬季里地表热量的主要来源（图 18.8c）。

18.5 土地利用与冻土

地面沉降 在绝大多数的永久冻土区，现代化的土地利用方式总是存在着一系列的问题。在过去的半个世纪里，阿拉斯加、加拿大北部以及俄罗斯等地建立的军事设施、道路、高速公路和社区现已被证实存在着许多自然方面的问题。最初，随着地表植被的清除和地表分级，土壤的能量流（包括热能和太阳辐射能）在地平面上发生改变，当人们在清理过的地面上进一步放置混凝土和沥青等外来材料时，活性层的热状况发生更大的改变，变得更冷或是更热。在那些冰里夹杂着大量土壤的冻土区，土壤的融化将减小冻土的体积（当固态冰转变为液态水时，体积将减小约9%），导致地表下沉，形成热喀斯特地貌。塌陷的地表容易积水，造成植被和土壤性质的改变，这一改变反过来又进一步加速了溶解和热喀斯特地貌的形成。当人们把建筑物采暖、石油管道等设施建立在地面上而没有良好的绝热措施时，活性层容易受到这些物体的影响，对于建筑本身和环境而言，地面沉降程度可能会更加剧烈并且十分危险。据预测，俄罗斯每年与冻土相关的输油管道的损坏会造成每年数百万吨的原油泄漏进入苔原、北方针叶林和西伯利亚的溪流地区（图 18.9）。

排水问题 另外，夏季排水不畅、地表稳定性差（易下陷和移位）也是永久冻土地带面临的主要问题。以穿越阿拉斯加的输油管道为例，为了减少传输过程中热量对于冻土的影响，辅助性道路被修建在抬高的砾石路基上，但这样又产生了另外的一个问题，道路常常阻挡了夏季的排水，造成水塘和湿地水平面的上升，威胁道路系统。排水、地面沉降、用水的供应以及废弃物的处理，这些问题综合起来在很大程度上限制了永久冻土地带城市的发展。在北美，城市发展的最北端几乎与年均零摄氏度（0℃）等温线完全吻合，落在永久冻土地带以南几百英里处（图 18.10）。

公共设施的损坏 除永久冻土带存在的许多问题外，季节性霜冻地区的土地利用也是有许多困难的。欧洲北部、加拿大南部、美国北部以及世界上许多国家和地区都会遇到以下的一些问题，地表霜冻阻断高速交通、损坏建筑物地基、造成水管的冻结或炸裂等。在美国和加拿大，建筑条例推荐建筑物的地基要低于可能的霜冻深度（如美国和加拿大交界处为4-5英尺深）以确保房屋的安全。然而尽管有这么多的设计规范和特殊的工程技术，在美国的明尼苏达州、威斯康星州、密歇根州和安大略湖区，在一些特别寒冷的年份仍然有许多水管被冻结，这些地区需要耗费数百万美元对它们进行修复。另外高速路也容易遭受霜冻危害，由于路基中冰晶体的作用使得公路发生一种名为冰离析的冻胀现象，是公路面临的一个严重问题。为避免这一现象的发生，高速路的建设要求使用砾石作为路基，这种材料能够减缓底层土壤毛细水的上升速度，进而减少了路基中冰晶体的形成。

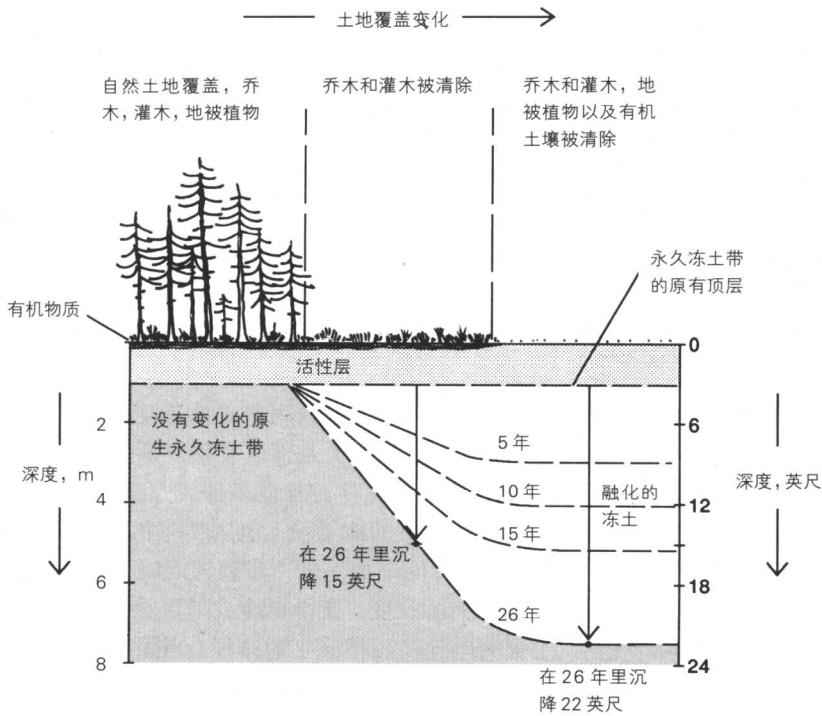


图 18.9 (a) 地表原有植被的清除对于永久冻土地带深度的影响; (b) 房屋的取暖造成永久冻土的融化从而进一步导致地面沉降

18.6 规划应用

除了上文中提到的一些关于工程技术方面的规范外,在永久冻土地区以外的社区规划中,有关土地霜冻现象的正式规定仍十分欠缺。尽管对于永久冻土带而言,我们在规划方法和实践中决没有达到充分认识和了解的地步,但人们对永久冻土带的重视程度是要远远高于一般霜冻地区的,甚至是环境最为恶劣的地区。在现代化的工程技术已经使永久冻土区的基础设施建设成为现实的今

问题

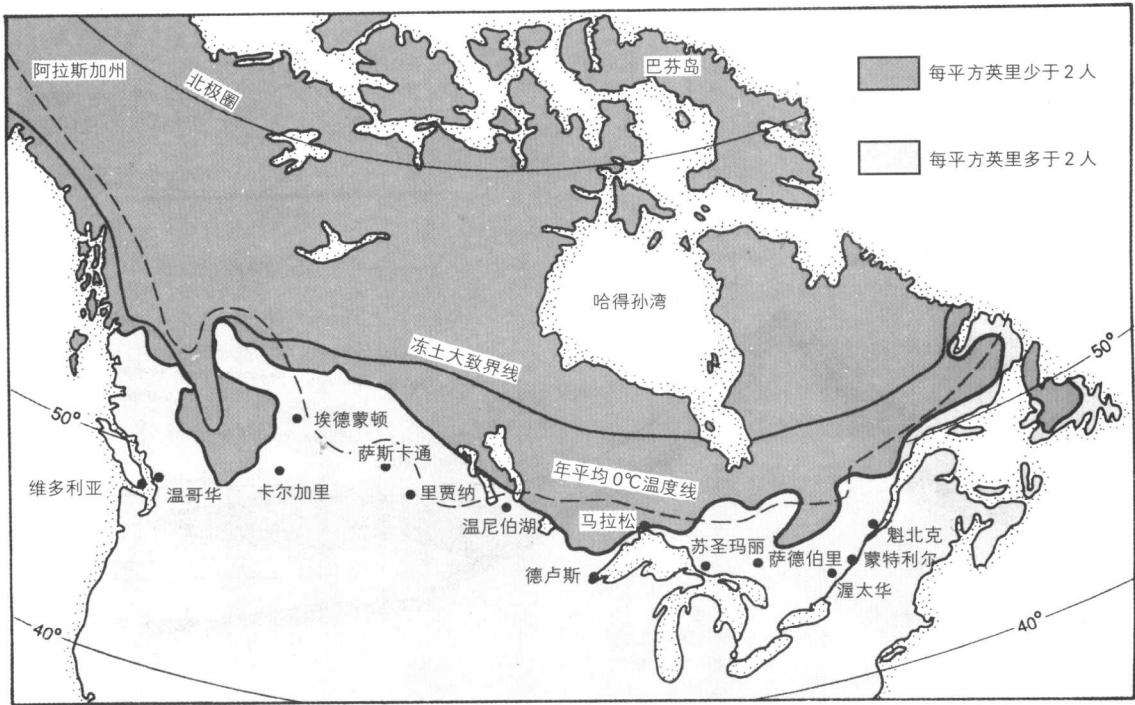


图 18.10 北美地区永久冻土带南端分界线、年平均0℃温度线以及加拿大城市发展北部界线比较图

天，我们仍然十分缺乏一些能够减少建筑物对环境影响的方法和手段。至少现在我们是无法完全弄清楚这些建筑对于环境的全部影响，因为对环境的影响需要时间才能慢慢体现出来的。就那条横穿阿拉斯加的输油管道而言，它的建设对于未来环境的许多影响就是不清楚的。

自然资源保护局 (Natural Resource Conservation Service, NRCS) 在考察阿拉斯加州的费尔班克斯 (Fairbanks) 规划区的发展计划时，就考虑并评价了永久冻土区可能会产生的一系列潜在问题。首先，第一层次上的评价是确认发展计划所占用的土地是否有永久冻土问题。NRCS在费尔班克斯地区原有的永久冻土的研究基础上，将戈尔德斯特姆 (Goldstream)，索利什 (Saulich)，埃斯特 (Ester)、莱梅塔 (Lemeta) 等地的土壤划为高度敏感的永久冻土 (图 18.11)。对于那些可能涉及这些土壤的项目，NRCS需要进行第二个层次的评估，进一步考虑建议项目的设施类型和活动利用方式。如果环境和项目没有矛盾，即项目不会破坏环境，环境也不会破坏项目，那么这一建议是可行的。另外在一些环境和项目不那么匹配的情况下，建议的项目可能需要有一些小的改变，例如建筑物地点的调整，或是在地基和管道的建设时利用特殊的工程技术方法等 (图 18.12)。但还有一种情况，可能项目与环境根本不相容，那么 NRCS 则不会推荐这类项目。

在 NRCS 评价完成后，规划将交给规划代理机构进行进一步审核，在那里，许多技术领域的工作人员以及有兴趣人员将一起对规划进行讨论，形成一个共

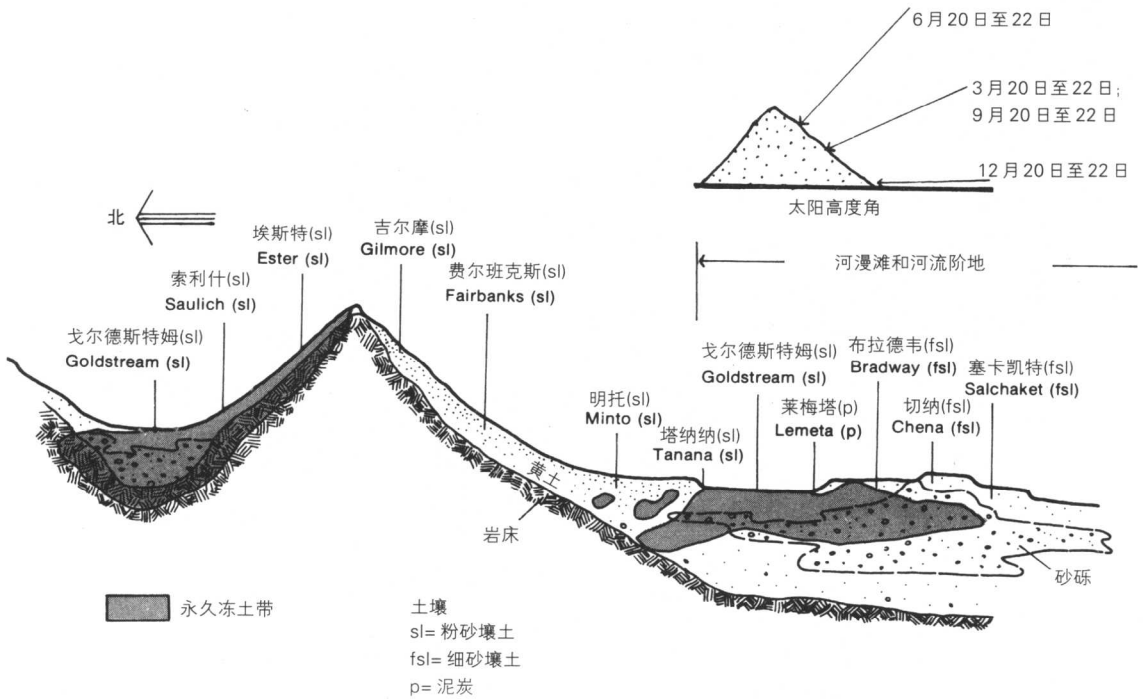


图 18.11 阿拉斯加费尔班克斯地区土地类型及永冻敏感性示意图

同的意见。这样的意见会交由一个决策机构（如规划委员会、县委员会、市议会等机构）来研究和讨论，进行投票。这时，项目会有以下四种结果：通过；否定；在征求申请者的同意后做部分的改进；或是交还给申请者或评论者继续研究和编制。

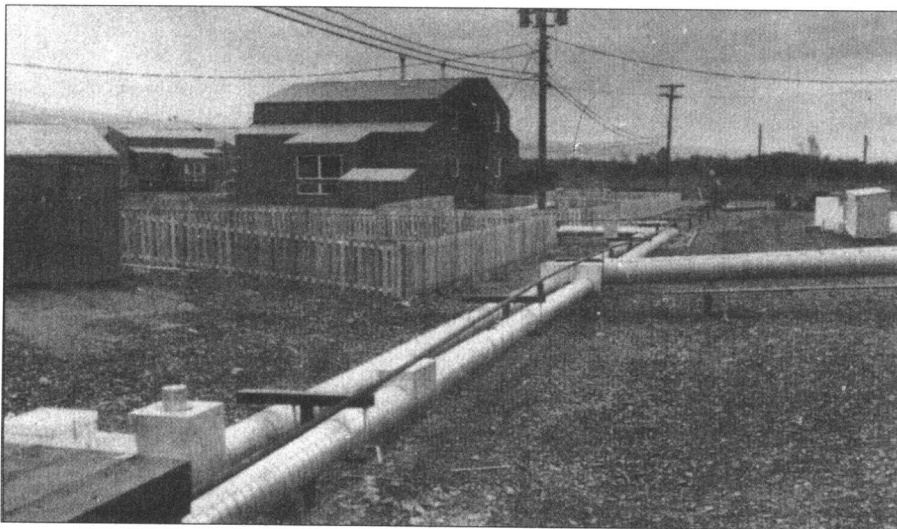


图 18.12 针对冻土地带的房屋及管道设计 [加拿大西北地区的诺曼韦尔 (Norman Well)], 将房屋、水管以及污水管道等都建在地面上以减小热量波动对永久冻土的影响

18.7 案例研究

永久冻土带与穿越阿拉斯加州的输油管道

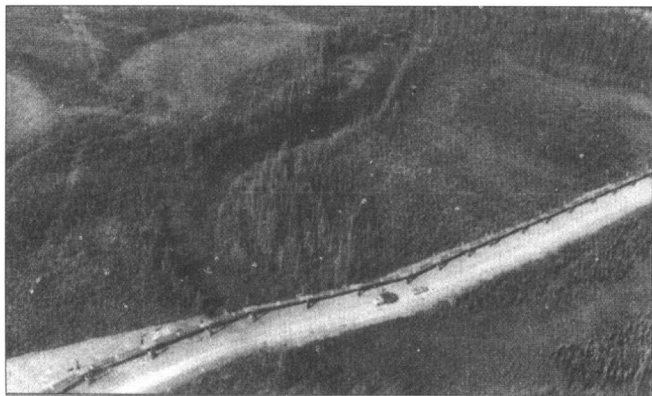
彼得·J·威廉斯 (Peter J. Williams)

通过这个案例我们可以了解到冻土区域建设的谨慎性。这条穿越阿拉斯加州的输油管道最初的建议是利用传统的方法将管道建在地下,从普拉德霍湾 (Prudhoe Bay, 靠近美国阿拉斯加州北部, 附近地区盛产石油和天然气——译者注) 一直到瓦尔迪兹 (Valdez, 美国阿拉斯加州南部港市——译者注), 全长 800 英里。但事实上, 最基本的问题是温暖的输油管道很可能造成永久冻土的融化。正如前文提到的一样, 由于冻土是一种冰和土壤的混合物, 因此冻土的融化将不可避免地造成地面沉降。在规划的一期, 人们想到利用一条冷却的管道: 降低原油的温度来防止冻土的融化。但由于油在低温时流动性能差, 因此这个方法是行不通的。但在接下来的天然气管道运输规划中是否可以运用这种方法, 答案也仍是未知的。

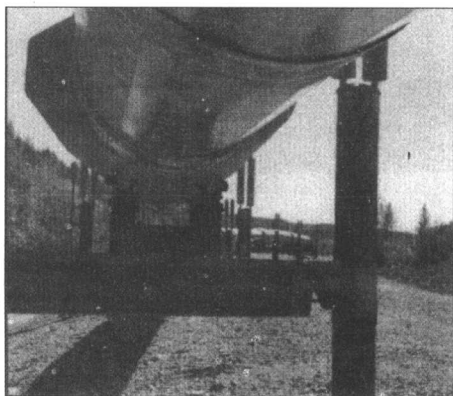
在最初的方案中, 有接近四分之三的管道会穿过冻土地区, 其中至少一半是含有冰的, 这样很容易造成地面的沉降。据估计, 温暖的管道在最初的一年里就能够导致近 30 英尺的土壤融化, 当然, 根据原有土壤的温度以及土壤的类型不同, 这个数字是会有所变动的。

在普拉德霍湾附近, 永久冻土层的厚度约为 2000 英尺, 但在湾更南一些的地方, 冻土的厚度却要薄得多 (尽管不同地区会有一些变化)。当然, 输油管道周围土壤融化的速度一定是逐渐减慢的, 但随着时间的推移, 其影响的范围 (融化的土壤范围) 却一定是越来越大的, 塌陷的程度取决于融化层中“多余”的冰的含量, 但大多会有好几米的下沉。显然, 这些还未确定的影响很可能会极大地毁坏输油管道。

随着研究的进一步深入, 我们发现这一地区土壤含冰量要比先前预测的多得多。可能融化并产生塌陷的地区变得越来越多, 相应的需要建设在地面上的管道也变得越来越多, 这与最初的想法有了很大的不同。我们将输油管道架起, 空气从管道的下部通过并带走管道产生的热量, 极大地降低了冻土



建设中的阿拉斯加输油管道及其辅助道路, 1975 年



带有变温装备的 VSMs 减小了对永久冻土的破坏

融化的可能性。考虑到管道热胀冷缩的可能,工程中使用的管道支架(或称为垂直支撑构件——VSMs)能够在水平方向上有一定平移。

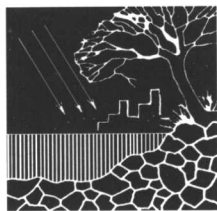
当然,即便使用了VSMs也不能百分之百地保证避免冻土层的融化。除了那些极度寒冷的最北边地区外,建设过程本身就很有可能启动冻土的融化过程,加上气候的变化,情况是难以预料的。

最后,最终的解决方案还是落到了VSM上,一种可变温的VSM产生了。这种变温的VSM内部密封一个直径2英寸的小管(含有无水氨,一种制冷剂),它们一直延伸到地表下,冬季到来时,由于地下温度高于地上温度,无水氨从小管的底部向上蒸发,小管的上部有金属热交换器,无水氨在那里凝固,降低了支架底部和周围地面土壤的温度。这个小小改变的关键在于:降低冬季里永久冻土的温度以保证它在夏季不被融化。变温的VSM降低了地面的平均温度,能够有效防止地面的坍塌。在整个工程中,共有380英里的管道建在地上,其中的80%使用了可变温的VSM。

作者简介:彼得·J·威廉斯(Peter J. Williams),地理学教授,渥太华卡尔顿(Carleton)大学地球技术科学实验室主任,寒冷地区发展问题研究专家(引自 *Pipeline and Permafrost: Physical Geography and Development in the Circumpolar North*, Longman, 1979. Used by permission of the author.)

18.8 推荐阅读文献

- Allen, L. J. *The Trans-Alaska Pipeline*. Alyeska Pipeline Service, 1977, 2 vols.
- Baker, Donald G. "Snow Cover and Winter Soil Temperatures at St. Paul, Minnesota." *Water Resources Research Center Bulletin* 37, University of Minnesota, 1971.
- Brown, R. J. E. "Influence of Climate and Terrain on Ground Temperatures in the Continuous Permafrost Zone of Manitoba and Keewatin District, Canada." *Third Conference of Permafrost Proceedings*, 14, Edmonton, vol. 1, 1978, pp. 16–21.
- Brownson, J. M. J. *In Cold Margins: Sustainable Development in Northern Bioregions*. Missoula, MT: Northern Rim Press, 1995.
- Ferrians, O. J., et al. "Permafrost and Related Engineering Problems in Alaska." *U.S. Geological Survey Professional Paper* 678, 1969.
- French, H. M. *The Periglacial Environment*. New York: Longman, 1976.
- Péwé, Troy L. "Effect of Permafrost on Cultivated Fields, Fairbanks Area, Alaska." In *Mineral Resources of Alaska, Geological Survey Bulletin* 989, 1951–1953, pp. 315–351.
- Smith, M. W. "Microclimatic Influences on Ground Temperatures and Permafrost Distribution in the Mackenzie Delta, Northwest Territories." *Canadian Journal of Earth Science* 12:8, 1975, pp. 1421–1438.
- U.S. Natural Resources Conservation Service. *Soil Survey: Fairbanks Area, Alaska*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1963.
- Walker, D. A.; et al. "Cumulative Impacts of Oil Fields on Northern Alaskan Landscapes." *Science* 238, 1987, pp. 757–760.
- Washburn, A. L. *Periglacial Processes and Environments*. New York: St. Martin's Press, 1973.
- Williams, Peter J. *Pipelines and Permafrost: Physical Geography and Development in the Circumpolar North*. New York: Longman, 1979.



第 19 章 植被、土地 利用与环境评价

- 19.1 简介
- 19.2 植被的描述与分类
- 19.3 植被变化趋势
- 19.4 敏感环境的概念
- 19.5 植被作为环境规划的工具
- 19.6 植被分析方法
- 19.7 植被抽样
- 19.8 植被与环境评价
- 19.9 案例研究 得克萨斯州中部某居住区规划中有关野生动物栖息地的考虑
- 19.10 推荐阅读文献

19.1 简介

众所周知, 植被是与土地利用和环境变化结合最为紧密的景观元素, 它们不仅是景观环境中最显眼的部分, 而且还是环境敏感的“指示器”, 在没有经过仔细观察和测量的情况下能够对大部分景观的现有状况和变化趋势起到一定的指示作用。例如, 如果在高速公路旁发现树木失去活力, 则很有可能是此处的排水系统受到损害或是空气污染严重, 提醒人们应该对环境问题引起重视; 如果在农村地区, 洼地和河漫滩处灌木和乔木的生长状况发生变化, 很有可能是对严重沉积现象的一种反应, 告诉人们有必要对侵蚀进行治理。

除作为“指示器”外, 植被在景观环境中还扮演着十分重要的功能角色, 它们能够对径流、土壤侵蚀、坡体稳定性、小气候以及噪声等现象起到一定的调节作用。在场地规划中, 植物不仅起着环境调节的作用, 同时能够增加场地的美感、空间结构感, 影响行人的行为、控制场地的边界。当然, 尽管还有许多其他的景观设计方法和材料能够提供类似的功能, 但很少有什么方法和材料能在通用性和价格方面与植物相媲美。因此, 景观设计师们的许多工作都是关于植被设计的。

然而, 植物也有负面的影响。影响最为严重的要数那些生长在城市、城郊以及乡村地区的有毒植物, 它们大都是一些杂草, 例如对人体有毒害作用的常春藤和豚草(常常导致人们的过敏反应)等。另外, 外来植物入侵也是一个极其糟糕的事情, 它们对本土植物和当地的生态系统都会有极大的影响。举两个植物入侵影响最显著的例子: 葛藤——一种原产于亚洲的蔓生植物, 现已在美国南部泛滥成灾, 导致大量本土植物景观丧失, 破坏当地生物多样性; 另外千屈菜(一种有长满紫红色花朵长穗的欧洲沼泽植物)在美国东部、加拿大东南部和中东地区大面积生长, 替代了当地的灯芯草、芦苇以及其他一些本土植物。

19.2 植被的描述与分类

我们知道, 绝大多数涉及环境变更的规划都必须具备一份对规划区域内植被资源进行描述的文件。它可以与土地利用的详细清单结合起来制成一张土地覆盖图, 或是直接作为一项单独的工作(包括湿地图、植物品种的详细清单以及一些相关信息)。当然, 无论是进行哪一种描述, 其目的都是要弄清楚规划区域内植被的分布和组成状况, 因此在这个过程中, 景观设计师们需要选择一种恰当的植物或植被分类系统。植被状况的详细描述是环境影响评价中一个通用的、基本的要求, 然而一位认真负责的调查员常常会提供基于几个不同植被分类系统的植被详细清单和描述性信息。

下面介绍三种较为常用的植被分类系统: (1) 林奈植物分类系统, 这是最为常用的一类植被分类系统。它根据生物科、属、种等对个别植物进行, 用的是最普遍认可的植物学名称系统。植物通常按种属引用并用拉丁文进行表述, 例如 *Pinus monticola* (西方白皮松); (2) 形态结构分类系统, 是一种基于植被群落总体特征(特别关注主要植物即最大和最多的植物), 针对植被集合的描述性分类系统。习惯上所说的季雨林、热带(或亚热带)稀树大草原、草原以及沙漠

分类系统

等就是这样的一类分类系统；(3)生态分类系统，这种方法以植物栖息地或是起限定作用的环境因素（如土壤湿度、季节性大气温度等）作为分类的基础。这种分类系统也是惟一一类常常与生态系统相联系使用的分类方式，可以用一些宏观的生态系统，如湿地、漫滩、沙丘以及溪流廊道等来命名植物的栖息地类型，有时会扩展开并与植物的形态结构特征相联系。作为生物物种保护的一条重要途径，人们已越来越关注生物栖息地的保护问题，因此，这种与栖息地相关的生态系统分类方法也显得格外重要起来。

选择系统

关于分类系统的选择，需要遵循一些环境规则，同时应该结合规划项目中场地景观的实际情况。在很多情况下，景观设计师面对的土地是经过反复利用的，植物种类就像是一种大杂烩，有人工林、灌木篱墙、防风林以及一些自然的残余斑块（如湿地等）。设计师们需要从生物学的观念出发，考虑植物的种类、种群以及群落，同时也要将它们看成一种资源，考虑它们每年的有机物产量、在构建景观中的价值以及它们对于地表径流、土壤侵蚀和其他一些环境过程的控制作用。因此，在大多数的规划中，我们都需要结合利用以上三种分类系统。

五层次分类系统

表19.1给出了这三种分类系统的基本分类原则，它们总体上又被分成五个层次，每一层次对应一种不同的分类要素：层次I是基于植被整体结构；层次II是基于占优势的植物类型；层次III是基于植物的大小和密度；层次IV是基于植被生长的场所和栖息地；层次V是基于重要的植物种类。其中，层次V包括了稀有的、濒危的、受保护的、具有特殊价值（表明具有特殊价值的植物也是今天规划项目中一个基本的要求）的以及对于现存景观的管理和设计有价值 and 帮助的植物。

19.3 植被变化趋势

早期的森林砍伐

历史上，最早同时也是最为戏剧性的一次植被变化发生在19世纪的北美，世界上没有任何一处地方像加拿大南部和美国东部那样发生过如此迅速、剧烈的变化。1800-1900年间，美国就有超过500000平方英里的原始森林被砍伐。目前，大多数不适宜耕种的土地，如阿巴拉契亚山脉以及北美五大湖地区地理位置较高的地方，都已恢复成森林，但在物种组成上与先前发生了很大的变化。另外有大量的森林砍伐区已经变成农田，遍及美国中西部、东部以及南部，涌现出大量的农业景观地带（图19.1）。

残留的栖息地

在这些农业景观带中，仅有那些不适合耕作的地区（如沼泽、较深的山谷流域等）在这场毁灭性的变革中幸免遇难，原始的植被得以保留。然而就是这样的地方，也在以惊人的速度减少和变化着。自从美国（不包括阿拉斯加州）有人定居以来，超过50000平方英里的湿地被毁，从1950年算起，被破坏湿地面积的70%-90%都转化为农业用地。除此之外，那些残存的植被斑块中的植被构成也发生了很大的变化，残存的斑块面临着面积缩小、人类砍伐、土壤沉积、洪水、本土原生树种灭绝以及外来物种入侵等多方面的威胁。

植被变化的第二种趋势是农业用地的减少，其中有两次较重大的事件，一是19世纪边缘地区农田的减少；二是20世纪的乡村人口城市化的过程。随着一些小型农田的废弃，许多耕地逐渐恢复成为自然的植被状态。然而，由于土壤品质的退化，这样的恢复过程并不十分顺利。几乎很少有例外（如宾夕法尼

表 19.1 多层次植被分类系统

层次 I (植被结构)		层次 II (优势植物类型)	层次 III (大小和密度)	层次 IV (场地和栖息地 及相应的用途)	层次 V (特殊植物种类)
密林 (树木的平均高度超过 15 英尺, 并有至少 60% 的林冠覆盖)		如: 橡树、山核桃、柳树、棉白杨、榆树、椴树、枫树、白蜡、桦树	大小 (树木胸高处直径) 密度 (每英亩林地的平均树干的数目)	如: 高地 (也即排水良好的地形)、泛洪平原、斜坡面、树林地、绿带、公共绿地、居住用地	稀有或濒危物种; 通常是地被植物结合有某种森林类型
疏林 (树林的平均高度超过 15 英尺, 林冠覆盖度为 20%–60%)		如: 松树、云杉、香脂冷杉、铁杉、道格拉斯冷杉、雪松	大小范围 (最大与最小的茎干之间的差距)	如: 高地 (也即排水良好的地形)、泛洪平原、斜坡面、树林地、绿带、公共绿地、居住用地	稀有或濒危物种; 通常是地被植物结合有某种森林类型
果园或种植园 (与密林或疏林相同, 但种植形式相对规则)		如: 苹果、桃、樱桃、云杉、松树	树木的大小、密度	如: 正在使用的耕地、废弃耕地	对于计划的开发项目, 在景观营造方面有潜力的物种
灌木林 (通常高度小于 15 英尺的乔木或灌木, 而且茎干密布, 但林冠覆盖度变化较大)		如: 漆树、柳树、丁香、山楂、桤木、樱桃、刺柏丛、灌木橡树	密度	如: 闲置耕地、填埋地、受干扰用地 (如原先的建筑用地)	对于计划的开发项目, 在景观营造方面有重要意义的物种
篱笆地 (乔木或灌木混合的形式沿着道路、农田、院落或运动场边界种植)		任何乔木或灌木	树木的大小、密度	如: 正在使用的耕地、公用道路、庭院、运动场	物种的价值在于提供动物栖息地和起到屏障的作用
湿地 (通常是低矮、高密度植物覆盖在潮湿地区)		如: 香蒲、白蜡、雪松、越橘、芦苇	覆盖百分比	如: 泛洪平原、泥沼、潮汐湿地、水库、壅水、河流三角洲	物种和植物群落具有重要的生态、水文意义; 稀有和濒危物种
草地 (草本占优势的地区)		如: 绿茎草、丛生禾草、沙丘草	覆盖百分比	如: 草原、苔原、牧场、闲耕地	物种和植物群落具有重要的特殊生态意义; 稀有和濒危物种
农田 (农业种植用地)		如: 玉米、大豆、小麦和野草	农田大小	如: 斜坡或平地、渠化可排水地、软泥地、灌溉地	特殊或惟一的农作物; 在标准的农作物中有例外的生产力水平

资料来源: 摘自 W·M·马什的《土地利用和场地规划中的环境分析》(Environmental Analysis for Land Use and Site Planning) (1997 年, 纽约 McGraw-Hill 图书出版公司出版)。本表的使用得到 McGraw-Hill 图书出版公司的允许。

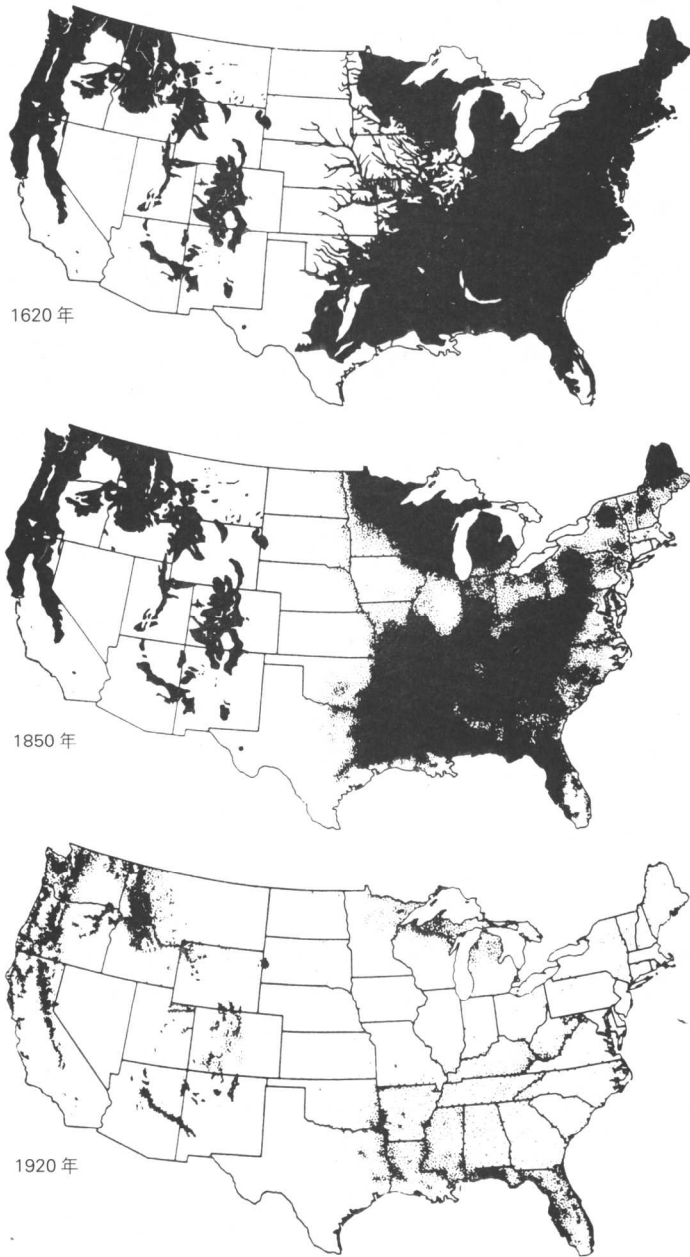
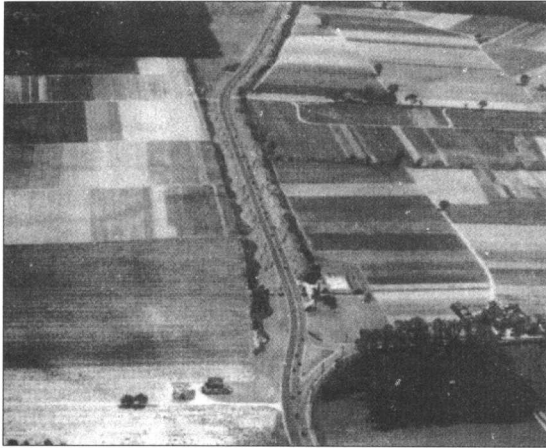


图 19.1 从16世纪至19世纪早期美国原始森林面积的减少情况。从图中可以看出，1920年前，大量的林地转变为农业用地。1950年前后，农业用地缩减，除城市中心区外，许多森林得到了重建

农田的衰败

亚州的德国后裔)，美国本土的农民在19世纪和20世纪初时都是在土地上十分努力耕种的。然而，由于大多数已知的土壤肥力保持和农作物管理工作常常被忽视，因此经历一到两代人后，那些由林地改造成的农田便被废弃了。接着，次生性的野生植物入侵，种类上与废弃前田边的杂草并无太大的区别，主要是本土以及由农民无意引入的外来品种（据估计，在美国东北部以及加拿大的东部地区，引入的外来植物品种占到植物品种总量的20%）。尽管与50年前的植



(a) 1933年



(b) 1959年

图 19.2 上图显示了从 (a) 1933 年到 (b) 1959 年期间, 纽约长岛瓦莱斯蒂姆 (Valley Stream) 地区的农田转化为郊区的居住用地(瓦莱斯蒂姆镇是纽约东南部的一个村落, 位于长岛西南部, 它主要是一个居住区。人口 33946——译者注)

被构成有所不同, 但这些次生的植物也能够起到稳定和重建土壤、减少地表径流量和土壤侵蚀, 恢复动物栖息地等积极的作用。

另一次造成植被变化的事件是二战后城市的快速扩张。战后城市扩张的初期, 城市的发展只是利用废弃的耕地, 然而随着扩张速度的加剧以及土地价格的不断上扬, 城市的发展逐渐蔓延到那些未被废弃的农田地区 (图 19.2)。此时, 几乎是哪里有城市的扩张, 哪里的植被就要遭受到毁灭性的破坏, 包括篱笆占据的土地、小块林地、农场果园以及废弃耕地的次生林地。除此之外, 大片栖息地 (如滨水林地廊道) 破碎化现象严重, 而且面积不断减少。仅在最近的几十年间, 城市扩张才逐渐改变了这种毁灭性的发展模式, 这主要是依赖于以下事件的发生: (1) 环境保护条例的颁布和加强, 特别是有关湿地和物种保护法令的实施; (2) 公众压力, 尤其是来自非政府性环境保护组织的呼吁, 如山岳协会 (Sierra Club)、冒险家联合会等, 以及 (3) 有经验的开发商, 特别是房地产开发商意识的觉醒, 他们认识到, 小块林地、湿地以及篱笆占据的土地与房产一样是具有经济价值的。

城市扩张

随着时间的变迁, 大部分郊区逐渐呈现出一种新的景观面貌, 植被不停地生长, 同时发生着相对迅速的变化来适应新的生长地。在大多数地区, 街道上的树都处于幼年时期, 需要十年甚至几十年的时间才能成熟, 篱笆也是刚刚种上的, 院子的主人正在忙于用本土树种替换那些难以生长的外来树种。测试城郊植被成熟度的方法之一是看野生物种的多样性和丰富度, 如鸣禽、松鼠、负鼠以及浣熊等。通常, 动物栖息地是随植物的密度、多样性以及生物产量的增加而增加的。然而, 由于院子主人对院内植物品种的限制以及建筑用地地形结构的简单化, 因此城郊植被的丰富程度是远不及城市扩张前的乡村植被的。

城郊栖息地

植被变化的第四种趋势是随着城市的衰败而产生的城市及城郊景观的恶化。随着城市内部、工业区以及旧居住区的衰落, 城市中的许多建筑成为废墟, 只剩下杂草, 古老的院落和道路。例如, 底特律市中大部分被废弃的房

城市衰退



图 19.3 在一些城市（如底特律），大面积废弃的居住邻里被野生乔木、灌木、草本和易变的庭院植物所代替

屋和街道现已长满杂木（如羽叶槭）、灌木（刺柏属丛木或树木）以及一些有毒的植物（豚草属植物）等（图 19.3）。然而与此同时，为恢复商业区活力、丰富街道景观，城市内部正进行着街道绿化、公园绿化以及滨水区绿化带的建设（图 19.4）。

人工经营林

人们除为美化城市景观并提供良好生活环境进行人为的植树外，为得到木材以及其他的一些森林产品，人们也进行植树造林。当然，人工林的植被构成在人为管理条件下也是持续变化的。例如，森林管理者为保证木材的稳产就必须进行选择性的砍伐，不仅有意地保护一些特别的品种，同时还会清除一些较老的林地。此时，人为因素在人工林的植被构成中起到决定性作用。然而，还有许多地方的原始林地也或多或少地受到了人为的干扰，尤其是在移民区和耕作区，许多乡土的植被品种（包括灌木和草本植物）已被外来物种所替代。另有研究表明，来自大气污染和农业肥料中的营养物质（尤其是氮、磷）会选择性地促进特定植物品种的生长（往往是一些外来物种），导致林地植被成分的大面积变化，甚至是一些受到保护的森林也难逃此劫。另外，目前已有许多相当大面积的人工林地替代了“自然”林、人工经营林以及农场。这些人工林地植被品种单一，在植物品种、结构以及栖息地多样性等方面都要低于替代前的林地（图 19.5）。

19.4 敏感环境的概念

少数环境

规划中的敏感环境概念的起源在一定程度上是人们对少数环境受到大肆破坏的反应。我们所说的这些少数环境一般有：湿地、河流谷地、沙丘等等，它们的价值是无法用经济学的标准去衡量的，也就是说，我们无法获知这种土地及其生态系统在公开市场上能卖多少钱。这种概念还来源于人们对这些环境在保持和维护较大尺度景观中所发挥的作用的进一步理解，而这种理解和认识在当代社会已



图 19.4 在商业区中引入植被要素已经成了重新提升城市内部吸引力的最常用的办法

成为一种常识。例如人们都熟知：湿地不仅仅是重要的生物栖息地，还在地下水的再生中发挥作用；而小型的河谷地不仅是重要的野生花卉生长地，而且也是湖泊和湿地的水源地。因此，我们经常可以发现社区会在他们的总体规划中作出许多关于敏感环境的规定，这些规定通常是基于经济学原理（因为需要花费更多的费用构建和管理这些环境）、社会学原理（因为这些地方的优美风景和美学价值为人们推崇）或者科学原理（因为这些环境对较大范围的环境体系的维持非常重要）的。湿地和海滨地是典型的为人们所广泛公认的敏感环境景观。

20世纪50年代前，湿地被普遍认为是没有什么经济价值的劣等土地，人们大批量地将它们改造成农田，扩大农业生产，改造成航运水体，用它们来控制病虫害或是作为城市扩张用地。今天，人们对于湿地的看法有了极大的变化，它们被看作是水文、生态、娱乐、森林以及农业的重要资源。湿地的定义主要基于以下三种标准（这些我们在第20章里会具体讲到）：植被、土壤和水文学。其中，水文过程在湿地形成过程中起决定性控制作用，然而，仅仅基于水文方

湿地

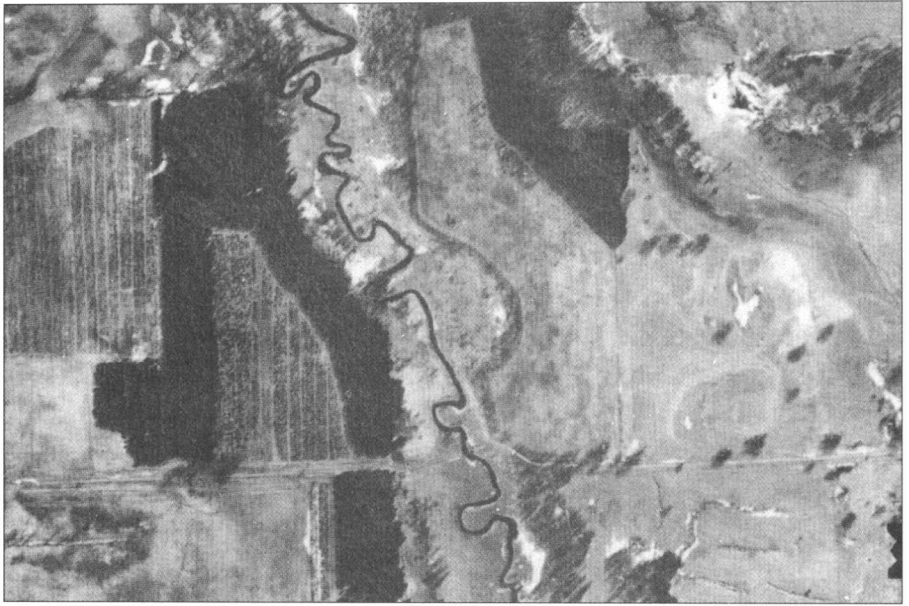


图 19.5 大约一个世纪以前，航拍中整齐的人工针叶林曾被不同的阔叶林覆盖

面的特征对湿地进行定义是十分困难的，因此我们需要借助于植被——尤其是一些特殊的指示性植被来定义湿地，这一标准也显得越来越重要。

河流廊道

河流廊道是北美最没有好名声的环境之一。在20世纪的大部分时间里河流都作为农田和定居点的液体垃圾筒，从下水管和农田排水渠接受大量的污水。到20世纪后半叶，它们经常被认为有责任为渠道化、管道化和建设大坝进行开发。在第14章曾讨论过这个问题，还阐述过社会为恢复这些珍贵环境所作的努力。这里只需提出，今天已经有成千上万的绿色组织正在政府机构的协助下为恢复当地河流和河流周边的林地和沼泽地廊道而努力工作，使其具有特色并容纳丰富的动植物品种。

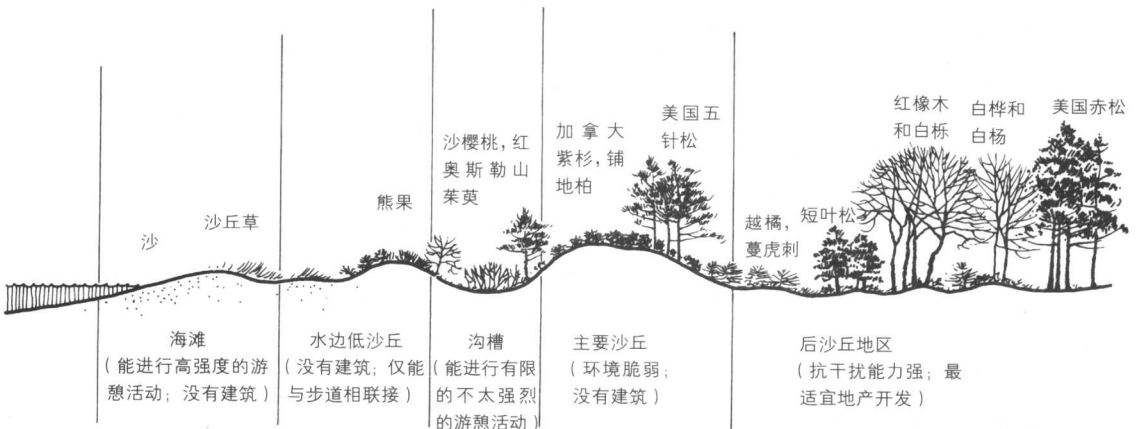


图 19.6 沿沙质岸线带的一个剖面，显示了植物与地形之间的相互关系，同时包括对小环境抗干扰的相对能力的评价

海滩和沙丘是其他类型的环境敏感地区。我们知道, 海岸地区是非常具有吸引力的地方, 然而在最近的五十年里, 随着交通系统的日益便利, 越来越多的商业和居住区建设涌向滨海地区。农业的衰退以及人们对于水体的向往更加促使了这一事态的蔓延。今天, 海滨已成为了世界上人口增长速度最快的地区。商业和居住区建设使滨海区环境发生迅速改变, 尤其是一些植被较为丰富的“软”环境地区(包括沿岸沙滩、滩脊、沙丘和滨后坡地)(图 19.6), 在这些地区, 植物和环境之间的平衡十分微妙和脆弱, 因此, 房屋或道路的建设往往会破坏植物与环境间的平衡关系, 造成整个海滨环境的生态学及美学价值的下降。此外, 蓬勃的发展使各种设施处于脆弱的状态, 从而要求有保护性结构, 结果损害了生态系统, 难于到达并使风景的品质下降。

海滩和沙丘

19.5 植被作为环境规划的工具

在过去的几十年间, 植物作为环境规划中一种重要的手段得到了越来越广泛的使用。场地中原有植被的清除所需花费的费用以及景观本身的生态及美学的价值促使今天的规划师们产生了对场地中原有植被的强烈保护意识。以居住区为例, 一棵成年大树的价值约 5000-25000 美元, 而大量的植被对于整个房地产开发项目而言, 可使每个地块的价值上涨 10000-25000 美元。

景观设计 除了以上直接的经济价值外, 植被在景观设计中也是十分重要的。事实上, 可以说植被就是景观建筑学里最基本的一种元素。以场地设计为例, 植被可以起到隔离场地、降低噪声、调节小气候、稳固坡体的作用。作为视觉障碍, 适当地种植树木或篱笆可以帮助分隔居住区、商业区、工业区以及社会公共机构。就这方面的能力而言, 考虑到植物对光线传播的影响, 它们的密度和树叶的持久性在设计中都是十分关键的。又如公园、庄园、大学校园以及一些较小的地方, 植被也常被用以分隔户外空间、引导行人行为, 并提供景观上独特的美感。

场地设计

噪声 植被具有较为明显的降噪作用。一个点声源传出的声音在没有阻挡的条件下, 距离每增加 1 倍, 声强衰减率增加 6 分贝 (dB) (对于诸如高速公路之类的线状声源, 距离每增加 1 倍, 声强衰减率增加 3 分贝)。如果有植物, 情况则会大不相同。植被能够吸收和分散声音的能量, 对高频率的声音 [$>1000-2000$ 赫兹(Hz)] 尤为有效。在森林里, 地表的覆盖层(正在腐败的落叶和枝条)能最有效地吸收噪声。表 19.2 表示了一个宽为 250 英尺的绿化林带对机车的降噪能力。另外, 设计师们还可以将植物的种植与地形障碍物(如台坎或堤)相结合, 起到更有效的降噪效果。

降低噪声

小气候 植物对于地面气候的影响是十分显著的。植被覆盖能有效地将空气的下层边界从地面转移至枝叶之上, 在植物枝叶(例如树冠之下)和地面之间形成小气候。在一定程度上, 该处的太阳辐射、风力和地面温度都要低于没有植被覆盖的地方。同样的道理, 景观和大气之间的热交换也受植被的影响。植被使鲍文比值(Bowen Ratio)——显热与潜热通量之比——变低的原因, 是因为植被的蒸腾作用使空气的温度降低(见图 17.10)。

地面气候

表 19.2 在有和没有 200 英尺宽的树林的情况下机车噪声的衰减情况

频率 (Hz)	没有树林时 250 英尺处的噪声 (dB)	有树林时 250 英尺处的噪声 (dB)
31.5	39	39
63	57	56
125	63	61
250	68	65
500	73	69
1000	74	68
2000	72	64
4000	68	56
8000	61	41
	79dBA	73dBA

dB = 分贝；声音大小的量度单位，从声源传出的声音在空气中产生的压力；

dBA = 根据人耳的敏感程度调整后的分贝标度 (decibel scale)；对于 dB 单位应用了一个修正因素，这个因素考虑了人耳所感觉到的音频模式；

频率 = 以每次声响的周期数衡量的音调；高音调对应着高频率（即每秒钟有更多的周期）；

Hz (赫兹) = 每秒的周期数。

植被能够阻挡空气流通，可迫使风向上偏，从而使其下部的空气保持相对平静，形成一个界面下层 (boundary sublayer)。界面下层的厚度或说粗略长度会随着植被的高度和密度的加大而增大。在成年冷杉林下方约有 2.5 米 (8 英尺) 厚，而在草丛下方只有这个厚度的百分之一，即 2.5 厘米 (1 英寸) (图 19.7)。在防风林的下风向，位于下沉气流之下的区域也会出现类似的效应，且这种受遮蔽区域的宽度也随着防风林的高度和密度变化。不过，显著的风力降低通常要在 10 倍至 20 倍植被高度的距离处才会出现 (图 19.8)。在降雪地区，这种区域可以形成雪堆。雪堆的长度可用下列公式估算：

$$L = (36+5h)/K$$

式中

L = 以英尺计的雪堆长度；

h = 以英尺计的屏障高度；

K = 屏障密度因素 (50% 的密度 K 值为 1.0；70% 则等于 1.28)。

空气污染 虽然没有材料可以证明植被在降低城市受污染空气中污染物含量的作用，但是现有事实表明其效果还是相对很小的。人们都知道植物是可以吸收污染气体的，例如二氧化碳、臭氧和二氧化硫，但是污染空气直接围绕着叶片会使吸收明显受到限制，从而使这种吸附作用在充斥着大量污染空气的城市中变得微乎其微。茂盛的草本覆盖层、浓密的直立灌木层和长满树叶的乔木层可以充当空气中微粒的接受器 (捕捉物)，不过微粒在几小时或几天内会重新进入空气而使其净吸附能力令人怀疑。一般说来，植物对地面以上到数米以下横向移动的较大微粒有很好的吸附效果。在空气污染严重的地区，污染物对植被的生存和健康的影响是一个更为严峻的问题。臭氧和二氧化硫对木本植物造成的伤害最为严重；而据我们所知，其他污染物如氟化物、粉尘和氯气也可以对植物带来危害，不过这种伤害通常只是局限于污染源附近。

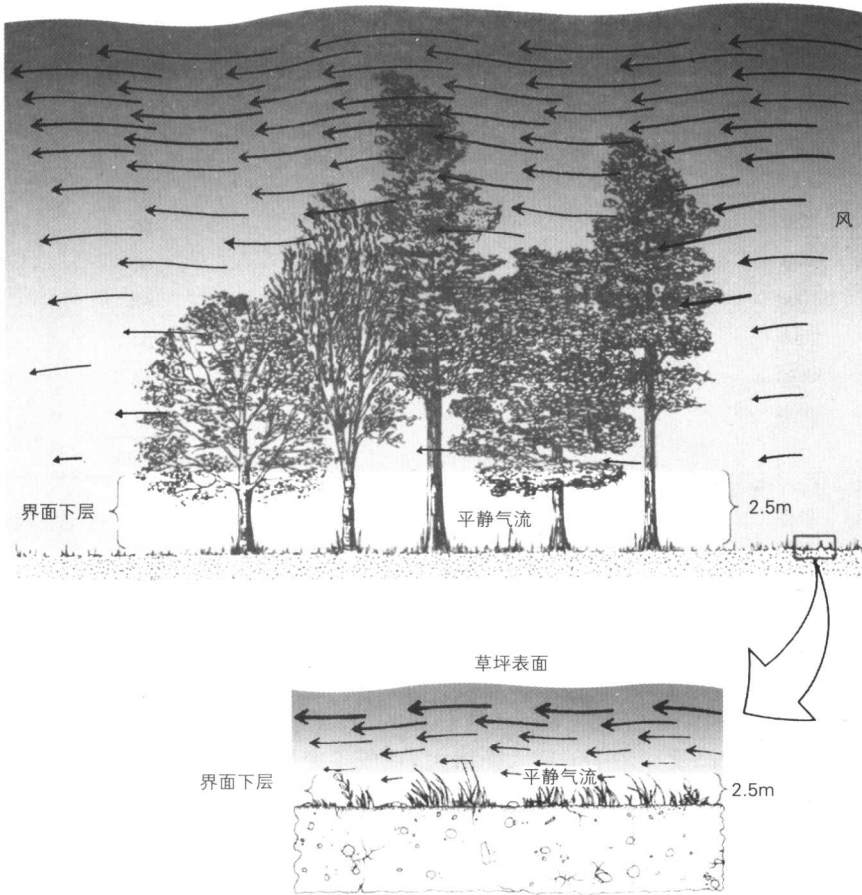


图 19.7 针叶林下和草坪相对平静地带的厚度（或称粗略长度）的差别，这一层对于形成地面小气候是很重要的

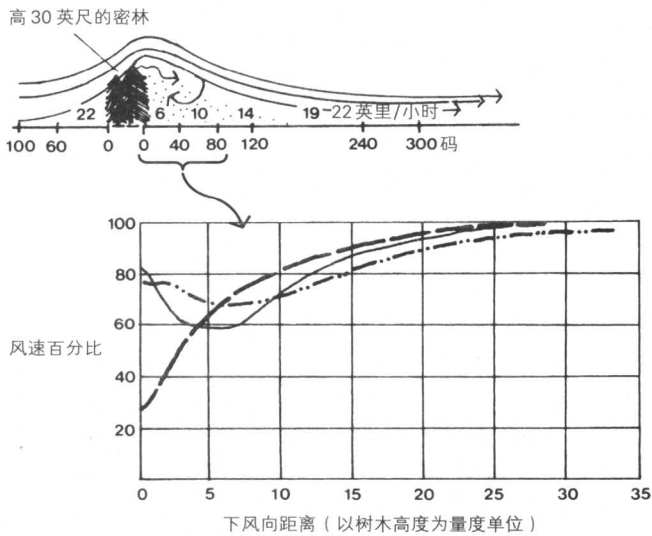


图19.8 上图是风穿过障碍时的风速模式；下图的曲线表示了防风林下风方向风速变化的百分比。在下风方向10倍树高范围内，风速降得最低（1码=3英尺=36英寸≈0.914米——译者注）

对风及地表径流
的控制

控制侵蚀 我们早就知道, 植被能控制侵蚀并稳固土壤。即使是轻轻的一层草皮也能把风蚀现象降低至可以忽略的程度。事实上, 1930年代北美尘暴区的土壤侵蚀之所以得到控制要归功于薄薄的一层青苔。我们在本书第12章中介绍过一个通用的计算土壤损失量的公式。其中植被在估算土壤损失率中是最主要因素之一, 包括树冠覆盖和地面覆盖。另外, 为了抵御冲沟这种最隐蔽的侵蚀形式, 以植物为基础的生物技术方法是非常有效的。例如, 在坡地上沿等高线设置篱笆、在渠道中设置灌木坝都是特别值得采用的手段使径流减缓并捕获沉积物, 而同时建立起能稳定土壤的大片秧苗。

公众喜好

社会价值 人们很早就表现出对在邻里间、城镇和城市种植植物的渴望, 这不仅与植物在气候调节、降低噪声等方面的作用有关, 还在于社会文化给植物及其创造的栖息环境所附加的价值。居住偏爱调查表明, 人们在选择邻里或者社区时常常将公园或者绿色空间作为很重要的考虑因素。不动产资料也显示出这一点, 因为相比于没有植被或者植物种植一团糟的地区而言, 植物种植良好或者有良好植物景观的地段有更高的价位。高档社区中的人们似乎更偏爱于大量植物给他们带来的健康生活, 植物也特别能引起他们的关注。的确, 事实证明植物就像是一种环境黏合剂, 它能将居民、邻居和社会机构与所在社区牢牢地黏合在一起。

19.6 植被分析方法

在大多数景观中, 植物的分布都存在高度的可变性, 即使是在地方的尺度上情况也是如此。变化的原因则非常复杂, 相关的因素有现存环境(主要是地形学上的)条件, 和过去的某些事件(如火烧、洪水和变更土地使用), 以及物种对其栖息地理环境的可利用程度。而这些大量的变化中的哪个对植被覆盖的组成和分布影响最大则是个很难回答的问题。

有三种基本类型的研究或者方法被用来表示植物的分布。一种方法是绘制出植物类型和筛选的环境特征的分布图, 然后查看这两者有何联系。例如, 通过地形和三个物种的比较或许会发现某些物种总是出现在河谷地带(参见图 14.8)。这种联系所揭示的意义并不是这种关联, 而是能为分析应提出的问题提供线索。河谷的地面一般都较湿, 易遭受更多的水淹, 并且比山地环境有更多类型的土壤。于是植物不得不在大半年中都生活在水分饱和的土壤中或者长在水中。因此河谷中植物的耐湿性就会是个很好的分析因素, 尤其是当研究区域内的其他植被所处的环境稍微干燥一些时(图 19.9)。

第二种方法源于致力于证实那些特征和过程可能对植物分布造成影响而对环境所作的检测。该方法的目的在于验证已知可控制特定植物的因素, 并依据这些植物的分布去推测它们应该或不应该在某处出现。该方法需作分析的部分包括通过现场实测预期的植物分布情况, 然后详细考查受影响植物和环境变量(图 19.10)的关系。对皮氏蓟草(Pitcher's thistle)的研究是该方法应用的一个实例, 这种保护植物生长在大西洋沿岸的沙丘上。为了完成其生活史, 它需要一个有流沙的生长地, 而这种环境位于风蚀和泥沙沉积地区之间。因此, 地形是找到皮氏蓟草的关键所在: 你必须先找到移动的沙丘, 然后寻找沙丘群中中间类型的活动地貌。

空间联系

定义控制因素

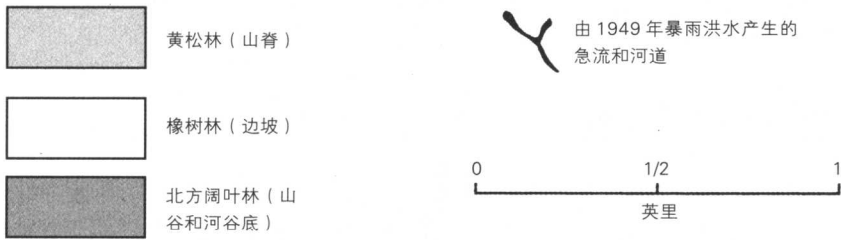
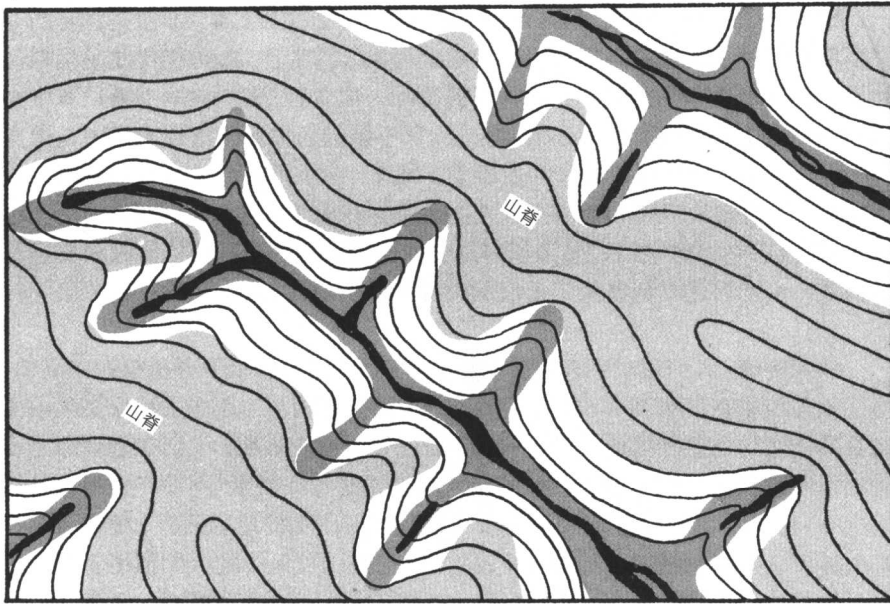


图 19.9 阿巴拉契亚中部森林类型分布情况，其分布与土壤湿度状况、地形以及由一场暴雨产生的主要径流有关

物种种类

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
南向斜坡	●	-	○	-	○	-	○	○	-
北向斜坡	○	○	-	○	○	-	-	○	●
南向绝壁	○	-	○	-	○	○	○	-	-
北向绝壁	○	○	-	-	-	-	-	-	○
岩屑坡	●	-	●	-	-	○	-	-	-
山谷	-	○	-	●	-	-	-	●	-
分水岭	○	-	-	○	-	●	○	-	○
谷底	-	○	-	●	-	-	-	●	-

● 优势 ○ 出现
 ○ 丰富 - 缺乏

图 19.10 上图为一个简单的矩阵，显示了所选植物种类与所选环境过程和特征的预期关联

第三种方法是以重要植物指示环境条件和事件。我们可以根据了解到的关于所选植物的习性和抗性水平,依据在某地发现的植物种类来判断环境中的控制因素。即使是在最简单的水平上也可以提示我们某种植被在一个地段上能否出现。在前面引用的例子中,皮氏藓草在沙丘地的不同地点出现与否就可以作为地貌活动的指示,尤其是沙的侵蚀和沉积模式。在一个更为常见的水平上,若一个地区的自然主导植被为森林,但有的位置缺乏树木覆盖,那就意味着:(1)生存要素(特别是太阳辐射、水、热或者营养)对树木而言水平过剩;(2)该处的资源如土层厚度和水量供应有限;还有(3)最近的干扰如龙卷风或者土地使用活动破坏了该处的树木或者推迟了它们出现的时间。表 19.3 列举了一些可以从植被中获悉的与生物和气候有关的现场条件。

表 19.3 植被指示的现场条件

气候区域	缺乏植物覆盖	稀少草本和小灌木覆盖	浓密草本和矮灌覆盖	灌木和小树	多叶或芦苇植物	非常固定的树木覆盖
潮湿的(东北美、西北和南太平洋)	<ul style="list-style-type: none"> 岩床表面或近于表面 移动沙丘 近期为人使用、种植等等 新近火灾 新近水土流失 	<ul style="list-style-type: none"> 岩床表面附近 死土或贫瘠土 沙丘、填方 最近受到干扰(休耕地、火灾、洪水) 活动的斜坡/侵蚀 	<ul style="list-style-type: none"> 新近伐木或焚烧 于树而言太过湿 控制性放牧 有机土壤 旧地再生 	<ul style="list-style-type: none"> 滑坡地/火烧山洪爆发悬崖 旧地或树桩再生 页岩/黏土层土 有机土 湿度不足 	<ul style="list-style-type: none"> 有机土 立于水中 地下水位高 泉水、渗流地区 	<ul style="list-style-type: none"> 雨水不多有机土陡峭 农耕地区坡地 易于水淹地区
半干旱的(高原、南加州)	<ul style="list-style-type: none"> 钙质层、盐沼或靠近该处 沙漠铺装 	<ul style="list-style-type: none"> 固定水源 风蚀 过度放牧 	<ul style="list-style-type: none"> 过度放牧 摆脱火烧 于树过干 	<ul style="list-style-type: none"> 有可用水分之水渠 底层蓄水 	<ul style="list-style-type: none"> (同上) 	<ul style="list-style-type: none"> 底层蓄水 渗流地区或泉水 河谷(滩地)森林
干旱的(西南部、西部的大盆地)	<ul style="list-style-type: none"> 岩石表面 不稳定地面如沙丘或滑动岩石 过干 			<ul style="list-style-type: none"> 小保护区 良好的(潮湿)斜坡 砍伐/火烧 		<ul style="list-style-type: none"> 人造林
北极和高山(北加拿大、阿拉斯加、岩石区)	<ul style="list-style-type: none"> 岩石表面 活动斜坡 常年冰冻或雪封 生长季积水成塘 	<ul style="list-style-type: none"> 超过乔木生长线 常年冰冻或雪封 活动斜坡 冰缘活动区 	<ul style="list-style-type: none"> 超过树木生长线 有冰、雪或风吹断枝 轻微活动的斜坡 降水不多 	<ul style="list-style-type: none"> 风/冰断枝 雪崩、山崩创伤火烧 新近砍伐靠近乔木生存线永久冻结带靠近表面 	<ul style="list-style-type: none"> (同上) 	<ul style="list-style-type: none"> 小保护区

除了这种类型的应用,我们还可以通过检测植物的特殊类型、密度和生理状况来了解自然环境与其影响的详细情况。资料来源:引自 W·M·马什,《土地利用和场地规划中的环境分析》(纽约, McGraw-Hill 图书出版公司, 1978 年)。本表使用得到授权。

19.7 植被抽样

无论我们的目的是为了研究环境影响或作环境评估而去整理植物清单或者描述植被,还是处于科研的目的分析植被,又或是用植物作为现场条件或者过去事件的指示,通常都需要以某个标准来对植物进行抽样调查。抽样是一种有选择性观测的方法,它使得我们只要对一个植物种群或者群落的一小部分做出检测就可以评估其整体的各个方面。抽样因为节约时间和金钱而受到人们的青睐。不过正确地使用抽样技术却十分不易。在植被研究中常有的抽样技术有:正方形样块取样(样方取样)、分层取样、横断面取样、系统取样和风挡调查取样。

任何取样问题的首要任务就是要鉴别相关的种群。在植被取样中,这个工作通常都是通过鉴别植被占据的地理区域来完成。这个区域(它有可能是一块开发的场地,也可能是一个特殊的环境地带)会在一个大比例尺的地图上被标识出来,其中的植被类型可以通过样方法或横断面法来进行取样。

样方就是些小地块,其大小随着被抽样植物的类型而定。样方取样的第一步是将整个地段细分为网格状的小块儿。在小尺度地段的研究中,单个方块地就可以作为一个样方;而大尺度地带的研究中,我们可能需要依据植被的类型把方块地的一小部分作为样方。一般来说,草地或者沼泽应使用1-2平方米的样方,矮灌丛使用4-6平方米的样方,灌木林使用15-30平方米的样方,而林地或者森林使用30-100平方米的样方。

样方取样

分层取样 指在取样前将种群或研究区域细分为很小的地段或系列。这些细分是建立在对研究区域特征的观察和预先了解之后所做出的。对许多地区而言,比较典型的细分包括三个层面:河漫滩、河谷边坡/谷壁和高地。然后,在这些层面中随机地选择正方形样块。目前,以遥感影像传感为基础的分层取样技术被广泛用于区域植被格局的鉴别。毫无疑问,遥感影像几乎是现代植被研究中不可缺少的技术,而且,技术上更为精密的遥感系统如扫描器正显示出区分主要植被类型的强大潜力。还有一种类型的分层取样技术被应用于土地使用项目的土壤图绘制中,在这些项目中,人们根据开发情况和土地利用来进行分层并指定样点。

分层取样

在**随机横断面取样**中,人们把研究区域分为许多条形带,并称之为横断面。横断面的宽度应根据植被类型来确定,比如说,对于大部分森林而言,5至10米应当是合适的。在为抽样所选的横断面中,可能要用到整个横断面,也可能只在横断面中选择单独的样方作为样本。

横断面取样

系统取样不需要对所研究的种群或地区有事先的了解。我们在所研究的区域上打网格,网格中每一个交叉点即为一个样本。在这里,样方可以被用作取样单位。通常,我们建议所有的样方应最少涵盖研究区域面积的20%。

系统取样

风挡调查是最快捷也是最经济的取样技术。尽管较之植被研究,更常用于土地利用调查中,但是该方法在获取植被类型的大体情况中还是十分有用的。然而,我们应当知道,路边的植物可能是没有代表性的,因为它们可能是人为种植的,或者因修路或护路而被修剪,又或是因为它们是次生树木或路缘杂草而不能代表典型的地方植被。

风挡调查

19.8 植被与环境评价

最后,让我们对植被作一个评论,因为这关系到环境评价和影响分析。我

们在前面已经提到过,在景观的诸多要素中,仅有植被可以用来反映环境承受的压力和经历的改变。在评价一个方案的过程中,至少应该强调五个与植被相关的影响指标或者标准。

评价指标

首先,植被覆盖的绝对减少量(比如,由于开发活动导致的植被面积的减少)是反映环境影响的非常重要的指标,因为它能够间接地反映开发活动对地表径流、微气候和审美等因素的影响。其次,各级政府部门都立法规定的有价值的物种、群落和生长地的减少也是衡量环境影响的一个重要标准。第三是经济损失,其代表是经济植被如木材的丧失,或者是营利地区的长期损失。第四,植被是构成更大的环境系统如微气候、土壤和水文所不可分割的组成部分,所以植被的改变或丧失会导致这些系统的严重衰败。第五,我们必须谨记,长期的自然进化已使自然植被适应于一系列特定的环境条件,这些环境条件中哪怕有一点细微的改变,就会在植物的活力、再生产能力和植物群落组成上反映出来。因此,植物充当了环境性能的“体温计”,它们能及时告诉我们环境中出现的有害变化。

19.9 案例研究

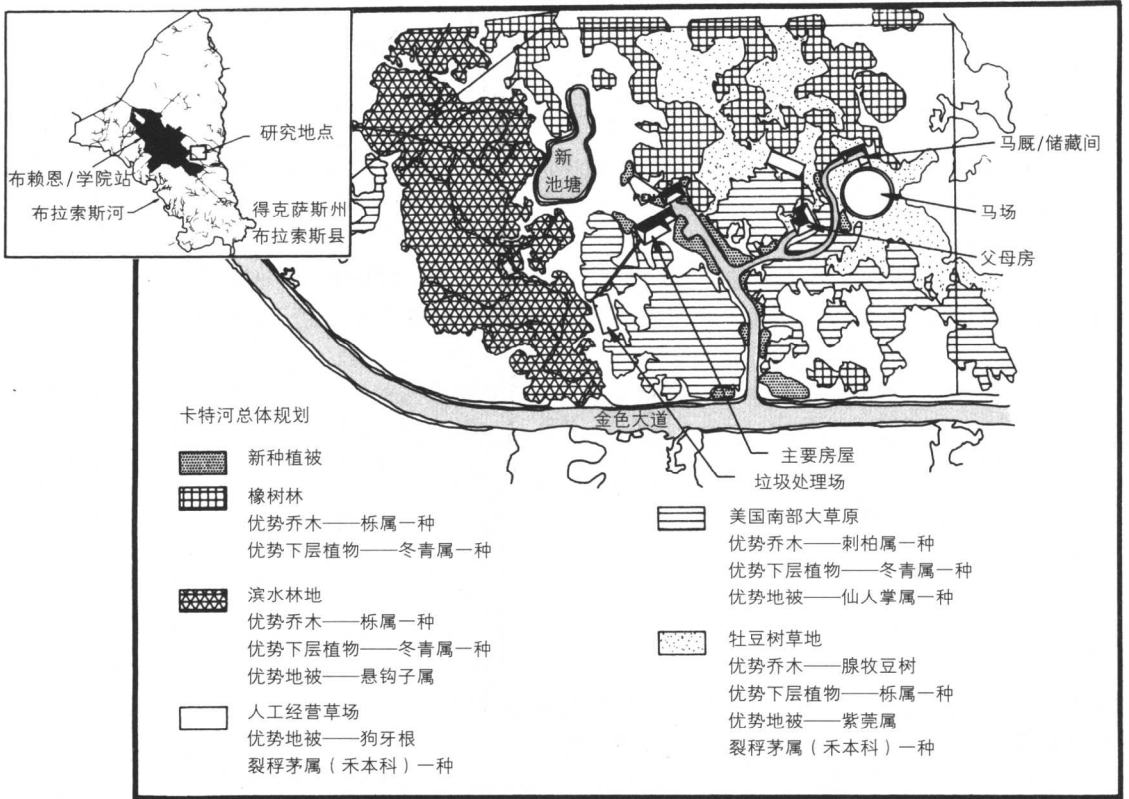
得克萨斯州中部某居住区规划中有关 野生动物栖息地的考虑

乔恩·罗迪克 (Jon Rodiek) 和汤姆·伍德菲 (Tom Woodfin)

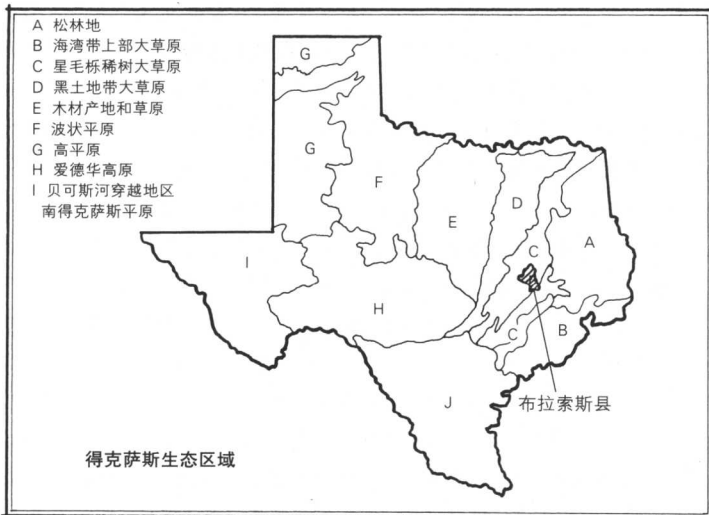
得州中南部与美国许多其他地方一样,城市化已使许多栖息地破碎化。破碎化的主要特征是对那些大的而且空间上连续的栖息地的分割。它对野生动物有两方面的负面影响:(1)总栖息面积的减小,这主要导致种群变小;此外还有(2)将剩余面积划分为分离的碎片,这种分割通常是由障碍物引起的,主要会导致种群的分散和迁移受阻。最近的研究表明,温带的生态群落比热带群落对于破碎化影响的抵抗力更强。其中的原因有:温带的物种更趋于形成高密度,分布更广泛并有更好的扩散能力。另一方面,破碎化仅仅在温带地区的影响不那么严重,也可以解释为那里的栖息地早在其有原始景观和动植物资料记载以前就被破坏掉了。案例所在得州学院站[美国得克萨斯中部偏东一城市,位于休斯敦西北。得州农机大学所在地(1876年开办)——译者注]地区就是这种情况,那里大多数处于河漫滩和林地中的开发都出现在大约1860-1900年的时间里。然而,在过去的50年中,破碎化进程在许多乡村地区却出现了相反的趋势。这种情况的出现是因为农业土地辍耕后引起了小林地和河滨斑块的再生。在城市周边,这种恢复过程则因为市郊的扩张而被打断。

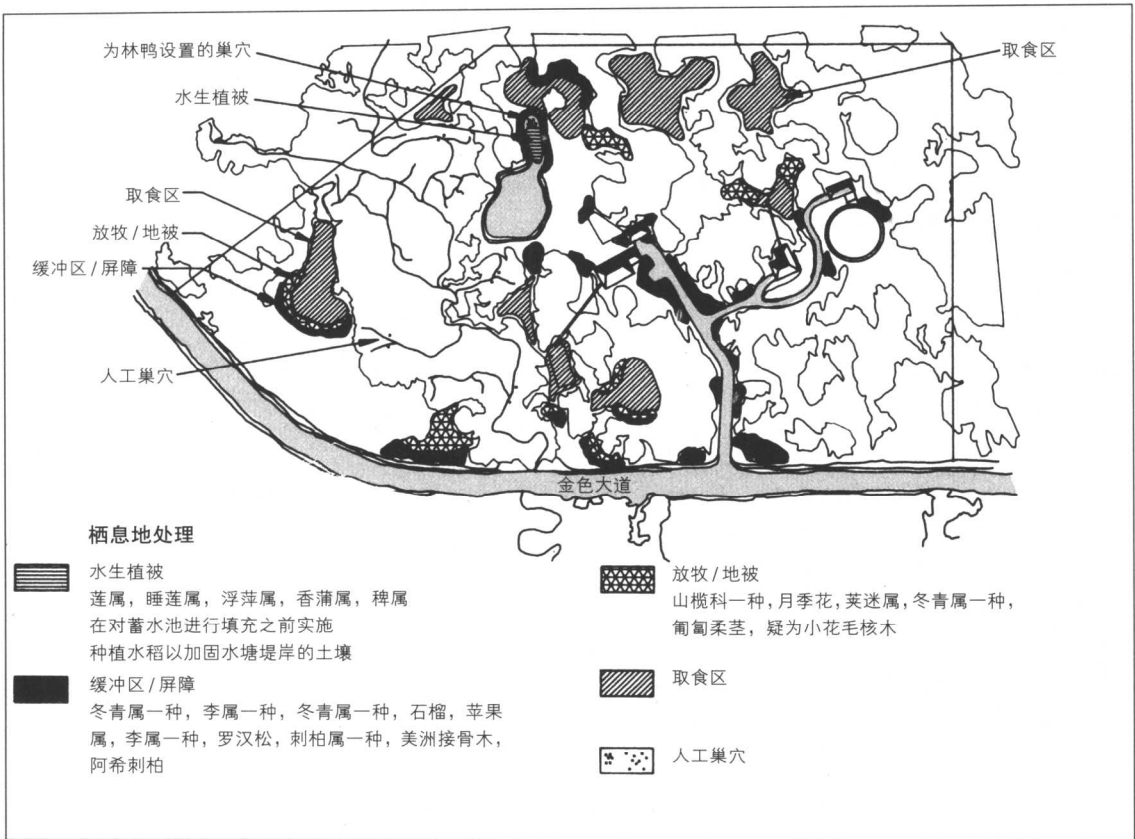
在这个2800英亩的流域范围内,我们分析了其47年间(1940-1987年)的土地覆盖变化,估量出了下列类型植被的丧失量:牧场、弃耕地、山地阔叶幼林、耕地、灌草地、阔叶——灌木林地和成年滩地阔叶林。并测出草地、成年山地阔叶林、热带稀树草原和河滨林地的增加量。从观察第一、二、三级河流的总长度变小可判断水系长度有小的变动。房屋和道路明显增加了。道路从7.96英里增加到了22.6英里,而住宅和其他建筑物从30个增加到了124个。

总而言之,地表覆盖的变化可描述为三个连续变化的阶段:河漫滩/河



滨林地到耕地再到市郊/城市/耕地混合。这自然就是典型的遍及美国和加拿大的城市地区土地使用变化过程,它给野生动植物的生存造成了严重的影响。一旦耕地群落交错区(或其残余碎片)转化为居住开发地段,它们就会被分割成零星的碎片并面积变小。赋予环境规划师和景观设计师的挑战是做出更有创造性的土地使用变更设计,以增加生物栖息地和地理连续性。





在该特殊的案例中,我们尝试着将生物地理学的法则运用到一个居住区景观设计中以增加野生动植物的栖息地。在工作的过程中,我们始终围绕着两个目标在作努力:(1)在15英亩的土地上布置两个单户住宅,一旦该布局被证明合理,就(2)将这种场地设计概念应用于更大范围的现存居住用地之中。最终的目标是将其应用到整个流域栖息地保护区,将小区域的栖息地保护与大批场地尺度的栖息地保护相结合,共同组成一个生态的保护网络。

在这个项目的开始阶段,我们将植被群体和相关的土地利用情况做了三个基本尺度上的分析:流域、亚区和场地。结果发现在这三个尺度上都普遍存在橡树林、河滨林地、经营草场和热带稀树草原。牧豆树草地则仅在亚区和场地的尺度上普遍存在。

初期的规划任务包含了设计一个概念性的框架方案以力图将居住综合体与野生动植物栖息地整合在一起。该方案要求对以下设施进行选址:两栋住宅、车道、储藏设施、可骑马活动的区域,并且使布局的结果对现存的森林栖息林地影响最小。然后在所选的地方加上屏障、放牧和覆盖地面的植物,这些地方主要是沿着车道、开放空间和河滨廊道。为了创造更为多样的栖息环境,我们在临近河滨栖息地的地方加了一个水塘。最后在现场增加了一些供冬季和夏季放牧的草场区。

该项目的最终目的是要减轻由于城市化引起的动植物栖息地破碎化带来的影响。我们的基本策略就是沿着滨河林地和河滩阔叶林景观构建出一个野生动植物栖息地联合体。这些栖息地对生存于此地区的野生动植物来说极为重要。尽管森林景观在面积上正不断增加,但它们目前也只占整个亚区面积

的6%。增加保护区尤其是增加边界和起联系作用的景观要素,是促进这一地区中动植物生存和人类居住开发之间平衡的最为有效的途径。

作者简介: 乔恩·罗迪克 (Jon Rodiek) 和汤姆·伍德菲 (Tom Woodfin), 德州农业与工程大学 (Texas A&M University) 的景观设计师, 专攻景观设计中的动植物栖息地规划。

19.10 推荐阅读文献

- Carpenter, Philip L. et al. *Plants in the Landscape*. San Francisco: Freeman, 1975.
- Davis, Donald D. "The Role of Trees in Reducing Air Pollution." In *The Role of Trees in the South's Urban Environment* (Symposium Proceedings), University of Georgia, 1970.
- Gleason, H. A., and Cronquist, Arthur. *The Natural Geography of Plants*. New York: Columbia University Press, 1964.
- Grey, Gene W., and Deneckie, F. J. *Urban Forestry*. New York: Wiley, 1978.
- International Union of Forestry Organizations. *Trees and Forests for Human Settlements*. Toronto: University of Toronto Centre for Urban Forestry Studies, 1976.
- McBride, J. R. "Evaluation of Vegetation in Environmental Planning." *Landscape Planning* 4, 1977, pp. 291-312.
- Mooney, P. F. *Plants: Their Role in Modifying the Environment; A Selected and Annotated Bibliography*. Mississauga, Ontario: Landscape Ontario Horticultural Trades Foundation, 1981.
- Schmid, J. A. *Urban Vegetation: A Review and Chicago Case Study*. Chicago: University of Chicago, Department of Geography Research Paper 161, 1975.
- Thurow, Charles et al. *Performance Controls for Sensitive Lands*. Washington, DC: American Society of Planning Officials, Reports 307 and 308, 1975.
- U.S. Forest Service. *Better Trees for Metropolitan Landscapes*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, USDA Forest Service General Technical Report NE-22, 1976.
- U.S. Forest Service. *National Forest Landscape Management* (Agricultural Handbook No. 478). Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1974.



第 20 章 景观生态学， 土地利用和栖息地保护规划

- 20.1 简介
- 20.2 生物地理学的理论基础
- 20.3 栖息地、土地利用和生物多样性
- 20.4 濒危物种、受威胁物种和保护物种
- 20.5 景观破碎化的格局与度量
- 20.6 栖息地保护规划
- 20.7 案例研究 不列颠哥伦比亚省弗雷泽河三角洲鸟类沼泽栖息地恢复
- 20.8 推荐阅读文献

20.1 简介

景观破碎化是人类在定居与利用土地过程中不可避免的产物。从很多学者那里我们可以知道,中国历史上许多改革实际上是为了恢复过度破碎化的农业土地,改革农业土地利用的方式。与中国相比,北美的景观相对是年轻的,但是就其开发利用和定居的速度来说却是世界上独一无二的。仅仅几十年的时间,位于北美腹地的自然栖息地系统如河流网络、湿地和森林就经历了破碎化的过程,取而代之的是农场、铁路、公路和居民点等人工的景观要素。至今为止的很长一段时间里,人们除了关心可达性、土地所有权和用水权等问题之外,很少关注景观破碎化的问题。但是近年来,人们逐渐认识到景观破碎化对生物多样性有巨大的负面影响,因此景观生态学在北美和欧洲的环境规划事务中发挥着越来越重要的作用。

景观生态学是将空间(地学)分析应用于自然栖息地的规划与管理的一门科学,这些栖息地主要位于农村和郊区景观中。由于自然栖息地和生态系统的破碎、减少、简化和污染,生物多样性和生物的生产力严重降低。从空中鸟瞰,这些破碎化的景观具有补丁式的地貌,因此许多本领域的作者都用马赛克来描述它们。马赛克由水网、土地、林地、湿地等多个景观要素拼凑组成,它代表着不同类型栖息地和生态系统的片状残留。

景观生态学的研究主要集中在景观马赛克的三方面特性:结构,功能与变化(或者称为形式、过程与变化),其主要目的就是要找出景观结构与功能间的关系从而设计出生物多样性更加丰富的景观。景观规划的目标,就是减少景观的破碎化,并将已破碎化的景观重新联结成为更好的具有生态弹性和可持续性的功能结构。

景观生态学

20.2 生物地理学的理论基础

景观生态学的理论基础来源于生物地理学,特别是岛屿生物地理学。岛屿生物地理学的研究表明:栖息地的面积以及栖息地间的距离是对物种多样性产生重要影响的两个因素。岛屿或者与它相对应的陆地斑块的面积越大,它能够支持的物种数目就越多。这个推论来源于岛屿生物地理学中对东南亚岛屿上淡水鸟类栖息地的研究(图20.1)。研究还表明:相邻岛屿间的距离越大,则岛上生物多样性也越低。

岛屿生物地理学

虽然对于岛屿生物地理学的原理能否很好地适用于破碎化的陆地景观仍然有争议,但其概念毫无疑问可以应用于陆地景观。从面积因素来看,栖息地残余斑块虽然从表面上看与原有栖息地相似,但是却不能发挥与原有栖息地一样的生物学功能。一般看来,原有栖息地减少90%后,生物多样性也会降低50%。另外,随着岛屿面积的进一步降低,残留的森林斑块也会更趋于破碎化。当然,这也会进一步降低岛屿种群里分散的个体成员组合的机会(图20.2)。

在热带雨林,当栖息地面积减少90%后,物种的损失事实上会超过原有物种数的50%,这是因为许多热带物种的生活范围是高度本地化(或称本土化)的。它们的生活范围通常不超过几亩苗或几平方英里。而中纬度的物种虽然在个体数量上比热带地区少,但却通常分布更广。因此在热带地区,大面积森林

栖息地与物种
丧失

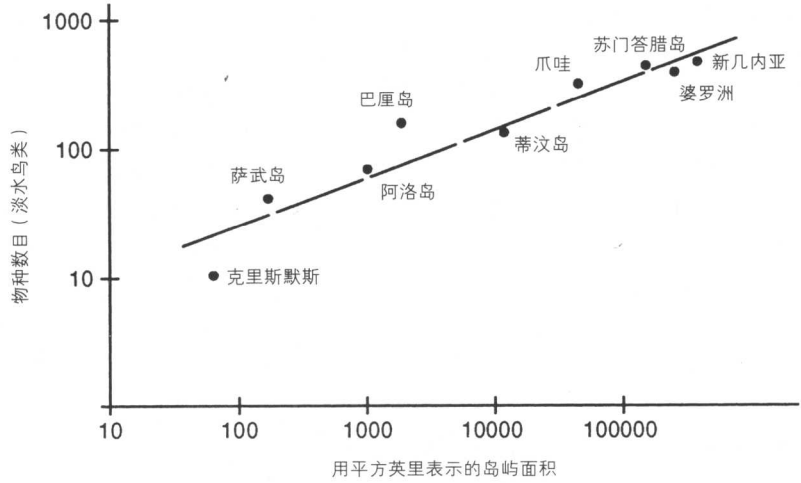
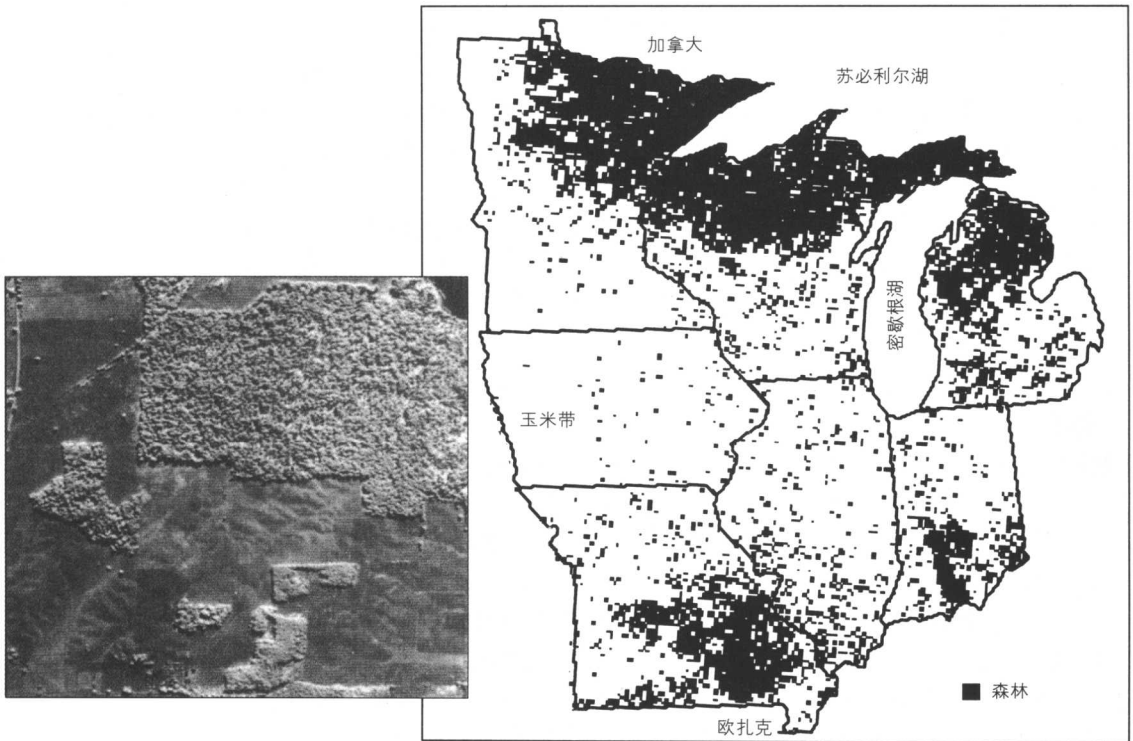


图 20.1 从早期生物地理学在东南亚的研究中得出的岛屿大小与淡水鸟类物种数之间的关系。生物物种数量随岛屿面积增大而增多



欧扎克 (密苏里州西南、阿肯色州西北和俄克拉何马州东北部的高地——译者注)

[玉米带 (Corn Belt) 是美国中部的一农业区，主要在艾奥瓦州和伊利诺伊州，也包括印第安纳州，明尼苏达州、南达科他州、内布拉斯加州、堪萨斯州和俄亥俄州的部分地区。此区的主要产品是玉米和食玉米的家禽——译者注]

图 20.2 一幅反映中西部地区森林破碎化的地图

密歇根，威斯康星和印第安纳三地仅在 200 年前几乎全被森林覆盖，插入的图片以高分辨率显示了破碎化的景观，森林如岛屿一般散布在农田的海洋之中

的消失使得大量本土化物种的整个生活范围受到破坏,其结果是,原有森林面积减少 90%后,物种的损失大于 50%。

另外,对于物种数量降低与森林减少的短期关系的研究所得出的结果可能比预期的要小。有关研究解释道:这是因为栖息地面积的减少并不立即影响到物种数量的降低,而是要有多年甚至是几十年的逐渐影响的过程。因此,根据鸟类等指示性物种的情况对森林砍伐后生物多样性发生变化的评价必须延续更长的时间,以便可靠地描述栖息地减少对物种数目的影响。最后,我们必须认识到我们当前对这些问题的理解还是非常有限的,许多关于生物地理整体关系的问题还有待研究,这些问题包括热带物种与温带物种在种群密度、生活范围以及破碎化的影响等方面的差别。

20.3 栖息地、土地利用和生物多样性

栖息地是指生物的生活环境。它有时也指生物在环境中的具体位置,但更经常被认为是空间的一个单元及其环境特征——主要包括微气候、土壤、地形、水分、可获得的营养质以及其他的生物等(图 20.3)。虽然不同的生物可能占有同样或是非常相似的栖息地——比如生活在同一块湿地中的不同鸟类,但是对每一个物种来说,它们与栖息地的相互作用是不同的。

栖息地与生态行为

生态行为这个词用来定义生物的生活方式或是生物在栖息地中的行为。例如占据着树冠栖息地的不同的昆虫可能以不同的方式来获得食物:一些吃树叶,一些吃花蜜,另一些吃树皮。生态行为描述了生物与其生活的栖息地间的功能性关系,即:通过生态行为每一种生物都把栖息地看成是惟一性的。

栖息地替换

既然每一种生物与它的生态行为之间存在着这样一种特殊的联系,那么我们就几乎不可能替换它们的栖息地。与人类不同(人类有很强的环境适应能力),大多数从一个栖息地中出来的生物不能简单地在另一个栖息地中生存。另外,当栖息地遭到破坏后,它们不能重新恢复成适宜原有的大多数物种。这种情况对于复杂的栖息地来说特别明显,比如说许多森林和湿地里,各种生态行为的形成都是由于与其他一些生物如昆虫和小的花草之间产生了许多很微妙的相互联系。这也说明了我们在动物园和种子库里保护生物时面临的基本困境——这些地方的原始栖息地实际上都已被破坏。如果自然的栖息地消失了并且不能被恢复,那么我们就没有可供保护生物的空间了,而动物园也变成了完全人工化的生命支持系统。

湿地建设

今天,湿地的建设已成为北美地区最为广泛使用的栖息地保护手段。另外,湿地调节计划又将其向前推进了一大步。这个计划允许或要求发展商建设新的湿地来替换在开发土地过程中被破坏的原有湿地。虽然对人工湿地的价值进行科学的评估仍然是不充分的,但是最新的研究表明:人工湿地只是原有自然湿地的劣质复制品,因为它们不能像原来的自然湿地那样支持多样和丰富的生物种类。如果用其他的标准如水文功能来进行衡量,这些人工湿地可能可以算是成功的。

土地利用对栖息地究竟造成了什么样的影响呢?答案是非常不确定的,这主要取决于土地利用的类型和强度。破坏性最小的土地利用方式很明显是狩猎和自然采集,就像大多数北美原始土著部落过去的生活方式。这是因为土地的

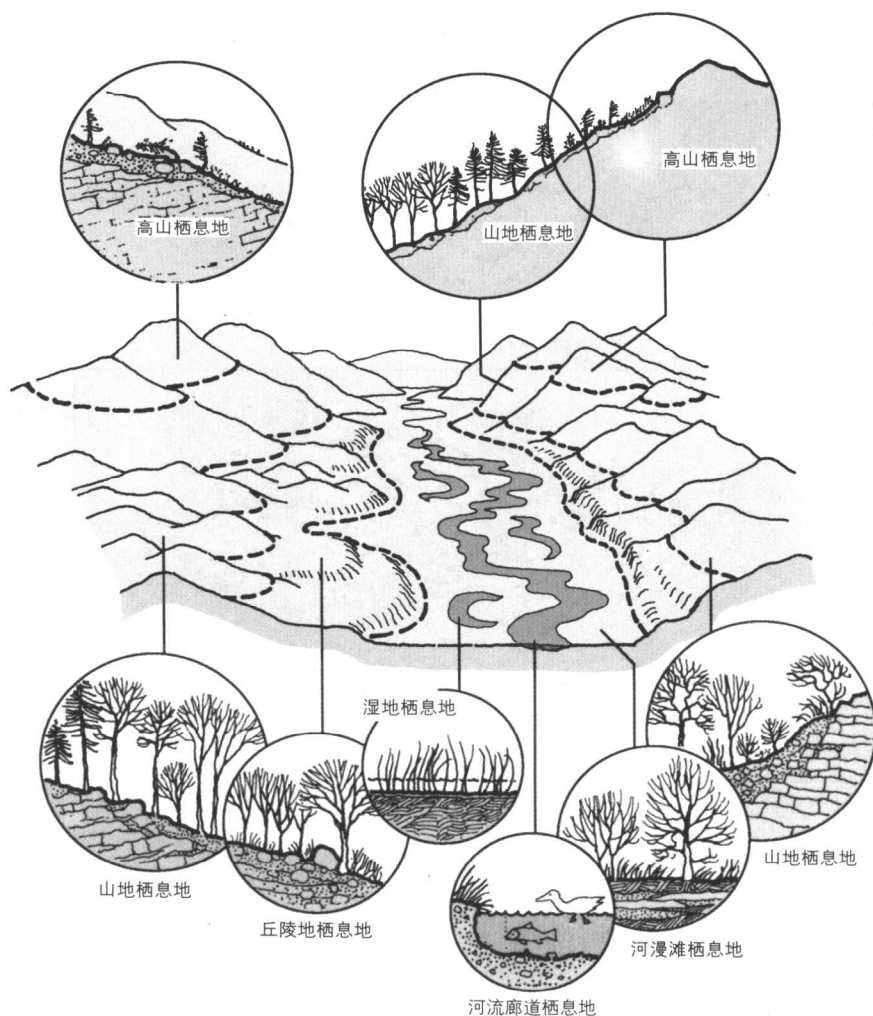


图20.3 与山地地形中一条河流相联系的不同栖息地的示意图，从高海拔的山地到河谷地带的河漫滩

土地利用与栖息地

开垦和农业化过程还没有引入，并且人口的数量还非常低。事实上，将狩猎和自然采集的社会当作自然景观的一部分是恰当的，因为他们和其他一些哺乳动物种群一样，对环境只造成了相对较小的影响。当农业活动代替了狩猎和自然采集的活动后，人类对栖息地的影响开始加强。但是刚开始这种影响并不是很明显，这是因为那时的农业大都是很小而且很分散的。当人文因素和农业活动大规模开始后，开垦的土地与自然栖息地的平衡被打破，而偏向前者。两者间的实际比例主要取决于土地可供农业利用的适宜性以及区域对利用更多土地的压力。如图20.4所示，自然景观向以农田为主的景观转变的过程像是一个阶梯化的过程。

在开始阶段，土地的开垦按照一种可以理性预见的模式进行，这种模式主要是由当地地貌情况决定的。在像美国中西部一样的低地或缓坡地区，农田首先发生于适宜于耕种的河间地区。这些地区正好处于河漫滩和湿地等沿

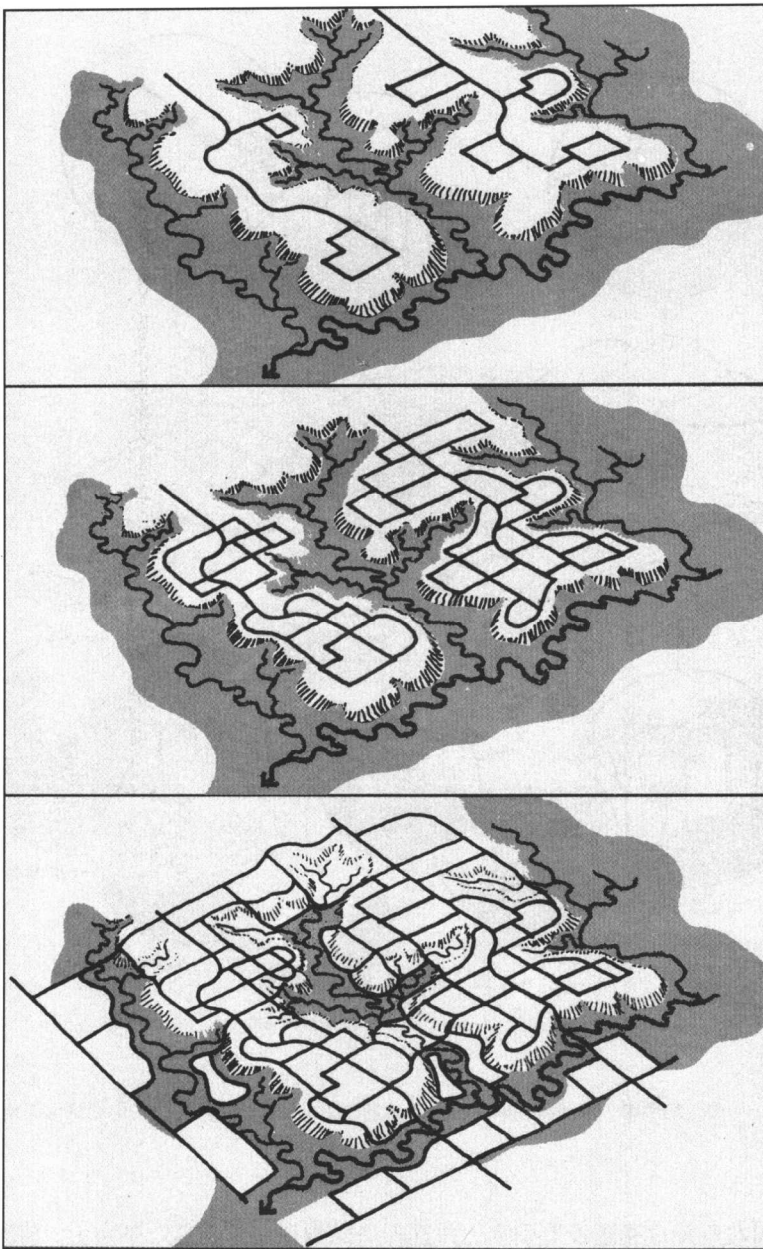


图2.4 农业活动占据景观导致开放空间的减少和生境廊道的破碎化，土地利用最终将向坡地及河谷、湿地方向发展

谷底延伸的较不适于耕作的廊道之间。然后，早期的公路和铁路从与当地排水、土壤和植被结构没有太多联系的地方穿过。随着景观整体性的打破，农业活动和人口数量进一步增加。需要开垦更多土地的压力使得农业和定居活动超过了正常的农业用地的界限而发展到了边缘区用地，例如坡地和河漫滩等。湿地也被排干，水坝被修建起来，河流被渠化，树林被破坏，而且仅存的栖息地廊道也被打断或变得支离破碎。此时，剩下的没有被开垦的景观只是

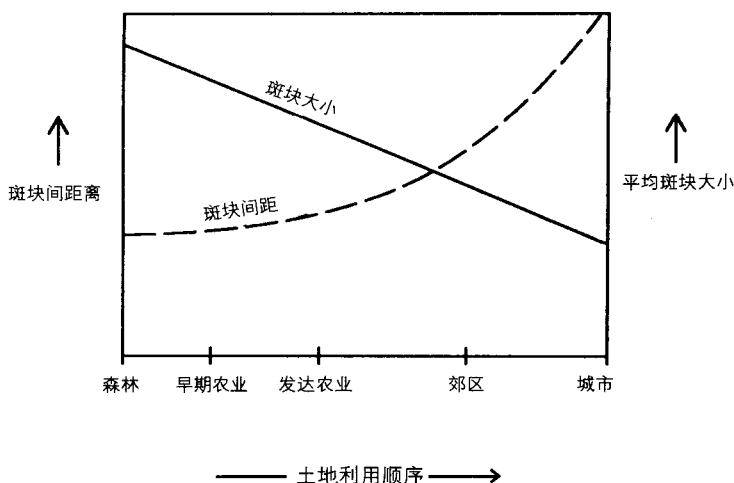


图 20.5 土地利用类型从自然地向城市用地转化过程中, 斑块大小与间距的对应变化情况

一些残留下的小的、零星分布的斑块(图 20.4)。

农业的影响

在景观中农业用地作为栖息地的潜力是相当有限的。其中作为许多鸟类和昆虫栖息地的乔木和灌木被缩减成为场地的边缘, 或称为边缘栖息地。自然的土地被大面积开垦, 地表土由于受到农业活动、雨水冲刷和风蚀的影响而大量减少。犁地活动对植物根系、昆虫和微生物栖息地造成了极大的干扰和破坏。农药的使用更进一步限制了土壤作为栖息地的功能。土壤中的腐殖质含量大量减少, 蚯蚓、甲壳虫、蚂蚁以及其他一些无脊椎动物的数量急剧下降甚至是消失。大量的野花如延龄草、天竺葵、盾叶鬼臼和野百合等被从农田中清除或者被迫零星地分布于田野间的空地——地理上的庇护所。此外, 许多原有的动植物物种逐渐被引入的外来物种取代。

生物种类简化

在强烈的农业开发下, 地区的景观变得生物简单化且极其贫瘠。农田都成了生物学上的单一栽培地区。这些地区都由少数几种作物和一些生命力顽强的杂草、大量降低和简化了的地表和土壤的生物多样性以及极不平衡的残留物种组成。这些残余的岛屿状的栖息地斑块由于太小而且间隔较大, 因此不能维持原有的一小部分物种。当农业活动随着商业化和其自身向边缘地带的扩展, 这些残余斑块被分解成了更小的而且更易遭到周围农田和家畜破坏的碎片(图 20.5)。

边缘生境

虽然许多物种由于受到土地开垦、农业活动和人类居住的影响而减少或消失, 但是也有大量的物种从这些变化中得到正面的影响。在这些物种中, 一些杂草如牛蒡、漆树、豚草、常春藤等随着农业的发展, 其覆盖面积和种群数量都获得了很大的提高。这一类植物主要生长在(1)一些从前的物种都不能再生存的边缘生长地, 如沿着农田分布的篱笆和树离等地, 以及(2)如路缘、运动场和建设工地等地。正如前文所述, 在极端的环境下, 像野葛这样的野生植物会泛滥成灾并覆盖当地的整个景观(图 20.6)。



图 20.6 野葛彻底覆盖景观，这种野葛是在 20 世纪 30 年代引入北美洲南部用来防止土壤流失

许多哺乳动物和鸟类也会通过占据边缘栖息地和废弃地而在数量上有所增加。例如美国中西部及南安大略湖地区的森林景观在破碎化后，一些机会物种如北美燕八哥、蓝鸟、乌鸦等鸟类的数量有了明显的增加。当欧洲麻雀和八哥被引入到北美后，它们不仅在农业地区成功地生存，而且在城市和郊区一样生存。北美山狗、野兔、负鼠、浣熊和白尾鹿对于新环境和变化的栖息地显示出了极其显著的适应能力。这样的能力使得这些动物能够重新回到由于土地开发与建设而破坏了的原本属于它们的郊区栖息地。这种重新占居栖息地的趋势是因为人们观察到当郊区景观逐渐成熟并且乔灌木的覆盖率增加时，这里的景观和栖息地也变得更具多样性。此外，当学校周围、空地及街道上建立了大量公园和绿化较好的地区后，就成了联接郊区内外的生态廊道，这也促使了生物多样性的提高。

边缘栖息地

20.4 濒危物种、受威胁物种和保护物种

1973年美国国会通过了濒危物种法令(Endangered Species Act)。这个颇受争议的法令规定了两类需要保护的物种。其中，濒危物种是指那些全部或者大多数种群濒临灭绝的生物物种。受威胁物种是指种群数量急剧下降以至于在不久的将来就会成为濒危物种的那些物种。这个法令在应用于所有的陆地和海洋环境(私人的、州属的或联邦政府的)的情况下，还特别强调了联邦的宪法和

土地利用项目(如:军事基地、州际高速公路和防洪设施),此外还包括利用联邦资金或需要联邦允许的私人项目。法令中还规定任何捕捉、危害、占有、买卖、运输、进出口濒危物种和受威胁物种的行为都是违法的。

虽然就单个物种进行保护的重要性是不能抹杀的,但是这却不是物种保护过程的中心问题。中心问题应该是有关生物多样性和栖息地保护等更大范围的问题。由于物种灭绝的大部分是由于栖息地的破坏而并不是由于对单个物种资源的利用。因此,核心问题应该放在整个生态系统的保护上。既然栖息地是由土壤、地形、水体等要素组成的,而且这些要素是生态系统的重要基础部分,所以在保护生态系统的过程中,栖息地也就会自然而然地被保护起来了。湿地法的通过与实施代表着栖息地保护和生物多样性保护工作所取得的又一大进步。

另一方面,对单个物种的保护也并不是没有广泛的生态意义。通过对单个物种的保护,它们所处的生态系统也就一定被保护下来,这样反过来引起了一个巨大的生物与栖息地保护网络的形成。最不明智的保护物种的方法就是建立动物园式的保护区。在这样的保护区里,动物就如同是陈列在橱窗里一样,没有能使它们长期生存下去所必需的合适栖息地、面积和生态系统。

自然界中有一些物种比其他一些物种更容易灭绝。在法令的第一部分就列有地方物种的目录。这些地方物种的分布范围是如此狭窄,以至于再经过一些年的农业开发和木材采伐后就会灭绝。地方物种是种群数量曾经丰富且分布范围广阔的物种的残留部分,是极其脆弱的物种。由于通常它们对栖息地的要求非常狭窄,所以对环境的细微变化非常敏感。一个很有名的例子就是中国的大熊猫,它只将几种竹子作为其全部食物来源。如果这些竹子(这些竹子本身就受到了土地利用的严重威胁)被开发活动和自然的变化所破坏,那么这些熊猫可能就会挨饿。目前中国只剩下大约1000多只野生大熊猫。

种群数量较小的物种也容易灭绝,这是因为个体的少量死亡就可能导致种群数目降低到种群正常繁殖所需个体数目的关键阈值以下,从而使得种群灭绝。这种情况对于像鲸鱼这类习惯于成群生活和繁殖的动物来说特别明显。如果种群个体数目变得太小,即使仍然存在具有繁殖能力的成年个体,种群内的繁殖过程也会中止。小种群容易灭绝的现象对于像印度豹一样繁殖速度较慢的物种来说也非常明显。这类物种每个成年母体平均一年只产一个或更少的后代,而这些后代又需要很长一段时间才能长成具有繁殖能力的成年个体。对于这样的物种来说,其种群的恢复过程是相当危险和漫长的,因为在恢复的过程中它们可能会受到各种干扰。

另一类易灭绝的物种是那些处在相对隔离的环境中,缺乏竞争与捕食威胁的物种。许多自然岛屿上的物种就是如此。例如加拉帕哥斯群岛上的象龟,当山羊被引进后,他们的数量大大降低,这是因为山羊侵占了他们的食物来源。还有其他的一些情况,就是人们的捕杀或者是往岛上引入了某些物种的捕食者。这些捕食者通常是与人类相关的一些动物如猪、狗、鸡和老鼠。例如新西兰和夏威夷岛上的许多鸟类,本来在岛上并没很厉害的天敌,但是后来却遭到了早期定居者引入的捕食者的威胁。在很多热带地区的岛屿上,蛇的引入是造成岛上鸟类种群大量下降的重要原因。有资料显示,夏威夷岛上近200年有三分之二的鸟类因为最开始的玻利尼西亚定居者的迁入而消失。据世界保护联盟(The World Conservation)估计,从1600年以来,世界上已有40%的物种由于外来物种的引入而灭绝。

20.5 景观破碎化的格局与度量

在农业、居住和与其相伴的交通系统引入自然系统以前,自然景观表面覆盖着相互交错的生态系统网络。这些生态系统具有不同的大小、形状和组成成分,而且尽管其中有一些显示出地理结构上的随机性,但事实上它们的分布却是非常有规律的。生态系统的基本结构框架是由地貌情况决定的。那么,既然各大洲地貌系统的比例、格局和组成是不同的,它们的景观生态特征相应地也就不同。

自然地理概况

早期美国东部的定居者吃惊地看到新英格兰地区斑块状的林地,然而在中西部的定居者则惊叹于伊利诺伊州中部大面积整齐划一的草原。这种不同的反应是由于两个地方不同的地貌特征所决定的。伊利诺伊州的地貌主要以大面积连续的生态系统构成,这些生态系统是与当地大范围内的溪流廊道以及它们之间的河间地所构成的大的格局相一致的。然而,在新英格兰地区,北阿巴拉契亚地区的地形是多样的、不规则的,并且有大量裸露的岩层和其间散布着湿地的冰川沉积。地形则以小的且不连续分布的生态系统、更多的斑块和不规则的廊道为主。

尺度差别

人们向自然的景观中加入前面我们所提到的各种土地利用方式。一些早期的土地利用方式如农业给地形的构架增添了特色,但是现代的各种利用方式如高速公路系统却倾向于破坏现有的自然景观,这种情况在没有山的地区来说更突出。每一种加入自然景观中的土地利用方式都在景观中加入一个新层,其中每一层都对原有地貌景观的破碎化产生消极影响。其结果是栖息地斑块变得更小,自然廊道变得更窄、更加破碎。在有些情况下,也会产生一些新的廊道如田地里的绿篱网络。但是,整体上看是平衡的,即景观的生态联结是随着它的经济(土地利用)联系的加强而降低的。只有很少的原来的物种会生存下来,并且对于那些仅存的物种来说,种群也会变得更小、更低的生产力、更小的存活能力。

土地利用造成的破碎化

在大多数农业景观和/或部分开发过的景观中,至少存在五种廊道系统。其中最基本的廊道系统是**滨水网络**。这是一个由河流系统组成的具有等级性的廊道系统(图 20.7a)。虽然河流系统的地貌结构变化多样,但其基本结构都是由河流等级的结构决定的,即一级廊道(没有支流)、二级廊道(至少由两条一级廊道组成)、三级廊道等组成的等级系统(见图 9.1)。滨水廊道系统中廊道的尺寸是随着其等级的增加而加大的,它们的生态功能之所以能正常发挥是因为所有等级的河流都以一种综合的、自我维持的方式联结成一个整体。

廊道类型: 河流廊道

与滨河廊道相对应的是高地上的**河间地廊道系统**(图 20.7b)。这种廊道位于高地地形上,并且处于同一个排水系统中不同的滨水廊道之间。它们常常沿着排水分界线分布。与相邻的河流低地相比,这些廊道有着截然不同的生态系统构成,并且由于它们没有被水渠等流动的系统联结起来,因此在功能上也没有滨水网络系统完整。但是,它们也是一个等级式的结构系统,只不过这种系统是由不同等级的河间地组成的(见图 19.9)。

河间地廊道

线状廊道系统可能是最简单的廊道系统。最突出的线状廊道的例子莫过于道路系统廊道,当然也存在一些很明显的自然线状廊道的例子,如海岸线和湖岸线等。岸线廊道也可能是环状的,如一个内陆湖的岸线,也有可能是延长的,如滨海的岸线。当岸线廊道与其他滨水廊道组合起来时,还可以形成如图 20.7c

线状廊道

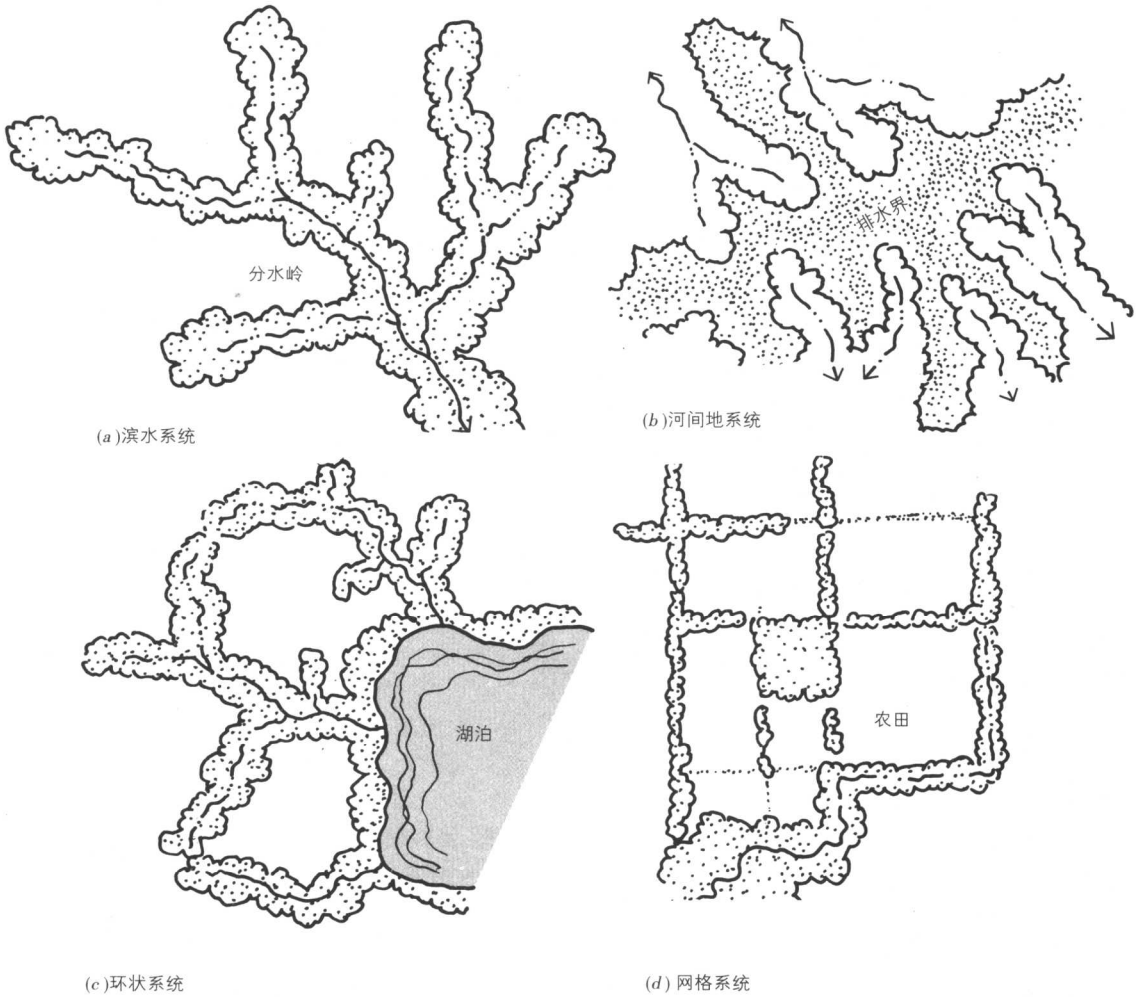


图 20.7 在北美地区景观中较常见的几种栖息地廊道系统。图中所示的河间地系统 (b) 位于两个相邻排水系统的分界线上；景观中网格系统 (d) 则位于农田的边缘，植林地以及排水沟渠处

所示的环状的廊道或单元。

网格状廊道

网格状廊道系统是美国土地测量系统在自然景观上形成的结果。直线形的土地利用模式造成了线状的绿篱、绿道和相应边缘栖息地的产生 (图 20.7d)。

在农业和居住用地部分，就连排水网络也通常与线型网格系统相结合。这样的结果，造成了一个由不同大小和内容的小单元构成的网格系统的产生。大多数这样的小单元都是农业用地，但其中也有一些是林地、湿地、湖或池塘。

片段化

任何一条廊道的破碎化都会造成片段化的或者是不连结的廊道系统的产生。由于道路的分割、湿地的减少、城市的发展以及农业土地的消失等原因，大多数滨水廊道都变得支离破碎。许多滨海的带状廊道经常不连在一起，而且往往会变成一系列残留的斑块。这些斑块都是由于崎岖的地形、湿地或公园才免于开发。

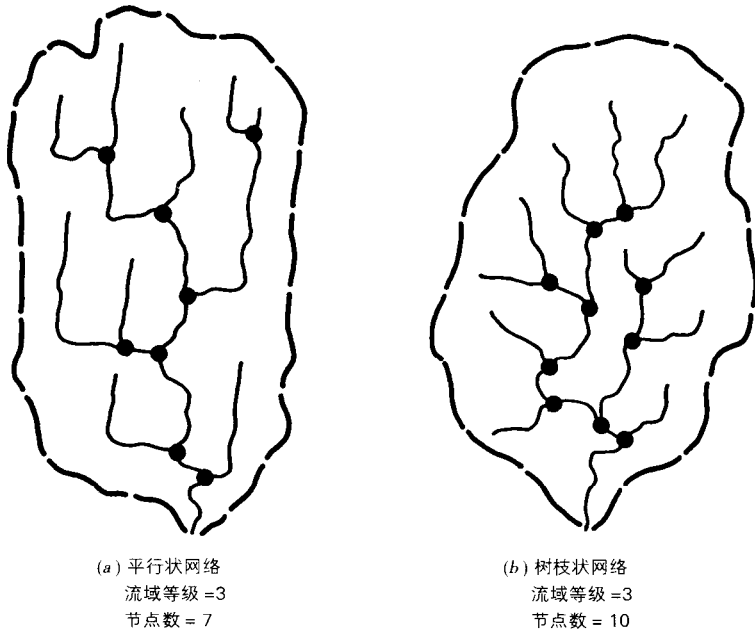


图 20.8 平行状排水网络与树枝状排水网络中节点数目的差别

为了对景观的生态潜力和存在问题进行系统的度量,景观规划师们利用了各种方法来量化表达景观元素如斑块、廊道等空间的或地理学属性。虽然这种努力是值得称赞的,而且对景观生态学带来了一个更具分析化的视角,但是关于这些量度的生物地理学的和生态学的重要性问题仍然没有十分明确。也就是说,这些量度与动植物群落的组成、生产力、物种迁移以及其他一些景观生物学属性间究竟存在着一种什么样的联系仍不清楚。尽管如此,这些量度在定量描述景观的生态学属性时仍然是十分有价值的。在这里,我们介绍几个量度的指数。

空间指数

景观的破碎化程度的度量用镶嵌度来表示,它指的是在每单位面积的土地上所有大小和类型的斑块的总数。另一个相关指数为连接度指数,它是指研究范围内实际斑块间的连接数与最大可能的连接数之间的比例。不同斑块之间的相互作用与流动受到斑块大小与斑块间距离大小的影响。我们可以用一个从物理学中借鉴过来的地理学模型来描述这个问题,就是重力模型。在重力模型中,两个地方(斑块)间的相互吸引力的大小是它们的大小(质量)和它们之间距离的函数。换句话说,斑块越大(因此资源基础就越好)且距离越近,对于物种来说就越具有吸引力。

镶嵌度与连接度

景观中斑块或廊道间的连接形成网络,网络里的交点即结点。我们在前面已经看到了不同类型的廊道网络,而且很容易看到随着由节点控制的连接度的变化,网络也明显地发生改变。例如,由平行的河流构成的滨水廊道系统相对来说具有较少的节点(低度联结),而对于一个由树枝状河流构成的滨水廊道系统来说,整个格局中具有更多的节点(高度联结),这种情况对于引入了一些相互交错的用地廊道的景观来说更为明显(图 20.8)。

网络与特点

20.6 栖息地保护规划

常规的保护计划

对于保护栖息地和物种来说有很多方法,保护计划即为一种常规的保护方法。这种方法的重点是放在公园、野生动物保护区、郊野地区及森林保护区等开放空间和景观质量这两方面的问题上。虽然公园和保护区是目前最常用的保护手段,但是它们也存在保护生物多样性的一些不足。不过,采用公园和自然保护区的方法来阻止栖息地的减少和物种灭绝仍然具有重要作用。加拿大和美国无疑在建立国家自然保护区的工作上处于领先地位,他们具有世界上最大面积的国家公园和保护区。就目前的情况来说,需要实施更多的保护计划,特别是在一些不发达国家,生物多样性已受到诸如热带雨林减少等问题的严重威胁。由于大多数需要实施保护计划的地区实际上都居住着大量的当地人口,因此首先必须为这些人提供足够的安置措施。

一体化的保护
管理

保护与发展一体化是一种新的保护方法,它在支持当地发展的同时,也减少了土地的开发利用对公园、保护区等保护用地造成的压力。其终极目标是为当地居民提供可持续的生活方式。这主要包括(1)购买额外的土地或是对是否将土地用作农业用途进行协商;(2)在保护地区的周围建立缓冲区,缓冲区内可以鼓励进行特定的活动。另外还有一些方法追求**整体的景观管理**,它通过协同一个地区的政府机构、商业和社区领导、土地拥有者等不同的利益主体,来保证在整个规划和管理的过程中都能将生物多样性保护的目标包含进来。

栖息地保护规划

1982年,在美国一个被称作是**栖息地保护规划**的项目作为濒危物种法令的一个部分首次出现。这个项目的目的是保护面积较大的土地利用区如伐木地区的生物栖息地。栖息地的选择需要有土地拥有者和政府机构的共同参与,最后制定出的规划期限为50年。对于土地拥有者来说,这是一种“不吃惊”的方法,这种使用方法使得他们因为有了新的物种或栖息地的发现,能在没有政府意外的干涉下提出一个土地利用计划并且使用剩下的土地。不令人吃惊的是,由于有关物种生活范围、迁移模式等新问题的新发现,政府规划师经常需要修改规划,因此,有关规划期限的问题往往成为争论的焦点。

绿带系统

绿带或**绿色廊道系统**是在生物多样性保护中应用历史最长和最为流行的方法。这种方法很早以前就在欧洲和北美地区的城市规划中加以应用,作为公园和游憩规划的一个组成部分。虽然在城市中所有类型的用地都可被用来作为城市绿带,但是河流廊道通常是最好的绿带类型,因为只有它们可以提供大面积的带状土地以供绿带的建设。而且,河流廊道通常还是许多城市地区仅存的乡村栖息地类型。虽然今天城市规划师们仍然将绿带用作洪水治理、游憩规划和自然保护等许多方面,但是,日益高涨的栖息地和生物多样性保护的热潮使其成为绿带规划的重要目标。

建设农村绿带的
机遇

随着家庭农业的解体和农业土地利用模式的转变,在农业地区出现了为改善生物多样性而建立绿廊的新的机遇。当小的农场放弃生产时,农业土地就会闲置,特别是在河漫滩、山地等边缘地区,情况更为显著。结果是土地内重新生长出木本植物,表土层开始恢复,栖息地通常也会有所改善。但是,在这个过程中通常不会自动地建立起新的栖息地廊道,因为耕地、社区和道路往往还是作为障碍而存在。因此,规划过程应该首先从土地拥有者那里获取土地并与他们协作起来以促进这种廊道联接的过程(图

20.9)。值得庆幸的是,网络的概念和空间整合系统在北美农业地区传统的土地利用基础设施中发挥着重要的作用:小路与大路相联;乡村与城镇通过铁路或高速公路联接起来;不同等级的河流连成整体的排水网络。因此,通过建立联结栖息地碎片的生态廊道来实现栖息地保护的作法不失为一个整治景观的可行方法。

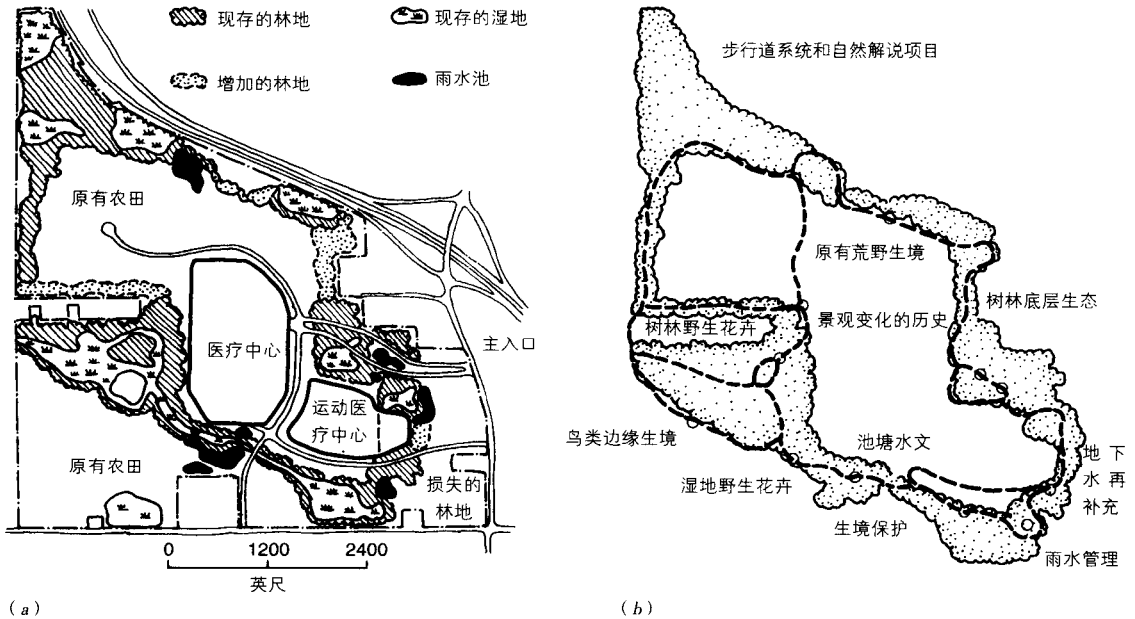


图 20.9 在原有农田上建立的绿带/栖息地廊道系统构成医学中心校园的一部分。(a) 土地利用与恢复规划图;(b) 所形成的廊道有步行道系统和自然解说项目

尽管人们对生物多样性、栖息地的保护和恢复等问题的认识已有很大提高,但是在景观中仍然有强大的阻力存在。在北美地区,最大的阻力就是在景观中出现的巨大的生态障碍物。州际的高速公路系统和类似的大型公路系统就是这样一种阻力,特别是在有些沿这些高速公路有多层土地开发的地方,阻力显得更加强大。这些廊道是一种强加的阻力,是生态学上的废弃地,它们不仅限制了物种的季节性迁徙和分散以及种群间的繁殖,而且干扰了长期的动物迁移过程。对于区域迁移的限制可能是威胁某些种群生存的重要障碍,因为它们可能要改变生活的范围以适应下世纪即将到来的气候变化。有专家预测,由于全球气候变暖的趋势,大量中纬度地区的动植物将会向北迁移。而且他们还关注到,由农田、城市用地和交通廊道构成的大量的区域性障碍(如美国中西部地区)将会大大阻碍这个生物地理学过程。

阻力

我们在本章的结尾提出一些栖息地保护规划中针对地方和区域性项目的一些一般性指导方针。

■应该将重点放在栖息地系统和与之相联系的生态系统的保护上,而不应只是对部分物种进行保护。因为如果没有一定的栖息地类型和物种类型,大多数目标物种都不能生存。

规划的指导方针

■重视关键地方的保护, 因为这些地方是最能满足生物需要的, 因此也是最有希望作为保护和管理的地点。这些地方例如滨水廊道中的湖和湿地都是一个栖息地系统中的重要固定点。

■栖息地系统应该建立在一个强有力的地貌学基础之上。如果没有像河流廊道这样起着重要支持作用的地貌系统, 栖息地就缺乏可供长期可持续发展所必需的弹性。相应地, 由大量不同地貌类型的栖息地斑块组成的廊道与建立在单一地貌学特征或互相联系的地貌上的廊道相比, 安全性较差。

■重视尺度和联接性。通常, 数量较少但面积较大的栖息地斑块的规划比一些小斑块的规划更为重要, 但是对于那些斑块间的隔离是自然的和不可避免的地方, 就不能强行地进行联接。此外, 应该注意到对于某些物种和生态系统, 存在着关键的尺度或空间的阈值, 而且这些阈值可能是与特定的地貌特征联系在一起, 比如说草原壶穴、渗露带、岩面以及污水池等。

■在很宽的纬度带内, 范围扩大, 物种的丰富度会减少。这个原则对于鸟类、爬行动物、两栖动物、树林以及其他一些生物来说都是适用的。因此, 在一些与美国和加拿大差不多大的国家里, 生物多样性保护规划中的尺度因素是随着地理位置的变化而明显发生变化的。

■生物多样性、种群密度和其他一些以栖息地保护规划为目的指标的变化结果可能会令人意想不到或失望。这主要是因为(a)它们通常要比栖息地条件的改善落后几年甚至是几十年, 而且(b)规划方案中有关尺度和配置的努力可能并不会对某些栖息地或物种产生影响, 因此方案也就可能达不到预想的目的。

20.7 案例研究

不列颠哥伦比亚省弗雷泽河三角洲鸟类沼泽栖息地恢复

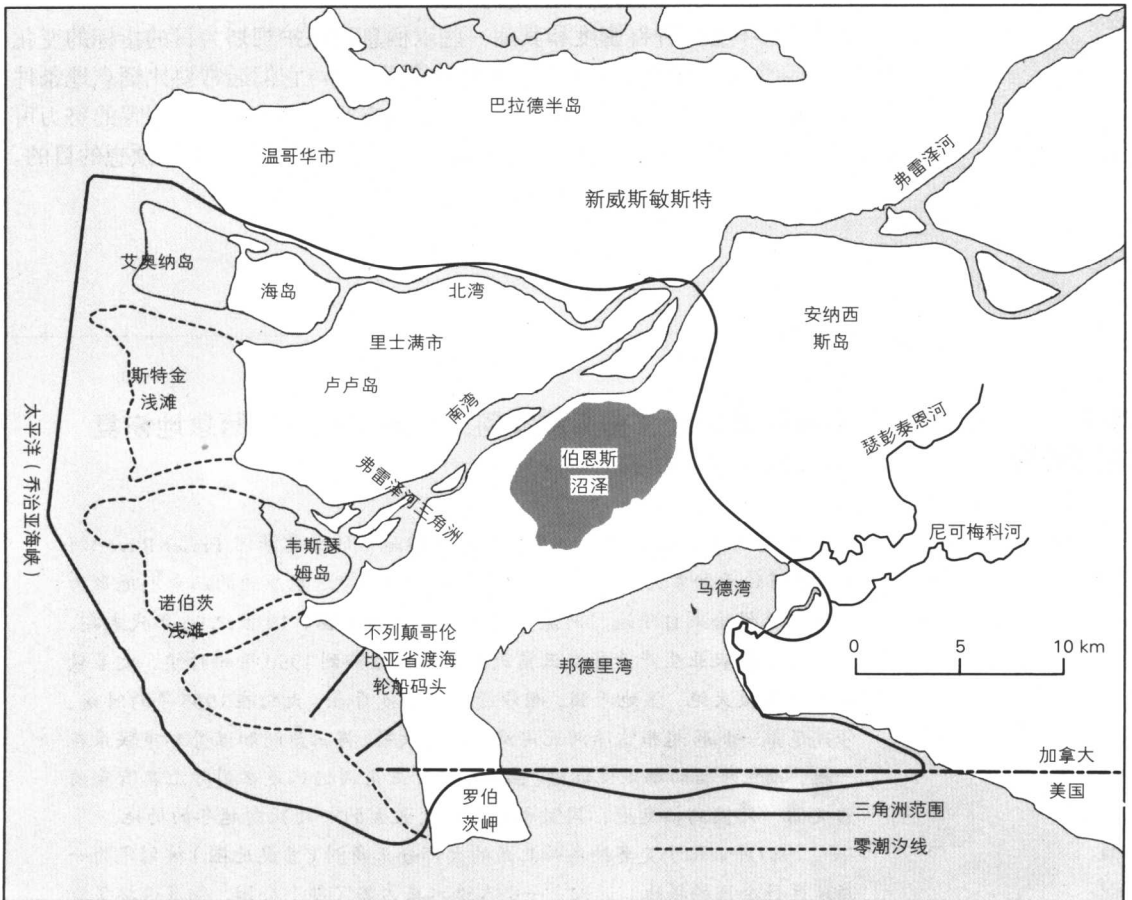
帕特里克·穆尼 (Patrick Mooney)

艾奥纳岛 (Iona Island) 坐落在温哥华地区的弗雷泽河 (Fraser River) 河口, 该河位于加拿大西岸, 属于英属哥伦比亚省。这里原始的三角洲地形为当地居民供给来自陆地、河流和海洋的丰富的食物。19世纪80年代末期, 当地为发展农业生产开始在三角洲上筑堤排水。到1950年的时候, 大多数本土植被被灭绝, 湿地干涸, 潮汐漫溢也不复存在。大约在1955年的时候, 修建了第一批跨越弗雷泽河北河湾的跨河大桥, 将三角洲和温哥华市联系在一起, 并且开始向都市化迈进。然而, 这片三角洲仍然是在国际上具有重要意义的一处候鸟栖息地, 同时也是加拿大最大的一处猛禽越冬的场地。

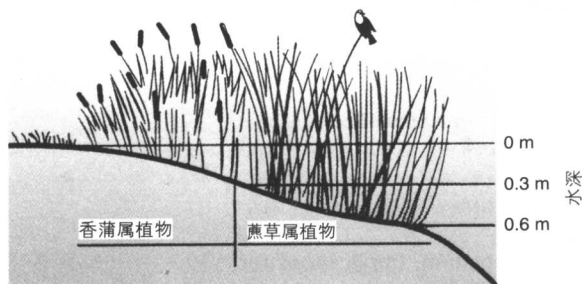
1987年, 位于艾奥纳岛西北角的大部分三角洲 (参见地图) 被划定为一座地区性公园的场地。近来, 一个人造水塘占据了整个公园, 彻底毁坏了野生动物的栖息地。此外, 计划在附近扩建的温哥华国际机场 (YVR) 将迅速摧毁当地稀有的黄头黑鹈 (Xanthocephalus xanthocephalus) 的重要栖息地。因此, 1992年, 一项以最大限度增加鸟类物种多样性和为黄头黑鹈提供栖息地为目标的湿地恢复计划得以贯彻执行。

野生动物栖息地的恢复需要经历两个阶段的模拟过程。通过场地分析、资料整理、专家建议、实地调查和实验室检测，湿地恢复工作者们试图首先了解对于预期打算要吸纳的物种而言，其栖息地必备的必要条件有哪些，以及如何使场地具备维持这些物种生存和延续的必要条件。

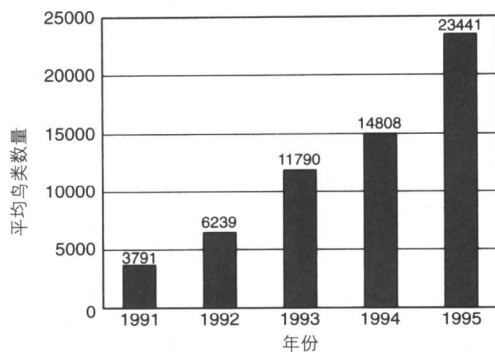
黄头黑鹈的栖息地模型表明，这种鸟类一般在邻近开放水面，由蔗草属植物 (*Scirpus acutis*) 形成的开放湿地中筑巢。从邻近的麦克唐纳沼泽地 (McDonald Slough) 横断面图中可以看出，蔗草属植物一般生长在水深2英尺的水域中，并且在较深的水域中难以存活 (图表1)。香蒲属植物 (*Typha* spp.) 则能适应较干旱的环境，因而生长在湿地中地势较高的地段。在恢复过程中，水塘的水底轮廓线被勾勒出来，湿地植被种植在能够提供它们生存的水深处，同时限制其向开放的水域空间蔓延。麦克唐纳沼泽地和恢复湿地之间的土壤肥力、pH值以及营养物水平状况在实验室中进行了反复检验，以使二者之间能够完全吻合。现存的位于温哥华国际机场 (YVR) 的黄头黑鹈栖息地为湿



地提供了大量的自发生长的湿地植被 (emergent plants)，同时也为湿地周边区域提供本土灌木和树木。



图表1 蔗草属植物被局限在水深1-2英尺的水域中



图表2 1991-1995年艾奥纳岛鸟类存活总数

场地在建成后，追踪调查了三年之久。所有的湿地植被在预期的位置长势良好。在1993年春天的时候，黄头黑鹈开始迁入恢复的水塘中，两年之后，纪录显示已有11个鸟巢和54枚鸟蛋在此安家落户。在湿地恢复之后的五年时间里，鸟类物种多样性显著增加（图表2）。

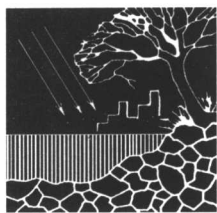
但是，这一规划场地受到了两种外来入侵植物的干扰：苏格兰金雀花（*Cytiscus scoparius*）和千屈菜（*Lythrum salicaria*）。随后的数年间，对金雀花的人工收割和用生物学方法抑制千屈菜的生长已经控制了它们的蔓延。

这一项目带给我们的启示在于，即使在纷扰的都市环境中，生物多样性也能够得以保留。同时，它用事实证明，在湿地恢复中，我们不仅会经受不了外来入侵植物带来的危险，也会得益于生态学模拟方法在湿地恢复中的应用。湿地恢复项目还应进行追踪调查，使我们能够在中期制定正确的修改方案，同时也有利于我们将恢复工作中的得失经验用于未来的湿地恢复项目。

作者简介：帕特里克·穆尼（Patrick Mooney），英属哥伦比亚大学（the University of British Columbia）的景观建筑师，专门研究西海岸生物栖息地的恢复（West Coast habitat restoration），是加拿大景观设计协会（the Canadian Society of Landscape Architects）的成员之一。

20.8 推荐阅读文献

- Beatley, Timothy. *Habitat Conservation Planning: Endangered Species and Urban Growth*. Austin: University of Texas Press, 1994.
- Berger, J. J. (ed). *Environmental Restoration: Science and Strategies for Restoring the Earth*. Washington, DC: Island Press, 1990.
- Butler, R. W., and Campbell, R. W., "Birds of the Fraser River Delta: Populations, Ecology, and International Significance." *Occasional Paper 65, Canada Wildlife Service, 1987*.
- Cronon, William. *Changes in the Land: Indians, Colonists, and the Ecology of New England*. New York: Hill and Wang, 1983.
- Collinge, S. K. "Ecological Consequences of Habitat Fragmentation: Implications for Landscape Architecture and Planning." *Landscape and Urban Planning*, 36, 1996, pp. 59-77.
- Edwards, P. J., et al. (eds.). *Large-Scale Ecology and Conservation Biology*. Oxford: Blackwell Scientific, 1994.
- Falk, D. A., et al. *Restoring Diversity: Strategies for Reintroduction of Endangered Species*. Washington, DC: Island Press, 1996.
- Forman, R. T. T., and Godron, M. *Landscape Ecology*. New York: Wiley, 1986.
- MacArthur, R. H., and Wilson, E. O. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1967.
- Orians, G. H. *Blackbirds of the Americas*. Seattle: University of Washington Press, 1985.
- Robinson, G. R., et al. "Diverse and Contrasting Effects of Habitat Fragmentation." *Science*, 257, 1992, pp. 524-526.
- Smith, D. S., and Hellmund, P. C. (eds.). *Ecology of Greenways*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993.
- Vos, C. C., and Ophdam, P. *Landscape Ecology of a Stressed Environment*. London: Chapman and Hall, 1993.



第 21 章 湿地，栖息地 和土地利用规划

- 21.1 简介
- 21.2 湿地水文学
- 21.3 湿地生态系统
- 21.4 湿地的类型与环境
- 21.5 湿地综合分类系统
- 21.6 绘制湿地地图
- 21.7 有关管理和湿地缓解的思考
- 21.8 案例研究 探寻更好的湿地法规和管理方法
- 21.9 推荐阅读文献

21.1 简介

许多环境规划必须处理好边界——一种环境向另一种环境过渡处的线状和带状景观。没有任何边界比陆地和水体之间的边界更重要。在这一边界上，居住着十亿多人口，并且在此能找到地球上最丰饶的生态系统。在它们当中，占据着浅水环境的是湿地生态系统。

由于长期以来，湿地在土地利用中一直被看作有边际效用中的边缘环境，因此数个世纪以来一直是严重滥用的对象。据估计，从1800年以来，在美国（除去阿拉斯加）有50%的原有湿地遭到了毁坏。然而，在过去几十年里，湿地已经在美国、加拿大和其他一些国家的环境议程中确立了稳固的地位，并出现了一些对它们进行保护以抵抗土地开发压力的法律条文。在这些法律条文之后，关于湿地的基本环境原理具有双重含义：（1）湿地是许多残存的水生和陆生物种必须的、重要的栖息地；（2）湿地是构成水文系统的一个不可或缺的部分，对保持水源供给和水质十分重要。

对于湿地在土地利用规划中的考虑，除了一些环境质量的基本原理外，还有许多纯粹实践的因素。首先，在依靠排水状况描绘湿地形式特性的地方，这些景观地带对大多数土地利用具有非常大的局限性。这些条件的覆盖范围通常远大于湿地自身，并且在很多情况下，这些条件并不因除去湿地就消失。由于需要场地排水、洪水防护和设施维护在湿地上进行建造会大大增加总的开发费用。第二，大多数湿地的下层通常是有机土壤，它们对多数形式的开发来说是不稳定的。要想利用这类土壤，就需要有专门的，精心策划的工程技术方案，或者挖掘转移原有的土壤，并且用坚实稳定的填充材料取代。很明显，两种方案的花费都会大大增加。第三，就像湖泊和溪流一样，湿地是一种能给人旷神怡之感的景观。它能够提高土地的价值，并且给有见识的开发者提供设计机会。对许多土地利用而言，如果湿地被纳入恰当的土地利用规划方案，其财产价值会明显提升。

实践中的考虑

湿地的概念涵盖了如此大范围的自然状况和生态学特性，以至于很难对它们给出一个简洁的定义。但是，科学家们一般认同所有湿地都有三种特征，这些特征可以当作是对湿地的一般性定义：

- 表面有体，通常是相当浅的水，全年或一年中部分时间存在。
- 存在着有特别的土壤，通常会有极高的有机物成分，和高地的土壤明显不同。
- 生长有适应潮湿土壤、地表水，或是洪水环境的不同种类构成的植被。

定义特征

一些制定环境政策的管理机构对湿地进行了各种定义。美国鱼类与野生动物局（The U. S. Fish and Wildlife Service）使用如下的定义，为规划师广泛接受：

管理的定义

湿地是存在于陆地和水生系统之间的过渡性地带，通常地下水位在地表或靠近地表，或者是土地被浅水淹没……湿地必须具有下述三种特征的一种或几种：（1）这一土地必须维持占优势地位的水生植物生长至少是周期性的；（2）底层主要是未被排水的含土壤；（3）底土层是非土壤，并且被水分浸透，或

者在每年生长季期间的一段时间内被浅水淹没。

在加拿大, 加拿大湿地登记处 (Canadian Wetland Registry) 使用如下定义:

湿地被定义为这样一类土地: 具有位于、靠近或高于地表的地下水位, 或者土地被浸润了足够的时期以促进湿地或水生过程, 其象征是含水的土壤、亲水植被以及适应于湿润环境的各种不同种类的生物活动。

21.2 湿地水文学

水是湿地最基本的组成成分。尽管植被通常是湿地环境中最明显的组成部分, 而且在法规上通常用它们来定义湿地, 但是, 对于湿地的起源和维持, 水无疑是最具推动性的力量。事实上, 传统的将湿地连根铲除的实践方式, 几乎总是牵扯到所涉区域的排水以及限制正常水量供给汇集之类的问题。

水文动态

每一个湿地都可以被描述成一个有水的流入和流出的水文系统。对大多数湿地来说, 水的流入和流出都有一个特定的模式或是机制, 它表现在湿地内部水位的上涨和降落。这些涨落变化的周期性变动相当大, 主要取决于湿地环境、水源和气候条件。有一些湿地是节奏性的波动, 就像潮汐性沼泽中水的每天波动一样; 另一些湿地是季节性波动, 就像河谷中每年春季的洪水一样; 并且还有一些是偶然性的波动, 就像一些孤立的场所, 任意时间的突然降水事件都会引起湿地的变化。在所有上述情形中, 水文动态是理解和管理湿地的关键。此外, 植物生产率和动物生命周期也会随之做相应调整。

水源

湿地系统可能存在四种水源: (1) 直接的降雨; (2) 来自周边土地的径流, 包括注入的河流; (3) 地下水的注入; (4) 海洋的潮水 (图 21.1)。所有湿地都接受降雨, 并且实际上所有湿地都接受某种形式出现的径流, 如河流、暴雨, 或者地表径流。但是, 由于地下水位受土壤和地理环状况的控制, 因而只有某些湿地接受地下水, 当然, 也只有海岸边的湿地接受海洋水和潮水。从水量损失方面来讲, 湿地损失的水量主要是土壤水分蒸发损失, 渗漏地下, 河流排泄, 以及潮汐外流。综合上述因素, 水的流入和流出决定了湿地的水量平衡 (图 21.1)。

水量存储

为了维持大多数湿地, 水量平衡不应发生剧烈波动, 比如很长一段时间内没有足够的外部水源注入。为了缓解这类日益恶化的事件, 湿地通常以土壤含水量和地下水的形式拥有巨大的水储存量。构成大多数湿地下层土壤的有机土壤, 具有非常高的水量保持能力。在完全浸润的情况下, 有机物质如腐殖土和泥炭能够使每英尺土壤保持超过 6 英寸的水量。此外, 这些有机物质也有很高的水量输导能力, 通过毛细管作用, 水分很容易从土壤深处传导到植物根部区域。这两种水文现象是许多陆生湿地 (特别是那些没有任何附属水源, 如河流、湖泊、或是一处含水层的湿地) 在持续很久的夏旱时期得以留存的主要原因。

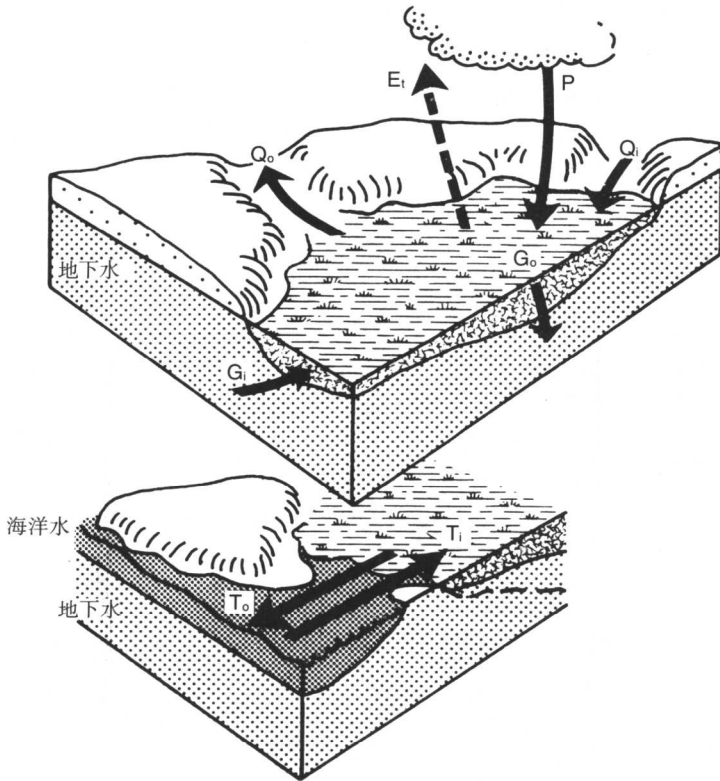


图21.1 湿地系统中水的注入和流出。P指降雨；E_i指土壤水分蒸发蒸腾损失；Q_i指河流的注入；Q_o指河流的流出；T_i指潮水的注入；T_o指潮水的流出；G_i指地下水的注入；G_o指地下水的流出

21.3 湿地生态系统

对许多植物和动物而言，湿地是颇具吸引力的栖息地。湿地中的物种多样性经常远高于邻近高地景观中的物种多样性，而且在物种多样性并不突出的地方，单一物种的个体数目会很突出。湿地的生物量（地表每平方米范围内生命物质的总重量）通常会高于邻近的深水生物栖息地，或是邻近高地区域内的生物量。而且，用每年产生新的有机物质的数量来衡量的湿地植被生产力，通常会高于其他的生物栖息地。

生物景

在如今的规划和管理事务中，湿地的首要属性无疑是其生态特征与功能。除此之外，湿地通常还被引用作为典型的生态系统。生态系统是一种生物能量系统，由食物链构成，能量沿着食物链从一群有机体转移到另一群有机体。这一生态系统的基本能量来源，是植物将光合作用消耗的太阳辐射、热量和其他必须的能源转换成的有机能量，以有机物（糖类和碳水化合物）的形式存在于植物体内。在植物体内，这种能量沿两种路径转移，其中一部分被用于呼吸作用（植物自我维持过程）；另一部分用于发育成新的器官（叶、种子等等）。植物一年内制造出来的新器官的总数量被称为“基本生产力”，它是这一生态系统中所有其他有机体赖以生存的能量来源，也直接或间接地，以食草动物作为开端，而终止于特定的食肉动物（图21.2）。

湿地生态系统

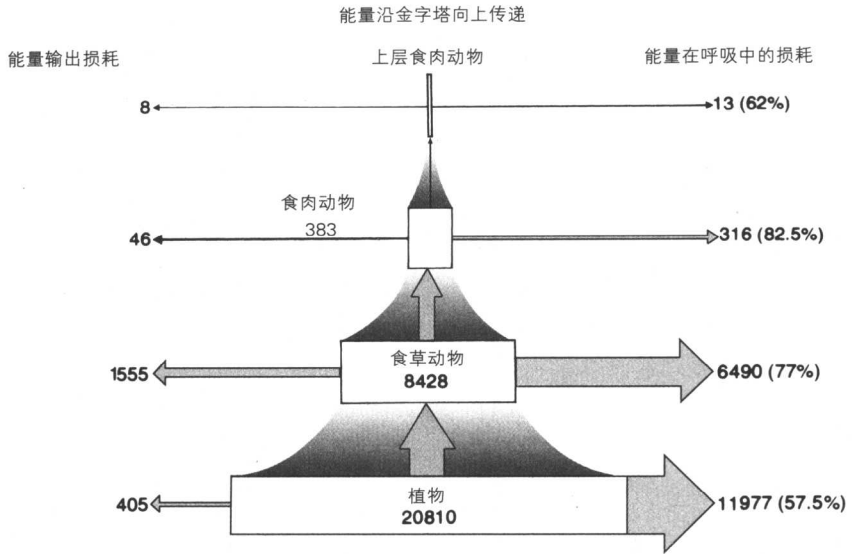


图 21.2 一个典型的生态系统，被称为能量金字塔，展示这一组织中四个基本能量级别 [佛罗里达银泉 (Silver Springs, Florida)]，所有的单位都是千卡 / 每平方米 · 每年

湿地生产率

湿地生产率，用每年地表每平方米范围内产生的有机物质的克数来衡量，通常会比邻近高地植被生产率的 2 倍。以沿墨西哥湾的一片盐性沼泽为例，与它邻接的亚热带森林每年每平方米 1000 至 1500 克的生产率相对比，盐性沼泽生产率的平均数接近 2000 克 (每平方米) 每年。许多因素会影响到湿地的生产率，很明显气候情况是很重要的因素。由于受生长季的限制，北方泥沼的生产率平均只有 500 至 600 克每年。水文状况也是一个重要因素，因为它会显著影响到营养物的供给。生产率最高的湿地是那些拥有适度的，而且连续水流的湿地；与之相对照的，水静止不动的湿地通常生产率很低。污水也会影响生产率，湿地接受了来自暴雨和污水处理设施的肥沃的污水，通常会产生更高的生产率，而那些接受污染物质，如重金属和石油残渣的湿地，不仅会导致生产率下降，而且物种多样性同样也会降低。

营养物供给

有机质平衡

如果湿地能够制造大量的有机物质，它们也必须具有清除有机物的办法。生产率与清理或损耗之间的平衡决定了湿地的有机质平衡。有机质平衡的变化会影响到湿地底层土壤中有机物质存储量的变化，也就是说，会影响到腐殖土和泥炭的储量。当有机质平衡走向反面，损耗超过了生产率，那么有机物存储量就会大大减少。

输出和分解

湿地中有机物质的损耗过程，是指微生物的分解、食草动物的消耗、地表水的侵蚀以及向地下水中渗滤 (化学分解)。由于当地环境和水文状况的差异，侵蚀和渗滤造成的有机物质输出变化很大。对于潮汐湿地，如红树林沼泽和盐性沼泽来说，有机物输出会大到占每年生产率的 40%~50%。但是，在那些水文活动倾向于终止的湿地中，有机物输出通常可以忽略不计，并且分解实际上成了有机物损耗的惟一方式。在所有控制分解的因素中，水的深度是最重要的因素，因为水深和水的混合运动共同作用，控制着许多正在分解的有机物获取氧气的的能力。在完全被洪水淹没的情形下，几乎没有氧气可以用于有机物沉积，

分解速度也会变慢，特别是在水静止不动的湿地中尤其明显。如果水流被排泄到有机沉积物暴露在空气中的地点，分解速度会大大加快。这就是当湿地被人为排泄的时候，湿地生产率减小的一个重要原因。

一般说来，湿地生态也是影响其植物分布特性是一个重要因素。从传统意义上看，湿地根据植物分布的结构（或形式）和植物种类组成进行描述。目前有各种对于湿地进行描述的术语，如木本沼泽、草泽和泥沼。这些术语多年来一直被使用着，尽管从一个地方到另一个地方，它们的含义会稍微有些变化，但是这些术语至今仍然富有意义，并且仍然被广泛使用着。草泽是指被草本植物占据的湿地，这些草本植物通常是剑叶类植物，如香蒲、芦苇和灯心草等（图 21.3）。尽管这些植物会长到 6 英尺或更高的高度，草泽经常看起来就像是草原或草地；事实上，有些草泽被称为湿草地（参见 12.8 节的案例研究）。此类湿地的土壤通常很肥沃，具有相对较高的（碱性的）pH 值，这一特性使得草泽在很多地方都是极具吸引力的农业用地。

草泽

木本沼泽是指树木和灌木丛占据的湿地（图 21.3）。美国和加拿大有许多各不相同的木本沼泽。例如气候极端严酷的地区，美国南部是柏属植物沼泽（见图 14.8），美国北部和加拿大是北部针叶树沼泽。北部针叶树沼泽由各种不同的树木占据：云杉、美洲落叶松、香柏或者香脂冷杉，它们可以和其他各种不同的树种和灌木丛发生联系。由于其短暂的生长季和持续潮湿（或洪水淹没）的土壤，北部针叶树沼泽中树木的生长发育经常会受到阻碍，而且即使到完全发育成熟的时候高度也仅有 10 至 20 英尺。

木本沼泽

泥沼是北部的湿地类型，具有极其多样的植被组成。它们的特征表现为具有深厚的有机沉积层，通常是腐殖土，并且倾向于酸性。泥沼经常以水塘或湖泊的形式存在，在此植被呈同心环状分布，从最外部的树木带向靠近中心自然出现的漂浮植物带变化。尽管泥沼趋向于填满湿地并且最终会发育过剩（图 21.3），但是对地下水、河流水量和阻塞物如海狸坝的变化而产生的水位上涨和降落，许多泥沼仍表现出一种扩张和收缩的能力。

泥沼

21.4 湿地的类型与环境

湿地可以依据不同的方式进行分类——例如，以植物分布（就如前面所描述的）、水文动态、或者地理（或是自然地理的）环境为基础进行分类。在形成湿地系统的过程中，最基本的控制因素就是其自然地理环境，包括湿地的地形现状、邻近景观（周边的土地利用和植被）、土壤和地下状况（沉积物和基岩）。这些因素的某种组合方式，要么会导致一种阻碍（减慢）排水的状况出现，要么为湿地提供丰富的水源，从而进一步促进湿地栖息地的产生和增加。

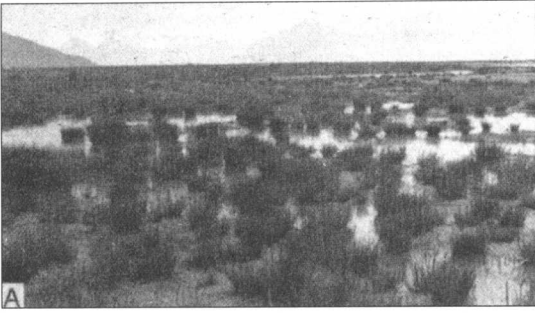
自然地理因素

学会辨认产生湿地的自然地理状况，是理解湿地的功能和维持湿地的首要步骤，因为环境对湿地水文状况来讲十分重要。在许多情形下，只需要通过随意的场地观察，就会发现环境与水文功能之间的关系（例如，沿水塘或河口岸边的浅水区）。但是，在其他一些环境中这种关系并不十分明显，因为与调节水量损失有关的水源或现状条件可能会隐藏在地下，或者与偶尔发生的水文事件相关联。

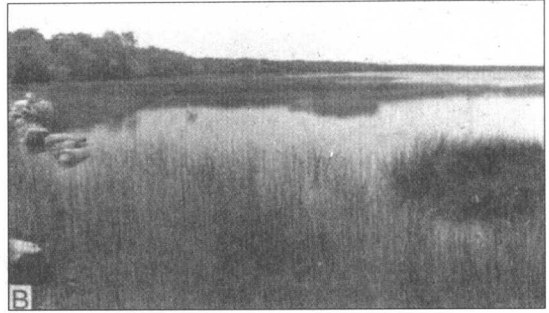
以自然地理环境和水文状况为基础，我们能够定义四种常见的湿地类型：

(1) 地表型；(2) 地下水型；(3) 滨水型；(4) 复合型。地表型湿地场所是指依

地表型湿地



A 海岸盐水沼泽



B 内陆淡水沼泽



C 落叶树沼泽



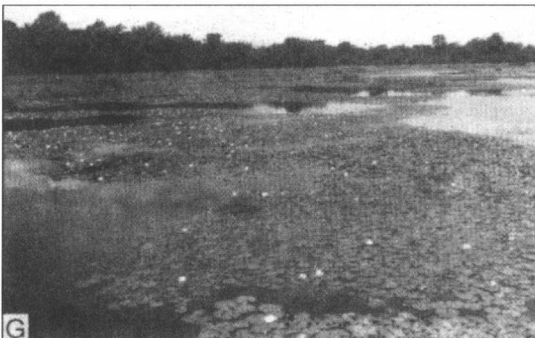
D 针叶树沼泽



E 灌木沼泽



F 北部泥塘



G 水生植物种植区



H 开敞的河流

图 21.3 展示美国北部草泽, 木本沼泽和泥沼实例的图片

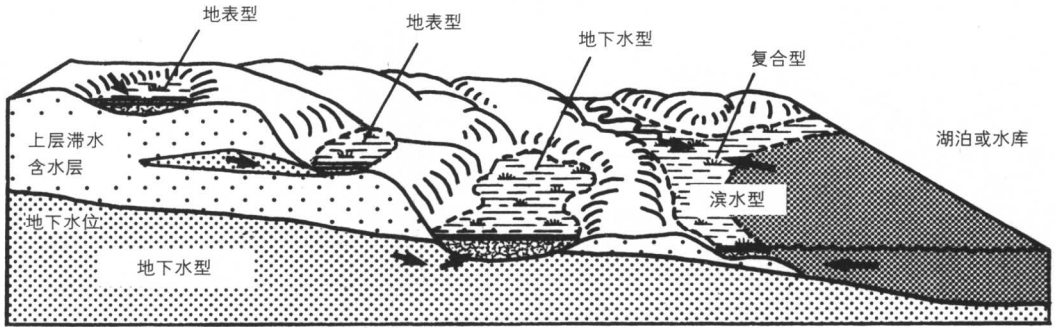


图 21.4 一幅示意性的图，表明与地表型、地下水型、滨水型和复合型湿地相联系的某些类型的自然地理和水文状况

靠地表水源的湿地，这些地表水源主要包括直接的降雨、以地表径流形式存在的当地径流、短暂的渠道水流，以及层间流（图 21.4）。这些水流汇集在浅洼地、封闭的凹陷地和遭到干扰的场地内（此处的排水状况通常受到沉积物、倒落的树木、建筑或农业活动的阻碍）。此类湿地以植物的分布覆满整个潮湿地面作为开端，其后伴随着两种有助于将场地稳定为一种湿地环境的变化过程：（1）有机残体和无机沉积物的集聚导致湿地土壤的形成；（2）细小的沉积物颗粒进一步将湿地底层进行密封。这两种变化通过增加湿地的持水能力改善了湿地的总水量平衡，不过，地表湿地的水源供给通常会遭受激烈的季节性变动的影响。

地表湿地也包括那些靠上层滞水维持的湿地。这些透镜状的地下水靠近地表，位于主要地下水水体之上（图 21.4）。在远处透镜状地下水截断地表的地方，地下水渗露出来并浸润覆于其上的土壤，从而为湿地的产生创造了环境。这种情况经常是处在山坡上、浅洼地和小河流渠道头端的湿地形成的主要原因（见图 7.6）。在某些北方泥沼中，泥炭藓是占据优势地位的植被覆盖物。湿地可能实际上会向上部和外部延伸，超越了渗露区域的局限。这种情形的产生，应归结于有机物质内部的毛细管作用引起了水分的增加。

地下水型湿地场所通常在地势较低的景观中存在，如位于河流河谷的地面上、灰岩坑口、以及冰河作用形成的凹陷处。这些场所位于或者处在主要地下水水体的水位附近或以下，而且作为地下水系统中的低压点，它们容易接受排泄出来的地下水。这种类型的湿地的补给水源一般很大，湿地的水量供给充足，而且不像地表湿地那样，容易受到不同的降雨量，和周边土地覆盖物以及地表排水模式变化而产生激烈波动（图 21.4）。不过有些地下水湿地，如北方的泥沼，在季节性或更长时间基础上，当围绕在其周围的地下水位上涨和降落的时候，容易产生几英寸左右的水位波动。

地下水型湿地

滨水型湿地场所是指那些位于主要水体之内的周边湿地，如湖泊、大的河流和河口湾（图 21.4）。由于水的深度变化，这类湿地通常会展现出一种稳定的生物栖息地分级模式：从位于水边的深水水生生物到生活在陆地边缘高处的湿地生物。作为湿地中水的主要来源，这些控制性的水体同时掌控着湿地的水文动态。但是就像一枚硬币有两个面一样，由于水体也是一些灾害性过程（如暴风浪、洪水径流和冰的运动）的来源，因此它们也会削减湿地范围，而且在有些情形下，会把湿地完全淹没（图 21.5，也可参见图 14.12）。

滨水型湿地

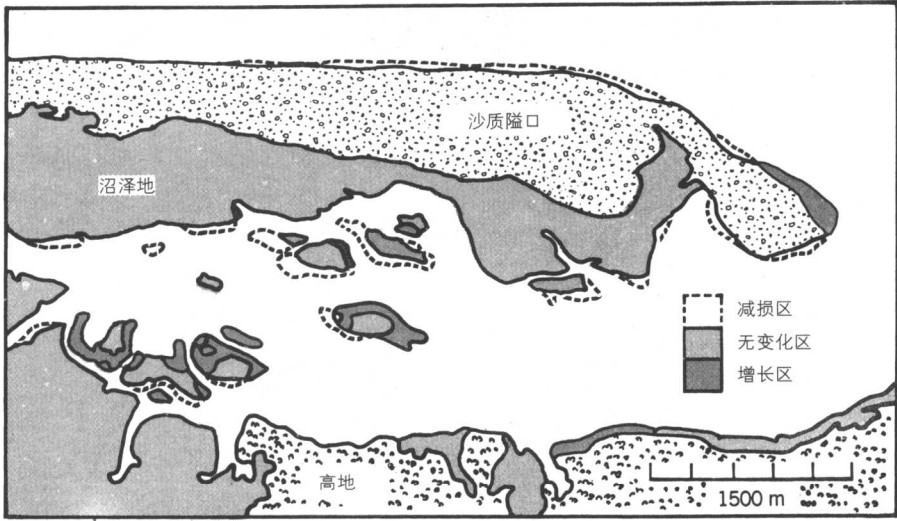


图 21.5 1859–1957 年间，大西洋海岸边一块入海口湿地的变化情况。这一图示表明湿地的特性变化不大，也就是说，湿地在自然条件下既有消退也有增长

复合型湿地

复合型湿地场所是指那些由两种或更多种水源维持的湿地，大多数大型、持续时间长的湿地都属于这一类。例如处在河流洪泛平原中的针叶树湿地就是靠洪水和地下水共同维持的（参见图 14.8）。海岸湿地经常靠潮水、河流排泄和地下水联合起来维持。因为每一种水源都有不同的机制，湿地的补给水源可能会随季节变化而发生改变。例如在北美洲五大湖地区（the Great Lakes），河流的高峰流量在春季，而湖泊自身达到最高水位则是在夏末。因而当河水流量对海岸湿地的补给在夏季沉寂下来的时候，北美洲五大湖往往会增加湿地的正在

管理内涵

缩小的水量。复合型湿地是最复杂的湿地系统，因此，也最难进行管理。各种变动会对其不同的水源、湿地内的水传输机制和水的排放产生复合的影响。这些变化往往在建设道路、沟渠、航海设施和洪水控制构筑物时表现出来，它们对于湿地的影响最初看起来很微小，但是从长远的角度来看，却会逐渐变化，最终对湿地造成巨大的影响。近来对这类湿地进行管理的过程中，最引起争议的方案正在佛罗里达南部埃弗格来兹大沼泽地（Florida Everglades）（埃弗格来兹——美国佛罗里达州南部的一片亚热带沼泽地区，内有大沼泽国家公园，以其野生动物，特别以鳄鱼、短吻鳄鱼和白鹭而闻名——译者注）中实施。

21.5 湿地综合分类系统

美国管理机构

在与湿地有关的许多政府机构中，美国鱼类与野生动物局（U. S. Fish and Wildlife Service），美国环境保护机构（U. S. Environmental Protection Agency）和美国军事工程署部队（U. S. Army Corps of Engineers）是法规复审程序中的核心机构。在加拿大，湿地政策和法规主要由省属机构制定。这些机构负责对湿地进行解释，同时也对准予在湿地区域内实施的项目进行复审。为了使复审程序便利可行，美国管理机构已经采纳了一个湿地分类系统，这一系统范围广阔并且是近来美国国家湿地测量（U.S. National Wetland Survey）的一个组成部分（图 21.6）。

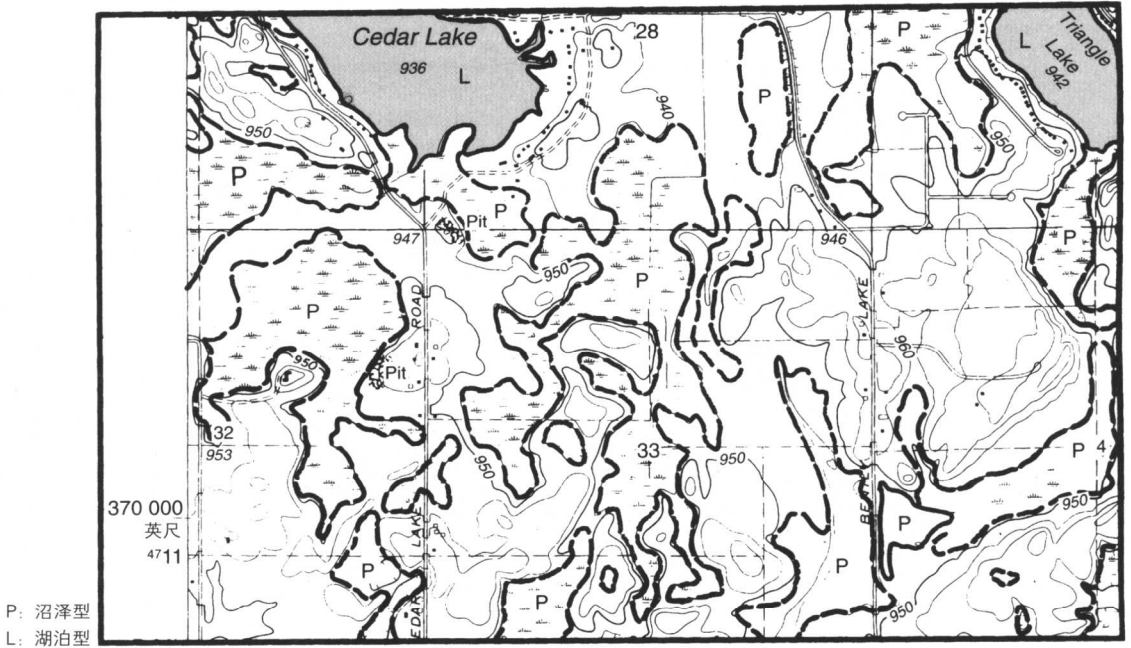


图 21.6 来自美国国家湿地测量的一幅图的一部分。这幅工作草图是一幅标准的美国地质勘探局绘制的地形等高线图。其中的代码参考了湿地的分类系统

在这个分类系统中，湿地和深水栖息地都予以重视，深水栖息地是永久性被淹没的土地，位于湿地的深水边界之下。在咸水环境中，深水栖息地正好从春季低潮时的最低水位线附近开始。在其他水体中，这一边界线在低水位标记之下 2 米 (6.6 英尺) 的地方。这一界限被看成是自然出现的水生植物能够生长的最大深度，湿地从深水线开始朝陆地发展。

深水限制

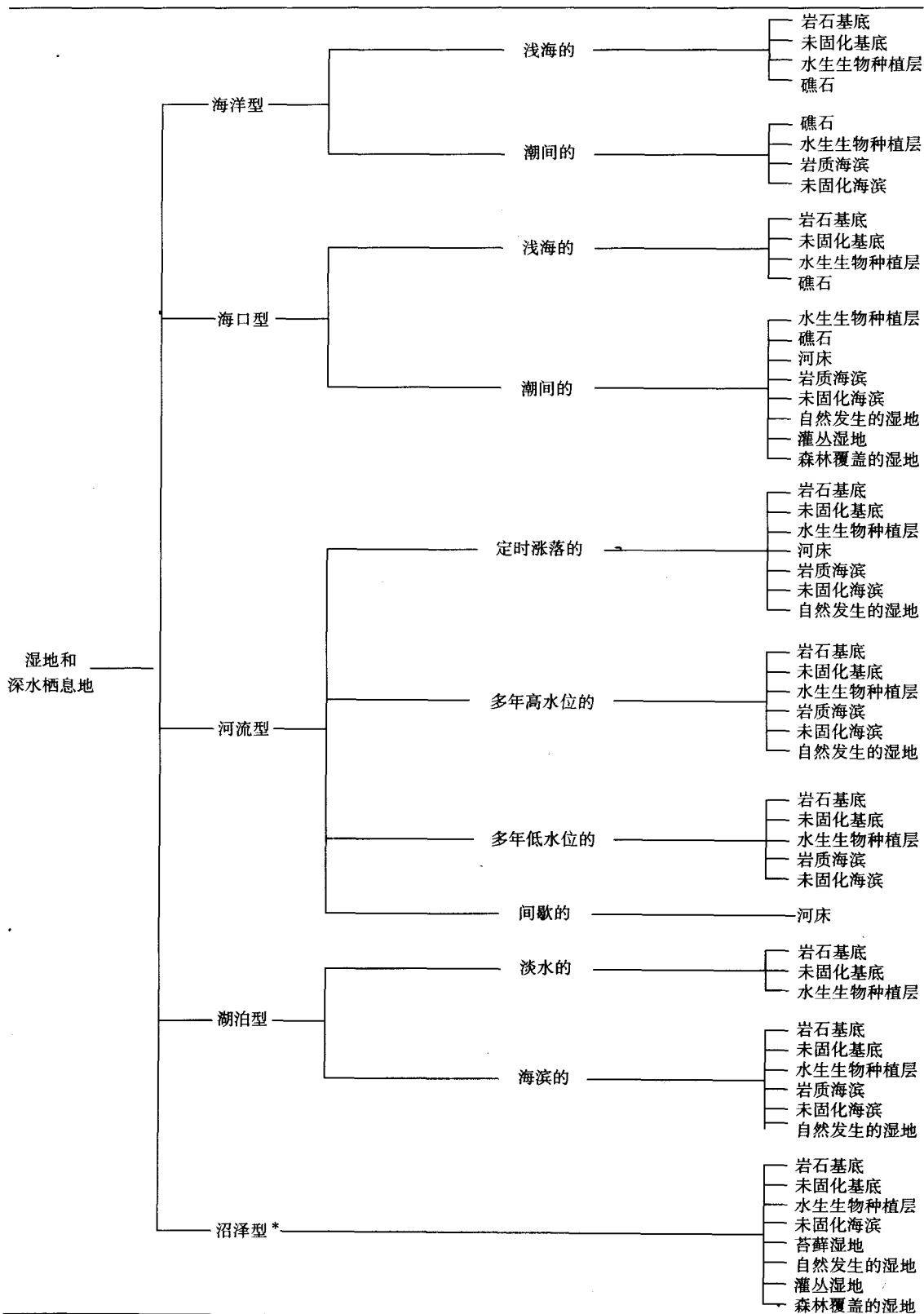
这一分类系统被划分为三个基本等级，以湿地系统作为第一等级 (表 21.1)。总共分为五种类型 **湿地系统**：海洋型、海口型、河流型、湖泊型和沼泽型。海洋型包括开敞海洋中的深水生物栖息地和邻近的沿大陆海岸线和岛屿的潮间区域分布的海洋湿地。海口型是指海岸边的港湾，和被淹没的河流入海口，并且包括盐水沼泽、盐性潮汐湿地、红树林沼泽和深水海湾。河流型被定义为淡水河流河道，而湖泊型被定义为静止不动的水体，主要是湖泊、池塘和水库。河流型和湖泊型都包括深水生物栖息地。与之相对照，第五种类型，也就是沼泽型只具有湿地生物栖息地。湖泊是一种主要的湿地类型，因为它包含着美国北部的大部分湿地，也就是说，内陆的木本沼泽、草泽和泥沼。

湿地系统

除了系统等级之外，该分类还为除湖泊之外的各类系统确定了子系统。在第三个分类等级中，湿地类型被确定下来，它们要么代表基本的生物栖息地，要么是以植被为基础确定的湿地类型。在沼泽系统中，三个主要湿地类型是 (1) 自然发生的湿地；(2) 灌丛湿地；(3) 森林覆盖的湿地。自然发生的湿地中草本植物占据优势地位，包括青草、香蒲、灯心草和莎草。灌丛湿地为低矮的木本植物所占据 (低于 20 英尺高度的灌木和树木)，而森林覆盖的湿地则由高于 20 英尺的树木所占据。

湿地类型

表 21.1 湿地和深水栖息地的三级分类系统，包括系统、子系统和类别



* 沼泽型系统不包括深水栖息地

21.6 绘制湿地地图

在环境规划中,绘制湿地地图已经成为最重要的资源调查活动之一。不管项目的性质如何,这一过程对于识别湿地和确定湿地的地理局限性都是十分必要的。实际上,当我们竭尽全力绘制景观要素图的时候,开头总会遇到三个问题:(1)用于确定边界轮廓的基本标准或指示物;(2)数据资料的来源;(3)绘图的分辨率,也即所要求的地图详细程度。

在绘制湿地地图时,条文明确限定了三类绘图标准:植被、土壤和水文学。依据州和当地的指导方针,定义一处湿地有时需要所有的三个标准,有时需要其中的两个,有的仅需要一个。植被是绘制湿地地图时最常使用的标准。许多湿地的边界,如图 21.7 中所示的那样,能够通过植被结构的突然变化予以识别,特别是在低地/高地地形过渡剧烈的地方尤其明显。这种边界也可以用第三种植被形式——镶嵌在湿地边缘的条带状灌木植被——作为标记,这一点在图 21.7 中也很明显。虽然植被结构在绘制湿地地图中颇有用处,但是植被种类组成被认为是确定湿地边界更为可靠的标准。某些植物被用来作为湿地的指示物种,而且它们所占据的地域被看作是湿地生物栖息地最好的证据,尽管关于这一点还存在很多争议。指示物种随地区的不同而相应变化,在大多数地方,需要的指示物种的名单可以从环境机构、大学植物学家、或者环境组织中获得(也可参见附录 F)。

第二种识别标准是土壤。“含水的”这一术语被广泛用来描述湿地的土壤。这些土壤主要是有机土壤,如腐殖土或者泥炭土,但是也有许多包含被水浸透

制图标准: 植被

土壤

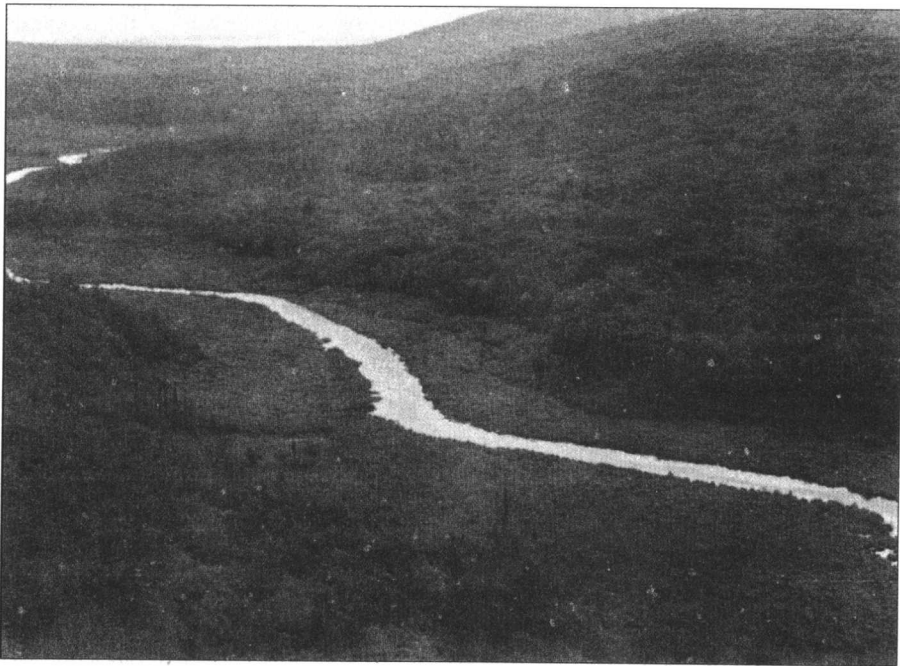


图 21.7 湿地边界由植被结构的突然变化标示出来

的矿物质土壤。土壤一般被用来作为继植被之后的二级指示物。利用已出版的土壤图进一步确证最初以植被模式为基础标绘的湿地边界时,应该特别地小心谨慎,因为许多原有的土地界限部分是依照植被分布确定的。这样就会发现含水土壤(例如,就像美国自然资源保护局的土壤图所示)和湿地植被之间的相关性可能会构成循环推论的关系。这样,对土壤进行实地检测通常在绘制湿地地图时十分有必要。

洪泛 第三种识别标准是洪泛。如果一个区域会遭遇周期性或频繁的洪水,并且处在洪水区之内,如指定的洪泛平原,这也可以看作是湿地的证据。虽然易发生洪水的区域如洪泛平原很容易识别出来,但是这类区域的边界经常很不精确,因为它们通常是依据水文学计算来限定,而不是靠对洪水所包括范围的实地测量限定的。因此,就确定湿地的边界线而言,我们应该更多地依据植被和土壤,而不是依据洪水区域(也可参见第10章的10.4节)。

数据源: 地图

绘制湿地地图所需要的数据资料和信息来源可分为两类:(1)出版的原始资料,如地形图,航空影像和土壤图;(2)实地勘测。在美国地质测量局和加拿大国家制图部门(National Mapping Branch)出版的大比例地形等高线图中,会标绘出面积大于10英亩左右的湿地区域。这些区域是依照航空影像中可见的地表水、植被模式、地形走向和对湖泊和河流等水体的接近度绘制的。土壤图,如那些由美国自然资源保护局(NRCS)出版的土壤图,并没有标绘出湿地,但它们描绘出了含水的土壤。但是如前所述,出现在NRCS土壤图中的原有土地边界分布,经常是靠植被和地形线确定的。因此,从场地的角度来看,这些边界经常不能被当作值得信赖的独立的指示物。在利用土壤来确定湿地轮廓线的时候,实地核实变得十分必要。

航空影像

航空影像在绘制湿地地图时极其有用。美国鱼类与野生动物局(U. S. Fish and Wildlife Service)已经利用小比例(高海拔)的红外影像为美国许多地区绘制了粗略的湿地地图。但是为实施规划目标,更高的制图分辨率是十分必要的,它需要用立体透视法将大比例航空影像进行强化。例如,立体模型强化突出了植被的结构和形式,以及森林覆盖和植被构造上的不同之处,有助于鉴别湿地区域。此外,红外影像提供了强化的景观,其中显示的水体、不同的植被类型和暴露的土壤,彼此之间的对比度要远远高于标准的航空影像。

实地核查

对于那些包含湿地在内,需要开发或者变更的场地,对湿地边界进行实地核查和精心布局是十分必要的。实地核查包括沿边界考察,记录出指示性植物、土壤和高水位的证据。高水位的证据包括树上的水位痕迹、搁浅在地面上的浮木、浅滩和暴露在外的树根(见图14.12)。当湿地的边界被鉴别出来的时候,应该用标记标示出来,让湿地的边界能够通过实地勘测被固定下来并且标绘在场地现状图上。

21.7 有关管理和湿地缓解的思考

湿地缓解并不始于开发利用的场地,也不是水体边界,而是公众对待湿地的态度和了解程度。就像处理许多环境问题一样,解决问题的首要步骤,就是通过对环境中湿地价值的理解,提高公众对湿地的意识。换句话说,社会必须对某一事物有足够的了解,并且强烈地感受到它的存在,这样才会确立它在环

境问题中的重要地位。对于湿地来说,这种社会意识已基本形成,并且导致了湿地保护法的实施,如美国清洁水法案(U. S. Clean Water Act)第404节以及州和地方各级机关颁布的新法令。

但是,在单个土地利用场所工作的规划师和科学家要注意的是如何在土地利用的需求和湿地保护之间达到平衡。这里包括两个等级的活动:(1)对现有的土地利用进行管理;(2)规划未来土地的利用。对现有土地利用来说,主要的挑战是那些继续危害和摧毁湿地的活动,而这些活动中最主要的部分就是农业。自20世纪50年代以来,美国70%~90%的湿地减少是由农业活动造成的。限制因农业而引起的湿地减少非常重要,然而,缓解现有的操作方式对湿地造成的危害也十分必要。遗憾的是,农业活动很少受到湿地法规的限制,而且直到国家政令扩展到包括农业和林业及矿业活动时,美国的湿地保护法还是显得有些空泛。然而,事实也并非如此,由于新的城市开发,大多数地区的居住、工业和商业用地规划由于和湿地相冲突,会受到联邦、州和当地机构的仔细审核。

有两种途径可以实现与湿地共存的土地利用方式:缓解和管理规划。缓解是指采取某些措施抵消湿地的减少或损失。通常得以实践的三种缓解方式为:(1)恢复和改善受损的环境;(2)创建新的湿地;(3)通过控制潜在的危害性活动进行湿地保护。第三种类型通常包括采用各种不同的方式控制修筑活动、暴雨径流、土壤侵蚀、沉积作用和建筑侵占,它同时也涉及各种不同的土地保护措施,如行为限制和环境舒适化。

湿地的恢复、改善和创建有两种方式:替换缓解(也称为就地缓解)和缓解银行。替换缓解中最简单的一种形式,就是修建新的湿地,以抵消由于开发而损失或危害的湿地面积。通常替换比例会被列为缓解规划的一个部分,如用两英亩的湿地替换一英亩的损失或危害。替换湿地可以在规划场地之上或者邻近的场所,但它总是和单个的规划相联系。另一方面,缓解银行是一个信托赔偿系统,在这一系统之内,富余的湿地缓解面积(以替换、改善、恢复或者保护的方式存在)被存入银行以应付未来的使用需求。这个系统并不是具体的实施项目,如果将它作为一个合理的地理框架(如当地或一个地区的流域)内的栖息地保护规划的一部分,将会是有前途的湿地缓解的补偿办法。

管理规划的概念是湿地保护的核心,但是它并没有得到广泛的运用。很明显,湿地保护管理必须从包含湿地的一个更大的系统着手。这一过程的开始应该是对主要水源和水流系统的控制因素进行现状调查,紧接着是对水流系统的受损程度进行评估。水流系统的受损程度,取决于会对湿地造成影响的土地利用的变动大小。例如,就图21.8所示的湿地来说,主要水源碰巧就是植物覆盖的浅洼地,而四周的高地如同给它加上一个盖子。按照管理这一场地的州法规,为了保护湿地免受土地利用的侵占,应该在整个湿地周边设置一块有固定宽度的缓冲区域。但是,由于湿地周边的地形和排水模式的特性,这类缓冲限制不能给径流的来源提供充分的保护。因此,应该根据浅洼地排水系统的结构,设计出一个适当调整的缓冲方案。缓冲区域的总面积仍然保持不变,但由于采取了功能性的缓冲方案,就水量的注入和湿地的长期维持来说,这种缓冲区域的功效会大大提高。

湿地管理规划的主要观点,就是用和我们处理内陆湖泊相同的方法来处理

情形与议程

湿地缓解

替换缓解

保留管理

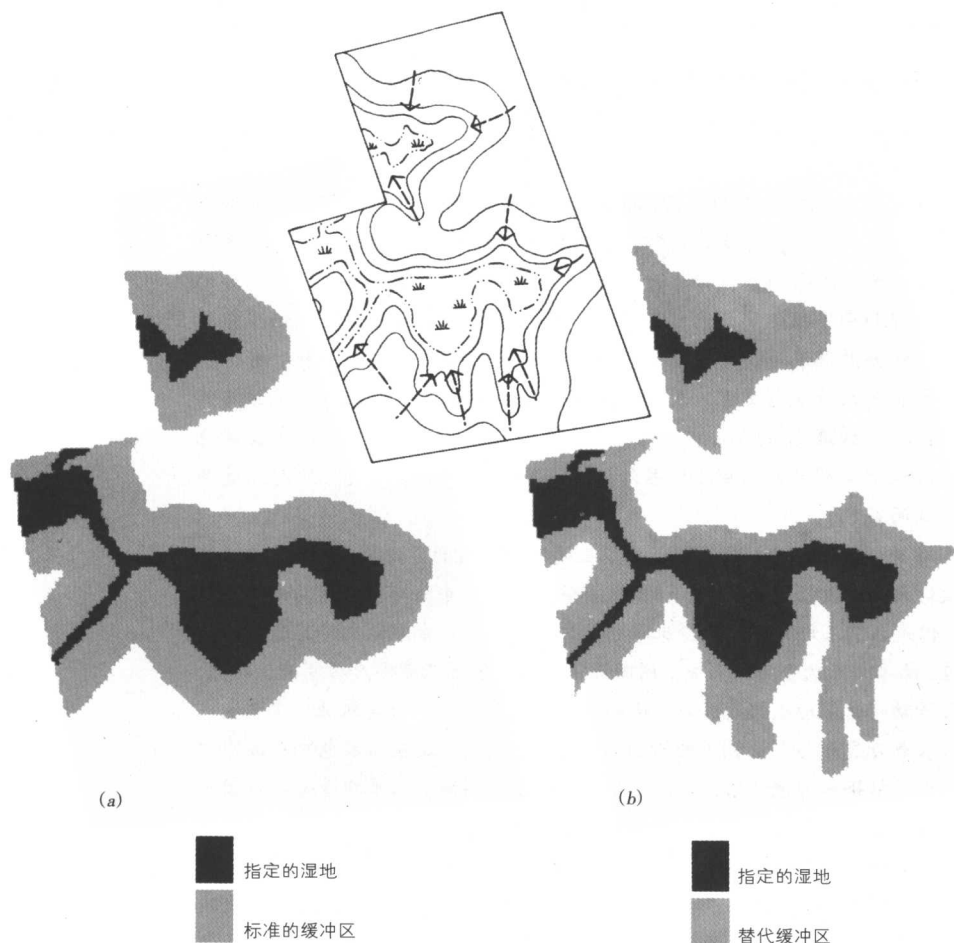


图 21.8 图纸表明 (a) 一个标准的 100 英尺宽的湿地缓冲区; (b) 按照湿地周边排水模式的构造适当调整的缓冲区。上方插入的图片显示了湿地周围地形以及相关排水模式

湿地,亦即将供水流域看作是水体保护的一个主要媒介。因此我们不仅要了解水源的范围和性质,还要了解水量存储的作用,和整个湿地维持过程中水量排泄的控制因素。如以湖泊流域为例,水的来源必须根据它们与湿地连接的直接关系,它们之间的供给关系,以及它们是属于易于管理的类别,还是不易管理的类别进行评价。不易管理的水源,是指那些超越管理的合理范围之外的水源,如降雨以及地下水之类的深水源。对于那些供给湿地的可管理的主要水源,应该特别小心谨慎,以确保水量维持的有效性,并且确保输导系统不会由于建筑、坡度或暴雨的改向而有所减损。

雨水管理

如今,在雨水管理中利用湿地的作法已极其广泛,并且这一方式经常得到鼓励。但是,由于水流机制的和水质的改变容易危害湿地生物栖息地,因此这种实践方式也受到了严重的质疑。例如,多年来沼泽一直受城市和工业径流的污染,已经发现其物种多样性急剧减少,最终达到一种最适宜描述为“单一种植”的状态。湿地中能允许的污染负荷程度现在仍然很不确定,对此期待有更进一步的研究。

探寻更好的湿地法规和管理方法

加里·F·马克思 (Gary F. Marx)

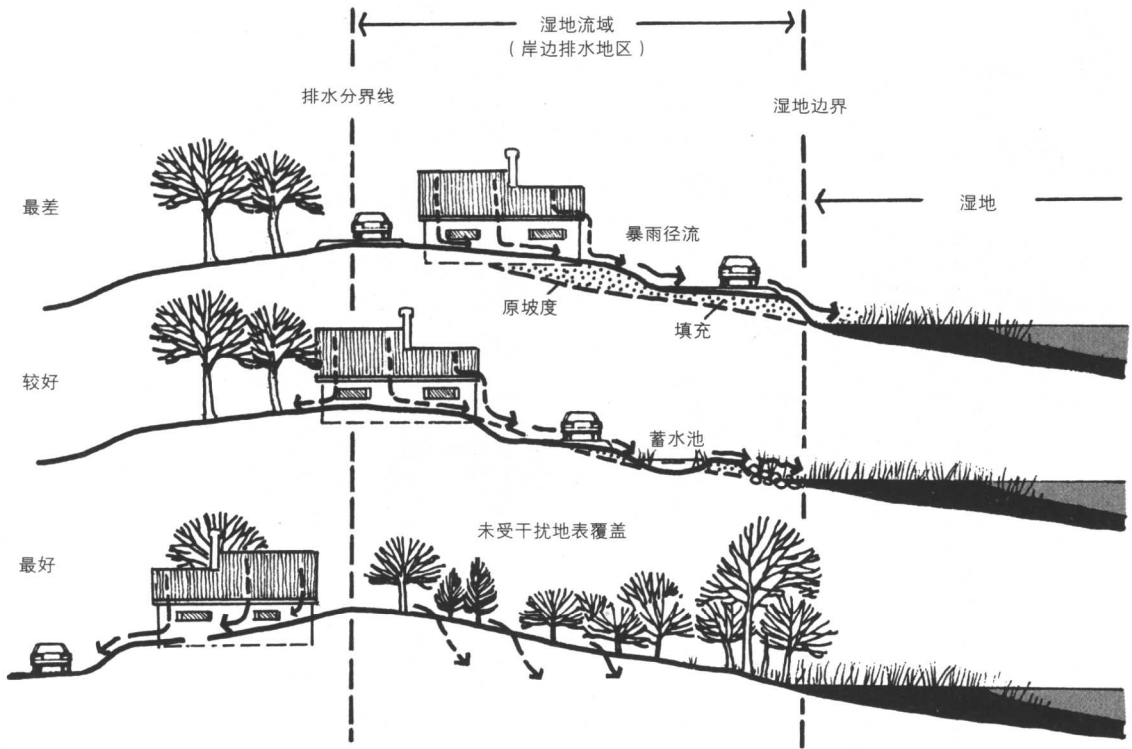
21.8 案例研究

这是一件自相矛盾的事情,尽管公众对于保护环境和保留自然地域的方案几乎没有异议,但是,实际上湿地是惟一受国家法律保护的重要生物栖息地。除了这些国家政令,开发者和各类财产所有者公开抱怨说严厉的湿地法规剥夺了他们使用自己财产的公民权利。如果有人相信他们浮夸的言辞,就会觉得湿地受到了全面而稳固的保护而不受开发的干扰。对这些项目的具体细节进行更深入的检查表明,现实的情况远非如此。虽然有些湿地区域受到湿地法规保护,但是大量的湿地仍被排除在保护之外。其他一些湿地则遭到开发的剥蚀,另外仍然有些湿地由于个别财产所有者逐渐的侵蚀而减损。

首先,人们普遍相信法律阻止了在湿地中进行的开发活动。事实上,这些被约束的开发活动的发生,仅仅需要法律上的一个许可。虽然约束十分严格,但是在需求许可已经获得批准的地方,由于允许在湿地上修筑道路和车行道、池塘以及大型商业开发,因而湿地经常会依照正常程序被填充。其次,许多活动不受湿地法规的约束。这些活动中最值得注意的是农业。在湿地中进行农业开发与与农业相关的活动不需要任何许可。这些活动包括在湿地中的排水、犁耕和种植计划,被认为是正常的农业实践。结果就是每年有数千英亩的湿地转变成农田,丧失了作为湿地生物栖息地的价值。林业活动包括伐木也不受湿地法规的约束。虽然砍伐树木并没有完全改变这些湿地的水文学特性,但是当植被被去除之后,湿地生物栖息地的质量会丧失或者严重减损。此外,在大多数伐木操作中使用的重型设备,对地表排水和土壤造成了相当大的干扰。在伐木工人离开伐木场地一段时间之后,会使湿地遭受严重的土壤侵蚀问题。

这就带给我们一个问题,即需要在湿地中进行品质区分。当前的湿地法规没有湿地质量“高”和“低”之间的区分。如果湿地法规颁布执行这一条款,会把保护力量集中在高质量的生态系统中,而对待那些质量较低的生态系统会更加自由随意。但是这一许可在实施中几乎不可能发生。首先,确定湿地的质量从技术层面来讲十分困难;其次,为这一目标而制定的计划会遭受由财产所有者雇佣的“专家”的公然抨击。结果是将会出现类似这样的情况:湿地专家和律师们的就业空前繁荣,而且方案实施需要的花费和时间会极大地增加。这一现象解释了环境组织反对将质量因素纳入湿地法规中的原因。因此,在法律的眼中,所有的湿地都应该受到平等对待,在边缘和近边缘的湿地保护中要求作出和保护高质量系统一样的努力。

接下来是湿地流域被排除在保护之外的问题。在有些州,湿地法规管理的范围都不超出湿地的边界之外。这就意味着可以一直开发到湿地的边界,包括那些重要径流的来源区域。湿地的流域可以被开拓、铲平、铺设雨水管和进行开发,不用考虑会对邻近湿地的水文活动和生物产生影响。和场地平整相联系,对大坡度的铲平产生了大量的土壤侵蚀,致使湿地中发生严重的沉积。尽管这些活动使湿地质量和功能严重丧失,但湿地法规并没有认识到



这些活动应该被限制。下图阐述了湿地流域中三种开发利用方式。最上面一种显然很不适合, 而最下面一种则很合理。

另一个问题是难于处理由计划的开发活动而带来的二级影响, 特别是居住地开发。例如, 在沿现有湿地周边计划出售的多块土地设计中, 只有一小部分湿地因修筑道路十字路口和公用设施而被填充。为这一方案的实施而签发湿地填充许可似乎很寻常, 但是人们却经常没有看在开发地建造单户住宅会产生的更大影响。由于建筑基址处在这一地块的高处, 而许多子地块都会延伸到规章限定的湿地中。许多业主认定作为原有开发程序的一个组成部分, 开发商已经取得了所有必要的许可, 并且认为他们在他们自己所有的土地内可以随心所欲, 包括排干和填充湿地。

在一个特别令人烦恼的案例中, 为了实现在一个位于淡水湖中的半岛上建30户住宅用地的开发区, 开发商提出了一份要求填充少于十分之一英亩湿地的申请。整个半岛周边环绕着一块带状湿地, 并且每一块住宅用地都被设计成从高地内部穿越湿地到达湖岸。道路的穿越这一许可受到争议, 因为根据条款规定, 住宅用地的开发应受限制, 不允许设置填充物质并且不准砍伐直径大于4英寸的树木。

在出售地中购买住宅用地的第一位买主砍掉了所有直径小于12英寸的树木, 沿着他所有的岸线设置了护岸, 而且为了便利草地的延伸, 他减小了场地上仅剩的几棵树木之间的坡度。紧接着的一位买主也砍掉了除最大的树木之外的所有树木, 并且减缓场地坡度一直向下延伸到湖边。虽然可以采取



被清除，填充和
减缓坡度的湿地

强制行为限制这些土地所有者，但是危害已经造成，并且对于大部分湿地而言，这是不可逆转的。这块出售地中还有28户住宅用地等待出售，如果其后每一位买主都和前两位买主相似，那么为了应付这种情况在实施法令上的艰辛——如果现场官员有大量案件——将会是压倒性的。

这就提出了一个问题，就是私人财产所有者遵守法规问题的核心：教育。虽然人们听说过湿地并且意识到湿地应该受到保护，但是大多数人并不认识那些各种各样需要保护的湿地。更有甚者，当湿地法规影响到他们在自己私有财产上的活动的时候，会反对这些法规。“我稍稍违反法规会有什么后果；是开发商真正对湿地产生危害”。当然，他们没有站在长运和宏观的角度来考虑问题，也没有看到在排水流域中侵占大量小湿地的行为逐渐累计会造成的后果。这些行为会对流域中的鱼类和野生生物造成危害性影响，同时会严重降低水质，减少地下水的重新补给，影响洪水危害的减轻。而且，其他湿地的价值只有靠花费高昂的替换得以维持，如果他们能被完全替换的话。

虽然这些情形中某些状况能够通过更强制性的措施和对细节的关注得以缓解，但是其他的状况则需要通过变更法律来减少湿地面积的损失。湿地面积的减损在现有法律约束下仍然继续发生。然而，目前的政治气候使得这些法律的变更不可能发生。有一点十分重要，就自然资源的保护而言，不对现有的法律进行必要的变更会进一步削弱政府对现存湿地进行保护的能力。

作者简介：加里·F·马克思(Gary F.Marx)，地方行政主管，主要负责密歇根环境质量局(Michigan Department of Environmental Quality)的湿地许可和管理事务。

21.9 推荐阅读文献

- Cowardin, L. M., et al. *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1979.
- Environmental Law Institute. *Wetland Mitigation Banking*. Washington, DC: Environmental Law Institute, 1993.
- Frayser, W. E., et al. *Status and Trends of Wetlands and Deepwater Habitats in the Conterminous United States, 1950s to 1970s*. St. Petersburg, FL: Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior, 1983.
- Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G. *Wetlands*. New York: Van Nostrand, 1986.
- National Wetlands Policy Forum. *Protecting America's Wetlands: An Action Agenda*. Washington, DC: Conservation Foundation, 1988.
- Redfield, A. C. "Development of a New England Salt Marsh." *Ecological Monographs* 42:2, 1972.
- Salvesen, David. *Wetlands: Mitigating and Regulating Development Impacts*. Washington, DC: Urban Land Institute, 1990.
- Sather, J. H., and Smith, R. D. *An Overview of Major Wetland Functions and Values*. Washington, DC: Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior, 1984.
- Tiner, R. W., Jr. *Wetlands of the United States: Current Status and Recent Trends*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1984.
- U.S. Fish and Wildlife Service. *National Wetlands Priority Conservation Plan*. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, 1989.

术语表

A

- Acid rain 酸雨** 由于空气中氮硫等元素的氧化物与水汽的结合所产生的 pH 值大大低于平均值的降雨。
- Active layer 活性层** 永久冻土带的表面层, 会随季节的变化冻结或融解。
- Aggradation 沉积作用** 河流的水道被沉积物所填塞, 通常表现出旧沉积物很少排出, 和 / 或者新沉积物不断增加的现象。
- Albedo 反射率** 入射幅射被物体反射的百分比, 通常在地球科学上用于研究短波辐射和景观物质。
- Alluvial fan 冲积扇** 由河流带来的沉积物所形成的扇形沉积区, 通常位于坡底。是干燥区的一种常见地理现象, 河流不断沉降其所携带的沉积物而不向下游排泄。
- Alluvium 冲积层** 因流水作用而沉积下来的任何物质; 亦指河漫滩或积冲扇的土壤物质。
- Angiosperm 被子植物** 一类能够开花、结子的植物总称。是目前地球上主要的导管植物。
- Angle of repose 休止角** 物体能够倾斜并不产生坍塌的最大角。在土木工程学中, 常用于描述那些黏性的材料。
- Aquifer 蓄水层** 蓄水层包括地表下任何能够容纳大量水体的物质, 并且地下水在这些物质中能够自由流动。
- Atterberg limits test 阿特贝而格限度试验** 一种用于观测土壤对水分反应的试验, 主要基于其物质状态的变化, 比如从有形性物质状态转变为液体性物质状态。

B

- Backscattering 反向散射** 由于大气中颗粒的漫射作用, 部分太阳辐射又被反射回太空中。
- Backshore 后海岸地带** 海岸后面的部分区域——位于海滩阶地和后滨斜坡之间。
- Backshore slope 后滨斜坡** 海滨区靠近陆地的堤岸或悬崖, 由原地物质组成。
- Backswamps 漫滩沼泽** 位于漫滩之中的低洼、潮湿区域, 通常在冲积堤后。
- Bankfull discharge 齐岸水流** 河流中水面与堤岸等高时的水流。
- Barrier dune 栅栏沙丘** 大量的堆积成沙垄的海岸沙丘, 在一些地区, 沙丘沿着与海岸线平行的方向延伸。
- Baseflow 基流** 又称基本水流, 是指河流水流中由地下水充当的部分, 其流量稳定, 即使在少雨期也变化缓慢。
- Base level 基面** 基面或海平面。在河流体系中, 它代表河流里控制下切侵蚀的最低海拔, 例如海平面。
- Bay-mouth bar 湾口沙洲** 在湾口的带状沉积沙地。
- Bed shear stress 河床剪切应力** 流水为克服河床摩擦力而消耗的力, 主要受河道坡度和水流深度两个因素的影响。
- Berm 后滨阶地** 沿沙滩形成的矮土堆, 通常又被用于形容沿水体及水岸边界人工建成土堆的带。
- Best management Practices 最佳管理措施** 指可用于防止或减缓由于发展以及暴雨地表径流 (尤其是后者) 而引起的环境问题的控制方法和手段。
- Bifurcation ratio 分支比** 在河流网络内分支的比率, 指某一级别水流相对于高一级别水流的数目。
- Biological oxygen demand 生物需氧量** 水中微生物所需氧气量, 从鱼类或其他的水生动物那里夺走重要的氧气供给。
- Biomass 生物量** 指单位面积或单位体积内的有机物总量, 通常为 1m^2 。
- Bioremediation 生物修复法** 利用植物、动物以及微生物群落等处理污水的方法。例如, 我们可以利用湿地以及整体湿地环境存储并净化暴雨雨水。
- BMPs 见最佳管理措施 (Best management practices)。**
- BOD 见生物需氧量 (Biological oxygen demand)。**

- Bog 沼泽** 一种寒冷气候条件下的湿地,其特征有:沼泽中充斥着泥炭沉积物, pH 值呈酸性, 植物种类丰富等。
- Boreal forest 北方森林** 欧洲和北美大陆的亚北极针叶林; 以冷杉, 云杉和落叶松为主导植被的单一森林。在俄罗斯又被称为泰加林。
- Boundary layer 界面层** 大气层中较靠近地表的一部分, 即离地面 300m 以内的气层, 在界面层内, 地球上的地被物质能对空气流动产生影响。
- Boundary sublayer 亚界面层** 指大气层中紧贴地表并且相对平静的一部分气层, 该层气体的厚度会随地表植被的生长高度和分布密度的增加而增加。
- Bowen ratio 波文比** 地表和大气层间可感受热转换为潜热的比率。
- Buffer 缓冲带** 围绕着湿地或湖泊的保护性地带, 为保护水体的特性而限制进行某些土地利用开发活动的区域。
- Buildable land units 可建筑用地单元** 指指定项目区域内的不同大小面积的地块, 这些地块被认为是该发展项目区域中适合用于建设的土地。

C

- Corporate Average Fuel Economy standards, CAEF standards CAFE标准** 作为国家空气质量标准的一部分, 由美国空气清洁法案提出的针对机动车的平均燃料的经济标准。
- Capillarity 毛细管作用** 土壤通过毛细管作用转运水分的能力。毛细管现象在中等颗粒度的土壤中表现尤为明显。
- Carrying capacity 承载能力** 在不会造成不良的或不可逆退化的前提下, 环境所能够承受的开发密度以及对环境的利用程度。
- Chaos theory 混沌理论** 关于景观变化的一种理论。该理论认为, 在人类活动的影响下, 环境中出现了一些不规则变化的现象。
- Choropleth map 地区分布图** 一种能够显示区域内定性特征(如土壤)或定量特征(如人口)的地图可包括不同大小和不同边缘形状的区域, 通常由块状单元组合而成。
- Climate 气候** 是指地球上某一地区内典型或综合的大气状况。它不仅指大气在通常下的状态, 亦指大气在某种极端或非常情况下的状态。
- Closed forest 封闭的森林** 一种地表以上有多层植被的森林结构; 亦指由丰富灌木层占据树冠层和地表之间空间的森林。
- Clustering 群聚** 土地利用开发中的概念, 是指将土地上的各种设施紧密聚集在一起, 其周围则是大片的开敞空间。
- Coastal dune 海岸沙丘** 在海岸地区形成的沙丘, 由沙滩上的沙聚集而成。
- Coefficient of runoff 径流系数** 一种地表特征的数值, 表示雨水转换成地表径流量的比例。它是一个无量纲的系数, 介于 0 至 1 之间, 与地表的渗透能力呈反比, 即不透水的地表拥有较高的径流系数。
- Collection zone 收集区** 小流域上游部分的地表径流汇集区。在收集区内, 地表径流聚集于此, 并形成渠道水流形式。
- Colluvium 崩积物** 地质学中的一个术语, 指任何由径流及块体坡移(如滑坡)物组成的混合物。
- Concentration time 聚集时间** 位于排水流域边缘处的雨滴经由整个流域到达排水出口时所需的时间。
- Conditional stability 条件性稳定** 指景观中的某种状态, 其稳定与否通常只是取决于一到两个关键性的因子, 例如那些位于过于陡峭的山坡上的植物。亦可称为亚稳定性。
- Conduction 传导** 一种不涉及外部运动和大规模传送的热传递机制, 能量传递由振动中的分子相互碰撞而实现。
- Constraint 约束** 由建筑物或自然环境所形成的一种会妨碍土地利用规划的地貌特征。
- Conveyance zone 输导区** 排水的主要路线, 通常指位于排水流域中的沟渠或山谷。

D

- dBA 分贝数** 根据人耳的敏感程度调整后的分贝数。
- Decibel 分贝** 以噪声在空气中产生的压力表示的音量强度,用 dB 表示。
- Declination of the sun 太阳偏角** 指地球上的位置(纬度)。无论是哪一天,这一区域内的太阳位置都会位于头顶正上方。包括北纬 23.27° 和南纬 23.27° 之间的地区。
- Degradation 退化作用** 指流水不断冲刷和侵蚀河道的过程,一般都伴随有较大的水流量。
- Density 密度** 见发展密度 development density。
- Depression storage 洼地存储** 雨水和坡面漫流滞留在地形中浅的低洼地。
- Design storm 设计暴雨** 人们用一种特定强度和发生频率的暴雨作为设计一些与暴雨相关的基础设施的依据,例如雨水沟等雨水设施。
- Detention 滞留** 一种暴雨雨水的管理策略。具体措施是先将暴雨雨水迟滞在某一地点,稍后再用一个指定的速度将其缓慢释放出去。
- Development density 开发密度** 一种用于衡量土地开发以及土地使用强度的方法,其计算通常基于以下一些因素,如不渗透地表覆盖面积,人口密度,建筑面积。
- Discharge 水流流量** 水在河道中流动的速度,以单位时间内通过某一河流横截面的水流容积来测算,一般用立方英尺(或米)/秒来表示。
- Discharge zone 排水区** 地下水渗出以及泉水聚集的地方。
- Disturbance 干扰** 指那些能够导致环境中物理性状发生改变的影响,如森林消失等。
- Disturbance theory 干扰理论** 植物生态学中关于生物群落演替的一种观点,该观点认为导致生物栖息地改变的主要原因是一些外部因素,是非生物性的力量,如火灾、洪水及土地利用等。
- Diurnal damping depth 日阻尼深度** 在 24 小时(一昼夜)时间内,温度改变所能抵达的土壤最大深度。
- Drainage basin 排水流域** 为河流湖泊提供径流的地域。
- Drainage density 排水密度** 每平方英里(或平方公里)地域范围内河流渠道的英里(或公里)数。
- Drainage divide 排水界限** 流域的边界,或是把两块相邻的陆地分开的分水岭。
- Drainage network 排水网** 按特定等级方式联结起来的水流渠道系统。参见水流等级原则。
- Drainfield 排水区** 废水被排放进入土壤前所经的管道网络。

E

- Earth mound 泥土护堤** 一种用于住宅区的土壤吸收系统,排水网络被建在地表水平面以上,并用土壤介质加以覆盖。
- Ecosystem 生态系统** 通过能量的流动而联系在一起的一组有机体;也指由有机体和其环境组成的共同体。
- Ecotone 群落交错区** 两种植被组合或区域之间的过渡地带。
- Edge city 边缘城市** 以商业土地利用方式为主的一类城市中心区,在选定的靠近大城市中心区的美国州际高速公路系统的交叉点发展。
- Effective impervious cover 高效不透水铺装** 指一种能够快速、高效排走暴雨水流的不透水铺装。主要是通过沟渠或管道将不透水铺装上的暴雨水流直接引入排水网络或自然水道。
- Emergent wetland 自发湿地** 在水浅处以草本植物为主的湿地。
- Endangered species 濒危物种** 根据美国濒危物种法案,指即将全部或大部分灭绝的物种。
- Energy balance 能量平衡** 以大气、海洋等类似系统中能量的输入、储存、运作、输出之间关系为思考基础的概念或模型。
- Environmental assessment 环境评估** 对提出的计划及其可能对环境造成的影响作初

步的调查研究；通常的目的是为决定是否需要更为详细的环境影响分析。

Environmental impact statement 环境影响陈述 由美国联邦法律所要求的包括联邦基金在内的研究计划，以便判断计划是否能够实施，实施后对人类或自然环境造成影响、影响的类型、大小以及可供选择的行动条款。

Environmental inventory 环境清单 在建议的规划项目实施前，对该区域内自然及人类特征的数据和信息的编辑与分类被称为环境清单。

Ephemeral stream 季节性河流 没有基本水流的河流，通常只是在暴雨或雪融后才出现水流。

Erodibility 可侵蚀度 土壤被侵蚀的相对难易程度。

Erodibility factor 侵蚀因子 一般土壤流失方程中所使用的一个数值，它代表不同类型土壤的相对可侵蚀度，美国土壤保护中心称之为 *K* 因子。

Erosion 侵蚀 在风、水或冰河等移动媒介物的作用下造成的岩石残骸的迁移；通常这种对土地的雕塑和磨损都离不开侵蚀媒介的作用。

Estuarine wetland 河口湿地 与海湾和海口相连的海岸湿地。

Eutrophication 富营养化 水域中生物量增加而导致水域河床的堵塞，最终直至开放水域的消失；有时亦指水域的老化过程。

Evapotranspiration 土壤水分蒸发损失总量 通过蒸发作用从土壤中损失的水量。

Exchange time 见 Residence time。

F

Facility 设施 人造环境的任何部分，尤指构筑物 and 机械系统。

Facility planning 设施规划 为设施的建设而制定的规划，如发电厂和污水处理厂等，通常由专业的工程师进行这方面的规划工作。

Feasibility study 可行性研究 一种技术性的规划，以便确定某地的最佳用途。

Fetch 浪区 水浪在水中朝某一方向所能行径的距离，是波浪大小的主控因素。

Filtration 过滤 通过让水体流经土壤、有机物或纺织物等媒介物来去除水中污染物（如沉淀物等）的方法。

Floodway fringe 洪道边缘区 美国联邦洪水防治方针中的特定区域，是河谷区中百年一遇规模洪水的轻度淹没区。

Floristic system 植物系统 现行的基本植物分类系统方案，在这个方案中，所有的植物被分成众多的分支，每一个分支又可以被分成更小的分支，并且分支的排列与植物间的进化关系相对应。

Formation 群系 植物的一种组织性单元，这种单元被认为是生态域的细分，群系是由数个群落组成的单元。在传统的术语中，群系被称之为外貌性单元；在地质学上，该词又是岩石的主要单元。

Fragmentation 破碎化 因人类的土地利用开发而导致景观以及各类不同的生物栖息地的破碎——土地被割裂成越来越小的地块。

Frequency 频率 用于表示一个特定事件在一段时间内重复出现的次数。

Frost wedging 冰楔作用 由天气变化造成的一种机械作用，即水在岩石中结冰后向外施加压力，这种压力有可能导致岩石碎裂。冰楔作用是一种在高山和极地环境中很常见的气候过程。

G

Geographic Information System, GIS 地理信息系统 一种计算机地图系统，用来解决叠加和复杂分布的模型问题，GIS 分两类：矢量和光栅。

Geomorphic System 地貌系统 由地形集合组成的物理系统，这些地形通过水，空气或冰川的流动联系起来。

Geomorphology 地貌学 地球科学研究领域的分支之一，研究地形的起源和分布，重点研究侵蚀过程的本质，地形学在传统上属于地理学和地质学的交叉学科。

Global coordinate system 全球坐标系 东西和南北方向的网状坐标系（即经线和纬线），用来测量物体在地球上的位置。这个坐标系通常使用度、分、秒为测量的基本单位。

Gradient 坡度 陆地的斜面倾斜度，通常运用于诸如河流和公路的系统中。

Grafting 嫁接法 把额外的管道接入到排水网络中的做法。在农业区，新的管道是作为排水沟出现的，在城市地区则作为雨水沟出现。

Gravity water 重力水 在重力作用下渗透到地表内的水；指渗透进入土壤后形成的地下水。

Greenbelt 绿带 在城市或乡村中种植有树木或其他植被的广阔带状区域，也可以是公园或是运输走廊的一部分。

Green infrastructure 绿色基础设施 用于暴雨雨水管理中的依靠软性或绿色（指自然生物）方法治理雨水的基础设施。绿色基础设施包括有植物的沼泽、渗透性廊道（infiltration galleries）以及多孔铺装等。

Groin 交叉拱 建设在海滩与碎浪带之间的堤坝，用于保护海滩不受侵蚀并阻滞流沙。

Gross sediment transport 总沉积物运输 一段时期通常以年作单位内通过海岸线上某一点的沉积物的质量。

Ground frost 地面霜 在寒冷气候条件下，渗入地表内部的霜冻。

Ground sun angle 地面太阳夹角 太阳光与大地景观中地表面间的夹角，此处的地表面是实际场地中的地面，如带有坡度的山体地面。

Groundwater 地下水 位于底土以下、基岩以上空间内的重力水；即位于土壤水之下的饱和区的水。

Gullying 冲沟 由小河或小溪侵蚀而在土地上形成的狭窄陡峭的沟壑，属土壤侵蚀的一种，冲沟是造成农田土壤侵蚀的最严重的形式之一。

H

Habitat 栖息地 一种有机体能从中获取它所需资源的局部环境。栖息地通常在大小、内容和地点上各不相同，并随着有机体生命周期的阶段而变化。

Habitat conservation planning 栖息地保护计划 美国濒危物种法案下属的一项行动计划，是在考虑到政府部门和土地所有者的基础上提出的一项旨在保护栖息地环境的行动计划。

Habitat corridor 栖息地廊道 能够代表一个完整栖息地系统的包括一个或几个相联系的不同类型栖息地（地带），诸如河谷之类。

Hardpan 硬质地层 以富含大量胶体物和离子为特征的硬化土壤层。

Hazard assessment 危害评估 研究和评估洪水、龙卷风和地震等环境威胁对土地利用和人员可能造成的危害。

Heat island 热岛 位于城区内具有相对较高温度气流的地区或地块。

Heat syndrome 热综合症 人体体温调节系统的失调现象，是由于身体不能有效避开高温，流汗过多而导致体内化学平衡的破坏。

Heat transfer 热传递 指热量在物体内部的传导，或是物体间通过传导、对流和辐射等方式形成的热交换。

Hillslope processes 山坡塑造过程 山体侵蚀和成形的地貌学过程，其塑造力主要来自大型的地貌移动（如滑坡和山崩）和径流过程（如雨水冲刷和冲沟）。

Horizon 地层 具有颗粒大小和化学性质差异的土壤层，由土壤内水分的运动造成。

Hydraulic gradient 水力坡度 蓄水层或地下水水面的高程变化率。

Hydraulic radius 水力半径 河流的横截面积与其浸润区周长的比率。

Hydric soil 湿土 以潮湿状态为特征的土壤，常年饱含水分，通常含有有机物。

Hydrograph 水文图 一种用于显示一段时间内河流流量变化状况的图表，通常为数小时或数天内水流的变化情况，参见水文图方法。

Hydrograph method 水文图方法 一种通过构建水文图来预测河水流量的方法,而水文图能够显示出某一排水盆地在历经暴雨后的反应;一种利用“标准化”的水文图来预测流量的方法,其中不考虑单个风暴的规模大小,参见**水文图**。

Hydrologic cycle 水循环 地球上的水系统的运动方式,即水从海洋到大气、从大气到陆地、再从陆地到海洋的循环运动过程。

Hydrologic equation 水文方程 降雨量减去蒸发量,再加上或减去储存水(地表水和土壤水)的变化量后的值,与任一地块上的地表径流量成比例。

Hydrometer method 液体比重计方法 一种用于测量某个土壤样本中黏土含量的方法,这种方法包括在水中分散黏土颗粒并在设定的时间间隔后抽取出样本。

Hypothermia 低温症 一种低温情况下的生理紊乱症,其表现为:身体体温降低,心律减缓,血压降低等症状。

I

Impervious cover 隔水层 诸如沥青或混凝土这样的有着坚硬表面的物质层,这种物质层使得水分的渗透受限,因而导致高的径流率。

Infiltration beds 渗透性路基 一种通称,指由碎石或植物铺成的允许暴雨雨水通过的路基。又可称为渗透性廊道(infiltration galleries)或生物介质路基。

Infiltration capacity 入渗率 指水分渗入到土壤表面的速度,通常用厘米或英寸每小时表示。

Inflooding 内涝 由陆地上的水流在低地聚集而形成的洪水。

Infrared film 红外胶片 能识别并记录红外(超过可见光波长的光,波长达到0.9微米)辐射的照相胶片,但不能识别热红外波长的光。

Infrared radiation 红外辐射 通常指波长在3.0和4.0到100微米间的长波辐射,也包括波长从0.7到3.0或4.0微米的近红外辐射。

In situ 原位 用来表达物质处在某一固定位置的术语,作为与处在传送中的物质的比较,例如河流中的沉积物等。

Interception 截流 指雨和雪到达地面以前被植物截取的过程。

Interflow 层间流 在土壤中水平运动,并最终渗入到河流中的渗透水。在森林地区这种渗透水是河流的主要源头。

Island biogeography 岛屿生物地理学 一门研究生物多样性的学科,认为岛屿内的生物多样性与岛屿的大小和岛屿间相隔的距离相关。

Isopleth map 等值线图 包含有等值线的地图,其中,等值线是一种将具有相同数值的点连接起来的曲线。

L

Lacustrine wetland 湖沼湿地 与水池、湖泊以及水库等静止水体相联系的湿地。

Land cover 土地覆盖 诸如植被或混凝土等覆盖于地表的东西。参见**land use**。

Landfill 垃圾掩埋场 处理垃圾的场所,常用到地下掩埋垃圾法。

Landscape 景观 自然和人文特征的综合体,以环境中的大地地表为主要特征,包括了土地的空间、结构、成分及动态因素。

Landscape design 景观设计 对土地利用、附属设施、水系特征、植被以及相关景物进行设计布置的过程,并将设计布置的结果在图纸上表现出来。

Landscape ecology 景观生态学 对自然景观中栖息地规划及管理等问题进行地理(及空间)分析的一门学科。属于生物地理学的一个领域,主要关注栖息地的破碎化以及生物多样性等问题。

Landscape planning 景观规划 一种与土地使用方式和地表资源利用相联系的决策、技术以及整个设计的过程。

Landslide 山崩 一种大规模的地质运动,其特征是物体在某个断裂面上的滑动,通常是一个突发且迅速移动的过程。

land use 土地利用 一种以土地为主要作用对象的人类活动方式,如农业、工业和居

住等。

Latent heat 潜热 当物质在气、液两态之间转换时释放或吸收的热量,例如0℃的水在液态与气态之间的转变就需要吸收或释放每千克250万焦耳(每克597卡路里)的热量,这一热量即为潜热。

Leachate 沥出液 在厕所或化学垃圾掩埋处,废料分解时所产生的液体。

Leaching 沥滤 土壤中可溶性矿物元素的去除被称为沥滤;即把土壤中的离子含量从一个水平滤析到另一个水平的过程。

Levee 冲击堤 在水流的冲积作用下,使沉积物沿河岸两旁堆积而形成的天然堤岸。

Life form 生命形式 个体植物或个体植物的单个组织的存在形式,一般来说,植被覆盖的总体构造也被认为是生命形式。

Lineament 外部轮廓 由山坡、部分的河流、土壤模式和植被等构成的地形直观特征。

Line scanner 行扫描仪 一种遥感仪器,通常是从飞机上对前方道路航线进行扫描,并把微波反射信号用扫描线记录下来。

Littoral drift 沿岸物质流 在沿岸地区,由波浪和水流带动的物质流动。

Littoral transport 沿岸搬运 沉积物沿海岸线的移动,通常包括两种移动方式:沿海岸边的搬运以及向岸或离岸的搬运。

Load 负荷 见沉积物负荷。

Loess 黄土 在冰河或后冰河时期,由于风的作用而在中纬度广阔地域内形成的沉积淤泥。

Longshore current 沿岸洋流 沿海岸线平行移动的水流,速度一般为0.25—1米/秒。

Longshore transport 沿岸运输 海洋中沉积物沿海岸平行方向的移动。

Low impact development 低影响发展 一种以降低环境影响(包括能源利用、空气污染、暴雨径流以及土地消耗等等)为宗旨的土地利用发展思路。该思路应用在建筑、景观规划以及景观设计等行业。

M

Magnetic declination 磁偏角 在某一特定地点上地磁北方和真正北极之间的差角。

Magnitude and frequency concept 规模和频率的概念 景观中的事件规模与其发生频率具有某种相关性,对地形改变有重大影响的事件(如大洪水等)往往发生概率很小,而对地形改变没什么影响的事件发生概率很大。

Manning formula 曼宁公式 根据坡度、水力半径以及水道的凹凸性来计算水流速度的公式,是一个经验公式,在工程上广泛用于测量航道和管道大小。

Marsh 湿地沼泽 主要生长着香蒲、芦苇、灯芯草等草本类植物的湿地。

Mass balance 质量平衡 系统内的相对平衡,这种平衡由系统内部物质的输入和输出得以维持,即系统内部的物质在输入量与输出量上能够保持某种相对的稳定状态。

Mass movement 块体移动 在重力作用下,以岩石岩屑的滑坡运动为特征的一种山坡运动过程,具体包括土潜动、岩崩、山崩、泥石流等等,有时也被称为块体坡移。

Meander 曲流 河道的迂回或弯曲。

Meander belt 曲折带 河流曲流系统形成的带状廊道;由沿曲流外围所画线段构成,见图13.5b。

Meander belt axis 曲折带轴线 指沿着曲流带中轴线描画出的线条。

Metastability 亚稳定状态 参见条件性稳定

Microclimate 小气候 指小块局部地区的气候,如某个内陆城市、居住区或是某个小型山谷。

Misfit stream 不相称的河流 指那种对它们的流域而言要么太大、要么太小的河流,如遇超负荷暴雨的城市内部小河流。

Mitigation 缓解术 一种用于减轻某种行为活动对自然以及人类生存环境的影响的方法。

Mitigation banking 缓解“银行” 在湿地缓解计划中,通过置换、增强、恢复以及湿

地保护等方法建立湿地的剩余补偿“存款”。

Model 模型 用于解决问题和分析问题的任何发明,包括概念上的构想、数学公式以及硬件上的设备。

Monoculture 单一栽培 由少数几类物种占据支配地位的生态系统,如农场、种植园区等。

Montmorillonite 蒙脱石 黏土的一种,显著特征:随其内部水分含量变化而明显收缩或膨胀。

Moraine 冰碛 由冰河直接沉积而成的物质,或者指在冰河内部或其表面携带的一种物质。像地形一样,冰碛往往具有起伏的地表形状。

Morphogenetic region 地貌成因区 指在不同的气候条件下形成的全球景观形态。

Mosaic 镶嵌体 景观生态学术语,指由于土地利用而被分裂开的块状生物栖息地。

Mudflow 泥流 一种饱含大量黏土物质的下滑流体的大规模移动。

N

National Pollution Discharge Elimination System, NPDES 国家污染物排放清理系统
NPDES是美国联邦政府制定的一项“有关向自然水体中倾倒污染物”的规定,包括超过10万人口的社区的暴雨污水。

Nearshore circulation cell 近岸环流单元 由激流、波涛、沿岸流等水流形式结合在一起而形成的一种水循环和沉淀模式。

Net sediment transport 净沉积物运输 沿着海岸线不同方向移动的沉积物之差。

Niche 生态位 这个术语专指有机物在其生长环境下能够生存和繁殖的生活方式。

Nonpoint source 非点源污染 来自空间弥散源的水体污染,例如大气和农业土地。

Nutrients 营养物 可以在水中溶解并能促进植物生长的各种物质。磷和氮是水生植物最有效的两种主要营养物质。

O

Ogallala Aquifer 奥加拉拉蓄水层 世界上最大的蓄水层,从美国中部的内布拉斯加州一直延伸到中南部的得克萨斯州。

Open forest 开放森林 森林结构的一种,具有一到两层茂盛的高位植物和有限的下层丛林。通常地面非常开阔。

Open space 开放空间 指公园、绿化带、水景区、自然保护区等未开发土地。

Open system 开放系统 指能量和物质可以自由流通的系统;系统内的能量和物质能够随时添加和释放。

Opportunities and constraints 机会与限制 一种常常用在项目规划中的分析方法,用于确定项目发展的优势和劣势。

Outflooding 外泛滥 江河中的水漫出堤坝而造成的泛滥。

Outwash plain 冰水沉积平原 一种由冰水生成的沉积物,由沙子和具有平滑或缓斜坡表面的砂砾层组成,这种沉积平原通常与冰碛层紧密相连。

Overdraft 超采 即地下水的开采量超出了安全的蓄水层范围,结果导致蓄水层的耗尽。

Overland flow 地表水流 由于降水强度和融雪程度超过土壤渗透能力而导致的表面径流,为纪念Robert E. Horton,也叫做Horton地表水流。

Oxbow 牛轭湖 指在废弃的河段中形成的月牙形状的湖或池塘。

Ozone 臭氧 大气中的一种微量气体,具有刺激性气味,另外在吸收紫外线辐射方面具有重要作用。

P

Palustrine wetland 沼泽湿地 不依赖于河流、湖泊和海洋水的内陆湿地。

Parallels 纬线 地球坐标系统的东西走向的线,赤道、北极圈和南极圈都是纬线。所有的纬线相互平行。

Parent material 母质 形成土壤的微粒物质,母质包括以下两种类型:残留母质和转

运母质。

Partial area concept 部分地域概念 一种暴雨水流的径流模型。即流域中只有部分区域的暴雨以地表径流的方式流入河流。

Passive solar collector 被动式太阳能收集器 一种日光收集器,其运转无需动力机械的支持。

Peak annual flow 年度高峰水流量 一年中河流水量的最大值。

Peak discharge 高峰排水量 一场暴雨或在一段时间(如一年)内产生的最大江河水流量。

Peak flow 高峰流量 参见高峰排水量。

Pe don 单个土体 最小的土壤地质单位,由美国农业部土壤科学家们定义。

Percolation rate 浸透率 水通过测试坑壁进入土壤的速率,用于判断土壤对废水的清理能力。

Percolation test 浸透测试 一种针对土壤渗透性的测试,用于判断土壤对废水的清理能力;保健专家和规划专家通常使用该项测试来确定土壤吸收系统的规模。

Perennial stream 终年流 指终年由地下水灌注的河流,这种河流拥有永久的基流。

Performance concept 性能概念 这一概念用于设定一些标准来规范环境或者土地使用所期望达到的性能,包括制订目标、标准和控制。

Periglacial environment 冰缘区环境 指那些景观形态主要由霜冻过程塑造的地区。

Permafrost 永久冻土带 地表土和下层土都永久冻结的地热状态;冰缘区环境具有这种永久冻结地表。

Permeability 渗透性 土壤或岩石传送地下水(或者在地下水位之上的重力水)的速率;它指在1英寸/英寸或1米/米的水力坡度下,通过规定横截面积传输的水,以立方英尺(或米)度量。

Photopair 照片对 指一组具有重叠性的航拍图片,用于对航拍影像进行立体解释。

Photosynthesis 光合作用 绿色植物利用叶绿素获取光能,以水和二氧化碳为原料生成单糖,并把能量以糖和碳水化合物的形式传送到整个植物体的过程。

Physiography 地文学 源自物理地质学的一个术语,原是用于表述一个大范围区域景观地貌的复合特征;现主要用在规划和景观设计中,用来表述一个规划区域或场地的自然物质特征。

Piping 管涌 在渗流作用下,土中的细颗粒通过骨架孔隙通道随渗流水从内部逐渐向外流失,形成管状通道的现象。

Plane coordinate system 平面坐标系 一种方格网状坐标系统,由美国国家海洋勘测所设计,该系统中的基本单元是边长一万英尺的正方块。

Planned unit development, PUD 规划单元开发 一种规划战略,目的是通过把群集开发转变成精细规划的单元,从而减弱城市蔓延及其相关影响。

Plant production 植物产品 植物的有机物出产率;即在一段时间范围内,增加到环境中的有机物总量。常用的单位是克每平方米每天或年。

Plume 羽流 由通风管或烟囱排出的废气(烟)流。

Point source 点源 排放污水的点状源头,如污水处理厂的排污口等。

Pollutant loading 污染物负载量 从不同土地利用方式地区释放到径流的污染物数量,以磅或千克每英亩或平方公里为度量单位。

Pollution 污染 由外来物质或自然物自身的增加而导致的对环境的污染。

Porosity 孔隙度 单位体积的岩石或土壤中全部孔洞(空隙)所占的体积。表示为土壤或岩石样品中孔隙体积占总体积的百分比。

Primary productivity 基本生产力 通过植物的光合作用增加到景观环境中的有机物总量。通常以克每平方米每天或年为度量单位。

Principal point 投影中心 航拍图片的中心,位于照片边缘基准点连线的交点上。

Principle of limiting factors 限制性因素原则 一种生物原则,即光合作用的最大获得

率受植物生长所需基本资源的最小供应量所限制。

Principle of stream orders 水流等级原则 水流等级和每个水流等级中水流数目之间的比例关系,对于大多数排水网络而言,这种关系成反比。其特征是有大量低等级的水流,而随着等级的升高,水流数量越来越少。参见**河流等级**。

Progradation 向前推进 海岸线面向大海方向的推进过程。参见**向后退进**。

Pruning 删减 在水文学上,通过转向和掩埋水流来削减排水网络。通常伴随着城市化进程或者农业的发展。

Q

Quadrat sampling 样方取样 一种土地取样技术,在景观中划出正方形的小块土地,然后从中取样的一种方法。

R

Radiation 辐射 辐射能量或电磁能量发射到自由空间中的过程。这一术语通常用于描述电磁能,比如红外辐射和短波辐射。

Radiation beam 辐射波束 射入或穿过大气的太阳辐射光柱。

Rainfall erosion index 降雨侵蚀系数 代表年平均降雨对土壤表面侵蚀能力的一组数值,以总降水量和30分钟内的最大降水强度为基础。

Rainfall intensity 降水强度 降水速率的一种表示方法,以每小时或每分钟降落在地面的雨水英寸数或厘米数为度量单位。

Rainshadow 雨影区 在山雨来临时处在山体下风方向的干燥无雨区。

Rainsplash 雨水冲击 由于雨滴冲击在土壤表面而形成的土壤侵蚀。

Rainwash 雨蚀 地表水流对土壤的侵蚀。水层冲过地表形成的侵蚀,通常和雨水冲击联系在一起,也称之为洗蚀。

Rating curve 流量特性曲线 显示河流中水流量和不同水流状态间关系的图表。这种关系一旦被确定,我们就可以仅通过水流状态的资料来估算水流量的大小。

Rational method 推理方法 根据已知的降雨计算某小型排水流域水流量的方法。这种计算基于径流系数、降雨强度和流域面积。

Recharge 回灌 地表水对地下水的补给。

Recharge zone 回灌地区 地下水回灌的集中区。

Recurrence 复发 特别巨大的独立事件发生的平均间隔年数。例如,某个已知的巨大水流量事件发生的平均间隔年数。

Regime 体系 一段时间内一个过程或系统的特征模式,如水流的季节性体系或加州降雨的干湿体系。

Regulatory floodway 常规分洪区 美国联邦防洪方针指定的一般标准的防洪地带,是最深并且洪水复发频率最高的泛滥平原区的最低部分。

Relief 地形高程 指定区域内地形的海拔范围。

Replacement mitigation 替换减缓 建立新的湿地以补偿因土地利用开发而失去或损毁的湿地面积。

Residence time 滞留时间 蓄水池或湖泊中水体更新所花费的时间,也叫更新时间。

Restoration planning 恢复计划 针对受损环境的地方性计划,比如退化的湿地栖息地和被扰乱的河道。

Retention 滞留 用于雨水管理的一种策略。将径流保留在流域、地下水或渗透到土壤之中。

Retrogradation 向后推进 因为侵蚀、海平面上升、地基沉降或三者的综合影响而导致的海岸线后退。参见**向前推进**。

Riffle 湍流区 具有汹涌急流的河流段。

Riparian 河滨 指沿河岸的环境;常常被更广泛地用于形容河谷底部宽阔的低地廊道。

Riparian wetland 河滨湿地 在河湖等主要水体边形成的湿地。

Rip current 岸边激流 一种相对狭窄的射流,向海方向流动穿过破浪区。在岸边形成而后释放。

Riprap 乱石护坡 用混凝土和岩石等碎石材料加固地表以减少侵蚀。

Risk management 风险管理 针对灾害事件的防范和应对规划,如洪水、飓风以及有毒废物等危险事件。

Riverine wetland 近河湿地 与河及河道相关联的湿地。

Runoff 径流 对各种陆地水流(包括地上水流和地下水流)的通称,在更严格和通常的使用中,地上水流又分为地表水流和河道水流。

S

Safe well yield 安全单井产量 一口水井所能承受的最大抽吸水比率,在不会造成地下水水位下降时的最大泵水速率。

Sand bypassing 沙的旁通 由于障碍物(如港湾防波堤等)的阻挡而不得不使用人工方式(如疏浚和驳运的方法)转运沙子的办法。

Sapping 基蚀 一种侵蚀过程,常常伴随切沟侵蚀,在切沟中,土壤颗粒被从堤岸中渗出的水所侵蚀。

SAS 参见土壤吸收系统。

Scatter diagram 散点图 一种用一系列的示意点来显示两个数值变量之间关系的图表。

Scattering 散射 悬浮在大气中的微小颗粒使入射阳光漫射的过程。

Scouring 冲刷 河道侵蚀的主要过程,其特征是质量较大的颗粒物撞击河床或靠着河床滑行。

Scrub - scrub wetland 矮灌木湿地 灌木和矮树林占优势的湿地。

Secure landfill 安全掩埋法 特别为处理危险废物设计和建构的一种填埋方法。

Sediment load 沉积物负荷 水流运载的物质,包括:河床负荷、悬浮物负荷和溶解物负荷。

Seepage 渗流 地下水或壤中流从地面渗漏的过程。

Sensible heat 可感受热 使物质温度升高并且能被温度计感知的热,它不同于潜热,有时也被称为干燥空气热。

Sensitive environment 敏感环境 因为其具有美学和生态学价值而要保护且禁止开发的特殊环境,比如湿地和海岸地区。

Septic system 腐化系统 特指一种依靠腐化槽储存和(或)处理废水的污水系统。一般来说,是一个就地(小范围的)污水处理系统,要依靠土壤处理废水。

Septic tank 腐化槽 一个用来储存废水的大槽,通常位于地下。

Setback 建筑退让 用于场地规划中的一个术语,指构筑物或设施必须与诸如后滨斜坡或湖岸等边界区间隔的一段距离。

Shoreland 滨陆 围绕着水体的不连续陆地地带,这一地带不能通过流域盆地排水。

Side-looking airborne radar, SLAR 机载侧视雷达 用于遥感的雷达系统。如此命名是因为能量脉冲从飞机的一侧斜射向景观地貌。

Sieve method 筛分方法 一种用于在土壤样品中分离不同大小颗粒物的技术。

Siltation 沉积作用 指自然水体中因土壤侵蚀和径流作用而形成的沉积物的沉降。

Sink 沉潭 在陆地及水体环境中自然和人类残留物的聚集和储存,如湿地、水库和海湾等。

Sinuosity 弯曲度 对河道弯曲程度的衡量,河道长度与弯曲带轴长的比值。

Site adaptive planning 场地适宜性规划 一种充分考虑自然及人为景观(系统)特性的场地规划。

SLAR 见机载侧视雷达(Sido-looking airborne radar)。

Slope failure 边坡坍塌 斜坡不能维持自身以至于大量物质的滑落。如山崩、滑塌或者类似的运动。

- Slope form 倾斜形态** 倾斜的外形, 比如外凸形、内凹形, 或平直形。
- Sluiceway 泄水道** 大型的排水通道或冰川融水的溢洪道。
- Slump 滑坡** 一种大型的物质移动, 其特征是沿断裂面做后向旋转运动。
- Small circle 小圆** 地球上任何小于地球最大周长的圆。因而, 小圆的平面不能穿过地球中心。除赤道外的所有纬线都是小圆。
- Soil-absorption system 土壤吸收系统** 直接依靠土壤吸收或疏散来自住宅或大型建筑的废水的小范围污水处理系统。
- Soil creep 土壤蠕动** 一种大型物质移动, 其特征是缓慢地向下坡方向的土壤移动, 通常土壤块不会断裂。土壤蠕动的机械原理包括冻融作用和干湿循环。
- Soil-forming factors 土壤形成因素** 影响土壤形成的主要因素, 包括气候、原始物质、植被、地形和排水。
- Soil-heat flux 土壤热通量** 热量流入、流出或流经土壤的比率。
- Soil material 土壤物质** 构成土壤的任何岩石沉积物或有机物残渣。
- Soil profile 土壤断面** 土壤的层次或者垂直序列。
- Soil structure 土壤构造** 关于构成土壤的颗粒团形状的术语。有四种主要构造可以辨认: 块状、板状、粒状和棱形。
- Soil texture 土壤结构** 在一个土壤样品中颗粒的累计大小。定义为沙子、淤泥和黏土大小的颗粒在土壤中所占重量的百分比。
- Solar constant 太阳常数** 在大气边缘某一表面(垂直于射线)接受到太阳辐射的能量, 平均强度是 1372 焦耳/平方米·秒, 或者表述为 1.97 卡/平方厘米·分钟。
- Solar gain 太阳辐射获得量** 用来表述在景观地貌中表面或环境吸收的太阳辐射量的一般术语。
- Solar heating 太阳能加热** 从吸收的太阳辐射中产生热量的过程, 这一术语在与太阳能相关的文献中被广泛使用。
- Solifluction 泥流** 一种冰缘环境中的大型物质移动, 其特征是土壤物质的缓慢流动和耳垂状形态。普遍存在于苔原和高山的景观地貌中。
- Solstice 冬/夏至日** 当太阳偏角位于北纬 23.27° (北回归线) 和南纬 23.27° (南回归线) 时的日期, 即 6 月 21-22 日和 12 月 21-22 日。这些日期是著名的冬/夏至日, 但是依据南北半球而决定那个是冬或夏至日。
- Source control 针对源头的控制** 在暴雨雨水产生的源地进行的就地处理方式。
- State plane coordinate system 参见平面坐标系统 (plane coordinate system)。**
- Stereoscope 立体镜** 一种视觉装置, 用于从照片对中获得三维图像。
- Stormflow 暴雨水流** 暴雨后快速汇入水流的那部分河川径流, 给基流增加了附加水流。
- Stormwater 暴雨雨水** 在强降雨情况下或冰雪融化时产生的地表径流。同时也指那些来自于发展地区地表径流或坡面漫流。
- Stormwater garden 暴雨雨水园** 一种用于存储及净化暴雨雨水的绿色基础设施, 由湿地植物和土壤组合构成, 雨水流经湿地使雨水得到净化。
- Stratified sampling 分层取样** 一种取样技术。在抽取样品前, 将人口或研究区域划分为组或子区域。
- Stream order 河流等级** 河流在排水网络里所处的相对位置或等级。通常没有支流的水流处于第一等级, 有两条或两条以上第一等级支流的水流处在第二等级, 依此类推。
- Subarctic zone 亚极地区** 纬度在北纬 55° 到北极圈之间和在南纬 55° 到南极圈之间的地带。
- Subbasin 子流域** 在湖或蓄水池流域里的小排水区。
- Sun angle 太阳高度角** 在太阳入射光线与地球表面或大气层里任一同纬度平面之间形成的夹角。
- Sun pocket 太阳口袋** 专门设计用来利用太阳辐射和热能的一个小空间。
- Surficial wetland 地表型湿地** 因地域排水能力被削弱而导致的湿地, 通常是地表或

接近地表的径流。

Surge 巨浪 因密集的大气压力和强风所引起的巨大且常有毁灭性的波浪。

Suspended load 悬浮质 被湍流向上搅动起的水流中的颗粒(沉积物)。通常是淤泥和黏土等小颗粒。

Sustainability planning 可持续规划 规划中的一种,其目标是在土地利用和环境之间达成一种长期和有价值的平衡。

Swamp 树沼泽 具有大量树或灌木的湿地,这里生长有许多种类的树木,包括丝柏、红树林和松树等。

T

Taxon 分类单元 分类系统的任一单位(种类),生物学中的常用术语。

Technical planning 技术规划 在规划决策过程中使用到数据收集、分析等相关活动的规划。

Temperate forest 温带森林 位于中纬度气候温和区的森林。例如,欧洲和北美洲的阔叶落叶林,包括山毛榉、枫和橡树。

Temperature inversion 逆温现象 冷空气层位于暖空气层之下的大气状况。逆温现象是非常稳定的大气状况,所以不利于大气的混合。

Texture 构造 用于表述组成土壤样品的颗粒大小的术语,例如沃土,含沙的沃土和黏土沃土。主要基于土壤中各成分(如沙子,淤泥或泥土粒子)的重量占总重量的百分比。

Thermal gradient 热梯度 某一实体物质上温度随距离的变化,通常表示为摄氏度每厘米或每米。

Thermal infrared system 热红外线系统 能记录波长在3-5微米和8-14微米范围内的热红外线能量的行扫描器。

Thermokarst 冰融喀斯特地形 因永冻土融化的程度不同而导致的溶坑状凹地。

Threatened species 受威胁物种 根据美国濒危物种法案,一个数量急剧减少的物种就有可能面临绝种的危险。

Threshold 阈值 一个过程中触发突然或快速变化事件时的量值。

Tolerance 忍受度 植物在不出现损害或死亡的前提下,所能承受的最大干扰和压力范围。

Toposequence 地形系列 土壤结构以及与地貌梯度有关的特征在地形上的改变。

Topsoil 顶层土 土壤的最上层,富含大量有机质。也指土壤的有机层。

Township and range 镇区和范围 在美国使用的一种用方格网来给土地单元分类的土地细分系统。细分标准中包括镇区和区段。

Transect sampling 横切取样 一类取样技术,从研究地区的样条或横断面中抽取样品。

Transmission 传输 地下水在经过蓄水层时的横向流动,测量标准是每小时或每天通过一个给定交叉位置时的立方英尺(或米)水流量。

Transpiration 蒸腾作用 水流通过植物的组织,经树叶上的气孔开口进入大气的过程。

Transported soil 运积土 由原始物质形成的土壤,含有由水流、风或冰川带来的沉积物。

Tree line 树线 山体上树木生长的上限,树线以上,高山草地代替了森林。

Tundra 苔原 寒冷地区的景观地貌,其特点是少量的草本植物轻度覆盖在永冻土之上。

Turbidity 混浊 在悬浮沉积物的作用下,水体的清洁度或透明度的改变。

Turbulent flow 湍流 以混合运动为特征的水流,其水流阻力是液体中慢速移动分子和快速移动分子混合作用的结果。

U

Universal soil loss equation 通用土壤损失公式 计算由径流作用造成的土壤侵蚀量的公式,土壤侵蚀量与以下四个变量相关,它们分别是降雨侵蚀指数、土壤侵蚀度因子、坡体因子(坡体倾斜度和长度)和植被覆盖因子。

Urban boundary layer 城市界面层 指城市上部空气层的通用术语,该层的空气受到

城市活动和形态的强烈影响。

Urban canyon 城市峡谷 排列着高层建筑物的城市街道，城市地形特征作为一个整体明显地影响着气流、辐射和微气候。

Urban climate 城市气候 城市地域内及其周围的气候，相对其他相似条件的地区而言，其气候一般较热、多雾、透光性较差。

Urban design 城市设计 建筑师、景观设计师和城市规划师处理城市形态、材料和活动的专业运作领域。

Urbanization 城市化 用以表述城市开发过程的术语，包括市郊的住宅和商业的发展。

V

Variable source concept 参见部分地域概念。

Variance 差异 指对土地利用或环境法令允许存在异议或有其他解释。

Vascular plants 导管植物 细胞被排列成管状传导系统（或导管组织）的植物。木质部和韧皮部是二种主要的导管组织。

W

Water table 地下水位 地下水域的上部边界。在结构规整的物质里，它通常是一个转变地带而不是一个边界线。地下水位的结构常接近于叠加地形。

Wave base depth 波蚀基面深度 波浪首次接触地表并开始移动微小土壤颗粒物时的深度。大约等于一到两倍波浪高度。

Wave refraction 波折射 即波浪的弯曲，从而形成一个更加垂直于海岸的夹角。

Wave length 波长 从一个波峰到下一个波峰的距离。

Wellhead protection 水源保护 土地利用规划和管理中的一项，主要对社区水井的补给水源进行污染控制。

Wetland 湿地 这一术语常指地面永久潮湿或年内大部分时间潮湿的地区。亲水、耐水植物占据其中，例如香蒲、红树林或丝柏。

Wetland disposal system 湿地处理系统 一种污水处理方法，废水排放进来，并且通过自然或人工构建的湿地来过滤。

Wetted perimeter 湿周 沿河底测量的从水流一侧到另一侧的距离。

Windshield survey 车窗观测 一种快速而且普遍的植物和土地利用的取样方法，主要基于从移动着的汽车上的观察。

Z

Zenith 天顶 对于在地球上的任何位置，这点都位于观测者的正上方。太阳天顶就总是位于正上方。

Zenith angle 天顶角 地球表面任何地点的垂直线和任何日期时太阳入射光线之间的夹角。

附录 A

美国和加拿大土壤分类系统

表 A.1 美国农业部 (United States Department of Agriculture, USDA) 土壤综合系统

目	概要说明	快速识别特征	亚目	
淋溶土 (Alfisols)	表现为黏化层; 基本容量 从中等到高等	表现为除氧化物外的所有 的矿物质层	有潜育作用 一些在寒冷气候中, 一些在湿润气候中, 一些在半湿润气候中, 一些在半干燥的气候中	潮淋溶土 极地淋溶土 湿淋溶土 干淋溶土 干热淋溶土
旱成土 (Aridisols)	半荒漠和荒漠土壤	表现为淡色披覆层或者黏 化层, 没有氧化物或者灰 化土层; 通常干燥	有黏化层 其他	黏化旱成土 曲型旱成土
新成土 (Entisols)	弱发展, 往往是盆地泥炭	除淡色披覆层, 耕作表层, 漂白土或耕作熟化土层外, 没有鉴别性的土层	有潜育作用 有强烈的人为干扰 在冲积层矿床上 有沙质的和壤土质的结构 其他	潮新成土 红砂质新成土 冲积新成土 砂新成土 正常新成土
有机土 (Histosols)	由有机质发展	30%或更多的有机质	很少饱和, 含 75%纤维 经常饱和, 含 75%纤维 经常饱和, 部分分解 经常饱和, 高度分解	落叶性有机土 低分解有机土 半分解有机土 高分解有机土
新开发土 (Inceptisols)	中度发展, 没有在别处列出	表现为过渡性的土层或组 织的土层; 没有黏化层, 氧化物层或钙石化土层, 没有杂赤铁土	有潜育作用 在火山灰上 在热带气候里 有黑瘠表育层 有堆垫表层 其他	潮始成土 火山灰始成土 热带始成土 暗始成土 生草始成土 淡始成土
软土 (Mollisols)	有黑色的 A 土层和高盐基值	表现为黑土层; 没有氧化 物土层	有漂白土黏化层 有潜育作用 在高度含钙的物质上 一些在寒冷气候中 一些在湿润气候中 一些在半湿润气候中 一些在半干燥的气候中	漂白软土 潮软土 黑色石灰软土 极地软土 湿软土 干软土 干热软土
氧化土 (Oxisols)	有氧化物土层	表现为氧化物土层	有潜育作用 有腐殖 A 土层 一些在湿润气候中 一些在更干燥的气候中 通常干燥	潮氧化土 腐殖质氧化土 正常氧化土 干氧化土 干燥氧化土
灰土 (Spodosols)	有灰化的土层	表现为灰化的土层	有潜育作用 在灰化的土层里有微量 腐殖质 在灰化的土层里有微量 铁质 有铁质和腐殖质	潮灰土 铁灰土 湿润灰土 灰土
老成土 (Utisols)	表现为黏化层; 低盐基值	年平均温度 8℃或更高; 土壤没有在别处列出	有潜育作用 有腐殖 A 土层 在湿润气候中 一些在半湿润气候中 一些在半干燥的气候中	潮老成土 腐殖质老成土 湿老成土 干老成土 夏旱老成土

续表

目	概要说明	快速识别特征	亚目	
变性土 (Vertisols)	裂化的黏土	30%或更多的黏土,有挤压微地形或其他上下运动的迹象	通常潮湿 短时期的干燥 长时期的干燥 通常干燥	湿变性土 干变性土 季节性干旱变性土 干裂变性土
山地土 (Mountain Soils)		在短距离范围内有很大变化;伴随大量陡峭斜坡。		

表 A.2 加拿大土壤分类系统 (目和大类)

目和大类	概要说明
黑钙土类 棕色 深棕色 黑色 深灰色	萨斯喀彻温省 (Saskatchewan) 的马尼托巴湖 (Manitoba) 和阿尔伯特湖 (Albert) 的半干旱和半湿润性草原的土壤。在主要由淤泥和黏土沉积物构成的土层和基础物质中,明显富含有机积累物。碳酸钙含量高,并且 pH 值一贯大于 7。这种土壤支持加拿大大面积的麦田。
碱土类 碱土 被脱碱化的碱土 脱碱土	在被盐化的物质中演化来的土壤,主要在内部平原的黑钙土区域内。非常有限的地理覆盖面积 (少于加拿大面积的 1%) 因为含盐过多而农业生产潜力低。
淋溶土类 灰棕色淋溶土 灰色淋溶土	在 B 土层中的硅酸盐黏土积累层的土壤和在 A 土层中相当多的有机积累层的土壤。位于森林覆盖区和最初含有钙质合成物的壤质冰川沉积物区。在安大略湖和魁北克南部,它们已经被广泛开垦。
灰化土类 湿润灰化土 含铁湿润灰化土 含铁灰化土	有大量由铁和铝的氧化物组成的 B 土层的土壤。其特征是有因湿润气候和沙质基础物质形成的淋洗作用。这一土层通常包含显著的有机积累物。整个加拿大都有分布,总共占国土面积的 15.6%。
湿草原土类 暗色的湿草原土 棕红湿草原土 腐殖质湿草原土 不饱和始成湿草原土	在呈棕色的 B 土层的土壤和在 A 土层中丰富的有机积累层的土壤。它们形成于湿润半干旱的不列颠哥伦比亚北部和 Yukon 南部的森林覆盖地。通常多岩石并且厚度薄, pH 值在 5-6 之间。
粗骨土类 粗骨土 腐殖粗骨土	在新近的沙质沉积物和现行的地貌环境中的土壤。土层空缺或者非常稀少。它们存在于各种气候环境和植被中。
潜育土类 腐殖潜育土 潜育土 淋溶潜育土	矿物质的土壤,在全年或一年中的部分中被浸透。其表现为还原条件。灰色或带蓝色的潜育土层是一种普遍的特点。出现在其他土壤被严重排干的对应的所有区域内。
有机土类 微纤维有机土 水饱和有机土 腐殖有机土 矿质有机土	饱有大量有机质的土壤。出现在长时间被浸透的地区和沼泽以及酸沼植被区。大多处于永久冻结带之下;位于哈得孙湾 (Hudson) 南部的广大地区,淋溶土地区尤其显著。
冻土类 冻土 (Turbic cryosol) 静态冻土 有机冻土	永久冻结带表层 1-2 米的土壤,也指每年土壤温度低于 0°C 的土壤。植被和结构完全是变化的;地表排水量往往很少,并且冰冻作用导致现行土层的机械混合。是加拿大分布最广泛的土壤类型,覆盖着 40% 的国土。

资料来源:加拿大土壤分类系统,渥太华,1978年。

表 A.3 统一的土壤分类系统

字母	说明	标准	进一步的标准
G	砂砾层和砂砾土（基本上是中砾大小，直径大于2毫米）	结构	基于颗粒大小的均匀性和如黏土和粉砂之类更小的物质的存在。
S	砂和砂土	结构	W 好的分级（均匀的颗粒大小）和清理（排除黏土、粉砂和有机质）。 C 好的黏土部分分级，它能把土壤结合在一起。 P 不好的分级，完全清理。
M	很好的砂和无机盐	结构；组成	基于压缩性和可塑性的性能标准。
C	无机物黏土	结构；组成	L 低到中等的压缩性和低等的可塑性。
O	有机粉砂和黏土	结构；组成	H 高等的压缩性和高等的可塑性。
Pt	泥炭	组成	

附录 B

地貌和土壤物质以及它们的排水特征

地貌特征	组成	排水
冲积扇	砂, 粉砂, 黏土与部分小圆石和圆石的混合物。明显地分层并且高度异质。	可变化, 上层部分排水性好, 下层部分因为地下水渗流而排水性差。
干河道(也称干谷或冲沟)	粉砂, 砂和干旱环境下河床与河谷的小圆石。	差, 受季节性和山洪暴发的影响。
滨外滩	砂和小圆石	好, 但水位常在地表几英寸内。
海滩	可变化; 典型的砂和小圆石, 但是也是黏土状的和粉砂状的或基岩与断层角砾岩。	如果是砂的排水性就好, 但水位常在地表几英寸内。
滩脊	主要是砂, 但通常在下层部分有小圆石。	非常好, 特别是那些在海拔高的地区。
沼泽	有机物(腐殖土, 泥炭)和部分矿物质黏土。	非常差。
单面山	常部分覆盖着薄层土壤和岩屑坡麓的基岩。	好, 但地下水通常沿坡麓渗流。
滩角或尖形滩	砂和小圆石	好, 但水位常在地表几英寸内。
三角洲	通常由黏土、粉砂和在当地层状物质中的有机物集中的砂。	从非常差到差; 高水位; 受频繁的洪水影响。
鼓丘	黏土状和与砾石一般大的粗粒的混合物。	从好到差
陡崖		
蛇丘	层状砂和小圆石的混合物(碎石构成的), 在弯曲的山脊地形中。	非常好
河漫滩	可能包含有机物的各种土壤的混合物; 塌积物和部分洪水层状通道沉积物的分类。	从非常差到差; 受高水位和洪水影响。
底碛	常是砂, 粉砂, 黏土的混合物; 但可能在压缩黏土、砂、小圆石、圆石、砾石的范围内高度变化; 通常轻微的起伏。	从好到差
冰碛阜	主要是在圆锥形的山体中的层状砂和砂砾层。	非常好
湖平原	当地海滩和沙丘集中的黏土状物质。	差到一般
湖阶地	通常是砂和小圆石, 但是也可能是基岩或黏土和粉砂。	非常好到好
防水堤坝	砂、粉砂和黏土沉积物, 位于河漫滩(河道)沉积层上。	差; 稍微比邻近的河漫滩好些。
草沼	有机物(腐殖土, 泥炭)和部分矿物质黏土类。	非常差
冰碛	常是砂、粉砂、黏土的混合物; 但可能在压缩黏土、砂、小圆石、圆石、砾石的范围内高度变化; 通常位于不规则的山形台地中。	好到差
冲积平原	砂质的	通常非常好
山麓侵蚀面	薄层砂和砾石在基岩上。	好, 但渗透性可能不好
河流阶地	可变化的; 层状黏土、粉砂、砂	非常好到一般
沙丘(新月形沙丘、纵向沙丘、抛物线沙丘、U字形沙丘、横向沙丘、或海岸沙丘)	纯砂	非常好
悬崖(见单面山)		
山麓碎石坡	圆石和小圆石(30°-40°的斜坡)	非常好
沙嘴	砂和小圆石	好, 但是水位常在地表几英寸内。
树沼泽	有机物(腐殖土, 泥炭)和部分矿物质黏土类。	非常差
岩屑坡	在石板, 岩席, 或石块(30°-40°的斜坡)上的漂砾。	非常好
潮滩	砂、粉砂或含有当地集中的有机物的黏土。	非常差
冰碛平原	常是砂、粉砂、黏土的混合物; 但是可能在压缩黏土、砂、小圆石、圆石、砾石的范围内高度变化(通常有轻微的起伏)。	好到差

资料来源: 摘录自威廉·M·马什(William M. Marsh), 《土地利用和场地规划中的环境分析》(纽约, McGraw-Hill 图书出版公司, 1978年)。

附录 C

美国公用水供应的地表水标准

物质	地表水标准, 毫克/升	
	许可标准	最佳标准
大肠杆菌	10000	< 100
粪便大肠肠菌	2000	< 20
无机化学物, mg/l		
氨	0.5	< 0.01
砷 ^a	0.05	没有
钡 ^a	1.0	没有
硼 ^a	1.0	没有
镉 ^a	0.01	没有
氯化物 ^a	250	250
铬(六价的) ^a	0.05	没有
铜 ^a	1.0	实际上没有
溶解氧	≥ 4	接近饱和
铁	0.3	实际上没有
铅 ^a	0.05	没有
锰 ^a	0.05	没有
硝酸盐 ^a	10	实际上没有
硒 ^a	0.01	没有
银 ^a	0.05	没有
硫酸盐 ^a	250	< 50
全部溶解固体 ^a	500	< 200
铀离子	5	没有
锌 ^a	5	实际上没有
有机化学物, mg/l		
ABC		
碳氯仿提取物 ^a	0.15	< 0.04
氰化物 ^a	0.20	没有
除草剂 2,4-D+2,4,5-T+2,4-TP ^a	0.1	没有
油和气 ^a	实际上没有	没有
农药类 ^a		
Adrian*	0.017	没有
氯丹	0.003	没有
二氯二苯三氯乙(DDT)	0.042	没有
氧桥氯甲桥萘	0.017	没有
氯甲桥萘	0.001	没有
七氯	0.018	没有
六氯化苯	0.056	没有
甲氧滴滴涕	0.035	没有
毒杀芬	0.005	没有
苯酚类	0.001	没有

a 指不会受下列处理过程显著影响的物质, 这些过程是: 凝固作用(少于 50 毫克、升的铝, 硫酸铁, 或者绿矾, 也需要一些碱性附加物但是没有助凝剂或者活性炭); 沉积作用(6 小时或更少); 快速沙滤作用(3 分钟加仑数/英尺或略少); 以及氯的消毒作用(没有考虑氯浓度或剩余氯的类型)。

* 相关词典中查不出对应的中文名称

资料来源: “供应公众的原水质量标准”(Raw Water Quality Criteria for Public Supplies), 国家技术咨询委员会报告(U.S. Department of the Interior, issued by the Federal Water Pollution Control Administration, 1968 年)。

附录 D

美国国家空气质量标准

污染物	高级标准 (mg/m^3)	中极标准 (mg/m^3)
颗粒物		
每年几何平均数	75	60
24小时最大浓度 ^a	260	150
氧化硫		
每年算术平均数	80 (0.03ppm)	—
24小时最大浓度 ^a	365 (0.14ppm)	—
3小时最大浓度	—	1300 (0.5ppm)
一氧化碳		
8小时最大浓度 ^a	10 (9ppm)	10
1小时最大浓度 ^a	40 (35ppm)	40
臭氧		
每小时平均最大浓度 ^a	235 (0.12ppm)	235
二氧化氮		
每年算术平均数	100 (0.05ppm)	100
碳氢化合物		
3小时最大浓度 ^a	160 (0.24ppm)	160
(上午6-9点)	160 (0.24ppm)	160
铅		
最大算术平均数 (一个日历季度内的平均)	1.5	1.5

a 此种事件在每个场地的发生频率不超过1次/年。

注意：ppm指污染物在每百万空气量中的含量。

资料来源：美国环境保护署条例中的《国家高级及中级环境空气质量标准》(National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards)。

附录 E

美国噪声标准

表 E.1 美国环保署 (Environment Protection Agency, EPA) 噪声标准和规范与危险

声级 (dBA)	声源	暴露在噪声中的危害
140	喷气发动机 (25m 距离)	损害听力
130	喷气机起飞 (100m 远)	
120	螺旋桨式飞机	
110	精力充沛的摇滚乐团	有损伤听力的可能
100	手提钻 / 风凿	
90	重型载重汽车 洛杉矶靠近高速公路的第三层公寓 一般的街道交通	
80	哈莱姆住宅区, 第二层的公寓	长时间暴露有损伤听力的可能
70	私人汽车 波士顿主要大街上的联排房 商务办公室 距离大型机场 8 英里, 飞机起飞或降落	—
60	对话式的演讲或老的居住区	
50	圣地亚哥——多木质房屋的住宅区	—
40	加州的西红柿田园 电台的柔和音乐	
30	安静的低语	—
20	安静的城市住宅	
10	树叶的沙沙声	
0	开始听到声音	

资料来源: 美国环境保护署。

表 E.2 职业安全与卫生条例 (Occupational Safety and Health Act [Administration], OSHA) 噪声暴露限制

噪声 (分贝)	可允许的暴露时间 (小时和分钟)
85	16 小时
87	12 小时 6 分钟
90	8 小时
93	5 小时 18 分钟
96	3 小时 30 分钟
99	2 小时 18 分钟
102	1 小时 30 分钟
105	1 小时
108	40 分钟
111	26 分钟
114	17 分钟
115	15 分钟
118	10 分钟
121	6.6 分钟
124	4 分钟
127	3 分钟
130	1 分钟

OSHA 认为应将人体在 90 分贝的环境中暴露 8 小时所受的伤害限度作为标准, 而高于或低于 90 分贝的情况应以此为对照“测定相应的暴露时间”。资料来自美国联邦记录处 (U.S. Federal Register)。

附录 F

北美湿地植物的普通名和学术名

拉丁学名	普通英文名	普通中文名
<i>Acer rubrum</i> L.	Red maple	红花槭
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	(Water plantain)	欧泽泻
<i>Alnus</i> spp.	Alders	桤木属
<i>A. rugosa</i> (DuRoi) Spreng.	Speckled alder	斑点桤木
<i>A. tenuifolia</i> Nutt.	Thinleaf alder	薄叶桤木
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.	Foxtail	看麦娘
<i>Andromeda glaucophylla</i> Link	Bog rosemary	沼泽迷迭香
<i>Arctophila fulva</i> (Trin.) Anderss.	Pendent grass	*
<i>Aristida stricta</i> Michx.	(Three-awn)	三刺草
<i>Ascophyllum</i> spp.	(Rockweeds)	墨角藻属
<i>A. nodosum</i> (L.) LeJol.	Knotted wrack	泡叶藻
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	(Moss)	沼泽皱蕨藓
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Black mangrove	海榄雌
<i>Azolla</i> spp.	Mosquito ferns	满江红属
<i>Baccharis balimifolia</i> L.	Sea-myrtle	*
<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fernald	Slough grass	水稗子
<i>Betula nana</i> L.	Dwarf birch	矮桦木
<i>B. pumila</i> L.	Bog birch	沼泽矮桦木
<i>Brasenia schreberi</i> j. F. Gmel.	Water shield	莼菜
<i>Calamagrostis canadensis</i> (Michx.) Beauv.	Bluejoint	蓝点拂子茅
<i>Calopogon</i> spp.	Grass pinks	*
<i>Caltha palustris</i> L.	Marsh marigold	马蹄草
<i>Campylium stellatum</i> (Hedw.) C. Jens	(Moss)	仰叶细湿藓
<i>Carex</i> spp.	Sedges	苔草属
<i>C. aquatilis</i> Wahlenb.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. atherodes</i> Spreng.	Slough sedge	苔草属一种
<i>C. bipartita</i> All.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. lacustris</i> Willd.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. lasiocarpa</i> Ehrh.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. lyngbyei</i> Hornem.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. paleacea</i> Schreb. ex Wahlenb.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. pluriflora</i> Hulten	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. ramenskii</i> Kom.	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. rariflora</i> (Wahlenb.) J. E. Smith	(Sedge)	苔草属一种
<i>C. rostrata</i> J. Stokes	Beaked sedge	咀苔草
<i>Cassiope tetragona</i> (L.) D. Don	Lapland cassiope	四棱岩须
<i>Caulerpa</i> spp.	(Green algae)	蕨藻属
<i>Cephalanthus occidentalis</i> L.	Buttonbush	风箱树
<i>Ceratophyllum</i> spp.	Coontails	金鱼藻属
<i>Chamaecyparis thyoides</i> (L.) B.S.P.	Atlantic white cedar	美国尖叶扁柏
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	Leatherleaf	*
<i>Chara</i> spp.	(Stoneworts)	轮藻属
<i>Chenopodium glaucum</i> L.	(Goosefoot)	灰绿藜
<i>Chiloscyphus fragilis</i> (Roth) Schiffn.	(Liverwort)	裂萼苔
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse	Irish moss	皱波角叉菜
<i>Cladina</i> spp.	Reindeer mosses	驯鹿苔属
<i>C. rangiferina</i> (L.) Harm	(Reindeer moss)	石蕊属一种
<i>Cladium jamaicense</i> Crantz	Saw grass	克拉莎
<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Scott	Taro	芋头
<i>Conocarpus erectus</i> L.	Buttonwood	美国梧桐
<i>Cornus stolonifera</i> Michx.	Red osier dogwood	偃伏楝木

续表

拉丁学名	普通英文名	普通中文名
<i>Cymodocea filiformis</i> (Kuetz) Correll	Manatee grass	丝粉藻
<i>Cyperus</i> spp.	Nut sedges	莎草属
<i>Cyrilla racemijlora</i> L.	Black ti-ti	*
<i>Decodon verticillatus</i> (L.) Elliott	Water willow	水柳
<i>Dendranthema arcticum</i> (L.) Tzvel	Arctic daisy	极地菊
<i>Dermatocarpon fluviale</i> G. H. Web Th. Fr	(Lichen)	水生果皮衣
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	(Salt grass)	盐草属一种
<i>Drepanocladus</i> spp.	(Moss)	镰刀藓属
<i>Dryas integrifolia</i> Vahl	(Dryas)	仙女木
<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	Barnyard grass	稗草一种
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.	Water hyacinth	凤眼莲
<i>Eleocharis</i> sp.	(spike rush)	*
<i>E. palustris</i> (L.) Roem. & J. A. Schultes	(spike rush)	*
<i>Elodea</i> spp.	Water weeds	伊乐藻属
<i>Elymus arenarius</i> L.	(Lyme grass)	欧滨麦
<i>Empetrum nigrum</i> L.	Crowberry	岩高兰
<i>Enteromorpha</i> spp.	(Green algae)	浒苔属
<i>Eriophorum</i> spp.	Cotton grasses	羊胡子草属
<i>E. russeolum</i> Fr.	(Cotton grass)	红毛羊胡子草
<i>E. vaginatum</i> L.	(Cotton grass)	白羊胡子草
<i>Fissidens</i> spp.	(Moss)	凤尾藓司
<i>F. julianus</i> (Mont.) Schimper	(Moss)	急尖凤尾藓
<i>Fontinalis</i> spp.	(Moss)	水藓属
<i>Fraxinus nigra</i> Marshall	Black ash	黑白蜡树
<i>F. pennsylvanica</i> Marshall	(Red ash)	洋白蜡树
<i>Fucus</i> spp.	Rockweeds	墨角藻属
<i>F. spiralis</i> L.	(Rockweed)	墨角藻属一种
<i>F. vesiculosus</i> L.	(Rockweed)	墨角藻
<i>Glyceria</i> spp.	Manna grasses	甜茅属
<i>Gordonia lasianthus</i> (L.) J. Ellis	Loblolly bay	大头茶
<i>Habenaria</i> spp.	(Orchids)	玉凤花属
<i>Halimeda</i> spp.	(Green algae)	仙人掌藻属
<i>Halodule wrightii</i> Aschers.	Shoal grass	*
<i>Halophila</i> spp.	(Sea grass)	喜盐草
<i>Hippuris tetraphylla</i> L.f.	(Mare's tail)	杉叶藻
<i>Hydrilla verticillata</i> Royle	(Hydrilla)	黑藻
<i>Ilex glabra</i> (L.) Gray	Inkberry	光滑冬青
<i>I. verticillata</i> (L.) Gray	Winterberry	美洲冬青
<i>Iva frutescens</i> L.	Marsh elder	
<i>Juncus</i> spp.	Rushes	灯心草
<i>J. gerardii</i> Loiseleur	Black grass	盐地灯心草
<i>J. militaris</i> Bigel.	Bayonet rush	士兵灯心草
<i>J. roemerianus</i> Scheele	Needlerush	针茅灯心草
<i>Kalmia angustifolia</i> L.	Sheep laurel	狭叶山月桂

续表

拉丁学名	普通英文名	普通中文名
<i>K polifolia</i> Wengenh.	Bog laurel	沼泽山月桂
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	Summer cypress	地肤
<i>Languncularia racemosa</i> (L.) C. F. Gaertn.	White mangrove	*
<i>Laminaria</i> spp.	(Kelps)	海带
<i>Larix laricina</i> (DuRoi) K. Koch	Tamarack	美洲落叶松
<i>Laurencia</i> spp.	(Red algae)	凹顶藻
<i>Ledum decumbens</i> (Ait.) Small	Narrowleaf Labrador tea	狭叶杜香
<i>L. groenlandicum</i> Oeder	Labrador tea	加茶杜香
<i>Lemna</i> spp.	(Duckweeds)	浮萍
<i>L. minor</i> L.	Common duckweed	水浮萍
<i>Leucothoe axillaris</i> (Lam.) D. Don	Coastal sweetbells	腋花木藜芦
<i>Ligusticum scoticum</i> L.	Beach lovage	女贞
<i>Lithothamnion</i> spp.	Coralline algae	石枝藻属
<i>Lycopodium alopecuroides</i> L.	Foxtail clubmoss	狐尾石松
<i>Lyonia lucida</i> (Lam.) K. Koch	Fetterbush	亮叶马醉木
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Purple loosestrife	千屈菜
<i>Macrocystis</i> spp.	(Kelps)	巨藻
<i>Magnolia virginiana</i> L.	Sweet bay	弗吉尼亚木兰
<i>Marsupella</i> spp.	(Liverworts)	钱袋苔
<i>M. emarginata</i> (Ehrenberg) Dumortier	(Liverwort)	微缺钱袋苔
<i>Myrica gale</i> L.	Sweet gale	甜香杨梅
<i>Myriophyllum</i> spp.	Water milfoils	聚藻属
<i>M. spicatum</i> L.	(Water milfoil)	聚藻属一种
<i>Najas</i> spp.	Naiads	茨藻属
<i>Nelumbo lutea</i> (Willd.) Pers.	American lotus	黄色莲
<i>Nitella</i> spp.	(Stoneworts)	丽藻属
<i>Nuphar luteum</i> (L.) Sibth. & J. E. Smith	(Yellow water lily)	欧亚萍蓬草
<i>Nymphaea</i> spp.	(Water lilies)	睡莲属
<i>N. odorata</i> Soland. in Ait.	(White water lily)	香睡莲
<i>Nyssa aquatica</i> L.	Tupelo gum	水蓝果树
<i>N. sylvatica</i> Marshall	Black gum	多花蓝果树
<i>Oncophorus wahlenbergii</i> Brid.	(Moss)	曲背藓日本变种
<i>Panicum capillare</i> L.	Old witch grass	毛线稷
<i>Pedicularis</i> sp.	(Lousewort)	马先蒿属
<i>Peltandra virginica</i> (L.) Kunth	Arrow arum	箭海芋
<i>Pelvetia</i> spp.	(Rockweeds)	鹿角菜属
<i>Penicillus</i> spp.	(Green algae)	画笔藻属
<i>Persea borbonia</i> (L.) Spreng.	Red bay	鳄梨
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Reed	南方芦苇
<i>Phyllospadix scouleri</i> Hook.	(Surfgrass)	斯库虾海藻
<i>P. torreyi</i> S. Wats.	(Surfgrass)	托氏虾海藻
<i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P.	Black spruce	黑云杉
<i>P. sitchensis</i> (Bong.) Carriere	Sitka spruce	北美云杉
<i>Pinus contorta</i> Dougl. ex Loudon	Lodgepole pine	小干松
<i>P. palustris</i> Mill.	Longleaf pine	长叶松
<i>P. serotina</i> Michx.	Pond pine	晚松
<i>Pistia stratiotes</i> L.	Water lettuce	大藻

续表

拉丁学名	普通英文名	普通中文名
<i>Plantago maritima</i> L.	Seaside plantain	盐生车前草
<i>Podostemum ceratophyllum</i> Michx.	Riverweed	川苔草
<i>Polygonum</i> spp.	Smartweeds	蓼属
<i>P. amphibium</i> L.	Water smartweed	两栖蓼
<i>P. bistorta</i> L.	Bistort	圆穗蓼
<i>Pontederia cordata</i> L.	Pickerelweed	梭鱼草
<i>Potamogeton</i> spp.	Pondweeds	眼子菜属
<i>P. gramineus</i> L.	(Pondweed)	眼子菜属一种
<i>P. natans</i> L.	Floating-leaf pondweed	浮叶眼子菜
<i>Populus balsamifera</i> L.	Balsam poplar	肠杨
<i>P. deltoides</i> W. Bartram ex Marshall	Cottonwood	三角杨
<i>Potentilla anserina</i> L.	Silverweed	蕨麻
<i>P. fruticosa</i> L.	Shrubby cinquefoil	金露梅
<i>P. palustris</i> (L.) Scop.	Marsh cinquefoil	委陵菜属一种
<i>Puccinellia grandis</i> Swallen	(Alkali grass)	碱茅
<i>Quercus bicolor</i> Willd.	Swamp white oak	沼泽白栎
<i>Q. lyrata</i> Walter	Overcup oak	栎属一种
<i>Q. michauxii</i> Nutt.	Basket oak	栎属一种
<i>Ranunculus pallasii</i> Schlecht.	(Crowfoot)	毛茛
<i>R. trichophyllus</i> D. Chaix	White water crowfoot	毛柄水毛茛
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Red mangrove	美国红树
<i>Rhododendron maximum</i> L.	Great laurel	极大杜鹃花
<i>Rhynchospora</i> spp.	Beak rushes	刺子莞属
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	Cloudberry	兴安悬钩子
<i>Rumex maritimus</i> L.	Golden dock	金酸模
<i>R. mexicanus</i> Meisn.	(Dock)	酸模
<i>Ruppia</i> spp.	Ditch grasses	川蔓藻属
<i>R. maritima</i> L.	Widgeon grass	海岸川蔓藻
<i>Sagittaria</i> spp.	Arrowheads	慈菇属
<i>Salicornia</i> spp.	Glassworts	盐角草属
<i>S. europaea</i> L.	(Sampshire)	海蓬子
<i>S. virginica</i> L.	(Common pickleweed)	弗吉尼亚盐角草
<i>Salix</i> spp.	Willows	柳属
<i>S. alaxensis</i> (Anderss.) Coville	Feltleaf willow	柳属一种
<i>S. fuscescens</i> Anderss.	Alaska bog willow	阿拉斯加沼泽柳
<i>S. ovalifolia</i> Trautv.	Ovalleaf willow	卵形叶柳
<i>S. planifolia</i> Pursh	Diamondleaf willow	菱形叶柳
<i>S. reticulata</i> L.	Netleaf willow	网形叶柳
<i>Salvinia</i> spp.	Water ferns	槐叶苹
<i>Sarcobatus vermiculatus</i> (Hook.) Torr.	Greasewood	黑肉叶刺茎藜
<i>Scirpus</i> spp.	Bulrushes	莎草科藜草属
<i>S. acutus</i> Muhl. ex Bigel.	Hardstem bulrush	藜草属一种
<i>S. americanus</i> Pers.	Common threesquare	藜草属一种
<i>S. robustus</i> Pursh	(Bulrush)	藜草属一种
<i>Scolochloa festucacea</i> (Willd.) Link	Whitetop	水茅
<i>Solidago sempervirens</i> L.	Seaside goldenrod	海滨一枝黄花
<i>Sparganium hyperboreum</i> Laest.	(Bur-reed)	黑三棱
<i>Spartina alterniflora</i> Loiseleur	Saltmarsh cordgrass	平滑网茅
<i>S. cynosuroides</i> (L.) Roth	Big cordgrass	大网茅

续表

拉丁学名	普通英文名	普通中文名
<i>S. foliosa</i> Trin.	California cordgrass	加利福尼亚网茅
<i>S. patens</i> (Ait.) Muhl.	Saltmeadow cordgrass	伸展网茅
<i>Sphagnum</i> spp.	Peat mosses	泥炭藓
<i>Spiraea beauverdiana</i> C. K. Schneid.	Alaska spiraea	阿拉斯加绣线菊
<i>S. douglasii</i> Hook.	(Spiraea)	绣线菊属一种
<i>Spirodela</i> spp.	Big duckweeds	紫萍属
<i>Stellaria</i> spp.	(Chickweed)	繁缕属
<i>Suaeda californica</i> S. Wats.	(Sea blite)	加利福尼亚碱蓬
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamarisk	柽柳
<i>Taxodium distichum</i> (L.) L. C. Rich.	Bald cypress	落羽杉
<i>Thalassia testudinum</i> K. Q. Koenig	Turtle grass	海链藻
<i>Thuja occidentalis</i> L.	Northern white cedar	北美香柏
<i>Tolypella</i> spp.	(Stoneworts)	鸟巢藻属
<i>Trapa natans</i> L.	Water nut	欧菱
<i>Triglochin maritimum</i> L.	Arrow grass	海韭菜
<i>Typha</i> spp.	Cattails	香蒲属
<i>T. angustifolia</i> L.	Narrow-leaved cattail	水烛
<i>T. latifolia</i> L.	Common cattail	宽叶香蒲
<i>Ulmus americana</i> L.	American elm	美洲榆
<i>Ulva</i> spp.	Sea lettuce	石莼
<i>Utricularia</i> spp.	Bladderworts	狸藻属
<i>U. macrorhiza</i> LeConte	(Bladderwort)	狸藻属一种
<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Highbush blueberry	高大越橘
<i>V. oxycoccus</i> L.	Small cranberry	小果越橘
<i>V. uliginosum</i> L.	Bog blueberry	荒野越橘
<i>V. vitis-idaea</i> L.	Mountain cranberry	越橘
<i>Vallisneria americana</i> Michx.	Wild celery	美洲苦草
<i>Verrucaria</i> spp.	(Lichens)	瓶口衣属
<i>Wolffia</i> spp.	Watermeals	芜萍属
<i>Woodwardia virginica</i> (L.) J. E. Smith	Virginia chain-fern	弗吉尼亚狗脊蕨
<i>Xanthium strumarium</i> L.	(Cocklebur)	欧洲苍耳
<i>Xyris</i> spp.	Yellow-eyed grasses	黄眼草
<i>Xyris smalliana</i> Nash	(Yellow-eyed grass)	小黄眼草
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Horned pondweed	角果藻
<i>Zenobia pulverulenta</i> (W. Bartram) Pollard	Honeycup	*
<i>Zizania aquatica</i> L.	Wild rice	菰
<i>Zizaniopsis miliacea</i> (Michx.) Doell & ASchers.	Southern wild rice	南方菰
<i>Zostera marina</i> L.	Eelgrass	大叶藻
<i>Zosterella dubia</i> (Jacq.) Small	Water stargrass	水星草

资料来源：美国农业部，植物拉丁学名列表，1982年。

注意：中间一列的普通英文名指的是更高一级的分类名，其中带括号的部分是那些不太常用或仍未得到统一认可的名称。

表中打*的植物在国内尚无对应的中文名称。——译者注

附录 G

原著第三版案例研究

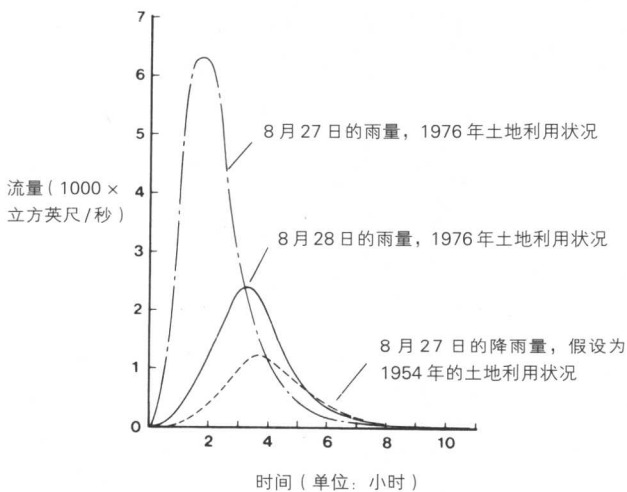
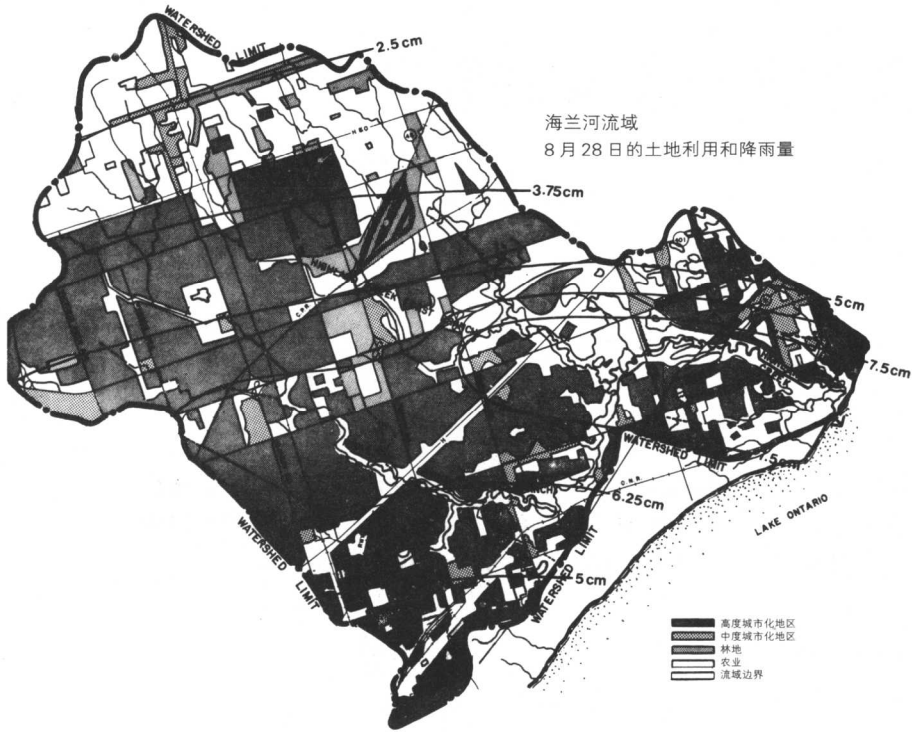
出版说明：本书第四版除增加了第 1 章的案例研究外，还更新了第三版中的 7 个案例研究，我们将第三版被更换的这 7 个案例研究作为附录出版，以便读者能够对比学习、研究。——编者注

多伦多大城市地区河道的洪水泛滥

J·C·马特 (J. C. Mather)

8.10 案例研究

海兰河(Highland Creek)排水区位于多伦多大城市地区的斯卡伯勒自治镇,面积为42.6平方英里。1976年8月27日和28日这里发生了两次大雷雨,降雨量分别为1.69英寸和2.24英寸,造成严重的河流泛滥,损失高达200万



美元。27日的暴雨重现期为20年，产生了相当于37年一遇的暴雨产生的洪水。28日的暴雨尽管降雨量更大，但造成的损失较小，部分原因是洪峰流经的许多池塘和小水库已被前次洪水清理干净。

暴雨来源于加拿大南部快速过境的两股冷锋和与之相伴的一组中纬度大气旋。强烈的飑线沿冷锋形成，而且气象分析表明，高强度的降雨量产生在飑线上的一系列强雷暴中心。在降雨量最大的时段内大多数流域被洪水所覆盖。

对1954年和1976年海兰河的水文图进行的比较研究表明，1976年相同的暴雨量产生的洪峰流量为1954年的6倍之多，流量的剧增归因于流域的城市化、支流的渠化、排水系统的严重负荷以及河漫滩森林的采伐。这些因素组合在一起产生了流量大、速度快的洪流，因而增大了海兰河洪水的规模和频率。

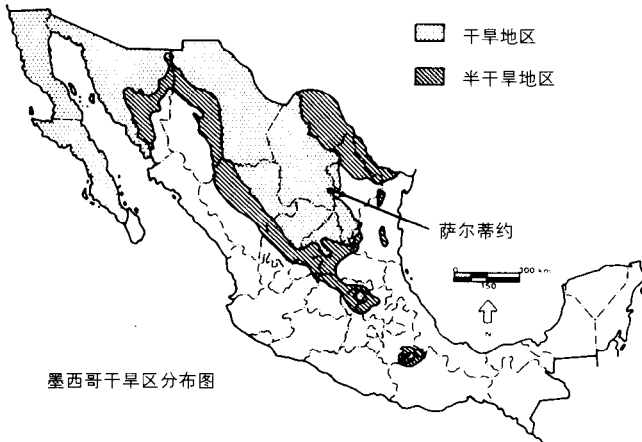
多伦多大城市地区和区域保护机构（Metro Toronto and Region Conservation Authority）限制了河漫滩私人开发所造成的侵占现象，有助于减小两次洪水对土地利用的严重损失。这个河谷现在发挥着两个功能，即开放空间和洪水汇集区，如果采用使两种功能相容的措施，持续的容纳性能是可行的。这就意味着要严格限制河漫滩和河流沟道内的建筑物，在开放空间修建的设施要远离水量较大的地段，防止河岸侵蚀，并且研究考察其他一些不仅仅依赖于排水沟道和河流沟道的洪水管理方法。

作者简介：J·C·马特（J.C.Mather），多伦多大城市区与区域保护机构的水资源部门下的洪水控制分部的主席。

干旱环境下的流域管理规划

理查德·A·梅加克 (Richard A Meganck)

正如美国的东南部一样，墨西哥北部也是一个经济快速增长、而水源匮乏

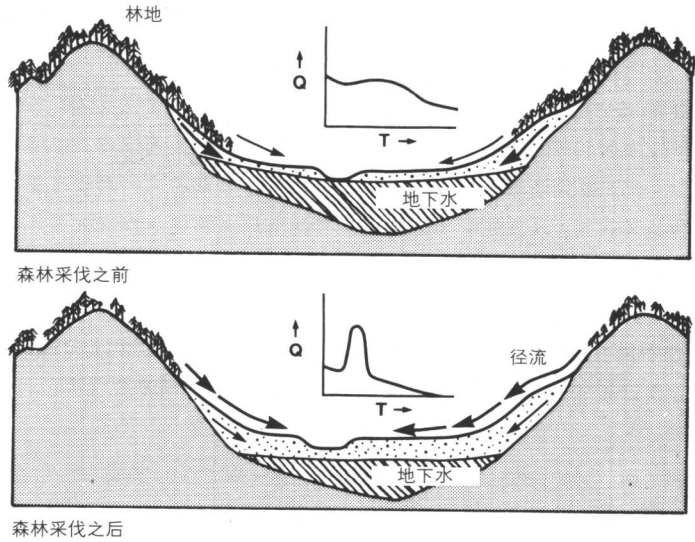


的地区。地表水的供给量极少，大多数地区的发展都主要依靠地下水的供给而得以进行。当地地下水的储量通常与来自周围山坡上的雨雪补给的盆地紧密相连。来自盆地两侧的水体透过疏松的沉积物，渗入河谷谷底的含水土层，人们从这些含水土层中将水抽取出来，以满足城市、农村以及工业生产的需要。与河谷相比，尽管山地能够接受到大量的雨雪，并且具有更多的水分盈余，然而河谷含水土层的重新补给率仍然较低。为获得长期的水供应，我们一定要做到水源的提取速率不得超过水体的重新补给率，并且对水源补给区给予良好的管理。

墨西哥的萨尔蒂约 (Saltillo) 市，拥有 300000 人口，坐落在东马德雷山脉 (Sierra Madre Oriental) 一个沙漠盆地中，然而在各种税务政策的鼓励和刺激下，最近这里建起了一些汽车制造厂和钢铁厂，人口随之有了大幅度的增长，对基础设施的需求也出现显著增长的势头。其中最显著的就是对水需求量的增加，目前城市内 50% 的水来自距离该城向南 7 公里，一个叫圣洛伦索 (San Lorenzo) 峡谷的山区盆地的地下水。这个峡谷的土地利用形式主要为农业 (其中大部分是放牧业)，其中 64% 的土地是合作农场拥有，36% 的土地为私人所有。

过去几十年里，不合理的土地利用方式导致了峡谷的衰退，其水文和农业资源严重损耗。实际上，所有原有的森林被砍伐殆尽；过度放牧加速了土壤侵蚀和水土流失；并且大量的土壤被开采以作为乡村和城市花园的表土。而这些行为共同造成峡谷截获水流和重新补给含水土层的能力降低，而这些对萨尔蒂约市是极其严重的，与此同时，萨尔蒂约市开采地下水的速度正逐年递增。

除非对圣洛伦索峡谷 (和类似的峡谷) 采取补救措施，否则萨尔蒂约市将会马上面临严重的缺水危机。因此，墨西哥政府和美国区域开发计划组织



(Regional Development Program of the Organization of American States) 同意为圣洛伦索峡谷制定一项管理规划,并以此作为管理与之类似区域的一个范例。基于峡谷内土地所有关系的现状,以及合作农场长期以来形成的土地利用模式,这一规划必须着重考虑社会因素和自然因素两方面的问题。

为此组建了一个跨越多个领域的规划小组,确定了管理目标,对场地数据进行收集和分析,制定出一个规划框架。最后,详尽阐述一下这项管理计划的目的:

- 确保长期的水量供应和对水源补给区域的保护;
- 为当地的农村居民提供一个更为多样化和稳固的经济基础(来自地方和州政府官员对于这项规划的政治方面的考虑);
- 巩固并且保护生态系统过程的长期稳定性;
- 满足日益增长的对户外休闲娱乐和教育的需求;
- 解决与私有财产所有者之间的潜在冲突。

为了达成这些目标,减缓峡谷衰退的速度,建议采取如下举措:

1. 实施暂行管理条例,包括立即停止林业采伐、放牧、打猎、诱捕野兽以及土壤开采活动。
2. 申请国际基金为当地农村居民的经济转型提供经济保障,即由林业和放牧经济转向已经逐步建立的农作物生产,多样化的水果生产和圣诞树经营活动(当地的私有企业已经证明了苹果树和松树生产在经济上的成功)。
3. 重新造林,在近6000公顷的土地上栽植6至8万棵松树和刺柏属植物。
4. 贯彻土壤保护和火灾管理条例;去除不理想的植被;保护重要及濒危物种的栖息地;最终考虑重新引入并管理某些野生生物种。
5. 通过市场等价购买、财产交换、长期租约或其他举措,获取对处在复

合管理区域中的私有土地资源开发利用的权利。

按照这项规划,圣洛伦索峡谷的长期管理应为实现经济-生态的均衡发展提供合理的构架。它的权威性不仅在于它能够将水系统作为重要的自然实体加以考虑,并且还在于它认识到了复杂的社会力量和文化力量在墨西哥景观中所起的作用。在土地利用方面所进行的变革必须建立在有效的经济和社会激励机制的基础上。

作者简介: 理查德·A·梅加克(Richard A.Meganck), 资源规划师, 美国区域开发计划(Regional Development Program)的前项目负责人。

10.7 案例研究

从1997年北达科他州大福克斯市的洪灾中得到的教训

艾略特·格拉塞姆 (Eliot Glassheim)

北达科他州的大福克斯市，地处明尼苏达州边界的红河 (Red River) 河谷区内，近来遭受了一场毁灭性的洪水，洪水淹没了该市80%的地区，迫使几乎所有44000市民的疏散。由于这一事件，大福克斯市议会学到了许多经验教训，面临着对城市未来作出困难而复杂的抉择。首先是专家们对洪水流量的预测。

尽管已知在距大福克斯市70英里，位于河流上游方向的法戈市 (Fargo) 在1996-1997年间遭遇了有历史记录以来的最大一场降雪 (115英寸)；尽管有报告称年前红河河谷的土壤已被大量水分浸透，然而国家气象局 (National



1997年4月，大福克斯市的市中心

Weather Service) 对红河在大福克斯市的最高水位的预测仍只是49英尺，与1979年的洪水程度相同。因此，在1月份和2月份，当北达科他州遭遇严重暴风雪的时候，大福克斯市的工作人员就已经做好了与预期的红河49英尺的浪峰做斗争的准备，并且向市长和市议会成员简要汇报了他们正在进行的工作。大福克斯市的工作人员检查了观测站和游标尺，对河水水位的增长制定了相应的计划，大福克斯市的人们相信他们已经做好了应对洪水的充分准备。

事后我们了解到，一些专家 [包括美国军事工程署 (U.S. Army Corps of Engineers)] 在华盛顿特区曾提到，高峰水位可能会超过49英尺而达到53英尺或54英尺。而大福克斯市的工程师在当时却只是信赖国家气象局所做的49英尺的预测，后来他们陈述说，假使他们的办公室被告知有54英尺高水位存在的可能性，该市就会制定另外的相应计划，并且修建一定数量的二级堤防，这样的话，大部分的市镇都会从这场严重的灾难中幸免。如果有人告知我们，对洪水浪峰的预测并不是一门精确的科学，或者其他预测机构指出河水浪峰可能会有许多不同的高度，或许我们也有可能做出更好的准备。很明显，对其他公众官员来说，在面临潜在洪水威胁并且需要做出抉择的时候，很重要的一点是“经证实后再相信”。千万不要孤注一掷！要在主要系统之外获取意见及第二种更多信息，因为数十亿的财产正处在危险之中。

尽管在洪水之前一个多月, 联邦紧急事务管理局 [Federal Emergency Management Administration (FEMA)] 曾发起过轰动一时的广告运动, 但仍然只是很少的房主或商家购买或增加了国家洪水保险计划 (NFIP) 中的保险类别。随后, 保险代理商做出的报道打消了客户们增加洪水保险项目的积极性, 因为洪水看起来不可能发生, 而且对客户而言, 保险计划中存在太多不予保险的项目。尽管争论仍在继续, 就建筑基础 (和一楼) 被洪水淹没的问题而言, 到底是由于漫过陆地的河水造成的后果, 还是由于个人的排水管堵塞、水仓泵发生故障或渗漏, 或是由于城市范围内的雨水管负荷过重? 然而对于那些在他们的房主保险契约上增加了排水管阻滞保险的人们, 许多保险公司出于善意, 并且在州安全保障长官的迅速干预下, 许多这类申诉都得到了赔偿。不过从公司到公司, 从保险条款到保险条款, 谁该对哪种类型的灾害负责依然是不甚明了。

而许多 NFIP 保险客户宣称, 最让他们烦恼的是多年来他们一直在支付洪水保险费用。由于宣称是国家灾害, 政府将在灾后建立一道更为坚固的堤坝防护线并提供所需的全部费用, 然而令人觉得讽刺的是, 这些投保的客户从政府行为的交易中获取了全部的灾害损失赔偿, 却未从他们的洪水保险中得到一分钱补偿。而与此同时, 他们的邻居在没有支付洪水安全保障保险费用的情况下, 也将从政府那里获得同等的好处。这一信息表明, 我们需要更加规范化的联邦语言, 明确限定洪水保险涉及什么, 同时明确哪些是不在保护范围之内, 例如流经陆地的洪水、排水管堵塞、雨水管故障、水泵故障、以及河水压力下的渗漏等。同时不幸的是, 更多的人必须购买洪水保险, 而不论他们是否处在百年一遇的洪水淹没的河漫滩范围之内。

不久洪水开始退了, 报纸和电台媒介里满是关于防备“污染了的”河水的警告。这些为保护公众而制定的严重警告, 使得公众中产生了一种对任何与河水接触过的东西的恐惧和厌恶情绪。公众健康官员发起了为任何与河水接触过的人注射破伤风疫苗的行动。城市检查官员与当地的电器与炉子承包商坚持任何被洪水淹没的设备都应该被丢弃。因此, 整个城市产生了大量的废弃物, 但如果采取更有效的防腐清洁程序, 这些废品则会大大减少。

洪灾恢复的可选择方案 (北达科他州大福克斯市)

	城市的毁坏	所有者清理	重建, 有 1-3 年的居住规划	重建, 不确定的居住规划	市政府出钱
损害超过 50%, 位于百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸内侧的区域	只有在遭受直接的危害时	没有	没有	没有	几乎确定
损害超过 50%, 位于百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的外侧区域	只有在遭受直接的危害时	没有	没有	没有	有可能的
损害超过 50%, 不在百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的内侧	只有在遭受直接的危害时	没有	所有者的选择	没有	非常可能的
损害超过 50%, 不在百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的外侧	只有在遭受直接的危害时	有	所有者的选择	所有者的选择	不太可能的 (靠后考虑的)
损害低于 50%, 位于百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的内侧	不太可能的	有	所有者的选择	没有	非常可能的
损害低于 50%, 位于百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的外侧	可能性非常小	有	所有者的选择	所有者的选择	有可能但可能性比较小的
损害低于 50%, 不在百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的内侧	可能性非常小	有	有	没有	也许有可能的
损害低于 50%, 不在百年一遇洪水的河漫滩中, 待建堤岸的外侧	可能性非常小	有	有	有	基本不可能的

我们后来了解到,明尼苏达州和北达科他州的公共健康官员之间存在着激烈的争论。明尼苏达州的公共健康官员所持的观点是,河水自身并没有毒性或“被污染”,并且接触过河水的人也不需要注射破伤风疫苗。北达科他州的官员则更小心谨慎些。与此同时,当地的广播电台播出了受害的访问者与FEMA的代言人之间关于炉子替换问题的持续争论。FEMA的立场是,一般而言,炉子能够以少量的花费进行清洗和补救,修复成有用的服务设施——并乐意为此支付费用。但是,市民和当地的电学家坚持认为在水中浸泡一个星期或更久的炉子是不能被安全地修理好的。他们在广播媒介内外举行了激烈的谈判,FEMA最后同意将设备替换变得更容易些,以使房主们能更迅速地返回家园。

作为一名本地的决策者,我依靠专家们提供的信息来做出正确的公共政策决议。我不知道如果炉子被仔细地清洗和修理后,能否从现在起工作六个月;我也不知道是否仅仅接触了河水,就会使房主感染上有生命危险的疾病,但是,当面对来自不同专家的不同见解时,我会对我正在得到的建议失去信心。这些不同的意见也会浪费金钱:过度的或不必要的小心会花费每个大福克斯市民数千美元,并且花费联邦政府数百万美元。

不久之后,该市部分地区的水源供给设施被修复,商人们重返并且开始商讨大福克斯市的未来。最强烈的观点是,这种规模的洪水永远不应该再发生在大福克斯市。除非我们能够向商人和房主们保证,我们有能力阻止未来灾害的发生,否则的话我们的社区将只能得到极少量的再投资。因此,美国军事工程署和本市的工程师们迅速制定了一项建造一个更高大堤坝系统的计划。但是,当人们被告知需要购买和拆迁1000多户住房和商家,以将堤坝向内陆推移,并且开通河流河道的时候,这些曾要求迅速给予答复的人中有一部分反过来请求进行进一步的研究。

在这场意外的灾难中,人们渴望简单、确定的答案可以给予他们希望并且激励他们从损失中重新站立起来。我们的选民想知道他们该站在何处,而且他们希望由可靠的来源告知,情况会再次好起来。作为为公众服务的官员和对社区民众的关心,大福克斯市市议会的成员希望能够用肯定、明晰而且精确的口吻讲述问题。我们不想撒谎或者给予错误的希望,我们只想用一种积极的方式讲话,以免我们的态度会打消人们的积极性或者让他们确信应该离开本市。

在克林顿总统保证给予百分之百的灾害援助(我们后来发现仅仅给予了一小部分的灾害援助),以及FEMA的承诺——帮助我们“走好沿途的每一步”——所带来的一阵陶醉过后,我开始渴望一种有关如何兑现承诺的简单办法。很快,我意识到这一点——甚至即使人们的家园被摧毁了,人们仍宁愿选择令人不快的现实,而不是选择不确定或者过于复杂的答复。

然而,随着灾难恢复过程的进行,我逐渐意识到,给出简单、直接的答复是一件多么困难的事情,特别是当遇到市民提出的诸如此类的问题时:我现在能够重建我的房子吗?我能够永久地重建我的房子或者你们(市政府)将会购买它的产权吗?如果基础破坏太严重而不能修补,我应该将其清除吗?如果是在百年一遇的洪水区域之内会怎样?当所有这些问题被决定的时候我该怎么办?为了理清自己的思路,并且给大福克斯的市民最有用的答复,我制定出了上面的表格,希望能为其他人提供一个可以参照的起点。为了将来能有所用,他们可以对表格进行进一步的修改。与我们相比,他们可以运用此表做出更为迅速的处理。

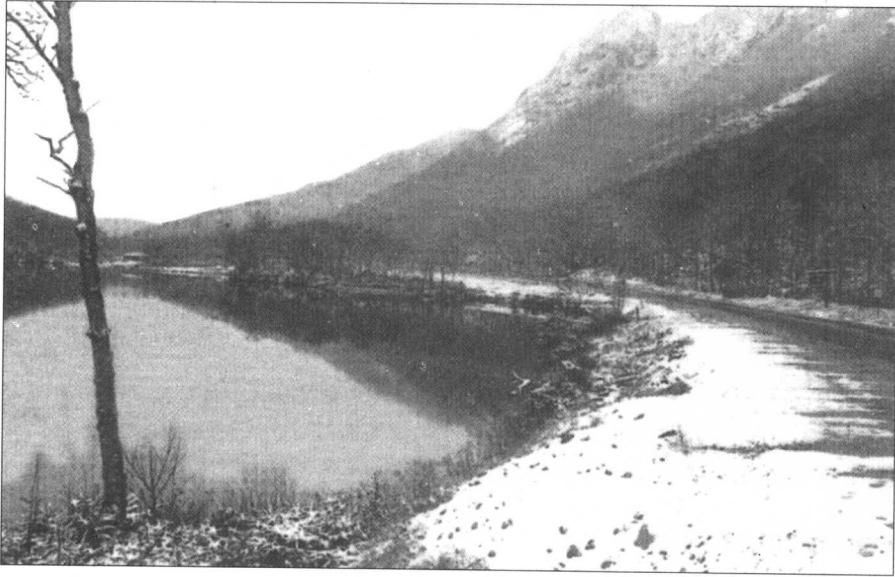
作者简介:艾略特·格拉塞姆(Eliot Glassheim),北达科他州大福克斯市议会的一名成员。

排水区域和高速公路撒盐对水质的影响

罗伯特·L·梅尔文 (Robert L. Melvin)

11.8 案例研究

为了减少路面上的冰雪积聚,在高速公路上撒盐的现象在美国和加拿大十分普遍。盐的使用数量会随地理区位的不同而不同,这主要取决于地方的降雪量、冬季温度、交通量,以及州和当地高速公路的维护法规。如美国的中西部和东北部地区,每年盐(氯化钠)的施用量通常能够达到每英里单行道10吨的数量;也就是说,每英里高速公路双行道需要施用20吨盐。而盐在



图中所示为某一靠近湖水的高速公路,路面产生的径流将直接流入湖中

潮湿的环境中极易溶解,因此这一剂量会对地表水和地下水的水质造成巨大的威胁,同时也会对环境其他组成成分如植被、土壤和动物栖息地造成威胁。在这个世纪,大湖中盐浓度的上升已超过了原有值的3倍,而增长中的30%-60%都应归咎于道路中盐的施用。

在此,我们可以根据排水区面积、高速路密度以及盐的施用量对高速公路上盐的影响作一个初步的估算。假定多年来,雨和雪是均匀地分配到小型排水区域,那么每年河流平均水流量的多少应与排水区面积的大小存在某种相关。排水区域越大,高速公路上盐的稀释程度越大。因此,我们可以将高速路上盐的施用量与排水区面积的比值作为衡量盐对水质影响的一个指标:该比值越高,说明相应的稀释程度越低。为评定出除流域面积之外的其他因素对河流年平均水流量大小变化的影响,这一比值指标也可以进行必要的加权处理。下面就以康涅狄格州两个小型排水流域为例,说明盐的施用量与排水区面积的比值在实际案例中的应用。我们选取了同样位于康涅狄格州内的两个小型排水流域,其中高速公路中平均每年每英里单行道盐的施用量大约为8.8吨。

如蒂河 (Rutty Creek) 排水盆地

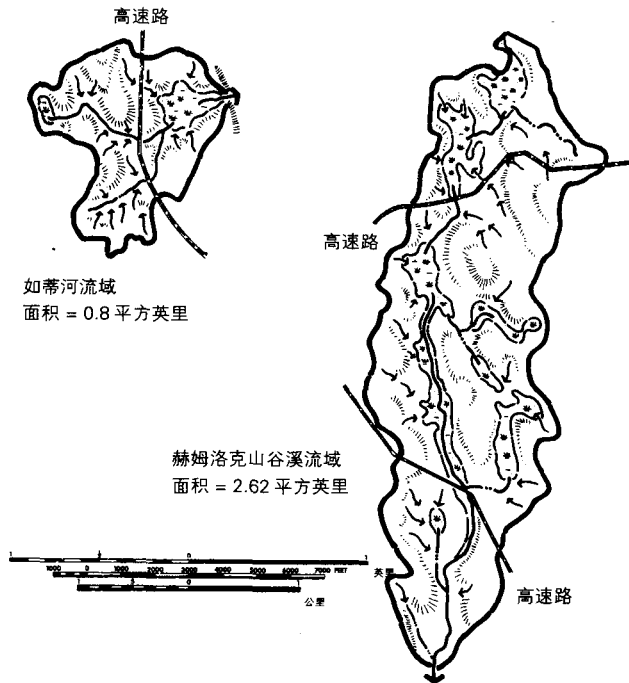
面积 = 0.80 平方英里

高速公路单行道英里数 = 1.66 英里

盐施用量与排水区域的比值

$$= \frac{8.8 \text{ 吨} \times 1.66 \text{ 英里单行道}}{0.8 \text{ 平方英里}}$$

$$= 18.3 \text{ 吨} / \text{平方英里}$$



赫姆洛克山谷溪流 (Hemlock Valley Brook) 排水流域

面积 = 2.62 平方英里

高速公路单行道英里数 = 3.5 英里

盐施用量与排水区域的比值

$$= \frac{8.8 \text{ 吨} \times 3.5 \text{ 英里单行道}}{2.62 \text{ 平方英里}}$$

$$= 11.8 \text{ 吨} / \text{平方英里}$$

这一估算表明,相比之下,在如蒂河流域,高速公路上盐的稀释程度较低,会造成更多的环境影响。在这种情况下,我们应利用每一场暴雨雪事件中场地和盐施用量差异的信息进一步做出更为精确的评估。以上描述的是相对较简单的估算类型,它能够辨别出具有潜在问题的区域,从而带来详尽的实地研究和改进方案,如除冰模式、除冰剂类型或是总施用量等方面的改善。

作者简介: 罗伯特·L·梅尔文(Robert L.Melvin), 美国地质勘探局的水文学家。

使用航片判别海岸变化

罗伊·克洛帕科 (Roy Klopac)

15.8 案例研究

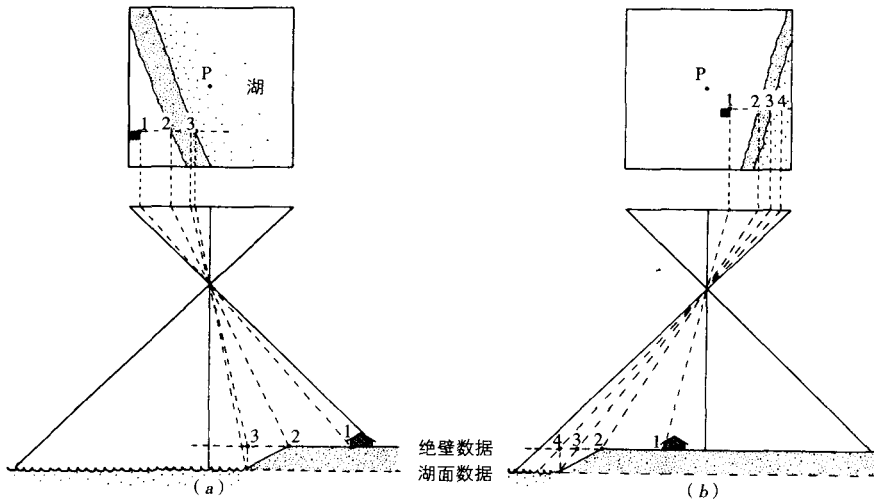
在过去的50年间,垂直航空影像的使用和发展使得人们能够更加方便有效地记录海岸地区的变化过程。在很多情况下,我们可以通过比较同一地区不同时期的航空图片来计算海岸侵蚀、沙丘生长以及暴雨危害的变化程度和速率。要得到这些结果,我们必需每隔一段时间就测量一次某一固定点(如房屋)与海岸之间的相对距离。

尽管目前我们使用航片作为海岸环境数据的一个重要来源,但当进行较为精确的测量计算时,航片仍然具有一定的局限性。由于是从天空中某一单独的点进行拍摄(一种中心投影影像),因此所形成的航片必然具有固有的几何畸变。此外,由于其他的一些原因,航片还会有比例上的变化。如果我们在进行计算时没有意识到或是没有很好地处理这些误差,很有可能会导致错误的结果。

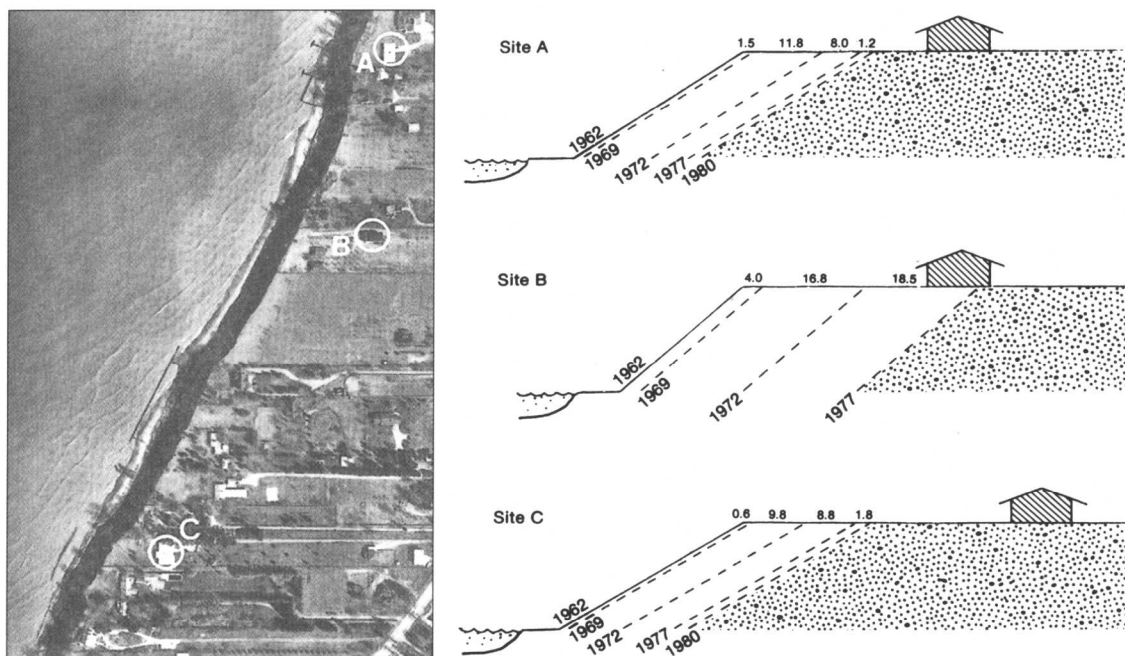
由于地形的起伏而引起影像比例上的变化是航片中的常见问题。靠近相机的物体会显示较大比例(显得比实际物体大),而远离相机的物体则显示较小比例。

下面用一个例证来说明这种测量技术。我们选择了密歇根湖(Lake Michigan)湖岸一处侵蚀十分严重的地区,此处的侵蚀已经威胁到附近居民的生命财产安全。在实际的测量中,我们使用了四张不同时期拍摄的航片,分别是:1962年4月、1969年4月、1972年11月和1977年3月。然后,我们利用航片中特定的三个位点对岸线的侵蚀进行计算。值得注意的是,这一地区的湖岸在地形上有很大的起伏,有两种明显差异的高程:一是湖水平面和侵蚀活跃区岸线所代表的高程,另一是比湖平面高出约40-60英尺的梯田状堤岸。两者之间由一道陡峭的绝壁相隔,由于水体侵蚀的影响,该绝壁正在不断地后退。

由于所有的土地利用被限制在绝壁的上方,我们可以测出航片中建筑物和绝壁边缘之间的距离。然后,构建一个具有一定角度的绝壁模型(剖面),沿模



以 (a) 湖面数据, 或 (b) 绝壁数据为高程基准的岸线和绝壁的位置差异



基于航片判读得出的悬崖后退示意图 (B 点, 1962-1977 年; A 点、C 点, 1962-1980 年)(右图)。左图为 1969 年的航片, 显示出 A、B、C 三处的具体位置

型水平轴方向测量出岸线与绝壁边缘的距离, 从而推导出岸线的实际位置。

对于一些如美国地质测量局 (United States Geological Survey) 或私有的航空制图公司所承担的与实际规划相关的大型制图项目, 通常需要使用一些专门的仪器来消除误差, 以提高准确率。其中, 立体绘图仪和转移观测仪是最为常用的两种仪器, 它们不仅可以用来校对几何畸变, 而且可以将图像与原有的精确底图 (如地形图) 进行配准。可以说, 重建整个岸线环境以及根据不同时期的遥感图像对地物的变化进行测量已经算是一项相当平常的工作了。当然, 如果想要得到准确的结果, 我们仍是需要投入昂贵的仪器设备和经过培训的专业人士的参与。

最后值得注意的是, 当我们使用航片或其他一些图片资料对环境变化过程进行测量时必须十分清醒地意识到, 环境的变化并不一定是渐变的过程, 其中有许多变化都是随机的, 因此很有可能不会在测量结果中体现出来 (例如发生在两次数据记录之间的变化)。这种现象在河流溪谷和岸线区最为常见, 在两次记录间发生不同于前者的反向过程——例如, 侵蚀、沉积、侵蚀。在这样的情况下, 净变化可能很小甚至不被察觉, 然而事实上, 过程中实际发生的变化却是很大的。如果我们的航片 (资料) 是来自第一事件和第三事件后, 那么事情的结果便是: 我们察觉不到什么变化, 因此忽略了景观变化中一些关键的事件甚至是一些关键的过程。

作者简介: 罗伊·克洛帕科 (Roy Klopac), 遥感与自然资源专家, 中密歇根大学 (Central Michigan University) 地理系主席。

城市中心区的人类热综合症

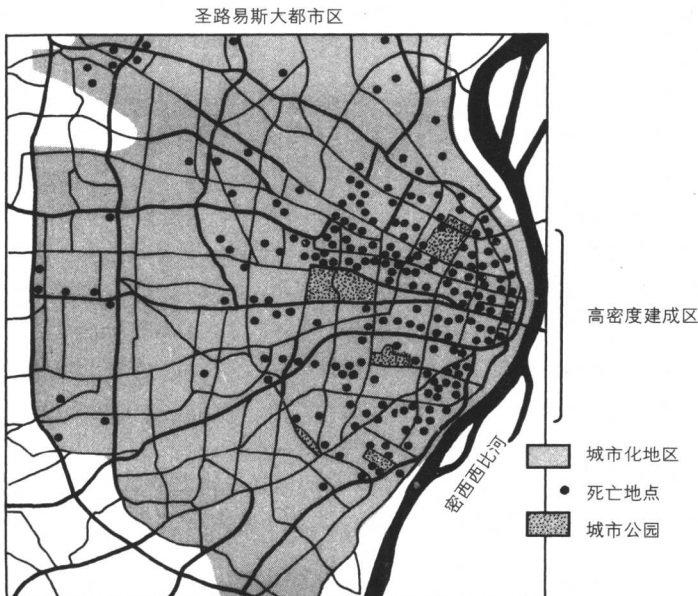
NOAA

1950年至1967年间,美国共有8000多人由于气温过高和太阳辐射的原因死亡。发生在1995年的热浪就夺去数千人的生命,其中仅芝加哥市就有700人死于这次自然灾害。这些死亡数据已得到医学界的证实,热浪是造成死亡的最直接原因。那些由于热浪引起的高龄及体弱人群的死亡并未统计在以上的数据内,因为医学界通常认为气候的变化并不是导致死亡的直接原因。

热综合症是指一种临床上可见的热调节系统失调的症状。这种症状通常表现为机体散热能力的降低甚至丧失,或是由于流汗过度造成体内的盐离子平衡的失调。轻则表现为身体无力、不适;重则导致死亡。热综合症患者有一个共同的特点,那就是他们曾经在过热的环境中暴露或运动过久。

两种气候条件与热综合症的产生有关:地区性的热浪以及过热的小气候环境。热浪的到来往往与较高的死亡率联系在一起,特别是那些年纪较大的人,并且这种联系与其他气候因子(如大气湿度的高低或空气污染的强度等等)是没有关联的。研究表明,热综合症可以影响任何年龄的人群,不过在其他条件同等的情况下,年龄越大影响就越明显。例如17岁的小男孩可能只是表现为中暑性痉挛,而40岁则是中暑性虚脱、60岁以上的就很可能发生中暑性中风了。

有资料显示,建筑物密集的城市中心区的热浪效应要比具有较多开放空间且植被覆盖的市郊严重得多。1966年7月发生在圣路易斯的热浪现象就是一个典型的例证,建筑物密集的城市中心区共有236人由于天气过热而死亡。



记录显示,当气温高于100°F时死亡率会急剧上升,并且死亡率的最高值出现在气温最高日的后一天。

炎热的天气状况对心脏病患者的影响要比其他人严重。在炎热、潮湿的环境中,机体的热量调节系统受到一定程度的伤害,体力的消耗以及心脏的衰竭使得机体反而产生更多的热量,如此循环会对人体造成极大的危害。

健康人可以通过调节排汗从而达到控制体内盐浓度的目的。那些地处中纬度大陆性气候区的人们,其体内的盐浓度在冬季和夏季是有所不同的,就像人们从波士顿到巴拿马一样,体内的盐浓度是会发生变化的。机体可以通过调节体内水分控制身体的温度,保持化学的(盐)平衡。女性在这一方面是要强于男性的,因为一般女性的排汗较男性要少,体内盐分损失少,因此热综合症的发病率男性是高于女性的。

作者简介: NOAA(The National Oceanic and Atmospheric Administration), 国家海洋及大气管理局——美国联邦机构,负责对天气及气候的监控和预报。

在一个医疗园区中重新建立栖息地间的联系

W·M·马什和尼娜·L·马什 (W.M. Marsh and Nina L. Marsh)

在过去几十年里,城市边缘区的开发已经经历了各种不同的变化,而导致这些变化最基本的动力仍然是诸如市场、可达性和地价等传统因素。但是,在某些地区新开发的项目中,人们已开始融入新的考虑。比如在居住区的开发已越来越重视“环境”因素的市场作用。有时,大多数在环境敏感区所进行的开发项目即便符合政府的相关规定并能明显改善场地的景观,可能也并不理想。但是,的确也存在一些合理的开发项目能在开发过程当中真正地引入对环境的考虑。

有关健康护理的研究表明,与环境的良好接触能促进健康的恢复。如果能增加病人比如医院的老人与外界生命现象(无论是宠物、花园、自然地或者是公园都可以)接触的机会,就可以降低他们对医疗设施的需求程度。受这个现象的启发,以及重新配置和加强医疗设施建设的需要,一个主要的城市医疗机构决定在美国郊区边缘的一块乡村用地内建设一个新的医疗设施。所选择的建设场地面积为500英亩,由典型的中西部地区破碎化的郊野景观构成,其中包括85英亩的湿地、50英亩的林地、75英亩的农田,剩下的为废弃地及与其相关的不同类型和分布的边缘地。

一块退化了的农田用地被选中作为医院和其附属设施的建设用地。医院处在一片树林的边缘,其病房正好朝向树冠。三条主要的入口道路中,一条位于一块老的空地中,另有一条沿一条林地边缘(但是后来是在林缘内),第三条也是其中最大的一条道路从场地中一块主要的森林斑块中穿过。此外,项目中还包括一处运动医疗设施,尽管当时规划师提议尽量减少规划对树林的进一步破坏,可是开发商极力反对,最后这块用地只好从场地中一片主要的小树林中穿过。

规划时我们面临的基本问题是如何提出一个景观规划方案,使其能改善整个栖息地破碎化的现状,从而提高生物多样性建立良好的基础。我们首先要做的就是建立一套水处理系统来促进场地中湿地和林地斑块之间的联结。多年的农业活动和道路建设已经破坏了原有排水系统的连续性和许多细节的地方。选择出来的湿地已被排干,河流已被改向,排污道也已被埋在了地下。此外,必须采取措施处理从新的设施(包括超过20英亩的停车场铺装地)排出的大量雨水,以减少对现有河道和湿地的影响。建立一系列收集雨水的池塘,并调节其对湿地的排水量。这些池塘能与现存的湿地和树林斑块结合,促进形成一个在此医疗公园的两个主要设施周围的开放空间/栖息地廊道环线。

第二步就是要处理廊道系统中由入口道路和运动医疗设施造成的裂缝。与交通规划师不同的是,我们通过保留入口道路两边6英尺范围内的树木来减小其所穿过的主要树林的影响。由体育医疗设施导致的树林裂缝可以通过在裂缝周围移植树木形成保护带来部分地得到补偿。而且在廊道中一条入口道路横穿一块小湿地的地方,我们设计了一个大型的地下管道来促进动物的迁移。

第三步包括一系列措施如:将数千种林地野生花卉从待建设用地移植到规划中的保护用地中;在收集雨水的池塘中移栽湿地野生花卉并放养当地的

鱼类；通过标志标识出道路中供动物穿越的位置；建设几英亩的人工湿地以作为对建设中受破坏的小面积湿地的补偿。最后，在场地中设计了一条步行通道和一座教育设施，从而形成了一条很长的步行道系统并制订了对自然进行解说的项目（参见图 20.9）。

作者简介：尼娜·L·马什(Nina L.Marsh)，恢复生态学家，擅长于乡土植物生境的研究。

英汉词汇对照

A

Acid rain 酸雨
Accidental hypothermia 偶发低温症
Active layer 活动层
Adirondack Mountains 阿第伦达克山脉
Aerial photographs 航片
Aggradation 沉积
Agricultural fertilizers and pesticides 农用肥料及杀虫剂
Agricultural operations 农业操作
Air pollution 空气污染
Air quality regulation 空气质量调节
Air quality standards 空气质量标准
Airflow around buildings 建筑物周围气流
Alaska Peninsula 阿拉斯加半岛
Alaska Pipeline 阿拉斯加输油管道
Alaska Range 阿拉斯加山脉
Albedo 反射率
Aleutian Island 阿留申群岛
Alfisols 【地】淋溶土
Algae bloom 藻类繁殖
Algonquin Uplands 阿尔冈琴高地
Allegheny Front 阿莱干尼前沿
Allegheny Plateau 阿莱干尼高地
Alluvial aquifers 冲积含水层
Alluvial fan 冲积扇
Alluvium 冲积层
Alpine meadow 高山牧场
Alpine site 高山场地
American Rockies 美国落基山脉
Analysis 分析
Anastomosing (河流的) 汇合
Angle of repose 休止角
Appalachian Mountains 阿巴拉契亚山脉 [北美洲]
Appalachian Plateaus 阿巴拉契亚高原
Appalachian Region 阿巴拉契亚地域
Applied professions and sciences 应用性职业与科学
Aquatic bed 水生植物种植区
Aquatic plants 水生植物
Aquifer 蓄水层
Architecture 建筑学
Arctic Coastal Plain 极地滨海平原
Arctic/alpine site 北极/高山场地
Arid land cycle 干旱土地周期
Arid site 干旱场地
Aridisols 旱成土
Arkansas River 阿肯色河
Arroyo 干旱地区河谷
Artificial nourishment 人造营养物质
Atlantic and Gulf Coastal Plain 大西洋与海湾沿岸平原
Atmospheric boundary layer 大气边界层
Audubon 奥特朋
Automobile 汽车

B

Backshore zone 漫滩区
Backswamp 漫滩沼泽
Balance 平衡
Balanced BMP plan 各方面效益平衡的BMP规划
Balds 光秃的
Bankfull stage (水面等) 齐岸状态
Barrier beach 海滩栅栏
Barrier dune 沙丘栅栏
Barrier islands 岛屿屏障
Base flow 底流
Base level 基面
Basin and Range 盆地和山脉
Basin drainage area 流域排水区
Basin order 流域次序
Basin-carrying capacity 流域承载力
Beach maintenance 海滩的维持
Beach nourishment 海滩营养化
Beach ridge 滩脊
Bearing capacity 承载力
Bed load 河床承载量
Bed shear stress 河床剪切应力
Bed-load transport 河床承载转运
Bedrock 基岩
Bedrock aquifers 基岩含水层
Bench marks 水准点
Best management practices (BMPs) 最佳管理措施
balanced BMP plan 各方面效益平衡的BMP规划
BMP planning (steps in process) BMP规划(按步骤进行的)
delivery BMPs 排放段的BMP
developed vs. Underdeveloped sites 发展场地与未发展场地的比较
offsite BMPs 远离场地的BMP
production BMPs 产生段的BMP
site removal (release) BMPs 从场地内移走(释放)的BMP
site stormwater system 场地内的暴雨雨水系统
summary/recommendations 总结、建议
watershed runoff system 流域径流系统
Best management practices 最佳管理措施
Bifurcation ratio 分支比
Bioclimate conditions 生物气候条件
Biodiversity, see also landscape ecology 生物多样性, 又见“景观生态系统”
Biogeography 生物地理学
Biological oxygen demand 生物耗氧量
Biomass 生物量
Biosimplification 生物简化过程
Bird habitat - marsh restoration 鸟类栖息地——沼泽恢复

Black Belt of Alabama 亚拉巴马州黑带
Black Canyon Lake reservoir 黑峡谷湖水库
Blue Ridge 蓝山
Bluffs 断崖
BOD 生物耗氧量
Bog 沼泽
Boreal forest 北方针叶林
Boundary sublayer 亚表层边界
Bowen ratio 鲍文比值
Braided channel 相互交错的河道
Branching ratio 分叉率
Breaching 突破
Breakwaters 防浪堤
Broad, flat floodplains 宽阔平坦的河漫滩
Brownfields 棕地(废弃工业地)
Brunisolic soils 湿草原土壤
Brunisols 湿草原土
Brush 刷子
Built environments 人造环境
Bulkheads (坑内的) 堵壁

C

C values C值
CAFE standards CAFE标准
Canadian Rockies 加拿大落基山脉
Canadian Shield 加拿大地盾
Canadian soil classification system 加拿大土壤分类系统
Capability studies 容量研究
Cape-island section 海角, 岛屿区
Capillary rise 毛细管上升
Capillary water 毛细管水
Carbon dioxide 二氧化碳
Carbon monoxide 一氧化碳
Carrying capacity 承载力
Carrying capacity 载流容量
Cascades 叠层下降
Case studies 案例
bird habitat - marsh restoration 鸟类栖息地——沼泽恢复
constructed wetland - sediment/nutrient trapping 构筑湿地——沉积物/营养物质捕捉系统
energy reduction 能源节省
erosion/sediment control (creek restoration project) 侵蚀、沉积控制(溪流恢复项目)
flood risk-fire-small forested watershed 洪水风险和火灾影响被森林覆盖的小流域
industrial site management - watershed concepts 工业场地管理——基于流域概念
mapping soil 土壤地图
modifying urban climate 改变城市

- 气候
 planning for sustainable landscape 可
 持续景观规划
 shoreline protection (rootwall) 堤岸保
 护 (利用植物的根等降低水浪等
 对堤岸侵蚀的方法)
 slope and growth control 坡地与增长
 管理
 solar considerations (residential planning)
 关于阳光的考虑 (住宅规划)
 stormwater management - green infra-
 structure 暴雨雨水管理——绿色
 基础设施
 stormwater management/channel resto-
 ration 暴雨雨水管理以及渠道恢复
 Trans-Alaska Pipeline 横跨阿拉斯加
 的输油管道
 wastewater disposal - soil maps 废水
 处理——土壤地图法
 wetland regulation 湿地条令
 wildlife habit considerations
 (residential planning) 关于野生生物
 栖息地的考虑 (住宅规划)
- Cast 铸状
 Cavern systems 洞穴系统
 Cavernous limestone 石灰石岩洞
 Central California coast 加利福尼亚中
 部海岸
 Central conveyance zone 中部运输区
 Central Lowlands 中央低地
 Central Valley of California 加利福尼亚
 中部山谷
 Channel capacity 河道承载力
 Channel erosion 河道侵蚀
 Channel flow velocity 河道水流速度
 Channel forms, see also Streams, channels,
 riparian landscape 河道形状, 又见
 “河流、渠道、滨水景观”
 Channel gutting 河道沉积物堵塞
 Channel networks, see Drainage networks
 河道网络, 又见“排水网络”
 Channel precipitation 河道降雨
 Channel restoration/stormwater manage-
 ment (case study) 河流恢复、暴雨雨水
 管理 (案例)
 Channel scouring 河道冲刷
 Chaos theory 混乱理论
 Chaparral 丛林
 Chernozemic soils 黑钙土
 Chernozems 黑钙土
 Chicago 芝加哥
 Churchill drainage basin 丘吉尔排水盆地
 Cities, see Urban areas 城市, 又见“城
 市地区”
 Civil engineering 土木工程学
 Clay 黏土
 Clay sediments 黏土沉积物
 Clayey soil 黏土
 Clean Air Act 清洁空气法案
 Clean Water Act 清洁水体法案
 Climate, see urban climate 气候, 见“城
 市气候”
 Climax community 顶级群落
 Closed drainage 关闭排水区
 Clustering 集聚
- Coal mining 煤矿业
 Coarse-textured soils 粗质土壤
 Coast Mountains 海岸山脉
 Coast Ranges 海岸山脉
 Coast salt marsh 滨海盐沼泽
 Coastal aerodynamics 沿海空气动力
 Coastal arctic region 北极滨海区域
 Coastal change 海岸变化
 Coastal dunes 海岸沙丘
 Coastal inventory 海岸调查
 Coastal Plain 海岸平原
 Coastal sand dunes 海岸沙丘
 Coastal slope failure 海岸坡地坍塌
 Coastal vistas 滨海景色
 Coastal zone management 海岸带管理
 Coastal zone, see Shoreline processes,
 coastal zone 海岸带, 又见“海岸线过
 程, 滨海带”
 Coefficient of runoff 径流系数
 Coggins Park 寇金公园
 Coliforms (MPN) 大肠杆菌 (MPN)
 Collection zone 聚集区
 Colluvial deposits 坍塌碎屑
 Colorado Plateau 科罗拉多州高原
 Colorado River 科罗拉多州河流
 Colorado watershed and stream system 科
 罗拉多州流域与河流系统
 Columbia plateau 哥伦比亚高原
 Community wellhead protection 群落水
 源保护
 Community wetland system 群落湿地系统
 Community-succession concept 群落演
 替概念
 Complex landscape 复杂景观
 Composite wetland sites 综合湿地场地
 Composition 组成成分
 Comprehensive water management plan-
 ning 综合水管理规划
 Concave edge 凹陷边缘
 Concave slope 凹坡
 Concavities 凹度
 Concentration time 集中时间
 Conditional stability 有条件的稳定性
 Cone of depression 下降锥体
 Conifer swamp 松树沼泽
 Connectivity 连通性
 Conservation movement 自然保护运动
 Consolidated aquifer 牢固的蓄水层
 Constructed wetland - sediment/nutrient
 trapping 构筑湿地——沉积物/营养
 物捕捉系统
 Continental divide 大陆分隔
 Continental subarctic climate zone 亚北
 极大陆气候区
 Continuous permafrost 连续的永久冻土带
 Contour interval 等高线间隔
 Contour maps 等高线地图
 Contours 等高线
 Contributing zone 贡献区
 Convex edge 凸起边缘
 Convex slope 凸坡
 Conveyance zone 运输区域
 Corrective approach (water quality) 矫正
 方法 (水质)
 Corridor loops 廊道环
- Corridor systems 廊道系统
 County soil reports 郡县土壤报告
 Cover density 覆盖密度
 Creek restoration projects 溪流恢复项目
 Critical balance 关键的平衡
 Cropland 农田
 Cropping management (P) factor 耕作管
 理 (P) 因子
 Cryosolic soil 冻土
 Cryosols 冻土类
 Cubic feet per second (cfs) 立方英尺每
 秒 (cfs)
 Cubic meters 立方米
 Cuesta 单面山 (一边是缓坡而另一边
 是悬崖的山脊)
 Cultural eutrophication 富营养化
 Cumberland Plateau 坎伯兰郡高地
 Cusp/cuspate foreland 尖陆岬
- ## D
- Dallas-Fort Worth urban region 达拉斯—
 福特沃斯城市区
 Dam 大坝
 Damping depth 阻尼深度
 Darcy's Law 达西定律
 Decibel modification 分贝修正
 Deciduous swamp 落叶树沼泽
 Decision-making planning 决定性规划
 Declination of the sun 太阳方位角
 Decomposition 分解
 Deepening 加深
 Deep-water habitats 深水栖息地
 Deforestation 森林砍伐
 Degradation, channel 水道退化
 Degree equivalence of percent slope 坡
 体坡度与角度的换算
 Delavan Lake 迪纳文湖
 Delivery BMPs 排放段的BMP
 Delta 三角洲
 Dendritic network 树枝状网络
 Density, land use 土地使用密度
 Depression storage 洼地蓄水
 Depth of bedrock (USGS map) 基岩深度
 (USGS图)
 Deranged drainage 错乱的排水
 Design storm 设计暴雨
 Detention basin 滞洪区
 Detention ponds 滞留池
 Differentiation of terrain 地形区别
 Discharge zones 排放区
 Discharge 流量
 Discontinuous permafrost 不连续的永久
 冻土带
 Disease-causing organisms 致病有机体
 Disjointed corridor systems 非连续的廊
 道系统
 Displaying results 显示结果
 Dissolved load 可溶解的承载物
 Disturbance of slope environments 坡体
 环境扰动
 Disturbance theory 干扰理论
 Douglas fir 花旗松
 Downcutting 下切侵蚀
 Drag 拖
 Drain tiles 排水瓦

Drainage 排水作用
 slope stability 坡体稳定性
 soil moisture 土壤湿润度
 Drainage alteration 排水变化
 Drainage basin order 排水本地次序
 Drainage basin, see watershed 流域盆地, 见“流域”
 Drainage density 河网密度
 Drainage divide 排水的分隔
 Drainage networks 排水网络
 basin order 盆地次序
 bifurcation ratio 分叉率
 carrying capacity 承载力
 case study (industrial site management) 案例(工业场地的管理)
 drainage density 排水密度
 drainage divide 排水分隔
 edge forms 边缘形态
 factors to consider 考虑因素
 hydrologic zones 水文区
 lakes/reservoirs 湖/水库
 land use planning 土地利用规划
 mapping drainage basin 绘制排水盆地
 地图
 nonbasin area 非排水流域区
 physiography 地文学
 planning/management considerations 规划/管理考虑
 principle of stream orders 河流等级
 原则
 runoff patterns 径流模式
 site selection/site planning 场地选择/
 场地规划
 small drainage basins 小型排水盆地
 stormsewers 暴雨雨水排泄道
 urbanization 城市化
 Drainfield size 排水区规模
 Drainfield 排水区域
 Draining of wetlands 湿地排水
 Drawdown of groundwater 地下水位下降
 Drumlin 冰碛丘
 Dry wells 干井
 Dune management 沙丘管理
 Dust Bowl 风沙侵蚀区
 Dust dome 尘埃顶
 Dynamic equilibrium concept 动态平衡
 概念

E

Earth mound system 冻土丘系统
 Earthen dam failures 土坝坍塌
 Earthquakes 地震
 Ecological barriers 生态障碍
 Ecosystem 生态系统
 Eddies 漩涡
 Edge city 边缘城市
 Edge forms 边缘形态
 Edge habitats 边缘栖息地
 Effective impervious cover 高效的不透
 水铺装
 EIS 环境影响评价
 Emergent wetland 自然出现的湿地
 Emission standards 发散标准
 Endangered Species Act 濒危物种法案
 Endangered species, see also Land-scape

ecology 濒危物种, 又见“景观生态系统”
 Endemic species 地方性物种
 Energy reduction (case study) 能源节省
 (案例)
 Engineering bmps 工程 bmps
 English Landscape Gardening School 英
 国景观园林学院
 Entisols 新成土
 Environmental crisis 环境危机
 Environmental impact 环境影响
 Environmental impact assessment 环境
 影响评价
 Environmental impact methodology 环境
 影响方法学
 Environmental impact statement 环境影
 响陈述
 Environmental inventory 环境清单
 Environmental ordinance 环境法令
 Environmental planning 环境规划
 Environmental protest 环境方面的抗议
 Environmentalism 环境论
 Environmentalist 环境主义者
 EPA noise standards EPA 噪声标准
 Equinox 昼夜平分点(春分、秋分)
 Erodibility factor (K) 侵蚀因子(K)
 Erodibility 侵蚀度
 Erosion: 侵蚀
 Erosional processes 侵蚀过程
 Escarpment 断崖
 Esker 蛇(形)丘
 Essential processes of landscape 景观的
 实质过程
 Essential waste treatment 提炼废弃物处理
 Estuaries 江河口
 Estuarine system 河流入海系统
 Eutrophication 富营养化
 Event 事件
 Event magnitude 事件幅度
 Everglades 沼泽地
 Evolution theory 进化理论
 Exchange time 交换时间
 Exponential relationship 指数关系
 Exposed aquifer 暴露的含水层
 Extinction-prone species 濒临灭绝的物种

F

Facility planning 设备规划
 Fall equinox 秋分
 Fall line 下降分界线(海岸平原与山地
 间分界线)
 Farmlands 农田
 Feasibility studies 可行性研究
 Fecal coliforms (MPN) 排泄物中大肠杆
 菌(MPN)
 Fencerows 篱笆地
 Fertilizers 肥料
 Fetch 取来
 Field 现场
 Field hand test 农业工人检测
 Field investigation 现场调查
 Field testing 现场测试
 Field verification 现场确认
 Filter berm 过滤钱堤
 Filter trench 过滤沟
 Filtering ponds 过滤池

Filtration basin 过滤盆地
 Fine-textured soils 细质土
 First-flush flow 第一冲洗水流
 First-order corridors 一级廊道
 First-order drainage basin 一级排水盆地
 First-order streams 一级河流
 Flood backwaters and valley contours 洪
 水停滞区和山谷等高线
 Flood Control Acts 洪水控制法令
 Flood insurance program 洪水保险项目
 Flood/flooding 洪水
 Floodflow projections 洪水径流预测
 Flooding 洪水泛滥
 case study 案例
 flood insurance 洪水保险
 floodplain mapping 绘制河漫滩地图
 forecasting streamflow 水流预测
 management strategies 管理策略
 relating discharge to topography 受地
 形影响的排水过程
 stream valleys/floodplains 河谷/河
 漫滩
 streamflow 河流
 wetlands 湿地
 Floodplain formation 河漫滩形成
 Floodplain forms 河漫滩形式
 Floodplain mapping 绘制河漫滩地图
 Floodplain vegetation 河漫滩植被
 Floodplain 河漫滩
 Floodproofing 洪水防治
 Floodway 洪水水道
 Floodway fringe 分洪道边缘
 Flow velocity 水流速度
 Fog 雾
 Footpaths 人行道
 Forecasting impacts 预测影响
 Forecasting streamflow 预测河水流量
 Forest 森林
 Forest fragmentation 林地破碎化
 Forest use/cover types 林地利用/覆被
 类型
 Forested shorelines 林地海岸
 Forested watershed 林地流域
 Forested wetland 丛林湿地
 Formative processes 形成过程
 Form-function concept 形式——功能的
 概念
 Form-function relations 形式——功能的
 关系
 Fossil dunes 化石沙丘
 Fragmentation, see habitat 破碎作用,
 见“栖息地”
 Franconia Notch 弗兰哥尼阶峡谷
 Frost, see Ground frost 霜冻, 又见“地
 表霜冻”

G

Geographic cycle 地理循环
 Geographic diversity 地理多样性
 Geographic information system (GIS) 地
 理信息系统(GIS)
 Geography 地理
 Geologic core 地质核心
 Geological division. See Physiographic frame-
 work 地质分割, 又见“地文学框架”

Geological stable 地质稳定性
 Geologically complex 地质复杂性
 GIS 地理信息系统
 floodplain mapping 绘制河漫滩地图
 groundwater protection 地下水保护
 raster 栅格数据
 vector 矢量数据
 Glacial drift 冰碛
 Glaciation 冰河作用
 Glaciers 冰河
 Gleysolic soils 潜育土
 Golden Gate Park 金门桥公园
 Good drainage 良好排水
 Gorges with small floodplains 带有小河流漫滩的峡谷
 Grade 等级
 Graded profile 等级轮廓
 Grand Canyon 大峡谷
 Grand Forks Flood 大福克斯洪水
 Grassland 草地
 Gravity model 重力模型
 Gravity water 重力水
 Great basin 大盆地
 Great Plains 大平原
 Great Smokey Mountains 大烟山
 Green infrastructure 绿色基础设施
 Green Mountains 绿山
 Greenbelt 绿色地带
 Greenway systems 绿道系统
 Grid corridor systems 格网廊道系统
 Grinder/pump system 碾磨/泵取系统
 Groins 小型防波堤(堤坝)
 Gross sediment transport 总沉积物运输量
 Ground frost 地表霜冻
 case study (Trans-Alaska Pipeline) 案例(横跨阿拉斯加的输油管道)
 factors to consider 需要考虑的因子
 ground cover 地表覆盖
 land use 土地利用
 mapping frost potential 绘制潜在霜冻地带地图
 permafrost 永久冻土带
 planning applications 应用规划
 slope exposure 坡体暴露面
 snow cover 雪覆盖
 soil heat 土壤热
 thermal parameters 热参量
 Ground heat/frost 地面热量/霜冻
 Ground moraine 地表冰碛
 Ground stability 地表稳定性
 Ground sun angle 地面太阳高度角
 Ground-level climate 地表平面气候
 Groundwater 地下水
 aquifers 蓄水层
 case study (GIS) 案例(GIS)
 contamination sources 污染源
 drawdown (抽水后) 水位下降
 management planning 管理规划
 recharge 补给
 seepage zones 渗漏区
 site selection 场地选择
 sources 源
 wellhead protection 水源地保护
 Groundwater basins 地下水盆地

Groundwater contamination 地下水污染
 Groundwater flow system 地下水流系统
 Groundwater seepage 地下水渗漏
 Groundwater velocity 地下水流速
 Groundwater wetland sites 地下水湿地场所
 Groundwater withdrawal 地下水缩退
 Groundwater zone 地下水区
 Gulch 冲沟
 Gulf Coast section 海湾区
 Gullying 冲沟

H

Habitat conservation planning 栖息地保护规划
 Habitat corridor 栖息地廊道
 Habitat corridor systems 栖息地廊道系统
 Habitat diversity 栖息地多样性
 Habitat fragmentation 栖息地破碎化
 Habitat replacement 栖息地移位
 Habitat: 栖息地
 Hairpin dune 发夹型沙丘
 Harbor facilities 海港设备
 Hard shore protection 硬质海岸保护
 Hardware model (Mississippi River) 硬件模型(密西西比河)
 Hazard assessment 危害评估
 Hazardous waste 有害废弃物
 Hazardous waste disposal 有害废弃物处理
 Hazardous waste regulation and disposal 有害废弃物的管理及处置
 Hazardous waste treatment 有害废弃物的处理
 Heat island border 热岛边界
 Heat island 热岛
 Heat stress/syndrome 热威胁/综合征
 Henry Mountains 韩利山
 Herbicides 除草剂
 Highly permeable surface material 高渗透性表面材料
 Histosols 有机土
 Holding basin 持水盆地
 Hudson Bay 哈得孙湾
 Human disturbance 人为干扰
 Humboldt River 洪保德河
 Humid and arid lands 湿润/干燥地带
 Humid site 湿润处
 Humid subtropical climate 亚热带湿润气候
 Humid subtropical climate zone 亚热带湿润气候区
 Hurricane 飓风
 Hurricane Fran 弗兰飓风
 Hydraulic gradient 水力梯度
 Hydrocarbons 碳氢化合物
 Hydrologic habitat 水生栖息地
 Hydrologic versatility 水文学多样性
 Hydrologic zones 水文区
 Hypothermia 低温症

I

Ice segregation 冰离析
 Impact methodology 影响方法论
 Impervious cover 不透水铺装

Inceptisols 新开发土
 Incidence 入射
 Incident radiation 入射辐射
 Index of connectivity 连通指数
 Industrial facilities 工业设备
 Industrial site management - watershed concepts 工业场地管理——流域观念
 Industrial solid waste 工业固体废弃物
 Infiltration beds 渗透性河床
 Infiltration capacity 渗透能力
 Infiltration trench 渗透性沟渠
 Infiltration 渗滤
 Inland freshwater marsh 内陆淡水沼泽
 Inner Coastal Plain 内部海岸平原
 Inorganic compounds 无机组分
 Inshore zone 近海岸区域
 Integrated conservation management 综合保护管理
 Integrated conservation-development 综合的保护——发展
 Integrated solutions 综合解决方案
 Integration 综合
 Interception 折射
 Interflow 壤中流
 Interfluvial corridor system 河间地廊道系统
 Interior Highlands 内陆高地
 Interior Plains 内陆平原
 Intermontane Region 山间地域
 Inverted valley/floodplain 倒置的山谷/河漫滩
 Irregular slope 不规则坡
 Island biogeography 岛屿生物地理学
 Island species 岛屿物种

J

Jackson Creek Wetland 杰克逊河湿地
 Jetties 防波堤
 Jonestown, Pennsylvania flood 琼斯镇, 宾夕法尼亚州洪水

K

K factor K 值
 Kame 小沙丘
 Karst 喀斯特地貌
 Kudzu 野葛

L

La Conchita landslide 拉肯奇塔山崩
 Labrador Highlands 拉布拉多高地
 Lacustrine system 湖泊系统
 Lake nutrient loading 湖泊营养物承载量
 Lake plain 湖泊平原
 Lake terrace 湖泊平地
 Land capability 土地容量
 Land capability map 土地容量图
 Land clearing 清理土地
 Land use capability study 土地利用能力研究
 Land use density 土地利用密度
 Land use factor 土地利用因子
 Land use planning 土地利用规划
 Land use/cover types 土地利用/覆被类型
 Landfill 垃圾掩埋法
 groundwater contamination 地下水污染

- sanitary 卫生
secure 安全
solid waste disposal 固体废弃物处理
Landfill 垃圾掩埋法
Landforms 地形
Landsat satellites 地球资源(探测)卫星
Landscape architecture 景观建筑
Landscape change 景观变化
Landscape design 景观设计
Landscape differentiation 景观差别
Landscape disturbance 景观扰动
Landscape diversity 景观多样性
Landscape ecology 景观生态系统
biogeographical foundation 生物地理构成
biosimplification 生物种类简化
case (marsh restoration - bird habitat) 案例(沼泽恢复——鸟类栖息地)
corridor systems 廊道系统
defined 详细说明
ecological barrier 生态障碍
edge habitats 边缘生境
endangered species 濒危物种
greenbelts 绿带
habitat 栖息地
habitat conservation planning 栖息地保护规划
landscape fragmentation 景观破碎化
marginal habitats 边缘生境
networks/nodes 网络/节点
Landscape fragmentation 景观破碎化
Landscape Gardening 风景园林
Landscape mosaics 景观镶嵌体
Landscape planning 景观规划
areas of activity 活性区域
defined 详细说明
methods and techniques 方法与技术
planning professions/participating fields 专业规划/多人参与的领域
planning realms 规划编制领域
problem (change and impact) 问题(变化与影响)
purpose 目的
roots 根源
Landscape planning, see environmental planning 景观规划, 见“环境规划”
Landscape sustainability 景观稳定性
Large woody debris (LWD) 大型树木残骸(LWD)
Latent heat flux 潜在热通量
Leachate control 沥出液控制
Leachate 淋滤液
Leakage 渗漏
Leaking tank sites 有泄漏的储油罐场地
Levee 防洪堤
Lift 提升
Limestone 石灰石
Linear corridors 线形廊道
Linnaean system of vegetation classification 林奈植物分类系统
Loam 沃土
Loess 黄土
Long Range Mountains 长山
Longshore current 沿岸流
Longshore islands 沿岸岛屿
Longshore sediment transport 沿岸沉积物运输
Longshore transport 沿岸转运
Loop system 环状系统
Los Angeles 洛杉矶
Low-elevation dunes 低海拔沙丘
Lower tier 较低等级
Lucisolic soils 淋溶土
- M**
Mackenzie drainage basin 麦肯齐排水盆地
Mackenzie River 麦肯齐河
Mackenzie River Delta 麦肯齐河流三角洲
Magnitude and frequency 幅度和频率
concept 概念
method 方法
Management planning 管理规划
groundwater contamination 地下水污染
sanitary landfills 卫生的垃圾掩埋法
water quality 水质
wetlands 湿地
Manning equation 满宁公式
Map 地图
Canada (rough soil maps) 加拿大(粗略的土壤地图)
contour 等高线
land capability 土地承载力
slope 坡地
topographic contour 地形等高线图
USGS 美国地质调查
Map overlay technique 叠加地图技术
Map synthesis 地图合成
floodplain mapping 绘制河漫滩地图
wastewater disposal 废水处理
Mapping frost potential 绘制潜在霜冻区地图
Marginal habitats 边缘生境
Marine system 海洋系统
Marsh restoration-bird habitat 沼泽恢复——鸟类栖息地
Marsh 沼泽
Marshes 沼泽地
Master planning 总体规划
Maturity 成熟
Meander belt axis 曲折带轴线
Meander breaching 交错曲折河
Meander scars 曲折创伤
Meandering channel 曲折河道
Meanders 曲流
Mechanical cut and fill 机械的切割与填充
Mediterranean lands 地中海陆地
Metastable slope 亚稳定状态坡地
Metastable, see conditional stability 亚稳定, 见“有条件稳定”
Miami Beach 迈阿密海滩
Microclimate 小气候
Middle tier 中层
Milligrams per liter (mg/l) 毫克每升
Mineral particles 矿物颗粒
Mineral soils 矿物土壤
Mining 采矿
Minority environments 少数环境
Misfit streams 不相称河流
Mismatches between land use and environment 土地利用与环境间的不匹配
Mississippi Embayment 密西西比港湾
Mississippi River 密西西比河
Mississippi River Delta 密西西比河三角洲
Mississippi River flood (1993) 密西西比河洪水(1993)
Mississippi River floodplain 密西西比河漫滩
Mitigation banking 缓解银行
Mollisols 软土
Monocultures 单种栽培
Moraine 冰碛
Morphogenetic region concept 地貌成因区原理
Morphogenetic regions 地貌成因区
Mosaics 镶嵌体
Municipal solid waste 市政固体废弃物
Municipal treatment facilities 市政处理设施
- N**
National Aerial Photography Program 国家航空摄影计划
National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) 国家空气质量标准
National Environmental Policy Act 国家环境政策法案[美]
National Flood Insurance Program 国家洪水安全保障计划
National forests 国家森林
National parks 国家公园
National Pollutant Discharge Elimination System 国家污染物排放清理系统
National Wetlands Survey 国家湿地调查
Natural buffers 自然缓冲
Natural eutrophication 自然富营养作用
Nearshore circulation 近岸水循环
Nearshore circulation cells 近岸循环单元
Nelson drainage basin 纳尔逊排水盆地
NEPA 国家环境政策法案[美]
Nested hierarchy 嵌套的等级体系
Net sediment transport analysis 净沉积物转运量分析
Net sediment transport 净沉积物运输
Networks 网络
New environmental fields 新环境领域
Newport West 西纽波特
Newton's model of natural universe 关于自然世界的牛顿模型
Ngos 非政府组织
Niche 小生境
Nitrogen 氮
Nitrogen dioxide 二氧化氮
Nodes 节点
Noise standards 噪声标准
Noise 噪声
Nonbasin drainage area 非盆地排水区
Nongovernmental organizations 非政府组织
Nonphotographic imagery 非照相影像
Nonpoint source pollution 非点源污染
Normal wind velocity profile 标准风速

分布图

North American Dust Bowl 北美烟尘顶
Northern 北方
Northern Appalachians 北阿巴拉契亚
山脉
North-south climatic gradient 南北气候
梯度
Notre Dame Mountains 圣母山
Nutrient budget 营养物预算
Nutrient loading 养分载荷
Nutrients 营养物

O

Offshore zone 离岸带
Offsite BMPs 远离场地的 BMP
Ogallala Aquifer 奥加拉拉含水层
Old age 老年
On-site infiltration 场地内的渗透
Open drainage 开放排水
Open stream 开放河流
Opportunistic species 机会物种
Opportunity and constraint 机会与限制
Orchard 果园
Ordinances 法令
 environmental 环境的
 slope-related 与坡地相关的
Organic mass balance 有机物总量平衡
Organic soils 有机土
Orographic effect 地形效应
OSHA noise exposure limits 职业安全与
卫生条例 (OSHA) 噪声限制
Ouachita Mountains 沃希托山
Outer Coastal Plain 外部海岸平原
Outwash plain 冰水沉积平原
Overland flow velocities 地表径流流速
Overland flow 地表径流
Oxbow 牛轭湖
Oxidants 氧化剂
Oxisols [地]氧化土(热带地区高度风化和淋溶的土壤)
Oxygen-demanding wastes 需氧废弃物
Ozark Plateaus 奥扎克高地
Ozarks 密苏里州的别名
Ozone 臭氧

P

P value P 值
Pacific Coast 太平洋海岸
Pacific Mountain Region 太平洋山脉地区
Pacific Mountain System 太平洋山地系统
Palos Verdes Hills 帕罗斯·佛得山
Palustrine system 沼泽系统
Parallel network 平行网络
Parallel patterns 平行模式
Parent material 母质
Parkland 公园地
Partial area concept 局部区域概念
Particle erodibility 颗粒侵蚀
Particle matter 颗粒物
Particulate sinks 微粒下沉
Particulates 微粒
Parts per million (ppm) 百万分之一
Past floodflows 过去的洪水径流
Patchiness 补缀状态
Peace River 平静河

Pediment 山前侵蚀平原, 山麓
Pediment and valley formation 山麓与山谷的形成
Peneplain 准平原
Per capita loading 每人承载量
Perc test 渗漏率试验
Percent slope 百分比坡度
Percentage impervious surface 不透水表面的百分比
Perched dunes 高位沙丘
Perched groundwater 高位地下水
Percolation rate 过滤率
Percolation 渗滤
Performance 性能
Performance concept 性能概念
Performance controls 性能控制
Performance goals 性能目的
Performance standards 性能标准
Performance-based planning 基于性能的规划
Permafrost 永久冻土
Permeability 渗透性
Pesticides 杀虫剂
Phosphorus 磷
Physiographic framework 地文框架
 Appalachian Mountains 阿巴拉契亚山脉
 Atlantic and Gulf Coastal Plain 大西洋与海湾平原
 Canadian Shield 加拿大地盾
 Interior Highlands 内陆高地
 Interior Plains 内陆平原
 Intermontane Region 山间地区
 overview 总体看法
 Pacific Mountain System 太平洋山地系统
 Rocky Mountain Region 落基山脉区域
 Yukon and Coastal Arctic Region 育空与北极海岸区
Physiographic provinces 地文省
Physiographic regions 地文区
Physiography 地文学
Piedmont Province 山麓地区
Pioneers 先锋
Pipe and pond 管道与池
Pisgah Forest 毗斯迦森林
Planning goals 规划目标
Planning professions/participating fields 专业规划/多人参与的领域
Planning realms 规划领域
Planning regulations 规划准则
Plant cover 植被覆盖
Plant cover factor (c) 植被覆盖因子(c)
Plant nutrients 植物营养
Plantation 种植
Plantation surface formation 种植表面构成
Playas 海滨休养地
Podsoles 灰化土类
Podzolic soils 灰化土
Point bar 尖岬角
Point bar habitat 尖岬角栖息地
Point source pollution 点源污染
Pollutant load 污染物负载
Polluter-pay law 污染者支付法

Pollution 污染
 air 空气
 groundwater contamination 地下水污染
 urban stormwater 城市暴雨雨水
Pollution concentration 污染集中
Pollution loading 污染承载
Pore-water pressure 孔隙水压力
Porosity 孔隙率
Prairies 牧场
Precipitation 降水
Preventive approach (water quality) 预防性的途径(水质)
Primary productivity 初级生产力
Principle drainage divide 排水分隔原理
Principle of limiting factors 限制因子原理
Principle of stream orders 河流等级原则
Probable maximum flood (PMF) 可能最大洪水(PMF)
Probable maximum precipitation (PMP) 可能最大降水量(PMP)
Problem-solving responsibility 问题解决职责
Production BMPs 产生段的 BMP
Professional planners 专业规划师
Progradation 向前推进
Progradational coastlines 向前推进的海岸线
Pronounced valley formation 显著的山谷形成
Pt 铂
Public health movement 公众健康运动
Public water supplies 公众水体供应
Puget Sound - Willamette Valley lowland 普吉特-桑德威拉米特山谷低地

Q

Quadrat 样方
Quadrat sampling 样方取样

R

R values R 值
Radar 雷达
Radioactive wastes 有放射性的废弃物
Rain gardens 雨公园
Rainfall 降雨
Rainfall erosion (R) values 降雨侵蚀(R) 值
Rainfall erosion index 降雨侵蚀指数
Rainfall intensity curves 降雨强度曲线
Rainfall-runoff relationship 降雨——地表径流关系
Rainsplash 雨溅
Rainwash 雨水冲刷
Random transect sampling 随机横断面取样
Raster GIS 栅格 GIS
Rational method 推理方法
Recharge zones 再装填区
Recharge 回灌
Record of instability 不稳定性记录
Rectangular valley 矩形山谷
Recurrence interval 发生间隔
Redwoods 红杉
Reeds Lake watershed 理德湖流域
Refraction patterns 折射模式

- Region 区域
Regional coastal trends 海岸地带趋势
Regional geology 区域地质
Regosolic soils 粗骨土
Regulatory floodway 调节分洪道
Remote sensing 遥感
Removal BMPs 移走段的 BMP
Replacement mitigation 替换缓解
Reservoirs 水库
Residence time 居住时间
Resistance 抵抗
Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) 资源保护与恢复法案(RCRA)
Restoration planning 恢复规划
Retention basin 滞留盆地
Retention ponds 滞留池
Retreat 后退
Retreating shoreline 后退岸线
Retrogradation 浪蚀岸线后退运动
Revetments 堤岸
Ribbon 丝带
Ridge and Valley Province 山脊与山谷地域
Riffle-pool maintenance 湍流——池维持
Riffle-pool sequence 湍流与池的次序规律
Rills 小溪
Rip current 离岸流
Riparian forest 滨水森林
Riparian habitat 滨水栖息地
Riparian landscape 滨水景观
Riparian network 水滨网络
Riparian wetland sites 滨水湿地区
Riparian/channel habitats 滨水/河流栖息地
Risk management 风险管理
 floods 洪灾
 shoreline 海岸线
Risk management planning 风险管理规划
River gradients 河流梯度
River restoration programs 河流恢复计划
River sediments 河流沉积物
River terrace 河流平地
River, see streams 河, 见“河流”
Riverine system 河流系统
Rivers, Trails and Conservation Program 河流, 小径与保护计划
Rivulets 小河
Roads 道路
Rocky Mountain Front 落基山脉前面
Rocky Mountain Region 落基山脉地区
Rocky Mountain Trench 落基山脉深沟
Romantic movement 浪漫主义运动
Roof color 屋顶颜色
Rooftop storage of stormwater 屋顶存贮暴雨雨水
Rootwall 根墙
Rough soil maps 粗略的土壤地图
Rounded landforms 圆滑的地形
Runoff 径流
 coefficient of runoff 径流系数
 drainage network 排水网络
 edge farms 边缘农田
 erosive power 侵蚀力
 nutrient loading 营养物质承载
 roads 道路
 slope 坡地
 topsoil 顶层土
 urban stormwater 城市暴雨雨水
Rural greenbelt opportunities 乡村绿带机会
- ## S
- Sacramento River Valley 萨克拉曼多河谷
Safe aquifer yield 安全含水层产量
Safe well yield 安全水井生产
Salt water intrusion 盐水侵袭
Sampling vegetation 植被抽样
Sand bypassing 沙丘旁路
Sandy loam 沙沃土
Sapping and piping 基蚀和管涌
Sapping 基蚀
SAS failure SAS 失败
SAS, see soil-absorption system SAS, 见“土壤吸收系统”
Satellite imagery 卫星成像
Scale problems 规模问题
Scanner 扫描仪
Scarp 悬崖
Scope of study 研究范围
Scour channels 冲刷河道
Scouring 冲刷
Scree slope 碎石坡体
Scrolls 卷形物
Scrub-scrub wetland 灌木湿地
Sea cliffs 海岸悬崖
Sea coast 海岸
Seasonal damping depth 季节性阻尼深度
Seasonal ground frost 季节性地表霜冻
Seasonal heat flow 季节性热流
Seasonal high watertable (USGS map) 季节性高水位 (USGS 图)
Seawalls 防波堤
Secondary sources of environmental data 二手环境数据
Second-order corridors 二级廊道
Second-order drainage basin 二级排水盆地
Second-order streams 二级河流
Section 404 (Clean Water Act) 404 部分 (清洁水法案)
Secure landfill 安全填埋
Sediment 沉积物
Sediment behavior 沉积物行为
Sediment budget 沉积物预算
Sediment load 沉积物承载
Sediment loading 沉积物承载力
Sediment mass balance 沉积物总量平衡
Sediment sieves 沉积物筛
Sediment sink 沉积物沉降
Sediment transport 沉积物转运
Sediment transport analysis 沉积物转运分析
Sediment transport capacity 沉积物转运能力
Sediment transport measures 沉积物运输的度量
Sedimentary rocks 沉积性岩石
Sedimentation sites 沉降地点
Sedimentation. See Soil erosion/stream sedimentation 沉降, 又见“土壤侵蚀/河流沉积物沉降”
Sediment-glutted stream channel 充满沉积物的河道
Seepage lakes 渗漏湖
Seepage zones 渗漏区
Segmented corridor systems 片断化的廊道系统
Semiarid 半干旱区
Semiarid grasslands 半干旱草地
Semiarid site 半干旱地
Sensible heat flux 敏感热通量
Septic drainfield system 化粪池排水区系统
Septic tank 化粪池
Sewage disposal. See wastewater disposal 污水处理, 又见“废水处理”
Shade 阴暗
Shade efficiency 阴凉效应
Shade tree 树荫
Shadow corridor 阴影廊道
Shadow length 阴影长度
Shaft mining 竖井采矿
Shallow aquifers 较浅潜水层
Shallow-water zone 浅层地下水区
Shield-margin lakes 地盾边缘湖
Shore retreat 海岸后退
Shore zones 海滨区
Shoreland, lake 滨陆, 湖泊
Shoreline armoring 海岸装备
Shoreline change 海岸线变化
Shoreline homesites 海岸线根据地
Shoreline oscillation 海岸线摆动
Shoreline processes, coastal zone 海岸线过程, 海岸区
 case study (rootwall) 案例 (根墙)
 coastal inventory 海岸清单
 elevated sites 高处
 indicators of change 变化指示器
 land use planning 土地利用规划
 longshore transports 沿岸转运
 nearshore circulation 近岸循环
 net sediment transport 沉积物净转运量
 sand dunes 沙丘
 sediment budget 沉积物预算
 sediment mass balance 沉积物总量平衡
 shoreline change 岸线变化
 site management considerations 场地管理考虑
 site planning 场地规划
 wind waves 风浪
Shoreline retreat 岸线后退
Shoreline, see coastal 海岸线, 见“海岸”
Shrub swamp 灌木沼泽
Sierra Nevada 内华达山脉(美国加利福尼亚州东部的花岗岩块状山脉)
Sieving 筛分法
Silt fence 淤泥栅栏
Silty loam 淤泥沃土
Single-thread channel 单一河道型河流
Sinkhole 污水池
Sinks 水池
Sinuosity, channel 弯度, 水道
Site 场地

- defined 详细说明
 environment 环境
 lower tier 下层
 middle tier 中层
 real estate 房地产
 spatial dimensions 空间尺度
 upper tier 上层
- Site adaptive planning 场地适应性规划
 Site analysis 场地分析
 Site assessment 场地评估
 Site election 场地选择
 Site removal (release) 场地移走(释放)
 Site stormwater system 场地暴雨雨水系统
- Slope 坡体
 community planning 社区环境
 disturbances 扰动
 flow velocity 流速
 ground stability 地表稳定性
 growth-control tool 增长控制工具
 land use 土地利用
 misuse 滥用
 percent 百分比
 percolation 过滤
 runoff 地表径流
 solar heating 太阳热量
 vegetation 植被
 watershed management 流域管理
- Slope (USGS map) 坡体(USGS图)
 Slope classification 坡体分类
 Slope composition 坡体构成
 Slope erosion 坡体侵蚀
 Slope factor (S) 坡体因子(S)
 Slope failure 坡体坍塌
 Slope form 坡体形态
 Slope map 坡体图
 Slope processes 坡体过程
 Slope profile 坡体轮廓
 Slope stability 坡体稳定性
 Slope steepness 坡体陡峭度
 Slope-related ordinances 与坡体相关的法令
- Small drainage basins 小型排水盆地
 Small stream abuse 小型河流受损
 Small-flow wetland systems 小流量湿地系统
- Smog 烟雾
- Smooth S-shapes 平滑的S形
- Snow cover 雪覆盖
- Soft-shore protection 软性的海岸保护措施
- Soil 土壤
 classification 分类
 composition 构成
 erodibility 侵蚀度
 erosion. See Soil erosion/stream sedimentation 侵蚀, 又见“土壤侵蚀/河流沉积物”
 landforms 地形
 mineral 矿物
 moisture 湿润
 organic 有机的
 parent material 母质
 permeability 渗透性
 SAS system SAS系统
 solum [地质]风化层
- texture (土壤)质地
 toposequence 地形系列
 wetlands 湿地
- Soil absorption 土壤吸收
 Soil analysis 土壤分析
 Soil borings 钻土
 Soil cast 土壤铸模
 Soil classification systems 土壤分类系统
 Canadian system 加拿大系统
 unified system 统一的系统
 USDA comprehensive system USDA综合系统
- Soil composition 土壤构成
 Soil erodibility factor 土壤侵蚀因子
 Soil erodibility 土壤侵蚀
 Soil erosion computation 土壤侵蚀计算
 Soil erosion/stream sedimentation 土壤侵蚀/河流沉积物
 bioclimate conditions 生物气候条件
 case study (creek restoration projects) 案例(小河流恢复项目)
 channel capacity 河道承载力
 computing soil erosion 计算土壤侵蚀量
 costs of erosion 侵蚀损失
 erosional processes 侵蚀过程
 factors influencing erosion 侵蚀影响因子
 management questions 管理问题
 mitigating measures 减缓措施
 scale and linkage 尺度与连接
 sediment loading 沉积物承载
 sediment storage and export 沉积物存储与输出
 soil erosion-sediment transport system 土壤侵蚀-沉积转运系统
 suspended sediment 悬浮沉积物
 urbanization 城市化
- Soil erosion-sediment transport system 土壤侵蚀-沉积转运系统
- Soil heat 土壤热
 Soil loss 土壤损失
 Soil map 土壤图
 Canada 加拿大
 floodplains 河漫滩
 private development 私人开发
 scale of analysis 尺度分析
 wastewater disposal 废水处理
 wetlands 湿地
- Soil moisture 土壤湿润度
 Soil permeability 土壤渗透性
 Soil ribbon 扁平条状土壤
 Soil saturation 土壤饱和度
 Soil survey map polygons 土壤调查多边形图
 Soil survey 土壤测量
 Soil terraces 土壤阶梯
 Soil textural triangle 土壤质地三角图
 Soil texture 土壤质地
 Soil thread 圆条形土壤
 Soil type 土壤类型
 Soil-absorption system: 土壤吸收系统
- Solar considerations (residential planning) 太阳考虑(住宅规划)
 Solar gain 太阳能获得
 Solar heating 太阳供热
 Solar radiation 太阳辐射
- albedo [天文](星体)反照率
 case study 案例
 hypothermia 体温降低
 land use planning 土地利用规划
 plant species 植物物种
 roof color 屋顶颜色
 shade 阴影
 shadow corridors 阴影廊道
 slope erosion and forms 坡体侵蚀与形状
 solar gain 太阳热获取
 solar heating 太阳供热
 solar windows 太阳窗
 sun angle 太阳高度角
 urban microclimate 城市小气候
 vegetation 植被
- Solar window 太阳构造窗
 Solid waste 固体废弃物
 Solid waste disposal 固体废弃物处理
 Solonetzic soils 碱土
 Solum 风化层
 Source control of runoff 地表径流源头控制
 Source control of stormwater 暴雨雨水源头控制
 Sources of environmental data 环境数据源
 Southern Pine Hills 南松山(佛罗里达中部社区)
- Spatial context 空间联系
 Special environments 特殊环境
 Species richness 物种丰富度
 Specific heat 比热
 Spills 溢出
 Spit 喷射
 Spodosols [地]灰土
 SPOT 人造卫星定位及跟踪卫星
 Spring equinox 春分
 Stormsewer 暴雨雨水管道
 S-shaped slopes S形坡体
 St. Lawrence Lowland 圣劳伦斯低地
 Stages of landscape development 景观发育阶段
 Standard rainstorm 标准暴雨
 Standards 标准
 air quality 空气质量
 emission (光、热等的)散发
 noise 噪声
 performance 执行
- Steep S-shapes slopes 陡峭S形坡体
 Stormdrain 暴雨排水
 Stormwater discharge 暴雨雨水排量
 case study (green infrastructure) 案例(绿色基础设施)
 comprehensive water management planning 综合水体管理规划
 computing runoff from small watershed 根据小流域计算径流量
 concentration time 集中时间
 design storm 设计暴雨
 discharge increases 排量增加
 effective impervious cover 有效不透透铺装
 interflow 壤中流
 mitigation strategies 缓解措施
 overland flow 地上径流

partial area 部分地区
 performance 执行
 rational method 理性方式
 trends 趋势
 wetlands 湿地
 Stormwater gardens 暴雨雨水花园
 Stormwater holding basins 暴雨雨水滞留低地
 Stormwater management/channel restoration (case study) 暴雨雨水管理/河流恢复(案例)
 Stormwater mitigation 暴雨雨水缓解
 Stormwater pollution loading 暴雨雨水污染承载
 Stormwater pollution systems 暴雨雨水污染系统
 Stormwater quality 暴雨雨水水质
 Straight slope 直坡
 Stratified sampling 分层取样
 Stream corridor restoration projects 河流廊道恢复项目
 Stream corridors 河流廊道
 Stream erosion 河流侵蚀
 Stream management 河流管理
 Stream nutrient levels 河流营养物水平
 Stream order classification 河流等级分类
 Stream order principle 河流等级法则
 Stream sedimentation 河流沉积物
 Stream valleys 河流山谷
 Stream valleys and channels 河流山谷与河道
 Stream velocity 河流流速
 Stream. See Streams, channels, riparian landscape 河流, 又见“河流, 河道, 水滨景观”
 Streamflow 河水流
 Streamflow forecasting 河水流预测
 Streamkeepers 河流阻碍物(河水滞留)
 Streams, channels, riparian landscape 河流, 河道, 水滨景观
 aggradation 沉积
 case study 案例
 channel dynamics/patterns 河道动力学/模式
 channel forms 河道形式
 dams/reservoirs 大坝/水库
 degradation 退化
 floodplain 河漫滩
 hydraulic behavior of streams 河流水力行为
 management 管理
 riffle-pool sequence 湍流-池交替规律
 riparian/channel habitats 水滨/河道栖息地
 sediment transport 沉积物转运
 stream erosion 河流侵蚀
 Strip mining 露天采矿
 Sub-basin 子流域
 Subparallel patterns 近似平行模式
 Subsidence 沉降
 Succession model 演替模型
 Successional stage 演替阶段
 Sulfur dioxide 二氧化硫
 Sulfur oxides 氧化硫
 Sulfur trioxide 三氧化硫

Summer ground temperature 夏季地表温度
 Summer melting 夏季融化
 Summer solstice 夏至
 Sun angle 太阳角度
 Sun declination chart 太阳方位角表
 Superfund 超级基金
 Superior Uplands 高地
 Surficial wetland sites 地表湿地点
 Susceptible island species 敏感岛屿物种
 Suspended load 悬浮承载量
 Suspended sediment 悬浮沉积物
 Sustainability planning 可持续规划
 Sustainable communities 可持续(生物)群落
 Swamp 沼泽
 Synthetic organic compounds 合成有机物
 Systematic sampling 系统取样

T

Talus 斜坡
 Talus slope 斜坡
 Technical planning 技术规划
 Technical subfield 技术亚领域
 Tennessee River Valley 田纳西州河谷
 Terrace 梯地
 Terraced valleys 梯地山谷
 Terrain units 地形单元
 Teton Dam failure 提顿大坝坍塌
 Texture 质地(指土壤)
 Thalweg 最深谷底线
 Thaw-lakes 冻溶湖
 Thematic Mapper 专题制图仪
 Theoretical perspectives 理论视角
 base level and grade 基准面与分级
 chaos theory 混沌理论
 community-succession concept 群落演替概念
 disturbance theory 扰动理论
 dynamic equilibrium 动态平衡
 evolution theory 进化理论
 geographic cycle 地理周期
 human disturbance 人类扰动
 morphogenetic regions 地貌成因区
 Thermal conductivity 热传导性
 Thermal diffusivity 热扩散
 Thermal discharges 热释放
 Thermal gradient 热梯度
 Thermal microclimate 热量小气候
 Third-order streams 三级河流
 Thread 条状
 Threatened species 濒危物种
 Three-part stormwater pollution system 三部分暴雨雨水污染系统
 Tidal flat 潮滩
 Till plain 冰碛平原
 Tolerance 忍耐
 Topographic contour map 地形等高线图
 Topographic depression 地形下沉
 Topographic maps 地貌分布图
 Topography 地形学
 Toposequence 地貌系列
 Topsoil 表层土

Tortuous channel 曲折河道
 Toxic minerals 有毒物质
 Trans-Alaska Pipeline 贯穿阿拉斯加的管道
 Transmission 输送
 Tree line 树线
 Tropical forest habitats 热带森林栖息地
 Tundra 冻土地带
 Turbulent motion 湍流

U

U.S. Geological Survey 美国地质调查
 U.S. National Flood Insurance Program 美国国家洪水保险计划
 Unconsolidated aquifer 松散蓄水层
 Unconsolidated material (USGS map) 松散物质(USGS图)
 Undercut bank 下切岸
 Underground leakages 地下渗漏
 Unified soil classification system 统一土壤分类系统
 Unit hydrograph method 单位水文图方法
 Universal soil loss equation 通用土壤损失方程式
 Uplands 高地
 Upper tier 上层
 Urban areas 城市地区
 acid rain 酸雨
 air pollution 空气污染
 air quality regulation 空气质量调控
 automobiles 机动车
 case study 案例
 Clean Air Act 清洁空气法
 dust dome 烟尘顶
 edge city 边缘城市
 emission standards 排放标准
 fog 雾
 heat island 热岛
 heat stress 热压
 microclimatic variations 小气候变化
 precipitation 降水
 smog 烟
 solar radiation 太阳辐射
 temperature 温度
 urban planning 城市规划
 vertical zonation opportunities 垂直分带机遇
 wind 风
 Urban boundary layer 城市边缘层
 Urban complexes 城市复杂
 Urban dust dome 城市烟尘顶
 Urban heat balance 城市热平衡
 Urban planning 城市规划
 Urban stormwater 城市暴雨雨水
 Urban stormwater pollution 城市暴雨雨水污染
 USDA comprehensive soil classification system USDA 综合土壤分类系统
 U-shaped valley U形山谷
 Ustisols 老成土

V

Valley formation 山谷形成
 Valley forms 山谷形式

Variable source concept 变水源概念
 Variance 变差
 Vector GIS 矢量GIS
 Vegetated buffer 植被缓冲
 Vegetation controls 植被控制
 Vegetative cover 植被覆盖
 Vertical support member (VSM) 垂直支撑构件 (VSM)
 Vertical zonation opportunities 垂直分区里的机遇
 Vertisols 变性土
 Volumetric heat capacity 体积热容量
 V-shaped valleys V形山谷

W

Wash 水洗
 Wastewater disposal 废水处理
 case study 案例
 earth mound system 土墩系统
 environmental impact/system design 环境影响/系统设计
 grinder/pump system 碾磨/抽取系统
 SAS system SAS系统
 soil suitability for SAS SAS的土壤适宜性
 system failure 系统崩溃
 waterless system 无水系统
 Wastewater 废水
 Water gaps 水间隙
 Water management planning 水管理规划
 Water pollution: 水污染
 Water quality 水质
 case study (constructed wetlands) 案例 (构建湿地)
 corrective approach 正确途径
 eutrophication of waterbodies 水体富营养化
 lake nutrient loading 湖泊营养物承载
 lake/ponds 湖泊/池塘
 mitigation strategies 缓解策略
 nutrient budget 营养物预算
 planning (small watersheds) 规划 (小型流域)
 preventive approach 预防性途径
 residential development 住宅发展
 shoreland 水岸地
 stormwater 暴雨雨水
 subbasins 亚盆地
 types of pollutants 污染物类型
 Water quality basins 水质盆地
 Water quality degradation 水质恶化
 Water table 地下水位
 Water-carved landscapes 水蚀景观
 Waterless system 无水系统
 Watershed hydrologic versatility 流域水文学多样性
 Watershed management 流域管理
 drainage nets 排水网
 industrial site management 工业场地管理
 slope 坡地
 soil erosion/stream sedimentation 土壤侵蚀/河流沉积物
 Watershed runoff system 流域地表径流系统
 Watershed 流域

Watertable aquifers 蓄水层水位
 Wave base depth 基准波深度
 Wave cut banks 波浪侵蚀堤岸
 Wave refraction 反射波
 Wave size 波浪大小
 Wave-size forecasting chart 波浪大小预测表
 Weed species 杂草品种
 Well drained 排水井
 Wellhead protection 水源保护
 Wetland 湿地
 Wetland border 湿地边缘
 Wetland classes 湿地类型
 Wetland classification system 湿地分类系统
 Wetland cleansing processed 湿地净化过程
 Wetland ecosystem 湿地生态系统
 Wetland hydrology 湿地水文学
 Wetland management planning 湿地管理规划
 Wetland mapping 湿地地图
 Wetland mitigation 湿地缓解
 Wetland productivity 湿地生产力
 Wetland protection laws 湿地保护法规
 Wetland systems 湿地系统
 community (生物)群落
 constructed wetland 构建湿地
 names (common/scientific) 名称 (常用名/科学名)
 small-flow 小型流水
 types 类型
 Wetland watersheds 湿地流域
 Wetlands 湿地
 case study 案例
 characteristics 特性
 classification system 分类系统
 composite sites 构成区
 deep-water habitats 深水栖息地
 ecosystem 生态系统
 effects 效果
 export/decomposition 输出/分解
 groundwater sites 地下水区
 habitat construction 栖息地构建
 hydrologic regime 水文区
 importance 重要性
 management 管理
 mapping 制图
 marshes, swamps, bogs 沼泽、湿地、泥沼
 mitigation 缓解
 names (common/scientific) 名字 (常用名/科学名)
 Outer Coastal Plain 外部海岸平原
 productivity 生产力
 regulatory agencies 调整部门
 regulatory definitions 调整定义
 riparian sites 滨水地
 soil 土壤
 surficial sites 地表区
 water sources 水源
 wetland system 湿地系统
 White Mountains 怀特山
 Wildlife 野生生物
 Wildlife habit considerations (residential

planning) 野生生物栖息地考虑 (住宅规划)
 Wind chill effect 寒风效应
 Wind gaps 风间隙区
 Wind velocity 风速
 Wind velocity profile 风速轮廓
 Windshield survey 风挡调查
 Winter solstice 冬至
 Woodland 林地
 Woody debris 树木残渣
 Wyoming Basin 怀俄明盆地

Y

Yazoo River 亚祖河 (密西西比河支流之一)
 Yellow River (China) 黄河 (中国)
 Yukon Basin 育空盆地

Z

Zenith angle chart 天顶角图
 Zenith angle 天顶角
 Zinc 锌
 Zone of saturation 饱和区

译后记

近几年,北大景观设计学研究院与中国建筑工业出版社合作翻译了数本景观设计学领域的经典著作,在业界引起较好的反响。《景观设计学》(Landscape Architecture)包含景观规划(Landscape planning)和景观设计(Landscape design),前者解决在什么地方干什么事,和在合适的地方进行合适的土地利用问题,而后者解决如何干的问题。国际上有关这两方面的先进理论和实践案例都是中国景观设计学科发展急需引进和消化的。

本书作为景观规划领域的经典著作,堪称是麦克哈格的《设计遵从自然》(Design with Nature)的姊妹篇。正如麦克哈格在本书原版的前言中所写到的,这本书实际上是告诉我们“如何设计遵从自然”(How to Design with Nature)。作者也希望本书“能够将地理学、景观设计学、规划学以及其他相关领域的知识做一个有效的总结”(见本书序言)。

本书的翻译持续了一年半的时间,可谓好事多磨。在本书原著第三版的翻译完成,并经出版社仔细校对准备印刷出版时,原著第四版突然面世。新版除增加了一章关于“最佳管理实践”(Best Management Practices)的内容外,还更新了第三版中的7个案例研究,并对前一版进行了多处修改。这一方面反映了北美景观设计学学科的发展情况,另一方面也反映了原著作者严谨的治学态度。为了让国内读者了解到最新的北美景观设计学的研究进展,中国建筑工业出版社毅然决定停止已计划出版的第三版中文版,而改成出版第四版的中文版。同时,经译者与出版社商议,除将原著第三版对照第四版进行修改外,仍然保留第三版中被替换掉的7个案例研究,以便广大读者进行新老案例的比较学习。

景观规划本身是一门十分综合的应用型学科,所涵盖的知识领域十分广泛。本书涉及了景观规划中对待环境的方方面面,论述了景观规划中相关的生态学、地理学、地质学、水文学、土壤学、气象学、规划学等方面的重要问题。在翻译的过程中,为将各专业术语翻译规范,译者查阅了大量的专业词典。但由于译者能力有限,译著中必定有理解不到位或翻译不准确的地方,谨向广大读者致歉。

本书中文版的面世首先要感谢中国建筑工业出版社的盛情邀请与信任。尤其要感谢董苏华编审在本书翻译、校对、改版、再译、再校对的这一年多时间里所付出的辛勤努力,同时笔者也为她对待本职工作的那份执着与热爱所感动。非常感谢王方智老师对第三版和第四版中文版所进行的仔细核对,他检查出了译者在翻译过程中出现的许多没有注意到的细小问题,并提出了诸多中肯的建议。本书翻译过程中还得到北京大学景观设计学研究院全体同仁的强力支持,在此一并表示感谢。此外,还要感谢武汉华中农业大学园林学院姚崇怀副教授对本书翻译给予的关心。

希望本书的中译本的面世,能为发展中的中国景观设计学专业,以及将中国目前的城市及景观建设热潮引上健康之路有所贡献!

参与者对本书翻译的贡献大至如下:

内容	初译	第一校	第二校	组织与统稿
简介、序言、封底	朱 强	朱 强	黄丽玲	俞孔坚
第1、16、17、18章	黄丽玲	黄丽玲	朱 强	朱 强
第2章	曾宪丁、朱 强	宋 歌		黄丽玲
第3章	潘延宾	李 博		
第4章	邓细春、朱 强			
第5、8章	李海龙			
第6章	娄 娟			
第7章	孙青丽			
第9、10、11、21章	刘进华			
第13章	殷利华			
第19章	潘延宾、黄丽玲			
第12、14、15、20章	朱 强			
术语表、附录、图表与图片出处、英汉词汇对照	李 博、杨姜妮			
人名、地名及机构名统一翻译	朱 强			
第四版部分案例更新	刘 英、潘延宾			

北京大学景观设计学研究院
北京土人景观规划设计研究院
俞孔坚
2006年冬于燕园

主要译者简介

朱 强 /1978/ 湖北荆州人 / 现为北京大学景观设计学研究院博士研究生, 研究方向为景观规划设计与城市规划设计、景观生态等

黄丽玲 /1978/ 湖北武汉人 / 现为中国科学院地理科学与资源研究所博士研究生, 研究方向为城市及旅游规划与设计

俞孔坚 /1963/ 浙江金华人 / 北京大学景观设计学研究院教授, 北京土人景观规划设计研究院首席设计师

北大及土人景观著作系列

为推动景观设计学科和实践在中国的发展, 北京大学景观设计学研究院, 北京土人景观规划设计研究院与中国建筑工业出版社等合作, 连续出版理论专著、实践案例和译著, 近年来已出版的著作包括:

著作与案例

2005, 俞孔坚 刘向军 李鸿田——人民景观叙事南北案例, 北京: 中国建筑工业出版社。

2004, 俞孔坚 王建 黄国平, 土呷, 李伟, 陀罗的世界: 东乡土景观阅读与城市设计案例, 北京: 中国建筑工业出版社。

2004, 俞孔坚 石颖 Mary Pudua 著, 人民广场——都江堰广场案例, 北京: 中国建筑工业出版社。

2003, 俞孔坚 庞伟, 《足下文化与野草之美——岐江公园案例》, 北京: 中国建筑工业出版社。

2003, 俞孔坚 李迪华, 景观设计: 专业, 学科与教育, 北京: 中国建筑工业出版社。

2003, 俞孔坚 李迪华著, 城市景观之路, 北京: 中国建筑工业出版社。

2003, 俞孔坚 Davorin Gazvoda 李迪华等著, 多解规划——北京大环案例, 北京: 中国建筑工业出版社。

2002, 俞孔坚 编著, 设计时代, 河北: 河北美术出版社。

2001, 俞孔坚 等著, 高科技园区景观设计——从硅谷到中关村, 北京: 中国建筑工业出版社。

1998, 2000, 俞孔坚 著, 景观: 文化、生态与感知, 北京, 科学出版社。

1998, 俞孔坚 著, 景观: 文化、生态与感知, 台湾, 田园文化出版社。

1998, 2000, 俞孔坚 著, 理想景观探源: 风水与理想景观的文化意义。北京, 商务印书馆。

1998, 俞孔坚 著, 生物与文化基于上的图式——风水与理想景观的深层意义, 台湾, 田园文化出版社。

译著

2006, 朱强 黄丽玲 俞孔坚等译, 景观规划的环境学途径 (原著第四版), 威廉·M·马什 (William M. Marsh) 著, 北京: 中国建筑工业出版社。

2004, 周年兴 李小凌 俞孔坚等译, (F. Steiner 原著) 生命的景观——景观规划的生态学途径 (第二版), 北京: 中国建筑工业出版社。

2003, 孟亚凡, 俞孔坚 等译, (C. Birnbaum 和 R. Karson 原著), 美国景观设计先驱, 北京: 中国建筑工业出版社。

2002, 刘玉杰, 吉庆萍, 俞孔坚等译, (N. Nines 和 K. Brown 原著), 景观设计师简易手册, 北京: 中国建筑工业出版社。

2001, 俞孔坚, 王志芳, 孙鹏等译, (C. Marcus 和 C. Francis 原著), 人性场所。北京: 中国建筑工业出版社。

2000, 俞孔坚 王志芳 孙鹏 等译, (J. Simonds 原著), 景观设计学——场地规划与设计手册。北京: 中国建筑工业出版社。