



水资源的 可持续解决方案

政策、规划、设计和实施

【美】James L. Sipes 著
张玉钰 译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

Original Title: Sustainable Solutions for Water Resources: Policies, Planning, Design, and Implementation

Author: James L. Sipes

Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体版专有出版权由John Wiley & Sons, Inc.授予电子工业出版社。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2011-5704

图书在版编目(CIP)数据

水资源的可持续解决方案 / (美)赛普斯(Sipes, J. L.)著; 张玉环译. --北京: 电子工业出版社, 2012.11

书名原文: Sustainable Solutions for WaterResources: Policies, Planning, Design, andImplementation

ISBN 978-7-121-18597-7

I. ①水… II. ①赛… ②张… III. ①水资源利用—可持续性发展—研究 IV. ①TV213.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第226649号

策划编辑: 胡先福

责任编辑: 胡先福

特约编辑: 顾慧芳

印刷: 中国电影出版社印刷厂

装订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本: 787×980 1/16 印张: 22.25 字数: 528千字

印次: 2012年11月第1次印刷

定价: 78.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

致 谢

写 致谢时我心情大好，因为写到这里意味着本书完成了，可以交稿了。真是太高兴了！

首先，我要特别感谢玛格丽特·康明斯、莱斯利·萨克斯曼和John Wiley & Sons出版社所有有天赋的人们，是他们帮助、支持我收集、阅读大量文献，把零散的想法和言词组织在一起，使之有意义。没有他们，就不会有本书的出版。

感谢所有与我分享你们想法、项目、照片和建议的人，尤其感谢道易公司善良的朋友们。

我亏欠我的三个孩子很多，因为是他们激励我、帮助我理解生活中最重要的是什么。马特是名有知识的工程师。在他从肯塔基大学毕

业的时候，我就相信他能帮助我们发现具有可持续性的水资源问题解决方案。萨拉和亚历山德拉不仅贡献建议，并且给我鼓励 and 信心，使我坚持把这本书写下来。萨拉是有天分的音乐人，总有一天，我可以出席她的格莱美颁奖礼。阿莉（亚历山德拉）是位顽强而美丽的律师，在法庭上你最好不要惹她。

感谢西普斯家族给我的支持，我爱你们。

最后，感谢安吉·鲍恩·西普斯……是的，这本书也是你的。是你帮我完成部分图片的文字说明，谢谢你。现在，这本书完成了，我准备践行诺言，带你去波拉波拉岛。

感谢奥普拉，我愿意成为你读书俱乐部里第一本非小说类书籍的作者。而且，如果你邀请我上你的脱口秀节目，我将乐不可支。

目 录

致 谢

第1章 概 述 / 1

1.1 水资源的重要性 / 1

1.2 水资源概述 / 3

1.2.1 河 流 / 3

1.2.2 地下水和含水层 / 5

1.2.3 湖泊和水库 / 9

1.2.4 湿 地 / 10

1.2.5 海岸带 / 12

1.2.6 降 水 / 14

1.2.7 信息来源 / 17

第2章 美国的水资源问题 / 19

2.1 全球变暖和气候变化 / 19

2.1.1 气候变化的影响 / 19

2.1.2 应对气候变化 / 20

2.1.3 信息来源 / 21

2.2 干旱和夺水战争 / 22

2.2.1 全球范围的夺水战争 / 24

2.2.2 美国西南地区的夺水战争 / 24

2.2.3 美国东南地区的夺水战争 / 26

2.2.4 桃树谷的夺水战争 / 28

2.3 用水需求 / 32

2.3.1 满足需要 / 32

2.3.2 拉斯维加斯的用水需求 / 33

2.3.3 水的使用 / 34

2.3.4 满足用水需求的选择 / 34

2.3.5 水 源 / 35

2.4 开发压力 / 36

2.4.1 满足用水需求的传统方法 / 37

2.4.2 南部地区的增长 / 38

2.4.3 陆军工程师团满足用水需求的做法 / 39

2.5 环境保护 / 39

2.5.1 浅水河评估 / 40

2.5.2 全国河流评估 / 41

2.5.3 大型江河生物评估手册 / 41

2.6 经济方面 / 42

2.6.1 水的成本 / 42

2.6.2 基础设施成本 / 42

2.6.3 水污染的成本 / 44

2.6.4 私有化 / 44

2.7 农业用水 / 44

2.7.1 影 响 / 45

2.7.2 减轻影响 / 47

2.8 水 质 / 48

关于水质的规章制度 / 49

2.9 法律问题 / 53

- 2.9.1 河岸带水权 / 53
- 2.9.2 “先占先有” / 54
- 2.9.3 地下水、土壤水和降水 / 55
- 2.9.4 直接流量和存量 / 55
- 2.9.5 水 法 / 55
- 3.7.2 湿地数据 / 100
- 3.7.3 湿地的国际重要性 / 100
- 3.7.4 全国湿地清查 / 102
- 3.7.5 全国数据 / 103
- 3.7.6 湿地图库 / 104
- 3.7.7 湿地地理数据库 / 105
- 3.7.8 州层面的数据 / 105

第3章 水资源的可持续规划方法 / 57

3.1 法律法规和政策制度 / 57

- 3.1.1 联邦储备水权 / 58
- 3.1.2 国家的法律、法案和政策 / 58
- 3.1.3 其他法案 / 60
- 3.1.4 《美国水资源计划》 / 61
- 3.1.5 与水资源有关的联邦机构 / 61
- 3.1.6 《清洁水法案》 / 64
- 3.1.7 国家层面的洪灾管理 / 67
- 3.1.8 国家旱灾政策 / 70

3.2 州级层面的规划 / 73

州级层面的行动 / 74

3.3 水资源管理的区域方法 / 80

- 3.3.1 州际水资源管理委员会 / 80
- 3.3.2 州内区域水资源管理方法 / 82
- 3.3.3 动力公司 / 84

3.4 地区层面的规划 / 87

- 3.4.1 圣约翰斯河水资源管理分区 / 88
- 3.4.2 乔治亚州北部水资源分区 / 90

3.5 流域规划 / 91

- 3.5.1 自然保护方法 / 92
- 3.5.2 流域评估 / 94
- 3.5.3 水资源分析工具 / 94
- 3.5.4 流域边界 / 95

3.6 水市场和供水系统 / 97

3.7 湿地规划和湿地数据 / 98

- 3.7.1 湿地保护建议 / 99

3.8 降雨径流管理和水土流失控制 / 107

- 3.8.1 州级程序 / 108
- 3.8.2 控制水土流失 / 109
- 3.8.3 控制污染 / 110

3.9 土地利用规划和管理 / 111

- 3.9.1 土地利用和分区 / 112
- 3.9.2 条 例 / 112
- 3.9.3 土地利用数据 / 113

3.10 湖岸带管理 / 113

- 3.10.1 加固和保护 / 114
- 3.10.2 湖岸带的所有权和使用 / 115
- 3.10.3 湖岸带使用许可 / 115

3.11 自然资源保护 / 116

地方到联邦 / 116

3.12 城市水文 / 117

- 3.12.1 现有系统 / 119
- 3.12.2 不透水地面模型 / 119
- 3.12.3 污水和粪污处理系统 / 120
- 3.12.4 城市里的树木 / 120
- 3.12.5 变动中的景观 / 122
- 3.12.6 流域规模 / 123

3.13 地下水保护 / 123

- 3.13.1 可持续方法 / 124
- 3.13.2 地方层面的数据 / 125
- 3.13.3 国家层面的数据 / 125
- 3.13.4 地下水模型模拟 / 126

3.14 普及水资源知识的努力 / 127

3.15 案例研究 / 129

- 案例1：奥基乔比湖（佛罗里达州）/ 129
- 案例2：路易斯安那州可持续海岸带的总体规划 / 132
- 案例3：2002年奥运会的奥林匹克村（悉尼，澳大利亚）/ 135
- 案例4：“鸭无限”（美国）/ 137
- 案例5：圣保罗市密西西比设计中心的最佳管理实践卡片 / 141
- 案例6：奥兰治县水资源分区管理处（奥兰治县，加利福尼亚州）/ 142
- 案例7：俄勒冈花园（锡尔弗顿市，俄勒冈州）/ 146
- 案例8：《走向2040》规划和《伊利诺伊东北部区域水资源供需规划》/ 149
- 案例9：新加坡的深海隧洞污水处理系统 / 154
- 案例10：科维昌流域水资源管理规划（温哥华岛，加拿大）/ 156
- 案例11：干草湖项目（干草湖，亚利桑那州）/ 159
- 案例12：萨拉多栖息地恢复项目（凤凰城，亚利桑那州）/ 159
- 案例13：杰克逊低地湿地保护区（希尔斯伯勒，俄勒冈）/ 161
- 案例14：拉里坦河流域管理规划（新泽西州中北部）/ 163
- 案例15：诺沃克河流域协议（康涅狄格州和纽约州之间）/ 166
- 案例16：墨西哥湾海岸带的恢复规划过程 / 167
- 案例17：大达比雅阁流域总体规划（哥伦布，俄亥俄州）/ 171

- 案例18：梅诺莫尼河河谷社区公园：改造梅诺莫尼河河谷（密尔沃基，威斯康星州）/ 174
- 案例19：里奇兰河野生生物管理区里的湿地（塔兰特县，得克萨斯州）/ 178
- 案例20：南部河口湾盐场恢复项目（旧金山，加利福尼亚州）/ 180
- 案例21：布里斯-贝尤河防洪减灾项目（休斯顿，得克萨斯州）/ 184
- 案例22：野鸭湖湿地公园概念性总体规划（北京，中国）/ 186
- 案例23：乔克托县的湖泊开发（乔克托县，密西西比州）/ 188
- 案例24：罗斯-巴奈特水库（杰克逊市，密西西比州）/ 193
- 案例25：林中村（阿拉图那湖，乔治亚州）/ 195
- 案例26：“首先想到水”项目（阿拉图那湖，乔治亚州）/ 203
- 案例27：加利福尼亚州圣地亚哥的索伦托河/ 206
- 案例28：密西西比河/墨西哥湾流域减少营养物质、缩小缺氧水域的2008年行动计划 / 207

第4章 项目规划、设计和实施的可持续性实践 / 209

4.1 制定目标和实施战略 / 209

4.2 与当地的利益相关方合作 / 213

4.2.1 利益相关方的类型 / 215

4.2.2 互联网社区沟通技术 / 216

4.2.3 公众参与规划 / 217

4.3 设计过程 / 217

4.3.1 研 究 / 218

4.3.2 资源清查/分析 / 220

4.3.3 综合过程 / 220

4.3.4 实施项目 / 222

4.4 湖泊管理规划和行动 225

4.4.1 湖泊水质 / 225

4.4.2 水位变动 / 226

4.4.3 水的清澈度测量 / 228

4.5 河流、湖泊和湿地恢复 230

4.5.1 水文条件变更 / 230

4.5.2 河流修复实践 / 232

4.5.3 鱼类的回游通道 / 233

4.5.4 人工湿地 / 233

4.5.5 “一致性河流评估” / 234

4.5.6 桥梁的处理 / 234

4.5.7 墨西哥海湾处的海岸带 / 235

4.6 低影响开发战略和智慧型增长 / 238

4.6.1 低影响开发战略 / 238

4.6.2 智慧型增长 / 240

4.7 户外娱乐用地 / 243

游船码头 / 245

4.8 野生生物保护和栖息地恢复 / 247

4.8.1 恢复栖息地的努力 / 247

4.8.2 联邦野生动物保护项目 / 249

4.9 新建湖泊、水库和水坝 / 251

4.9.1 田纳西州对新建水坝的审批程序 / 253

4.9.2 拆除水坝 / 253

4.10 获得土地 / 254

4.10.1 获得土地产权

4.10.2 保护性质的使用权 / 254

4.10.3 租赁和契约 / 254

4.10.4 购买开发权 / 255

4.10.5 转让开发权 / 255

4.10.6 土地托管 / 256

4.10.7 土地获得项目 / 256

4.11 最佳管理实践 / 257

4.11.1 最佳管理实践数据库 / 257

4.11.2 最佳管理实践的结构性和非结构性措施 / 259

4.11.3 生物措施 / 259

4.11.4 控制径流和泥沙沉积 / 261

4.11.5 湿 地 / 262

4.11.6 收集雨水 / 262

4.11.7 管理屋顶降水 / 264

4.11.8 过滤系统 / 264

4.11.9 水土流失和泥沙沉积控制规划 / 264

4.11.10 控制耕地上的径流 / 267

4.12 案例研究 / 268

案例1：金门公园的绿色屋顶（旧金山市，加利福尼亚州） / 268

案例2：诺斯菲尔德池塘公园（丹佛，科罗拉多州） / 271

案例3：水幕（纽约市，纽约州） / 272

案例4：达尔哥诺·玛开发区（巴塞罗那，西班牙） / 273

案例5：西南第12大道的绿色街道项目（波特兰市，俄勒冈州） / 276

案例6：东北西斯基尤大街的绿色街道项目（波特兰市，俄勒冈州） / 278

案例7：摩塔伯尔中学雨水花园（波特兰市，俄勒冈州） / 280

案例8：泻湖公园——加利福尼亚大学圣巴巴拉分校（圣巴巴拉市，加利福尼亚州） / 281

案例9：普莱珍特湖水处理厂（凤凰城，亚利桑那州） / 283

案例10：博尼塔泉废水处理项目（博尼塔

泉市，佛罗里达州) / 284	
案例11： “尖端”项目(伦秋库卡蒙市，加利福尼亚州) / 285	
案例12： 汀勒海滩恢复项目(阿尔布开克市，新墨西哥州) / 286	
案例13： 吉尔伯特和莫斯利项目(威奇塔市，堪萨斯州) / 288	
案例14： 奥兰治县大公园总体规划(奥兰治县，加利福尼亚州) / 292	
案例15： 锡达河(雪松河)流域教育中心(北本德市，华盛顿州) / 296	
案例16： 皇后区植物园的访问者中心(纽约市，纽约州) / 298	
案例17： 坦帕湾的海水淡化项目(坦帕湾，佛罗里达州) / 302	
案例18： 上海化学工业区的自然处理系统(上海市，中国) / 304	
案例19： 海菲国际总部(小石城，阿肯色州) / 306	
案例20： 惠特尼净化水厂(康涅狄格州中南部) / 309	
案例21： 梅普尔伍德景观雨水花园(梅普尔伍德市，明尼苏达州) / 312	
案例22： 芝加哥市市政厅的屋顶花园(芝加哥市，伊利诺伊州) / 315	
案例23： 爱德怀德公园(皇后区，纽约市) / 318	
案例24： “草原之旅”径流管理指南(安克尼市，爱荷华州) / 321	
案例25： 詹姆士克拉克森环境发现中心(白湖乡，密歇根州) / 324	
案例26： 乔治亚州水资源规划 / 327	

第5章 结 论 / 329

5.1 不做预言 / 329

5.2 可持续性为重点 / 329

5.3 重访亚特兰大 / 330

5.4 法律战争 / 330

5.5 解决问题 / 331

5.6 未 来 / 332

延伸阅读 / 333

参考文献 / 337

译后记 / 347

第1章 概述

1.1 水资源的重要性

真有必要，用一节的篇幅强调水资源的重要性吗？如果我简明扼要地说，没有水，地球上就没有生命，怎么样？水是21世纪最主要的环境问题，与它相比，所有其他问题都是次要的。

让我们把地球想象为一个水的世界，它一定是这样的：海洋覆盖了接近地球表面的71%，海洋水量占地球总水量的98%，但不能

作为饮用水。其余2%的可饮用淡水中，大部分以冰川和极地冰盖的形式存在；有一小部分，约占地球总水量的0.36%，储存在地下含水层中；以及与地下水相当的量，构成了江河湖泊（见图1.1）。

地球上的水量虽然充沛，但并不总是在我们需要的地方和需要的时间存在。预计2050年的全球人口将达到94亿，科学家担心，届时将没有足够的水资源供给这些人口。根据斯德哥



图1.1 无论在本世纪还是其他世纪，水都是最重要的环境问题。图片来源：NRCS。



图 1.2 对地球上的生命来说，水是至关重要的。问题是，如何在满足用水需求的同时，保护现有的水资源。图片来源：NRCS。

尔摩国际水资源研究所的报告，世界各地，有10亿以上的人口没有足够的清洁饮用水，25亿人口缺乏安全卫生设施（U.S. Census Bureau）。

在美国的大多数地区，人们想当然地以为，我们总会有便宜、干净的水。而在世界的其他地区，数千万人口没有安全用水。联合国将其称为大规模的危机。来自美国人口普查局的信息，在2000年初，全球有1/6人口（约11亿）使用的是没经过处理的水，2/5人口（约24亿）缺乏良好的卫生设施。这些人大部分居住在非洲和亚洲。

最近几年，即使美国也经历了严重干旱，其程度可以和大萧条时期的“沙尘碗”相提并论。水作为一种自然资源，在美国的许多地方已

经供给不足，而且这种情况还会更糟。由于人口持续增长带来的用水需求量增加，以及气候变化扰乱水文循环，水将越来越稀缺（见图1.2）。

例如，乔治亚州是美国发展最快的州之一。在过去20年间，乔治亚州经历了两次有史以来最严重的旱灾。亚特兰大市及其周边地区的大部分用水来自拉尼尔湖。根据美国陆军工程师团提供的资料，2008年8月14日，拉尼尔湖的水位比水满时的水位低了16英尺（约4.88米），比2007年干旱时低了足足9英尺（约2.75米）。亚特兰大缺水的日子不远了。

需要指出的是，水资源上的问题，不只是数量问题，水质也是一个日益严重的问题。水资源供给不足和卫生设施不足都会引起重大的健康损害。许多水资源污染问题，已经达到威胁人类安全使用的程度。确保子孙后代有足够用水的关键之一，是我们有能力使用少量的清洁水取得巨大的效率。

因为本书探讨的是水资源问题的“可持续性”解决方案，所以不能不提到满足用水需求所需要的能源用量和我们行为的环境影响。根据国家资源保护委员会掌握的信息（2009），每年全美国为收集、分配和处理饮用水及废水而产生的二氧化碳，与1000万辆小汽车在路上行驶产生的二氧化碳量相当（www.nrdc.org/water/energywater.asp）。我们需要制定可持续的水资源政策，使所有的用水需要都能够得到满足。

1987年，世界环境和发展委员会发布的布兰特报告，把可持续发展定义为这样一种发展，“满足当代人的需要，同时又不损害满足后代人需要的能力。”世界环境和发展委员会的目标，是在社会的多种需要之间，找到一个正确的平衡，这些需要包括经济发展、洪水防治、负担得起的电力和保护环境质量。保护环

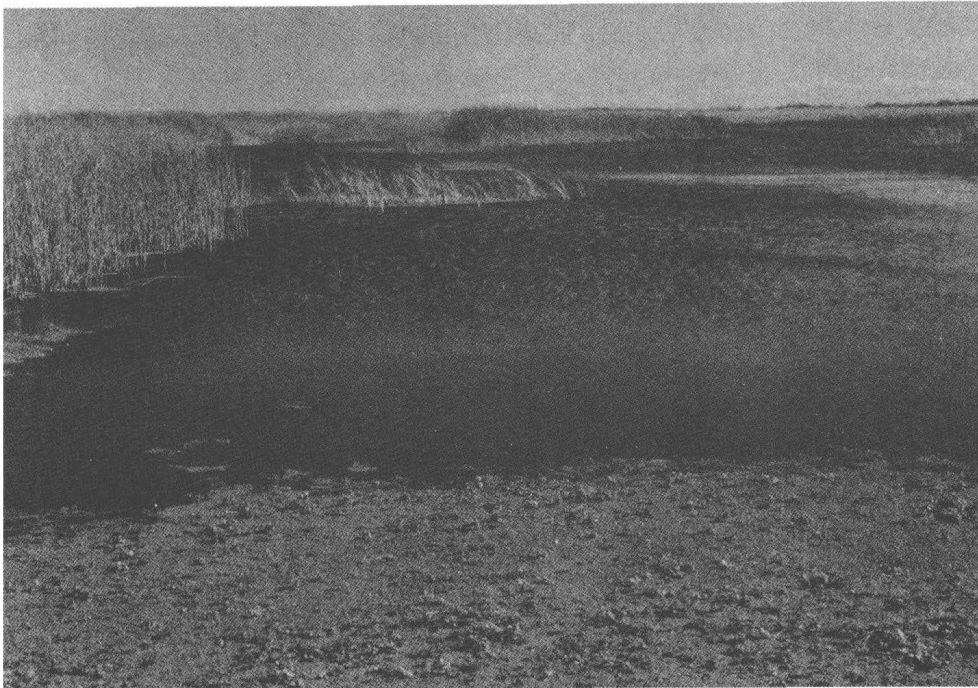


图 1.3 约洛伯帕斯 (Yolo Bypass) 野生生物区是一个自然恢复项目，面积约 3,700 英亩，靠近加利福尼亚州萨拉门托市和戴维斯市，于 1997 年开始向公众开放。这个野生生物区是约洛伯帕斯洪水控制区的一部分，为当地的几座城市控制洪水。约洛伯帕斯洪水控制区的总面积约 59,000 英亩。图片来源：NRCS。

境质量包括保护水质、湿地，以及濒危物种（见图 1.3）。

1.2 水资源概述

水资源包括地表水、地下水和天空降水。大多数城市从最近的江河、湖泊、水库或含水层中抽水使用。在美国的有些地区，因为降水太宝贵了，因此纳入公共领域考虑范围。

随着时间的推移，人们渐渐发现，地下水和地表水相互关联，都是水文循环不可分割的组成部分，必须把它们作为一个系统对待。

美国国家地质调查局（USGS）搜集整理了自 1950 年以来地表水和地下水的取用情况，分县、州和全国三个空间尺度，以 5 年为间

隔。他们把水的用途分为以下 8 类：

1. 公共用水
2. 家庭用水
3. 灌溉用水
4. 畜牧业用水
5. 水产业用水
6. 工业自采自用水
7. 采矿业用水
8. 热力电厂用水

1.2.1 河流

提到水资源，大部分人可能会想到河流。美国有大小河流 25 万余条，总长约 370 万英

图 1.4 国家自然保护局在爱达荷州实施的一个自然保护项目。这个项目鼓励生产者改善已有实践和/或采用新的实践保护自然资源。实施这个项目对改善爱达荷州的水质有重要作用。图片来源：NRCS。



里。美国最长的河是密苏里河，全长约2,500英里；最大的河是密西西比河，河口处流量为59.3万立方英尺/秒（www.americanrivers.org/library/river-facts/river-facts.html，见图1.4）。

根据2002年的水资源评估结果，在全美所有河流中，大约45%受到了不同程度的损害。最主要的损害原因是泥沙沉积、病原体污染和野生生物栖息地变动。显然，这个事实引起了较大关注。

2002年的全国水资源评估数据库中还包括全美各州以及哥伦比亚特区和维京岛的水质信息。不过，阿拉巴马、北卡罗来那和华盛顿三个州、波多黎各国、印第安人部落和太平洋岛屿的水资源质量信息没出现在电子版的数据库中。

根据美国国家环境保护局（Environmental

Protection Agency, EPA）的定义，流域是“水流汇集到特定河流或水体的地理区域”（www.epa.gov/adopt/defn.html）。一般流域的汇水面积较大，在20~100平方英里之间，甚至更大。每个流域都是由一些较小的“支流流域”构成的，支流流域的范围一般在5~10平方英里之间。

在美国，河流是人群定居的主要影响因素。东部地区的大多数大城市都是沿河兴建的，因为河流可以提供饮用水、卫生用水、灌溉用水和水路运输条件。

不幸的是，许多河流都受到了人类活动的严重影响。美国国家环境保护局认为，城区排水和其他非点源污染是美国最大的水污染威胁。在美国的全部河流总长中，23.5万英里以上进行过河道整治，2.5万英里以上进行过河床疏浚，还有60多万英里长的河道上修筑了

水坝。全美近40%的河流因污染严重而不适宜养鱼和游泳，北美地区30%的当地淡水鱼种受污染威胁、濒危或处境特别令人担忧（www.americanrivers.org/library/river-facts/river-facts.html）。

洪泛区

洪泛区指的是河流周边、在洪水期可能被淹没的地区。洪泛区有助于降低洪灾的频率和程度，过滤洪水，使非点源污染最小化。洪水进入洪泛区以后，流速减缓，渗透到下地，补给地下水。洪泛区还为水生植物群落和动物群落提供栖息地。一个重要问题是，人类活动已经严重破坏了洪泛区的输送和储存洪水性能。

河岸带

河岸带指的是河流沿岸地带，由草地、林地和林草混合等植被覆盖的狭长区域。保护河岸带是保护水质的关键。河岸带也聚集着与区域范围不成比例的众多野生动植物物种，具有一些与多数植物聚集地迥然不同的生态功能（Fischer and Fischenich,, April 2000）。

受损害河流数据库

国家环境保护局把各州上报的河流损害原因和损害物来源等信息录入全国评估数据库，发布在互联网上，网址为：www.epa.gov/waters/305b。

资料来源：Environmental Protection Agency, *Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters*。

1.2.2 地下水和含水层

地下水是世界上最重要的自然资源之一。在大多数国家，地下水都是必不可少的。全球有20亿以上的人口依赖地下水生存。在美国，一半的饮用水取自地下。此外，在维持河、湖、泉、湿地和沼泽等地表水域水文平衡方面，地下水也具有极其重要的作用。

在美国，地下水是最大的可用水源，地下水总量比除五大湖以外所有水库和湖泊水量的总和还多。科学家估计，地表以下半英里以内地层中的储水量，可能高达100万立方英里。人类只能获取和使用地下水中很小的一部分（http://pubs.usgs.gov/gip/gw/gw_a.html）。

地下水储存在地下含水层中。作为一种地质构造、一组地质构造或一种地质构造的一部分，含水层中含有充足的、具有渗透性和浸透性的物质，产生大量的水，供给到井和泉中（www.nationalatlas.gov/mld/aquifrp.html）。含水层中水饱和带的顶部为地下水位。不同区域间的地下水位存在明显差异。同一区域的地下水位，丰水年上升，缺水年下降。所有的含水层底部都有一个岩床，具有持水和阻止含水层里的水进一步下渗的作用。

汇集地表水、使之渗透到含水层的区域称为地下水补给带。降水进入补给带之后，才能渗透到含水层，成为地下水。因为需要经过土壤层和岩石层，地下水的补给速度一般情况下都十分缓慢。保护水资源要求同时保护地下水质和地下水的补给能力。保护浅层含水层可以通过限制不透水范围的方式实现。有些含水层是在很久以前形成的，补水性能不再活跃，水量尽了，里面就空了。

大多数城市用水取自最近的河流、湖泊或水库，但也有许多城市取用地下水。世界上的许多地方已经出现缺水现象，而且情况可能会越来越糟。根据美国地质调查局提供的信息，美国大约40%的公共用水、97%以上的农村人口用水和30%~40%的农业用水，都取自地下。所以，为了制定可持续的资源利用决策，有必要首先了解地下水。

近年来，我们已经清楚，地下水和地表水是相互连通、共同构成水文循环的两个组成部分。有意思的是，大多数管理地下水问题的法律法规还停留在地下水与地表水无关的概念基础上。在美国的大部分地区，管理地表水的法律是河岸法或先占先有，地下水还是传统地按公共资源对待，基本上对使用无限制。例如，如果你有钱雇人给你钻口井，碰巧这口井又出了水，那么，你就可以用这口井里的水做任何你想做的事。

如今，随意抽取地下水已经不再是一个可行的选择。在美国的许多地区，地下水的抽取速率大于补给速率。这种做法会导致地下水水量减少、水位下降和水质退化，因而是不可持续的。而且，随着水位下降，水井越打越深，地下水耗竭的速度越来越快。沿海地区，集约化开采地下水已经导致海水进入地下含水层。过量抽取地下水还能造成河水流速减缓和改变湿地的水文条件等问题。减缓河水流速对水资源管理、防洪、灌溉和规划等都有重要影响。

全球范围内，关于地下水的数据库已经搜集了几十年。世界地下水组织于1956年成立，但它只是个搜集有关数据的组织。目前，全球的地下水资源分布图已经绘制出来，多数国家也绘制了本国的地下水分布图。在美国，国家地质调查局的一项职责，是评估全国水资源供给

的数量和质量。关于全国的地下水资源信息，目前只知道一点点，而且多数信息在性质上是非常一般的。国家地质调查局在全国各地设有办公室，负责搜集当地的水资源数据，并从事相关研究。这些研究是全国水信息系统（NWIS）的组成部分。国家地质调查局的全国水信息系统含有全美国的水资源数据。其中地下水数据库里有85万余条水井、泉、检测孔、遂道、排水沟和挖掘等相关信息。每口水井的位置信息，包括水井的经度、纬度、深度和含水层。这些数据已经搜集了一百多年。监测数据记录以5~60分钟为间隔，每1~4小时向全国水信息系统传输一次。这些信息可以在美国国家地质调查局全国水信息系统网的网页上查到。全国水信息系统网的网址为：<http://waterdata.usgs.gov/nwis>，（见图1.5）。

1977年发生严重旱灾之后，国家地质调查局在当年实施了区域含水层系统分析项目。这个项目用计算机模型估计当时和未来含水层中的可用水量，为以后的研究确定一条基准线。1991年，国家地质调查局实施了一个全国水质评估项目，内容是测定全国的河流和地下水的水质情况。

美国地下水地图集中，包括了全美50个州、波多黎各国和维京群岛主要含水层的位置、水文特征和地质特征等信息（Miller, 2000; <http://capp.water.usgs.gov/gwa/>）。这本地图集共有14章，其中第1章为介绍，第2~14章为描述。每个描述章提供的是包括几个州在内的区域性信息。这些以区域和全国为尺度的信息对于小范围的设计和规划项目来说，作用不大。这本地图集是根据国家地质调查局设在各地的办公室和合作机构多年搜集的信息整理、绘制的（USGS; Reilly, Dnnahy, Alley, and

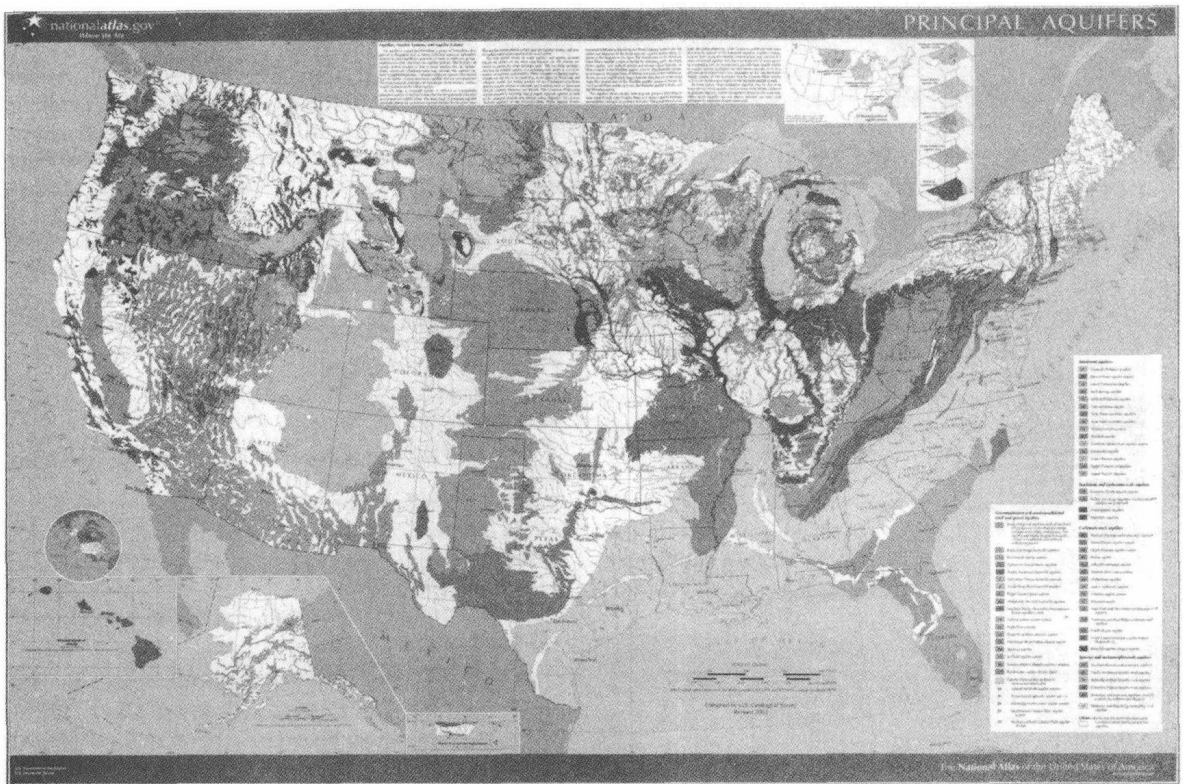


图 1.5 国家地质调查局绘制了多份美国水资源地理空间分布图。这张图显示的是主要地下含水层的分布。图片来源：USGS。

Cunningham, 2008)。

在美国，地下水管理决策权归地方政府所有，而不是联邦政府。各州和县等地方机构管理当地的水资源，搜集和分析有关数据。每个州都有一份辖区内的地下水资源报告。对于景观设计师来说，最好的地下水资源信息来源是州、县或者区域性的水资源管理机构。

许多州的地下水资源地图是交互式的（见图 1.6）。例如，肯塔基州地质调查局绘制的交互式地下水水质数据图，展示的是该州的地下水水质和多项有关信息。使用者可以从 32 个层面，分别了解该州的地质、流域边界、道路和

污水池等情况。肯塔基州地下水资源数据库中的资源大致可分为以下七类：

1. 井和泉的记录检索
2. 井和泉的位置图显示
3. 地下水水质数据检索
4. 图示的地下水水质比较
5. 地下水水质数据图
6. 喀斯特地貌指数图
7. 肯塔基州地质调查局的水资源研究主页（www.uky.edu/KGS/water/research）。

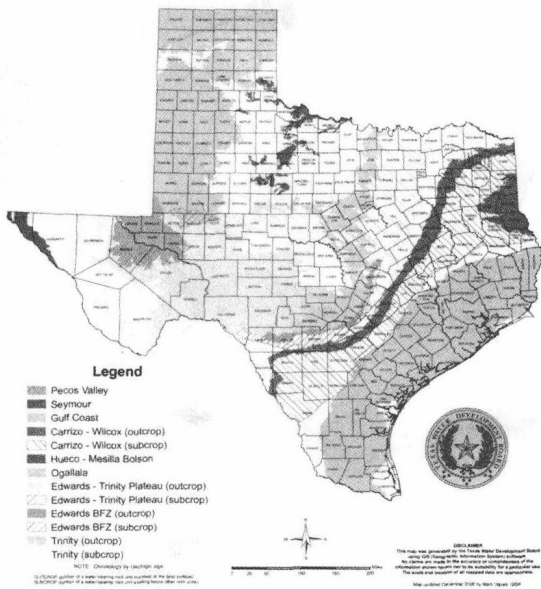


图 1.6 这是得克萨斯州的主要含水层分布图。美国的多数州都收集地下水和含水层信息。这些信息汇集起来，构成全国的地下水资源数据库。图片来源：USGS。

美国的有些县也制定和实施县域地下水政策。例如，华盛顿州京县（又译国王县，King County）参议会在2001年设立了一个地下水保护项目，通过提供管理、政策和技术知识等手段，帮助当地社区明确保护地下水的需要、把地下水资源作为当地其他规划（例如增长管理计划）中的一个组成部分，从而实现保护全县地下水资源的目的。京县把一个交互式地图挂在网上，使访问者可以通过互联网了解该县的地下水资源信息。

美国国家地质调查局还有可与地理信息系统（GIS）项目一起使用的含水层和其他水资源的地理空间信息。地理信息系统的作用是取得、储存、恢复、分析和展示地理空间数据。使用者可以使用地理信息系统和数据管理技术

管理复杂的信息。这些复杂信息是许多项目的设计和规划项目所需要的。地理信息系统数据包括以下几方面的信息：

- 含水层
- 水坝
- 地下水气候回应网络
- 水文单位
- 地表水取样地点
- 河流监测站
- 水资源利用
- 一般水文数据

地下水地图显示的数据有以下几类：

- 具体水井的预期产水量
- 井深
- 含水层类型
- 到岩床的深度
- 自然生成的无机化学物质
- 地下水地质学

地下水地图主要用地质信息和水文地质信息绘制。这些地图以美国国家地质调查局的地形图为底图，再加上重要的自然和人为特征，诸如道路、河流、湖泊和建筑物等。这些地图中的信息来源主要是测井仪、钻井报告、岩床信息，以及相关的地质和水文地质数据。

因为大规模开发和抽取水量增加，在全球的许多地区，地下水储量在下降。如果这个趋势继续下去，许多人担心，一些国家将无力满足家庭、农业、工业和环境的用水需要（USGS; Reilly, Dennehy, Alley, and Cunningham, 2008）。

最近几十年来，由于城区扩张、旱地农