

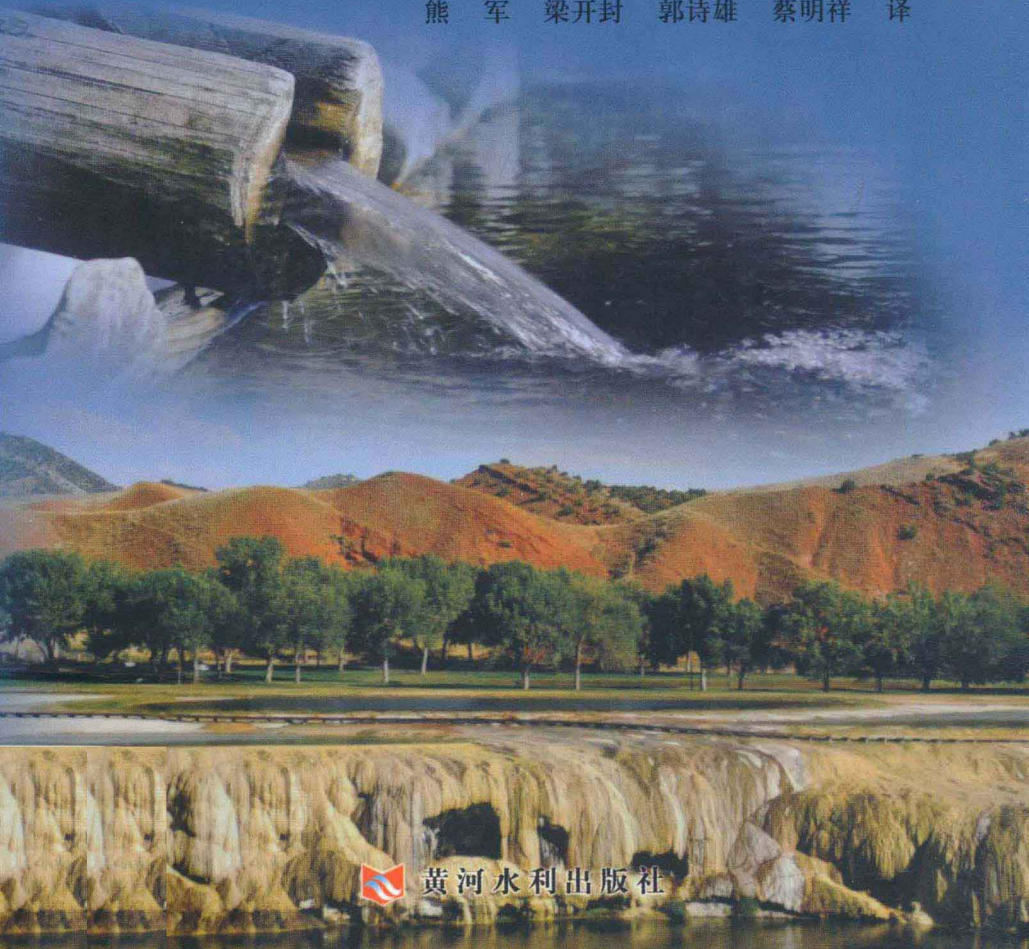
Mc
Graw
Hill Education

地下水资源的可持续性、 管理和修复 (上)

GROUNDWATER RESOURCES
Sustainability, Management, and Restoration

(美) Neven Kresic 著

熊 军 梁开封 郭诗雄 蔡明祥 译



黄河水利出版社

Groundwater Resources Sustainability,
Management, and Restoration

地下水资源的可持续性、管理和修复

(美) Neven Kresic 著

熊 军 梁开封 郭诗雄 蔡明祥 译

(上)

黄河水利出版社

· 郑州 ·

Neven Kresic

Groundwater resources: sustainability, management, and restoration

ISBN: 978 - 0 - 07 - 149273 - 7

Copyright © 2009 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Yellow River Conservancy Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2012 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Yellow River Conservancy Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和黄河水利出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权©2012 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与黄河水利出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

著作权合同登记号:图字 16 - 2012 - 179

图书在版编目(CIP)数据

地下水资源的可持续性、管理和修复/(美)内文·克雷希克
(Kresic, N.) 著;熊军等译. —郑州:黄河水利出版社, 2013. 2

书名原文: Groundwater resources: sustainability, management,
and restoration

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0161 - 2

I. ①地… II. ①克… ②熊… III. ①地下水资源 -
水资源管理 - 研究 IV. ①P641. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 317719 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:29.5

字数:850 千字

印数:1—1 800

版次:2013 年 2 月第 1 版

印次:2013 年 2 月第 1 次印刷

定价(上、中、下):70.00 元

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Krešić, Neven.

Groundwater resources : sustainability, management, and restoration/Neven Kresic.

p. cm.

Includes bibliographical references and index.

ISBN 978-0-07-149273-7(alk. paper)

1. Groundwater—Management. 2. Water conservation. 3. Water quality. 4. Aquifer storage recovery. I. Title.

TD403. K74 2008

333.91'04—dc22

2008025923

McGraw-Hill books are available at special quantity discounts to use as premiums and sales promotions, or for use in corporate training programs. To contact a representative please visit the Contact Us pages at www.mhprofessional.com.

Groundwater Resources

Copyright © 2009 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. Printed in the United States of America. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

我衷心地感谢 Joanne 先生和 Miles 先生，没有他们的理解与支持，本书的出版是不可能的。

作者简介

内文·克雷希克博士(Dr. Neven Kresic)是美国国际事务水文协会(American Institute of Hydrology for International Affairs)会长,主要负责此协会的国际事务。同时,他也是国际水文地质学家协会、国际水资源协会、国家地下水协会的成员之一。内文·克雷希克博士出版过有关地下水资源方面的4种书,同时也发表了多篇论文。他是专业的水文地质学家和地质学家。25年来,他为许多客户,包括来自工业部门、自来水公司、政府机构和环境法律事务所的客户提供培训、研究和咨询服务。

《地下水资源的可持续性、管理与修复》

翻译委员会

主 任	张华忠					
副 主 任	周运祥	周志勇				
委 员	王承云	刘正兵	陈 宇	李鹏云	刘永贵	
	马 恩	余 勇	宋金木			
学 术 顾 问	王 浩	翁立达				
策 划、组 织、统 稿	李 玉 珍					
译 校 审 人 员	熊 军	梁开封	郭诗雄	蔡明祥	刘 浩	
	熊 飞	彭茂林	伍松柏	吴应真	王学平	
	冯 俊	谭 华	李 星	陈 华	李军朝	
	管汉明	李德刚	赵 勇	左绪海	向继红	
	马奕仁	金华清	黎爱华	单 颖	张春艳	
	熊 艳	郭 涛	后 平	杨 兵	胡志国	
	梁逢斌	刘子慧	余继承	黄建和	郑 丰	
	常汉生	钱卓洲	金栋梁	杨 光	刘朝华	
	张 红	黄灿璨	刘 翔	何 静	刘 平	
	梁 玲	刘宝珍	李 昕	田芬芳	陈 娟	
	黄小敏	关金华				

译 序

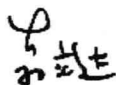
水是生命的源泉,也是社会经济发展不可或缺的资源。在里约热内卢举行的联合国环境与发展大会通过的“21世纪议程”宣言指出:淡水是一种有限的资源,不仅是维持地球和一切生命所必需的,而且对一切社会经济部门都具有生死攸关的重要意义。联合国环境署警告:“21世纪缺水问题将严重制约世界各国经济社会发展,并可能导致国家间冲突。”当前世界范围内的水资源以及提供与支持水资源的相关生态系统均面临着来自污染、过度开发利用、气候变化及其他诸多方面的威胁。我国也不例外,水资源问题已经成为制约我国社会发展的重要因素。

地下水是我国水资源的重要组成部分,其形成受气候、水文、地形等自然条件影响,也与当地地质构造、地层、岩性等因素有密切关系。地下水在我国特别是北方地区的生活和生产、农田灌溉和城市供水占有十分重要的地位。近年来,由于过度开发,长期超采地下水严重,我国北方一些地区地下水位急剧下降,已形成了巨大的地下水下降漏斗,并且漏斗中心不断加深,面积不断扩大。不少地区地下水资源枯竭,导致许多泉水、河流、湖泊和沼泽地的缩小和干枯,以泉水闻名的济南也曾一度失去了“泉城”的风采。一些沿海地区地下水过度开采,导致地面沉降突出、海水入侵等诸多生态环境问题,给海岸带的生态环境、资源和经济社会发展带来了一系列问题。而近年来日趋严重的水污染更加剧了地下水资源短缺的危机,地下水资源保护已经成为我国当前经济社会可持续发展面临的突出问题。需要指出的是,与地表水相比,地下水问题更为复杂,地下水生态系统更为脆弱,地下水一旦被污染,地下水生态系统被破坏后,其治理修复的难度将更大。

当前我国正在实施最严格水资源管理制度,各地正从编制地下水开发与保护规划、开展水功能区划、完善地下水监测、修复地下水生态

系统等方面着手加强对地下水资源的保护与管理。本书的出版正逢其时。特别是本书译者均为长期从事地下水资源工作的专家和学者,他们结合自身工作经验,从水资源评价、保护、修复、工程设计和管理等不同角度介绍了当前国际上在地下水管理与保护方面的最新进展,全面反映了本领域的最新成就。相信本书会给水利、水文水资源、地理、环境等专业的管理和研究人员,特别是从事地下水开发利用与保护的人员提供有实用价值的参考与借鉴。

长江水利委员会水资源保护局前局长



2012年11月

译者的话

《地下水资源的可持续性、管理和修复》(Groundwater Resources Sustainability, Management, and Restoration)由美国国际事务水文协会副会长、水文地质学家和地质学家内文·克雷希克(Neven Kresic)博士编著,2009年由麦格劳-希尔(McGraw-Hill)公司出版发行。该书分为全球淡水资源及利用、地下水系统、地下水补给、气候变化、地下水水质、地下水处理、地下水资源开发、地下水管理、地下水修复等9章。

该书中文版的翻译出版已经得到 Neven Kresic 博士及麦格劳-希尔公司的授权。

为了使中国读者更容易读懂这本书(中文版),在征得麦格劳-希尔公司同意的基础上,翻译过程中按照中国出版惯例和相应标准做了如下改动:一是将原书中第一人称改为第三人称;二是将原书分为上、中、下三册,并对第四层序号做了改变;三是英文版图名多为说明文,译者根据英文含意,有图名的,将图名和说明文分开排,说明文增加圆括号放在图名下,没有图名的,根据文中表述的图的内容增加图名;四是将版面欠佳的表进行了版面优化。

译者
2012年11月

前 言

在过去的十年左右,很少有术语像全球变暖和气候变化两个术语那样在国际科学界和一般公众面前引起更多的争论和关注。如果把这4个词组加以组合就会在头脑中立马闪现第三个术语——全球变化。在编写本书的时候,联合国政府间气候变化专业委员会(IPCC)已经发布了令人期盼已久的报告,报告显示了一些令人相当担忧的事实,同时预测了气候变化将造成的影响。在如今这个通信发达的时代,横跨所有大洲的、科学的以及其他一些真相、事实不会隐藏太久。虽然如此,也有相当一部分怀疑论者,包括一些政府,不顾别人正在迅速学习适应许多我们多年来从未在意过的根本性问题。在关于未来全球变化的各种讨论中,大家一致认为世界的可持续性是最具有说服力的。当人们对身边的能源、交通、粮食生产、森林、野生生物、城市、河流、农村以及许多其他的事物习以为常时,只要大家再细心关注一下它们中的任何部分,很有可能会发现大家需关注的一个简单问题是:人类赖以生存的活动可以一直持续下去吗?人类现在正在消耗的化石燃料具有可持续性吗?每天开车是可持续性的表现吗?森林采伐是可持续性的吗?人口增长具有可持续性吗?人类有破坏自然界其他物种的栖息地及物种本身的权利吗?等等这类问题可以列出更多。

与可持续性不能分离的问题是伦理道德问题。人们拥有可以否决别人的权利,无论是现在或将来,还是过去,人类做着同样的事情,现在能继续做吗?对于这样或者其他类似问题的回答,每个人可能有自己的看法,但是对于有一件事,大家都能达到一致看法,那就是:没有水,就没有生命。虽然这种说法在这里似乎不合时宜,但它却是一个普遍性的真理,对于这本书它是重要的,可用来完成下面的评述:地下水的枯竭已经导致并将继续导致许多泉水、江河、湖泊和沼泽范围缩小或干涸。众所周知,在世界的许多地方,动植物群体正在减少,因为地下水的消耗,许多物种也正在濒临灭绝。当然,世界上许多地方的粮食生产和人类活动在当前不抽取地下水是不可能的。媒体上的头条新闻关于

这方面的相关担忧使那些真正关注现代生活和未来发展的人们将燃料能源放到了持续关注的位置,而对那些暂时未影响到其日常生活的人们来说,他们甚少关注这些问题。例如,在2007年,有国家和世界级媒体的头条新闻这样报道:“西南地区预报,预测将有90年的干旱”(“人类活动引起的地球大气变化将导致美国西南地区持续90年的干旱”);“澳大利亚遭受1000年来最严重的干旱”;“干旱覆盖的陆地面积翻了一番”;国家气候数据中心(The National Climate Data Center)星期二报道:“9月底,美国43%左右的地区将会遭受中等到严重程度的干旱。”同时,该机构称:“今年是自陆地上有记录以来最温暖的。”

在读了有关旱灾的这些简短的新闻之后,人们可能会产生一些共识,并可能真正地担忧起来。考虑到美国和澳大利亚是世界上粮食出口量很大的国家,其农田灌溉都大大依靠地下水,包括(特别是)那些含水层已经被人们过度开发的地区,地下水供不应求,使含水层处在巨大的供水竞争压力之下。现在还增加了两个国家——中国和印度的新闻,会令人更加震惊,这是世界上人口最多的两个大国,这两个国家将继续消耗地下水以满足农田灌溉和供水需求。随后,考虑了非洲和中东大多数地区,这些地区长期水资源匮乏,且这种情况越来越严重。此外,尝试考虑的是涉及全球范围的各种连锁反应,包括食品安全、贫困、政治、地缘战略利益、难民、生态环境恶化、政局动荡等问题。

根据联合国教科文组织(UNESCO)公布的结果,预计世界上约有11亿人每日缺乏数十升的安全饮用水,而这个标准是联合国推荐的人均每日所需的最低水量,以确保每个人每天的正常喝水、吃饭以及环境卫生的基本需求。约有26个国家,总共超过3.5亿人,正处于严重缺水的状况,他们主要分布在干旱的陆地区域(干旱地区),尽管这些地区可获得的地下水资源足以应对此类地区的紧急需求情况(UNESCO, 2006, 2007),气候的变化、人口的增长、不合理的支配方式以及不适当的水资源管理已经造成了流离失所、绝望、营养不良、饥渴的人数持续增多。同样的因素也给很多发达国家的地表水,特别是地下水带来了持续的压力。不管一个国家的经济和政治如何发展,它都存在下面3个主要议题:①地下水资源供给农业(农民)用水量、人口增长的城市用水量和工业用水量存在如何平衡的问题;②地下水资源供给农业(农民)、人口增长的城市和工业用水不断消耗着地下水资源;③地下

水资源供给农业(农民)、人口增长的城市和工业用水对水资源的污染。尽管本书的焦点集中在地下水,下面的问题却没有引起足够重视:把地表水和地下水分为淡水的两个“独立的部分”是人为的,其实它们在很多方面有紧密联系,如果仅仅研究一个方面,而忽视了另外一个方面,将可能导致不合理的水资源管理决策。这就是本书有一个部分用来解释“水资源综合管理(IWRM)”的原因——这个理念正在进行越来越多的研究,并在许多地方、国家和地区(主要指政府间)得到应用。

整本书中,从现有水资源的数量和质量等各方面出发对地下水资源可持续性进行了论述,包括水资源评价、工程、管理、设计及修复。本书的前5章详细介绍了什么是地下水,它从哪里来,它是如何自然循环的,以及循环量的多少,预测气候变化对地下水的再补给和使用可能产生哪些影响。同时,也详细介绍了地下水的水质、污染源以及污染物的处理及输移。第6章涵盖了所有为达到饮用水标准而对地下水污染进行治理的各种传统和创新的技术。第7章和第8章介绍了利用工程技术抽取和管理地下水资源、水资源保护区的界定、地下水(含水层)脆弱性的分布状况以及各种各样的在地下水管理方面的论题,包括建模、监测、含水层的人工补给以及数据库和地理信息系统的开发。最后一章(第9章)介绍了被污染的地下水恢复,以供有益利用,包括污染源区和溶解相(羽状污染带)修复。

最后,本书作者衷心感谢下面这些水资源方面的专家学者,他们为这本书很慷慨地贡献了他们的专业知识和热情,他们是亚历克斯·米克斯泽夫斯基(Alex Mikszewski)、杰夫·马纳斯扎克(Jeff Manuszak)、马拉·米勒(Marla Miller)、亚历山德罗·弗朗奇(Alessandro Franchi)博士、罗伯特·科恩(Robert Cohen)、伊瓦纳·加布里克(Ivana Gabric)博士、内诺·库库里克(Neno Kukuric)博士、内纳德·弗尔维克(Nenad Vrvic)、塞缪尔·斯托(Samuel Stowe)和法萨德·福图希(Farsad Fotouhi)。

Neven Kresic 于弗吉尼亚州

目 录

译 序	翁立达
译者的话	
前 言	
第 1 章 全球淡水资源及利用	(1)
1.1 世界的水资源	(1)
1.2 淡水的可获性	(10)
1.3 水利用趋势及其案例	(12)
1.4 水短缺	(32)
1.5 水事纠纷	(38)
1.6 水经济	(42)
1.7 可持续性	(66)
参考文献	(71)
第 2 章 地下水系统	(85)
2.1 定 义	(88)
2.2 地下水系统的几何形状	(93)
2.3 地下水储存	(95)
2.4 水平衡	(110)
2.5 地下水流	(122)
2.6 初始条件与边界条件	(146)
2.7 含水层类型	(162)
2.8 滞水层	(199)
2.9 泉 水	(207)
2.10 海岸地区地下水与含盐地下水	(228)
参考文献	(237)
第 3 章 地下水补给	(254)
3.1 地下水补给情况简介	(254)

3.2	降雨—径流—补给的关系	(255)
3.3	蒸发蒸腾(<i>ET</i>)	(260)
3.4	入渗及包气带内水分运动	(265)
3.5	影响地下水补给的因素	(271)
3.6	估算地下水补给的方法	(280)
	参考文献	(304)
第4章	气候变化	(315)
4.1	气候变化简介	(315)
4.2	自然气候循环	(316)
4.3	人为气候变化	(337)
	参考文献	(349)
第5章	地下水质	(353)
5.1	地下水质简介	(353)
5.2	地下水的自然成分	(354)
5.3	地下水污染和污染物	(368)
5.4	饮用水标准	(418)
5.5	污染物的输移	(435)
	参考文献	(471)
第6章	地下水处理	(489)
6.1	地下水处理简介	(489)
6.2	氧化	(491)
6.3	澄清作用	(493)
6.4	过滤作用	(494)
6.5	膜滤	(499)
6.6	炭吸附	(502)
6.7	离子交换和无机吸附	(503)
6.8	生物处理	(504)
6.9	蒸馏	(504)
6.10	消毒	(504)
6.11	腐蚀控制	(508)

6.12	去除地下水中特定成分	(509)
6.13	饮用水处理成本	(528)
	参考文献	(533)
第7章	地下水资源开发	(540)
7.1	地下水资源开发情况简介	(540)
7.2	水 井	(544)
7.3	地下坝	(584)
7.4	泉水资源的开发和管理	(589)
	参考文献	(595)
第8章	地下水管理	(599)
8.1	地下水管理情况简介	(599)
8.2	地下水可持续性理念	(610)
8.3	法规框架	(622)
8.4	综合水资源管理	(639)
8.5	监 测	(645)
8.6	数据管理和地理信息系统	(660)
8.7	地下水资源的保护	(678)
8.8	模型与优化	(703)
8.9	人工含水层补给	(736)
	参考文献	(755)
第9章	地下水修复	(776)
9.1	地下水修复情况简介	(776)
9.2	风险评价	(784)
9.3	修复调查(RI)和可行性研究(FS)	(791)
9.4	污染源区修复	(802)
9.5	溶解相(羽状污染带)修复	(852)
9.6	测定修复技术的成功	(886)
	参考文献	(889)
附 表	(907)

第1章 全球淡水资源及利用

联合国教科文组织(UNESCO)总干事松浦コイチ(Koichiro Matsuura)从全球角度关于水资源对各国和国际社会的重要性作了如下论述:

水关系到每一个人。现在,几乎每天都能听到有关洪水、干旱、地表水或地下水受到污染的消息。这些问题的任何一个都直接或间接地影响了人类的生活和发展,包括人类的安全和健康(食品安全和健康)、经济发展(工业和能源)、人类最终赖以生存的自然生态系统。这些影响之间是相互关联的,需要全盘考虑。联合国系统总共有24个机构和实体从事相关的工作、具有共同的目标,它们提出了综合和客观的关于全球水资源的报告及应采取的措施,以应对困扰人类的相关挑战。

全球化和许多地区的经济快速发展改变了社会经济结构。显然,这些变化是普遍性的,但不全是正面的。许多人,特别是发展中国家和城郊以及农村的人口处于贫困和可预防的疾病困扰之中。

保障安全供水是基本的要求,这是不言而喻的。然而,正如该报告所表明的那样,水在发展中的核心作用既没有得到充分的理解也没有得到适当的评价。水利行业需要做更多的事情去教育人们,特别是决策者(UNESCO,2006)。

1.1 世界的水资源

地球表面积为5.1亿 km^2 ,其中1960年约有70.8%(3.611亿 km^2)被海洋水所覆盖,约3.4%(0.1734亿 km^2)被极地冰盖和冰川所覆盖,约0.17%(0.867亿 km^2)被天然淡水湖泊所覆盖,约0.14%(0.714亿 km^2)被咸水湖泊所覆盖(Nace,1960)。总海水面积,包括冰下面积、湖泊、内陆海在内约为1.48亿 km^2 。海水的总体积约为13.20亿 km^3 。极地冰盖和陆地冰川储水量估计为3040万 km^3 ,淡水

湖泊水量为 $125\,000\text{ km}^3$, 咸水湖泊和内陆海水量为 $104\,000\text{ km}^3$ 。

俄罗斯贝加尔湖是世界上最深的湖(1 620 m), 蓄水量为 $23\,000\text{ km}^3$ (Bukharov, 2001; USGS(美国地质调查局), 2007a), 即接近全球天然湖泊总蓄水量的 20%; 相当于北美大陆五大湖的总水量(苏必利尔湖、密歇根湖、休伦湖、伊利湖和安大略湖; $22\,684\text{ km}^3$) (USEPA(美国环境保护署), 2007a)。大多数淡水湖都位于高纬度地区, 仅加拿大的淡水湖泊就占全世界湖泊的 50%。许多湖泊, 特别是干旱地区的湖泊由于蒸发变成咸水湖。里海、死海和大盐湖是世界上主要的咸水湖。世界上的水库淡水总蓄水量约 $4\,286\text{ km}^3$ (Groombridge 和 Jenkins, 1998)。

包括各种木本沼泽、泥碳沼、草沼、泥沼地、泻湖、洪泛平原的湿地总面积约 290 万 km^2 (Groombridge 和 Jenkins, 1998)。大部分湿地水深为 $0\sim 2\text{ m}$, 永久性湿地的平均水深约为 1 m , 湿地的总容积为 $2\,300\sim 2\,900\text{ km}^3$ (UNEP(联合国环境计划署), 2007)。河槽的平均蓄水量约为 $1\,166\text{ km}^3$ (Nace, 1960)。

土壤内植物根系区(地表下 1 m 以内)含水量至少为 $25\,000\text{ km}^3$ 。距地表 800 m 以内地球岩壳的含水量约为 417 万 km^3 , $800\sim 3\,200\text{ m}$ 的含水量估计也同样多(Nace, 1960)。

全球总水量超过 13.58 亿 km^3 , 其中 97% 为海洋。陆地地表水和地下水总量(咸水和淡水)只有 $3\,900\text{ 万 km}^3$, 其中冰盖和冰川含水量占 78%, 内陆咸水湖和内陆海水量约占 0.27%。大部分冰盖和冰川水在格陵兰岛和南极, 远离人类居住的地方, 难以利用。格陵兰岛和南极以外的冰盖和冰川蓄存的淡水估计为 $180\,000\text{ km}^3$, 分布在世界各地仅 $550\,000\text{ km}^2$ 的区域 (UNEP, 1992, 2007; Untersteiner, 1975)。深度大于 800 m 的大部分地下水目前无经济利用价值或是咸水。这样, 地球上可利用的淡水资源不到全球总水量的 3%, 陆地上的水只有 11% 多一点可以利用。这点每年可再生和连续使用的水完全依赖于大气降水 (UNEP, 1960)。图 1.1 为除极地外的陆地可利用的淡水水量和所占比例(Nace, 1960)。

虽然上面的估算数字不很准确, 但这些估算数字却可以作为帮助大家确定淡水管理问题的尺度。咸水转化为淡水是一项艰巨而困难的