

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

■ 全球水安全研究译丛 ■



与水共生

Living with water:
Targeting Quality in a Dynamic World

动态世界中的水质目标

[德]Paul Pecha [荷兰]Gert E. de Vries / 著

黄 苗 董 磊 / 译

 长江出版社

▪ 全球水安全研究译丛 ▪



与水共生

Living with water:
Targeting Quality in a Dynamic World

动态世界中的水质目标

[德]Paul Pecha [荷兰]Gert E. de Vries / 著

黄 茁 董 磊 / 译



长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

与水共生:动态世界中的水质目标/(德)保罗·佩汉,
(荷)戈特·E.弗里斯著;黄茁译. —武汉:长江出版社,2017.5
(全球水安全研究译丛)
ISBN 978-7-5492-5140-7

I. ①与… II. ①保… ②戈… ③黄… III. ①水质管理—
研究—世界 IV. ①X32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 134010 号

湖北省版权局著作权合同登记号:图字 17-2018-030

Translation from English language edition:

Living with Water. Targeting Quality in a Dynamic World

By Paul Pechan and Gert E. de Vries

Copyright © 2013 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

与水共生:动态世界中的水质目标 (德)保罗·佩汉 (荷)戈特·E.弗里斯 著 黄茁 译

责任编辑:郭利娜

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

网 址:<http://www.cjpress.com.cn>

电 话:(027)82926557(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北精一佳印刷有限公司

规 格:787mm×1092mm

1/16

11.25 印张

224 千字

版 次:2017 年 5 月第 1 版

2018 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5492-5140-7

定 价:58.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

■ 全球水安全研究译丛 ■

编委会

主任：李青云

成员：黄 茁 汤显强 林 莉 赵伟华

曹慧群 王振华 吴 敏 赵良元

赵 鑫

水安全是指一个国家或地区可以保质保量、及时持续、稳定可靠、经济合理地获取所需的水资源、水资源性产品及维护良好生态环境的状态或能力。水安全是水资源、水环境、水生态、水工程和供水安全五个方面的综合效应。

在全球气候变化的背景下,水安全问题已成为当今世界的主要问题之一。国际社会持续对水资源及高耗水产品的分配等问题展开研究和讨论,以免因水战争、水恐怖主义及其他诸如此类的问题而威胁到世界稳定。

据联合国统计,全球有43个国家的近7亿人口经常面临“用水压力”和水资源短缺,约1/6的人无清洁饮用水,1/3的人生活用水困难,全球缺水地区每年有超过2000万的人口被迫远离家园。在不久的将来,水资源可能会成为国家生死存亡的战略资源,因争夺水资源爆发战争和冲突的可能性不断增大。

中国水资源总量2.8万亿 m^3 ,居世界第6位,但人均水资源占有量只有2300 m^3 左右,约为世界人均水量的1/4,在世界排名100位以外,被联合国列为13个贫水国家之一;多年来,中国水资源品质不断下降,水环境持续恶化,大范围地表水、地下水被污染,直接影响了饮用水源水质;洪水水患问题和工程性缺水仍然存在;人类活动影响自然水系的完整性和连通性、水库遭受过度养殖、河湖生态需水严重不足;涉水事件、水事纠纷增多;这些水安全问题严重威胁了人民的生命健康,也影响区域稳定。

党和政府高度重视水安全问题。2014年4月,习近平总书记发表了关于保障水安全的重要讲话,讲话站在党和国家事业发展全局的战略高度,深刻分析了当前我国水安全新老问题交织的严峻形势,系统阐释了保障国家水安全的总体要求,明确提出了新时期治水思路,为我国强化水治理、保障水安全指明了方向。

他山之石,可以攻玉。欧美发达国家在水安全管理、保障饮用水

安全上积累了丰富的经验,对突发性饮用水污染事件有相对成熟的应对机制,值得我国借鉴与学习。为学习和推广全球在水安全方面的研究成果和先进理念,长江水利委员会长江科学院与长江出版社组织翻译编辑出版《全球水安全研究译丛》,本套丛书选取全球关于水安全研究的最前沿学术著作和国际学术组织研究成果汇编等翻译而成,共10册,分别为:①水与人类的未来:重新审视水安全;②水安全:水—食物—能源—气候的关系;③与水共生:动态世界中的水质目标;④变化世界中的水资源;⑤水资源:共享共责;⑥工程师、规划者与管理者饮用水安全读本;⑦全球地下水概况;⑧环境流:新千年拯救河流的新手段;⑨植物修复:水生植物在环境净化中的作用;⑩气候变化对淡水生态系统的影响。丛书力求从多角度解析目前存在的水安全问题以及解决之道,从而为推动我国水安全的研究提供有益借鉴。

本套丛书的译者主要为相关专业领域的研究人员,分别来自长江科学院流域水环境研究所、长江科学院生态修复技术中心、长江科学院土工研究所、长江勘测规划设计研究院以及深圳市环境科学研究院国家环境保护饮用水水源地管理技术重点实验室。

本套丛书入选了“十三五”国家重点出版物出版规划,丛书的出版得到了湖北省学术著作出版专项资金资助,在此特致谢忱。

该套丛书可供水利、环境等行业管理部门、研究单位、设计单位以及高等院校参考。

由于时间仓促,译者水平有限,文中谬误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

《全球水安全研究译丛》编委会

2017年10月22日

译者序

水是生命之源,水安全是永恒的话题。随着人类科学技术的不断进步和经济的快速发展,产生的污染物种类、数量迅速增长,水污染问题日益突出,水质成为全球越来越关注的热点。本书针对不断发展变化的世界必须满足的水质目标,讲述了水从河源到注入海洋的运动过程中,典型水环境现状、水质影响因素以及它们所面临的挑战;讨论了水环境污染带来的影响以及人们正采取的措施;从技术和科学角度,阐述了许多与水相关的问题。专业人员可以从中学取丰富的材料,普通读者可以对全球水质问题及面临的挑战得到更深刻的认识,有助于提高公众保护水环境的意识和热情。

本书由保尔·佩汉(Paul Pechan)和吉尔特·德·弗里斯(Gert E. de Vries)等编著完成。保尔·佩汉是德国慕尼黑大学传播系与媒体研究方向的专家,主要研究植物生理与分子生物学,已出版过关于环境风险和食品安全的著作,以及联合国教科文组织的关于转基因问题的教学手册等。吉尔特·德·弗里斯在荷兰莱顿大学生命科学学院获得分子遗传学和微生物学博士学位,随后在圣克鲁斯(美国)、阿姆斯特丹、莱顿和格罗宁根(荷兰)等高校从事了20多年的微生物学和分子生物学的基础研究,后来改行从事科学交流和技术转让工作。

本书分为5个章节。第1章由保尔·佩汉等完成,总体概述了水的重要性、淡水的起源、水的分配和利用情况;阐明了水质和水量面临的压力、水资源影响因素以及针对水质问题应采取的行动或措施。第2章由朱迪·凯特兰(Jordi Catalan)等完成,概括了山区淡水生态系统的主要特征,介绍了山区淡水生态系统的影响因素(重点分析酸化与持久性有机污染物污染),并从生物转化、毒性影响、气候变化和扩散性污染的相互作用等方面提出山区淡水水体未来的研究方向。第3章由安雅·库尔斯(Anja Coors)等完成,以药物为例,阐述了污染物对生态和环境造成的风险;以氟西汀为例,介绍了人用药物的环境风险评价的结果,指出未来应对化学品污染问题应采取的行动和措施。第4章由吉尔特·德·弗里斯等完成,从水污染防治和水污染控制方面介绍了处理各种废水问题的行动和措施,从回

收水的必要性、废水再利用、营养资源再利用等方面,阐明了废水再利用面临的挑战。第5章由罗西·南希(Róisín Nash)完成,概括了海洋生态系统的背景,重点分析了人类活动对海洋生态系统造成的一系列的后果,以及为阻止生物多样性的丧失和水质破坏,人类应采取的行动,展望了保护海洋的未来,以及公众参与的途径。

本书是《全球水安全研究译丛》中的一册,由黄茁、董磊等翻译完成。黄茁博士现任长江科学院水环境所副所长、教授级高级工程师,主要从事流域水环境保护、水污染治理等方面的科研工作,负责本书的第1、2章全部和第3、4章的部分翻译工作,以及全文的统稿、校核。董磊现为长江科学院水环境所工程师,主要从事水污染监测和治理技术研究,负责本书前言、第5章全部和第4章的部分翻译工作,并协助统稿、校核。长江科学院水环境所工程师冯雪参与与本书的第3章翻译工作。长江科学院水环境所赵鑫博士和李欢参与了校核、协调等工作。

由于涉及水资源、环境、气象、生态、农业等多专业,译者对部分领域研究认识水平有限,译著中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

本书翻译工作的顺利完成,离不开国家自然科学基金面上项目“离子型表面活性剂对泥沙起动和沉降影响机制研究”(51379016)和水利部公益性行业专项经费项目“大东湖水网生态水文过程模拟技术及应用研究”(201401020)的资助;同时,长江出版社在封面设计、文字校对、文稿润色、出版安排等方面的出色工作,给译者带来的巨大帮助。借此机会,一并表示诚挚的感谢!

译者

2017年10月12日

前言

本书主要探讨全球水质问题，对全球人口增长所面临的水质问题进行了概述。水资源是有限的，其合理使用不仅要满足人类的需要，还要满足地球上所有其他生物的需要。

目前，我们已经使用了全球河水和地下水的 10%。水的主要损耗发生在水的输送过程中。全球人口的增长和生活水平的提高是人类对水的需求不断增长的主要推动力。

我们的用水量取决于可用水的数量和质量。本书重点关注后者——水的质量。目前有多方面的因素影响着清洁水的供给。例如，开发和获取自然资源(如石油或金属)伴随着水污染的风险。庞大的人口规模导致清洁水供给的压力进一步增加，这种情况越来越集中在沿海城市。对食物不断增长的需求，也导致了农作物中化学杀虫剂使用的增加，污染水源。另一个导致大规模全球水污染的原因是消费者需求和国家的购买力。产品在生产过程中往往会引起水污染，要可持续地使用清洁水，亟须创新的水处理技术并重复利用处理后的水，再将使用过的水以安全的方式排回到环境中。气候变化也会对水循环系统带来压力，除了经常提到的二氧化碳和全球变暖相关问题，二氧化碳、氮和硫的超负荷，正导致水源、河流、海洋逐渐酸化和富营养化。

本书从技术和科学上阐述了许多与水相关的问题。例如，正在研发的废水处理新技术，帮助科学家评估水质风险的创新性监测方法。风险评估有多方面的迫切需要，如帮助新的法规起草或评估现行法规的作用。

本书将我们带进一个从山上的水源到河流和河口，最后注入海洋的科学和技术的旅程。每个章节都包括了水源和它们所面临的具体挑战的背景信息，然后讨论了水污染的影响以及解决这些问题所需要采取的行动。最后，探讨了未来的发展趋势。

目录

Contents

第 1 章 与水共生

1.1 水——生命之源

1.1.1 水的重要性

1.1.2 水资源

1.1.3 水的可利用性

1.1.4 我们是如何使用水资源的

1.2 水质和水量的需求压力

1.3 水资源短缺

1.3.1 水资源分配不均

1.3.2 过度用水

1.3.3 气候变化

1.3.4 污染

1.4 水质

1.4.1 水质:人类消费与环境

1.4.2 水质挑战

1.4.3 水的风险

第 2 章 山区水体——全球污染的见证

2.1 背景

2.1.1 山区水体指示值

2.1.2 海拔梯度

2.2 影响水生态系统的因素	/ 27
2.2.1 温度	/ 28
2.2.2 水体中低含盐量	/ 28
2.2.3 营养物质	/ 29
2.2.4 水的透明度和高辐射	/ 29
2.2.5 除气候变暖外的全球变化	/ 30
2.3 影响	/ 31
2.3.1 酸化	/ 32
2.3.2 动态模型和未来规划	/ 34
2.3.3 持久性有机污染物	/ 37
2.3.4 全球蒸馏理论	/ 39
2.3.5 食物网的生物富集	/ 41
2.4 行动	/ 43
2.5 远景	/ 46
2.5.1 生物转化	/ 48
2.5.2 毒性影响	/ 48
2.5.3 气候变化和扩散性污染的相互作用	/ 48
第3章 淡水中的污染物: 以药物为例	/ 53

3.1 背景	/ 53
3.1.1 食物网	/ 54
3.1.2 人类的影响	/ 55
3.1.3 人为污染	/ 55
3.1.4 环境风险评价	/ 56
3.2 历史与现状	/ 57
3.2.1 何时以及如何发现药物对环境的潜在问题	/ 57
3.2.2 什么使药物成为一个特殊的问题	/ 60
3.3 后果	/ 62
3.3.1 暴露评价	/ 63
3.3.2 效果评估	/ 64
3.3.3 暴露效果比较	/ 66

3.3.4	确定淡水中的药物及其含量	/ 67
3.3.5	药物如何进入环境	/ 67
3.3.6	药物是如何无意识地影响环境中的生物	/ 69
3.4	行动与挑战	/ 70
3.4.1	以氟西汀为例的环境风险评价	/ 72
3.4.2	未来	/ 73
3.5	网址	/ 74
第 4 章 废水不是废物		/ 78
4.1	背景	/ 79
4.2	影响	/ 80
4.2.1	农业	/ 81
4.2.2	工业	/ 81
4.2.3	城市污水	/ 83
4.3	行动	/ 84
4.3.1	水污染防治	/ 84
4.3.2	水污染控制(废水处理)	/ 86
4.4	挑战	/ 88
4.4.1	回收水的必要性	/ 89
4.4.2	废水再利用的应用	/ 92
4.4.3	营养资源再利用	/ 98
4.5	结论	/ 106
第 5 章 海洋及保护其生物多样性的挑战		/ 111
5.1	背景	/ 111
5.2	引言	/ 113
5.3	海洋环境	/ 114
5.3.1	边缘环境	/ 115
5.3.2	河口	/ 116
5.3.3	沿海水域	/ 116

5.3.4	公海	联合国海洋公约	/ 117
5.4	水质	联合国水公约	/ 118
5.4.1	海洋生物多样性	联合国海洋生物多样性公约	/ 118
5.4.2	海洋污染	联合国海洋污染公约	/ 120
5.5	后果	联合国海洋生物多样性公约	/ 120
5.5.1	资源过度开发	联合国海洋生物多样性公约	/ 120
5.5.2	富营养化	联合国海洋生物多样性公约	/ 125
5.5.3	水产养殖	联合国海洋生物多样性公约	/ 126
5.5.4	入侵物种	联合国海洋生物多样性公约	/ 127
5.5.5	气候变化	联合国海洋生物多样性公约	/ 129
5.5.6	随机流量	联合国海洋生物多样性公约	/ 130
5.5.7	鱼类	联合国海洋生物多样性公约	/ 131
5.5.8	北极水域	联合国海洋生物多样性公约	/ 132
5.5.9	酸化	联合国海洋生物多样性公约	/ 133
5.5.10	生物多样性丢失	联合国海洋生物多样性公约	/ 133
5.6	行动	联合国海洋生物多样性公约	/ 135
5.6.1	资源过度开发	联合国海洋生物多样性公约	/ 136
5.6.2	气候变化	联合国海洋生物多样性公约	/ 137
5.6.3	水产养殖	联合国海洋生物多样性公约	/ 139
5.6.4	生物污染	联合国海洋生物多样性公约	/ 141
5.6.5	酸化	联合国海洋生物多样性公约	/ 143
5.6.6	生物多样性丧失和水质	联合国海洋生物多样性公约	/ 143
5.7	展望:未来的挑战	联合国海洋生物多样性公约	/ 146
5.8	社会的变化:我们可以做什么	联合国海洋生物多样性公约	/ 147

参考文献

/ 152



第1章

与水共生

本章提要:人类用水面临着两大主要问题。第一,我们的饮用水和灌溉用水必须是无盐的,即我们需要淡水,而淡水只占我们这个地球上可利用水总量的3%,其余的水都含有一定的盐分,不能直接用于生活饮用和农业灌溉。大多数可利用的水并非均匀地分布在地球上,而是主要以冰川和雪的形态集中存在于难以到达的区域。即使是在适宜人类生存的地区,水的分配也不均匀。有些地区水量充沛,有些地区则常年遭受干旱、缺水之苦。第二,虽然水是用之不竭的,但淡水也可能会受到某种程度的污染,导致其不能供人使用或者用来浇灌农作物。

当前,我们面临的一个主要挑战是为我们星球上居住的70多亿人提供安全的淡水,提供和拥有清洁水源是保障不断增长的世界人口幸福的关键,因清洁水源而引发争端甚至战争并非是一件令人惊奇的事情,所有与水相关的风险评估是决策者需要重点关注的。

来自各方面的压力给水质造成了诸多挑战,极端气候条件、人口增长、人口迁移以及经济发展都给我们的水资源带来压力。最大的压力来自地球上急剧增长的人口。100年前,地球上人口仅有20多亿,现在有70多亿。为了养活这么多人,需要不断增加粮食产量(需要消耗大量水)。一般大多数人集中在城市,产生的废水必须排走或处理掉,生活方式虽然得到改善,但是与之配套的社会基础设施(基本的卫生条件和污染控制)却没有得到合理提升,从而加剧了废水和水污染问题,因此,人口增长和生活水平的提高会对我们的水资源造成威胁。



1.1 水——生命之源

本节将阐述水的重要性、淡水的起源以及水在人类社会如何分配和利用。

1.1.1 水的重要性

水在地球上已存在几十亿年,其起源与地球大气形成密切相关,这大概要追溯到 44 亿年前,地球形成后约 4 亿年。但地球上水的准确起源并不确定,可能是原行星或彗星与年轻行星碰撞产生的。另一种解释是水受月球的影响,由气体生成,水也存在于太阳系中的其他行星和卫星。例如,据估计,木星的所有卫星上水的总量是地球上已发现水量的 50 倍以上,土星的卫星土卫六主要由冰和岩石组成。

我们知道地球上的生命很可能开始于液态水中。我们人类可以称为“水人”,因为我们身体的 75% 是水。如果没有水,我们仅能活几天,而没有食物我们仍可以存活数周。这一事实说明了水对人类的重要性。因为水是极性分子,所以它是一种很好的溶剂(即许多化合物易溶于水)。水也参与许多细胞的代谢过程,例如,植物细胞中水分子中的氢原子,与二氧化碳(从空气或水中吸收)结合形成葡萄糖而释放氧气(即光合作用)。水可电离成游离的水合氢离子和氢氧根离子,产生的水合氢离子具有调节细胞 pH 值(酸度)的重要功能。大多数科学家认为水是使生命从产生到进化的基本组成部分。

水是地球上最重要的物质,它支配着大气圈、水圈和岩石圈间的许多交互作用。水和冰塑造了地球,起着缓冲地球温度变化的作用。水是不停运动的,从水体蒸发到大气,再以雨、雪和冰的形态返回地面。水是生命和福祉的源泉。作为人类,我们需要喝水,并用水来生产我们生存所需的食物。

水是用之不竭的,它是一种已存在数亿年、无休止循环的物质。最简单的水循环形式是:水滴从云里落下,雨滴汇成河流,流入高盐分的海洋,在太阳炙烤下水又蒸发形成云。500 年前,我们的祖先在非洲喝的水和我们今天喝的水是一样的。不像其他自然资源有用完的时候,不管有多少人生活在地球上,水永不枯竭。

然而水不仅只是支撑我们生存需要那么简单。它在国家、宗教、神话和艺术的形成中同样发挥着重要作用。因为雨水从天上来,它一直被视为神和“天堂”的恩赐。大多数宗教都将水纳入他们神圣的仪式中,如基督教、伊斯兰教、犹太教、印度教和神道教的洗礼。在神道教,从神圣瀑布下走过可冲走污秽;印度教的教徒在恒河清洗自己视为精神的洗礼和迎接死亡的准备;在犹太教,水广泛被应用于纯洁的活动和仪式中,如在安息日前;在伊斯



兰教,洗礼身体的某个部分(洗小净)帮助信徒关注祷告对象;在基督教,水用于特定仪式的祝福,如洗礼。水被视作纯洁的、神圣的、有生命的。在某些地区,水被视为一种使人获得重生的手段,能洗去人身上的罪孽,并与天堂建立某种紧密的联系。另外,其也被视作摧毁个人或文化的强大力量,这并不奇怪。例如:在《圣经》《旧约律法》和《古兰经》都有关于大洪水的描述。

古往今来,水的治疗作用已被公认。在中国,水被认为是生命的五行之一(其他的是火、木、土和金)。要满足个体的关键代谢需求,必须摄入水。吸入水汽可以清理呼吸道,清水可以清洗感染的伤口。水对我们有一种冥想和镇静的作用。据说瀑布可增加我们的能量。水是溶解药物的首选媒介。它是药物在我们身体中传递的载体。有些人甚至认为水有一种“愈合的记忆”。19世纪末,德国发展的“顺势疗法”就是基于这样的理念,它宣称物质反复用水稀释到探测不到其痕迹的时候,水有一种物质的记忆功能,保留其愈合的功效。大多数科学家和医生则认为这些正面的效果都是安慰剂效应造成的。

人类对水的尊崇,不仅在于它在提供营养和赋予生命(虽然也会破坏生命)方面的重要性,也在于水能起到连接各聚居区间的作用。例如,尼罗河就体现了水在这方面的重要性,它孕育了人类最早的伟大文明摇篮之一——埃及。尼罗河作为主要的运输路线,向上游和下游运送基本物资至沿岸的城镇和村庄,埃及文明的存在依赖于它。尼罗河每年爆发的洪水沉积了营养丰富的沉积物,是农作物生长的基本条件,它支撑了沿河聚居区的建立。近4000年前,南非一次长时间的干旱导致尼罗河沿岸营养盐减少,水稻产量较差,这可能是导致埃及古王国衰落的一个原因。

河流在整个人类历史上发挥着重要的作用。殖民地的探险家顺着河流在北美洲和非洲发现了大部分地区。河流、湖泊和海洋过去是、现在仍然是文化和商业交流的媒介。当人类发现如何在浩瀚的大海上航行后,他们创造了“人类高速公路”。地中海的历史,太平洋岛屿、北美洲和南美洲的发现和殖民化,以及随后开展的贸易,展示了人类的探索精神,东印度贸易公司的历史证明了这一点——占有土地和自然资源,并将其作为商品谋取利润是进行探索活动的主要动机。为了实现这些目标,英国在印度次大陆和东南亚建造了许多居住区。这样的行为往往在开发中与本土居民和他们文化发生冲突。当今,世界政治版图在很大程度上反映了过去的水上贸易路线。可以理解的是,大多数的世界人口都紧靠大水体。随着越来越多的农村居民迁移到这些居民区,这种趋势不断上升。今天,全世界近50%的人口生活在大水体周边,而且在世界上17座大城市中有14座城市都位于沿海地区,其中大部分都位于亚洲。



1.1.2 水资源

地球上的总水量保持平衡。除了重大自然灾害以外，水在地球上的三种形态——液态、固态(冰)、气态(蒸汽)通常没有显著的增加或损失(见表 1.1)。

表 1.1

水在地球上的三种形态

水的形态		淡水	咸水
固态水		冰、雪、冰川	
液态水	地表水	降水、溪流、河流、湖泊	大海洋、盐水湖
	地下水	含水层、岩石孔隙水、土壤	
气态水		水蒸气、大气水	

水覆盖了地球表面的 75%，并通过蒸发和降水在海洋、陆地和大气之间循环。地球上约有 97% 的水为咸水，存在于海洋中。其余约 3% 的水为淡水。超过 70% 的淡水为固态冰川水，这意味着只有 1% 的水是可以直接供人类使用的。这 1% 可用的水，有 60% 被土壤吸收，只有 40% 存在于地表水或地下水中。地表水包括江河水、湖泊水。地下水主要存在于土壤和岩石的含水层中。水中含有不同种类的盐分，如氯化钠和镁。淡水中通常盐分含量小于 0.05%，半咸水(通常存在于含水层中)含有 0.05%~3% 的盐分，而咸水的含盐量通常在 3%~5%。

北美五大湖和俄罗斯贝加尔湖是典型的大型淡水湖泊。这些水体占全世界可供应淡水量的 40% 以上，也有一些河流携带大量的淡水。最大的河流是亚马孙河，其年平均流量可达到 20 万 m^3/s ，流域面积达 700 万 km^2 。第二大河流是刚果河，它的年平均流量达 42000 m^3/s ，流域面积达 370 万 km^2 。相比之下，尼亚加拉大瀑布年平均流量为 1800 m^3/s ，尼罗河刚刚超过 5000 m^3/s 。许多大的河流是非常古老的，比如尼罗河和亚马孙河，已经存在了 2 亿多年 (Gupta, 2007; http://www.bafg.de/cln_033/nn_266918/GRDC/EN/01_GRDC/grdc_node.html?_nnn=true)。

地下淡水的来源包括澳大利亚昆士兰的大自流盆地、南美洲的瓜拉尼含水层、北非的努比亚砂岩含水层、美国的奥加拉拉含水层等。含水层经过数百万年的发展，其中所包含的水的体积是很难确定的。可以确定的是，含水层中水的耗损速度高于补给速度。例如，根据已知的数据和现在的使用率，奥加拉拉含水层可能在 21 世纪末或更早的时间枯竭 (McGuire, 2007)。

水随着温度的变化而变化，一方面通过蒸发和蒸腾从液态变成气态，另一方面以液态和固态的形式形成降水。当水从云中以固态或液态的形式降落到地面时，水以地表水、地下水、雪、冰或冰川的形式成为生态系统的一部分。这就是水的循环(见图 1.1)。在这个水

