

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

水资源评价与管理

Shuiziyuan Pingjia Yu Guanli

主 编 刘汉湖 裴宗平
副主编 白向玉 付 豪

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

水资源评价与管理

主 编 刘汉湖 裴宗平
副主编 白向玉 付 豪

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍水资源评价与管理的理论和方法。全书主要包括:水循环与水资源开发利用状况,水资源(质、量)评价指标及评价方法,水资源系统优化方法,水资源管理的内容及方法,城市污水再生回用技术。

本书可作为环境科学与工程专业教材,也可供有关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源评价与管理/刘汉湖,裴宗平主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2007.9

ISBN 978 - 7 - 81107 - 739 -1

I. 水… II. ①刘…②裴… III. ①水资源—评价②水资源管理 IV. TV211.1 TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 144944 号

书 名 水资源评价与管理

主 编 刘汉湖 裴宗平

责任编辑 孙建波

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 264 千字

版次印次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

水是生命的源泉,也是社会经济发展和保护生态环境必不可少的重要资源。随着人口和经济的增长,世界水资源的需求量不断增加,而水环境却不断恶化,水资源紧缺已成为全球性问题。国际人口研究组织 1997 年发表研究报告认为,“在未来 50 年里,全世界至少有 1/4 的人口将面临水资源短缺”;联合国水资源大会亦指出,“水不久将成为一场深刻的社会危机”。

1999 年以前,作者一直从事水文地质教学和科研工作,为水文地质专业本科生开设“地下水资源系统分析”课。由于学科专业分工过细的局限,对于水资源的开发利用,尤其是地下水、地表水的综合评价、联合调度和科学管理问题一直未能得到很好解决,培养的人才和使用的教材仅侧重于地下水。2000 年以后,学校进行院系调整,成立了环境与测绘学院,作者转而从事环境科学教学和科研工作。从最初为环境科学 97 级开设《水资源规划与管理》(64 学时)开始,迄今已讲授 7 届,对本课程的教学内容的认识逐步深化。2000 版、2004 版环境科学专业培养方案中该课程名称改为《水资源评价与管理》,学时调整为 32 学时,期间曾选择使用过不同学校教材,但由于不同学校学科背景差异,教材的侧重点亦各有区别,因而在使用过程中感到教材内容不能完全满足教学要求。

水资源的合理开发利用、有效保护和管理,是维持水资源可持续利用、实现水资源良性循环的重要保证,也是维持社会进步、实现国民经济可持续发展的关键所在。教材编写的出发点,是在保持原水文地质特色基础上根据环境科学专业要求而使课程授课内容适合水资源学科的发展。

《水资源评价与管理》作为环境科学与工程专业的专业课教材,其主要任务是使学生全面深入了解全球水资源的形成、分布、开发和利用,系统地学习和掌握水资源质和量评价的基本理论和方法及评价指标体系;学习和掌握水资源供需平衡分析的系统分析方法,节水、污水再生回用的现代理论和技术;学习和了解水资源保护和管理的概念、法律法规体系、水环境监测和评价方法、水污染防治的概念、理论和方法,从而为未来合理利用和保护水资源奠定理论和技术基础。

本教材的编写得到了中国矿业大学课程建设与教学改革项目支持,由中国矿业大学环境与测绘学院刘汉湖、裴宗平、白向玉、付豪编写。全书共分六章。第 1 章、第 2 章由刘汉湖执笔,第 3 章、第 5 章由白向玉执笔,第 4 章由裴宗平执笔,第 6 章由付豪执笔,最后由刘汉湖统稿。

在编写过程中,中国矿业大学环境与测绘学院有关领导和教师提供了许多帮助,环境科学硕士研究生夏宁、孙晓虎完成部分文字输入工作,对此表示感谢。

在教材编写中参考了大量文献,作者尽可能一一注明,但由于文献较多,疏漏在所难免,在此向被遗漏的作者表示歉意,并向所有参考文献作者表示衷心感谢!

本书不仅可作为环境科学专业教材,也可作为环境工程、水文水资源、给水排水工程专业教学参考书,并可供有关工程技术人员参考。

由于教材涉及众多学科和编者水平所限,本教材难免会存在错误和不足,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 4 月于徐州

目 录

1 绪 论	1
1.1 水资源的基本含义	1
1.2 水资源的特性	2
1.2.1 资源的循环性	2
1.2.2 储量的有限性	2
1.2.3 时空分布的不均匀性	3
1.2.4 被利用的多样性	3
1.2.5 利和害的两重性	3
1.3 水资源的研究现状和发展趋势	3
1.3.1 水资源模拟和模型化	4
1.3.2 水资源系统分析多目标化	4
1.3.3 水资源信息管理系统	4
1.3.4 水环境理论和技术的先进性	5
1.4 水资源评价与管理的任务和内容	5
2 水循环和水资源开发利用状况	6
2.1 地球的水量储存和循环	6
2.1.1 地球的水储量和分布	6
2.1.2 地球上的水循环	7
2.1.3 水量平衡	9
2.2 全球的水资源	11
2.2.1 全球水资源的开发利用状况	11
2.2.2 全球水资源面临的主要问题	13
2.3 中国的水资源	14
2.3.1 中国水资源量概况	14
2.3.2 中国水资源的时空分布特征	14
2.3.3 中国水资源的开发利用状况	16
2.3.4 中国水资源面临的主要问题	17
3 水资源质量评价	20
3.1 水资源的质量分类	20
3.1.1 水资源的质量分类	20
3.1.2 水资源质量评价的分类	23

3.2	常规供水的水质评价	24
3.2.1	水质指标体系	24
3.2.2	生活饮用水的水质评价	25
3.2.3	工业用水的水质评价	28
3.2.4	农业用水的水质评价	33
3.3	水环境质量评价	36
3.3.1	地表水环境质量评价	36
3.3.2	地下水环境质量评价	38
4	水资源数量评价	41
4.1	水资源的形成	41
4.1.1	地表水资源的形成和类型	41
4.1.2	地下水资源的形成和运动规律	45
4.2	地表水资源数量评价	52
4.2.1	水资源的分区	52
4.2.2	地表水资源数量评价的内容	53
4.2.3	河流径流量计算	53
4.2.4	分区地表水资源量计算	64
4.2.5	地表水资源的时空分布特征	64
4.2.6	地表水资源可利用量估算	65
4.3	地下水资源数量评价	66
4.3.1	地下水资源的数量分类	66
4.3.2	地下水资源数量评价的内容、原则和一般程序	68
4.3.3	地下水资源补给量和储存量计算	69
4.3.4	地下水资源允许开采量计算	71
5	水资源系统分析	85
5.1	概述	85
5.1.1	系统	85
5.1.2	系统工程	86
5.1.3	系统分析	86
5.1.4	水资源系统分析	88
5.2	水资源系统的数学模型	89
5.2.1	模型的概念	89
5.2.2	建立模型的一般要求	89
5.2.3	水资源系统中常用的模型	90
5.3	线性规划	90
5.3.1	线性规划的数学模型	90
5.3.2	线性规划的图解法	91

5.3.3	线性规划问题的标准型和典型型	94
5.3.4	单纯形法	97
5.3.5	线性规划在水资源系统分析中的应用	103
5.4	动态规划	106
5.4.1	多阶段决策问题及其求解方法	106
5.4.2	动态规划的基本思路和基本方程	107
5.4.3	动态规划模型的建立和求解	110
5.4.4	动态规划在水资源系统分析中的应用	114
5.5	信息系统和决策支持系统	119
5.5.1	信息系统	119
5.5.2	决策支持系统	120
5.5.3	智能决策支持系统	120
5.5.4	人工神经网络和遗传算法	120
6	水资源管理	122
6.1	概述	122
6.1.1	水资源管理的重要性	122
6.1.2	国内外水资源管理状况	123
6.2	水资源管理概论	124
6.2.1	水资源管理系统	124
6.2.2	水资源管理的目的及其特点	125
6.2.3	水资源管理的依据和原则	125
6.2.4	水资源管理的功能	127
6.2.5	水资源管理的内容和方法	129
6.3	供水管理	131
6.3.1	概述	131
6.3.2	农业供水管理	132
6.3.3	城市供水管理	133
6.3.4	城市供水管理的实施	134
6.4	用水管理和节水	134
6.4.1	用水管理的手段	135
6.4.2	用水管理的目标	135
6.4.3	用水计划	135
6.4.4	水费和水资源费	136
6.4.5	农业的合理用水和节约用水	137
6.4.6	城市的合理用水和节约用水	140
6.5	污水再生回用	142
6.5.1	污水回用概述	142
6.5.2	污水回用目标和回用水质标准	144

6.5.3	污水量计算和预测	149
6.5.4	污水再生处理技术	153
6.5.5	污水回用的经济分析	156
6.5.6	污水再生回用对策	159
参考文献		161

1 绪 论

水是人类赖以生存和发展不可替代的自然资源,同时也是维系生态平衡、决定环境质量状况最积极和最活跃的自然因素。随着水资源危机的加剧和水环境质量的不断恶化,水资源短缺已经成为制约经济发展的重要因素。

1.1 水资源的基本含义

在国外,较早采用水资源(water resources)这一概念的是美国地质调查局(USGS)。1894年,美国地质调查局设立水资源处,其主要业务范围是对地表河川径流和地下水进行观测。此后,随着水资源研究范围不断拓展,人们要求对“水资源”的基本内涵给予具体的定义和界定。

《不列颠百科全书》将水资源解释为:“全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水的总量。”这一解释为“水资源”赋予十分广泛的含义。实际上,资源的本质特性就体现在其“可利用性”。毫无疑问,不能被人类所利用的物质就不能称为资源。基于此,1963年英国的《水资源法》把水资源定义为:“(地球上)具有足够数量的可用水。”在水环境污染并不突出的特定条件下,这一概念比《不列颠百科全书》中赋予水资源的定义更为明确,强调了水在量上的可利用性。

联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》中,将水资源定义为:“可以利用或有可能被利用的水源,具有足够数量和可用的质量,并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”这一定义的核心主要包括两个方面:其一是应有足够的数量;其二是强调水资源的质量。有“量”无“质”或有“质”无“量”,均不能称之为水资源。为此,这一定义比英国《水资源法》中水资源的定义具有更为明确的含义,不仅考虑水的数量,同时又必须具备质量的可利用性。

我国开发利用水资源具有悠久的历史,逐渐形成了比较完整且具中国特色的水利科学体系。公元前250年左右,秦代李冰在四川省岷江中游修建了举世闻名的都江堰水利工程,从而解决了成都平原的水旱灾害。

1988年8月1日颁布实施的《中华人民共和国水法》将水资源认定为:“地表水和地下水。”《环境科学词典》(1994)将水资源定义为:“特定时空下可利用的水,是可再利用资源,不论其质与量,水的可利用性是有限制条件的。”

《中国大百科全书》在不同的卷中对水资源亦给予了不同解释。如在大气科学卷、海洋科学卷、水文科学卷中,均将水资源定义为:“地球表层可供人类利用的水,包括水量(水质)、水域和水能资源,一般指每年可更新的水量资源。”而在水利卷中则将水资源定义为:“自然界各种形态(气态、固态或液态)的天然水,并将可供人类利用的水资源作为可供评价的水资源。”

引起对水资源的概念及其内涵具有不尽一致的认识和理解的主要原因在于:水资源是一个既简单又非常复杂的概念。它的复杂内涵表现在:水的类型繁多,具有运动性,各种类型的水体具有相互转化的特性;水的用途广泛,不同的用途对水量和水质具有不同的要求;水资源所包含的“量”和“质”在一定条件下是可以改变的;更为重要的是,水资源的开发利用还受到经济技术条件、社会条件和环境条件的制约。正因为如此,人们从不同的侧面认识水资源而造成对水资源一词理解的不一致性和认识的差异性。

综上所述,水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水,既包括数量和质量方面的含义,又包括使用价值和经济价值方面的含义。一般认为,水资源概念具有广义和狭义之分。

狭义上的水资源,是指人类在一定经济技术条件下能够直接使用的淡水。

广义上的水资源,是指在一定经济技术条件下能够直接或间接使用的各种水和水中的物质。为此,在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。

广义上的水资源强调水资源的经济、社会和技术属性,突出社会经济技术发展对于水资源开发利用的促进和制约。在当今经济技术发展水平下,进一步扩大了水资源的范畴,那些原本造成环境污染的量面广的工业、城市生产和生活污水亦成为水资源的重要组成部分,从而从根本上解决了长期困扰国民经济发展的水资源短缺问题。在突出水资源实用价值的同时强调水资源的经济价值,可以利用市场理论和经济杠杆调配水资源的开发和利用,以实现经济、社会与环境效益的统一。

鉴于水资源的固有属性,本书所论述的“水资源”主要限于狭义水资源范畴,即与人类生活和生产活动、社会进步息息相关的淡水资源。考虑到水资源研究的拓展,书中对于污水再生回用亦将做一定介绍。需要指出的是,由于统计数据资料的局限,书中涉及的水资源数据资料为淡水资源,除非特定注明之处。

1.2 水资源的特性

水是自然界的重要组成物质,是环境中最活跃的要素。它不停地运动着,积极参与自然环境中一系列物理的、化学的和生物的作用过程,在改造自然的同时亦不断改造自身的物理化学和生物学特性,由此表现出水作为地球上重要自然资源的独有的性质和特征。

1.2.1 资源的循环性

水资源与其他固体资源的本质区别在于它所具有的流动性,它是在循环中形成的一种动态资源,具有循环性。水循环系统是一个庞大的天然水资源系统,处在不断开采、补给和消耗、恢复的循环之中,以不断地供给人类利用和满足生态平衡需要。

1.2.2 储量的有限性

水资源时时处于不断消耗和补充过程之中,具有恢复性强的特征。但在实际上,全球淡水资源储量却是十分有限的。全球的淡水资源仅占全球总水量的 2.5%,大部分储存在极地冰帽和冰川中,真正能够被人类直接利用的淡水资源仅占全球总水量的 0.8%。从水量动态平衡的观点来看,某一期间的水消耗量应接近于该期间的水补给量,否则将会破坏水平衡,从而造成一系列不良环境问题。可见,水循环过程是无限的、水资源的储量是有限的,并非取之不尽、用之不竭。

1.2.3 时空分布的不均匀性

水资源在自然界具有一定的时间和空间分布。时空分布的不均匀性是水资源的又一特性。全球水资源的分布极不均匀,如径流模数大洋洲为 $51.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$,亚洲为 $10.5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$,澳大利亚仅为 $1.4 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。最高和最低的相差数倍或数十倍。

我国的水资源在区域上分布也极不均匀,总体表现为东南多、西北少,沿海多、内陆少,山区多、平原少。在同一地区的不同时间分布差异性亦很大,一般夏多冬少。

1.2.4 被利用的多样性

水资源是被人类生产和生活活动广泛利用的资源,不仅广泛应用于农业、工业和生活,还用于发电、水运、水产、旅游和环境改造等。在各种不同的用途中,有的是消耗性用水,有的则是非消耗性或消耗很小的用水,而且各种用途对水质的要求亦不相同。这是能使水资源一水多用、充分发挥其综合效益的有利条件。

1.2.5 利和害的两重性

水资源与其他固体矿产资源相比,最大区别在于:水资源具有既可造福于人类又可危害人类生存的两重性。

水资源质、量适宜且时空分布均匀,可为区域经济发展、自然环境的良性循环和人类社会进步做出巨大贡献。水资源开发利用不当又可制约国民经济发展、破坏人类生存环境,如水利工程设计不当、管理不善,可造成垮坝事故而引起土壤盐碱化。水量过多或过少的季节和地区,往往可产生各种各样自然灾害。水量过多容易造成洪水泛滥、内涝渍水,水量过少容易形成干旱等自然灾害。适量开采地下水,可为国民经济各部门和居民生活提供水源,满足生产、生活需求;无节制、不合理地抽取地下水,往往会引起水位持续下降、水质恶化、水量减少、地面沉降,不仅影响生产发展,而且严重威胁人类生存。正是由于水资源的利和害双重性质,在水资源的开发利用过程中尤其需要强调合理利用、有序开发,以达到兴利除害目的。

1.3 水资源的研究现状和发展趋势

20 世纪 60 年代以来,随着世界经济迅速发展,工、农业生产规模不断扩大,用水量不断增加,用水问题在世界范围已十分突出。加强对水资源合理开发利用、管理和保护的研究受到广泛关注。联合国教科文组织(UNESCO)、联合国粮食及农业组织(FAO)、世界气象组织(WMO)、联合国工业发展组织(UNIDO)等已广泛开展水资源研究,不断扩大国际交流。

1965 年联合国教科文组织成立了国际水文十年机构(IHD)(1965~1974),120 多个国家参加水资源研究。该机构组织了水量平衡、洪涝、干旱、地下水、人类活动对水循环的影响研究,特别是在农业灌溉和都市化对水资源的影响等方面的大量研究取得了显著成绩。1975 年成立国际水文规划委员会(IHP)(1975~1989)接替 IHD。第一期 IHP 计划(1975~1980)突出与水资源综合利用、水资源保护等有关的生态、经济和社会各方面的研究;第二期 IHP 计划(1981~1983)强调水资源与环境关系的研究;第三期 IHP 计划(1984~1989)则研究“为经济和社会发展合理管理水资源的水文学和科学基础”,强调水文学和资源规划与管理的联系,力求有利于解决世界水资源问题。

1972 年成立国际水资源协会,1973~1988 年间召开 6 次水资源专题国际会议,主要从

水——人类生存——环境系统探讨世界水资源问题。

联合国地区经济委员会、粮农组织、世界卫生组织(WHO)、联合国环境规划署(UNEP)等制定了配合水资源评价活动的内容。水资源评价遂成为一项国际协作活动。

1977年联合国在阿根廷马尔德普拉塔召开的世界水会议第一项决议中明确指出:没有对水资源的综合评价,就谈不上对水资源的合理规划和管理。要求各国进行一次专门的国家水平的水资源评价活动。联合国教科文组织在制定水资源评价计划(1979~1980)中提出的工作有:制定计算水量平衡及其要素的方法,估价全球、大洲、国家、地区和流域水资源的参考水平,确定水资源规划管理和计算方法。

1983年第九届世界气象会议通过了世界气象组织和联合国教科文组织的共同协作项目——水文和水资源计划。其主要目标是保证水资源量和质的评价,对不同部门毛用水量 and 经济可用水量的前景进行预测。同年,国际水文科学协会修改的章程中指出:水文学应作为地球科学和水资源学的一个方面来对待,其主要任务是解决在水资源利用和管理中遇到的水文问题以及由于人类活动而引起的水资源变化问题。

1987年5月在罗马由国际水文科学协会和国际水力学研究会共同召开的“水的未来——水文学和水资源开发展望”讨论会提出,在水资源利用中人类需要了解水的特性和水资源的信息,人类对自然现象的求知欲将是水文学发展的动力。

瑞典皇家科学院、国际湖沼学会、国际水质协会、国际水资源协会、国际供水协会、世界银行和世界野生生物基金会等组织联合发起,从1991年起每年在斯德哥尔摩召开一次国际水会议,就全球水资源问题开展广泛讨论。

随着国际水资源研究的不断深入,迫切要求利用现代理论和方法识别和模拟水资源系统,规划和管理水资源,保证水资源的合理开发、有效利用和实现优化管理。经过多学科长期共同努力,在水资源利用和管理的理论和方法方面取得了明显进展。

1.3.1 水资源模拟和模型化

随着计算机技术迅速发展和信息论、系统工程理论在水资源系统研究中的广泛应用,水资源系统的状态和运行的模型模拟已成为重要的研究工具。各类确定性、非确定性、综合性的水资源评价和管理数学模型的建立和完善,使水资源的信息系统分析、供水工程优化调度、水资源系统的优化管理和规划成为可能,从而加强了水资源合理开发利用、优化管理的决策系统的功能和决策效果。

1.3.2 水资源系统分析多目标化

水资源动态变化的多样性和随机性,水资源工程的多目标性和多任务性,河川径流和地下水的相互转化,水质和水量相互联系的密切性,种种因素均使水资源问题更趋复杂化,它涉及自然、社会、人文、经济等各个领域和方面。因此,在对水资源系统分析过程中更应注重系统分析的整体性和系统性。在水资源规划过程中,应用线性规划、动态规划、系统分析理论寻求目标方程的优化解。现代的水资源系统分析正向着多层次、多目标的方向发展和完善。

1.3.3 水资源信息管理系统

为了适应水资源系统分析和系统管理需要,目前已初步建立水资源信息分析和管理系统,主要涉及信息查询系统、数据和图形库系统、水资源状况评价系统、水资源管理和优化调度系统等。水资源信息管理系统的建立和运行提高了水资源研究的层次和水平,加快了水

资源合理开发利用和科学管理的进程,成为水资源研究和管理的重要技术支柱。

1.3.4 水环境理论和技术的先进性

人类大规模的经济和社会活动对环境和生态的变化产生了极为深远影响。环境、生态的变异又反过来引起自然界水资源的变化、部分或全部地改变原来水资源的变化规律。人们通过对水资源变化规律的研究,寻找这种变化规律与社会发展和经济建设之间的内在关系,以便有效地利用水资源,使环境质量向着有利于人类当今和长远利益的方向发展。同时节水、污水再生回用、水体污染控制和修复的现代理论和技术的研究亦取得显著进展。

1.4 水资源评价与管理的任务和内容

水资源的合理开发利用、有效保护和管理,是维持水资源可持续利用、实现水资源良性循环的重要保证,也是维持社会进步、实现国民经济可持续发展的关键所在。“水资源评价与管理”作为环境科学与工程专业的专业课教材,其主要任务是使学生全面深入了解全球水资源的形成、分布、开发和利用,系统地学习和掌握水资源质和量评价的基本理论和方法、评价指标体系;学习和掌握水资源供需平衡分析的系统分析方法,节水、污水再生回用的现代理论和技术;学习和了解水资源保护和管理的基本概念、法律法规体系、水环境监测和评价方法、水污染防治的概念、理论和方法,从而为未来合理利用和保护水资源奠定理论和技术基础。

本教材的主要内容包括以下方面:

- ① 水资源的循环、赋存和分布;
- ② 水资源质量评价指标和评价体系;
- ③ 水资源评价、水量计算的理论和方法;
- ④ 水资源系统分析的方法体系;
- ⑤ 节水的理论、技术和指标体系;
- ⑥ 污水再生回用的理论和技术的方法体系;
- ⑦ 水资源保护和管理的内容、方法和措施。

2 水循环和水资源开发利用状况

2.1 地球的水量储存和循环

2.1.1 地球的水储量和分布

地球表面面积为 5.11 亿 km^2 , 水圈(地壳表层、表面和围绕地球的大气层中气态、液态和固态的水组成的圈层)内全部水体总储量达 13.86 亿 km^3 。地球海洋面积为 3.62 亿 km^2 , 占地球总表面积的 70.8%; 含盐量为 35 g/L 的海洋水量为 13.38 亿 km^3 , 占地球总储水量的 96.5%。全球陆地面积为 1.49 亿 km^2 , 占地球总表面积的 29.2%, 其水量仅为 0.48 亿 km^3 , 占地球总储水量的 3.5%。

在陆地有限的水体中并不全是淡水。据统计, 陆地上的淡水量仅为 0.35 亿 km^3 , 占陆地水储量的 73%, 占全球总储水量的 2.5%。其中, 0.24 亿 km^3 (占淡水储量的 69.6%) 的水以各种形态分布于冰川、多年积雪、两极和多年冰土中, 在现有经济技术条件下很难被人类所利用。目前, 可供人类利用的水只有 0.1 亿 km^3 , 占淡水总量的 30.4%, 占陆地总储水量的 20.8%, 占全球总储水量的 0.8%, 主要分布在 600 m 深度以内的含水层、湖泊、河流、土壤中。地球上各种水的储量分布如表 2-1 所示。

表 2-1 地球水圈中的水的分布

水 体		总水量		咸水总量		淡水总量	
		10^3 km^3	%	10^3 km^3	%	10^3 km^3	%
大气水		12.9	0.0009			12.9	0.037
地表水	海洋水	1 338 000	96.54	1 338 000	99.05		
	河流水	2.12	0.000 2			2.12	0.006
	沼泽水	11.5	0.000 8			11.5	0.033
	湖泊水	176.4	0.013			91.0	0.260
	冰川和永久积雪	24 064.1	1.74	85.4	0.006	24 064.1	68.520
地下水	地下水	23 400.0	1.69	12 780	0.95	10 620.0	30.240
	永冻层中的水	300.0	0.02			300.0	0.886
	土壤水	16.5	0.001			16.5	0.047
生物水		1.12	0.000 1			1.12	0.003
总 计		1 385 984.6	100	1 350 865.4	100	35 119.2	100

资料来源:《中国大百科全书·水文科学》,1987 年版。

由此可见,地球上水的储量是巨大的,但可供人类利用的淡水资源在数量上则是极为有限的,占全球总储水量的比例还不到 1%。即使如此有限的淡水资源分布也极不均匀。

年降水量和河流的年径流量可以反映一个国家(地区)的水资源数量和特征。年径流量不仅包含降水时产生的地表水,而且还包括地下水的补给,所以世界各国通常采用多年平均径流量来表示水资源的数量。表 2-2 表示为世界各大洲淡水资源的分布状况。

表 2-2 世界各大洲水资源分布情况

名 称	面 积 (万 km ²)	年降水量		年径流量		径流模数 L/(s·km ²)
		mm	km ³	mm	km ³	
欧 洲	10 500	789	8 290	306	3 210	9.7
亚 洲	43 475	742	32 240	332	14 410	10.5
非 洲	30 120	742	22 350	151	4 570	4.8
北美洲	24 200	756	18 300	339	8 200	10.7
南美洲	17 800	1 600	28 400	661	17 760	21.0
大洋洲 ^①	1 267	2 700	3 610	1 610	2 040	51.0
澳大利亚	7 683	456	3 470	453	348	1.4
南极洲	13 980	165	2 310	156	2 310	5.2
全部陆地	14 900	800	119 000	314	46 800	10.0

说明: ① 不包括澳大利亚,但包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛和伊里安岛等岛屿。

由上表可见,世界上水资源最丰富的大洲是南美洲,其中尤以赤道地区水资源最为丰富;水资源较为缺乏的地区是中亚南部、阿富汗、阿拉伯和撒哈拉。西伯利亚和加拿大北部地区因人口稀少,人均水资源量相当高。澳大利亚的水资源并不丰富、总量不多。就各大洲的水资源相比较而言,欧洲稳定的淡水量占其全部水量的 43%,非洲占 45%,北美洲占 40%,南美洲占 38%,澳大利亚和大洋洲占 25%。

2.1.2 地球上的水循环

一般而言,地球上的水储量只是在某一瞬间储存在地球不同空间位置上水的体积,以此来衡量不同类型水体之间量的多少。应该注意的是,在自然界中水体并非静止不动,而是处在不断运动过程中,不断地进行交替和更新,这就是水的自然循环过程。

水的自然循环又称自然界的水文循环,是指地球上各种形态的水在太阳辐射、地心引力等作用下,通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗及径流等环节,不断地发生相态转换和周而复始运动的过程。地球上水的自然循环表现如下——在太阳辐射能作用下水从海洋和陆地的江、河、湖和土壤表面及植物叶面蒸发成水蒸气上升到空中并随大气运行至各处,在水蒸气上升和运移过程中遇冷凝结而以降水形式又回到陆地或水体;降到地面的水除植物吸收和蒸发外,一部分渗入地表以下成为地下径流,另一部分沿地表流动成为地面径流,再通过江河流回大海;然后又继续蒸发、运移、凝结形成降水。

自然界的水文循环,根据其循环途径分为大循环和小循环,如图 2-1 所示。

大循环,是指水在大气圈、水圈、岩石圈之间进行的循环过程。具体表现为——海洋中的水蒸发到大气中后,一部分飘移到大陆上空形成积云,然后以降水形式降落到地面;降落到地面的水,一部分形成地表径流,通过江河汇流入海洋,另一部分渗入地下形成地下水,又以地下径流或泉流形式慢慢地注入江河或海洋。

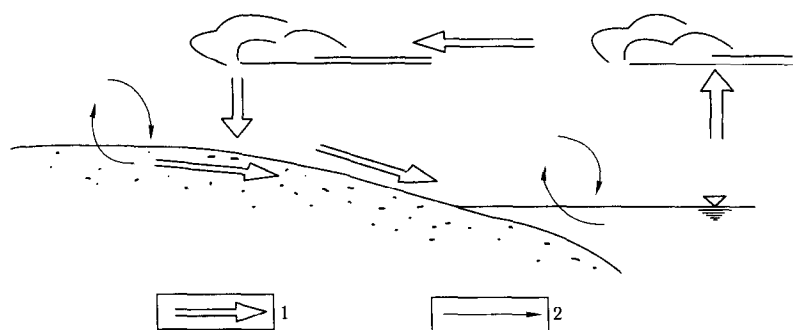


图 2-1 自然界中水的循环示意图

1——大循环；2——小循环

小循环,是指陆地或者海洋本身的水单独进行循环的过程。具体表现为:陆地本身的水循环主要是通过蒸发作用(包括江、河、湖、水库等水面蒸发、潜水蒸发、陆面蒸发和植物蒸腾等)上升到大气中形成积云,然后以降水形式降落到陆地表面而形成径流。海洋本身的水循环主要是海水通过蒸发成水蒸气而上升,然后再以降水方式降落到海洋中。

水循环是地球上最主要的物质循环之一。通过形态的变化,水在地球上起到输送热量和调节气候的作用,对于地球环境的形成、演化和人类生存都有重大的作用和影响。水的不断循环和更新为淡水资源的不断再生提供条件,同时也为人类和生物的生存提供基本的物质基础。

根据联合国 1978 年的统计资料,参与全球动态平衡的循环水量为 0.057 7 亿 km^3 ,仅占全球水储量的 0.049%。参与全球水循环的水量中,海洋部分的比例大于陆地部分,海洋部分的蒸发量大于降雨量,详见表 2-3。

表 2-3 全球水循环状况

分 区	面积/万 km^2	水量/ km^3		
		降 水	径 流	蒸 发
世界海洋	36 200	458 000	47 000	505 000
世界陆地	14 900	119 000	47 000	72 000
全 球	51 100	577 000		577 000

参与循环的水,无论从地球表面到大气,还是从海洋到陆地或从陆地到海洋,都在不断地进行更替和自身净化。地球上各类水体由于储存条件的差异,其更替周期具有很大的差别。所谓水体的更替周期,是指在补给停止条件下,各类水从水体中排干所需要的时间,一般可按下式进行估算:

$$T = \frac{Q(t)}{q(t)} \quad (2-1)$$

式中 T ——水体的更替周期;

$q(t)$ ——单位时间内水体中参与循环的水量;

$Q(t)$ ——某一时刻水体中储存的水量。