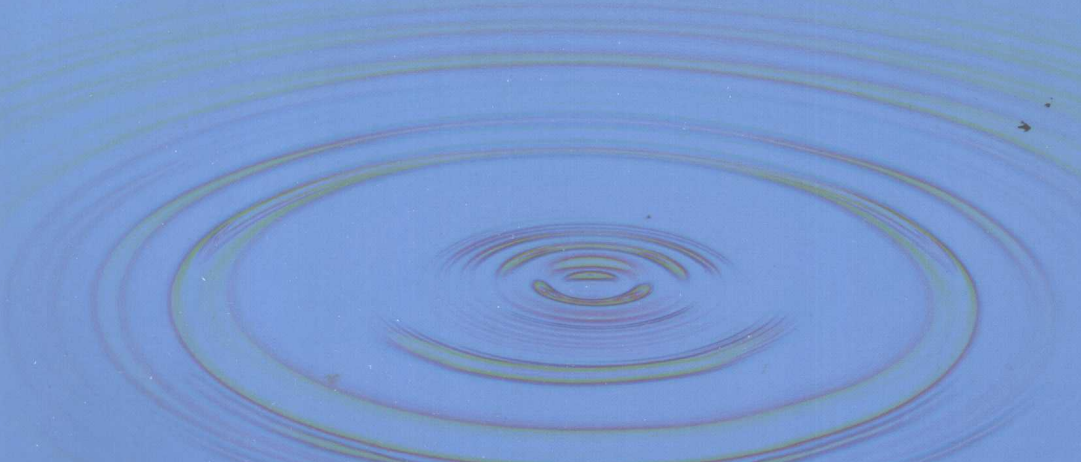


高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

水健康循环导论

李 冬 张 杰 著
蒋展鹏 主审



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

水健康循环导论

李 冬 张 杰 著

蒋展鹏 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水健康循环导论/李冬, 张杰著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-10130-6

❖ I. 水… II. ①李…②张… III. 水循环—高等学校—教材

IV. P339

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182464 号

高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

水健康循环导论

李 冬 张 杰 著

蒋展鹏 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京华艺制版公司制版

北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 12 字数: 300 千字

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月第一次印刷

定价: 20.00 元

ISBN 978-7-112-10130-6

(16933)

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)

本书阐述了人类社会用水循环与自然水文循环相和谐的用水模式，指出了一种新的水资源利用观和一个审视人与自然和谐发展的新视角。全书共分8章：第1章 水循环、水环境与水资源；第2章 水环境恢复机制与方略；第3章 城市水系统健康循环；第4章 水资源利用模式的变革；第5章 城市排水系统功能的变革；第6章 污水再生全流程优化与工艺技术；第7章 流域水环境综合管理；第8章 流域水环境恢复与城市水系统健康循环战略规划实例。

本书可用作给水排水工程、环境工程及相关专业的本科生和研究生的教材，也可用作工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑：王美玲

责任设计：赵明霞

责任校对：刘 钰 王雪竹

前 言

联合国环境署 2002 年 5 月 22 日发布的《全球环境展望》指出“目前全球一般的河流流量大幅减少或被严重污染,世界上 80 个国家占全球 40%的人口严重缺水。如果这一趋势得不到遏制,今后 30 年内全球 55%以上的人口将面临水荒。”2005 年中国环境质量公报称“国家环境监测网七大水系的 411 个地表水监测断面中,Ⅰ~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的比例分别为 41%,32%和 27%,100 个国控省界断面中,Ⅰ~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的比例分别为 36%、40%和 24%。”实际上,全国江河除源头外,都受到了不同程度的污染。大多数城市下游河段均为Ⅴ类或劣Ⅴ类水体。全国 660 多座城市中有 400 多座缺水,其中多数为水质型缺水,水危机已突现在我们面前。

水危机的根源除了世界人口快速增长,工业高度发达的客观原因之外,它的直接原因是:18 世纪产业革命之后,兴起的“二元论”自然观。把人类自身从地球生物圈中解放出来,凌驾于自然之上,成为地球的主宰,相信“人定胜天”。采用“高开采、低利用、高排放”的生产、生活方式,野蛮地消耗地球资源,任意污染自然环境,全然不知地球上的资源和环境容量都是有限的。人类对水资源的无度取用,对水环境随意污染和破坏,就使得水环境不堪重负,在某些发达地区出现了有河皆枯、有水皆污的悲惨景象,威胁着人类的生存和发展。为此人类进行了深刻反思,寻求人类与自然、资源、环境的和谐。于是“可持续发展”理念和“循环经济”社会生产模式就应运而生。水是不可替代的自然基础资源,是可再生的循环型资源。这就决定了人类社会用水的健康循环是循环型社会的基础。

此前,给水排水工程学科的骨干课程为给水工程和排水工程,分别讲授城市给水系统和排水系统的各种工程技术,使学生具有设计与管理城市给水排水系统的能力。为我国的城市建设和发展作出了重要贡献。这种城市水系统的目的是供给城市安全可靠的工业和生活用水。城市的污水或不经处理或经过一定处理就及时地尽快地排出城区之外的下游水体,保护城区居民舒适的卫生环境。但是,在人们尽情享受现代给水排水工程技术带来的舒适与便捷的同时,现代水事文明的双刃剑却污染了下游水体乃至全流域。给水排水工程本科与研究生教育遭遇了前所未有的挑战。

为适应这一需要,给水排水工程学科就应从单纯工程技术的研究中解放出来,拓宽其内涵与外延。不但要研究给水排水工程技术,还要研究给水排水系统

的社会循环规律,更要研究水的自然循环运动规律以及社会循环与自然循环二者间错综复杂的互动关系。要把城市和城市群放到整个水流域或区域中来研究其水事活动。探求人类社会用水健康循环的道路。达成上游地区的用水循环不影响下游水域的水体功能;水的社会循环不损害水的自然循环的规律。形成流域内城市群间水资源的重复与循环利用,使有限的水资源满足全流域社会经济的持续发展。

世界各国都为此作出了巨大的努力,我国学者也进行了大量的工作,许多高校筹建水资源管理课程,从多方面探求解决水危机的途径。但目前还没有一部适宜的教材供师生们参考。笔者所在的科研团队多年来创立了社会用水健康循环的研究方向,完成了深圳、大连、北京等城市水系统的健康循环方面的规划,培养了多名博士和硕士研究生,出版了专著《水健康循环原理与应用》。深信把这些研究成果、工程实践和国内外有关文献整合起来,可以成为一部适合我国给排水科学与工程(给水排水工程)、环境科学与工程本科与研究生教育的一部好教材——《水健康循环导论》。以增强青年学生珍惜水资源,爱护水环境,注重社会用水健康循环的理念,增强对人类社会生存和发展,对国家经济建设事业发展的使命感和责任感。

全书共分8章。第1章水循环、水环境与水资源,使学生建立水自然循环、社会循环以及其内在联系与机制的整体概念,系统讲解水循环、水资源与水环境的内涵、定义与相互联系,打下“人水和谐”、人与自然和谐的“天人合一”自然观的基础。第2章水环境恢复机制与方略,讲授水环境退化机制,讨论水环境恢复的社会基础,建立水环境恢复的方针和总策略。第3章城市水系统健康循环,建立污水再生、再利用和再循环的人类社会用水的新模式理念,掌握实现社会用水健康循环的策略和方法。第4章水资源利用模式的变革,反思人类社会取水模式的发展过程,提出以流域为单元的上、下游水资源共享的可持续取水模式。第5章城市排水系统功能的变革,讲授城市排水系统的产生、发展和当前遭遇的挑战,提出排水系统新的使命和功能的变革,树立城市排水系统是城市水资源循环和重复利用的枢纽,土壤营养物质循环的纽带,能源与物质回收的基地。第6章污水再生全流程优化与工艺技术,建立从城市原污水水质到再生水水质,统筹设计处理、净化流程,合理分配各处理与净化单元的去除污染物及其负荷的观念,应用省能省资源省投资的实用技术创建污水再生全流程,注重有机物与磷、氮去除的互动关系和物化、生化的协同效益。第7章流域水环境综合管理,讲授我国与世界各国水资源的典型管理模式,提出当前我国水资源、水环境管理模式的欠缺,教授学生水量与水质、上游与下游、生态与社会用水统筹管理的理念。第8章流域水环境恢复与城市水系统健康循环战略规划实例,树立从流域角度建立城市群间水健康循环工程规划的概念,讲授城市再生水供应系统工程规划

原理与方法，通过工程实例的分析，学生掌握建立水健康循环工程方案和经济比较、投资估算及效益分析等基本知识。

本书阐述了人类社会用水循环与自然水文循环相和谐的用水模式，指出了一种新的水资源利用观和一个审视人与自然和谐发展的新视角。希望以水健康循环的理念培养我国水资源与水环境领域新一代人才，并能够将这种创新思想逐步应用到我国各地城市水系统领域中。但愿对改变我国现行的粗放用水模式，恢复碧水清流有所启发。

目 录

第 1 章 水循环、水环境与水资源	1
1.1 水循环	1
1.1.1 自然界中的水文循环	1
1.1.2 人类社会用水循环	8
1.1.3 水的社会循环与自然循环的关系	8
1.2 水环境	12
1.2.1 水环境含义	12
1.2.2 我国水环境	12
1.2.3 水环境退化根源分析	19
1.3 水资源	24
1.3.1 地球上水的储量	24
1.3.2 循环水资源	26
1.3.3 各地区的水资源量分布格局	27
1.3.4 中国水资源	30
第 2 章 水环境恢复机制与方略	36
2.1 水环境恢复机制	36
2.2 水环境恢复的社会基础	37
2.3 水环境恢复方略	39
第 3 章 城市水系统健康循环	43
3.1 全球水循环系统分析	43
3.1.1 地球水循环系统	43
3.1.2 社会水循环系统	44
3.1.3 社会水循环现状	46
3.2 城市水资源和城市水系统	47
3.2.1 城市水资源	47
3.2.2 城市水系统	49
3.2.3 城市水系统的健康循环方略	50

第4章 水资源利用模式的变革	71
4.1 传统用水模式	72
4.1.1 纽约的城市供水发展	74
4.1.2 北京的城市供水发展	76
4.2 传统用水模式的反思	78
4.3 取用水模式的革新	85
第5章 城市排水系统功能的变革	87
5.1 城市排水系统发展历程与挑战	87
5.1.1 城市排水系统发展简史	87
5.1.2 城市排水系统面临的严峻挑战	88
5.2 城市生态系统物质平衡分析	91
5.3 21世纪城市排水系统	92
5.3.1 城市排水系统功能与任务	92
5.3.2 现代城市排水系统模型	93
5.3.3 现代城市排水系统规划与设计	97
第6章 污水再生全流程优化与工艺技术	101
6.1 污水再生全流程理念	101
6.2 污水生物除磷与脱氮机理	104
6.2.1 氮磷与水体污染	104
6.2.2 城市污水传统除磷脱氮理论	108
6.3 厌氧—好氧活性污泥法脱氮除磷工艺	116
6.3.1 厌氧—好氧(A/O)生物除磷工艺	116
6.3.2 缺氧—好氧(A/O)生物脱氮工艺	117
6.3.3 厌氧—缺氧—好氧(A ² /O)生物脱氮除磷工艺	119
6.3.4 UCT工艺、改良UCT工艺及VIP工艺	120
6.3.5 短程硝化/反硝化工艺	121
6.3.6 同时硝化—反硝化(SND)工艺	122
6.4 反硝化除磷工艺	123
6.4.1 反硝化除磷机理	123
6.4.2 反硝化除磷工艺的研究进展	124
6.4.3 生物除磷的影响因素	127
6.5 厌氧氨氧化生物自养脱氮工艺	129
6.5.1 厌氧氨氧化菌的发现和厌氧氨氧化过程机制	129
6.5.2 厌氧氨氧化生物自养脱氮工艺的开发	131
6.5.3 厌氧氨氧化废水脱氮工艺的应用	132

6.5.4 厌氧氨氧化生物自养脱氮工艺应用到城市污水处理所面临的挑战	134
6.6 好气滤池	134
6.6.1 好气滤池的构造	136
6.6.2 好气滤池运行工况参数	139
6.7 污水再生全流程设计	139
6.7.1 A/O生物除磷—厌氧氨氧化生物脱氮污水再生流程	140
6.7.2 A/O除磷—短程硝化/反硝化脱氮污水再生流程	141
6.7.3 反硝化除磷—好气滤池污水再生流程	142
6.7.4 倒置反硝化脱氮—化学除磷—好气滤池污水再生流程	143
6.7.5 A ² O脱氮除磷—好气滤池污水再生流程	143
第7章 流域水环境综合管理	144
7.1 水环境管理模式	144
7.1.1 基本概念	144
7.1.2 国际社会水环境水资源管理模式的探求	145
7.1.3 我国水环境管理现状	146
7.1.4 水环境管理的良好模式——流域综合管理	151
7.2 面源污染的控制	154
7.2.1 面源污染的形成	154
7.2.2 面源污染对水环境的危害	155
7.2.3 面源污染的控制方法	156
7.3 工业点源污染的防治	157
7.3.1 清洁生产	157
7.3.2 有毒污染物的就地处理处置	159
第8章 流域水环境恢复与城市水系统健康循环战略规划实例	161
8.1 深圳特区城市中水道系统规划	161
8.1.1 创建深圳特区中水道系统的必要性	162
8.1.2 再生水用户研究	163
8.1.3 特区污水深度处理与再生水道规模研究	164
8.1.4 再生水厂与再生水供水管道规划	164
8.1.5 推荐城市再生水道水质和污水再生全流程	165
8.1.6 城市再生水道的效益	167
8.2 北京市水环境恢复与水资源可持续利用战略研究	167
8.2.1 概况	167
8.2.2 水资源与水环境现状	168
8.2.3 北京市水环境恢复与水资源可持续利用方略	169

8.2.4 方略实施的预期效果	171
8.3 大连市海水与污水资源战略研究	171
8.3.1 污水资源战略	172
8.3.2 海水资源战略	173
8.3.3 大连市水资源总战略	173
8.4 第二松花江流域水环境恢复战略规划	174
8.4.1 水系概况	174
8.4.2 水环境恢复战略研究	175
主要参考文献	180

第1章 水循环、水环境与水资源

1.1 水 循 环

1.1.1 自然界中的水文循环

水是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是世间万物赖以生存、发展的生命之源。生物体中含水量占70%~90%，岩石、土壤也富含水分。如果没有水，物种就要灭绝，人类无以生存，地球将成为一片死寂之地。

1. 水文循环的定义

水在自然界中以固态、液态、气态这三种存在方式在水圈、大气圈、岩石圈、生物圈范围内处于往复不停的循环运动状态中：在太阳辐射和地心吸引力的作用下，水从海洋蒸发变成云（水蒸气），云被风输送到大陆上空，又以雨或雪的形式降到地面，部分蒸发，部分渗入地下或汇入河川形成地下、地表径流，最终又回归大海。水的这种周而复始的循环运动称为水的自然循环，也叫水文循环，如图1-1所示。

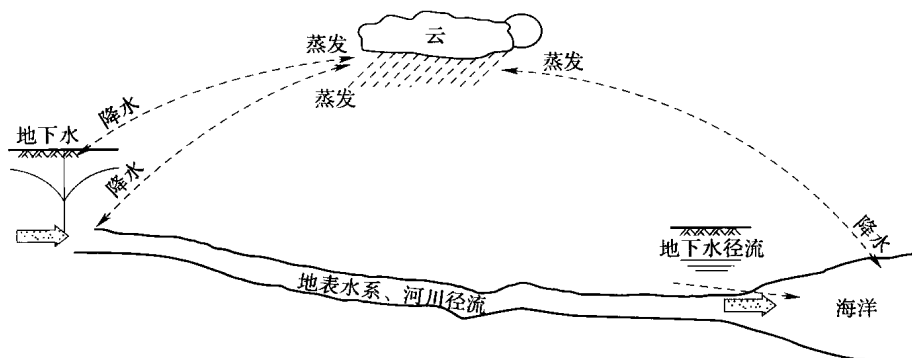


图 1-1 水的自然循环示意图

自然水文循环具有诸多显著的特点。其一，自然水循环是一个相对稳定的、错综复杂的动态系统。远非是一个简单的蒸发、降水重复过程。水资源的质与量及其分布状况是自然历史发展的产物，它既有历史继承性的一面，又有不断变化发展新生性的一面。虽然目前还难以详细地研究水文循环历史演化的全貌，但地史学、地貌学、古水文地质及古气候的研究成果已经证明了水文循环是个不断演化的过程。同时，自然水文循环又是一个错综复杂的动态平衡系统。在水循环的

过程中涉及蒸发、蒸腾、降水、下渗、径流等各个环节，而且这些环节相互交错进行。例如，蒸发现象既存在于海洋、江河、湖沼和冰雪等水体表面，也存在于土壤、植物的蒸发和蒸腾作用，甚至连动物、人体也无时无地不在进行水分的蒸发。虽然我们常常将蒸发看成是水循环的起点，但是实际上，水的整个循环过程是无始无终的，蒸发贯穿于水循环的全过程，如降水、径流过程中都随时随地存在蒸发现象。正是水循环的这种动态复杂系统特性，使得水在地球上不断得以循环往复更新，滋养着地球上的万物。其二，在水的自然循环中，不但存在水量的平衡关系，而且还存在着水质的动态平衡关系，即水质的可再生性。水质的动态平衡体现在水的蒸发（该过程就是净化过程），随后形成雨、雪降落到地面、自然水体。其所挟带一定量的有机或无机物质在水的地下、地表径流运动中，通过物理稀释、化学反应或微生物的分解，使水质维持在原有水平上，于是形成一个动态的平衡。

2. 水文循环的量

全球淡水补给依赖于海洋表面的蒸发。每年海洋要蒸发掉 $50.5 \times 10^4 \text{ km}^3$ 的海水，即约 1.4m 厚的水层。此外，陆地表面还要蒸发 $7.2 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。

所有降水中有 80% 降落到海洋，即 $45.8 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{a}$ ，其余 $11.9 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{a}$ 的降水降落于陆地。每年陆地表面的降水量超过蒸发量，地表降水量和蒸发量之差就形成了全球地表径流和地下水的补给量——大约 $4.7 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{a}$ 。全球水循环的水量平衡如图 1-2 所示。

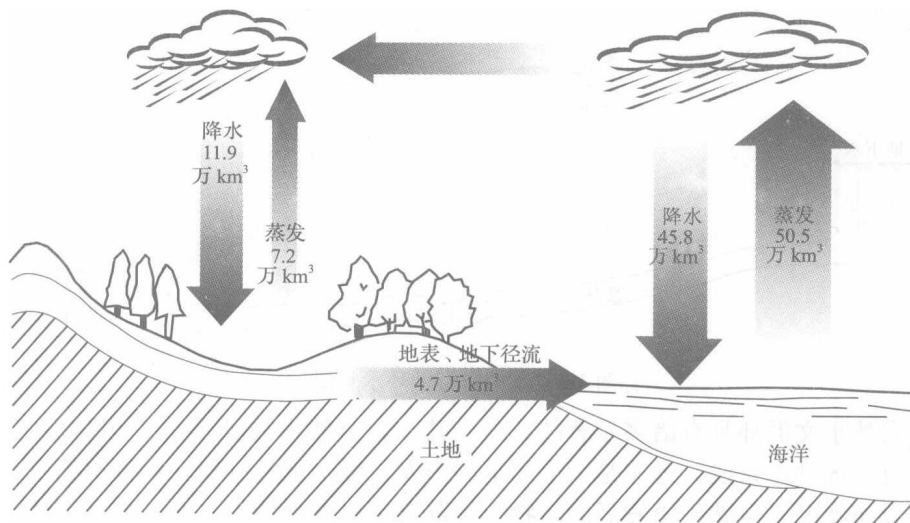


图 1-2 全球水循环的水量平衡

从图 1-2 中可以清楚看出，地球每年的水循环中，海洋以及陆地的蒸发可以看成是水循环的起点，通过蒸发、输送、降水、渗流等复杂的过程，完成水的水

文循环运动。

蒸发量的多少在一定程度上影响着当地的降雨和气候。不同地区的蒸发量一般并不相同,有些甚至相差很大。例如,非洲纳米比亚的温德霍克地处高原,沿海为沙漠,西面为大西洋,气候较热,蒸发量大,全年蒸发量为 3467mm。而欧洲的莫斯科全年蒸发量为 300mm,前者比后者多蒸发近 11 倍。世界部分城市平均蒸发量见表 1-1。

部分城市平均蒸发量

表 1-1

洲	国家	城市	最大月		最小月		全年蒸发量 (mm)
			蒸发量 (mm)	月份	蒸发量 (mm)	月份	
亚洲	中国	北京*	290	5	55	1	1861
		上海	205	7	54.2	1	1436
		广州	288.7	5~6	24.1	11~1	—
	日本	东京	141.5	8	46.8	12	1062.8
		神户	195.9	8	64.7	12	1383.4
欧洲	葡萄牙	里斯本	210.2	7	59.5	12	1484.2
	俄罗斯	莫斯科	70	5~7	5	11~12	300
非洲	突尼斯	加贝斯	182	7	119	11	1716
	马里	莫普提	223	4	129	12	1983
	尼日尔	尼亚美	219	5	131	8	2057
	肯尼亚	蒙巴萨	239	3	147	7	2353
	赞比亚	马兰巴	304	10	132	6	2303
	马达加斯加	塔那那利佛	143	10	80	6	1172
	纳米比亚	温得霍克	389	10	193	6	3467
	博茨瓦纳	马翁	401	10	178	6	3058
大洋洲	澳大利亚	佩思	263	1	45	7	1688
	澳大利亚	阿利斯斯普林斯	308	1	86	6	2388
	新西兰	惠灵顿	107	1	18	7	686
拉丁美洲	墨西哥	瓜达拉哈拉	284.9	5	119.2	12	2264.9
	尼加拉瓜	马那瓜	392	3	114	10	2771
	波多黎各	圣胡安	202	3, 7	137	11	2060
	阿根廷	图库曼	168	1	46	6	1336

注: * 北京气象台所在地。

3. 自然水文循环的功能

地球上的各种水体通过蒸发（包括植物蒸腾）、水汽输送、降水、下渗、地表径流和地下径流等一系列过程和环节，把大气圈、水圈、岩石圈和生物圈有机地联系起来，构成一个庞大的水循环系统。在水循环系统中，水在连续不断地运动、转化，使地球上各种水体处于不断更新状态，从而维持全球水的动态平衡。在这一动态循环运动中，自然水文循环给我们带来了丰富的资源和多彩的气象变化。

（1）水文循环运动影响着全球的气候和生态

首先，水循环影响着全球的气候变化。通过蒸发进入大气的水蒸气是产生云、雨和闪电等现象的主要物质基础，而空气中水蒸气的含量将直接决定区域的湿润状况。水文循环还可使部分海洋水汽流随大气流深入大陆内部，在一定程度减轻内陆的干燥，改变其自然景观。其次，自然水文循环又同时维持着地球热量的平衡。水文循环使得不同时段、不同地域内的水热状况得到重新分配，如水通过蒸发在某个时间和地区将太阳辐射转变为潜能，经过水循环，在另一个时间和地区内又通过降水将潜能释放。海洋中的暖流由低纬地区流向高纬地区时所释放的热量提高了周围地区的气温，寒流由高纬地区流向低纬地区时吸收了热量，降低了周围地区的气温。

（2）提供生物生存用水，为人类生存发展提供基础

水是万物生命之源，不仅滋养着世界万物，而且对人类的生存发展和食物生产更是具有不可替代的作用。随着社会的发展，人类对水的需求量也日益增加，据统计资料显示，20 世纪 90 年代全球水的年使用量达 $30000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，较 300 年前增长了 35 倍。降水和径流正是滋养着万物和人类生存发展的物质基础。

（3）巨大的能源基地

地表水体载舟航运是自远古以来利用频率最高的一项功能，而温度较高的地下水又是一种干净的热能资源。此外水力发电的开发和利用又为人类开辟了另一个巨大的能源基地。据世界能源会议的资料记载，全世界的水能资源理论容量为 $50.5 \times 10^8 \text{ kW}$ ，可能开发的水能资源估算装机容量为 $22.61 \times 10^8 \text{ kW}$ ，占理论容量的 45%。而地球上水能资源的储量及可开发的水能资源的分布不均匀。各洲可能开发的水资源量见表 1-2 和图 1-3。

各洲可能开发的水资源量（UNESCO，1985）

表 1-2

地点	可能开发的装机容量 ($\times 10^8 \text{ kW}$)	可能开发的水能发电量 (太千瓦时/a)	陆地面积 (km^2)	每平方公里可能开发的水能发电量 ($10^4 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{a}$)
亚洲	9.05	3.54	4348	8.14
欧洲	2.63	0.92	1050	8.76

续表

地点	可能开发的装机容量 ($\times 10^8 \text{ kW}$)	可能开发的水能发电量 (太千瓦时/a)	陆地面积 (km^2)	每平方公里可能开发的水能发电量 ($10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$)
非洲	4.37	2.02	3012	6.71
南美洲	3.29	1.85	3061	8.98
北美洲	2.90	1.27	2139	5.94
大洋洲	0.37	0.20	895	2.26
总计	22.61	9.80	14505	6.80

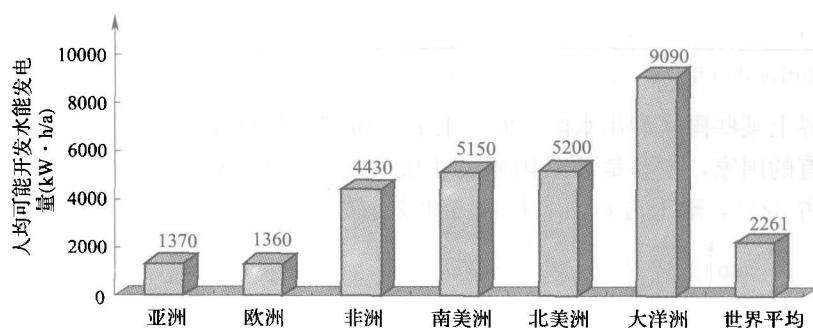


图 1-3 各洲人均可能开发水能发电量

世界各地水能资源的利用率也因地而异。1950 年全世界利用水能资源发电的装机容量为 $7120 \times 10^4 \text{ kW}$, 年发电量为 $3324 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占可能开发电量的 3.9%。1980 年装机容量已发展到 $4.6 \times 10^8 \text{ kW}$, 总发电量为 1.75 太千瓦时, 开发利用程度为 18%, 有的国家如瑞士、法国、意大利的开发利用率已超过 90%, 见表 1-3。

世界部分国家水能资源开发程度

表 1-3

国家	可开发水能资源		1984 年水能开发		水能资源利用 程度 (%)
	装机容量 (10^4 kW)	发电量 ($10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	装机容量 (10^4 kW)	发电量 ($10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	
美国	17860	7015	8180	3244	46
前苏联	26900	10950	5870	2029	19
加拿大	15290	5352	5488	2862	53
日本	4960	1338	3396	767	59
巴西	21300	12000	2727	1269	11
法国	2100	699	2144	682	95

续表

国家	可开发水能资源		1984 年水能开发		水能资源利用程度 (%)
	装机容量 (10^4kW)	发电量 ($10^8\text{kW}\cdot\text{h}$)	装机容量 (10^4kW)	发电量 ($10^8\text{kW}\cdot\text{h}$)	
挪威	2960	1210	2270	1063	82
意大利	1920	506	1734	454	90
瑞典	2010	1003	1445	686	68
西班牙	2933	675	1523	334	49
印度	7000	320	1431	469	17
瑞士	1200	2800	1148	312	98
中国	37853	19233	2416	864	4.5

注：中国为 1983 年数字，巴西为 1980 年数字。

世界上某些国家利用水能资源发电的装机容量呈逐年上升的趋势，如图 1-4 所示。有的国家，主要是北欧国家的水能发电所占比例很高。如瑞典占 55%，加拿大占 62%，瑞士占 80%，挪威占 99%。

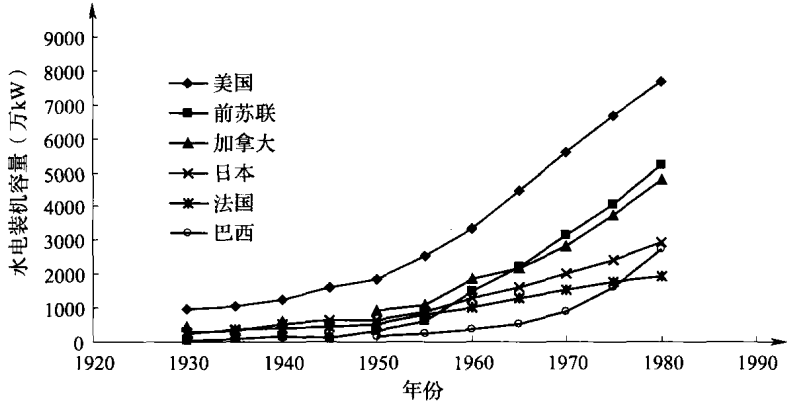


图 1-4 世界部分国家水电装机容量发展情况

我国水能资源丰富，各大水系蕴藏量见表 1-4。

中国各水系水能蕴藏量（天津师范大学等，1988）

表 1-4

水 系	可能装机量 (10^4kW)	可能发电量 ($10^8\text{kW}\cdot\text{h/a}$)	发电量占全国 (%)
长江	26801.77	23478.4	39.6
黄河	4054.80	3552.0	6.0
珠江	3348.37	2933.2	5.0
海滦河	294.40	257.9	0.4