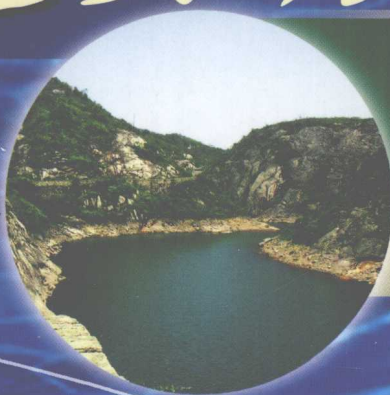




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校水利类教材

水资源



开发利用

(第二版)

主 编 万 俊

副主编 高仕春 艾学山



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



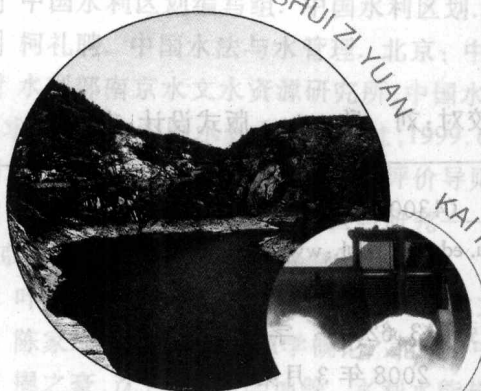
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校水利类教材

水资源开发利用

(第二版)

■ 主 编 万 俊
■ 副主编 高仕春 艾学山



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水资源开发利用/万俊主编;高仕春,艾学山副主编. —2版. —武汉:武汉大学出版社,2008.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-307-06060-9

I. 水… II. ①万… ②高… ③艾… III. 水利资源开发—高等学校—教材 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201326 号

责任编辑:李汉保

责任校对:刘欣

版式设计:支笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:13.625 字数:327千字

版次:2001年5月第1版 2008年3月第2版

2008年3月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-06060-9/TV·29 定价:24.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本书在介绍水资源开发利用基本概念、水库特性和径流调节原理的基础上,着重介绍水库兴利调节,水库洪水调节,水电站水能计算,水电站及水库主要参数选择,抽水蓄能电站主要参数选择和水库调度等方面的基础知识。

本书为高等学校“水文与水资源工程”专业本科生教材,可以作为水利水电专业的相关课程的教学用书,也可以作为水利水电工程技术人员以及相关专业大学教师的参考用书。

前 言

《水资源开发利用》是水文与水资源工程专业本科生教材,本书是在多年教学中采用的《水资源开发利用》讲义的基础上,结合实际教学经验编写而成的。第一版教材于2001年5月由武汉大学出版社出版,配合该教材,还开发了多媒体教学软件。本书经过5年的教学实践,教学效果良好,2006年被评选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书也可以作为水利水能规划、水能利用等相关课程的教材。

水利水电工程规划设计中的水利水能计算是水文与水资源工程涉及的主要内容。随着高新技术,特别是计算机技术的广泛应用,原来需要通过大量的、繁琐的人工计算才能完成的水利水能计算,已可以由计算机来完成。过去在水利水能计算中常采用的图解法,对于减轻人工计算量曾起到过显著的作用,但目前已被计算机模拟及迭代算法所取代。为适应这一变革,本教材删去了图解法,增加了体现计算机技术方法的内容,例如简化运行策略和多年调节的数理统计法。另外,在实践性教学环节中相应地加强了学生应用计算机技术解决水利水能计算问题的基本技能训练。

原第一版教材共分8章,第1章绪论;第2章介绍水库兴利调节;第3章介绍水库洪水调节;第4章介绍综合利用水库兴利调节;第5章介绍水能资源开发方式及水能计算;第6章介绍水电站在电力系统中的运行方式;第7章介绍水电站及水库主要参数的选择;第8章介绍水库调度。

本书在原第一版的基础上改编而成,对原教材的章节进行了适当的调整,对第1章~第4章的内容进行了完善和补充,新增加了抽水蓄能电站主要参数选择内容。修订后的教材分为8章,第1章介绍水资源开发利用概述,重点介绍水资源的特点、水资源的综合利用、水资源的开发利用历史、现状和存在的问题;第2章介绍水库特性与径流调节,重点介绍了水库特性、设计标准和设计代表期、设计代表年的推求、径流调节的作用及分类;第3章介绍水库兴利调节计算,重点介绍兴利调节的基本原理、时历列表法、模拟计算法、数理统计法以及水库综合利用兴利调节计算;第4章介绍水库洪水调节计算,重点介绍水库洪水调节计算的原理和方法、调洪方式和设计洪水的调洪计算;第5章介绍水电站水能计算,重点介绍水能资源的开发方式、水能计算基本方法;第6章介绍水电站及水库主要参数选择,在介绍电力系统负荷图、水电站在电力系统中的运行方式及电力电量平衡的基础上,重点介绍水电站装机容量及水库正常蓄水位和死水位选择;第7章介绍抽水蓄能电站主要参数选择,重点介绍抽水蓄能电站的工作原理,在电力系统中的作用,装机容量选择和上、下水库特征水位选择;第8章介绍水库调度,重点介绍常规调度图的绘制及应用。

为了保证本书的出版质量,2007年上半年印刷了一次讲义,并为2004级水文与水资源工程专业本科生试讲一次,同时将该讲义送给武汉大学水利水电学院水文水资源系全体教师审阅。

本书第5章、第7章和第8章由万俊编写和修订;第2章~第4章由高仕春编写和修订;第1章、第6章由艾学山编写和修订。万俊任本书主编,并负责全书统稿。

作者衷心感谢武汉大学水利水电学院水文水资源系全体老师对本书编写工作的关心、支持和指导,特别要感谢武汉大学水利水电学院退休老师陈惠源先生对全书进行了详细的审核,提出了许多建设性的意见。本书参考和引用了一些国内外文献和书籍,对相关作者特此致谢!限于作者水平,书中不足之处在所难免,真诚欢迎同行专家及广大读者批评指正,并提出宝贵意见,以便今后改进。

作 者

2007年10月

目 录

第 1 章 水资源开发利用概述	1
§ 1.1 水与水资源	1
§ 1.2 我国水资源的特点	6
§ 1.3 水资源的开发利用	11
§ 1.4 我国水资源的开发利用	14
思考题	21
第 2 章 水库特性与径流调节	22
§ 2.1 水库及其特性	22
§ 2.2 设计标准和设计代表期	32
§ 2.3 设计代表年的推求	36
§ 2.4 径流调节的作用及分类	42
思考题	46
第 3 章 水库兴利调节计算	47
§ 3.1 兴利调节的原理与方法	47
§ 3.2 兴利调节时历列表法	50
§ 3.3 兴利调节模拟算法	57
§ 3.4 多年调节兴利计算	60
§ 3.5 综合利用水库兴利调节计算	70
思考题	80
第 4 章 水库洪水调节计算	81
§ 4.1 水库调洪作用与防洪标准	81
§ 4.2 水库调洪计算的原理和方法	86
§ 4.3 水库调洪方式	94
§ 4.4 设计洪水调洪计算	100
思考题	108
第 5 章 水电站水能计算	110
§ 5.1 河流水能资源分析与估算	110

§ 5.2 水能资源开发方式	113
§ 5.3 河流水能资源的梯级开发	117
§ 5.4 水电站生产过程及动能指标	119
§ 5.5 水能计算的基本方法	121
§ 5.6 各类水电站水能计算	126
思考题	134
第 6 章 水电站及水库主要参数选择	136
§ 6.1 电力系统负荷图	136
§ 6.2 电力系统容量组成及各类电站的工作特性	145
§ 6.3 水电站在电力系统中的运行方式	148
§ 6.4 电力系统的电力电量平衡	151
§ 6.5 水电站装机容量选择	154
§ 6.6 水库正常蓄水位选择	167
§ 6.7 水库死水位选择	171
思考题	173
第 7 章 抽水蓄能电站主要参数选择	175
§ 7.1 概述	175
§ 7.2 抽水蓄能电站的工作原理与工作特点	177
§ 7.3 抽水蓄能电站在电力系统中的作用	178
§ 7.4 抽水蓄能电站装机容量的选择	180
§ 7.5 抽水蓄能电站上、下水库位置与特征水位选择	188
思考题	192
第 8 章 水库调度图	194
§ 8.1 水库调度的意义	194
§ 8.2 水库兴利调度图的绘制	194
§ 8.3 水库防洪调度图的绘制	201
§ 8.4 水库防洪兴利联合调度图的绘制	204
§ 8.5 水库调度图的应用	206
思考题	208
参考文献	209

第1章 水资源开发利用概述

§ 1.1 水与水资源

1.1.1 地球上的水及水循环

地球表面、岩石圈内、大气层中和生物体内所有各种形态的水,包括海洋水、冰川水、湖泊水、沼泽水、河流水、地下水、土壤水、大气水和生物水,在全球形成了一个完整的水系统,这就是水圈。某一时刻储存于水圈内全部水体的总储量约为1 386 000 万亿 m^3 ,其中海洋储存1 338 000 万亿 m^3 ,占全球总储量的96.5%;其他各种水体储量只占3.5%,地表水和地下水各占50%左右。地球水总量中,含盐量不超过1g/L的淡水仅占2.5%,即35 000 万亿 m^3 ,其余97.5%均为咸水。这35 000 万亿 m^3 淡水,有68.7%被固定在两极冰盖和高山冰川中,有30.9%蓄存在地下含水层和永久冻土层中,而湖泊、河流、土壤中所容纳的淡水只占0.32%,相当于全球水储量的0.008%,地球水储量情况如表1-1所示。

表 1-1

地 球 水 储 量

水体种类	水 量		咸 水		淡 水	
	/万亿 m^3	/%	/万亿 m^3	/%	/万亿 m^3	/%
海洋水	1 338 000	96.54	1 338 000	99.04	0	0
地表水	24 254.1	1.75	85.4	0.006	24 168.7	69.0
冰川与冰盖	24 064.1	1.736	0	0	24 064.1	68.7
湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91.0	0.26
沼泽水	11.47	0.0008	0	0	11.47	0.033
河流水	2.12	0.0002	0	0	2.12	0.006
地下水	23 700	1.71	12 870	0.953	10 830	30.92
重力水	23 400	1.688	12 870	0.953	10 530	30.06
地下冰	300	0.022	0	0	300	0.86
土壤水	16.5	0.001	0	0	16.5	0.05
大气水	12.9	0.0009	0	0	12.9	0.04

续表

水体种类	水 量		咸 水		淡 水	
	/万亿 m ³	/%	/万亿 m ³	/%	/万亿 m ³	/%
生物水	1.12	0.0001	0	0	1.12	0.003
全球总储量	1 385 984.6	100	1 350 955.4	100	35 029.2	100

由于太阳辐射能的作用,使水从海洋、江河、湖泊、土壤表面及植物叶面蒸散发成水汽升入空中,随大气运行飘移至各处,在上升和飘移过程中由于气温降低而凝结为降水回到陆面和水体。降到地面上的水,除植物吸收及蒸散发外,一部分入渗形成地下水;另一部分沿地表流动形成地面径流,通江入海。地球上水的这种周而复始、永不停息的蒸发、降水、径流的运动过程,称为自然界的水循环。陆地或海洋与大气层之间由降水和蒸发组成的垂向水分交换,称为小循环;海洋和陆地之间由水汽输送和径流排泄组成的水平水分交换,称为大循环,如图 1-1 所示。

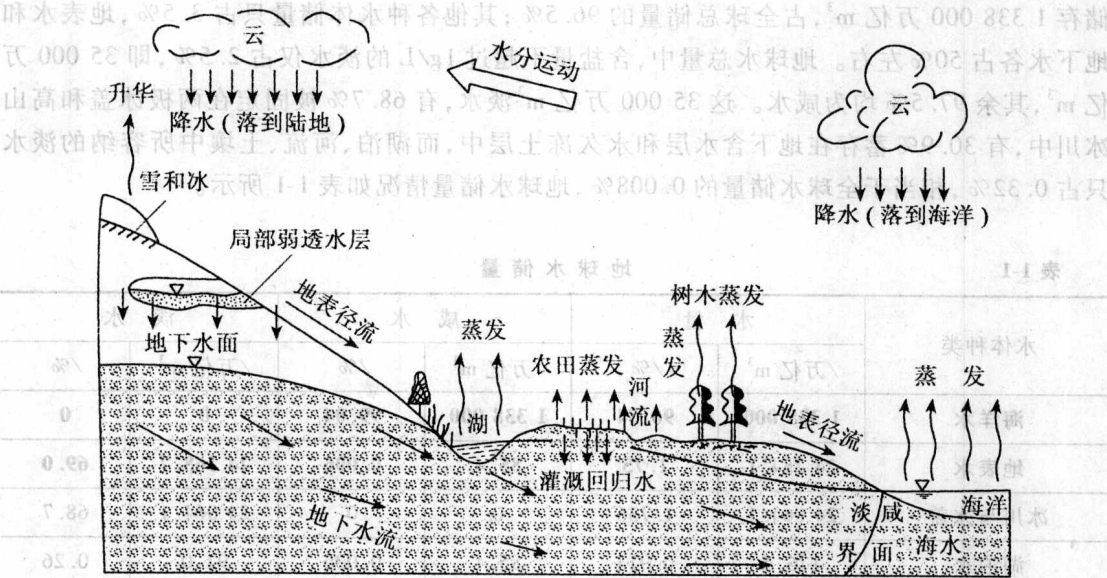


图 1-1 水循环示意图

不断往复的水循环运动,维持着全球水量的动态平衡。地球表面承受的降水量和地球表面的蒸发量相等,平均为 1 130mm。海洋上年蒸发量为 1 400mm,年降水量为 1 270mm,蒸发量超过降水量 130mm,差值部分由陆地流入海洋的年径流量(包括地下径流)达到平衡。陆地上年降水量为 800mm,年蒸发量为 485mm,降水量大于蒸发量 315mm,差值部分由海洋水汽输送加以补充。从陆地流入海洋的径流和由海洋输送到陆地的水汽,其多年平均水量是相等的,为 47 万亿 m³。全球的水平衡要素如表 1-2 所示。

表 1-2

全球的水平衡

分 区	面 积 /(万 km ²)	总 量/(万亿 m ³)			深 度/(mm)		
		降水	径流	蒸发	降水	径流	蒸发
世界海洋	36 100	458	- 47	505	1 270	- 130	1 400
世界陆地	14 900	119	47	72	800	315	485
其中	外流区	11 900	110	47	63	924	395
	内流区	3 000	9	9	300		300
全球	51 000	577		577	1 130		1 130

各种水体在循环过程中,不断更替和自身净化。由于其存在条件的明显差异,各种水体具有不同的更替周期。所谓更替周期,一般可以理解为某一水体在停止补给的条件下,通过自然排泄、蒸发而完全消退所需的时间。除生物水外,在自由水中以大气水、河流水和土壤水最为活跃,更替周期在一年以内;冰川、深层地下水和海洋水的更替周期很长,都在千年以上,如表 1-3 所示。

表 1-3

各种水体的更替周期

水体种类	更替周期	水体种类	更替周期
永冻带底冰	10 000 年	沼 泽	5 年
极地冰川和雪盖	9 700 年	土壤水	1 年
海 洋	2 500 年	河川水	16 天
高山冰川	1 600 年	大气水	8 天
深层地下水	1 400 年	生物水	几小时
湖 泊	17 年		

河流的年径流量,包含大气降水和高山冰川融水产生的动态地表水,以及绝大部分的动态地下水,基本上反映了陆地水的数量和特征,所以通常用多年平均河川径流量来表示陆地水数量。陆地多年平均河川年径流量为 44.5 万亿 m³,其中有 1.0 万亿 m³排入内陆湖,其余的全部流入海洋。包括 2.3 万亿 m³的南极冰川径流在内,全世界年径流总量为 46.8 万亿 m³。径流量在地区分布上很不均匀(见表 1-4),有人居住和适合人类生活的地区,至多拥有全部径流的 40%,约 19 万亿 m³。各大洲的自然条件差别很大,因而水资源量也不相同。大洋洲的一些大岛(新西兰、伊里安、塔斯马尼亚等)的淡水最为丰富,年降水量几乎达到 3 000mm,年径流深超过 1 500mm。南美洲的水资源也比较丰富,平均年降水量为 1 600mm,年径流深为 660mm,相当于全球陆地平均年径流深的两倍。澳洲是水资源量最少的大陆,平均年径流深只有 40mm;有三分之二的面积为无永久性河流的荒漠、半荒漠地区,年降水量不到 300mm。非洲的河川径流资源也比较贫乏,降水量虽然与欧洲、亚洲、北美洲相接近,但年径流深却只有 150mm,这是因为非洲南北回归线附近有大面积的沙漠所致。南极

洲的多年平均年降水量很少,只有 165mm,没有一条永久性的河流,然而却以冰的形态储存了地球淡水总量的 62%。

表 1-4

陆地水分布

大陆	面 积	年降水		年径流		径流系数
	/ (万 km ²)	/mm	/ 万亿 m ³	/mm	/ 万亿 m ³	
欧 洲	1 050	789	8. 29	306	3. 21	0. 39
亚 洲	4 347. 5	742	32. 24	332	14. 41	0. 45
非 洲	3 012	742	22. 35	151	4. 57	0. 2
北美洲	2 420	756	18. 3	339	8. 2	0. 45
南美洲	1 780	1 600	28. 4	660	11. 76	0. 41
澳 洲	761. 5	456	3. 47	40	0. 3	0. 09
大洋洲诸岛①	133. 5	2 700	3. 61	1 560	2. 09	0. 58
南极洲	1 398	165	2. 31	165	2. 31	1. 0
全部陆地	14 900	800	119	315	46. 8	0. 39

① 包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛、伊里安岛等太平洋各岛屿。

1.1.2 水资源的涵义

由于地球上水体类型复杂,而且水的使用价值又具有多样性,人们对水的可使用性的认识也不尽一致,这就导致目前对水资源尚未给出一个公认的统一定义。

广义水资源认为地球上一切水体,包括海洋、江河、湖泊、冰川、地下水以及大气中的水分等,都能够直接或间接地被人类利用,均属于自然资源的范畴。如《英国大百科全书》中将水资源定义为“自然界一切形态(液态、固态和气态)的水”。

狭义水资源认为水资源是人类生存和发展不可替代的自然资源,又是环境的基本要素。水资源是人类可以利用的,逐年可以恢复和更新的淡水量,大气降水是它的补给来源。狭义水资源涵义强调水资源的再生性和可利用性。

水资源的“不可替代”性,是由水的物质特性所决定的。水的汽化热和热容量是所有物质中最高的;水的热传导能力在所有液体(除水银外)中是最高的;水的表面张力在所有液体中是最大的;水在 4℃ 时密度最大;水的汽化膨胀系数大;水具有不可压缩性;水是最好的溶剂;水本身是植物光合作用的基本材料;水具有特强的渗透性;……。凭借水特有的极大热容量和汽化热,地球的水圈为生物保持着适于生存的相对恒定温度的自然条件。水是生物体内最基本的物质成分,生物体中大部分为水,一般生物体水的含量达 60% ~ 80%,成年人体内水分约占体重的 65%,儿童占体重的 75% ~ 85%,生物体内的水分通过蒸腾和蒸发来实现对于生物体温的正常调节,脱水即意味着死亡;人类及一切生物所需的养分,全靠水溶、输移;4℃ 的水密度最大,水生物才得以越冬生存;水是循环冷却、供热、蓄热、传递压力的最好的介质;由于水的巨大的汽化膨胀性,才有蒸汽机、汽轮机;……。水是国民经济各行业

中用途广泛、不可替代的重要生产要素,水资源的状况制约着工农业生产的发展和布局,人类社会的古代四大文明都以大河流域为发源地。这些充分说明了水对人类生存和发展的“不可替代”性。

水环境是生态环境的重要方面。水是最好的溶剂,水最易被污染,但同时又是最好的清污剂;水的格局影响了全球的海陆分布、气候变化;水的冲蚀、搬运、淤积作用,改变着地形、地貌;……。所以说,水又是环境的基本要素。

水资源是“人类可以利用的”水,是指:①水质应符合人类利用的要求。所以,水资源指的是符合人类不同用途相应水质标准的淡水量。②在现代技术经济条件下,通过工程措施或净化处理可能利用的水,才算水资源。深层地下水、净化代价过高的海水,一般均不作为水资源。

水资源涵义中的“逐年可以得到恢复和更新的”,是说明水资源可以通过水循环得到恢复和更新,是再生性资源。水循环受日地运行规律所制约,具有季节交替和大体以年为周期的特点,所以特别加上“逐年”二字,故水资源量通常指年水资源量。

水资源涵义强调“大气降水是水资源的补给来源”,是说明一个区域(或流域)的水资源,是该区域边界内、当地大气降水补给下的产物。本区域当地大气降水补给的地表水量、地下产水量(动态水量),才是本区域的当地水资源量或区域水资源量。流经本区域、非本区域大气降水补给的地表水量、地下水量,称做过境水资源量或入境水资源量;当地水资源量和过境(入境)水资源量都是本区域可以开发利用的水资源量。

本书中所论述的水资源仅限于狭义水资源的范畴。必须指出,从水的可利用性出发,对具有自然资源属性的水的范围还很难给予明确的界定。如占地球上水的总储量 96.5% 的海洋水,尽管不如淡水那样被人类直接利用,但是应注意到海洋不仅是航海的载体,而且那里还有生物资源和海水能量资源等,从一定意义上讲,海洋水体也具有自然资源的属性。

1.1.3 水资源的基本特性

水资源是在水循环背景上随时空变化的动态自然资源,水资源具有与其他自然资源不同的特性,主要表现为再生性、有限性、用途多样性、分布不均匀性和利害双重性等。

1. 水资源的再生性

水资源的再生性源于周而复始的水循环。宏观上看,地球上一切水体都在自然界的水循环中不断地转化、更新。不同水体其更替周期长短不同。更替周期短的水体可利用率高,遭受污染时水质恢复快。地球上某些水体,如深层地下水、高山冰川、永冻带底冰等更新速度极其缓慢,其更替周期长达一千年以上。这些水体每年可以恢复、更新的水量极其有限。水资源的再生性表明这些水体是一种可持续利用的自然资源。

2. 水资源的有限性

由于地球上的水循环是周而复始、永不停息的过程,水资源曾被认为是“取之不尽、用之不竭”的自然资源。这种认识是不恰当的,甚至是有害的。就特定区域一定时段(年)而言,年降水量有或大、或小的变化,但总是个有限值,因而就决定了区域年水资源量的有限性。水资源的超量开发消耗,或动用区域地表水、地下水的静态储量,必然造成超量部分难以恢复,甚至不可恢复,从而破坏自然生态环境的平衡。就多年均衡意义讲,水资源的平均年耗用量不得超过区域的多年平均资源量。无限的水循环和有限的大气降水补给,决定了

区域水资源量的可恢复性和有限性。因此,强调水资源的再生性时必须清醒地看到水资源的有限性,水资源的开发利用,只有不超出其逐年可恢复、更新的限度,才可能保持其可持续利用。

3. 水资源时空分布的不均匀性

水资源时间变化上的不均匀性,表现为水资源量年际、年内变化幅度很大。区域年降水量因水汽条件、气团运行等多种因素的影响,呈随机性变化,使得水年、枯水年水资源量相差悬殊,水年、枯水年交替出现,或连旱、连涝持续出现都是可能的。水资源的年内变化也很不均匀,汛期水量集中,不便利用,枯水季水量锐减,又满足不了需水要求,而且各年年内变化的情况也各不相同。水资源量的时程变化与需水量的时程变化的不一致性,是另一种意义上的时间变化不均匀性。

水资源空间变化的不均匀性,表现为资源量地区分布上的不均匀。水资源的补给来源为大气降水,多年平均年降水量的地带性变化,基本上规定了水资源量在地区分布上的不均匀性。水资源地区分布的不均匀,使得各地区在水资源开发利用条件上存在巨大的差别。水资源的地区分布与人口、土地资源的地区分布的不相一致,是又一种意义上的空间变化不均匀性。

水资源时空变化的不均匀性,使得水资源利用要采取各种工程的和非工程的措施,或跨地区调水,或调节水量的时程分配,或抬高天然水位,或制定调度方案,等等,以满足人类生活、生产的需求。

4. 水资源用途的广泛性

水资源的用途十分广泛,各行各业都离不开水,有些用水部门属于消耗性用水,如用于农业灌溉、工业生产、城乡生活的水,而有些部门是用而不耗,或是消耗很小,如用于发电、航运、水产养殖、旅游娱乐、改善生态环境等所需的水。由于水资源的有限性,人类在开发利用水资源时,可以根据各种用途的用水特点,力争一水多用,充分发挥水资源的综合利用效益。

5. 水资源利与害的双重性

由于降水和径流的地区分布不平衡和时程分配的不均匀,往往会出现汛期水量过度集中造成洪涝灾害,枯水期水量枯竭造成旱灾等自然灾害。开发利用水资源的目的是兴利除害,造福人民。但是,如果开发利用不当,也会引起人为灾害,例如,垮坝事故、水土流失、土壤次生盐渍化、水质污染、地下水枯竭、地面沉降、水库诱发地震和海水入侵等,也是时有发生。水的可供开发利用和可能引起的灾害,说明水资源具有利与害的双重性。

§ 1.2 我国水资源的特点

1.2.1 水资源总量大,但人均、亩均占有量小

中国位于亚欧大陆的东南部,是一个水资源相对短缺、水旱灾害频繁的国家。如果按水资源总量考虑,我国多年平均年降水总量为 61 889 亿 m^3 ,折合面平均年降水深 648mm,小于全球陆地平均年降水深(800mm)。多年平均地表水资源量(即年径流总量)为 27 115 亿 m^3 ,折合年径流深为 284mm,小于全球陆地平均年径流深(315mm)。多年平均地下水资源量为 8 288 亿 m^3 ,扣除重复利用量以后,全国多年平均年水资源总量为 28 124 亿 m^3 ,居世界

第六位。但是我国人口众多,人均占有量只有 $2\,240\text{m}^3$ 左右,低于世界人均水量的三分之一,在世界排名百位之后,被列为人均水资源贫乏的国家之一。每公顷耕地占有水量为 $29\,480\text{m}^3$ 左右,亦低于世界平均水平,如表 1-5 所示。

表 1-5 全球水资源总量前六位的国家

项目 国家	水资源总量 /(10^8m^3)	国土面积 /(10^4km^2)	耕地面积 /(10^4km^2)	人口 /(10^4 人)	每公顷水资源量 /(m^3/hm^2)	人均水资源量 /($\text{m}^3/\text{人}$)
巴 西	69 500	851.2	5 350	16 179	1 299 065	42 957
俄罗斯	42 700	1 707.5	13 097	14 700	32 602.8	29 047.6
美 国	30 560	936.4	18 574.2	26 325	16 452.9	11 608.7
印度尼西亚	29 860	190.5	1 713	19 575.6	174 315	15 253.6
加拿大	29 010	997.1	4 542	2 946.3	63 870	98 462
中 国	27 115	959.1	9 197.7	121 121	29 480.1	2 238.6
世 界	410 220	13 383.5	136 171.1	571 642.6	30 125.3	7 166.0

注:表中数据是 1995 年的统计数。

1.2.2 水能资源世界第一

水能是指水流在重力作用下不断向下游流动的过程中所具有的势能和动能的总称。据相关统计,全世界可能开发水能资源的总装机容量为 22.61 亿 kW,总年发电量为 98 000 亿 kW·h,一些国家可能开发的水能资源如表 1-6 所示。

表 1-6 一些国家可能开发的水能资源 (单位:亿 kW·h)

国 别	技术可开发	经济可开发	国 别	技术可开发	经济可开发
中 国	19 233	12 600	土耳其	2 150	1 230
巴 西	13 000	7 635	日 本	1 356	1 143
俄罗斯	16 700	6 000	委内瑞拉	2 607	1 035
加拿大	9 810	5 360	瑞 典	1 300	900
刚 果	7 740	4 192	墨西哥	1 600	800
印 度	6 600	4 436	法 国	720	715
美 国	5 285	3 760	意大利	690	540
挪 威	2 000	1 796	奥地利	7 537	537
哥伦比亚	2 000	1 400	西班牙	700	410
阿根廷	1 720	1 300	印度尼西亚	4 016	400

我国位于欧亚大陆东南部,东南部濒临西太平洋,西北部深入亚洲腹地,幅员辽阔。国土面积 960 万 km^2 , 约占世界陆地面积的 $\frac{1}{15}$ 。

我国地形十分复杂,地势的总趋势是西高、东低,一般划分为三大阶梯:第一阶梯是西部海拔 4 000m 以上的青藏高原等地区,阻挡了来自印度洋上空暖湿气流北上的去路,不仅对我国降水的地区分布带来很大影响,使高原上以及我国西北地区的降水显著减少,而且对大气环流也产生一定影响;第二阶梯海拔为 1 000 ~ 2 000m,范围包括:北至天山山脉、阿尔泰山,东到大兴安岭、太行山、巫山及云贵高原东部的广大地区;第三阶梯为大兴安岭、太行山、巫山及云贵高原东缘以东至海滨。境内有东北平原、华北平原、长江中下游平原和珠江三角洲平原等,同时还有许多低山和丘陵分布。在广大平原区,由于气流运动可以畅通无阻,成雨条件不如山丘区,因此平原区的降水量大都低于其周围的山丘区。在这广袤的国土上,河流众多,径流丰沛、落差巨大,蕴藏着非常丰富的水能资源。据相关资料统计,中国河流水能资源蕴藏量约为 67 600 万 kW,年发电量约为 59 200 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$;可能开发的水能资源年发电量约为 19 233 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,相应的装机容量约为 37 853 万 $\cdot \text{kW}$,居世界之首。我国分水系水能资源情况如表 1-7 所示。

表 1-7

我国分水系水能资源统计表

流域片	蕴藏量			可能开发			可能开发占蕴藏量比例/(%)	河川径流量占全国比例/(%)
	平均出力 /(10^4kW)	年电能 /($10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$)	电量占全国比例/(%)	装机容量 /(10^4kW)	年发电量 /($10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$)	电量占全国比例/(%)		
全 国	67 604.71	59 221.8	100.0	37 853.24	19 233.04	100.0	32.5	100.0
长 江	26 801.77	23 478.4	39.6	19 724.33	10 274.98	53.4	43.8	37.66
黄 河	4 054.80	3 552.0	6.0	2 800.39	1 169.91	6.1	32.9	2.11
珠 江	3 348.37	2 933.2	5.0	2 485.02	1 124.78	5.8	38.3	17.18
海滦河	294.40	257.9	0.4	213.48	51.68	0.3	20.0	1.09
淮 河	144.96	127.0	0.2	66.01	18.94	0.1	14.9	2.30
东北诸河	1 530.60	1 340.8	2.3	1 370.75	439.42	2.3	32.8	6.66
东南沿海诸河	2 066.78	1 810.5	3.1	1 389.68	547.41	2.9	30.2	11.11
西南国际诸河	9 690.15	84 886.6	14.3	3 768.41	2 098.68	10.9	24.7	8.31
雅鲁藏布江及西藏河流	15 974.33	13 993.5	23.6	5 038.23	2 968.58	15.4	21.2	8.72
北方内陆及新疆诸河	3 698.55	2 339.4	5.5	996.94	538.66	2.8	16.6	4.76

我国水能资源的地区分布特点是西南多,东北、华北少,如表 1-8 所示。

表 1-8 我国按地区划分的水能资源统计表

流域片	蕴藏量			可能开发			可能开发占 蕴藏量比例 /(%)
	平均出力 /(10^4 kW)	年电能 /(10^8 kW·h)	电量占全国 比例/(%)	装机容量 /(10^4 kW)	年发电量 /(10^8 kW·h)	电量占全国 比例/(%)	
全 国	67 604.71	59 221.8	100.0	37 853.24	19 233.04	100.0	32.5
华 北	1 229.93	1 077.4	1.8	691.98	232.25	1.2	13.7
东 北	1 212.66	1 062.3	1.8	1 199.45	383.91	2.0	36.1
华 东	3 004.88	2 632.2	4.4	1 790.22	687.94	3.6	26.1
中 南	6 408.37	5 613.8	9.5	6 743.49	2 973.65	15.5	53.0
西 南	47 331.18	41 462.1	70.0	23 234.33	13 050.36	67.8	31.5
西 北	8 417.69	7 373.9	12.5	4 193.77	1 904.93	9.9	25.8

注:1. 表 1-8 按单站 500kW 以上电站统计。

2. 根据发电量计算可能开发占蕴藏量比例。

1.2.3 水资源时空分布很不均匀(与土地资源的分布也不适应)

从水资源地区分布上看,中国境内水资源的地区分布十分不均匀,由东南向西北递减。长江流域及其以南的珠江流域,浙、闽、台诸河和西南诸河等南方四片面积占全国面积的 36.5%,耕地面积占 36%,人口占全国的 54.4%,但水资源量却占了全国水资源总量的 81%。黄河、淮河、海河流域片,总面积占全国国土面积的 15%,耕地面积占全国的 39.4%,人口占全国的 34.7%,GDP 占全国的 32.1%,但水资源量只占全国的 7.7%。占全国国土面积 47% 的西北干旱和半干旱带,年水资源量只占全国的 7%。全国各区水资源统计如表 1-9 所示。我国南方水资源丰富,而北方相对贫乏。

表 1-9 全国各地年降水、年河川径流、年地下水、年水资源总量统计(按水资源分区)

分 区	计算面积 /(km^2)	年降水		年河川径流		年地下水 资源量 /(亿 m^3)	年水资 源总量 /(亿 m^3)
		总量 /(亿 m^3)	深 /(mm)	总量 /(亿 m^3)	深 /(mm)		
黑龙江流域片 (中国境内部分)	903 418	4 476	496	1 166	129	431	1 352
辽河流域片	345 027	1 901	551	487	141	194	577
海滦河流域片	318 261	1 781	560	288	91	265	421
黄河流域片	794 712	3 691	464	661	83	406	744