

水资源

开发利用

陈惠源 万俊 主编



武汉大学出版社

水资源开发利用

陈惠源 万俊 主编

武汉大学出版社

内 容 提 要

本书在介绍水资源涵义、特性及我国水资源状况的基础上,着重介绍水库兴利调节,洪水调节,综合利用径流调节,水能计算,水电站运行方式及主要参数选择,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”专业本科教材,可作为水利水电专业的相关课程的教学用书,也可作为水利水电技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水资源开发利用/陈惠源,万 俊主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2001. 5
ISBN 7-307-03192-2

I. 水… II. ①陈… ②万… III. 水利资源开发—研究—中国 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 22918 号

责任编辑: 刘 争 责任校对: 黄添生 版式设计: 支 笛

出版: 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.whu.edu.cn)

发行: 新华书店湖北发行所

印刷: 湖北省崇阳县印刷厂

开本: 787×1092 1/16 印张: 11 字数: 270 千字

版次: 2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-03192-2/TV·4 定价: 18.50 元

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

前 言

《水资源开发利用》是“水文及水资源工程”专业本科教材,该书是在多年教学中采用的《水资源开发利用》讲义的基础上,结合实际经验编写而成的。本书也可作为“水利水能规划”、“水能利用”等相关课程的教材。其中水库调度一章是为了兼顾上述相关课程而编写的,“水文与水资源工程”专业另有专设的水库调度方面的课程。

水利水电工程规划设计中的水利水能计算工作是本课程涉及的主要内容。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,但目前已逐渐被电算迭代及电算模拟所取代。为适应这一变革,本教材删去了图解法,增加了体现电算技术方法的内容;另外,在实践性教学环节中相应地加强了学生应用电算技术解决水利水能规划问题的基本技能训练。配合本教材,我们已开发了多媒体教学软件。

本书第一章、第四章和第六章由陈惠源、艾学山编写;第二章、第七章和第八章由万俊、杨小冬编写;第三章和第五章由高仕春编写。陈惠源、万俊任本书正、副主编,并负责全书统稿。

作者衷心感谢武汉大学水资源教研室全体老师对本书编写工作的关心、支持和指导。本书参考和引用了一些国内外文献和书籍,对有关编者特此致谢。真诚欢迎同行专家及广大读者提出宝贵意见,以便今后改进。

编 者
2000年12月

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 水与水资源.....	1
第二节 水资源评价.....	4
第三节 水资源开发利用概述	10
第二章 水库兴利调节	15
第一节 水库及其特性	15
第二节 设计标准和设计代表期	23
第三节 径流调节的作用及分类	27
第四节 径流调节原理	32
第五节 径流调节时历列表法	35
第六节 径流调节模拟算法	43
第七节 多年调节概率演算法	45
第三章 水库洪水调节	53
第一节 防洪问题概述	53
第二节 水库调洪计算的原理和方法	58
第三节 水库调洪方式	62
第四节 水库防洪有关特征值选择	67
第四章 综合利用水库兴利调节	71
第一节 灌溉用水	71
第二节 城镇供水	77
第三节 内河水运、渔业、旅游及环境用水	81
第四节 综合需水分析	84
第五节 不同供水保证率的径流调节计算	87
第五章 水资源开发方式及水能计算	94
第一节 河流水能资源分析与估算	94
第二节 水能资源开发方式	95
第三节 水电站生产过程及动能指标	99
第四节 水能计算的基本方法.....	101

第五节	水电站水能计算.....	106
第六章	水电站在电力系统中的运行方式.....	115
第一节	电力系统的负荷图.....	115
第二节	电力系统容量组成及各类电站的工作特性.....	123
第三节	水电站在电力系统中的运行方式.....	126
第四节	电力系统的电力电量平衡.....	129
第七章	水电站及水库主要参数的选择.....	134
第一节	概述.....	134
第二节	水电站装机容量的选择.....	134
第三节	正常蓄水位的选择.....	147
第四节	死水位的选择.....	150
第八章	水库调度.....	153
第一节	水库调度的意义.....	153
第二节	水库兴利调度图的绘制.....	153
第三节	水库防洪调度图的绘制.....	160
第四节	水库防洪兴利联合调度图的绘制.....	163
第五节	水库优化调度简介.....	165
参考文献		169

第一章 绪 论

第一节 水与水资源

一、地球上的水及水循环

自然界的水有气态、液态和固态三种形式。大气圈的水分多以气态存在；地球表面的海洋、湖泊、沼泽、江河的水以液态存在；地球表面以下也存在着液态水，即地下水。

通常所说的地球上的水是泛指包括海洋水、湖泊水、沼泽水、河水、冰川水、地下水、土壤水、大气水和生物水在内的所谓“水圈”的水的容量。据估计，水圈内水体总储量约达 13.8 亿 km^3 。海洋面积占地球总面积的 70.8%，其水量为 13.38 亿 km^3 ，占地球总储水量的 96.5%，这部分巨大的水量由于属高含盐量（含盐量为 35 g/L）的咸水体而不宜直接作为饮用水和工农业用水。地球上陆地面积占地球总面积的 29.2%，储水量仅为 0.48 亿 km^3 ，占地球总储水量的 3.5%。

除海洋水之外，部分内陆湖泊和部分深层的地下水也属于咸水体。按含盐量不超过 1 g/L 的淡水标准计，地球水总储量中仅有 0.35 亿 km^3 的淡水量，只占地球总储水量的 2.5%；且其中 0.24 亿 km^3 ，约占淡水总储量 70% 的淡水以固态形式分布于冰川、两极冰蓄和永冻土带储水，这部分储水量，尚难被人类利用。分布于湖泊、河流、沼泽、土壤水、地下水的淡水储量为 0.1065 亿 km^3 ，占地球淡水总量的 30% 左右，是当前人类开发利用的主要水体。

上述地球上的水储量是指某一瞬间存在于地球上不同空间位置中的水体存水量。自然界的水体并不是静止的，而是处于不断运动、相互交替、更新的循环过程中。

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地和水体。降到地面上的水，除植物吸收及蒸散外，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。如图 1-1 所示，水循环可看成是由各种不同尺度的局部循环所组成。通常将陆地与大气层之间或海洋与大气层之间的降水、蒸发的过程称为小循环，而将包含海洋、陆地水的大尺度的输送、更替过程称为大循环。

表 1-1 列出全球水循环中降水、径流、蒸发三个主要环节的动态水量。降水是水循环中动态水量的补给源，其数量每年为 0.0577 亿 km^3 ，仅占地球水总储量的 0.049%。

表 1-1

全球水循环状况

区域	面积(万 km ²)	水量(km ³)		
		降水	径流	蒸发
全球海洋	36 100	458 000	47 000	505 000
全球陆地	14 900	119 000	47 000	72 000
全球	51 000	577 000		577 000

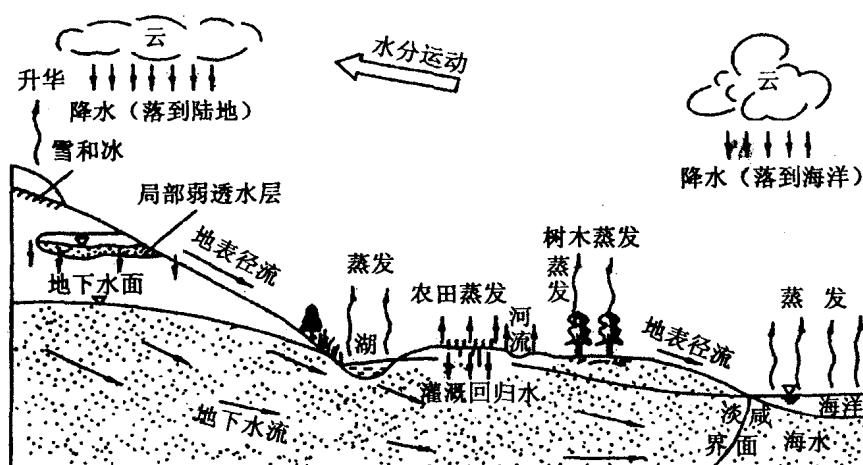


图 1-1 水循环示意图

地表上的各类水体都在不同程度上参与水循环,并在循环过程中不断地更替、净化水体自身。各类水体由于其存在条件的明显差异而具有不同的更替周期。所谓更替周期,一般可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。由表1-2可见,除生物水之外,更替周期不超过一年的水体有大气水、河流水和土壤水。这些更替周期不超过一年的水体,在一年的时段内可以通过水循环得到补给,也可以说它们具有逐年再生的特性。

二、水资源的涵义

水是生命的缔造者,没有水就没有生命,地球上生命演化的环节与水休戚相关。水是生物体内最基本的物质成分,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%,儿童体内水分约占体重的 75%~85%。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。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。

表 1-2

各种水体的更替周期

水体种类	永冻带底冰	极地冰川与雪盖	海洋	高山冰川	深层地下水	湖泊
更替周期	10000 年	9700 年	2500 年	1600 年	1400 年	17 年
水体种类	沼泽	土壤水	河川水	大气水	生物水	
更替周期	5 年	1 年	16 天	8 天	几小时	

水是人类社会生存和发展的基本物质条件。人类的产生、生存及进化，无一不与水密切相关。人类社会的古代四大文明都以大河流域为发源地。古代巴比伦文明发源于两河流域（幼发拉底河和底格里斯河流域）；印度河、恒河流域是古印度文明的发源地；尼罗河孕育了古埃及文明；黄河、长江是中华民族的摇篮。现代世界上的大城市及人口密集区多数分布于江河沿岸。如我国约 50% 的人口、30% 的耕地、70% 的工农业产值集中在七大江河（黄河、长江、淮河、海河、珠江、松花江、辽河）流域中下游沿岸 100 万 km² 的土地上。

水具有生产资料和生活资源的属性，是人民生活和经济建设中不可或缺的自然资源，其使用价值主要表现为它具有可供利用的水量、水能和水域。自然资源并不是泛指所有的物质，而是特指那些对于人类具有使用价值，有助于人类社会和生态系统保持稳定和发展的自然界物质。毫无疑问，水是最重要的自然资源。

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指在一定时段内可以恢复和更新的可供人类开发利用的水体。狭义水资源涵义强调水资源的再生性和可利用性。地球上的水储量按更替周期的长短可分为两类。一类是永久储量，其更替周期长，如深层地下水、冰川等；另一类是积极参与水循环，可逐年得到更新的动态水储量，如以河川径流量表征的地表水资源及以积极参与水循环的地下径流量表征的地下水资源。动态水储量属于再生资源。水的可利用性是随着科学技术和经济条件的发展而变化的，狭义水资源强调的可利用性是指在目前条件下进行开发利用技术上的可行性和经济上的合理性。从这一意义上讲，海洋中的咸水、咸水湖的咸水及矿化地下水等很难直接作为居民饮用水及工农业生产用水，与人类生活、生产关系最密切的主要是河流、湖泊、土壤水及地下含水层的淡水。《中国水利百科全书》中认为“人类可利用的水资源主要指某一地区逐年可以恢复和更新的淡水资源”。

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 97.5% 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。

三、水资源的基本特性

水资源作为与人类生活、生产关系十分密切的自然资源,其特性主要表现为再生性、有限性、用途多样性、分布不均匀性等。

(一)资源的再生性

水资源的再生性源于地球上周而复始的水循环。狭义水资源的观点强调水资源主要是指某一地点逐年可以恢复和更新的淡水资源。

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。这些水体每年可恢复、更新的水量极其有限。水资源的再生性表明它是一种可持续利用的自然资源。

(二)资源的有限性

由上述可知水资源的再生性源于自然界的水循环。鉴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。尽管水循环过程是无限的,但是无论从储量上还是从降水补给量上讲,水资源是有限的。从储量上看,全球的淡水储量仅占全球总水储量的 2.5%,而且其中大部分还储存在极地冰帽和冰川中,不能够直接利用。降水是可以逐年恢复和更新的地表径流和地下径流的补给源,一个地区的年降水量是有限的,降水到达地面之后还要经过蒸散发的消耗。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。

(三)时空分布的不均性

全球气候运转机制及相应产生的大气环流的复杂变化影响和制约着降水的地区分布和年际、年内变化。中国位于亚欧大陆的东南部,幅员辽阔,地势西高东低,地形复杂,受季风气候影响,东南部地区多雨湿润,西北部地区少雨干旱,季节变化明显,雨期较集中于夏季。降水地区分布不均,造成水、土资源组成不合理。降水年际、年内变差大,造成河川径流的丰枯变化强烈。鉴于这一特性,人类在开发利用水资源时,不仅应采取工程措施来提高供水的可靠性,还必须设法抗御汛期大洪水所形成的威胁。

(四)用途的多样性

水资源是被人类广泛利用的自然资源。它不仅广泛用于农业、工业、生活用水,还用于发电、水运、渔业、旅游和环境用水等。各种用途的用水特点不同,如有些用水部门属于消耗性用水;有些部门是用而不耗,或是消耗很小。根据其用途的多样性,人类在开发利用水资源时,必须注重一水多用,充分发挥水资源的综合利用效益。

第二节 水资源评价

尽管水是循环的、可恢复的自然资源,但就某一地区而言,在一定时间内可供人们使用的水量总是有一定限度的。目前世界上不少国家和地区水资源的供需矛盾日益严重,水资源问题已成为对世界经济发展起制约作用的重要因素之一。水资源评价的目的是为合理利用

和管理水资源,为国民经济建设的合理布局提供科学依据。

水资源评价内容一般包括水资源数量评价、水资源质量评价、水资源利用评价及综合评价等方面。1986年我国首次完成了全国分区的水资源评价工作,并发表了《中国水资源评价》报告,这是一项重要、复杂、工作量极大的基础性工作。

一、水资源数量评价

水资源评价一般是在统一分区的基础上进行的。水资源由地表水资源和地下水资源组成。水资源数量评价,即水资源量或水量评价。在水量评价中,把河川径流量作为地表水资源量,把地下水补给量作为地下水资源量。由于地表水和地下水互相联系、彼此转化,因此不能将河川径流量与地下水补给量之和,直接作为水资源总量,还必须扣除二者相互转化的重复水量,即

$$W = R + Q - D \quad (1-1)$$

式中:W——水资源总量;

R——地表水资源量(即河川径流量);

Q——地下水资源量;

D——地表水和地下水的重复水量。

水资源量以一年为计算时段。河川径流和地下水不但有年内季节变化,而且也存在年际丰枯变化,因此水资源量采用多年平均年水量表示。

分区地表水资源数量可用该区的多年平均年径流量表示。当区内河流有水文站控制时,可根据控制站天然年径流量系列计算多年平均年径流量。若控制站控制面积与分区实际面积有出入,可按面积比修正为分区年径流系列。在没有水文站控制的地区,可利用相似地区的降雨径流关系,由降水系列推求径流系列。

地下水资源数量评价应尽可能采用与地表水资源数量评价同步的资料,计算多年平均的地下水资源量。如上所述地下水资源量是指地下水的补给量。根据水量平衡原理可知,地下水体的多年平均补给量与多年平均排泄量相等。由于地下水运动过程复杂,难以与河川径流一样直接观测,而必须通过水源组成的分析,逐项计算以推求其数量。

根据不同地区的特点,可以通过推求多年平均补给量,也可以通过推求多年平均排泄量求得地下水资源量。例如对于山丘区地下水资源数量的评价一般是通过地下水排泄量推求其地下水资源量。河川基流量、潜水蒸发量、地下潜流量等项组成山丘区的排泄量,可以通过逐项推求,最终得出该区域地下水资源数量的估算值。

地表水与地下水存在相互转化关系。河川径流量中包含一部分地下水排泄量,如河川基流;地下水补给量中一部分来源于地表水体入渗,如河道渗漏、渠系渗漏、灌溉田渗漏等。因此在进行水资源总量计算时,还必须扣除地表水资源和地下水资源的上述相互转化的重复水量。

根据我国水利部门1986年完成的全国水资源调整评价结果,我国水资源总量为28 124亿 m^3 ,其中地表水资源(即多年平均年径流量)为27 115亿 m^3 ,地下水资源为8 288亿 m^3 ,扣除的相互转化的重复水量为7 279亿 m^3 。

二、水资源质量评价

水资源质量评价是以水环境监测和现状调查资料为基础,根据不同的目的和用途,选择一定的水质参数,按照一定的评价标准和方法对选定区域内的水质优劣程度进行定量评定,以达到准确区分水资源的“品位”和合理利用不同水质的使用功能的目的。

水资源质量评价是进行地表水和地下水资源的开发利用,保护人类生存环境等一系列工作的基础和前提。只有全面而重点地了解地表水和地下水环境的各种特征值,掌握了污染程度,污染物种类、数量、性质及其时空变化规律,才有可能实现对水资源的科学管理,从而达到防止水污染,保护水环境的目的。

按照评价目的的不同,水资源质量评价又可以分为:供水水质评价、水环境质量评价和专门性水质评价。以供水为目标的评价称为供水水质评价,供水水质评价按照供水行业的不同又可分为生活用水水质评价、工业用水水质评价、农业灌溉用水水质评价、渔业用水水质评价和特殊用水水质评价等。以保护水环境为目标的评价称为水环境质量评价,水环境质量评价按照评价所选的时间段可分为水环境质量回顾评价、水环境质量现状评价和水环境质量影响评价。水环境质量回顾评价是对某区域过去一定历史时期的水环境质量,根据历史资料进行评价。通过水环境质量回顾评价,可以确定水环境背景值,揭示出区域水环境的发展和演变过程,从而对水环境问题的成因进行解释或评价。

水环境质量现状评价是根据近两三年的水质监测资料对水资源的质量进行评价,通过水环境质量现状评价,调查淡水环境的目前状况、污染程度,为水资源的开发利用和环境污染综合防治提供依据。水资源质量影响评价也称为预测评价,它是在查明水环境演变历史、水环境现状的基础上,根据区域内的工农业生产的发展对水环境质量带来的影响和水环境对人类社会、经济发展产生的反影响进行评价。通过水环境质量影响评价,及早发现人类活动可能引起的水环境问题和水环境对工农业生产发展的限制,以便合理规划生产发展规模,及早采取措施,减免人类活动对生态环境的破坏。

专门性水质评价包括:矿泉水资源评价、医疗用水资源评价等。

三、水能资源及我国水能资源分布特点

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。利用水流的水能来生产电能的用水部门叫做水力发电部门。据统计,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。

我国水能资源极其丰富,全国可能开发的装机容量为 3.78 亿 kW,年发电量 19 233 亿 kW·h。我国各大河流域可能开发水能资源情况如表 1-3 所示。

表 1-3 我国各大河流域可能开发的水能资源

流域	装机容量(万 kW)	年发电量	
		(亿 kW·h)	占全国比重(%)
长江	19 724	10 275	53.4

续表

流域	装机容量(万 kW)	年发电量	
		(亿 kW·h)	占全国比重(%)
黄河	2 800	1 170	6.1
珠江	2 485	1 125	5.8
海滦河	214	52	0.3
淮河	66	19	0.1
东北诸河	1 371	439	2.3
东南沿海诸河	1 390	547	2.9
西南国际诸河	3 768	2 099	10.9
雅鲁藏布江及西藏其他河流	5 038	2 969	15.4
北方内陆及新疆诸河	997	539	2.8
全国	37 853	19 233	100.0

我国水能资源的分布特点是西南多,东北、华北少(如表 1-4 所示)。

表 1-4 我国按地区划分的可能开发水能资源

地区	项目	可能开发容量 (万 kW)*	可开发年发电量 (亿 kW·h)	占全国比重 (%)
东北		1 199	384	2.0
华北		692	232	1.2
华东		1 790	688	3.6
中南		6 743	2 974	15.5
西南		23 234	13 050	67.8
西北		4 194	1 905	9.9
合计		37 853	19 233	100

资料来源:《中国水利》,1991,198。

四、我国水资源的特点

(一)水资源量并不丰富

我国多年平均年水资源总量 2.8×10^4 亿 m^3 ,其中河川径流 2.7×10^4 亿 m^3 ,居世界第 6 位。但人均水资源占有量仅为世界人均占有量的 1/4,居世界第 109 位,见表 1-5。

表 1-5 我国年径流总量、人均、单位面积水量与国外比较表

国家名称	年径流总量 (10^8m^3)	年均径流深 (mm)	人口 (10^8)	人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕地 (10^8hm^2)	单位面积水量 (m^3/hm^2)
巴西	51 912	609	1.23	42 200	0.32	160 515
原苏联	47 140	211	2.64	17 860	2.27	20 775
加拿大	31 220	313	0.24	130 080	0.44	71 565
美国	29 702	317	2.20	13 500	1.89	15 690
印度尼西亚	28 113	1 476	1.48	19 000	0.14	198 000
中国	27 115	284	10.30	2 630	1.00	27 000
印度	17 800	514	6.78	2 625	1.65	10 815
日本	5 470	1 470	1.16	4 716	0.04	126 930
全世界	468 000	314	43.35	10 800	13.26	35 295

注：外国人口是联合国 1979 年的统计数，我国人口是 1982 年普查人口数。我国人口、水量、耕地均包括台湾省。此表是 1979 年的统计数字。

(二) 水能资源世界第一

据 1979 年全国水能资源普查统计，我国可能开发的水能资源为 19 233 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，相应的装机容量为 $3.78\times 10^8\text{kW}$ ，居世界之首。但我国人均水能资源低于世界平均水平，见表 1-6 所示。

表 1-6 一些国家可能开发的水能资源

国家	可能开发水电站装机容量(万 kW)	可能开发年发电量(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	国土面积(万 km^2)	每平方公里可能开发的年发电量(万 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	1980 年人口(万人)	按人口平均每人年发电量($\text{kW}\cdot\text{h}$)
中国	37 800	19 200	960	20.0	98 705	1 945
原苏联	26 900	10 950	2 240	4.9	26 574	4 120
巴西	21 300	12 000	851	14.1	12 638	9 495
美国	17 860	7 015	937	7.5	22 216	3 160
加拿大	15 290	5 352	998	5.4	2 394	22 360
扎伊尔	13 200	6 600	235	28.1	2 829	23 330
印度	7 000	2 800	328	8.5	69 387	404
哥伦比亚	5 000	3 000	114	26.3	2 691	11 150
日本	4 960	1 280	37.2	34.9	11 678	1 100
全球	22 610 000	9 800 000	13 500			2 470

(三) 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，南多北少，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%，但水资源量却占全国水资源总量的 81%。全国各区水资源统计见表 1-7。我国南方水资源丰富，而北方相对贫乏，这也是我国开展南水北调的客观原因。全国大部分地区连续四个月最

大降水量占全年降水量的70%左右。

表 1-7 全国各地地区年降水、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
淮河流域片	329 211	2 830	360	741	225	393	961
长江流域片	1 808 500	19 360	1 071	9 513	526	2 464	9 613
珠江流域片	580 641	8 967	1 544	4 685	807	1 115	4 708
浙闽台诸河片	239 803	4 216	1 758	2 557	1 066	613	2 592
西南诸河片	851 406	9 346	1 098	5 853	688	1 544	5 853
内陆诸河片	3 321 713	5 113	154	1 064	352	820	1 200
额尔齐斯河	527 330	208	395	100	190	43	103
全国	9 545 322	61 889	648	27 115	284	8 288	28 124

(四)雨热同期性

我国国土面积仅占世界陆地面积的7%，却养育了占世界22%的人口，这除了优越的社会主义制度、人民的勤劳智慧外，具备了良好的自然条件也是一个重要原因。水资源就是最重要的条件之一。

雨热同期性是我国水资源分布的突出优点，较高的气温、充足的雨水是许多作物生长需要同时具备的自然条件。我国各地6、7、8月高温期，一般也是全年雨水最多的时候，这就具备了农作物生长的良好条件，因此才能在有限的土地上，经过辛勤耕耘，取得丰硕的收获。

(五)水源污染严重，急需加强保护

就全国而言，我国河流的天然水质是相当好的，我国南方和北方水量较多地区，河水矿化度和总硬度都较低，全国各主要江河干流的河水矿化度和总硬度也都较低，黄河干流矿化度一般只有301~500 mg/L，总硬度一般为85~100 mg/L，属中等矿化度适度硬水。超过1 000 mg/L的高矿化度河水分布面积仅占全国面积的13%；总硬度超过250 mg/L的极硬河水分布面积仅占全国面积的12%，而且主要分布在人烟稀少的内蒙古高原西部、塔里木盆地、准葛尔盆地、柴达木盆地以及黄河流域上中游的黄土高原部分地区，这些地区产生的径流很少，因此这种高矿化度极硬河水的水量甚微。

第三节 水资源开发利用概述

水资源开发利用是指根据兴利、除害的要求,采取工程措施及非工程措施,对水资源进行调节、控制、保护及管理,以满足国民经济各部门的用水要求。必须根据水资源总量及其时空分布,结合各部门的用水要求,合理开发利用水资源,以发挥其最佳的综合利用效益。

一、我国水资源开发利用概况

我国自有文字记载以来,就有了关于水的开发利用的记载。相传的大禹治水,发生在公元前 2000 年;公元前 1000 年左右的西周有了蓄水、灌溉、排水、防洪的设施;公元前 221 年秦始皇统一中国后,对河流上的堤防工程作了统一安排,这是中国水利史上的一件大事。

历代修建的水利工程,比较著名的有:四川灌县的都江堰灌区(公元前 250 年);陕西关中的郑国渠(公元前 246 年);南宋时期的坎儿井;广西兴安县灵渠航运工程(公元前 221~前 214 年);还有始于春秋(公元前 497 年),经多次增修改建,到元代(公元 1271~1368 年)全线开通的南北大运河等。

中国是世界上水利事业历史最悠久的国家之一。历代都把发展水利作为发展生产、安定社会的重要措施,水利事业不断得到发展。但是 19 世纪以来,当世界上许多国家大规模发展水利时,中国却处于列强入侵、军阀混战、政治上腐败和经济上贫穷时期,水利建设处于停滞状态。直到 1930 年,才有了一些近代的水利工程,但由于日本侵华,水利工程不但没有发展,而且已有工程年久失修、破烂不堪。到 1949 年,全国库容超过 1 亿 m^3 的大型水库只有 6 座;主要江河洪水不能控制,防洪堤残缺不全,防洪标准很低,仅长 4.2 万 km;灌溉面积为 0.16 亿 hm^2 ,仅占耕地面积的 15%,而且保证程度不高;水电装机容量仅 54 万 kW(包括台湾的 18.45 万 kW),年发电量只有 12 亿 $kW \cdot h$ 。

中华人民共和国成立以后,在党中央的正确领导下,我国水利建设取得了很大成就。到 1990 年,全国农田灌溉面积达 0.48 亿 hm^2 ;内河航运里程达 10.9 万 km;修建和加固堤防 20 万 km;修建大、中、小型水库共 83 000 座,总蓄水量 4 500 亿 m^3 ,其中大型水库 355 座,总库容 3 250 亿 m^3 ;水电站总装机容量达 3 605 万 kW,水电年发电量 1 263.5 亿 $kW \cdot h$ 。据联合国 1997 年出版的《1995 年能源统计年鉴》统计,我国到 1995 年底,水电装机容量达 5 208 万 kW,水电年发电量 1 872.8 亿 $kW \cdot h$ 。最近有资料表明,截至 2000 年底,我国农田灌溉面积已达 0.53 亿 hm^2 ,水电装机容量已达 7 290 万 kW,水电年发电量达 2 129 亿 $kW \cdot h$ 。

二、水资源供需分析

供需平衡是实现水资源合理开发利用必须遵循的原则。它涉及两方面的问题:一方面是如何根据自然、技术、经济等方面的条件估计提供可利用水量的能力;另一方面是如何根据人口及经济发展,估计各部门对水资源的需求量。

水资源的有限性强调可以逐年恢复、更新的地表水资源和地下水资源的数量是有限的。还必须指出,由于自然、技术、经济等条件限制,水资源评价中估算的水资源总量不可能全部作为可供利用的水量。

河川径流时空分布的不均匀性是制约我国地表水资源充分开发利用的重要因素。我国

大部分地区受季风影响,降水量的年际和季节变化都很大。我国南方地区最大年径流量为最小年径流量的2~4倍,北方地区一般为3~8倍,有的高达10倍。南方大部分地区连续四个月最大径流量占全年径流量的60%左右,华北平原和辽宁沿海可达80%以上。我国水资源的地区分布是南多北少,相差悬殊。南方地区一般平均年径流深在500mm以上,其中浙江、福建沿海有些地区年径流深超过1000mm。北方地区如黄河、海滦河、辽河、黑龙江等流域平均年径流深仅有100mm左右,内陆河流域平均年径流深仅有32mm。

针对上述水资源时空分布不均匀的特点,为了提高我国水资源的利用率,必须因地制宜地修建蓄水工程(如水库)和跨流域调水工程。蓄水、调水工程的修建受到自然条件及技术上的可行性和经济上的合理性的制约。

另一方面,为了保持河川水环境的正常水流和水体的自净能力,即使在枯水季节,河流也应维持足以满足环境要求的平稳流量,这形成了对从河道取水的某些需水部门(如灌溉、城市居民和工业用水)的引用水量的制约。

地下水资源的开发利用也存在制约条件。理论上讲,如果从地下含水层提取的水量不超过其年补给量,即可保持对地下水的持续利用。考虑到开采地下水的经济合理性、技术可能性,以及开采地下水可能造成的地面沉降、水质恶化、海水入侵等问题,实际上地下水的可开采量往往小于地下水补给量。

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,用水的需求量呈持续增长的趋势。表1-8的数据说明了我国1949~1979年用水增长情况。1979年全国用水量已达4767亿 m^3 ,为1949年全国用水量(1031亿 m^3)的4.6倍。据统计,20世纪以来人均用水量增长了8倍。必须指出人类社会的用水量不可能无止境地增长,它终将由于可利用的水资源量及实际供水能力的制约而呈现零增长的趋势,也就是说用水量总要达到一个极限。

表 1-8 我国用水增长情况 (单位:亿 m^3)

项目	1949年	1957年	1965年	1979年
农业	1 001	1 938	2 545	4 195
工业	20	79	119	263
火电	4	17	62	260
城市	6	14	18	49
总计	1 031	2 048	2 744	4 767

注:表中数据引自中国水利部1981年编《中国水资源初步评价》。

《中国水利区划》对我国水资源供需状况作过分析和预测。全国各省、市、自治区统一以1977~1979年三年为表期,并以三年平均用水反映当时全国水资源的开发利用状况。统计资料表明,全国各项水利设施三年平均总供水量4739亿 m^3 ,其中河川径流供水量4216亿 m^3 ,地下水开采量523亿 m^3 。河川径流供水量包括蓄水工程的供水量2234亿 m^3 和从河道中提引的水量1982亿 m^3 。将年供水量4739亿 m^3 与我国水资源总量28124亿 m^3 相比,水资源利用率约为17%;蓄水工程供水量2234亿 m^3 与全国地表水资源年径流量27115亿 m^3 相比约为8%。可见20世纪70年代末我国水资源利用率很低,蓄水工程对天然河川径流的