

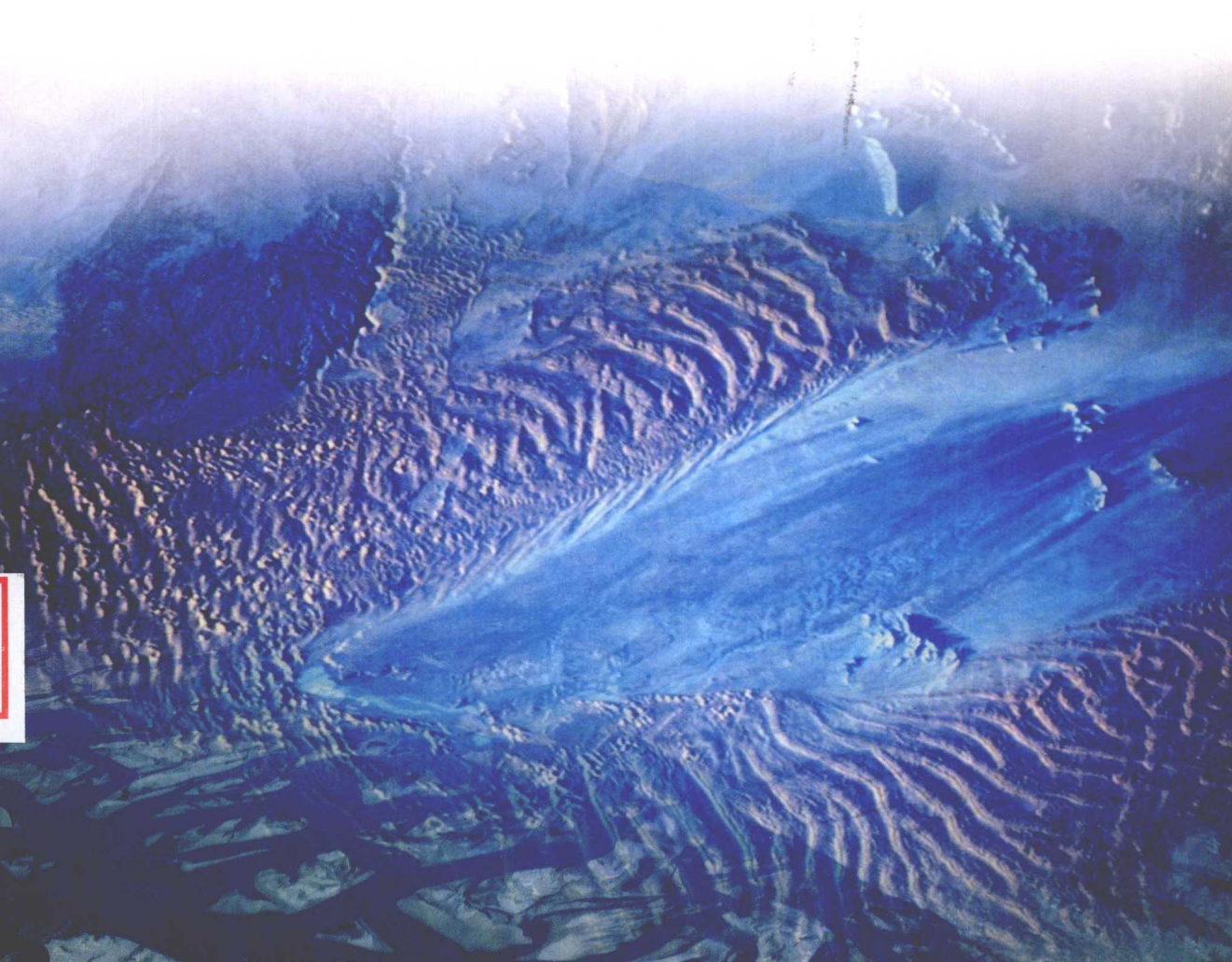
高等教育“十二五”规划教材

专门水文地质学

Zhuanmen Shuiwen Dizhixue

王心义 李世峰 许光泉 赵彦琦 高宗军 董东林 编

中国矿业大学出版社



P641
W398

高等教育“十二五”规划教材

专门水文地质学

王心义 李世峰 许光泉 编
赵彦琦 高宗军 董东林



1215062



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

全书内容共分十六章:地下水资源和地下水系统,水文地质勘查,水文地质探查方法,水文地质现场试验,地下水动态和地下水均衡,水文地质参数计算,地下水水质评价,地下水水量评价,地下水资源的开发利用和管理,地下水的污染和防治,矿床水文地质,矿井水害及其防治技术,矿井排水资源化,地热资源的评价和开发利用,矿井采掘诱发的环境地质问题,新技术方法在水文地质研究中的应用。该教材各章后均配有习题。

本书可作为煤矿类、地质类、环境类、水资源类、土木工程类和水利工程类专业本科生和硕士生学习和研修的教材或参考书,同时也可供生产单位有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

专门水文地质学/王心义等编. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0701 - 2

I. ①专… II. ①王… III. ①水文地质—高等学校—教材 IV. ①P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第132529号

书 名 专门水文地质学

编 者 王心义 等

责任编辑 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

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

印 刷 淮安市亨达印业有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 21.75 字数 560 千字

版次印次 2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷

定 价 33.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着人类对水资源需求的增加,越来越多的国家和地区涌现出“水质型缺水”或“资源型缺水”等问题。与地表水资源相比,地下水资源因其空间分布范围广阔、可调节性强、水质普遍优于地表水和经济技术开发利用可行等优点,在工农业生产中发挥着极其重要的作用;同时,由于地下水赋存的隐蔽性和污染的难以逆转性等特点,一旦枯竭和被污染则很难恢复和治理。因此,对地下水资源的合理开发利用,有赖于其勘查、评价和治理技术的支撑。“专门水文地质学”是地下水科学和工程专业、水文和水资源学专业一门重要的技术基础课程,其学习的目的在于使学习者掌握水文地质勘查和评价的基本方法和分析解决实际水文地质问题的能力。自上世纪70年代末以来,国内知名专家和学者已出版多部《专门水文地质学》教材,目前,我国矿业类高校主要利用这些教材开展教学工作,而在教学过程中发现,已有教材难以完全满足当今矿业类高校教学的需要。基于此,2006年4月在徐州召开的全国矿业类高等学校地质和测量学科“十一五”规划教材的编修工作会议上,确定由河南理工大学、中国矿业大学(北京)、山东科技大学、安徽理工大学和河北工程大学编写适用于矿业类高校教学的《专门水文地质学》教材。

全书内容共分十六章。第一章介绍地下水资源和地下水系统的基本概念;第二章阐述水文地质勘查的基本方法和勘查成果的编制;第三章简介水文地质探查常用的物探、化探和钻探的基本原理和应用途径;第四章说明水文地质试验的种类和用途;第五章围绕地下水动态和地下水均衡的概念、类型、特征和计算方法进行阐述;第六章解释了给水度和释水系数、渗透系数和导数系数、越流系数和越流因素、降水(灌溉)入渗补给系数和潜水蒸发强度及水动力弥散系数等水文地质参数的基本概念和计算方法;第七章概括论述地下水的水质评价方法以及生活饮用水、工农业用水、矿泉水水质的评价依据;第八章分别介绍均衡法、相关分析法、解析法、开采试验法、数值法和地下水文分析法等地下水水量评价方法的原理和应用;第九章主要阐述地下水资源的开发利用和存在的问题,以及地下水资源的管理和保护途径;第十章介绍地下水的污染机理、污染预测和污染防治的主要方法;第十一章围绕矿床开采过程中的充水因素和水文地质分类进行分析,介绍了常用的矿坑涌水量预测方法;第十二章主要介绍矿井水害类型及其防治技术;第十三章主要概括了矿井排水的类型、水处理的方法和资源化的途径;第十四章介绍我国地热资源的分布、水文地球化学研究方法和地热资源的评价方法以及地热资源的开发利用和保护;第十五章主要说明了矿井采掘诱发的岩溶塌陷、地面沉降、土壤沙化等环境地质问题;第十六章介绍了遥感技术、GIS技术、同位素技术、现代模拟软件和水文监测等新技术方法在水文地质研究中的应用。

在教材编写过程中,河南理工大学专门组织召开了两次全体编者会议,共同商定编写大纲、选材内容和编写原则,并就编写过程中出现的问题和注意事项等进行了深入交流,为保证本教材的编写质量奠定了坚实基础。该教材内容新颖翔实,既概括了作为一门技术基础

课程所应有的基本理论方法基础,又体现了当代科学技术日新月异的进步对本学科的影响,可供相关专业在校本科生和硕士生学习和研修使用,也可供生产单位有关专业工程技术人员参考。此外,该教材各章后均配有习题,可供学习者提高学习效果和开拓视野之用。

根据各位编者承担过的教学任务和研究特长,经协商教材的编写分工如下:前言、第十四章、第十六章第三节,由河南理工大学王心义编写;第一章、第二章、第四章,由山东科技大学高宗军编写;第三章、第六章第四节和第五节、第七章、第十二章第二节(探查技术部分),由河北工程大学李世峰编写;第五章、第八章、第十章,由河南理工大学赵彦琦编写;第九章、第十一章、第十六章第一节、第二节、第四节、第五节,由中国矿业大学(北京)董东林编写;第十二章(第二节探查技术部分除外)、第十三章、第十五章,由安徽理工大学许光泉编写;第六章第一节至第三节,由河南理工大学王心义和赵彦琦共同编写。全书由王心义担任主编并负责统稿和定稿工作,赵彦琦亦参与了第一章至第九章的统稿工作。

在教材编写过程中,编者参考了国内已出版的《专门水文地质学》(如房佩贤、卫中鼎、廖资生主编的《专门水文地质学》(修订版),曹剑锋等编著的《专门水文地质学》)以及国内外专家、学者、同行的著作、教材和研究成果,在书后参考文献表中已一一列出,在此一并表示感谢。特别需要说明的是,该教材之所以迟至今日才完成,正是编者们对自己所负责编写的内容精益求精、多易书稿的结果。

由于水平所限,书中一定还存在一些错误和缺点,敬请广大读者批评指正。在本教材编写和出版过程中,承蒙中国矿业大学出版社领导关心,责任编辑潘俊成亦付出了辛勤劳动、提出了许多宝贵的修改意见。在此,编者表示深深谢意!

编 者

2010年8月

目 次	
前 言	1
第一章 地下水资源和地下水系统	1
第一节 全球的水资源	2
第二节 中国的水资源	8
第三节 地下水资源	10
第四节 地下水系统	17
习 题	20
第二章 水文地质勘查	21
第一节 水文地质勘查概述	21
第二节 水文地质测绘	24
第三节 不同地区水文地质勘查的任务和内容	26
第四节 水文地质勘查成果的编制	30
习 题	34
第三章 水文地质探查	35
第一节 水文地质物探	35
第二节 水文地质化探	42
第三节 水文地质钻探	50
习 题	60
第四章 水文地质现场试验	62
第一节 抽水试验	62
第二节 其他水文地质试验	71
习 题	76

第五章 地下水动态和地下水均衡	78
第一节 概述	78
第二节 地下水动态观测	80
第三节 地下水的动态特征和类型	83
第四节 地下水均衡要素和均衡方程	87
习 题	90
第六章 水文地质参数计算	91
第一节 给水度和弹性释水系数	92
第二节 渗透系数和导水系数	94
第三节 越流系数和越流因素	95
第四节 降水入渗补给系数和潜水蒸发强度	96
第五节 水动力弥散系数	104
习 题	106
第七章 地下水水质评价	107
第一节 地下水质量综合评价	107
第二节 生活饮用水水质评价	112
第三节 工业供水水质评价	118
第四节 农田灌溉用水水质评价	122
第五节 矿泉水水质评价	127
习 题	131
第八章 地下水水量评价	132
第一节 地下水资源量评价的原则	132
第二节 地下水资源量评价的内容	134
第三节 地下水资源量评价的方法	136
习 题	161
第九章 地下水资源的开发利用和管理	163
第一节 开发利用地下水资源存在的问题	163
第二节 地下水资源的开发和利用	166
第三节 地下水资源的管理和保护	181
习 题	191
第十章 地下水的污染和防治	192
第一节 地下水污染	192

第二节 地下水污染预测·····	196
第三节 地下水污染的预防和治理·····	203
习 题·····	211
第十一章 矿床水文地质·····	212
第一节 矿床类型和矿床开采·····	212
第二节 矿床充水因素·····	217
第三节 矿床水文地质分类·····	224
第四节 矿坑涌水量预测·····	227
习 题·····	244
第十二章 矿井水害及其防治技术·····	245
第一节 矿井水害类型·····	245
第二节 矿井水害防治技术·····	246
第三节 矿井水害防治工程·····	254
习 题·····	267
第十三章 矿井排水资源化·····	268
第一节 矿井排水的类型·····	268
第二节 矿井排水的处理·····	270
第三节 矿井水资源化·····	275
习 题·····	277
第十四章 地热资源的评价和开发利用·····	279
第一节 中国地热资源的分布·····	280
第二节 研究地热资源的水文地球化学方法·····	286
第三节 地热资源评价·····	290
第四节 地热资源的开发利用和保护·····	296
习 题·····	299
第十五章 矿井采掘诱发的环境地质问题·····	300
第一节 岩溶塌陷·····	300
第二节 地面沉降·····	305
第三节 土壤沙化·····	308
习 题·····	308

第十六章 新技术方法在水文地质研究中的应用.....	310
第一节 遥感技术.....	310
第二节 地理信息系统技术.....	311
第三节 同位素技术.....	314
第四节 现代模拟软件.....	318
第五节 水文监测新方法.....	325
习 题.....	332
参考文献.....	333

第一章 地下水资源和地下水系统

本章介绍了全球和我国水资源的基本知识,在此基础上简要介绍了地下水资源的分布类型、分区和特征以及补给量、贮存量和允许开采量的确定方法,最后对“地下水系统”概念进行了论述。本章内容涉及地球科学基础知识和水文学、系统论等方面知识,学习时需要结合相关内容加深对地下水资源、地下水允许开采量、地下水系统概念的理解,尤其需要通过阅读参考书,理解地下水流动系统的内涵。

水是生命之源,地球表面 70.8% 的面积被水覆盖。然而,面对快速的人口增长和工业化发展,加之地球上的水资源极易遭受污染,优良的、适宜的陆地淡水资源已越来越显缺乏。

关于资源,《辞海》(2009 年版)的定义是:“生产资料或生活资料等的来源。”《现代汉语词典》的定义是:“生产资料或生活资料的天然来源”。英文中资源一词(resources),由前缀再、重新(re)和来源(source)两层意思组成;俄文中资源一词也有财富来源的意思。可见,资源的含义在不同民族语言里虽然接近,但也不完全相同。狭义的资源主要是指“天然资源”,广义的资源则是指人类生存、生活和发展所需要的一切物质的和非物质的要素,包括自然资源、人力资源、环境资源、文化资源等等。资源有可用性和稀缺性两个基本属性。地球上的水(尤其是陆地上的优良淡水)既稀缺又有用且必须要用,因此称之为水资源。水资源是人类赖以生存和发展的基本物质之一,也是人类生息不可替代和不可缺少的自然资源。

国外较早采用“水资源”这一概念的是美国地质调查局(USGS)。1894 年该局设立水资源处,其主要业务范围是对地表河川径流和地下水进行观测。1963 年英国通过水资源法,在该法中将水资源定义为“具有足够数量的可用水源”。1965 年美国通过水资源规划法案,同时成立了水资源理事会(WRC),这时水资源已具有浓厚的行业内涵。在《不列颠百科全书》中水资源被定义为:全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水。1977 年联合国教科文组织(UNESCO)建议:“水资源,应当是指可以利用或有可能被利用的水源,这种水源应有足够的数量和可以用的质量,并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”

《中国大百科全书》的相关卷中对水资源亦有明确解释,如在大气科学、海洋科学、水文科学卷中,水资源被定义为“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”;在水利卷中,水资源被定义为“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供评价的水资源”。《辞海》(2009 年版)对水资源所做的定义如下:“广义指地球上所有的气态、液态和固态天然水;狭义指人类可利用的水资源,即某一地区逐年可以恢复和更新的淡水资源,包括河川径流和浅层地下水等。”因为人类生活在陆地,大部分陆地生物的生命均靠淡水维系,人类饮用和大多数植物

生长都需要淡水滋养,因此也有人把水资源理解为人类可资利用的淡水资源。

迄今,人们给出的水资源定义,因所站的角度不同而不同,大体可归结为以下几类:

① 广义的水资源,是指人类长期生存、生活和生产过程中所需要的自然界各种形态的水,包括可资利用的天然水和非天然水,即人类能够直接或间接使用的各种水和作为生产资料和生活资料使用的水中的物质和能以及在社会生产中有使用价值和经济价值的水等。

② 更广义的水资源,是指地球上水的总体,即以固态、液态和气态形式存在于地球表面和地球岩石圈、大气圈、生物圈之中的水。

③ 狭义的水资源,是指在一定的经济技术条件下人类能够直接使用的天然淡水,是指自然界水循环过程中大气降水落到地面、形成径流而流入江河、湖泊、沼泽和水库中的地表水以及渗入地表以下的地下水。

必须说明的是,现实生活中的水资源只具有相对意义。实际上,水资源的含义在不同的场合、为了不同的目的是不同的,具体又实用的水资源定义应该是——自然界中可资利用的有适宜水质和水量的水。众所周知,自然界中是不存在纯净(蒸馏)水的,自然界中的水均含有许多物质成分,不加区别地把自然界的水统称为水资源是很危险的,比如工业废水和城市污水在经过处理之前一般都是污染源,而不是水资源。而海水虽然不能为人们直接饮用,但它却可以养殖许多人类食用的生物,可以发电、淡化利用和直接做冷却水用,因而也称为水资源。当海水由于某种原因入侵内陆、对陆地上的淡水形成威胁时,则被称为水害源。本书所论述的“水资源”主要是指狭义的水资源,即与人类生活和生产活动、社会进步息息相关的淡水资源。

赋存在地表以下岩石空隙中的水称做地下水。地下水以结合水、毛细水、固态水、气态水、液态水等多种形式存在,其中结合水不受重力驱动,毛细水虽然受重力驱动但因受制于毛细作用而不容易被开发利用。因此人类可以开发利用的地下水,主要是指在重力作用下自由运动的液态重力水。通常把可以被人类开发利用的优质地下水称为地下水资源,它是一种宝贵的资源。与地球上其他的资源相比较,地下水资源具有可恢复性、可调节性、广泛分布性和可控制性等特点。

第一节 全球的水资源

一、地球上的水及其分布

地球是一个富水行星,从地球的外层空间直到地球内部的地幔甚至地核都有水存在,只不过存在的形式不同而已。

大气圈中存在的大气水,岩石圈中岩石空隙存在的地下水,生物圈中生命体内存在的生物水,分布于地球表面以液态和固态(冰雪等)形式存在的地表水,共同组成地球的水圈(表1-1)。这里所说的水,均以自由态 H_2O 分子形式存在,虽以液态为主但亦呈气态或固态参与地球表面的水文循环。水圈中的水总体积约为 13.86 亿 km^3 ,若将这些水均匀地平铺在地球表面,水深可达 2718 m。其中咸水约占 97.47% ,淡水只占 2.53% 。

图1-1所示为陆地上液态水的分布情况——地表河流的径流量约为 300 mi^3 ,地表湖库中的水是地表径流量的 100 倍,陆地上的地下水则是地表湖库水的 30 多倍,可见陆地上的液态水以地下水为主。

表 1-1

地球水圈中水的分布

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	0.000 9			12.9	0.037 8
地表水	海洋水	1 338 000.0	96.54	1 338 000.0	99.04		
	河流水	2.1	0.000 2			2.1	0.006 1
	沼泽水	11.5	0.000 8			11.5	0.033 7
	湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91.0	0.259 8
	冰川和永久积雪	24 064.1	1.74			24 064.1	68.769 7
地下水	地下水	23 400.0	1.69	12 870.0	0.95	10 530.0	30.060 6
	永冻层中的水	300.0	0.022			300.0	0.856 4
	土壤水	16.5	0.001 2			16.5	0.017 1
生物水		1.1	0.000 1			1.1	0.003 2
总 计		1 385 984.6	100	1 350 955.4	100	35 029.2	100

* 该表内容只考虑参与地球水文循环的水,引自《中国大百科全书·大气科学 海洋科学 水文科学卷》,1987 年版。

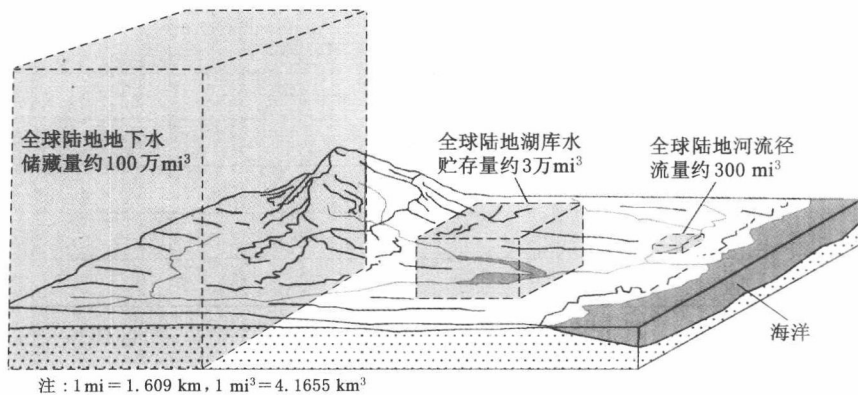


图 1-1 全球陆地水量分布示意图(据 USGS 网站)

二、自然界的水循环

陆地上的水,除由地球内部生成的水经火山活动等溢出地表外,绝大部分源于大气水的补给。在太阳辐射和重力共同作用下,地球上的水以蒸发、降水和径流等方式周而复始地进行循环——地表水、包气带水和饱水带中的浅层水,通过蒸发和植物蒸腾而变为水蒸气进入大气圈;水汽随风飘移,在适宜条件下形成降水;落到陆地的降水部分汇集于江河湖沼形成地表水,部分渗入地下;渗入下的水部分滞留于包气带(其中的土壤水为植物生长提供水分),其余部分渗入饱水带岩石空隙之中,形成地下水径流;地表水和地下水有的重新蒸发返回大气圈,有的通过地表径流或地下径流返回海洋。总之,水循环中的水量是均衡的,在一定区域、比较长的时间尺度上水循环的量基本是稳定的。表 1-2~表 1-4 所示为全球和我国主要河流流域的循环水量(引自《中国大百科全书》)。

表 1-2 全球水量平衡表 (陆地分内、外流统计)

分 区	面积/ 10^6 km^2	水量/ 10^3 km^3		
		降 水	径 流	蒸 发
海 洋	361	458	-47	505
陆 地	149	119	47	72
其中:外流区	119	110	47	63
内流区	30	9		9
全 球	510	577	0	577

表 1-3 全球水量平衡表 (陆地按洲统计)

区 域	水量/ 10^3 km^3		
	降 水	蒸 发	径 流
欧 洲	8.29	5.32	2.97
亚 洲	32.23	18.11	14.12
非 洲	22.41	17.70	4.71
北美洲	18.28	10.10	8.18
南美洲	28.40	16.20	12.20
大洋洲	7.08	4.57	2.51
南极洲	2.31	0	2.31
全球陆地	119	72	47
全球海洋	458	505	-47
全 球	577	577	

表 1-4 我国主要河流流域水量平衡表

流域名称	流域面积/ km^2	降水量/mm	径流量/mm	蒸发量/mm
松花江	549 665	525	145	380
黄 河	752 443	492	76	416
淮 河	261 504	929	191	738
长 江	1 807 199	1 055	542	513
珠 江	452 616	1 438	772	666
雅鲁藏布江	246 000	699	474	225

地壳浅表层水分如此往复不已地循环转化,乃是维持生命繁衍和人类社会发展的必要前提。一方面,水通过不断转化使水质得到净化;另一方面,水通过不断循环使水量得以再生,同时使物质和能量得以转换。水的不断更新和再生,可以保证在其再生速度水平上的永续利用。地球上不同类型水的更新周期如表 1-5 所示。

表 1-5 地球不同类型水的更新周期

水体类型	更新周期/a	水体类型	更新周期/a
永久积雪	9 700	湖泊水	17
海 水	2 500~3 000	沼泽水	5
山岳冰川	1 600	土壤水	1
地下水	0~n 万	河流水	12~16
永久冻土带水	0~n 万	大气水	8 d~10 d

尽管地球上的水是不断运动和更新的,但从总体上来看地球上的水总是均衡的,它遵循着质量守恒定律。地球上的水在海洋与陆地之间不断进行循环,径流和蒸发的代数和等于降水量。

三、全球的水资源

全球水资源分布极不均匀,以年降水和年径流的厚度计,大洋洲各岛(除澳大利亚外)水量最丰,多年平均年降水可达 2 700 mm,年径流量达 1 500 mm 以上;而大洋洲的澳大利亚大陆却是全球水量最少的地区,其年降水量只有 460 mm,年径流量只有 40 mm,其三分之二面积为荒漠和半荒漠。南美洲水量也较丰富,降水量和径流量均为全球陆面上相应平均值的两倍。欧洲、亚洲和北美洲的降水量和径流量均接近全球陆面上的平均值,而非洲大陆则有大面积沙漠,气候炎热,虽年降水量接近世界平均值,但年径流量却不及世界平均值的一半。南极洲降水虽然不多,只有全球陆面平均降水量的 20%,但全部降水均以冰川形态储存,总贮存量相当于全球淡水总量的 62%。世界各大洲年降水量和年径流量分布详见表 1-6 所示。

表 1-6 世界各大洲多年平均年降水和年径流量分布一览表

洲 名	面 积 /($\times 10^3 \text{ km}^2$)	年降水量		年径流量		径流系数
		/mm	/($\times 10^3 \text{ km}^3$)	/mm	/($\times 10^3 \text{ km}^3$)	
亚 洲	43 475	741	32.2	332	14.41	0.45
非 洲	30 120	740	22.3	151	4.57	0.20
北美洲	24 200	756	18.3	339	8.20	0.45
南美洲	17 800	1 596	28.4	661	11.76	0.41
南极洲	13 980	165	2.31	165	2.31	1.00
欧 洲	10 500	790	8.29	306	3.21	0.39
澳大利亚	7 615	456	3.47	39	0.30	0.09
大洋洲(各岛)	1 335	2 704	3.61	1 566	2.09	0.58
全球陆地	149 025	798	118.88	314	46.85	0.39

各大洲自然条件不同,经济和社会发展水平差异很大。南极洲终年冰天雪地,至今除极少数探险家和科学工作站外仍然渺无人烟;其余各大洲水资源开发程度不同,有关水资源的社会和经济指标亦各不相同,详见表 1-7 所示。

表 1-7

世界各大洲水资源统计结果

洲 名	水资源量 /万亿 m^3	陆地面积 / 10^3 km^2	单位陆地面积 水资源量 / (m^3/km^2)	人口/亿 (1995 年)	人均水 资源量 / $(\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{年})$	耕地总面积 / 10^3 hm^2 (1993 年)	单位耕地面积 水资源量 / (m^3/hm^2)
亚 洲	14.41	43 475	332 000	34.08	4 228	468 661	30 747
非 洲	4.57	30 120	151 000	7.44	6 142	187 887	24 323
北美和中美	8.20	24 200	239 000	4.19	19 570	271 447	30 208
南美洲	11.76	17 800	661 000	3.20	36 750	102 767	114 434
欧 洲	3.21	10 500	306 000	5.16	6 221	136 005	23 602
大洋洲	2.39	8 950	195 000	0.29	82 413	51 500	46 407
南极洲	2.31	13 980	165 000	0.00	—	—	—
全 球	46.85	149 025	314 000	54.36	8 618	1 218 267	38 456

资料来源：人口和耕地面积数据根据《世界资源报告》(1994~1995)和《世界资源报告》(1996~1997)。

陈家琦等对世界 153 个国家的水资源量进行了统计,水资源总量排前 10 位国家是——巴西(69500 亿 m^3)、俄罗斯(42700 亿 m^3)、美国(30560 亿 m^3)、印尼(29860 亿 m^3)、加拿大(29010 亿 m^3)、中国(27115 亿 m^3)、孟加拉国(23570 亿 m^3)、印度(20850 亿 m^3)、委内瑞拉(13170 亿 m^3)和哥伦比亚(10700 亿 m^3)。人均水资源占有量排后 10 位的国家是——科威特(103 $\text{m}^3/\text{人}$)、利比亚(111 $\text{m}^3/\text{人}$)、新加坡(211 $\text{m}^3/\text{人}$)、沙特阿拉伯(254 $\text{m}^3/\text{人}$)、约旦(314 $\text{m}^3/\text{人}$)、也门(359 $\text{m}^3/\text{人}$)、以色列(382 $\text{m}^3/\text{人}$)、突尼斯(443 $\text{m}^3/\text{人}$)、阿尔及利亚(528 $\text{m}^3/\text{人}$)和布隆迪(563 $\text{m}^3/\text{人}$)。1995 年,中国人均水资源占有量为 2239 $\text{m}^3/\text{人}$,在 153 个国家中排第 121 位。

年用水总量最多的前 10 位国家分别是——中国(5198 亿 m^3)、美国(4673.4 亿 m^3)、印度(2800 亿 m^3)、巴基斯坦(1534 亿 m^3)、俄罗斯(1170 亿 m^3)、日本(908 亿 m^3)、乌兹别克斯坦(822 亿 m^3)、墨西哥(776.2 亿 m^3)和埃及(564 亿 m^3)。

人均年用水量最多的前 10 位国家分别是——土库曼斯坦(6390 $\text{m}^3/\text{人}$)、伊拉克(4575 $\text{m}^3/\text{人}$)、乌兹别克斯坦(4121 $\text{m}^3/\text{人}$)、吉尔吉斯斯坦(2729 $\text{m}^3/\text{人}$)、塔吉克斯坦(2455 $\text{m}^3/\text{人}$)、阿塞拜疆(2294 $\text{m}^3/\text{人}$)、巴基斯坦(2053 $\text{m}^3/\text{人}$)、美国(1870 $\text{m}^3/\text{人}$)和阿富汗(1830 $\text{m}^3/\text{人}$)；人均年用水量最少的 10 个国家分别是——所罗门群岛(0)、海地(7 $\text{m}^3/\text{人}$)、刚果(布)(10 $\text{m}^3/\text{人}$)、赤道几内亚(15 $\text{m}^3/\text{人}$)、几内亚比绍(17 $\text{m}^3/\text{人}$)、刚果(金)(20 $\text{m}^3/\text{人}$)、布隆迪(20 $\text{m}^3/\text{人}$)、乌干达(20 $\text{m}^3/\text{人}$)、中非(26 $\text{m}^3/\text{人}$)和贝宁(28 $\text{m}^3/\text{人}$)。

四、全球水资源面临的主要问题

据统计,人类可利用的淡水资源仅有 10^{16} m^3 (0.1 亿 km^3),且 60% 分布在巴西、俄罗斯、中国、加拿大、印度尼西亚、美国、印度、哥伦比亚和扎伊尔等 9 国。因而从未来的发展趋势看,由于社会对水的需求不断增加,而自然界所能提供的可利用水资源十分有限,突出的供需矛盾使水资源已成为国民经济发展的主要制约因素,主要表现在以下两个方面。

(一) 水量严重短缺,供需矛盾尖锐

随着需水量的大幅增加,水资源供需矛盾日益突出。据 1991 年联合国世界气象组织和教科文组织联合报告,全球水消耗量在 20 世纪的 100 年间增加了 10 倍,由世纪初的 0.5 万

亿 m^3/a 增加到世纪末的 5 万亿 m^3/a (图 1-2)。联合国环境规划署发表的《2000 年全球环境展望》报告指出:世界上已有大约 20% 的人缺乏安全的饮用水,50% 的人生活在没有卫生设施的地区。预测到 2025 年全世界将有三分之二的人口面临严重缺水局面。缺水区在亚洲占 60%,在非洲占 85%,而对于中东而言缺水危机已成为严酷现实。另外,世界上许多重要的水域都是由多个国家共有的,普遍存在水资源利用矛盾和潜在冲突,最明显的例子是尼罗河流域、亚洲西南部和中东。

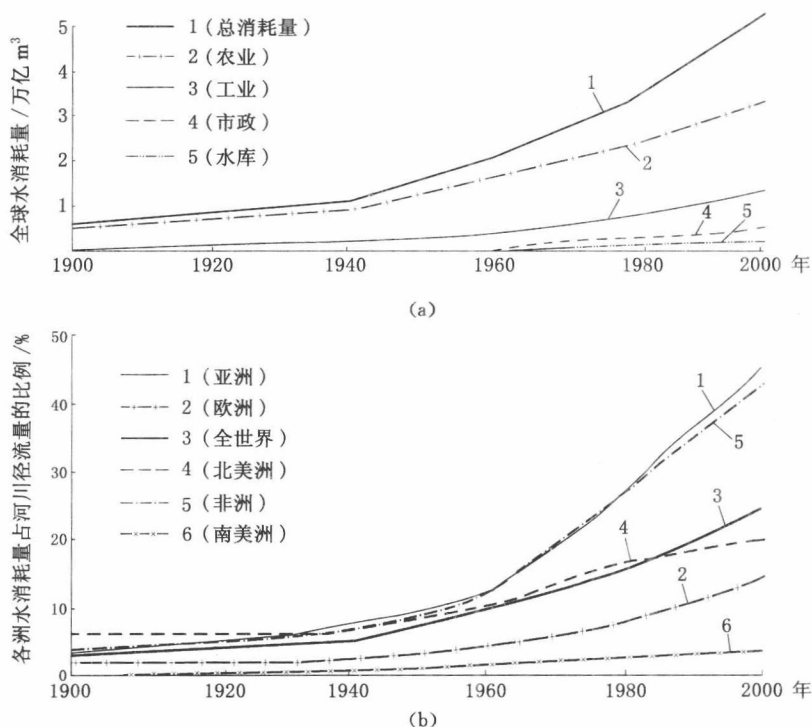


图 1-2 全球 20 世纪水消耗量的增长 (据籍传茂等,1996)

目前,初步统计全球地下水资源年开采量已达 550 km^3 , 其中美国、印度、中国、巴基斯坦、欧共体、独联体、伊朗、墨西哥、日本和土耳其的开采量之和占全球地下水开采量的 85%。尤其是在过去的 40 年间,亚洲地区人均水资源拥有量下降了 40%~60%。

(二) 水源污染严重,“水质型缺水”突出

随着经济、技术和城市化的发展,排放到环境中的污水量日益增多。据统计,目前全世界每年约有 420 km^3 以上污水排入江河湖海,污染了 5500 km^3 的淡水,约占全球径流总量的 14% 以上。估计今后 25~30 年内,全世界污水量还将增加 14 倍。特别是在第三世界国家,污、废水基本上不经处理即排入地表水体,造成全世界的水质日趋恶化。据估计,目前世界上有四分之一的人口患病是由水污染引起的。据不完全统计,发展中国家每年约有 2500 万人死于饮用不洁净的水,占所有发展中国家死亡人数的三分之一。

水源污染造成的“水质型缺水”加剧了水资源短缺的矛盾和居民生活用水的紧张和不安全性。1995 年 12 月在曼谷召开的“水与发展”大会上,专家们指出:“世界上有近 10 亿人口没有足够量的安全水源。”

第二节 中国的水资源

一、我国水资源概况

根据《中国水资源公报》，1997 年～2006 年中国的水资源情况详见表 1-8 所示。显然，中国水资源总量近十年来基本趋于稳定。

表 1-8 中国近十年来水资源状况一览表 单位:亿 m^3

年 份	降水量	地表水资源量	地下水资源量*	水资源总量
1997 年	58 169	26 835	6 942	27 855
1998 年	67 631	32 726	9 400	34 017
1999 年	59 702	27 204	8 387	28 196
2000 年	60 092	26 562	8 502	27 701
2001 年	58 122	25 933	8 390	26 868
2002 年	62 610	27 243	8 697	28 255
2003 年	60 416	26 251	8 299	27 460
2004 年	56 876	23 126	7 436	24 130
2005 年	61 010	26 982	8 091	28 053
2006 年	57 840	24 358	7 643	25 330

注：这里的“地下水资源量”，是指当年参与水循环的地下水量，数据摘自历年《中国水资源公报》。

中国水资源的分布有两大特点：① 水资源总量虽较多，但人均水资源量较少；② 水资源时空分布极不均匀，水资源与人口、耕地、经济发展和矿产资源分布很不匹配。中国降水具有地域和时间分配的极不均匀性，因而造成我国洪涝与干旱频发，水资源的开发和利用难度大、效益低、成本高，对环境影响比较大。

有关数据显示，我国的水资源人均占有量为 $2380 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{a}$ （按 11.6 亿人计），相当于世界平均水平的四分之一、美国水平的五分之一、前苏联水平的六分之一。我国的水资源分布极不平衡，南方多北方少，东部多西部少，尤其西北最少。华北地区水资源人均占有量仅为 $400 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{a}$ ，约为全国平均水平的六分之一。西北地区人烟稀少，水资源人均占有量为 $600 \sim 700 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{a}$ ，但由于水资源集中在山区（如冰川等）且蒸发强度高，所以仍然缺水严重。

二、我国的降水特征

（一）分带性明显

我国不同地区的年降水差异很大，呈现出明显的区域分带性特征，大体可划分为以下 5 个带：

① 十分湿润带——指年平均降水量 1600 mm 以上的地区，主要包括浙江大部、福建、台湾、广东、海南、江西、湖南山地、广西东部、云南西南部和西藏东南隅等地区。

② 湿润带——指年平均降水量 $1600 \sim 800 \text{ mm}$ 的地区，包括沂沭河下游、淮河、秦岭以南广大的长江中下游地区以及云南、贵州、广西和四川大部分地区。