

林学钰 廖资生 等著

地下水管理

地质出版社

地 下 水 管 理

林学钰 廖资生 等著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京) 新登字 085 号

内 容 提 要

地下水管理, 作为一门新兴的边缘学科, 目前已成为水文地质学的一个重要组成部分。本书是顺应社会发展和经济建设的需要, 并为进一步建设地下水管理学科而撰写的学术专著。全书共分五章, 前四章为地下水管理的基本理论与方法; 第五章为实例研究, 其目的是为了加深对前几章理论的理解和具体掌握地下水管理的实践技巧。

本书可作为高等学校水文地质、环境水文地质及水资源工程专业的教材和教学参考书, 也可供从事环境保护、水资源开发与规划工作的工程技术人员及管理干部参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

地下水管理/林学钰等著。-北京: 地质出版社, 1995. 4

ISBN 7-116-01878-6

I. 地… II. 林… III. 地下水资源-管理 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 04127 号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑: 戴鸿麟

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销
开本: 787×1092 1/16 印张: 10.375 字数: 240000
1995 年 4 月北京第一版·1995 年 4 月北京第一次印刷
印数: 1—1500 册 定价: 9.80 元

ISBN 7-116-01878-6

P·1468

序

自实行改革开放政策以来,我国经济正处于全面高速度发展时期,但又面临人口、资源、环境的长期制约。调整人类活动方式,促进发展与资源、环境相协调,是持续、高速、稳定发展的迫切需要。在国民经济迅猛发展中,水资源的供需矛盾更为突出,特别是人为作用的影响,如水质污染以及由于不合理开采所造成的各种负环境效应,使水资源紧张更趋尖锐化。这种情况,不仅在我国十分严重,而且也是全球许多国家普遍存在的问题。1994年在赫尔辛基召开的命名为“地下水资源未来危机”的国际学术会议,主要就是探讨造成地下水资源危机的主要原因与应采取的防治措施等问题。

根据有关资料统计,目前大多数国家,地下水的开发利用程度还比较低,而且生活用水仅占总用水量的8%(工业占23%,农业占69%)。我国的基本情况也大致相似。但为什么许多城市普遍出现水资源的紧张现象呢?人口增加只是一个次要因素,主要原因是水资源的开发利用缺乏合理规划,工业布局不当,农业用水严重浪费,以及缺乏完善的管理制度和法制保证。一般说,发展中国家,由于文化教育落后,缺乏科学知识与管理意识,出现的问题也更为严重。目前,许多城市,包括部分农灌区所出现的所谓由于“水量不足”所造成的“过量开采”,很大程度上是由于不合理的开采造成的。因此,“过量开采”实际上是“不合理(或不适当)开采”的同义语,而不应笼统地把“超量开采”与“水量不足”相提并论。实质上,只要对水资源作出正确评价,合理规划,严密监测,实行科学管理,那么所谓“超量开采”问题,并非是不可能的。除此以外,随着城市及工农业的迅速发展,生态环境受到的严重破坏,水质污染与水质恶化等问题的日趋严重,已成为威胁水资源持久开发的另一危机;而且在所存在的水量与水质问题间,后者有愈来愈占主导地位的趋势。因此,水资源的合理开发与科学管理,是与相关的环境问题密切联系、不能分割的。

我国从80年代以来,由于地下水系统理论、非稳定流理论及以数值解或解析解为代表的现代应用数学的引入,以及计算机技术、同位素技术等新技术的广泛应用,使地下水资源的研究发生了根本性的变化;即把从地下水资源评价到管理的全过程纳入系统工程的轨道,研究如何合理开发、利用、调控和保护地下水资源,使之处于对人类生活与生产最有利的状态。因此,它不仅涉及水文地质学的各个领域,而且还涉及与地下水开发活动有关的自然环境、社会环境和技术经济环境等各方面的问題,最终通过数学模型和最优化技术,建立地下水管理模型,实现管理目标。

“地下水管理”作为一门新兴的边缘学科,目前已成为水文地质学的一个重要组成部分,并将发展成为水文地质学的一个重要的独立分支。林学钰教授等所著“地下水管理”一书,是目前国内为数甚少的几本有关专著中内容比较全面的一本。它充分吸取了国外先进理论,系统总结了近20年来国内的实践经验;既有理论分析,又有应用方法与实例研究,是一本具有创造性的高水平优秀著作。全书共分五章,前四章为理论基础,其中以第三章“地下水管理模型”为重点,系统论述了地下水的数学模型、水质模型、优化规划模型、动态规划模型,以及管理模型等的基本原理、建模步骤与求解方法。其中,尤以地下水管理模型的有关各节更为详

尽。第五章为实例研究,主要包括石家庄、平顶山、开封市、郑州市、邯邢矿区,以及甘肃石羊河流域等地区的管理模型研究。这些实例包括在各种不同条件与不同目的下所建立的各类模型,均有较大的代表性,而且都属本书作者亲自参与的研究课题。因此,本书是当前研究地下水管理模型的一本不可多得的重要参考文献。

林学钰教授在长春地质学院长期担任水文地质教学工作,具有丰富的教学经验,曾数度出国深造,是我国“地下水管理”这一专门课程的创建人之一。她曾担任长春地质学院水文地质工程地质系主任及副院长等职务,对模型研究,造诣甚深,现任该院应用水文地质研究所所长。在她直接领导、参与下,完成了许多重大研究课题。例如“石家庄市地下水资源科学管理研究”,就是我国早期完成具有代表性的地下水管理模型研究成果之一;按照系统化、模型化、最优化的总体构思,以水文地质模型为基础,把水量模型、水质模型和优化模型融化为一体,从而为控制石家庄市地下水降落漏斗的发展和防治水质恶化提供了切实可行的综合治理决策方案;此外,对甘肃省武威地区采用多目标规划法,建立了以经济产值最大为目标的农业用水分析模型和跨流域调水模型,并就金昌地区水质管理建立了水质多目标管理模型;对新乡、平顶山等城市,根据不同目标与不同要求,分别建立了以城市供水为目标的水资源管理模型或水质水量联合管理模型,以及地表水、地下水联合调度模型等。这些研究成果,对我国开展地下水管理模型的研究,起到了带头示范作用。

不久前,欣悉林学钰教授及其合作者集体完成的专著《地下水管理》即将公开出版,感到非常高兴。这对促进我国水文地质科学的发展具有重要意义,我愿在此表示衷心的祝贺!该书不仅可作为大专院校的教学课本,也是地质、水利、城建等部门广大勘测、设计人员和科研人员的一本工具书,具有重大实用价值。相信该书的出版问世,对提高我国水文地质科学的理论水平,促进地下水资源的合理开发与科学管理,必将发挥重要作用。

中国科学院院士 陈梦熊

1995年元月

前言

地下水管理,作为一门新兴的边缘学科,目前已成为水文地质学的一个重要组成部分。综观地下水科学产生和发展的历史,使我们认识到地下水管理学科的形成是水文地质学理论与实践发展的必然结果。今后,它将随着社会进步、人类文明及文化生活水平的提高,发展成为更加综合的,与社会、环境科学密切联系的相互交叉的学科。

本书是顺应社会发展和经济建设的需要,并为进一步建设地下水管理学科而撰写的学术专著。它重点总结了 80 年代以来我国地下水管理方面的理论与实践经验,尤其是自我国执行第六个五年科技发展规划以来立项研究的成果;同时,融会了国外地下水管理研究的最新成就。

全书共分五章,前四章为地下水管理的基本理论与方法,着重介绍了地下水管理的基本含义、目的,管理的主要内容和技術方法,地下水模型在地下水管理中的应用,以及地下水管理的多目标规划的政策与决策等。其宗旨在于使读者能够全面了解有关地下水管理的规划设计和实施的全过程,实现管理的具体技术路线、方法和最终管理方案的评价与决策。第五章是实例研究,其目的是为了加深对前几章理论的理解和具体掌握地下水管理的实践技巧。这些实例既有城市地下水管理,流域地下水多目标规划及地下水、地表水联合管理,也有矿山供排结合的管理;既有单目标规划管理,也有多目标规划管理等。

本书由林学钰主编。书中的绪言和第二章的第一节、第二节由林学钰执笔;第二章的第三节由林学钰、廖资生、赵勇胜和杨悦锁合写;第一章和第四章由廖资生执笔;第三章由杨悦锁执笔;第五章由束龙仓、杨悦锁、林学钰和王勇合写。温忠辉负责全书的誊清、校对及图表的清绘工作。

此外,本书第五章的实例研究,大多是和河北、河南、甘肃等省的有关水文地质队、城市节约用水办公室或节约用水委员会等单位合作完成的生产研究课题,是共同劳动的成果。作者在此表示衷心的感谢。

限于作者的水平,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

序

前言

绪言 (1)

一、地下水的开发历史和地下水管理问题 (1)

二、地下水管理研究的发展和地下水管理学科的形成 (1)

第一章 地下水资源及其开发利用的环境地质问题 (4)

§ 1.1 地球水体的组成和水资源 (4)

一、地球水体的组成 (4)

二、地球上的水资源 (4)

三、中国的水资源概况 (7)

§ 1.2 地下水资源在人类生活、生产活动中的作用 (8)

§ 1.3 地下水资源与其他资源的区别 (10)

§ 1.4 人类活动对地下水资源的影响 (11)

一、工业生产对地下水资源的影响 (11)

二、农业生产对地下水资源的影响 (14)

三、城市生活对地下水资源的影响 (16)

四、矿山开采及工程建设对地下水资源的影响 (18)

§ 1.5 地下水资源开发对环境的影响 (20)

一、地下水水量均衡条件破坏引起的区域地下水位持续下降及其严重后果 (20)

二、地下水水质天然均衡条件的破坏使水质状况日趋恶化 (23)

三、含水层天然应力状态的破坏导致各种环境地质灾害的发生 (25)

第二章 地下水管理 (28)

§ 2.1 地下水管理的含义 (28)

§ 2.2 地下水管理的内容 (29)

一、地下水管理的基本内容 (29)

二、为专门目的服务的地下水管理内容 (33)

§ 2.3 地下水管理的技术方法 (36)

一、水文地质勘查技术方法 (36)

二、地下水信息的现代化管理方法 (46)

三、地下水优化管理与决策的技术方法 (54)

第三章 地下水管理模型 (78)

§ 3.1 地下水管理模型概述 (78)

一、地下水管理模型的数学表达式 (78)

二、地下水管理模型的组成 (78)

三、地下水管理模型分类 (79)

§ 3.2 集中参数系统地下水管理模型	(80)
一、地下水与地表水联合运行基本原理	(80)
二、管理模型要素	(82)
三、管理模型的构成	(83)
§ 3.3 分布参数系统地下水管理模型	(84)
一、响应矩阵法	(84)
二、嵌入法	(91)
§ 3.4 地下水管理模型的建立步骤	(94)
第四章 地下水管理结果的监测	(98)
§ 4.1 地下水管理结果监测工作的重要性	(98)
§ 4.2 各项监测工作的主要内容与要求	(98)
一、地下水水位的监测	(98)
二、地下水水量的监测	(99)
三、地下水水质的监测	(99)
四、与地下水有联系的地表水体的监测	(100)
五、与地下水有关的有害环境地质作用的监测	(100)
六、土壤盐渍化与沼泽化作用的监测	(101)
七、与开发地下水有关的环境、生态条件变化的监测	(101)
§ 4.3 监测结果的整理、分析和利用	(102)
第五章 研究实例	(104)
§ 5.1 石家庄市城市地下水管理	(104)
§ 5.2 石羊河流域水资源多目标管理研究	(118)
§ 5.3 峰峰矿区供排结合地下水管理模型研究	(124)
§ 5.4 河南平顶山市地表水与地下水的联合管理研究	(131)
§ 5.5 开封市水情预报与双层含水层的水资源管理	(138)
§ 5.6 开封市南郊漏斗区地下水人工回灌的效益分析与综合决策	(143)
参考文献	(156)

绪 言

一、地下水的开发历史和地下水管理问题

从人类发展的历史看,世界各国都经历了几乎相同的地下水开发利用的过程。早期,为了建立原始文化和维持原始生活,人们除了利用地表水外,开始直接寻找和利用天然泉或在河水断流时寻找由地下水补给的河溪作为生命之源。随着文化的进步和社会的发展,为扩大需水量,人们开始掘井取水,并逐渐发展到利用河湖储水、建库蓄水和挖沟引水,以满足不断增长的各种需水要求。在人类社会发展的历史篇章中,试图开发地下水,作为一种补充水源,显然是一个伟大的成就。然而,将地下水作为一门科学——水文地质学,始于19世纪初。当时,英国的 William Smith 进行了与当地地质建造有关的地下水储存的研究。因此,是他首先将地质科学引进了地下水的研究,并开创了地下水科学研究的新篇章。

从19世纪的后半个世纪到20世纪初,水文地质学得到了迅速的发展。在这个时期里,建立和发展了各种有关地下水科学的学说和定律,例如孔隙介质中液体流动的 Darcy 定律(1855, Henri Darcy),关于单向和平面径向稳定运动的 Dupuit 定律(1857, J. Dupuit)等都促进了世界性的地下水开发和利用。1935年,由美国 C. V. Theis 建立的地下水非稳定流方程引发了水文地质学中许多定量方法的发展。与此同时,地下水勘察方法、钻井取水技术、新录井技术,以及地质和地球物理解释精度等都得到了提高和发展。水文地质学家利用科学方法测定地下水的运动速率和体积,水均衡要素,以及复杂的水文地球化学评价工作也在这一时期得到了发展。

到20世纪60年代,人们在长期地下水开发利用的频繁实践中,逐渐认识到地下水不只是一种资源,而且也是十分重要的天然环境因素之一,加上外部自然界和人类活动对它的影响,它已经发生和将要发生许多环境地质问题;同时,由于地下水是整个水循环当中的一部分,因此人们在考虑开发利用区域水资源时,必须综合分析和研究地下水、地质体和人类活动之间的相互作用,以便解决因此而产生的各种复杂的水资源问题。这种认识的形成和发展,使地下水研究迈进了地下水管理科学的新时期。

二、地下水管理研究的发展和地下水管理学科的形成

从人类掘井取水活动开始,就有了简单的地下水管理的意识——管理水井。早期,由于“井”(泉)能为人类提供生活的基本需要,人们对井(泉)的崇敬、礼拜的方式是将庙宇和圣地建在井(泉)的附近,对井(泉)加以保护。随着钻井技术的进步,为了增加井的出水量或更有效地利用地下水,人们在井的构筑和集水工程方面有了许多创举。例如,公元前500年,伊朗、阿富汗和中国等在山前洪积扇地层中广泛构筑的坎儿井,对当时农业用水和城市供水,以及国家繁荣起到了积极的作用。

真正在意识的进行地下水科学管理,应始于近代。50年代前后,地下水管理活动主要是把井作为一个资源的源泉,强调了井的供水开发和出水量的增加。因此,这一时期的主要管理问题是如何消除和减少威胁井的出水量的因素。同时,为了增加出水量,还出现了单井、多井、干扰井等多种布井方式和出水量计算的方法。

50年代后期和60年代,随着打井数量和开采量的日益增长,一些地区在过量开采地区出现了区域性地下水位的持续下降。各种地质灾害也相应出现。为控制这些灾害的发生和发展,需要了解广大地区的地下水动态,并对其变化带来的社会影响做出具体的评价。因此,人们开始了由管理水井进入了管理地下水盆地的时期。

水均衡模拟技术的引进,为地下水盆地管理开创了新纪元。美国在50年代初,我国在60年代,开始利用模拟计算机做水均衡模拟实验,以后又引进了数字计算机进行模拟实验。与此同时,人们开始用水均衡的观点研究和论述因抽取地下水而造成的诸如含水层疏干、地面沉降、海水入侵及水质恶化等公害问题。这一时期的地下水管理活动,主要是为农业服务的区域性地下水和地表水联合调度和规划,如1962年美国Burt, O. R和1968年Boyd, D. W.制作的地下水和地表水联合调度的集中参数模型,以及1969年Saleem, Z. A.的综合含水层系统的优化管理模型等。1961年,由美国土木工程学会灌溉与疏干分会地下水委员会的Frederick L. Hotes等八人编写的“地下水盆地管理”一书就是这一时期最早的系统论述地下水管理方面的代表著作。该书对水资源管理科学在美国和世界各国的发展起到了重要的作用。

70年代以后,由于世界性的缺水,促使人们进一步思考如何提高地下水开发利用的效益和防止因此而带来的社会与环境公害的问题。这是一个广泛涉及技术、社会、环境、经济和法律等方面的复杂的系统工程问题。而这一时期电子计算机的迅速发展和系统分析理论的引进和应用等都为解决这一复杂的系统工程问题提供了有力的工具,尤其是地下水数值模拟模型与最优化技术的结合,使复杂地下水系统的多层次、多目标的管理问题得以实现。例如,1972年美国Young, R. A.等建立的为农业服务的地下水和地表水联合管理模型,1976年美国、以色列和委内瑞拉的Haimes, Y. Y., Das, P.等制作的区域水资源系统规划和管理的多层次管理模型,以及1976年美国的Helweg, O. J.和法国Hubert, P.的以地下水农业供水和浓度控制,以及供水规划和废水处理为目的建立的地下水和地表水水质和水量的多层次、多目标联合管理模型等都是这一时期的研究成果。

我国起步虽晚,但发展十分迅速。自我国执行第六和第七个五年科技发展规划以来,通过立项研究,在我国出现了一大批针对我国不同地区和管理问题的水资源管理研究成果。仅就水资源管理模型的类型而论,有集中参数和分布参数模型,水量模型,水质模型,经济模型和上述几种模型的联合模型;有单目标规划模型和多目标规划模型;有在多孔介质含水层地区建立的模型和在裂隙、岩溶含水层地区建立的模型;有单一地下水管理或地表水资源管理模型,也有地表水和地下水联合管理模型等。

从管理内容上看,十多年来,水资源管理模型已从过去一般性的水政策、水均衡管理发展到地下水动态和水资源(包括水量和水质两个方面)管理,地表水和地下水联合运转管理,地下水一年或多年周期形成机制和区域水文地质动力条件的控制和管理,以及为控制地质灾害的土地利用和地下水动态控制管理等。其管理途径,除了常用的控制地下水开采量和地下水位下降,防止劣质水入侵淡水含水层,进行地下水人工回渗外,还有意识地把探索解决

水资源不足的途径列入到生态环境与社会经济的大系统中,以便在水资源管理中综合考虑防止、控制和改善因水资源开发利用而产生的生态环境副作用和经济技术限制条件的多层次、多目标管理。

从研究方法方面看,从简单的某一地下水盆地单元的物理模拟研究发展到建立平面二维、垂直二维和准三维的数学模型的模拟研究。总之,目前我国水资源管理已形成了一门在理论和实践上独具特色的学科。

综观地下水管理科学,从发生、发展到形成一门学科,大约经历了半个世纪。在这个时期里,世界各国不仅在地下水管理的理论和技术上有了长足的进步,而且还根据各自国情的需要,健全和完善了地下水管理的机构和水法。

随着人民生活水平的提高和国民经济建设的发展,不论发达国家或发展中国家都面临着水资源紧缺的威胁。因此,地下水管理科学的发展也就成了地质、水文地质学家,以及环境、社会、经济学家及工程技术学者、律师,乃至行政领导部门十分关注的焦点之一。事实证明,这一学科的形成,不仅在发展现代水文地质学理论上具有重要的意义,而且在为经济建设服务方面也具有重大的实际意义。随着社会发展,它所面临的将任务更加艰巨而繁重。因此,未来的地下水管理,在解决实际问题的研究中将更需要依赖多学科理论与方法的交叉与渗透;随着水资源管理机构与水法的不断完善,地下水管理学科也将在解决这些实际问题中得到进一步的发展。可以预言,地下水管理,作为一门年轻的新兴学科,其发展和完善必将对现代水文地质科学的发展产生十分深远的影响。

第一章 地下水资源及其开发利用的环境地质问题

§ 1.1 地球水体的组成和水资源

一、地球水体的组成

水体是地球环境的一个重要组成部分。水体以不同的物质状态(即固、气、液态)参与了地球大气圈、生物圈、水圈和岩石圈的组成。地球上各种水体的分布与储量如表 1—1 所示。从表 1—1 可知,地球上的水体,绝大部分(96.5%)均贮存在海洋中,陆地上的水体储量非常有限,包括大气水在内,仅占 3.5%。地球上的水体,绝大部分是人类目前还不能直接大量利用的咸水(包括海洋水、陆地上的咸湖水和咸地下水),淡水储量仅占全球水储量的 2.53%。在全球的淡水储量中,扣除人类目前尚难以利用的冰川和多年积雪、多年冻土底冰以及沼泽水和土壤水外,能被人类生活、生产利用的淡水(包括河水、湖泊淡水和淡地下水),其储量仅占淡水总储量的 30.366%,只相当于全球水储量的 0.767%。

由上述分析可知,尽管地球四分之三的表面面积为水体所占据,但是可直接被人类利用的水量是非常有限的。

二、地球上的水资源

水资源是指地球水圈和岩石圈中可供人类开发利用的水量。以目前的科学技术水平来衡量,可开发利用的水体主要是河水、湖泊和 600 m 深度内的地下淡水,随着科学技术水平的提高,其它一些水体,如冰川和多年积雪等也可能逐渐纳入水资源的统计范畴。

在研究世界水资源数量时,首先必须区分水体储量(如表 1—1 所示)和水资源量这两个不同的概念。水体储量是从静止的观点计算出的贮存于某一环境中的水体积。它是一个不随时间变化的体积量。而水资源则是从水体循环和水体不断更新的观点计算出的水量。它是随时间而变化的。因此,水体储量大者,其水资源数量不一定丰富,反之亦然。由水资源的含义可知,水资源的数量,除与某种水体所占有的空间、体积有关外,主要是与该种水体的循环交替速度(或者说更新期长短)有着密切的关系。一般说,循环交替速度快(或更新期短)的水体,其水资源量就丰富,反之则贫。

地球上各种水体的更新期如表 1—2 所示。表中所列出的各种水体的更新期为平均值,不同的河流、湖泊及地下含水层,其更新期可能差别很大。例如,河水的平均更新期为 1bd。径流途径不长的小溪,其更新期可能只有数天;当河流很长或流域中又有容量很大的湖泊(或人工水库)时,其更新期可能达到数月或数年。地下水的平均更新期为 1400 a。循环交替条件较好的浅层含水层,水体的更新期可能只有数年到数十年;而循环交替条件差的深部含水层。水体的更新期可达数百到数千年。

表 1—1 地球上各种水体的储量

水体种类		储量(10^4km^3)	占总储量百分数(%)	占淡水储量的百分数(%)
海洋水		133800	96.5	
陆地水	地下水	2340 ^①	1.7	
	其中淡水	1053 ^②	0.76	30.1
	湖泊水	17.64	0.013	
	其中淡水	9.1 ^③	0.007	0.26
	河水	0.212	0.0002	0.006
	冰川及多年积雪	2406.41	1.74	68.7
	多年冻土底冰	30	0.022	0.86
	沼泽水	1.147	0.0008	0.08
	土壤水	1.65	0.001	0.05
	生物水	0.112	0.0001	0.003
大气水		1.29 ^③	0.001	0.04
水储量总计		1385 98.461	100	
其中淡水储量		3502.921	2.53	100

(据联合国水会议文件,1977)

① 地面以下 2000m 以内,不包括南极洲的地下水储量。

② 绝大部分在地面以下 600m 深度内。

③ 指某一瞬间存在其中的水量。

表 1—2 地球上各种水体的更新期

水体种类	更新期(a)	水体种类	更新期(a)
海洋	2500	湖泊水	17
深层地下水	1400	沼泽水	5
极地冰川及多年积雪	9700	土壤水	1
多年冻土层底冰	10000	河网水	16(d)
山地冰川	1600	大气水	8(d)

(据联合国水会议文件,1977)

从表 1—2 可知,河水的更新期要比地下水短得多。因此,尽管河水的水体储量仅是地下淡水储量的五百分之一,但河水的水资源量(即年径流量)却要比地下水的资源量(即年更新期)大数倍。大气水的更新期在各种水体中最短(仅 8 d)。因此,尽管储量不大,但以降水形式提供给地球的水量却很大。

从可更新的观点来看,世界上与人类生活、生产联系最密切的水资源量主要以三种形式存在,即降水量、江河径流量和可更新的地下水量。降水量,除大部分通过蒸发方式返回到大气中外,其余部分则分别转化为地表径流和地下水。因此,世界上的水资源,可以江河径流量

和地下水更新量来表征。全世界的水资源概况如表 1—3 所示。这里需要指出的是,在进行世界或某一地区水资源总量的统计时,不能机械地把江河的年径流量与地下水年更新量相叠加,因为两者之间经常存在相互转化的关系,直接叠加,必然造成水资源总量的夸大。因此,在进行水资源总量统计时,必须扣除两种水资源量之间的重复部分。对水资源的调查与统计的实践工作说明,尽管江河水与地下水经常存在相互转化的关系,但是地下水在从大陆流向海洋的过程中,其水量除部分消耗于蒸发外,绝大部分的水量最终总是汇入江河排入海洋。故在水资源统计时,又习惯于以江河的年径流量来表征某一地区水资源拥有的数量。表 1—4 为世界一些主要国家江河年径流量和人均占有水量的统计数字。从表 1—3 中我们可以看到:①在全球陆地 $119 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的年降水量中,只有 39.2% 转化为江河径流量;②全球陆地地下水的年平均更新水量大致占江河年径流量的 24%—35% (南极洲除外)。

表 1—3 全世界水资源概况

洲 别	大陆及岛屿 面积 (10^4km^2)	平均年降水量		平均年江河径流量		平均年地下水更新量	
		深度 (mm)	体积 (10^{12}m^3)	深度 (mm)	体积 (10^{12}m^3)	占江河径流量 的百分数 (%)	体积 (10^{12}m^3)
欧洲	1050.0	790	8.29	306	3.21	35	1.12
亚洲	4347.5	740	32.20	332	14.41	26	3.75
非洲	3012.0	740	22.30	151	4.57	35	1.60
北美洲	2420.2	756	18.30	339	8.20	29	2.16
南美洲	1780.0	1600	28.40	661	11.76	35	4.12
澳洲及大洋洲	895.0	791	7.08	267	2.39	24	0.58
南极洲	1398.0	165	2.31	165	2.31	≈ 0	≈ 0
全球陆地	14900.0	800	119.00	314	46.80	30	13.32

表 1—4 世界一些国家的江河年径流量和人均数值

国家	江河平均年径流量 (10^8m^3)	平均年径流深 (mm)	人口 ^① (10^8 人)	人均水量 (m^3/a)
巴西	51912	609	1.23	42200
原苏联	47140	211	2.64	17860
加拿大	31220	313	0.24	130080
美国	29702	317	2.2	13500
印尼	28113	1476	1.48	19000
中国	26380	276	9.88	2670
印度	17800	541	6.78	2625
日本	5470	1470	1.16	4720
全世界	468000	314	43.35	10800

① 人口以 1979 年联合国统计数为准。

从表 1—4 中我们可以看到:①中国和原苏联是世界上平均年径流深度最小的两个国

家;②中国和印度是世界上人均占有水量最少的两个国家。

三、中国的水资源概况

根据我国水利部门的统计(据陈志恺等,1982),我国多年平均降水量约 $6 \times 10^{12} \text{m}^3$,折合降水深度为 628mm(全球陆地的平均降水深度为 800 mm)。在降水量中,56%的水量被植物蒸腾和土壤及地表体蒸发所消耗,故只有 44%的降水量形成了地表径流。我国水资源(包括河川径流量和地下水资源)的分布及数量如表 1—5 所示。从表 1—5 可知,我国河川的多年平均径流量为 $2638 \times 10^9 \text{m}^3/\text{a}$,全国地下水资源(以地下水总补给量表征)为 $7718 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,扣除地表水和地下水相互转化的重复量($6888 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$)后,我国水资源的总量约为 $27120 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。

表 1—5 全国按流域分片的水资源总量

分片名称	河川径流量(A)	地下水补给量(B)	重复水量(c)	水资源总量(A+B+C)
黑龙江流域片	1192	552	355	1389
辽河流域片	486	229	134	581
海、滦河流域片	292	277	163	406
黄河流域片	688	422	348	762
淮河流域片	766	454	196	1024
长江流域片	9600	2130	2130	9600
珠江流域片	4738	960	960	4738
闽、浙、台地区	2714	575	575	2714
西南地区	4684	1115	1115	4684
内陆流域片	1116	945	854	1207
额尔齐斯河流域	103	59	58	104
全国	26380	7718	6888	27210

(根据陈家瑞等)

注:此表资料引自 1981 年《全国水资源评价及利用现状分析初步成果》一文,水量均以 $10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 计,均为 1956—1979 年的平均值。按我国地质矿产部公布的资料,我国地下水资源量为 $8700 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。每个统计片中尚包括主要流域附近的一些小流域。

综合分析我国水资源的时、空分布状况,其主要特点如下:

(1)我国的水资源总量不少,河川径流量居世界各国的第六位(参见表 1—4),但人均占有水量却很低(仅 $2700 \text{m}^3/\text{人} \cdot \text{a}$),只相当于世界人均占有水量数($10800 \text{m}^3/\text{人} \cdot \text{a}$)的四分之一,低于世界上的大多数国家,列在世界各国人均占有水量的第 80 多位。由此可见,我国是一个水资源既“富”又“贫”的国家。

(2)我国水资源在地区分布上很不平衡。例如,长江流域和长江以南地区的河川径流量占全国径流总量的 82%,而耕地面积仅占全国的 36%;黄河、淮河和海河三大流域的河川径流量只占全国河川径流总量的 6.5%,而耕地面积却占全国耕地总面积的 40%。地下水资源的分布也有同样特点,长江流域及其以南地区地下水资源约为 $4800 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,而北方地区仅有 $2200 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ (据陈志恺等,1982)。

(3)我国的水资源不仅在地域上分布极不平衡,而且在时间分配上也很不均匀,无论年内和年际间的水量分配均有此特点。这种不均匀性,在北方地区尤为明显。如在海河流域,

6、7、8 三个月的河川径流量一般要占年径流总量的 40—150 倍;年际间最大与最小径流量之比,一般达 5—10 倍。大者达 100 多倍。我国水资源在时间分配上的不均衡,以及许多地区无有利的径流调蓄条件(如天然的内陆湖和巨型人工水库),是加剧我国水资源紧缺和旱涝灾害频频发生的主要原因之一。

(4)我国地表水和地下水资源的比例,南、北方也极不一致。在长江流域及其以南地区,河川径流量与地下水资源之比,一般在 4:1 以上;而我国北方地区,地下水资源所占比重较大,两种水资源之比一般为 1:0.6。由此可见。我国各地水资源的开发应有不同的侧重点。

鉴于以上我国水资源在时、空分布上的基本特点,实行节约用水,合理开发利用,科学调度和分配,是解决我国水资源紧缺的重要途径。

§ 1.2 地下水资源在人类生活、生产活动中的作用

水与土地、空气一样,是人类社会得以生存和发展的必不可少的资源之一,并且是当今人类社会使用最广泛、需要量最大的一种自然资源。

自 20 世纪以来,随着世界人口的增长和农业、工业以及城市建设的迅速发展,世界上的用水量急剧增长。需水量的急增和可利用水资源的不断减少和耗竭已成为当今世界各国面临的重大问题之一。据有关资料统计(据陈志恺等,1982),从 1900 年到 1975 年,世界人口大约翻了一番。全世界的用水量由大约每年 4000 亿 m^3 增加到 30000 亿 m^3 ,即增加了 6.5 倍。其中,农业用水量由 3500 亿 m^3 增至 21000 亿 m^3 ,增长约 5 倍;工业用水量由 300 亿 m^3 ,增至 6300 亿 m^3 ,增长约 20 倍。预计到 2000 年,全世界的用水量将达 60000 亿 m^3 ,为 1950 年的 5.5 倍。

我国的用水量及其增长情况,大致与世界平均水平一致。其用水量已由 1949 年建国初期的 1031 亿 m^3 ,增加到 1975 年的 4767 亿 m^3 ,大约增加 4.6 倍,预计 2000 年时将增加到 7345 亿 m^3 。世界上一些主要国家的用水情况如表 1—6 所示。由表可见,中国是世界上年总用水量最大的国家之一。但人均用水量和生活用水量占总用水量的百分比,却是世界上最低的国家。这在一定程度上反映了我国 70 年代末期的生活水准。

目前,世界上的用水量主要由地表淡水(主要是河川径流)、浅层地下水(600m 深度内)、再生水资源及人工淡化海水几部分组成。淡化海水,仅在地表径流缺乏、经济比较富有的一些阿拉伯半岛国家具有较大意义。就世界上的绝大多数国家而言,主要的供水水源仍是地表水资源,其次是地下水资源。

由于地下水资源具有分布广泛,便于就地开采使用,水质普遍较优,动态比较稳定,供水量受气候变化影响较小等优点,近几十年来,它在供水量中的比重增加了。综合近年发表的资料,世界上一些国家地下水的开采量及其在总用水量中所占的比重如表 1—7 所示。由表中可知,在目前世界上一些主要国家的总供水量中,地下水所占的比重仍然不大。但在许多国家的城市及某些干旱半干旱地区,地下水在总用水量中的比重已相当可观。例如,美国目前有 47% 的饮用水是依靠地下水提供的。在美国西部一些气候较干旱的州中,地下水占总供水量的比重也很高。其中,堪萨斯州为 86%,内布拉斯加州为 68%,亚利桑那州为 61%,俄克拉何马州为 60%,密西西比州为 51%,新墨西哥州为 50%,南达科他州为 40%,加利福

尼亚州为 39%，得克萨斯州为 38%（据地矿部水文所赴美、日考察报告，1983）。

表 1—6 国内外用水量统计

国家	美国	原苏联	加拿大	墨西哥	意大利	日本	法国	印度	中国
统计年份	1975	1969	1968	1970	1970	1965	1970	1969	1979
年总用水量(10^8m^3)	4767	2204	229	468	430	695	340	3237	4767
人均用水量($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{a}$)	2340	930	1070	920	860	694	665	600	491
工业用水量所占百分比(%)	43.5	36.0	81.5	5.2	19.0	18.3	41.2	0.8	11.0
农业用水量所占百分比(%)	48.6	59.0	13.5	88.1	69.0	72.6	42.5	95.5	86.3
生活用水量所占百分比(%)	7.9	5.0	5.0	4.4	12.0	9.7	11.8	3.7	2.7
其它用水量所占百分比(%)				2.3			4.5		

表 1—7 世界一些主要国家 80 年代地下水开发情况统计

国 家	美 国	中 国	原苏联	印 度	澳大利 亚	德 国	日 本	法 国	荷 兰	以色列	阿拉伯 半岛
地下水开采量 ($10^8\text{m}^3/\text{a}$)	1135	760 ^[9]	347 ^[7]	450	27		138 ^[8]				
地下水开采量 在总用水量 中的比重(%)	20	16	20		14		18	33	66	75	>90

注：此表据辛奎德、藉传茂、陈梦熊及地矿部水文司、水文所有关资料综合而成。

在原苏联，有 62% 的城市只用地下水作为饮用供水；有 17% 的城市利用地表水作为饮用供水；有 21% 的城市用地表水和地下水作为饮用供水水源。在中央哈萨克斯坦和南哈萨克斯坦、西乌兹别克斯坦、北土库曼及摩尔达维亚等地区，地下水都是集中供水的主要水源（据 C. P. 克拉伊诺夫，1978）。

在英国的英格兰南部和中部地区，从白垩纪和三叠纪砂岩含水层中开发的水量分别占当地饮用供水总量的 75% 和 40%；在全英国的饮用水中，地下水量已达到 30%（据 S. D. 福斯特等，1987）。

在我国，随着国民经济建设的迅速发展，地下水在总供水量中所占的比重也在不断提高。根据我国水利部门统计资料（陈志恺等，1982），1978—1979 年，我国地下水的开采量约为 $419 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，约占全国总用水量（ $4767 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ）的 8.8%。根据地质矿产部水文地质工程地质司公布的统计数字，1989 年我国地下水的开采量为 $760 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，约占全国总供水量的 16%；在我国北方地区约占总供水量的 30%。据不完全的统计，在全国 181 个大中城市，中有 61 个城市主要以地下水作为供水水源，将地表水和地下水联合作为供水水源的有 40 个城市，全国已有 1/3 左右的人口饮用地下水。我国北方的许多大中城市，如北京、沈阳、鞍山、石家庄、太原、西安、济南、淄博等，地下水的开采量高达 $40—120 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。目前，我国南方的许多城镇，由于地表水的污染日益严重，也逐渐转用地下水作为供水水源。