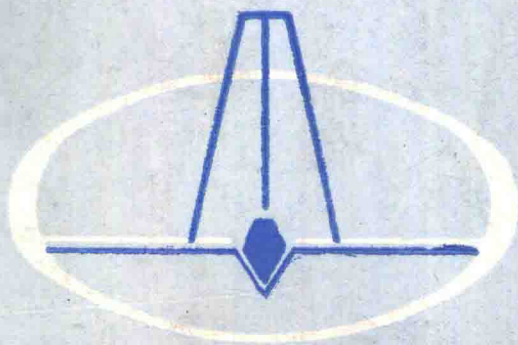


地下水资源评价

DI XIA SHUI ZI YUAN PING JIA

朱学愚 钱孝星 刘新仁 编著



南京大学出版社

地下水资源评价

朱学愚 钱孝星 刘新仁 编著

南京大学出版社

1987 • 南京

内 容 提 要

本书是一本系统论述地下水资源评价的专著，主要介绍在电子计算机广泛应用的条件下地下水开采资源评价的理论和方法。全书共分7章，介绍地下水资源的形成，区域地下水流，我国几种典型的水文地质条件下地下水资源评价的数学模型，模型参数的确定方法，地下水开采资源评价的有限差法、有限元法和边界元法，地下水资源的系统分析，用线性规划进行地下水资源管理等问题。

本书的内容和大学本科生所学的《地下水动力学》和《专门水文地质学》相衔接，可作为硕士研究生和本科生的专题选修课的教材。书中既介绍了本领域的新理论和新概念，又密切结合我国实际，同时附有20个典型的计算程序，对于地质、水利、电力、城建、冶金、机械等部门从事地下水资源评价的工程师们，也有重要的参考价值。

地 下 水 资 源 评 价

朱学愚、钱孝星、刘新仁 编著

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 扬中印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：20.50 字数：505千

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数：1—2 500

ISBN 7-305-00093-0/P·9

统一书号：13336-013 定价：5.00元

责任编辑：王 舟

前 言

水是生命的源泉。世界上自从能源危机发生以来，许多有识之士已开始议论水源危机问题。因为水是生命的命脉，如果一旦发生水源危机，其后果将比能源危机更严重，所以有人预测，水荒是人类未来最大的危机。因此，必须从现在开始，把水作为一种重要的资源，用好它，管好它。

地下水资源是水资源的重要组成部分。我国是一个水资源不丰富的国家，人均水资源占有量只有全世界平均数的四分之一左右。北方许多城市供水和农业灌溉用水都依靠地下水资源。由于对地下水资源的特点认识不足，许多人认为它是“取之不尽、用之不竭”的。结果，盲目布井，过量开采。造成地下水位持续下降、咸水入侵、地面沉降等环境地质问题。有些城市，已经出现水荒的信号。所以必须对地下水资源进行正确评价和合理管理。

在这种情况下，编著一本专门论述地下水资源评价的著作是非常必要的。著书时，作者有如下考虑：

(1) 力求反映国内外地下水资源评价的新成果。本书和以往某些论述地下水资源评价的书籍不同，不是介绍各种各样的地下水资源评价的方法，而是把地下水作为自然界水循环的一个环节、地下水资源是地球上水资源的一部分来考虑，以建立和求解地下水资源评价的数学模型为主线来编写的。全书从地下水的形成，数学模型的建立和求解，一直到地下水资源的管理都围绕这一主线展开。为了和电子计算机时代相适应，所介绍的计算方法，多数是在电子计算机上进行运算的。

(2) 为了使本书对从事地下水资源评价工作的有经验的工程师们有所裨益，本书和一般的教科书相比，具有较大的深度和广度。尤其对于近几年发展起来的或国内介绍较少的新概念和新方法，诸如区域地下水流的概念、裂隙水运动规律、系统分析的概念、边界元法、核函数法、利用线性规划进行地下水资源管理、预报问题和管理问题的关系等等，都作了较系统的介绍。为了便于实际应用，书中除介绍一些实例外，还附有20个用Fortran语言编写的典型程序。读者可在这些程序的基础上，针对所碰到的实际问题，编出相应的程序。

(3) 本书和大学本科教材《地下水动力学》和《专门水文地质学》既相衔接，又不重复。例如非稳定流计算、迭加原理、井群干扰和映象法等，在大学教材中已经学过，本书只引用其结果。其他如水均衡计算、相关分析法、补偿疏干法等等，本书也不作介绍，避免重复，以减轻读者负担。

本书的分工如下：南京大学地球科学系朱学愚写第一、三、五、七各章，并负责全书的整理和定稿；河海大学工程勘测系钱孝星写第二章和第四章；河海大学水文和水资源系刘新仁写第六章。南京大学地球科学系朱国荣负责调试计算程序，徐富林和郑蕙春清绘图件。南京地质学校制印实习工厂张彩霞负责图件植字工作。

虽然作者力图写好本书，但限于水平，缺点错误在所难免，某些观点也可能有片面性，不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

1986年7月1日

ABE54/802

目 录

第一章 地球上的水资源和地下水资源

§ 1-1 地球上的水	(1)
一、 全球的水储量	(1)
二、 地球上水的循环和更新	(2)
§ 1-2 地球上的水资源	(3)
一、 水资源的概念	(3)
二、 全世界的水资源	(4)
三、 中国的水资源概况	(5)
四、 水资源的利用	(7)
§ 1-3 地下水资源和地下水资源评价的概念	(8)
一、 地下水资源及其特点	(8)
二、 地下水资源的分类	(10)
三、 地下水资源评价概述	(12)

主要参考文献

第二章 地下水的补给、排泄和区域地下水流

§ 2-1 降水入渗补给	(15)
一、 降水入渗模型	(16)
二、 降水入渗补给系数的概念	(17)
三、 降水入渗补给量的确定方法	(19)
§ 2-2 灌溉水入渗及渠道水的渗漏补给	(33)
一、 灌溉水的入渗补给	(33)
二、 渠道水的渗漏补给	(36)
§ 2-3 其他的地下水补给	(37)
一、 融雪水和融冻水的入渗补给	(37)
二、 河水 and 水库水的渗漏补给	(38)
三、 越流补给	(40)
§ 2-4 地下水的排泄	(41)
一、 潜水蒸发	(41)
二、 其他的地下水排泄	(49)

§ 2-5 区域地下水流的概念	(49)
一、 无压含水层中稳定的区域地下水流	(49)
二、 承压和半承压含水层中稳定的区域地下水流	(55)
三、 非稳定流的影响	(55)

主要参考文献

第三章 我国几种典型地区的地下水资源特点和数学模型

§ 3-1 概述	(58)
§ 3-2 河谷地区的孔隙水	(59)
一、 河谷冲积层的地下水资源概况	(59)
二、 河流常年有水的河谷中地下水的数学模型	(59)
三、 间歇性河流的河谷中地下水的数学模型	(64)
§ 3-3 平原地区的孔隙水	(66)
一、 我国冲积、湖积平原的地下水资源概况	(67)
二、 浅层地下水的数学模型	(68)
三、 多层含水层中地下水的数学模型	(69)
§ 3-4 黄土高原的孔隙水和孔隙-裂隙水	(69)
一、 黄土塬区的地下水资源概况	(70)
二、 饱和-非饱和流动模型	(71)
三、 孔隙-裂隙水的饱和流动模型	(74)
§ 3-5 山区和丘陵区基岩裂隙水	(74)
一、 裂隙水的特点和水资源概况	(74)
二、 研究孔隙-裂隙介质中地下水运动的双重孔隙度介质模型	(78)
三、 单个裂隙中的水的运动方程	(82)
§ 3-6 山区和丘陵区的岩溶水	(88)
一、 岩溶水资源的特点	(88)
二、 我国南方岩溶区存在管道流时地下水资源评价的近似数学模型	(91)
三、 研究裂隙-岩溶水开采资源的多元回归分析模型	(94)

主要参考文献

第四章 水文地质参数及其确定方法

§ 4-1 给水度和自由孔隙率	(97)
一、 给水度和自由孔隙率的概念	(97)
二、 确定给水度的方法	(99)
§ 4-2 渗透系数和导水系数	(109)
一、 关于抽水试验的探讨	(109)

二、 某些特殊条件下利用抽水试验求参数的讨论	(113)
§ 4 - 3 其他水文地质参数	(117)
一、 贮水率和贮水系数	(117)
二、 越流系数和越流因素	(117)
三、 降水入渗补给系数	(117)
四、 灌溉水入渗补给系数	(118)

主要参考文献

第五章 地下水资源评价的数值方法

§ 5 - 1 概述	(119)
§ 5 - 2 线性代数方程组的常用解法简介	(121)
一、 消去法	(121)
二、 三对角方程组的解法	(128)
三、 大型稀疏对称方程组的解法	(130)
四、 迭代法	(136)
§ 5 - 3 地下水资源评价的有限差法	(141)
一、 数学模型的差分近似	(141)
二、 迭代法和直接计算法解差分方程	(151)
三、 追赶法解一维隐式差分方程	(155)
四、 交替方向隐式差分 (ADI法) 和迭代交替方向隐式差分 (IADI 法)	(157)
五、 强隐式差分 (SIP法)	(164)
§ 5 - 4 地下水资源评价的有限元法	(173)
一、 数学模型的有限元近似	(173)
二、 迭代法解有限元方程	(192)
三、 直接法解有限元方程	(201)
四、 四边形单元解非稳定流问题	(212)
§ 5 - 5 地下水资源评价的边界元法	(220)
一、 边界元的基本关系式	(221)
二、 二维稳定流问题的边界元法	(223)
三、 二维非稳定流问题的边界元法	(233)
四、 计算程序	(236)
§ 5 - 6 数值法反求水文地质参数简介	(247)
一、 基本概念	(247)
二、 单纯形法	(250)

主要参考文献

第六章 地下水资源系统分析

§ 6-1 系统及系统分析的基本概念	(253)
一、 系统及其基本特性	(253)
二、 系统的方法	(253)
三、 系统分析中的数学模型	(254)
§ 6-2 线性系统理论基础	(257)
一、 时不变线性系统	(257)
二、 褶合积分和核函数	(258)
三、 离散系统及离散核函数	(260)
四、 系统分析问题的基本类型	(262)
§ 6-3 河流-含水层系统的离散核函数模型	(263)
一、 模型结构	(264)
二、 含水层子系统模型	(266)
三、 河流子系统模型	(268)
四、 河流与含水层的相互作用	(271)
五、 河流-含水层核函数模型	(272)
六、 离散核函数模型在规划管理中的应用	(272)
七、 河流-含水层核函数模型的例子	(273)
§ 6-4 非饱和带水分运动的概率模型	(275)
一、 模型的结构	(275)
二、 核函数	(277)
三、 入渗和蒸发作用的叠加	(280)
四、 核函数的参数估计	(281)
五、 利用泊松模型预报井水位的算例	(282)
六、 计算泊松分布函数和褶合求和的程序	(283)

主要参考文献

第七章 地下水资源管理简介

§ 7-1 地下水资源管理的概念	(286)
一、 地下水资源管理的必要性	(286)
二、 地下水资源管理的目的和内容	(286)
三、 地下水资源管理的目标函数、决策变量和约束条件	(287)
§ 7-2 线性规划在地下水资源管理中的应用	(288)
一、 线性规划简述	(288)
二、 线性规划的计算程序(单纯形算法)	(300)
三、 线性规划用于地下水资源管理的实例	(311)

主要参考文献

第一章 地球上的水资源和地下水资源

§ 1-1 地球上的水

地下水资源是地球上总水资源的一部分。在探讨地下水资源问题之前，要对全球水的全貌，有一个概括的了解。

一、全球的水储量

地球的表面积约 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，在地球的水圈和大气圈中水总量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ($1 \text{ km}^3 = 1 \times 10^9 \text{ m}^3$)。其中面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ 的海洋，水量有 $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占总水量的96.5%。这部分水是咸水，不能饮用，也不能用于工业生产和农业灌溉。面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ 的陆地，水量仅 $0.48 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，只占全球水量的3.5%。陆地上的水也不全是淡水，淡水只有 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占陆地水储量的73%。而且这些淡水并不都是易于利用的。分布在600m深度以内的含水层、湖泊、河流、土壤中，便于人类利用的水只有 $0.1065 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占淡水总量的30.4%。其余的69.6%，即 $0.2438 \times 10^8 \text{ km}^3$ 分布于冰川、多年积雪、两极冰盖和多年冻土中，目前人类难以利用。地球上各种水的储量见表 [1-1] [8]。

全 球 水 储 量 表 *

表 1-1

类 别	水储量 (10^{12} m^3)	占总储量的百分数 (%)	占淡水储量的 百分数 (%)
海洋水	1 338 000	96.5	
地下水	23 400①	1.7	
其中淡水	10 530②	0.76	30.1
土壤水	16.5	0.001	0.05
冰川和多年积雪	24 064.1	1.74	68.7
多年冻土底冰	300	0.022	0.86
湖泊水	176.4	0.013	
其中淡水	91	0.007	0.26
沼泽水	11.5	0.0008	0.03
河网水	2.1③	0.0002	0.006
生物水	1.1	0.0001	0.003
大气水	12.9③	0.001	0.04
水储量总计	1 385 984	100	
其中淡水储量	35 029.2	2.53	100

(根据联合国水会议文件汇编, 1978)

- * ① 地面以下2000m以内，不包括南极洲的地下水量（估计为 $2 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ，其中一半为淡水）。
- ② 绝大部分在地面以下600m深度内。
- ③ 河网和大气中的水储量是指某一瞬时存在于其中的水量。

此外,岩石圈中的结晶水估计有 $84.2 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。生物体内的水储量估计为 $1.12 \times 10^3 \text{ km}^3$ 。

总之,虽然地球上丰富的水,但绝大部分是咸水,淡水只占水总量的2.53%。其中便于人类利用的淡水更少,只占水总量的0.77%。

二、地球上水的循环和更新

上面所介绍的是某一瞬间储存在地球上各部分的水的体积。这些水不是静止不动的,而是在太阳辐射能量的作用下,处于连续不断的运动中,不断地循环、交替着。

地球上绝大部分水储存在海洋中,海水在太阳辐射热的作用下,蒸发成水汽进入大气圈。海洋上空大气中的水汽被风吹向大陆,冷凝成云,通过降水降落在大陆表面。降落在地表的雨水,一部分沿地形坡度从高处向低处流动,汇入江河,称为地表径流。另一部分渗入地下,变成地下水。地下水也处于不停的运动中,由水头高处向水头低处运动,称为地下径流。地表径流和地下径流最后都汇入海洋。这种从海洋出发最后又回到海洋,周而复始的水分运动称为水循环或水文循环,见图(1-1)。

其实在全球的水中,只有一小部分水能完成从海洋到大气、到陆地、再回到海洋的整个循环过程。有相当一部分水从海洋蒸发冷凝变成降水再降落到海洋;或者从大陆表面的水体或土壤中蒸发进入大气,然后再变成降水降落到大陆表面。这种海洋→大气→陆地→海洋的循环称为大循环;而海洋→大气→海洋或陆地→大气→陆地的循环称为小循环。

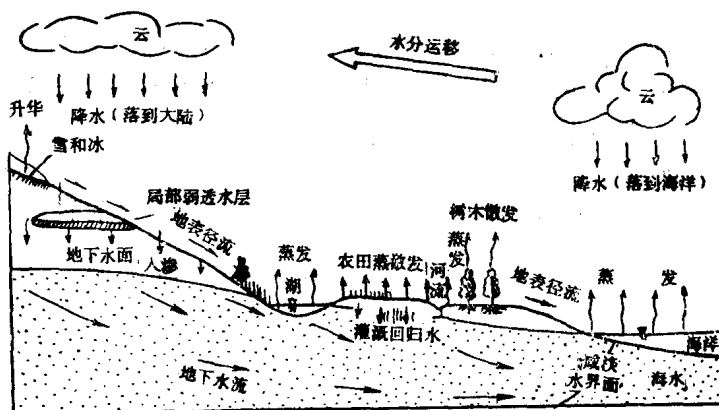


图 1-1 地球上水循环示意图

(根据J.贝尔)

地表径流和地下径流是水循环的重要环节,两者联系密切,并且在水循环过程中相互转化,图(1-2)。当河、湖等地表水体的水位高于地下水位,并且河湖等地表水体的底部和两侧由透水岩层组成时,将发生地表水向地下的渗漏,转变成地下水。当利用渠道引水库或湖泊中的水灌溉时,渠道渗漏也使地表水变成地下水。此时地表水就成为地下水的补给来源。地下水在流动过程中,有一部分直接流回海洋,但大多数都是排向河流等地表水体或直接露出地表成泉,这样地下水转变成成为地表水,构成江河的基流。

因为地球上的水处于不断的运动中,原来存在于某一水体中的水不断排出,新的水不断地进入水体。因此表(1-1)中所列的各类水都在不断地更新。可以大致估算出各类水的更新期。所谓更新期,就是如果补给停止各类水从水体中排干所需要的时间,可按下列式估算

$$t_d = \frac{V(t)}{Q(t)} \quad (1-1)$$

式中 t_d ——水的更新期,

$V(t)$ ——某一时刻 t 水体中储存的水量;

$Q(t)$ ——单位时间内从水体中输出的水量, 或单位时间内输入水体的水量, 从长时期平均来看, 输入等于输出。

例如, 从表(1-1)可以看出, 大气水的储量为 $12.9 \times 10^{12} \text{m}^3$, 全球从水面和地面平均每年有 $577 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的水汽蒸发到大气中, 因此大气水的平均更新期为

$$\frac{12.9}{577/365} = 8 \text{ 天}$$

河网水的储量为 $2.1 \times 10^{12} \text{m}^3$, 全球江河的年径流量平均约 $46.8 \times 10^{12} \text{m}^3$, 平均更新期为

$$\frac{2.1}{46.8/365} = 16 \text{ 天}$$

不同的河流水的更新期各不相同,

一般为几小时到几周, 如果流域中有大湖, 则可能为几个月或几年。

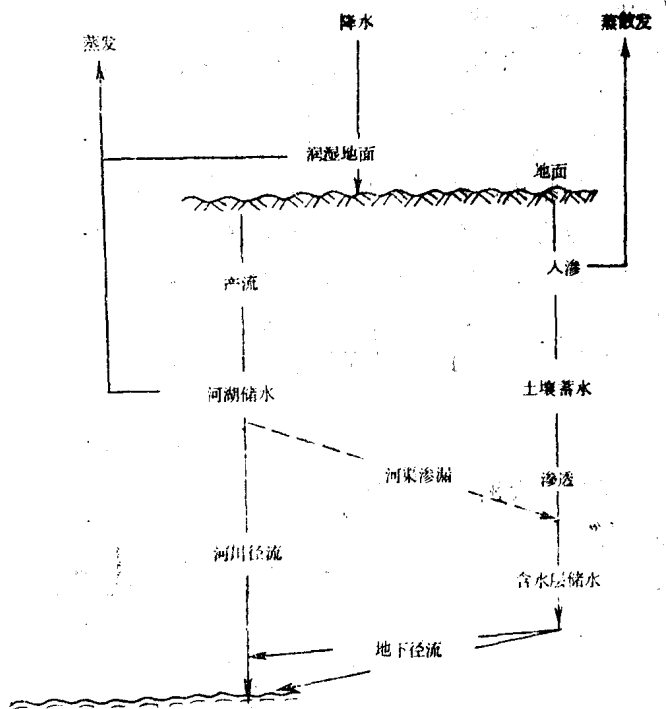


图 1-2 水循环的陆上部分示意图

(根据S.曼德尔和Z.L.薛夫顿)

地球上各类水的更新期

表 1-2

类 别	更 新 期	类 别	更 新 期
海 洋	2 500年	湖泊水	17年
深层地下水	1 400年	沼泽水	5 年
极地冰川及多年积雪	9 700年	土壤水	1 年
多年冻土层底冰	10 000年	河网水	16天
山地冰川	1 600年	大气水	8 天

(根据联合国水会议文件汇编, 1978)

地球上各类水的更新期如表(1-2)^[8]。地下水的平均更新期为1400年。各类含水层中地下水的更新期, 和含水层的规模大小以及水循环的快慢有关, 可以为数十年、数百年或数千年。由此可见, 地下水的循环速度比地表水要慢得多, 更新期比地表水要长得多。

§ 1-2 地球上的水资源

一、水资源的概念

水资源指存在于地球表层可供人类利用的水量。前面已经提及, 咸水不宜作为供水水源, 冰川和多年积雪、多年冻土中的淡水不易利用。可利用的水主要是河流、湖泊和600米

深度以内的含水层中的淡水。而这些可以利用的资源特点是积极参与自然界的水循环,不断交替,开发利用以后很快得到补充,水量可迅速恢复和更新。在水循环过程中,降水降落到地面以后,除小部分蒸发返回大气以外,大部分变成了江河径流和地下水。因此,通常所说的水资源,指地表水资源和地下水资源。地表水资源以多年平均年径流量表示,以天然流域为单元。地下水资源的概念将在下面阐述。

必须指出,各类水体的水储量大小和水资源的多少是二个不同的概念。水储量是从静止的观点考虑储存的水的体积,水资源则是从循环、更新的观点考虑到水的多次重复利用。因而储量大者不一定水资源丰富。例如河网水的储量仅 $2.1 \times 10^{12} \text{m}^3$,而地下淡水的储量为 $10530 \times 10^{12} \text{m}^3$,显然地下水的储量要大得多。但是地表的河网水的更新期仅16天,一年内可更新22.8次,而地下水的更新期要1400年。所以,实际上地表水资源量要比地下水多。

二、全世界的水资源

世界各大洲的水资源列如表(1-3)。

全 世 界 水 资 源 概 况 表

表 1-3

洲 别	大陆及岛屿面积 (10^6km^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	3.71	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	2420.0	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	$\approx 0\%$	≈ 0
全球陆地	14900.0	800	119.00	314	46.80	30%	13.32

世界一些国家的江河年径流量和人均数值表

表 1-4

国 家	江河平均年径流量 (10^8m^3)	平均年径流深 (mm)	人 口* (10^8 人)	人均水量 (m^3/a)
巴西	51912	609	1.23	42200
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

• 人口以1979年联合国统计数为准

由表(1-3)可见,全球陆地平均年降水量为800mm,总共有 $119.00 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的水降落在陆地上,其中约有40%即 $46.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 变成了江河的径流。地下水的年更新量,即每年对地下水的补给量约占江河径流量的30%,即 $13.32 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。因此,可以用江河年径流量的大小大致表示一些国家和地区的水资源的丰富程度。世界上某些国家江河年径流量和按人口的平均数值如表(1-4) [1]。

由表(1-4)可以看出,全世界按人口平均占有的水资源量为每人每年 $10\,800 \text{ m}^3$ 。水资源总量最丰富的国家是巴西,每年为 $51\,912 \times 10^8 \text{ m}^3$,而按人口平均占有量最多的国家是加拿大,每人每年有 $130\,080 \text{ m}^3$,比全世界平均数多12倍。

三、中国的水资源概况

我国的江河径流量,按1956~1979年24年的平均数,每年为 $26\,380 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地下水的资源量每年为 $8\,700 \times 10^8 \text{ m}^3$ *。当河流补给地下水时,河水成为地下水的补给量;而当地下径流向江河排泄,又成为江河径流量。因而总水资源不能把江河径流量和地下水资源量直接相加,而必须扣除重复部分。初步估算的重复水量约 $6\,888 \times 10^8 \text{ m}^3$,全国的总水资源约 $27\,210 \times 10^8 \text{ m}^3$ ***。

下面把我国的水资源和全世界的平均情况作一简单的比较,有如表(1-5)。由表中可以看出,我国水资源总量虽占世界第六位,仅次于巴西、苏联、加拿大、美国、印尼,但因我国国土辽阔、人口众多,水资源相对是比较贫乏的。中国的平均降水量仅628mm,比世界平均值少21.5%。径流深度为276mm,比世界平均值少12%;而按人口平均占有的径流量仅为世界平均值的四分之一左右。这还是1979年的人口,如按1982年的统计,全国人口为十亿三千万人,则每人平均占有的水资源(包括地表径流和地下径流)仅 $2\,642 \text{ m}^3$ 。必须十分珍惜这有限的水资源。

中国和世界水资源状况对比表

表 1-5

比较对象	面 积 (10^4 km^2)	平均年降水量		平均年江河径流量		每人占有的径流量	
		深 度 (mm)	体 积 (10^{12} m^3)	深 度 (mm)	体 积 (10^{12} m^3)	人 口 (亿人)	人均水量 (m^3/a)
全球陆地	14 900	800	119.0	314	46.8	43.35	10 800
中 国	960	628	6.0	276	2.638	9.88	2 670

全国主要江河的年径流量如表(1-6),1981年全国按各大流域分片估算的水资源总量如表(1-7)。由表中可以看出,全国的水资源按地域分布是很不均匀的。水资源最丰富的是珠江流域,无论是人均水量或亩均水量都比较多,其次为浙、闽、台和长江流域。水资源最贫乏的是海、滦河流域,人均水量每人每年仅 298 m^3 ,亩均水量更少,每亩地每年仅 172 m^3 ;人均水量为珠江流域的十五分之一,亩均水量为二十五分之一。其次为淮河流域。在我国北方的人口稠密区,水资源相当缺乏。黄河、淮河、海滦河、辽河、黑龙江和西北内陆诸河流域,人口约占全国的46%,耕地面积占全国的62%,水资源仅占全国的18%。

- 根据1985年地矿部公布数字,水电部公布为 $7718 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。
- 根据水利部门的数字。

全国主要江河的年径流量表

表 1-6

河 名	平均年径流深 (mm)	平均年径流量 (10^8m^3)	人 口 * (10亿人)	耕 地 (亿亩)	人均年水量 (m^3 /年/人)	耕地平均年水量 (m^3 /年/亩)
松花江	138	760	0.47	1.75	1 617	434
辽河	68.2	157	0.29	0.69	541	228
海、滦河	91.3	292	0.98	1.70	298	172
黄河	74.7	560	0.82	1.96	683	286
淮河	185	500	1.25	1.88	400	263
长江	544	9 790	3.45	3.70	2 840	2 650
珠江	758	3 410	0.76	0.78	4 487	4 372
全国	276	26 380	9.88	15.00	2 670	1 760

* 人口按1979年的统计资料

全国按流域分片的水资源总量表 *

表 1-7

分 片 名 称	河川径流量 ①	地下水补给量 ②	重复水量 ③	水资源总量 ④ = ① + ② - ③
黑龙江流域片	1 192	552	355	1 389
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	1 024
长江流域片	9 600	2 130	2 130	9 600
珠江流域片	4 738	960	960	4 738
闽、浙、台地区	2 714	575	575	2 714
西南地区	4 684	1 115	1 115	4 684
内陆流域片	1 116	945	854	1 207
额尔齐斯河流域	103	59	58	104
全 国	26 380	7 718	6 888	27 210

(根据陈家琦等)

我国的水资源不仅在地域分布上很不均匀,而且在时间分配上也很不均匀,无论年际或年内分配都是如此。因为河流的径流量对降水反映迅速,河水的更新期平均只有16天,故也可用降水量反映水资源随时间的变化。例如北京的降水量1959年为1405mm,而1921年仅256mm,1891年仅168mm,1959年为1891年的8.4倍,为1921年的5.5倍。有时会出现连续多年的丰水和枯水。如黄河在最近60年内,1922~1932连续11年枯水,1943~1951连续9年丰水^[8]。降水量的年内分配也很不均匀,由于季风气候,我国长江以南由南往北雨季为3~6月至4~7月,降水量占全年的50~60%,长江以北雨季为6~9月,降水量占全年的70~80%。

因为水资源在地域上和时间上分配不均匀,造成某些地方水资源富余,而另一些地方水

• ① 表中所列数量均按 10^8m^3 计;

② 为1956~1979年的平均值;

每片还包括附近的一些小流域,因此面积和径流量与表(1-6)不同;

④ 系1981年《全国水资源评价及利用现状分析初步成果》资料。

资源贫乏，某一时期洪水泛滥成灾，另一时期干旱，滴水如油。要合理开发水资源，必须对水资源进行时、空再分配。在开发利用之前，首先应当对水资源进行评价。

四、水资源的利用

人可三日无食，不可一日无水。有水才有人，有人必需水。随着工、农业生产的迅速发展和城市人口的增长，近几十年来，无论是世界或我国的水资源利用量都在迅速增加。水资源问题已成为当今世界上普遍重视的社会问题。1950年全球的用水量为 $1.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，除去重复利用的部分，实际的耗水量为 $0.65 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。1975年用水量为 $2.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，实际耗水 $1.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，预计到2000年，用水量将达 $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，为1950年的5.5倍；耗水量达 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，为1950年的4.6倍。其中工业用水量增长最快，50年间增长10倍。详见表（1-8）和表（1-9）。

全球各种用途的用水量和耗水量实测和预测表*

表 1-8

用水户	年 分	1950	1970	1985	2000
公用事业	用水量	600	1 200	2 500	4 400
	耗水量	110	200	380	650
工 业	用水量	1 900	5 100	11 000	19 000
	耗水量	90	200	450	700
农 业	用水量	8 600	19 000	24 000	34 000
	耗水量	6 300	15 000	19 000	26 000
水 库	耗水量	40	700	1 700	2 400
总 计	用水量	11 000	26 000	39 000	60 000
	耗水量	6 500	16 000	22 000	30 000

• 表中水量单位为 $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$

中 国 各 种 用 途 的 用 水 量 表*

表 1-9

用水户	年 份	1949	1957	1965	1979	2000
城市生活		6	14	18	49	123
工 业		24	96	181	523	1 264
农 业		1 001	1 938	2 545	4 195	5 958
总 计		1 031	2 048	2 744	4 767	7 345

• 表中水量以 $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 计。

我国的用水量从1949年的 $1\,031 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长到1979年的 $4\,767 \times 10^8 \text{ m}^3$,增长4.6倍。其中工业增长最快,从1949年至1979年增长21.8倍。预计2000年我国的总用水量将达 $7\,345 \times 10^8 \text{ m}^3$ 为1949年的7.1倍,达到了我国水资源总量的27%,这是非常巨大的数字。因为天然水资源并不能完全加以利用,如果把江河的径流量全部利用了,将引起航运、水产、港口淤积等一系列问题,破坏了生态平衡。因此天然水资源和可利用水资源的概念是不同的。为了排沙、排污、防止海水入侵以及生态平衡的需要,应保持一定的江河径流量入海。如美国的加利福尼亚州,规定有25%的年径流量必须入海。

我国地下水的开发利用,主要集中在北方的城市和淮河以北的广大农村,开采量约占北方平原地下水资源的30%左右。海河平原开发利用程度最高,已达90%,淮河平原约20%。

目前我国不少地区已出现水资源不足的紧张局面,北方不少河流已经干涸,甚至某些大河也只在汛期才有水。人们开始认识到,水资源并不象从前想象的那样是取之不尽、用之不竭的了。据统计,全国目前仍有4 000万人、3 000万头牲畜吃水有困难,大多位于河川径流缺乏的地区。全国有154个城市缺水,日缺水量约 $880 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。北方几乎所有大城市都缺水。况且我国城市水的消费标准并不高,北京市人均用水量水平只相当于一些发达国家首都的1/3,天津市的用水水平只接近北京的40%^[1],随着人民生活水平的提高,水的消费水平也要增长。我国北方的山西、内蒙、山东等省区有丰富的煤炭资源,但水资源不足,就地建设坑口电站要用大量的水,即使采用比较节省用水的循环冷却方式,建设一个60万千瓦的火电厂需水 $4\,380 \sim 5\,880 \text{ m}^3/\text{h}$,建设一个120万千瓦的火电厂,需水 $8\,730 \sim 9\,900 \text{ m}^3/\text{h}$ ^[3]。因此水资源问题也就成为这些地区能源基地建设的关键问题之一。

我国地表水资源的污染问题十分严重。据不完全统计,全国废污水日排放量约 $72.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$,排入长江的有 $29.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$,排入海河的约 $8.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$,海河的排污量已占年径流量的11%。在53 000km的调查河段中,污染超标的河段总长达18,600km,占35%,其中水污染到不能用于农田灌溉的河段有12 600km,其中有2 400km的河段鱼虾绝迹。

地下水资源因为有较强的调蓄能力,水量稳定,受当时气象条件的影响较小,不易受污染等,在水资源中日益显示其重要性。在我国北方地区,它已成为水资源开发的主要对象。要合理开发利用地下水资源,首先要对地下水资源进行评价。

§ 1-3 地下水资源和地下水资源评价的概念

一、地下水资源及其特点

存在于地壳表层可供人类利用的地下水量称为地下水资源。它是地球上总水资源的一部分。地下水不仅可作为供水水源为人类所利用,某些高温地下水,可利用其热能发电,是一种新能源。有些深埋藏的卤水,含有许多特殊的成分,可作为矿产资源。许多矿泉水可治疗疾病,是一种药用资源。但本书不讨论这些,仅仅把地下水作为工农业生产和人民生活的供水水源加以考虑。

地下水资源既不同于矿产资源,也不同于地表水资源,有它自己的特点。主要有:

(1) 资源的可恢复性 这是地下水资源和一般的矿产资源的重要区别。固体矿产都是以前的地质年代形成的,储量一定,开采一点就少一点。石油也是如此。但地下水不断得到

补给和更新,地下水资源的形成过程现在还在继续,开采一定水量以后,地下水资源仍能不断地得到补充,因此只要开采量合理,可以长期开采而不致于造成资源的枯竭。但是如果开采不合理,大量超采,也可能造成资源的消耗甚至枯竭。

(2) 较大的储量和较大的调蓄能力 这是地下水资源和地表水资源的主要不同点。全球地表水的平均更新期只有16天,因而对降水的反映迅速,加之水储量小,全球只有 $2.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,如果流域中没有湖泊和水库,调蓄能力差。暴雨时,洪水泛滥成灾;长期不下雨,则河床断流,禾苗枯死。地表水的这一缺点,正好由地下水资源来弥补。600米深度内的淡水储量有 $10\,530 \times 10^{12} \text{ m}^3$,约为河网储量的五千倍。平均更新期长达1400年。因而地下水对降水的反映,远不如地表水敏感。例如有些泉域广阔的泉水流量,明显地迟后于降水量。如山西的神头泉,每年泉水流量的峰值出现在3月份,比汛期迟后6个月左右^[4]。娘子关泉最远的补给距离约70公里,当年的泉水流量和前7年内的降水量关系密切^[5]。因此地下水资源有较大的调蓄能力。如前述的娘子关泉的泉域,调蓄能力有14亿立方米^[5]。利用地下水资源的这一特征,在枯水的年分或季节,当地表水缺乏时,可以使地下水的开采量大于补给量,进行超采。而在丰水年分,可以多用地表水,让地下水补回。这样使地表水资源和地下水资源两者互为补充,充分发挥水资源的效益。但是不可长期使多年平均开采量大于多年平均补给量,这样会造成地下水资源的消耗。一个含水层中地下水的更新期长达几百年或几千年,就是说这些地下水是几百年、几千年积蓄而成,一旦消耗殆尽,要使它复原也需要成百上千年。

(3) 和地表水资源密切联系和相互转化 地表水和地下水共处在一个水循环中,在天然循环过程中,本来就存在着相互转化的关系。如山区河流流出山口进入平原时,在冲积扇的顶部发生河水的大量渗漏,转变成地下水。当河流或渠道的水位高于地下水位时,也发生渗漏。另一方面,河流的基流来源于地下水的排泄,许多泉水就是河流的水源。故江河径流中包含了一部分地下水排泄量,而地下水补给量中有一部分来源于地表水的入渗。从天然水资源的角度来看,有一部分水量是重复的,计算一个地区的水资源总量时应予以扣除。另外,水资源的开发,会改变地表水和地下水的天然转化关系。如果地下水开采利用多了,必然导致江河基流和泉水流量的减少。如山西省的晋祠泉,原来流量为 $2.08 \text{ m}^3/\text{s}$,由于泉域内大量开采地下水,流量现已减小到 $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$ 。又如太原盆地出口处义棠水文站的年平均江河基流量,70年代比60年代减少了 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 是由于大量开采地下水造成的^[4]。山西汾河水库每年放水约 $3.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中有 $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 通过河道渗漏转化为地下水^[2]。因此,河、渠防渗措施的加强以及灌溉技术的改进,都会减少地下水的补给量。在某些大量开采地下水的地区,会完全颠倒了原来地表水和地下水的补、排关系。如山东淄河的太水库至辛店段和江苏徐州不牢河的茅村段,原来都是地下水的排泄区。由于大量开采地下水,地下水位逐年下降,地下水位反而低于河水位,河流成了地下水的补给区。因为补给量仍小于开采量,结果河水干涸,成了干河床。

但是也有一部分地下水的排泄量不转变成江河径流。例如图(1-1)中的地下径流直接入海部分和潜水蒸发。潜水蒸发是地下水直接转化为大气水。这部分地下水资源的利用不大影响江河径流。据估算,我国这一部分地下水资源约有 $830 \times 10^8 \text{ m}^3$,在我国北方平原区的地下水资源中,它占有较大的数量。

(4) 地下水资源的系统性 在这里首先介绍一下系统的概念。由若干个可以相互区别