

地下水资源 评价与管理

张瑞 吴林高 编著

同济大学出版社



地下水资源评价与管理

张 瑞 吴林高 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书应用系统工程的原理和方法来指导地下水资源的勘察、评价、开发和管理。全书共分导论、供水水文地质勘察、含水层水文地质参数计算、地下水资源评价、地下水水质评价、地下水资源的开发与保护和地下水资源管理模型等七章。全书突出了为城市规划、建设和发展迫切需要解决的地下水资源的科学勘察、评价、管理这一中心课题,内容上基本反映了当代国内外该学科的新理论、新概念、新成果和新技术,并且附录了作者近10多年来的最新工程实例。

本书为水文地质和工程地质专业教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

责任编辑 卞玉清

封面设计 陈益平

地下水资源评价与管理

张 瑞 吴林高 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

上海青浦任屯印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.25 字数: 560千字

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷

印数: 1—1000 定价: 18.70元

ISBN7—5608—1678—9/TU·206

前 言

地球上的水资源是与自然条件、人类生活、社会生产密切相关的一个复杂的系统。它是属于规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的大系统。如果我们把水资源（地表水、地下水、大气降水）系统定义为大系统，则地下水资源系统是一个子系统。它是以水文地质系统为自然环境，并受人类社会、经济、环境、政治、法律等控制的复合系统。

“地下水资源评价与管理”是水文地质与工程地质专业的一门主干专业课程。本书应用系统工程的原理和方法来指导地下水资源的勘察、评价、开发和管理。全书共分七章。第一章“导论”，阐述了地下水资源在全球水资源中的重要意义、我国水资源概况及供需展望、国内外在地下水资源研究的进展，以及地下水系统分析的基本原理。第二章“供水水文地质勘察”，阐述了供水水文地质勘察的基本任务、工作内容、勘察阶段的划分和要求、供水水文地质测绘、供水水文地质钻探与供水管井结构设计、抽水试验、回灌试验与其他水文地质试验，以及地下水动态长期观测与均衡试验研究等各勘察手段的基本任务、工作内容、方法与技术要求。第三章“含水层的水文地质参数计算”，阐述了根据稳定流抽水试验和非稳定流抽水试验资料，以及地下水动态长期观测资料，进行含水层水文地质参数计算的常规方法和其他方法。第四章“地下水资源评价”，阐述了地下水资源的概念与分类，地下水补给量的计算，地下水允许开采量的评价原则、均衡法、解析法、数值法、随机模型法、开采试验法和地下水文分析法的基本原理、适用条件、计算步骤。第五章“地下水水质评价”，阐述了在当前地下水环境条件下，根据定量分析确定地下水水质现状各项指标，以各不同用水目的的水质标准来评价其水质质量。第六章“地下水资源的开发与保护”，阐述了水源地的选择和取水建筑物的设计，在地下水开采过程中可能产生的危害作用，地下水环境容量的确定及地下水资源管理备选方案的制定。第七章“地下水资源管理模型”，阐明了地下水资源管理模型的基本概念及模型建立的基本方法，以及线性规划（单目标线性规划和多目标线性规划）、动态规划、非线性规划和大系统分解协调法的基本原理及其在地下水资源管理中的实际应用。本书所附工程实例绝大多数均是作者在十几年来在地下水资源评价与管理研究方面的科研成果。

全书突出了为城市规划、建设和发展迫切需要解决的地下水资源的科学勘察—科学评价—科学管理这一中心课题。内容上基本反映了当代国内外该学科的新理论、新概念、新成果和新技术。

本书的基本内容曾在同济大学水文地质工程地质专业讲授10年，在本次编著中又作了修改和补充。但限于水平，书中不当之处，敬请读者批评指正。

作者

1995年10月

04017/11

目 录

第一章 导论	(1)
1.1 地下水是宝贵的水资源	(1)
1.2 我国水资源概况	(4)
1.3 地下水资源研究进展	(14)
1.4 地下水资源系统分析	(20)
第二章 供水水文地质勘察	(30)
2.1 供水水文地质勘察概述	(30)
2.2 供水水文地质测绘	(37)
2.3 供水水文地质钻探与供水管井结构设计	(44)
2.4 水文地质试验	(65)
2.5 地下水动态长期观测与均衡试验研究	(79)
第三章 含水层的水文地质参数计算	(90)
3.1 根据稳定抽水试验资料计算水文地质参数	(90)
3.2 根据非稳定抽水试验资料计算水文地质参数的常规方法	(96)
3.3 根据抽水试验资料计算水文地质参数的其他方法	(108)
3.4 利用地下水动态观测资料计算水文地质参数	(114)
第四章 地下水资源评价	(126)
4.1 地下水资源的概念与分类	(126)
4.2 地下水补给量的计算	(134)
4.3 地下水资源评价的有关问题	(143)
4.4 水均衡法	(147)
4.5 解析法	(151)
4.6 数值法	(154)
4.7 随机模型法	(178)
4.8 其他方法	(197)
第五章 地下水水质评价	(206)
5.1 生活饮用水水质评价	(206)
5.2 饮用矿泉水水质评价	(215)
5.3 锅炉用水及其他工业用水水质评价	(222)
5.4 农田灌溉用水水质评价	(230)
第六章 地下水资源的开发与保护	(233)
6.1 水源地的选择和取水建筑物的设计	(233)
6.2 地下水开采过程中可能产生的危害作用	(241)
6.3 地下水环境容量	(249)
6.4 地下水资源管理备选方案的制定	(256)
6.5 管理方案的实施	(270)

第七章 地下水资源管理模型	(273)
7.1 地下水资源管理模型及模型的建立	(273)
7.2 线性规划	(285)
7.3 多目标规划	(300)
7.4 动态规划	(312)
7.5 非线性规划	(322)
7.6 大系统分解协调法	(328)
参考文献	(346)

第一章 导 论

水是自然环境的重要组成部分，也是生态体系中最活跃、最敏感、影响最大的因素。一般，将天然水中可供人类利用的部分称为水资源。

联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》中，定义水资源为“可以利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用”。

因此，水资源可以理解为人类长期的生存、生活和生产过程中所需要的各种水，既包括了数量和质量定义，又包括它的使用价值和经济价值。水资源概念通常有广义和狭义之分。

狭义上是指人类能够直接使用的可更新的淡水水体。换一句话说，是指自然界水循环过程中，大气降水落到地面后形成径流，流入江河、湖泊、沼泽和水库中的地表水，以及渗入地下的地下水。人们常把它用来满足工业用水、农业用水和生活用水，一般以径流量来表示水资源的数量。

广义上是指人类能够直接或间接使用的各种水和水中物质，能作为生产资料和生活资料的天然水，在社会生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。具体说，是指地球上所有的淡水或咸水，既包括天然的水，又包括工程措施和生物措施的水。

水资源是自然界生物赖以生存的物质，也是人类生活、社会发展和人类进步的重要物质，是工农牧副业生产不可取代的重要资源。当前，在世界人口不断增长、城市建设和工农业生产迅速发展，以及人民生活水平日益提高的形势下，水资源供需矛盾日趋尖锐。实践证明，水资源绝不是“取之不尽、用之不竭”的。因此，世界各国普遍重视水资源问题。

地下水在水资源中的地位，日益显得重要。世界许多国家都把地下水作为优先考虑的水源对象，欧洲共同体国家，75%以上的居民均饮用地下水，我国居民饮用水中有70%以上为地下水。而地下水的水量和水质所存在的日益严重的危机，已成为众所关注的全球性重大问题之一。我国地下水超量开采与水质污染问题也十分普遍，尤以城市地区更为突出。超量开采所造成的各种负环境效应，以及社会环境对地下水资源所造成的不利影响，使地下水资源已成为组成生态环境的一个重要内容。如何加强水资源的合理开发，实行科学管理，防治超量开采和水质污染，使地下水资源在人类社会经济发展中发挥最优的经济效益和社会效益，造福于人类。这正是当前需要研究和解决的重要课题，也是我们责无旁贷的任务。

1.1 地下水是宝贵的水资源

1.1.1 地球上水的分布

地球上水的总储量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，如表 1-1 所示。其中海洋的面积为 $36130 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占地球表面总面积(51000 km^2)的 70.9%，海洋水储量为 $133800 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，占总水量的 96.5%，加上地下咸水和湖泊中咸水，占总水量的 97.47%；而包括冰川、地下淡水、湖泊中淡水及江河中的水，全部淡水总体积仅有 $3503 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，仅占全球总水量的

2.53%。在这少量的淡水中，冰雪（冰川和多年积雪）总量为 $0.24 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占淡水储量的 68.7%，占总储量的 1.74%，这是一个天然的“淡水水库”，目前还极少被开发利用，有些缺水国家想把庞大的冰块从南极拖运到非洲、西亚、澳洲、美国等缺水地区使用；其次是地下淡水量为 $0.1 \times 10^8 \text{ km}^3$ （指地表以下 4km 以内的地下水，而约 2/3 水量位于地表以下 750m 深度以内），占淡水储量的 30.1%，占总储量的 0.76%；其余的为湖泊中淡水、河流水、沼泽水和大气水等约占淡水总量的 0.3%。

表 1-1

地球上水储量

类 型		面 积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	容 积 ($\times 10^4 \text{ km}^3$)	水层深 (m)	占总储量 (%)	占淡水储量 (%)
海洋水		36 130	133 800	3 700	96.5	
地下水		13 480	2 340	174	1.7	
其中	地下淡水		1 053	78	0.76	30.1
土壤水		8 200	1.65	0.2	0.001	0.05
冰川与永久雪盖		1 622.75	2 406.41	1 463	1.74	68.7
其中	南极	1 398	2 160	1 546	1.56	61.7
	格陵兰岛	180.24	234	1 298	0.17	6.68
	北极岛	22.61	8.35	369	0.006	0.24
	山脉	22.4	4.06	181	0.003	0.12
永冻土底冰		2 100	30.0	14	0.022	0.86
湖泊水		205.84	17.64	85.7	0.013	
其中	淡水	123.64	9.10	73.6	0.007	0.26
	盐水	82.23	8.54	103.8	0.006	
沼泽水		268.26	1.147	4.28	0.0008	0.03
河流水		14 880	0.212	0.014	0.0002	0.006
生物水		51 000	0.112	0.002	0.0001	0.003
大气水		51 000	1.29	0.025	0.001	0.04
总 计			138 598.46	2 718	100.0	
其中	淡 水		3 502.92	235	2.53	100.0

根据资料，全世界实际使用的江河、湖泊的全部地表水估计还不到可用淡水的 0.5%；而目前对地下水的开采，也由于技术、经济等条件的限制，当前主要是开采 500m 深度以内的地下水，少数可达 1km 深度。

由上可见，可作为人类经济利用的淡水资源和咸的海水相比，其数量是很少的。

1.1.2 地下水资源的利用

降水、地表水、土壤水和地下水处在同一自然水循环之中，它们密切联系而又相互转化，构成了水资源系统。地下水资源是地球总水资源的一个重要组成部分。

陆地部分地壳水圈在垂直方向上分为浅部水圈和深部水圈。浅部水圈包括地表水、潜水、浅部承压水，浅部水圈的水是人类生产、生活中采用的重要水资源。深部水圈包括深

部承压水、深部高矿化水、高温热气、高温热水，这些水往往是具有重要价值的能源或工业原料，所以地下水既可以作为水资源，又可作为宝贵的矿产资源和热能资源，供人们开采和利用。

一、地下淡水的利用

人类在生产建设的过程中，利用地下淡水作为城镇和农村居民生活用水、国民经济各部门生产用水的水源已占有重要地位，并在不断发展中。根据 1985 年国际水文地质协会在英国召开的“水文地质为人类服务”第 18 届大会介绍的各国地下水资源及其开发利用情况，如美国，1980 年地下淡水开采量约为 $4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$ ，占全年取自所有淡水和咸水总水资源量的 20%，主要用于灌溉的地下水占地下水总开采量的 68%，工业、城市和生活用水只占 32% 左右，全国饮用水中地下水占 50%；在前苏联，地下水利用总量为 $0.95 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$ ，居民饮用水中约 60% 用地下水供水，约 20% 用地下水与地表水联合供水，约 20% 用地表水供水；在荷兰，全国有 1/4 地区位于平均海平面以下，有 1/3 地区浅层地下水为半咸或咸的水，1981 年总用水量（不包括农业）为 $0.40 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$ ，其中 7% 取之地下水，强调饮用和食品工业要用地下水；在澳大利亚，60% 的地区主要依靠地下水供水，地下水开采量为 $740 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，其中 74% 用于灌溉。另据资料，丹麦居民用水几乎全部由地下水供水；法国居民用水中地下水占 75%；比利时居民用水中地下水占 90%；日本城市用水中地下水占 29.8%；加拿大利用地下水占全部用水量的 4%，其中生活用水中地下水占 26%；英国地下水占供水的 34%，工业用水中，地下水占 24%，农业用水中地下水占 92.6%；我国地下水资源量占总利用水量的 12%，据 1985 年对全国 309 个城市统计，取地下水城市 121 个，占 39.16%；取地表水城市有 136 个，占 44.90%；地下水和地表水兼用的城市有 52 个，占 16.83%。

二、其他用途

1. 地下热水：利用热能取暖、工业及民用热供水、发电和温室种植蔬菜等。
2. 矿水：具有特殊的医疗作用，可建立疗养院和旅游区。
3. 卤水：提取工业原料，以食盐为主，此外还有钾、碘、溴、硼、锂、锶、重水等。它们都是国防工业，原子能工业和化学工业不可缺少的原料。
4. 肥水：用合乎标准的肥水灌溉农田，作物可兼得水和肥，达到增产的目的。

三、地下水作为供水水源的优点

地下水是一种有限的水资源，也是一种宝贵而可靠的水源。合理开发利用地下水，不仅可解决许多地区的缺水问题，而且有利于生态环境的改善。作为供水水源地下水具有如下优点：

1. 地下水在形成过程中，由于岩土的天然过滤或上覆隔水层保护，所以地下水水质好、洁净，一般不需进行处理即可使用；
2. 水量、水质受气候影响较小，能保持较稳定的供水能力；
3. 分布广，可分散开采，分散投资，就地利用，经济方便，可节省许多输水和给水工程，避免长距离输水的渗漏和蒸发损失；
4. 在缺少地表水的地区，地下水常是唯一的水源；
5. 可利用含水层调蓄多余地表水，增加有效水资源总量，利用含水层的增温和散热效应，开展地下水人工回灌，以达到节能、节水、增加水量的目的。

1.1.3 我国地下水资源分布的基本特征

我国独特的自然地理条件和地质构造特征形成了我国地下水资源分布的基本特征。我国中部以秦岭为标志的纬向构造带是我国地下水不同分布规律的南北界线。同时,由于我国地势、地质构造复杂,各地距海洋远近不同,使我国气候从东到西差异很大,从而形成南北分布不同的地下水类型在东西方向上又有明显的变化,其特点是:

1. 我国北部(即昆仑山—秦岭—淮河一线以北)的大型中生代构造盆地,是松散沉积物孔隙水的主要分布地。这里盆地面积较大,松散沉积巨厚,蕴藏有较丰富的地下水。而南部的广大地区,多为小型的山间盆地,分布面积小,沉积较薄。除南、北分布有明显不同外,我国北方各大型盆地中的松散沉积物孔隙水分布情况又具有自西向东明显的差别。其特点是:在西部各内陆盆地中,由于盆地四周高山区年降水量大、终年积雪融化,使得盆地边缘山前地带巨厚的砂砾石层往往具有良好的地下水补给源,其蓄水与径流条件良好;而盆地中部多为砂丘所覆盖,气候干旱,极为缺水;盆地东部分布着辽阔的黄淮海平原、松辽平原及长江三角洲平原,第四纪沉积巨厚,地下水蕴藏丰富,富水程度相对均匀,为目前我国地下水开发利用程度较高的地区。在东部和西部之间的黄河中游地区分布着黄土高原黄土孔隙水,其形成与分布具有独特的规律。

2. 岩溶裂隙水主要分布在我国南方和北方部分地区。在北方,岩溶裂隙水主要分布在下古生代寒武纪、奥陶纪的碳酸盐岩类中,岩溶化程度较南方低,一般地表岩溶不甚发育;而南方岩溶裂隙水大部分赋存于上古生代和下中生代的碳酸盐岩层中,石灰岩成分较纯,岩溶化程度较高,形成一系列地下河和规模巨大的溶洞,地表裸露型岩溶十分发育,在我国西南地区形成举世闻名的典型岩溶地貌。

3. 基岩裂隙水分布面积较广。在北方侵入岩裂隙水分布面积大,南方除在东南沿海丘陵地区分布外,其余多零星分布。从东西方向上来看,东部沿海及大、小兴安岭等广大地区,表层风化裂隙的风化壳厚度一般约10~30m,因此地下水主要赋存于浅部,其富水程度较弱,仅在风化程度较强、构造破碎剧烈的地带蕴藏有丰富的地下水。

在西北干旱地区的高山地带,由于气候垂直分带的影响,形成山区降水量大,因而对基岩裂隙水的渗入补给量也大,这对山区供水和盆地周边山前地带地下水的补给具有重要意义。

另外,在阿尔泰山和大兴安岭北端的高纬度地区有多年冻土分布,西部青藏高原出现世界少见的特殊水文地质单元,即中低纬度高原多年冻土区地下水。

4. 南方与北方浅层地下水矿化度有显著差别。北方浅层地下水矿化度变化比较复杂,常大于1g/L,西北地区的浅层地下水,由于大陆盐渍化作用的结果,矿化度可高达几十g/L;而在南部地区,由于淋滤作用强烈,除沿海地区外,全部为小于1g/L的淡水。此外,在大型内陆盆地和大平原地区地下水化学水平分带及垂直分带都比较明显。

1.2 我国水资源概况

1.2.1 水资源量

一、区域水资源量

1979~1985年我国水利电力部和地矿部分别进行了全国水资源评价工作,选用1956~1979年的24年同期系列资料,计算了全国降水量、地表径流量和地下水资源量。水利

电力部以十大流域片为单位,即北方六片(黑龙江流域、辽河流域、海滦河流域、黄河流域、淮河流域和西北内陆河六片,此外还包括外流入北冰洋的额尔齐斯河流域)和南方四片(长江流域、珠江流域、浙闽台诸河流域和西南诸河流域),进行地表水资源量和地下水资源量计算,如表 1-2 所示。

我国多年平均年降水量为 648.4mm,约为全球陆面降水量(830mm)的 78%,亚洲大陆陆面降水量(740mm)的 85%,其中消耗于蒸发、散发占 56%,只有 44%形成径流。

1. 地表水资源量

我国多年平均地表水资源量(地表径流量)为 $27\,115 \times 10^8 \text{m}^3$ 。与世界各国相比,如表 1-3 所示。中国河川径流总量居世界第六位,而人均占有总量按 1980 年人口计,位居世界第 88 位,相当于世界人均占有量的 $1/4$ 。若按耕地面积计算,每亩平均地表径流占有量亦低于世界平均数,亩均水量约为世界亩均径流占有量的 $1/4$ 。

表 1-2 中国年地表水、地下水及水资源总量分区评价

地 区	地表水资源 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	地下水资源 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	重复水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	水资源总量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)
东北区	1 653	625	350	1 929
海滦河流域	288	265	132	421
黄河流域	651	406	324	744
淮河流域	741	393	173	961
西北地区	1 164	862	722	1 304
合 计	4 507	2 551	1 701	5 359
长江流域	9 513	2 464	2 364	9 613
珠江流域	4 685	1 116	1 092	4 708
东南沿海	2 557	613	578	2 592
西南地区	5 853	1 544	1 544	5 853
合 计	22 608	5 737	5 578	22 766
全国总计	27 115	8 288	7 279	28 125

注:表中地下水资源项中,在平原区按地下水矿化度 $< 2\text{g/L}$ 的水量计入。

表 1-3 某些国家年地表径流总量、人均和耕地占有水量

国 家	年径流总量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	年径流深 (mm)	人口(亿人) (1979 年)	人均水量 (m^3)	耕地面积 (亿亩)	亩均水量 (m^3)
巴 西	51 912	600	1.23	42 200	4.85	10 701
原 苏 联	47 120	211	2.64	17 860	34.00	1 385
加 拿 大	31 220	313	0.24	130 080	6.54	4 774
美 国	29 702	317	2.20	13 500	28.40	1 045
印度尼西亚	28 113	1 476	1.48	19 000	2.13	13 199
中 国	27 115	285	9.88	2 744	15.06	1 752
印 度	17 800	514	6.78	2 625	24.70	721
日 本	5 470	1 470	1.16	4 716	0.6	9 117
全 世 界	468 180	314	43.35	10 800	198.0	2 353

注:表中外人口是联合国 1979 年统计数,中国人口是 1980 年统计数。

因此,我国河川径流量并不充裕,且东南多、西北少,由东南沿海向西北内陆递减。长江流域及其以南地区径流量占全国的82%,黄河、海河、淮河流域仅占全国的6.6%,内陆河水系占全国的4.5%。

2. 地下水资源量

根据地矿部对26个水文地质单元计算区和自然单元及行政区的地下水天然资源和开采资源计算成果如表1-4和表1-5所示。我国地下水资源为 $8\,716\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ (包括淡水、微咸水和半咸水)。其中,分布在平原区的孔隙水为 $2\,503\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$;分布在山区的地下水为 $6\,743\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ (其中裂隙水为 $4\,250.81\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$;岩溶水为 $2\,034.26\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$;河谷平原及山间盆地孔隙水为 $458.72\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$);平原与山区的重复量为 $530\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。地下水开采资源为 $2\,940\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$,占地下水天然资源的33.7%,其中平原和富水地段等宜井地区地下水开采资源为 $2\,300\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$,大泉和暗河可利用量为 $600\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 以上。

表 1-4 我国各地区地下水天然资源

地 区	地下水天然资源		
	总量($\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$)	占全国地下水资源(%)	模数($\times 10^4\text{m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$)
黑松流域地区	525.03	5.97	5.67
辽河流域地区	281.11	3.19	8.01
黄淮海地区	754.14	8.57	11.91
滦河流域地区	62.20	0.71	9.84
海河流域地区	272.46	3.09	12.28
黄河流域地区	440.30	5.00	5.55
西北内陆地区	660.98	7.51	3.15
长江流域地区	2 666.72	30.32	15.55
闽浙丘陵地区	419.60	4.77	20.65
珠江流域地区	1 331.59	15.41	27.18
怒江、澜沧江流域地区(包括伊江、元江)	618.24	7.02	15.41

表 1-5 我国主要平原及盆地地下水资源 ($\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$)

平原或盆地名称	地下水天然资源	地下水开采资源	地表水与地下水之间的转化量	水资源总量
三江平原	89.64	127.88	15.44	130.88
松辽平原	297.81	234.53	—	—
黄淮海平原	462.53	460.39	—	—
河套平原	41.42	26.79	20.06	26.69
银川平原	18.20	16.62	—	—
河西走廊	44.76	26.85	39.82	12.36
柴达木盆地	30.83	12.11	22.75	53.19
准噶尔盆地	296.46	260.19	245.10	531.75
塔里木盆地	262.01	—	196.15	427.93
四川盆地	358.57	125.08	327.02	1 524.82
江汉平原	189.41	149.81	—	324.16
洞庭湖平原	44.26	37.18	—	—

注:三江平原地下水天然资源最近计算为 $92\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。

3. 全国总水资源量(包括地表水资源和地下水天然资源)约为 $28\,500 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{a}$ 。

二、城市水资源量

据 1985 年底统计, 全国设市城市 324 个。根据人口划分为五类: 特大城市 (A, 人口 ≥ 100 万人); 大城市 (B, 50 万人 $\leq$ 人口 < 100 万人); 中等城市 (C, 20 万人 $\leq$ 人口 < 50 万人); 小城市 (D, 10 万人 $\leq$ 人口 < 20 万人); 镇级城市 (E, 人口 < 10 万人)。不同类型城市水资源情况如表 1-6 所示。

表 1-6 城市年水资源量

代号	城市特征	水资源量					
		总量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	地表水 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	地下水 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	人均资源 ($\text{m}^3 / \text{人}$)	利用程度 (%)	污染指标
A	特大城市	379.40	262.93	116.47	799.21	15.8	7
B	大城市	143.91	92.90	51.01	656.58	17.4	9
C	中等城市	206.84	155.13	51.71	732.89	13.7	5
D	小城市	90.72	63.51	27.21	846.51	12.3	3
E	镇级城市	27.85	19.48	8.35	662.15	10.1	1
	总计 / 平均数	848.70	593.95	254.75	739.47	13.86	25

从表 1-6 中可见我国城市年水资源总量约 $850 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全国水资源总量的 3%, 其中地表水占 69%; 地下水占 30%。城市水资源与区域水资源情况一样, 具有地区与时态差特点, 南方城市与北方城市水资源保证程度相差很大, 人均资源量相差 3.4 倍, 城市集中分布的长江与黄河流域, 水资源分配比为 3:1。北方城市多以取地下水为主, 目前绝大多数城市均呈超采状态。我国水资源另一个特点是, 动态年内分配集中和年际变化大, 连年水旱灾使水资源具有不稳定性, 如地表水资源枯水年比丰水年将减少 $2.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而丰水年大量降水又造成洪水泛滥大量弃水。因此, 地表水比地下水的保证率相对较低。

1.2.2 水资源开发利用现状

随着人口增长、工农业生产和经济的发展, 世界各国用水量正在逐年地增长。如表 1-7 所示, 上世纪末全世界总用水量仅 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而到 80 年代中期即达 $40\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 增加了 10 倍。据联合国有关部门预测, 到 2000 年, 全世界用水量将达到 $60\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于人口的增加, 一些国家或地区的用水将更趋于紧张。

表 1-7 世界人口增长、经济发展和用水量的增加

年 份	人口($\times 10^8$)	灌溉面积 ($\times 10^8$ 亩)	农用水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	工业、城市生活 及其他用水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	总用水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)
1900	16	6	3 500	500	4 000
1950	24	14	8 600	1 400	11 000
1970	37	27	1 900	6 300	26 000
1975	40	30	2 100	9 000	30 000
1981	45	32	23 500	11 900	35 400
1985	48	36	26 000	14 000	40 000
2 000 (预测)	63	45	34 000	26 000	60 000

如表 1-8 所示, 在旧中国, 工业非常落后, 城市生活用水的水平非常之低, 大量用水以农业灌溉为主; 建国初期全国总用水量仅有 $1\,031 \times 10^8 \text{m}^3$, 而 1980 年全国工农业总用水量为 $4\,437 \times 10^8 \text{m}^3$, 为 1949 年的 4.3 倍, 其中地表水占总用水量的 86%, 地下水占总用水量的 14%, 如表 1-9 所示。

表 1-8 我国人口增长、经济发展和用水量的增长

年份	人口 ($\times 10^8$)	灌溉面积 ($\times 10^8$ 亩)	农用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	工业、城市生活 及其他用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	总用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)
1949	5.4	2.39	1 001	30	1 031
1957	6.5	4.11	1 938	110	2 048
1965	7.3	4.96	2 545	199	2 744
1980	9.8	7.3	3 912	525	4 437
2000 预测			5 958	1 387	7 345

表 1-9 1980 年全国用水量及其组成 ($\times 10^8 \text{m}^3$)

流域(片)	总用水量			工业用水		城镇生活 用水	农业用水
	合 计	地表水	地下水	小 计	其中火电厂		
全国总用水量	4 436.91	3 817.91	619.00	457.32	157.48	67.69	3 911.89
占总用水量%	100	86	14	10.3	3.5	1.5	88.2
东北诸河	353.72	268.86	84.86	63.86	14.74	9.47	280.39
海 河	383.88	181.44	202.44	48.69	11.78	10.72	324.47
淮河及山东半岛诸河	531.26	402.33	128.93	38.42	12.02	5.30	487.54
黄 河	358.37	273.96	84.41	27.93	5.56	6.03	324.40
长 江	1 353.27	1 286.25	67.02	208.76	92.65	22.34	1 122.47
华南诸河	660.64	654.52	6.12	45.86	18.09	9.47	605.31
东南诸河	193.14	188.05	5.09	16.03	2.06	2.14	174.97
西南诸河	43.92	43.25	0.67	0.74	0.03	0.22	42.96
内陆河	558.71	519.25	39.46	7.03	0.55	2.02	549.68

1980 年总用水量中, 工业用水占 10.3%, 城市生活用水占 1.5%, 农业用水占 88.2%。

一、农业灌溉用水

全国有效灌溉面积为 7.3 亿亩。实灌面积 6.14 亿亩, 灌溉用水量 $3\,580 \times 10^8 \text{m}^3$, 占全国总用水量的 80.7%。

我国现有灌溉面积虽占世界第一位, 灌溉面积占耕地的比重最高, 灌溉事业的发展速度也最快, 但按总人口平均, 人均灌溉面积 0.74 亩, 仅相当世界的平均数 (0.7 亩), 按农业人口平均, 人均灌溉面积 0.87 亩, 只及世界农业人口平均数 (1.52 亩) 的 57%, 低于世界上许多国家。

二、城市生活用水和工业用水

全国城市生活和工业用水为 $525 \times 10^8 \text{m}^3$, 占全国总用水量的 11.8%, 所占比重不

大，与国外比较用水水平还很低，如表 1-10 所示。

表 1-10 中外用水量统计对比

国 家	总用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	用水量占径流 (%)	人均用水量 (m^3)	占总用水量(%)		
				工业用水	生活用水	其他用水
美 国	4 676	27.4	2 184	43.4	7.9	
前苏联	3 316	7.6	1 304	32.0	4.8	14.4
日 本	882	16.0	792	18.2	16.0	
印 度	4 240	23.8	691	4.0	3.3	
法 国	420	25.0	796	57.2	9.5	
墨西哥	468	11.4	920	5.2	4.4	2.3
意大利	430	23.2	860	19.0	12.0	
英 国	221	14.5	400	76.0	22.4	1.3
加拿大	229	0.7	1 070	81.5	5.0	
中 国	4 437	16.3	452	10.3	1.5	
全世界	30 000	6.4	744	21.0	5.0	4.0

1. 城镇生活用水 全国城镇生活用水量 $68 \times 10^8 \text{m}^3$ ，按全国城镇人口 1.59 亿计算，每天每人用水量为 117L，如表 1-11、表 1-12 所示。北方城市用水标准低，南方城市用水标准高。国外一般大城市人均日用水量为 200~300L，最高达 600L，最少不低于 100L，比我国用水水平高，如表 1-13 所示。

2. 工业用水 我国工业用水量 $457 \times 10^8 \text{m}^3$ ，全国平均万元产值用水量为 620m^3 。在北方和沿海缺水的地区，万元产值的综合用水定额在 600m^3 以下；在工业发达、管理水平较高的城市，万元产值的综合用水定额可在 300m^3 以下。例如：北京市 1980 年的工业用水定额 370m^3 ，1983 年为 269m^3 ；大连市和青岛市由于淡水资源缺乏，工业用水循环利用率高，部分工业冷却水用海水取代，因此平均用淡水综合定额在 200m^3 以下。南方水多的地区，一般城市工业用水定额在 600m^3 以上，有的甚至超过 $1 000 \text{m}^3$ 。但上海市工业用水综合定额却只有 400m^3 左右。

表 1-11 全国各流域(片)城镇人均生活用水量

流域(片)	城镇生活用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	人均生活用水量 (L/人·日)	流域(片)	城镇生活用水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	人均生活用水量 (L/人·日)
东北诸河	9.47	85	华南诸河	9.47	148
海 河	10.72	115	东南诸河	2.11	浙闽: 85
淮河及山东半岛诸河	5.30	105	西南诸河	0.22	50
黄 河	6.03	120	内 陆 河	2.02	90
长 江	22.34	115	全 国	67.69	117

据 1986 年统计城市用水量为 368 亿 m^3 ，其中工业用水占 11%；城市生活用水占 3%；人均用水量为 $367 \text{m}^3/\text{人} \cdot \text{年}$ 。虽然总用水量仅占水资源总量的 43%，但由于地区分布的不均一性，各类城市有很大差别。北方，尤其是华北平原的城市水资源利用程度平均已达 61%，特大城市均呈超采状态；而南方城市一般仅 10%~30%。加上地表水的严重污染，使目前我国城市水资源存在两个问题：一是缺水；二是开发利用和治理能力低。

城市缺水是目前世界上各大城市普遍出现的问题。

表 1-12

中国部分城市生活用水表(1987 年)

名 称	用水人口 ($\times 10^4$ 人)	供水能力 ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$)	生活用水量		人均生活 用 水 量 ($\text{L}/\text{人} \cdot \text{d}$)	城市类别	城市方位
			($\times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$)	($\times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$)			
北 京	513.9	317.6	31 212	85.5	166.4	特大城市	华 北
天 津	430.7	175.7	22 175	60.8	141.1	特大城市	华 北
上 海	753.3	720.4	51 360	140.7	186.8	特大城市	华 东
广 州	305.9	439.1	42 184	115.6	377.8	特大城市	华 南
哈 尔 滨	245.0	75.0	12 272	33.6	137.2	特大城市	东 北
武 汉	317.6	224.1	34 220	93.8	295.2	特大城市	华 中
兰 州	119.0	127.0	4 839	13.3	111.4	特大城市	西 北
青 岛	122.0	31.2	3 691	10.1	82.8	特大城市	华 东
乌鲁木齐	98.0	20.9	4 335	11.9	121.2	大 城 市	西 北
南 宁	70.60	45.6	9 914	27.2	384.9	大 城 市	华 南
无 锡	85.0	36.8	3 908	10.7	125.9	大 城 市	华 东
西 宁	62.30	36.6	2 917	8.0	128.3	大 城 市	西 北
本 溪	53.3	179.5	3 327	9.1	171	大 城 市	东 北
佛 山	33	22.0	4 759	13.0	395.1	中等城市	华 南
长 治	36.9	20.6	986	2.7	73.2	中等城市	华 北
银 川	37.8	18.4	1 525	4.2	40.3	中等城市	西 北
茂 名	15	9.8	2 084	5.7	380	小 城 市	华 南
齐齐哈尔	6.5	3.1	191	0.5	80.5	小 城 市	东 北
和 田	5	3.6	78	0.2	42.7	小 城 市	西 北
平 凉	5	0.6	73	0.2	40	小 城 市	西 北

表 1-13

美国、前苏联、日本、印度城市生活用水

项 目 国 家	统计年份	城市生活用水量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	城市人口(亿)	城市人均用水量 (L/d)
美 国	1975	368	1.66	607
前 苏 联	1975	159.7	1.54	284
日 本	1975	123.4	0.85	397
印 度	1974	140	1.3	295
中 国	1980	67.95	1.59	117

1.2.3 我国水资源供需展望

一、城市水资源供需现状

由于我国水资源量在时间、空间上的分配不均匀，且与人口、耕地等的分布极不适应，所以形成许多地区缺水。根据历史资料，全国城市缺水程度日趋严重，我国已进入城市水危机阶段。

我国城市缺水问题是从 80 年代初期开始的。首先发生在华北地区,如天津、北京、太原等城市;然后发生在沿海城市,如大连、秦皇岛、烟台、宁波、厦门等城市;最后延伸到内地。过去认为南方城市不缺水,事实上深圳市、海口市、三亚市也都缺水。

1979 年,有 154 个城市缺水,平均缺水量为 $880 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。1983 年,有 188 个城市缺水,平均缺水量为 $1240 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中,14 个沿海城市平均缺水 $190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,大连、青岛、太原等城市生活用水实行定时、定量供应,天津、烟台一些城市因缺水致使不少工厂被迫限量生产或停产,造成经济损失约 200×10^8 元。城市缺水问题已成为影响经济发展和人民生活的重要因素。1990 年,在 450 个城市中有 223 个城市缺水,其中严重缺水城市 40 多个。1992 年,全国 500 多个城市中,有 300 多个城市缺水,其中严重缺水的城市有 100 多个。每年因缺水损失工业产值近千亿元。由于过量开采地下水,我国已出现 56 个地下水区域性下降漏斗,总面积达 $8.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,致使大批机电井报废,一些地方出现地面沉降、海水入侵等环境问题,以及人与人之间的水事纠纷。为此,水利部自 1993 年 9 月 1 日起施行《取水许可证制度实施办法》,以保证有计划用水。1994 年,全国现有的 600 多个城市中,有 300 多个城市缺水,其中特别严重的有 110 多个城市,据统计,城市因缺水,每年经济损失达 1200×10^8 元。

随着改革开放,城市人口不断增加,城市也不断增多。而原有的供水设施老化,这些是造成城市缺水严重的主要原因。对此,水利部除采取节约用水、污水再利用等措施之外,还应采取相应的开源办法(如南水北调)等综合治理,才能从根本上解决城市缺水的问题。

二、我国水资源供需展望

为实现 2000 年工农业总产值翻两番的宏图,我国水资源开发利用总的任务应是:在不继续恶化或逐步改善生态环境的条件下,努力改善北方地区和沿海城市的供水条件;巩固和发展农田水利,大力开发水运、水能和水产资源;注意用水行业、地区间水资源供需的综合平衡,合理开发利用。

1. 2000 年需水量预测

中国水资源供需前景如何,是人们普遍关注的问题。预测中,全国按 9 个一级区(流域片)、82 个二级区、302 个三级区以及三级区以下一定数量的平衡计算单元分别进行;以 80 年代初各地的用水情况为基础,参照以往用水增长情况,并结合考虑今后国民经济发展的战略目标,和上述水资源开发利用的任务来加以预测。分区预测时,供水保证率:生活和工业用水均采用 $P=95\%$,农业一般按 $P=75\%$,而缺水地区如海河、内陆河则按 $P=50\%$ 。

2000 年全国按各流域(片)遇中等干旱年($P=75\%$)的需水量汇总为 $7096 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中农村用水 $5575 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总需水量的 78.5%。工业需水量 $1302 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总需水量的 18.4%。城市生活需水量 $218 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总需水量的 3%,与 1980 年相比总需水量增加 $1972 \times 10^8 \text{ m}^3$,相当于 1965 年到 1980 年的增长量。各流域片总需水量如表 1-14 所示。

近十年来,我国城市发展很快,已由 181 个城市增加到 450 个城市。据预测,到 2000 年将增加到 640 个城市,城市用水量将由目前的 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 增加到 $170 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,工业用水量将由 $450 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 增加到 $700 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。