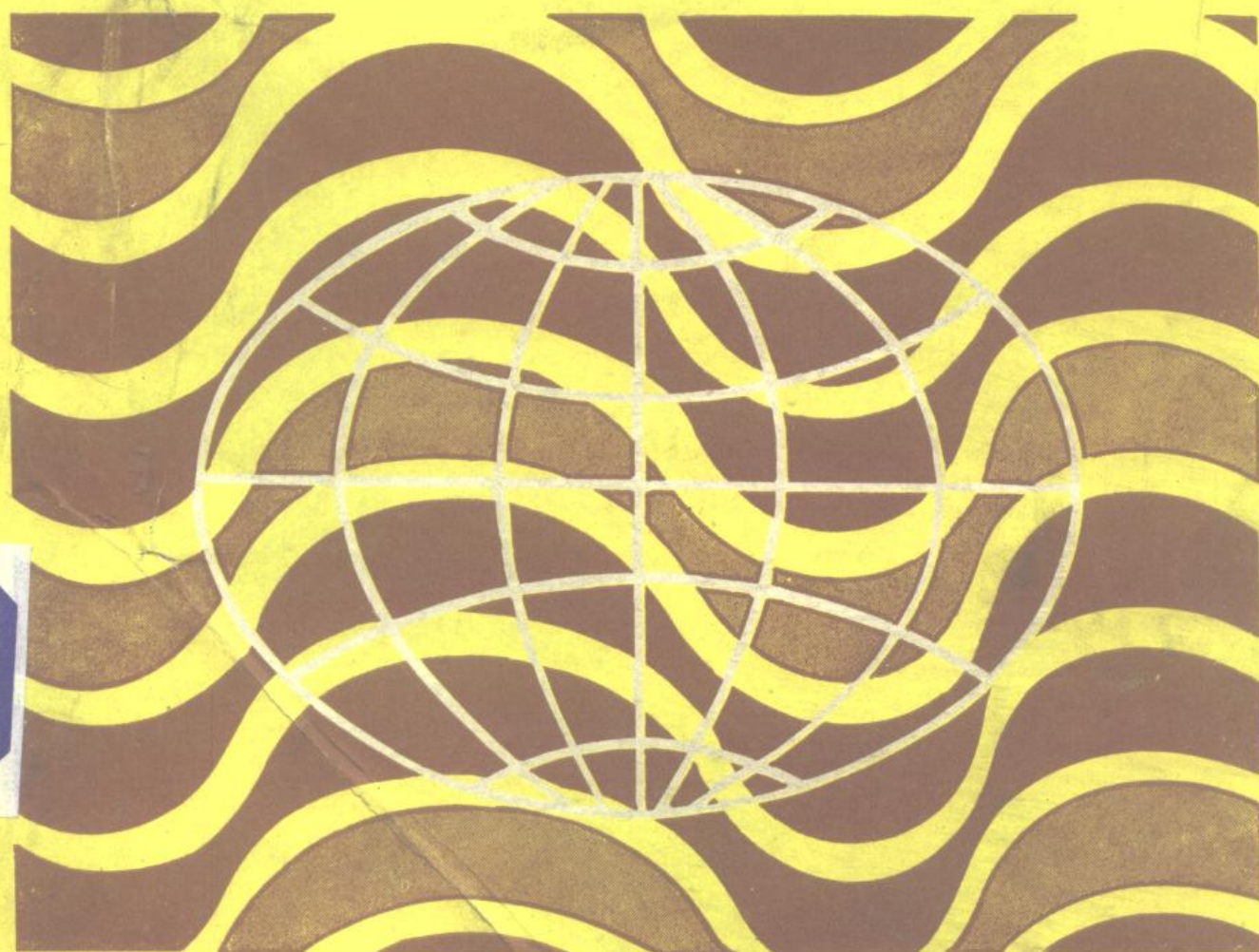


地质矿产部水文地质工程地质研究所编选

国外地下水资源评价及 科学管理译文集



45

地质出版社

国外地下水资源评价及 科学管理译文集

地质矿产部水文地质工程地质研究所 编选

地 质 出 版 社

内 容 简 介

本书介绍了国外地下水资源评价和科学管理方面的一些实践经验和工作方法。内容包括地下水资源评价和科学管理中的某些科学概念、评价的技术与方法、防治水质恶化与水源保护、人工调蓄,以及水资源管理中的模型化、最佳化技术等。

本书可供我国广大水文地质工作者、水资源规划与管理工作者、水利工作者以及大专院校有关专业师生参考。

国外地下水资源评价及科学管理译文集 地质矿产部水文地质工程地质研究所 编选

责任编辑:左全农

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $10^{3/4}$ 字数: 251,000

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数: 1—2,405册 国内定价: 2.60元

ISBN 7-116-00114-X/P.100

统一书号: 13038·新507

前 言

地下水与国民经济建设和人民生活有着非常密切的关系。地下水资源在整个水资源中占有重要位置。地下水资源的评价和科学管理是合理开发、利用和保护地下水资源的基础。随着地下水资源的开发和利用,对地下水资源评价的技术与手段以及科学管理方法正在不断取得新的进展。

为了满足我国地下水资源开发工作的需要,我们从新近出版的英、俄、德、法文书刊中选译了26篇有关的科技文献,以介绍国外地下水资源评价和科学管理方面的一些实践经验、工作方法和新观点,供我国广大水文地质工作者、水资源规划与管理工作者以及水利工作者参考。

本译文集由我所科技情报室的同志们于1984年组织翻译。全稿由我所谢超凡、任士宝、施德鸿、耿三方、顾可孚等同志负责编选。

由于水平所限,选材和内容等难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

地质矿产部水文地质工程地质研究所

目 录

水资源的合理利用和保护——现代最重要的问题·····	(1)
地下水储量和资源·····	(8)
地下水系统的意义与主要特征·····	(19)
深部含水层水文地质(水文地质盆地是地下水管理的基础)·····	(27)
哈萨克斯坦地下水合理利用的途径·····	(35)
印度地下水资源的开发·····	(37)
美国亚利桑那州的地下水储量开采·····	(42)
地下水补给和地下水水质问题·····	(46)
城市发展对地下水水质的影响·····	(57)
预防因农业活动引起的硝酸盐在地下水中富集的措施·····	(64)
印度含氟地下水的地球化学和成因·····	(69)
用数值模型分析地下水的运移过程·····	(76)
瑞士地下水人工补给的实践经验·····	(81)
新卢万市人工补给的定性和定量测定·····	(88)
穆勒含水层的人工补给——水资源管理的一个实例·····	(92)
地下水最佳管理的数值模型·····	(98)
地下径流模型的微型化·····	(103)
测定包气带水均衡组分的两个模型的比较·····	(111)
用模拟模型管理阿尔萨斯平原潜水含水层·····	(115)
某地表水-地下水系统的运行方案·····	(124)
苏联地下水管理的科学方法·····	(134)
美国加利福尼亚州的地下水管理·····	(136)
阿尔萨斯地区水资源最佳化管理中的地下水研究·····	(144)
约旦东部灌溉水资源的最佳化·····	(149)
区域承压含水层的最佳管理·····	(156)
一个开发盆地的地下水资源管理问题·····	(164)

水资源的合理利用和保护

——现代最重要的问题

В.П.Пинкнер

水是地球上分布最广泛的物质。它覆盖着地表，潜入地壳，参与自然界的作用，万物都需要它。正如В. И. Вернадский所说过的，水诚然是“到处可见的”，但它也是天然矿物资源。由于其固有的性质，任何物质都不能代替它。因此，水是独一无二的宝贵资源。

人们首先把淡水用于生活饮用、生产工艺过程和灌溉。既利用地表水，也利用地下水。随着地下水的用处不断增加，它不仅适用于供水和灌溉，而且也适用于医疗、工业（提取工业贵重组分）及热动力工程。

一个人一昼夜需要3升水，实际上的消耗要多得多。在发展中国家，每个居民一昼夜需35—40升水。在发达国家，每个城市居民需水更多，达100至1000升（如在莫斯科，需650升）。生产每一件工业品和任何一种农产品都需要一定数量的水（米³/吨）：钢需要150—200，纸需要450—800，橡胶需要2850，小麦需要1800，棉花需要7500，肉需要20000，药品需要56000等。因此，每个居民每昼夜的总需水量为数千升（在苏联，达3000—6500升）。

然而，地球上供水的保证程度却很不平衡。在河网发育的国家（加拿大、挪威等），每个居民需要的河川水量为25000—50000米³/年以上（在苏联平均为16600米³/年）。干旱地带国家的供水程度最小，为100—120米³/年（如苏联荒漠区，特别是在土库曼）。

近30年来，自然环境保护问题^①已成为非常尖锐的问题，并就这些问题在刊物中展开过讨论。为了解决这些问题，曾花费了大量资金。自然资源不是无限的，而且日趋枯竭。已发现的对自然界的不利作用，规模很大，并且这种作用有增大到造成生态系统不可逆变化的危险性。这就把自然环境保护，特别是水资源保护问题列为最重要的现代问题。

计算表明，随着工业生产和人口的增长，地球上需水量到2000年将比1976—1980年增加一倍，而每个人的淡水量减少35%。

由于污染物质随空气和水运移的规模是全球的，在一国或数国范围内解决环境保护问题只能取得地方性的结果，对全球来说是不够的。为限制对自然界的大规模有害作用，需要许多国家在科学与工程研究方面共同做出最大努力。因此，环境保护问题具有国际性质。

① “自然保护”这一术语，在第一届国际自然保护代表大会（1913年）之后得到了广泛的应用。近5—10年来越来越常见到“自然环境保护”这一概念。它表示国家和社会为保护自然和合理利用自然资料采取的一系列措施。实质上，这些术语的内容相同。后来利用的比较简单术语“环境保护”也是这个意思。

人为作用^①及其对环境的不良影响可以大大减少，但不是通过限制人口数量、缩减工农业生产，亦即不是象资本主义国家某些学者主张的那样，靠制止科学技术进步的办法，而是靠调节人类社会与自然界的联系，并使其最佳化的办法来实现。这首先要靠对自然资源的合理利用和再生来保证。苏联已经采取了必要措施，以保护地球及其矿产，水资源、空气的洁净，植物界和动物界。社会主义对待自然界的原则已体现在宪法中。

地球上的水问题 水资源是环境和自然财富的主要组成部分之一；同时，似乎也是比其它组分容易受到人为作用影响的最活动的部分。世界上的许多国家，尤其是处于干旱地带内的国家，都感到适于日常需要的用水不足。甚至在水资源丰富的国家，当水资源在面积上和一年各季节中分布不均匀时，需水量的急剧增长已经使纯净的淡水不足。水的因素已开始阻碍工农业生产。如何使纯净的淡水有保障，防止纯净淡水枯竭和污染，以及使水资源再生，就是地球上水问题的几个方面。

早在几十年前，人们还认为水资源是取之不尽用之不竭的。在20世纪后半期情况则发生了变化。随着人口的增长，工农业的迅速发展以及洗盐稀释用水的猛烈需要，大大地增加了用水量，使纯净的淡水资源减少了。

供水水源（河流、湖泊、地下水库等）同时用来排放废水，因此，污染构成了对纯净水资源的主要威胁：1米³的废水可污染几十倍以上的净水；排放有毒物质，特别是毒药，给天然水自净造成了极大的困难。污染是供水用淡水资源枯竭的主要原因。

在工业发达的国家中，水流和水体污染的规模是非常惊人的。美国最主要的河流系统均遭受了污染。美国主要河流密西西比河已成为废水和废物的巨大聚集地。西欧的个别河流，有一半含有废水。如莱茵河（从前是优美和清洁的象征）已成为污水河，被石油产品薄膜所覆盖。污染向海洋蔓延，并开始向远洋渗透。大洋水的自净能力是不足的。须知，每年向大洋排放数百万吨石油、数千吨放射性废物等。

表 1 世界上需水量结构的变化
(Соколов, Щикломанов, 1977)

需水者	1900年		1970年		2000年(预测)	
	km ³	%	km ³	%	km ³	%
居民	$\frac{20}{5}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{120}{20}$	$\frac{5}{1}$	$\frac{440}{65}$	$\frac{7}{2}$
工业	$\frac{30}{2}$	$\frac{8}{1}$	$\frac{510}{20}$	$\frac{20}{1}$	$\frac{1,900}{70}$	$\frac{32}{2}$
农业	$\frac{350}{260}$	$\frac{88}{96}$	$\frac{1,900}{1,500}$	$\frac{73}{94}$	$\frac{3,400}{2,600}$	$\frac{58}{87}$
水库	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{70}{70}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{240}{240}$	$\frac{4}{8}$
总计	$\frac{400}{270}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{2,600}{1,600}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{6,000}{3,000}$	$\frac{100}{100}$

注：分子为总需水量，分母为不回返需水量。

① 所谓人为作用或人为影响就是指人类生产活动引起的、使自然环境发生变化的综合作用。根据与人类居住环境的关系，这些变化可能具有不良性质和良好性质。

有害物质渗入土壤，并进入地下水中。污染源之一是对土壤施的肥料和给农作物喷撒的农药。这就使广大面积的地下水毒化。排入地下的生活污水和工业废水的影响更大。因此，几乎在世界上的所有大城市和工业中心（美国、西欧、日本，甚至发展中国家），上部含水层——潜水已不能用了。关于这个问题下面我们还要专门论述。

根据概略估算，在地球上，到20世纪70年代初，几乎有1/6的水资源遭到污染（Коронкевич, 1972）。

水枯竭的另一个原因是不合理地开采水资源，有时简直是掠夺式地开采水资源。供水损耗量（占采水量20%以上）和灌溉损耗量（70%以上）都是很大的。过量采水对地下水的影响特别有害。在许多地区内，地下水水位的不断下降引起局部地区淡水含水层完全枯竭。

现代的特点是淡水需水量急剧增加（表1），超过了人口增长和生产发展的速度。在美国，需水量从1900年到60年代初增加了五倍，而人口仅仅增加一倍。现在美国就已经利用了几乎全部现有的纯净淡水资源。苏联的增长情况类似：革命前，每年需水 45 公里³，1940年，需水80公里³；1960年，需水155公里³；1970年，需水230公里³；1975—1980年，每年需水 300公里³。近二十年来需水量几乎增加了一倍。这就保证了苏联人民居住、生活条件的改善及国家经济水平的提高。将来到2000年苏联的采水量应该达到每年620公里³（表2）。

表 2 苏联的年需水量 (km³)
(Коронкевич, 1972)

需 水 者	采 水 量	不回返耗水量	废水及不回返水	除害用洁净水 耗 水 量
1970 年 的 状 况				
居民	20	12	8	80
工业及热动力工程	55	12	43	570
灌溉土地	145	115	30	60
其他	10	2	8	—
总计（零数不计）	230	140	90	710
将 来 （2000年）				
居民	68	19	13	90
工业及热动力工程	193	102	93	310
灌溉土地	265	273	24	293
其他	100	20	80	20
总计（零数不计）	620	410	210	720

洁净水需要量与现有资源量之间的差距不断增大。地球上每年排出的废水总量，估计为450—470公里³。根据М. И. ЛЬВОВИЧ 计算（1969, 1974），为了稀释淡化这一数量的废水，需耗费 5500 公里³ 的洁净水；而世界来水量为 3600 公里³（其中，灌溉土地用水消耗 2800公里³）。到21世纪初，地球上的人口将增加到60—70亿，工业生产将增长几倍，这时情况将会怎样呢？在现代的水利管理方法条件下，废水的数量将超过 6000公里³/年。为除去这些废水中的有害物质，需要耗费全部地表水和地下水的水量。所谓本世纪末可能出现

不可避免的“水荒”的意见就与此有关。地球上的淡水资源并非真的那么少,但确切地说,水资源是有限的。为了解决地球上淡水不足的问题,首先必须:(1)珍惜现有的水资源,防止它们被污染和枯竭;(2)寻找新的淡水水源;(3)加强地下水开采(如,在人工补给的基础上)。

洁净水问题是自然保护综合措施中最主要问题之一。在20世纪中叶,遍及全世界的科技革命将这一问题提到了全球的高度。现代环境危机的基础当然不仅仅是科学技术的进步。经济的飞速发展(首先是前所未见的人为作用)、人口骤增以及社会原因、经济管理方式等都是引起水问题产生的原因。

计划经济规定了防止水资源污染和枯竭的措施。社会主义国家正在成功地实现保护各种自然资源,其中包括水的长远措施。在苏联,水资源的保护和利用在《苏联及加盟共和国的水法原则》(1971年)中及加盟共和国的水法典中均有规定。与前一个五年计划相比,1976—1980年间修建净水结构物及其他水利结构物的拨款增加了1.5倍以上。从而使情况有了好转。许多河流的净化工作已经开始,在伏尔加流域的一些城市——高尔基、喀山、古比雪夫、萨拉托夫等修建了净水结构物,贝加尔盆地等的废水正在进行有效的净化。这一切都说明,水资源保护是苏联政府不断关心的大事。

在苏联,1981—1985年间的自然保护措施总共将消耗国家基建投资260亿卢布(其中也包括各主管部门的拨款)。这就大大地超过了前一个五年计划期间的投资。

无论在社会主义国家,还是在资本主义国家,在水资源保护方面都取得了一定的成就。但是也有例外。以美国为例,水体污染损失每年为75亿—110亿美元。几年前,这个世界上最富有的国家的国会曾通过了一个法案,授权政府拨出约250亿美元用于防治天然水的污染。但是,实现这样一项代价很高、期限很长的规划受到了威胁。追逐利润与社会利益产生了矛盾:认为从阿拉斯加和加拿大输入净水比净化本国水流和水体在经济上合算。

水问题的解决途径 在不久的将来,除传统的供水水源(河流、淡水湖和地下水库)外,人类将要通过其他一些途径获取淡水。其中包括利用极地的冰。一些西方学者们把很大的希望寄托在海水淡化上。但是,从北极地带或南极地带运冰及利用冰在技术上是复杂的,任何一个设计都不是合算的。海水淡化无论在苏联(在Мангышлак),还是在国外(如在科威特)应用得相当广泛。然而,在没有其它水源的地方,尽管淡化是得到饮用水最可取的方法,但连专家也不敢保证可用淡化水的方法代替传统的供水方法。

苏联学者们认为,必须对现有的水资源从利用和保护的观点进行根本的重新审核。为了避免目前在美国和西欧发生的、将来地球上其它地区也要发生的水危机,应该立即着手解决水的问题。主要措施是尽量减少向河流、湖泊和地下水库排放废水及改变陆地的水量平衡(Львович, 1969, 1974; Коронкевич, 1972)。在合理利用水资源的过程中,保护水资源是预防地球上“水荒”的途径。

普遍减少并在将来停止向河流中排放废水是一项代价很高,但完全可以实现的措施。何况在社会主义国家计划和协调经济的条件下,这种措施预示着会有经济效益。不管是否愿意,资本主义国家也应该采取这种措施。对提出彻底停止向河流及其他蓄水设施中排放废水问题的美国、法国、西德和其他国家的学者和专家们应该给予应有的评价。

最根本的办法是建立工业企业供水的封闭循环系统,以便使废水不返回水体中。目

前,在苏联,不回返提水已达引水建筑物一半以上(见表2)。但是,有一定数量的废水仍需要利用。特别有害的废水必须经过预先再生后再进行地下埋藏、天然蒸发或人工蒸发。如果蒸发的同时能生产出蒸汽和收集到被溶解的物质,那么蒸发成本便可降低。在Рязан化学纤维工厂,用在沉淀池内使废水再生的方法,避免了排放许多吨硫酸钠、硫酸等。这个工厂得到的经济效益每年超过一百万卢布。

生活饮用和工业利用后的大量废水,应该用于土地灌溉。В. И. 列宁(全集,5卷,152页)在谈到废水时早就指出:“……不合理地把天然肥料白白抛掉了,并且废水还毒化了河流……。在大城市附近,现在灌溉土地还利用城市废水,对农业的益处极大,但是,这样利用的仅仅是极小部分的废水”。利用废水进行灌溉,首先,可以减少从河流、湖泊和地下水库的采水量;其次,能实现有效净化,废水除害的土壤法,由于微生物很多,是最完善的方法;第三,可以大大提高农业用地的产量。这种灌溉土地的收获量比未灌溉土地的收获量高数倍。因此,用这种方法利用废水的费用,经过4—5年后便可收回。

部分公共生活污水经过净化后可以重复用于工业和热动力工程。在民主德国的某些工业中心,这些污水从净化系统输出后首先用于工艺加工,而后用于冷却。在苏联,利用各种废水供水的封闭系统最早是在Челябинск工业区使用的。例如,在Львов纸板厂完全消除了工业废水的排放,新鲜水需要量减少了三分之二。从该厂净化构筑物中每年收集到近400吨以前污染河流的纤维,并重新用于生产。

遗憾的是,正如苏共二十六次指出的那样,我国在水资源保护事业上还有缺点。如有的净水构筑物设备落后,产生工业废水的企业往往在投产以后才兴建净水构筑物等。有科学根据地制定废水排放的极限允许浓度和定额,对所有企业都是十分重要的。

实现防止水资源污染的措施需要时间。可能到2000年仍有一部分废水排放到河流中,例如在人烟稀少的地区或在自净能力极强的地方,亦即污染程度远未达到极限允许浓度的地方。但是,在人烟稠密的地区,所有废水都应进行净化。何况在1975—1980年间已有许多企业转向无废料生产工艺。到1985年,计划完全停止向流域水体中排放有害废水。

表2中列出了21世纪初苏联水资源消耗量的初步预测数据。Н. И. Коронкевич预测的根据是,在国民经济实现上述合理用水措施的条件下,大大减少向河流和地表水体的废水排放量是可能的。与1970年需水量相比,到21世纪初的采水量将增加1.5倍,而不回返水的耗水量将增加2.3倍。虽然废水量也增加,但由于初步净化,用于除害的净水耗水量并不会增加。废水只向自净能力很强的水体(人烟稀少地区的河流或某些大海)和地下水深层排放。将来还应该尽最大的可能利用废水,停止向水流和水体中排放废水。

节约用水有极大的潜力。在有可能的地方,应该设法减少工业和城市公用事业需水量(将生产转为“干燥”或无废料工艺,及时维修给水管网,修建单独的饮水供水和工艺供水管道)。

提高水费是一项重要措施。捷克斯洛伐克等一些国家的经验表明,控制公共事业需水量能使污水量及相应地污水排放量减少 $1/2$ — $2/3$ 。在苏联,供给工业企业和其他企业用水是按水的成本或不合理的低价收费的。苏联土壤改良水利部国家水源保护监督机构的计算表明,莫斯科每立方米的价格为4戈比,只是在超量用水时价格才增到20戈比,而国内其他一些地区则增到65戈比。低价供水无助于水资源的经济利用,甚至在许多情况下不能补偿国家供水费用。

表 3 改变地球水量平衡的初步预测
(ЛЪВОВИЧ, 1969, 1974)

平 衡 要 素	年 水 量 (km ³)		改 变 的 性 质
	现 今 的	改变后的	
降水量	110300	110300	
全部河流径流	38800	37500	将700km ³ 的洪水转为土壤水分资源, 增加水库和森林蒸发量600km ³
1.稳定的径流	14000	22500	增加稳定径流8500km ³ , 其办法是: (1) 储存5000km ³ 的地下水; (2) 利用水库调节3500km ³ 的洪水径流;
流入河流的地下径流及恢复的地下水储量			
2.地表径流	26800	20500	利用6300km ³ 的地表径流, 其中1300km ³ 用于在土壤中滞留和蒸发量的增加, 5000km ³ 用于储存地下水;
地区的总润湿量	83500	89800	增加6300km ³ , 依靠未灌溉土地的补充润湿和蒸发量的增加 (1300km ³), 以及储存的地下水 (5000 km ³)
蒸发	71500	72800	增加1300km ³ , 依靠提高收获量和水库蒸发量

在灌溉中耗费了特别多的多余的水。如果这种状况能够改变, 那么采水量至少会降低1/4。

除保护和节约水资源之外, 改变陆地水量平衡 (包括管理自然界中的水循环) 是对解决水问题的重要贡献。这种管理的目的是靠不太贵重的河流径流 (主要是洪水径流) 来增加最可用的几种水资源 (包括所谓的稳定的径流, 即地下径流及受水库调节的径流) 及土壤水分储量。这里也包括从富水区调水来保证干旱区的用水 (例如, 将西伯利亚的一些河流径流调到哈萨克斯坦和中亚地区)。

改变地球水量平衡的初步预测见表3。水量平衡的基本要素是人工补给 (储存) 地下水和利用水工建筑物调节河流径流以及增加土壤水分的储量。上述措施中的后几种措施自然会引起蒸发量有一定的增加。这就表明, 储存地下水比调节地表径流优越。

除改变自然界中的水循环之外, 将靠淡化矿化水 (海水和地下水)、融化冰川等办法来增加用于供水的水资源。总之, 需水量的增加将对内陆水分循环产生良好的影响, 能增强水分的循环, 也能增加地球上的淡水资源。

在发达的社会主义国家和资本主义国家已经采取了保护和合理利用水资源的各种措施。苏联进行了大量工作。这就是建立封闭 (无废料) 供水系统和兴建净水结构物。为此, 每年耗资数百万卢布 (例如, 在贝加尔和上述伏尔加流域的一些城市)。在卡拉库姆、北哈萨克斯坦、南乌拉尔, 修筑了许多渠道及其他许多设施。苏联淡水远不像美国和西欧那样严重不足; 但是, 要改变苏联领土上的水量平衡, 必须大量增加稳定的径流; 同时, 到2000年不回返径流应占稳定径流的25%以下 (Коронкевич, 1972)。

由于科学、技术及社会的进步, 可以指望, 在不久的将来定能普遍解决水的问题。根据М. И. ЛЪВОВИЧ (1969) 的说法, 不论拟定的措施多么复杂, 实现这些措施是能解决人类这一最重要的问题的; 因此, 在这方面的一切努力都是正确的。

国际合作对保护和合理利用水资源具有重要意义。现实迫使我们必须实现国际合作,

因为单独几个国家本身实在不可能综合解决水问题。地球水资源的研究、未来水资源的保护和合理利用，是1965—1974年国际水文十年研究过的问题。由联合国倡议，把1981—1990年的10年定为国际饮用水10年，其目的是确保地球上的全体居民所需的洁净淡水。

防止地下水污染和枯竭在国际措施中占有重要地位。1974年在蒙彼利埃（法国）召开的国际水文地质工作者协会专门会议讨论过这一问题，1980年联合国环境总署和联合国科教文组织在塔什干（苏联）召开过类似的讨论会。地下淡水是水资源的最宝贵部分。在许多地区地下淡水是生活饮用供水或土壤改良的唯一水源。

任士宝译自《Основы гидрогеологии, Использование и охрана подземных вод》，Издательство “Наука”，Новосибирск, 1983, часть 1-ая.

史崇周 校

地下水储量和资源

G. Castany

地下水储量是指储存在含水层中的重力水的水量。它是根据对储水层储水作用的研究得到的。

资源是指遵照若干限制条件,在一个圈定的范围内能够开采的水量。它是储水层的作用、含水层水动力学特性和水化学特性共同作用的结果。

地下水的储量计算和资源评价,即水文地质学家为满足用水者需要而提出的供水方案,是以五个基本概念为依据的。

各类储量是借用含水层等厚线图计算有关储水层体积,用有效孔隙度或储水系数进行计算后得到的。

地下水储量通过含水层不断地得到补给而得以恢复。储量恢复情况可以用恢复率和恢复时间表示。

每一类水资源都有相应的水文系统。

地下水可采资源评价是遵照若干限制条件,基本上以流量-水位降深变化预测和地下水开采费用为基础的。

水文地质学家向用户提出若干个供水方案。

地下水储量计算和资源评价是制订地下水开采规划的基础。这项工作是对野外勘查和野外试验所得资料的最终概括。为使评价结果一致,评价工作应采用严格规定的标准方法。

一、基本概念

地下水储量计算和资源评价建立在以下五个基本概念的基础之上(据G. Castany, 1979年)。

1. 储量和资源的概念

应该明确地区分储量和资源。

储量 是指一定时期内或一般年份一个水文系统所容纳的或储存的重力水的数量或体积。它与不可恢复的水资源的概念有关。它是含水层储水作用的结果。储量按体积单位计算,用百万立方米(10^6米^3)或立方公里(10^9米^3)表示。

资源 是指根据一定标准或技术、社会经济和政策等方面的限制条件,在一定时期内能从一个划定的范围内开采出来的水的数量或体积。资源一词的前面常常加一个指明其类别的修饰词。资源评价以含水层的水动力学和水化学特性为基础。资源评价结果用平均流量单位: $\text{米}^3/\text{秒}$ 、 $10^6\text{米}^3/\text{年}$ 、 $\text{公里}^3/\text{年}$ 表示,或者用升/秒·公里₂表示,有时也用人均流量表

示。

2. 供需对比概念和寻求一项协调方案

水资源应满足用水者对水质和水量的要求。例如,一个拥有二百万人口的城市,每天需要提供最廉价的饮用水 60000米^3 (图1)。

根据上述条件,水文地质学家提出两个或三个供水方案,如使用地表水,使用地下水或者联合使用地表水和地下水(图1)。在这方面,本文列举了北撒哈拉水文地质盆地的实例。

因此,水资源评价工作的基础是在以下两者之间寻求一项协调方案,即:

(1) 受研究区内现有资源自然条件和技术条件所限制的开采水的可能性。例如,可以选择开采与河流有水力联系的冲积层含水层(含水层-河流整体系统)中的水,或者取用河流中的水。

(2) 以最便宜的价格满足用水者对水质、水量的要求,如饮用供水、农业供水或工业供水的要求。因此,需水结构是极其重要的。

3. 制订规划方面的限制条件的概念

进行水资源评价要重视四组有时间空间变化的限制条件。

第一组:自然限制条件和技术限制条件。如含水层位置、埋深及水位(水文地质结构),含水层的作用和特性(水动力学参数、水化学参数、边界条件),含水层-集水建筑物复合体的特征(流量-降深函数的变化)。

第二组:社会经济方面的限制条件。在一定时期内或一定阶段内以合理的开采费用(亦即需求一方同意的开采费用)能从资源系统中采出的最大水量、可以接受的最大降深,集水建筑物的出水量,土地影响费,用水权,生活质量等。

第三组:环境方面的限制条件。环境能产生人们难以接受的不良影响,如枯水期河水流量减少,水质和土质恶化,地下水位出现不容许的下降及其对农业的影响等。

第四组:政策方面的限制条件。水资源和开发方面的唯意志主义政策,征得的资助,要承担的风险。

本文有三个实例说明这些限制条件。

过量开采含水层-河流整体系统的水会引起地表水向地下水分流,从而使河流枯水期流量减小,对航运、下游用水、城镇污水排放和生态产生影响。过量开采含水层的水也可能引起地下水水位下降,使树木和农作物枯萎。

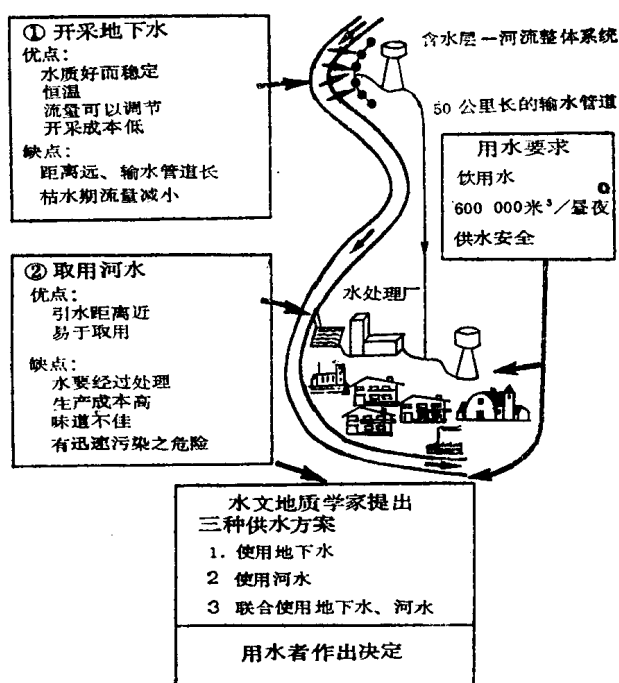


图1 水文地质学家经过供需对比提出三种供水方案
(①原文如此,似应为 $60000\text{m}^3/\text{日}$,译者)

过量开采流入海洋的滨海含水层的水会引起咸水侵入淡水含水层,从而使水质恶化,需要采取耗费巨大的防治措施,如人工补给、兴建地下水坝等。法国北部、比利时北部和荷兰北部沿海地区的情况就是这方面的实例。

在干旱地区开采地下水资源,唯一的办法往往是开采不可恢复的深部含水层的水。其结果必然造成地下水水位下降。下降幅度随开采时间和开采量而增大(这种开采属于地下水的矿产式开采),从而增加抽水费用,并对环境造成不良影响,如自流泉枯竭,水井干涸,劣质水侵入深部含水层等。北撒哈拉Continental intercalaire承压含水层就是这方面的实例。

4. 时间空间上的独特性概念

储量计算和资源评价应重视时间空间单元。因为这种评价必然涉及一个既定的空间范围和既定的时期。也就是说,必然会涉及到一个水资源系统。

空间范围或水资源系统

有三种适合用水目的的空间范围(表4)。

- a. 水文系统: 水文盆地, 水文地质盆地或含水层;
- b. 行政区或经济区: 如法兰西岛, 法国等;
- c. 用水区: 如居民点供水区、工业区、灌溉区等。

上述每个空间范围都具有其储量和水质资源的类别特征(表4)。后两种空间范围的评价是通过求这两种空间范围的各水文系统的数据进行的。地表水和地下水之间的划分纯属习惯性的。它是评价工作所必需的。这种划分不应掩盖研究区内储存的水或流动的水在质和量方面的独特性。例如, 含水层-河流整体系统。

时间单元 平均数据和历史数据

为使预测工作得到可靠的和外推的结果, 评价工作应以按有关年代顺序或历史顺序的记录数据的统计处理为依据。评价结果通常用年平均值表示。这些数据应符合水文周期和第五十九页(指原文59页, 译者)列举的测试频率的有关规定。

资源系统的大小与需求量一致

评价工作是按一个划定的、符合需水要求的空间范围进行的。空间范围的大小视评价区工农业和经济发展情况而定(约为1,000—100,000公里²)。预测时段要与规划规定的时段一致: 5年、10年、15年或30年。短期规划的预测比较准确, 30年以上的规划预测比较随机。

5. 时间空间变化概念

由于有效降雨量空间分布不均和水文地质结构不同, 储量和资源在地理分布上是不一样的, 在时间上分布亦不规律。

用水者对水质水量的要求是可变的。例如, 节水技术的进步, 人口的增加, 工农业的发展等都是其变化的因素。

根据开采技术和用水者的标准进行的资源评价, 在时间上和空间上也是可变化的。因此, 资源评价不是永恒的, 而应定期进行, 以适应新的需要。

6. 水文地质学家提出供水方案时的主要限制条件

前面列举的许多限制条件是互相影响的。因此, 水文地质学家在提出供水方案时, 可以选定两个起主要作用的限制条件: 第一是降深随流量(流量-降深函数)在时间空间上

的中、长期变化和水质在时间空间上的中、长期变化；第二是水的开采费用。

这两个限制条件用集水建筑物的最大出水量表示。最大出水量按最大开采量计算；而最大开采量则按临界流量计算。临界流量由抽水试验和用水者规定的最大容许降深试验确定。

用抽水试验确定的水动力学参数建立预测工作所必需的数学模拟模型。

二、地下水储量计算

1. 地下水储量分类

地下水储量是按一定时期内或一般时期内储存在一个既定含水层中的重力水水量分类的（表1和图2）。地下水储量分为四类：总储量、调节储量、永久储量和可采地下水储量

含水层总储量

含水层总储量 WT 是指含水层底板之上的重力水水量。其上部界线，对承压含水层来说是隔水顶板，对潜水含水层来说是平均最高水位（图2①），有时采用的平均总储量 WM 的上部界线是年平均水位。

潜水含水层的调节储量

潜水含水层的调节储量 WR 是指潜水含水层水位变化带内的重力水水量。它是参照一

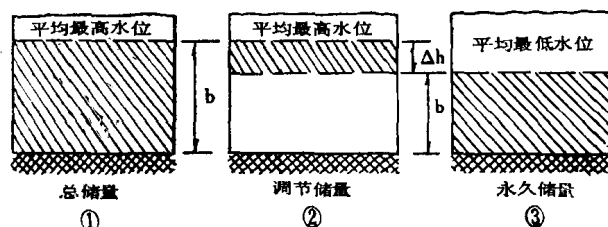


图2 潜水含水层的储量分类

表1 地下水储量分类和有关潜水含水层的体积

储量类别	含水层结构图	
	等高线图或等水位线图	等厚线图
总储量	底板 平均最高水位	含水层平均厚度
永久储量	底板 平均最低水位	平均厚度
调节储量	平均最高水位 平均最低水位	水位变化带厚度 年平均水位变幅

定阶段水位年变化幅度或年平均变化幅度计算出来的（图2②）。调节储量可与同一阶段的地下径流量 QW 对比，但不应同等看待，也不要与储量差 ΔW ，即均衡差混淆。

含水层的永久储量

含水层的永久储量 WP 是指含水层总储量不可恢复的部分。对潜水含水层来说，上部界线是平均最低水位（图2③）。在承压含水层中，实际上总储量和永久储量是相同的。

可采地下水储量

可采地下水储量 WEX 是指在可接受的经济条件下，能从含水层总储量中暂时或最终

采出的最大水量。它用米³或米/公里²表示。它的多少取决于前面所说的限制条件。它与储量开采资源的概念（见下文）有关。对从含水层采出的水量进行年度调节或年间调节要以了解可采地下水储量为基础。

2. 地下水储量计算方法

计算原理

地下水储量 W 是通过处理以下一对数据进行计算的：

有关含水层（饱和储水层）的体积 V ；

潜水含水层的有效孔隙度 n_e 或承压含水层的储水系数 S 。

$$W = V \cdot n_e$$

$$W = V \cdot S$$

含水层的体积是在含水层等厚线图上用面积量算法计算得出的（图3）。有时用含水层的平均厚度 b_m 进行计算：

$$W = b_m \cdot A \textcircled{1} \cdot n_e$$

对于潜水含水层来说，就是指这一层的整个厚度；而对于深部承压含水层来说，就要考虑几十米（50米、100米或200米）的连续水层的厚度。

当储水层不均质时，必须考虑那些结构比较均一的水文地质带。

潜水含水层储量计算实例（略）

3. 地下水储量的恢复

地下水储量通过有效入渗量 IE （或入渗量 I ）的补给得到恢复。在天然状态下，在一般时期内，因为储量差 ΔW 不变，这种补给可以补偿地下径流 QW 引起的排泄量。有两个参数，即恢复率和恢复时间是可以确定的。

地下水储量恢复率是指含水层年平均补给量（ IE 或 I ，用体积表示）和平均总储量 WM 之比，用百分比表示。

$$\text{恢复率} = \frac{IE}{WM} = \frac{QW}{WM} (\%)$$

例如，摩洛哥Tafilalt平原冲积层潜水含水层， $WM = 1 \times 10^{11}$ 米³， $QW = 7 \times 10^{10}$ 米/年，同一时期的恢复率为0.7%。

地下水储量恢复率与含水层平均总储量的大小及含水层的调节作用有关（表3）。

地下水储量恢复时间是指使含水层累积补给量等于平均总储量 WM 所需要的理论时间。平均总储量相当于长期地下径流量 QW 。这一相等性并不意味着取代这一时期的平均总储量。储量恢复时间用年表示。

$$\text{恢复时间} = \frac{WM}{IE} = \frac{WM}{QW} (\text{年})$$

Tafilalt平原潜水含水层的储量恢复时间为1.4a。

不要把地下水储量恢复时间与水在含水层中的运移时间混淆起来。水在含水层中的运移时间是指在某一地点投放示踪剂开始到另一处检测出示踪剂止的时间。

① A 为含水层面积。——译者