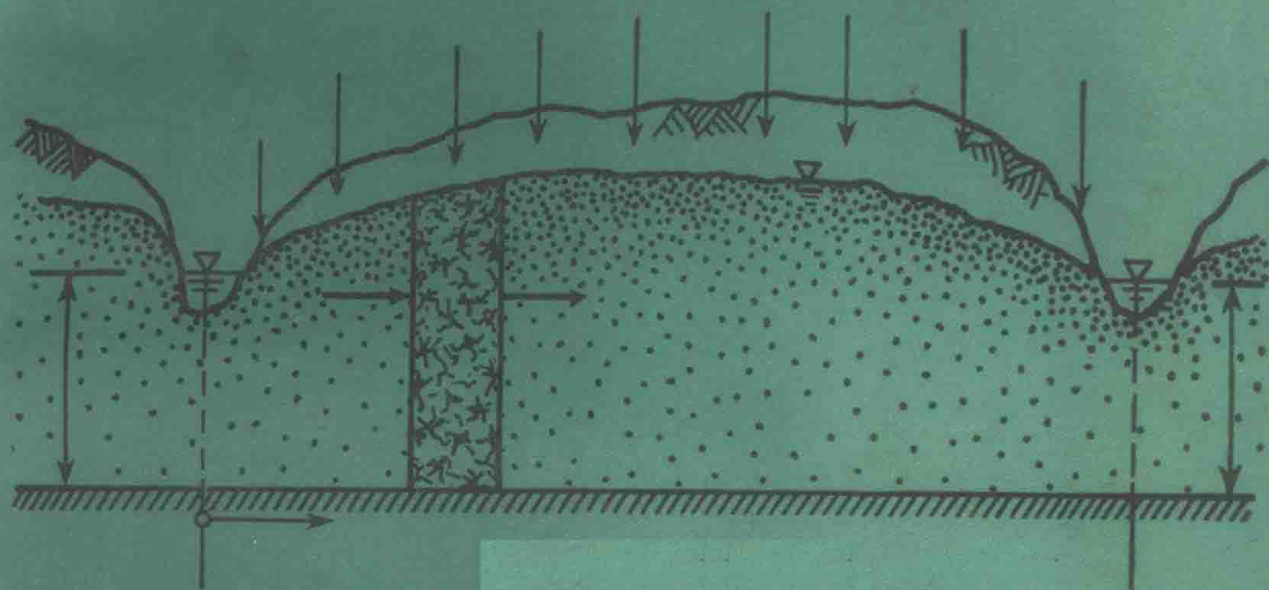


高等学校教学参考书

地下水水力学

雅·贝尔



地质出版社

高等学校教学参考书

地下水水力学

(美) 雅·贝尔
许涓铭 等译

地质出版社

内 容 简 介

本书约四十万字，分十二章。从地下水资源角度上提出问题，集中讨论了地下水渗流问题的基本概念、基本原理以及对地下水渗流问题的准确数学描述。专题论述非饱和流、污染物质聚集和运移的水质、滨海含水层的海水入侵、含水层系统的模拟和含水层参数的识别。最后还以线性规划为例说明地下水管理问题决策的计算方法。提供区域地下水资源合理开发、保护和管理的研究方法。书中附有实例和习题。本书是作者在以色列理工学院和美国麻省理工学院等几所院校教学实践基础上总结编写的，曾用作正式学分课程讲授和工程师培训进修的教材。被McGraw-Hill国际图书出版公司列为水资源和环境工程丛书之一。适合于高等学校水文地质、工程地质、水资源、环境保护、给水排水等专业的教学参考书或教材，也可供有关从事勘察、设计和科研人员参考。

Hydraulics of Groundwater

JACOB BEAR

(1979)

高等学校教学参考书

地下水水力学

雅·贝尔

许涓铭 等译

责任编辑：于纯仁

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：787×1092¹/₁₆印张：29¹/₂字数：692,000

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数：1—3,685册 定价：5.70元

统一书号：13038·教221

译 者 的 话

地下水水力学 (Hydraulics of groundwater) 是著名地下水水文学家雅·贝尔 (J. Bear) 继1972年编写《多孔隙介质流体动力学》(Dynamics of fluids in porous media) 一书后, 于1979年发表的又一著作。作者曾从事大量生产实际和研究工作 (地下水水文学、水资源管理和环境工程等方面), 并先后在以色列理工学院和美国麻省理工学院等几所院校进行教学活动。在此基础上完成了这一著作。

本书的特点之一, 在于内容新颖, 取材广泛, 概括了近数十年来学科的新成就 (有关地下水资源的合理开发、保护和最优化管理等问题, 其中涉及弹塑性变形介质条件下的渗流、各向异性介质中的渗流以及非饱和—饱和区域中的可溶性污染物的运移问题等)。从理论上系统地加以论述。有些虽属初步介绍, 但为读者学习和了解当前学科新的进展指出了方向。

特点之二, 在于指导思想明确, 强调了基本概念、基本原理和对地下水水流准确的数学描述的重要性, 而把解算的数学过程相对置于次要地位。在当前学科发展迅速, 内容日益增多的情况下, 使读者能在学习中分清主次, 抓住本质而融会贯通, 提高分析问题的能力。

特点之三, 在于理论上论述严谨, 除了给出清晰而确切的基本概念、基本原理外, 还全面介绍了各种基本方法, 为研究地下水的水量和水质问题提供了完整的理论和方法。书中附有实例以为示范, 书后编有习题, 便于联系实际深入掌握理论和方法, 以提高解决实际问题的能力。

本书从地下水资源角度上提出问题, 把地下水的水量和水质作为研究的对象, 任务在于解决它们的预报和管理问题。不仅提供了研究区域地下水资源的合理开发、保护和最优化管理的手段, 而且也指出了地下水科学管理的重要性。其中渗流的基本概念、基本原理和基本方法仍然适用于其它领域中地下水问题的研究。在学习书中的内容之后, 应该理解到解决实际问题时, 需要把水文地质条件、力学概念和数学处理的手段三者有机地结合起来。这样, 读者在具备一定的基础上可以继续提高, 并用来深入研究更复杂的问题。

如果说贝尔的“多孔隙介质流体动力学”是一本渗流理论的经典著作, 则“地下水水力学”是他二十多年教学经验结晶的巨著。无疑, 这是一本适合于我国高等院校水文地质、工程地质、水资源、环境保护、给水排水等专业用的参考书或教材; 也可供有关从事地质勘察、设计和科研的技术人员知识更新学习的参考。参加本书翻译的有车用太、梁定伟, 李俊亭, 张永良, 陈明佑, 许涓铭 (具体见每章末页)。全书由许涓铭统稿校订。

为了适应学习的需要, 书中还刊出原文的参考文献全部目录, 并编译了英汉对照和汉英对照的索引。此外, 收到美国夏威夷大学水资源研究中心主任 L. Stephen Lan (刘) 教授转来原作者的勘误表, 在校译过程中已参照修正, 并对其尚未发现的一些问题, 我们以译注形式附在页下加以说明, 便于读者参考。

II

最后，感谢王海林工程师在图表植字工作中、邵景力研究生在协助专业词汇摘编中付出的劳动。

限于水平，译文中难免有错误和不妥的地方，敬请读者批评指正

许涓铭

一九八四年八月，北京

序 言

在水资源的开发和管理工作中，地下水起着重要的作用。因而人们越来越需要了解含水层中地下水文学和地下水运动的水力学方面的信息。

本书试图介绍含水层中地下水和其所携带的污染物的运移及储存的规律和方程。地下水水力学不是一本多孔隙介质流动的理论著作。读者如对这方面感兴趣的话，不妨参考包括作者所写的“多孔隙介质流体动力学”一书在内的一些有关的参考书。本书主要的目的是为从事地下水资源开发和管理的地下水水文学家、工程师以及规划人员预报区域含水层系统的状态提供所需的全部手段。考虑到将含水层系统及其边界条件明确地表示出来的困难，采用了实用的观点来处理。因此强调了水力学的方法，将含水层中的水流基本上看作水平面上的二维流动。

本书也并非是为在给定约束条件下达到确定目标而作出决策意义上的管理书籍，但是作为决策的任何过程，例如就含水层中抽取和人工补给地下水在地区和时间上的分布而论，都必须熟悉有关含水层对规划活动的响应（以提供含水层中的地下水水位或污染物质的浓度的形式表现出来的）。此处介绍的材料，目的均在于为决策者确定这种响应而提供手段。然而，本书中的重点是放在概念、原理以及对流动问题的准确的数学描述上，而不是放在求解依赖于边界的几何特征、参数的给定值等等各种情况下的实际解答上。解析解仅仅能够求解少量的区域性实际问题。虽然电模拟装置（电阻—电容网络）可求解区域性的预报问题，但现在大量的这类问题都采用了数字计算机来进行数值解算。电子计算机解算预报问题的一个显著优点是，它能够把预报问题与管理问题，确实如它们所求的那样，同时获得求解。因此，介绍了数值解法的初步。以上就是本书之所以如斯介绍要点的背景。

书中选用的材料和编写的文字都已考虑实际的情况，从基本原理出发严格地导出各种方程式。我认为这种叙述的方式，能使读者对地下水的物理现象和基本假设会有透彻的理解。

水量（例如以水位或水头来表征的）和水质（例如以水中可溶性的固体浓度来表征的）问题，两者在书中都有论述，其中还特别注意到滨海含水层中的海水入侵问题。

我相信本书的内容用来研究含水层中的水流实际状况，应该是足够的。如果想把每个问题囊括无遗，显然是达不到的。因此，取而代之的是，着重介绍完整的基本概念，特别是大量的原理，同时也介绍了求解地下水问题的方法论以及包括有其它教学意义的材料。读者在学习这些内容的基础上，必要时，应该有可能从事进一步的研究和通晓今后陆续发表的专业文献最新材料。

因为我们的重点是放在物理现象本质的认识 and 问题的描述上，而不是放在解算上，所以需要数学的份量很少。尽管如此，还是要采用数学的语言；故要求读者掌握下列数学知识：微积分、偏微分方程、向量的概念、标量的梯度、向量的散度以及什么是二秩张量。

本书在内容的安排上，也注意到这些材料的讲授问题，无论是针对研究生或大学生的水平，本课程都需要设置在水文学绪论之后。在以色列的海法Technion—以色列理工学

246511/8

院，美国麻省理工学院，布法罗的纽约州大学，普灵斯顿大学，檀香山的夏威夷大学，都作为学生正式的学分课程，在美国和世界各地还作为工程师的主要进修课程。根据讲授的经验，我感到按照上列提出要点的方式，单独以一本书来介绍这门学科的话，这也是不全面的，教师们可在不同书籍中选择有关章节作为课本，或完全不用课本而让学生去参考专业性刊物中的文章。但我相信本书能够作为讲授地下水运动的一本教科书。经验表明，它适用于一学期 12—14 周正规 3 个学分课程的教学。

最后，应衷心地感谢帮助完成编写本书的那些人。十分感谢我的学生们在不同地方提出了建设性的意见，特别是布法罗的纽约州大学土木工程系（尤其要提到的是系主任 G. Lee 教授和 R. R. Rumer 教授），普灵斯顿大学土木工程系（尤其要提到是系主任 A. S. Cakmak 和 G. F. Pinder 教授），当我受聘为这些系的客座教授时，为我创造了良好的工作条件，得以利用两个学期的充裕时间（分别在 1973 年和 1976 年）完成本书大部分的编写工作。

雅各布·贝尔
以色列·海法

（许涓铭 译）

目 录

译者的话	I
序言	III
第一章 绪论	1
§ 1—1 地下水在水资源系统中的作用及其管理	2
§ 1—2 地下水资源的管理	7
§ 1—3 本书的范围与结构	10
第二章 地下水与含水层	14
§ 2—1 定义	14
§ 2—2 垂直剖面上的水分分布	16
§ 2—3 含水层的分类	18
§ 2—4 含水层中水流的水力学方法	20
§ 2—5 研究孔隙介质中水流的连续体方法	22
§ 2—6 非均质与各向异性	24
第三章 地下水的均衡	27
§ 3—1 地下水的水流与越流	27
§ 3—2 大气降水的天然补给	29
§ 3—3 灌溉与污水引起的回归水流	32
§ 3—4 人工补给	33
§ 3—5 河流—含水层间的相互关系	40
§ 3—6 泉	42
§ 3—7 蒸发—蒸腾作用	45
§ 3—8 抽水与排水	45
§ 3—9 储量的变化	46
§ 3—10 区域地下水的均衡	47
第四章 地下水的运动	48
§ 4—1 达西定律	48
§ 4—2 水力传导系数	53
§ 4—3 含水层的导水系数	55
§ 4—4 各向异性含水层中的水流	57
§ 4—5 潜水含水层的裘布依假设	59
第五章 地下水预报问题的数学描述	66
§ 5—1 含水层的储水系数	66
§ 5—2 基本连续性方程	70
§ 5—3 初始条件和边界条件	74

§ 5—4	含水层中的水流基本方程	80
§ 5—5	地下水流问题完整的数学描述	91
§ 5—6	解地下水流问题的方法	96
§ 5—7	水流叠加原理	118
§ 5—8	水文图与流网	124
§ 5—9	各向同性含水层与各向异性含水层中水流之间的关系	131
§ 5—10	含水层中一维稳定流的解析解	135
§ 5—11	地面沉降	142
第六章	非饱和流动	147
§ 6—1	毛管压力和持水曲线	147
§ 6—2	运动方程	159
§ 6—3	相对渗透率	161
§ 6—4	连续性方程	164
§ 6—5	非饱和流的数学描述	168
§ 6—6	求解的方法	169
第七章	地下水的水质(水动力弥散)问题	173
§ 7—1	弥散现象	174
§ 7—2	弥散现象的存在形式	177
§ 7—3	弥散系数	177
§ 7—4	水动力弥散方程	183
§ 7—5	初始条件与边界条件	190
§ 7—6	地下水污染问题的数学描述	192
§ 7—7	含水层的弥散方程和参数	193
§ 7—8	求解的方法	199
§ 7—9	几个简单的解析解	203
§ 7—10	注入水体在含水层中的运动	213
第八章	抽水井与回灌井水力学	231
§ 8—1	引言	231
§ 8—2	承压含水层中单井的稳定流动	234
§ 8—3	潜水含水层中单井的稳定流动	236
§ 8—4	越流承压含水层中单井的稳定流动	239
§ 8—5	承压含水层中单井的不稳定流动	243
§ 8—6	潜水含水层中单井的不稳定流动	253
§ 8—7	越流承压含水层中单井的不稳定流动	258
§ 8—8	不完整井	262
§ 8—9	多井系统	267
§ 8—10	用映象法处理边界附近的井	272
§ 8—11	均匀地下水流中的注水井与抽水井	281
§ 8—12	井损及井的单位涌水量	285

§ 8—13 回灌井水力学	287
第九章 滨海含水层中的淡水—盐水界面	290
§ 9—1 现象	290
§ 9—2 问题的严格数学描述	292
§ 9—3 吉本 (Ghyben) —赫兹伯格 (Herzberg) 近似解	293
§ 9—4 裘布依假设为基础的连续性方程	294
§ 9—5 稳定界面	300
§ 9—6 移动界面的近似解	310
§ 9—7 井在界面上部抽水所引起的升锥	316
§ 9—8 过渡带	331
第十章 含水层系统的模拟	333
§ 10—1 建立含水层模型的要求	333
§ 10—2 校正模型	335
§ 10—3 含水层模型分类	336
§ 10—4 单个单元模型	338
§ 10—5 多个单元模型	341
§ 10—6 水质模型的两个示例	347
第十一章 含水层参数的识别	354
§ 11—1 逆问题的描述	354
§ 11—2 抽水试验	355
§ 11—3 确定区域含水层参数的逆方法	369
第十二章 线性规划在含水层管理中的应用	376
§ 12—1 线性规划简述	376
§ 12—2 线性规划用于含水层的管理	379
§ 12—3 例题	383
附录A 基本动移方程平均化的推导	392
附录B 沿垂向平均	398
习题	400
参考文献	417
专业词汇	431
英汉对照部分	431
汉英对照部分	446

第一章 绪 论

本书中论述的只是同地下水的水量与水质有关的问题。显然，把一个地区的水资源划分为地表水与地下水，通常是人为的。从管理的观点来看，这样的划分是有问题的，而且也不合理。例如，泉水应该算做哪一类？它是地下水在地表的露头，同时又成为地表径流，然而若不采取合理的地下水管理政策，泉附近含水层中的水位就可能下降到出口以下，以至于泉水将发生枯竭。以前由泉的形式出露的水，现在只能储存在含水层之中。当一个含水层和河或湖有着水力联系时，情况也是相同。我们可以通过控制含水层中的水位来影响河流的水流，反过来也是这样。先不要管这些解说，因为我们的主要目的是讨论地下水水力学，所以应该把注意力只集中在地下水方面。

研究地下水系统或水资源系统（地下水是其中的一部分）的地下水水文学家、水资源工程师或规划师（规划组），他们的主要目标是地下水系统的管理。简而言之，或用不严格的系统分析的术语来讲，一个系统的管理意味着为改变一个所考虑的系统状态作出各种决策（即对决策变量给出数值）。例如，抽水或人工补给含水层的位置、流量与时间就是决策变量；作为位置与时间的函数的水位、地面沉降的深度和溶解物质的浓度就是状态变量。我们改变一个所考虑系统的状态，即从现今的状态改变成为更加符合要求的另一种状态，为的是去达到一定的目标和目的。我们也希望通过最优的决策（政策）去做到这点。这意味着存在一些准则，可用来比较系统的输出（如成本、抽水）和选择最优政策。我们可以把这样的活动看作为解决管理问题。

但是，为了解决管理问题，我们必须能够预测系统对于任何所提出的运营决策的反应，并且如果给出其初始状态的话，能够由此得出这个系统的新状态。一旦知道了新的状态，我们就有可能检查它是否在不违反加在这个系统上的任何约束条件下都是可行的。然后，我们可以根据一些准则来比较输出或响应，以选择最优的政策。对于地下水系统，现在我们必须能够预测水位、含盐量、泉流量、地面沉降等，这些就是由一些所采用的运营决策（如抽水与人工补给）所导致的系统的状态变量。我们可以把预测地下水系统的状态的问题称为预报问题。为了通过比较相应决策的响应来选择最好的解决方法，如不首先解决可能采用政策的地下水的预报问题，就不可能解决地下水的管理问题。在较为先进的管理方法之中，都是同时要解决预报与管理两个问题。

在绪论这一章里，我们应该明确地下水在水资源系统中所起的作用，并且讨论该系统全部或部分为地下水时，这个系统管理中所涉及的问题。讨论将是肤浅的，因为讨论的全部目的不过是为后面的各章提供台阶而已。

最后部分阐明了本书的目的和范围，并描述了达到这种目的方法。

在此，我们假定读者是熟悉普通水文学的，不论是地表水的还是地下水的水文学，至少具有初步的知识；而且还假定读者是了解水文循环和地下水在其中的位置。

§ 1—1 地下水在水资源系统中的作用及其管理

为了讨论地下水在区域水资源管理中可能起到的作用，让我们假定有一个区域，其中有较大量的存在地表水与地下水。

地表水与地下水的比较

实际上，河与湖中的地表水和含水层中的地下水，不是非分为独立的与互不相干的两种水资源不可的。例如，考察一条河流或一个湖泊同一个相邻含水层之间的关系，或考察一条经过下伏有潜水含水层地区的河流。如果河床或湖底不是完全隔水的，那么当河水高于含水层水位时，水就由河流通过河床流入含水层，反过来也是如此。由此可见，河与湖若和邻近的或下伏的含水层有着直接的水力联系时，它们就可作为含水层的边界。通过控制河与湖中的水位，我们就有可能控制流入含水层中或由含水层流出的水流。

泉的出流是地下水在地表一定条件下的露头并成为地表径流的又一个例子。通过控制泉附近的地下水位，可以调节泉的流量，甚至可让泉水断流。

上述的考虑不仅适用于水量方面，而且也适用于水质方面，例如水所携带的某些化学物质或细菌决定着水质。被污染的地表水容易流入并污染地下水。

因此，很明显的是区域水资源管理应同时包括两种资源，它们都应按各自的特征组成总的系统。不管采取什么途径，对一种资源的任何控制最终都将影响另一种资源，即使不是立刻就发生。由于地下水及其所携带的污染物的存储和（或）较为缓慢的运动，可能出现时间上的滞后。然而，人们应该注意到勾划地下水盆地的地下分水岭和地表水盆地的地表分水岭在地区上并不一定是一致的，而且还应注意到由于所研究区域的地区边界不同，管理有时还包括由一个盆地向综合利用范围内的另一个盆地的输水。

若在一个地区内开发和管理地下水时，采用任何方案都应使地下水和地表水一起得到综合的利用，这一点似乎是清楚的，但是，人们还发现世界上的很多地方一定程度上仍然不愿把地下水包括在水资源的开发和管理之中。

这样的状态，或许是因为地下水不同于河湖水，人们实际上无法看见含水层中的地下水。但是，要想合理地解释这种现状，常常是列出下列的理由（Wiener, 1972年）：

（a）地下水的开发要消耗能量，尤其是地下水的水面或测压水面埋深很大时，费用更为昂贵。

（b）规划地下水资源的开发，需要长期观测的资料，而这通常是不可能获得。

（c）评价和规划地下水资源，要求具有经过很好的训练的人才，这也是困难的。

（d）预测一个含水层对于所采取的作用量的响应（在水量与水质两个方面）是困难的。

（e）地下水利用的方案通常是单一用途的，即只是为了供水，而大多数地表水则是多用途的。

显然，为了检验这些争论和比较地表水与地下水，人们必须要了解当地的条件。然而，一般看来，这些争论似乎是因为缺少知识引起的，至少部分是如此。例如：

(a) 当抽水的降深大时, 能量的消耗的确也多 (然而能量可由地表水产生)。但是, 如果人们在年度费用中把水工结构物如水坝导流工程、运河与管道等所需的较高的投资也包括在其中的话, 那么总的经济实况就可能清楚地表明地下水的效益。

(b) 因为地下水具有大量的储存与缓慢的运动的特点, 任何情况下其水位都反应出长期累积的效应; 和地表水比较起来, 地下水的变化小而缓慢。因此, 一般情况下, 较短期的地下水资料就能为规划提供充分的依据。然而, 对地表水来讲, 因为动态变化较为频繁而迅速, 想得到较为完整的资料所需的时间就长得多。

(c) 具有一定的知识, 的确是需要的, 这种知识并不是一般的工程师训练所能得到。但是, 最近二、三十年来, 这种科学得到了很大发展。现在, 一般的水文学家和土木、农业工程师的训练之中或在有关教育的专业课程之中, 都大量包括有关这方面的知识。很多必需的理论也都包括在目前为普及地下水知识而努力的教科书中。因此, 缺乏熟练人才的问题, 即使是在那些过去曾忽视这一问题的地区, 也是容易解决的。

(d) 利用现代化的水文学手段, 模拟地下水系统的动态和预报其水量与水质两个方面的响应并不是困难的。一般情况下, 预报是可靠的。当系统复杂的时候, 常常使用数字计算机来解决。

(e) 人们肯定不能象在大型水库中利用的那样, 多用途利用地下水。尽管如此, 或许对一定范围来说, 地下水的规划也可以是多用途的。例如, 除了为供水之外, 也可以为实现土地的疏干与土壤改良服务。我们在上面已叙述过, 通过控制邻近含水层中的地下水位来调整河流的基流量。利用含水层的净化作用与混合作用的特性, 可把人工补给用于回收污水的处理, 以增大可开采的地下水量。

地下水的特征

我们介绍这些争论的主要目的, 不是说明地下水的利用总是比地表水优越和有利, 而是要再次强调, 无论怎样也存在着两种水资源, 根据各自的特征, 应综合地加以利用。地下水的主要特征如下 (Wiener, 1972年)。

分布 泉呈点状出露。地表水是沿着确定的弯曲河道流动。通常只能在其一定的位置上修筑调节设施才可得到利用。但是, 地下水是埋藏物广阔范围内 (如果它们是到处都存在的话)。如果地下水的埋藏区域与地下水的开发区域一致, 那么不需要一个地表的分配系统, 因为含水层可起到一个管道的作用, 每个消费者可由含水层直接抽取自己所需的水。这样的特点, 对于逐步开发的地区来说, 是特别有意义的。如果需要增大抽水量时, 可以开挖更多的水井, 而控制地表水的结构物如水坝、导流工程, 常常是不能分阶段修筑起来的。

水流与可利用性 地表水流具有明显的水位涨落。最小的流量可少至为零, 而且这种现象常常出现在最需水的季节。另一方面, 地下水位随气候的波动, 比起一个含水层的厚度来说, 一般要小, 因此储存于含水层中的大量的地下水就可以起缓冲的作用, 而且在干旱的时期也可不断供水。此外, 调节地表水流需要建造花费相当高昂的水工结构物, 而地下水的调节却可和管理方案的执行过程合并在一起, 即可通过在时间与空间上合理分布的抽水与人工补给来实现。

因此, 地下水的调节, 一般是费用低廉的。河流的基流和泉水流 (包括河流的枯

竭，这是意味着地表水流入到地下水流中去)，可以通过控制其邻近地区的地下水位来调节。

年度与季节的变化 在年度与季节性的变化方面，地表水流比地下水流要显著得多。在地表水流中，这意味着在丰水期因泄流而失去大量的水，或者意味着需要建造昂贵的调节水的结构物（如水坝）；在地下水流中，含水层本身提供贮存场所；因出流截面附近的水位很高，所产生的泄流量是比较少的，而且抽水期间可通过控制水位容易发生这样的泄流。

能量 为了把地下水提升到地表上来，不可避免地要消耗一些能量。一般说来，水井方面的投资是低廉的，但是运行费用（如电、燃料费）却是相当高昂的。

水质 很多地区地下水中没有出现大量的生物或物理的水质问题。但地表水流对于人类活动引起的污染是极其敏感的，常常为了改善其水质而要求处理的代价很高。当然，这不是说地下水就不受污染物质的影响。例如，不完善的污水管道或油的渗漏可能引起地下水的严重污染。在一些岩层中，若不采取措施，污染物质可传播到远处。至于矿物质的污染问题，虽然所见到的水中其浓度的变化范围很大，但一般说来人们可以看到地下水比较容易受到溶液中矿物质的污染。要消除这类矿物质，其费用通常是很大的。

一旦地下水发生污染（如水从地表堆积物下渗淋溶时，把溶质带入含水层或者劣质地下水入侵含水层），要想通过洁净水的混合作用与溶滤作用来消除污染物和改善水质，需要非常缓慢的过程，有时实际上是不可能的（即实际上是不可逆的过程）。这是因为地下水的运动速度非常慢，特别是在渗透性较大的岩层之中含有极细颗粒的层状结构中；而且也因为在固体骨架表面上发生离子交换与吸附作用。这类作用在细粒土层中特别显著，例如在含水层中存在着粘土颗粒时。被吸附的物质将长期不断地反馈到地下水流中。

另一方面，上述的吸附与离子交换作用，对清除水中污染物质来说，是一个有利的因素。由于这种作用，含水层可起过滤器与净化器的作用。

一般情况下，由于水从地表带来溶质，地下水总是有盐化的趋势。在自然条件下，因为从含水层流出的水流也把这些溶质携出，从而会达到一种平衡状态。

然而，当某一个管理方案需要减少流出量（如抽水量）和（或）引入较多的溶质时（如含水层受到劣质水的人工补给或地表有较多的可溶性污染物质的来源），原有的平衡就要遭到破坏，这样就会看到地下水中溶质的浓度不可避免地要增大，有时竟超过容许的界限。

排水问题的效果 通过抽水降低潜水面，可以解决高水位地区的排水问题。在这种情况下，利用地表水时，需要有一个排水系统，使地下水位保持在所要求的深度。

在沼泽地区或地下水水面接近地表的情况下，降低地下水水面也会减少蒸发—蒸腾作用的损失，使更多的地下水得到有益的利用。

当进行人工补给（参阅 § 3—4）时，人们必须要确保潜水含水层水面的抬高，将不致于引起排水问题。

地面沉降 从一个承压含水层中抽水之后，即使是地面上的荷载不改变，固体骨架的粒间应力也会增大。当含水层中存在着较松软的土层（如粘土或粉砂）时，它们就会被压缩，我们可以观测到地面沉降的现象。在一些地区，这种沉降是非常显著的，往往使抽水工作受到限制，甚至被迫停止。

数据 含水层中水及其所携带的溶质或污染物的运动与聚集方面的资料，主要是来自观测井中对水位与溶质浓度的观测。泉的流量与基流的观测，也是一种数据的来源。如上所强调的那样，即使是利用较少的资料，也有可能得出关于开发可行性方面的初步结论；若资料较多时，还可能对开发过程进行预测。要想建立关于含水层动态（因此也是含水层管理）方面的较为精确模型时，则要求分布在时间与空间上的更多的数据。

分阶段与逐步开发 随着实际耗水区内的每口井汲取地下水的年抽水量的增加，人们自然会按需要量的增加或根据开发计划采用分阶段开发地下水。每递增的开发抽水量所需要的投资是较少的。每项设备都按实际需要时才添加的。在这种情况下，不会出现象在地表水流调节结构物中显得那样重要的比例经济问题。在一个大型水库中，水坝建成之后的很长时间内，是不能按耗水量增长的速度得以充分利用的。

法律与制度状况 由于大规模开发地下水是新近的事，在很多情况下，只有初步的专用法律和制度，或者还没有建立起来。即使是在那些已经建立了很好的地表水管理法律和制度的地方也是这样。因为地表水与地下水之间存在着内在的联系，而且也因为无论在哪里都要求按当地的条件综合利用，所以应当把两种水合并到一个统一的法律和管理体制之中。

在建立开发地下水的法律和管理体制时，重要的是应考虑到地下水的一些基本特征。从水均衡的观点来看，整个含水层可以看作是一个盆地。从长远的观点来看，所有消费者不能同时抽取比水均衡所规定的可利用的水量还要多的水，水均衡是考虑了所有的天然的与人工的输入量和输出量的。某些时候，流出量大于流入量时，超支量是通过减少含水层中的储存来供给的。抽水时，每口井在其附近也产生水位的下降，并影响邻近井的抽水。含水层也是一个盆地，具有由抽水与补给形式所决定的一定的内部流动的模式。进入含水层中的污染物将按其水流模式发生扩散，并可达到离原来的入侵地点很远的地方。这样，很多地处污染源下游的水井就可能受到影响。

最后还要指出，地下水的水量与水质问题是不能分开考虑的，因为它们彼此是相关的。例如，海水的入侵是和含水层中淡水向海流动的速度相关的，污染物的运移是和水流模式有关等。

由上所得的结论是，一个含水层应该集中起来管理，并且要有一个合理的法律和制度来保证。不能放任各个土地所有者按各自的需要去抽水或允许他们在各自的土地上堆放污染物。

含水层的功能

由上可见，含水层除了可作为水源之外，还要为达到各种目的而作为管理与运营的一个单元系统。让我们简单地叙述一下含水层的一些功能。

水源 含水层的这种功能是比较明显的。当含水层中的水是经历了漫长时期，并在各种不同的气候条件下储存起来了的话，这种水应该看作是一种不可再生的资源。然而，一般说来，一个含水层（如果不是承压的话）从其所在地区地面上的大气降水每年都会得到新的补充，承压含水层则仅从其补给区才能获得大气降水的补充。因此，地下水一般是一种可再生的资源。很明显，由于暴雨的分布、地形与植被、土壤的渗透性等不同，只有大气降水的一部分才经地表渗入并补充下伏的潜水含水层。含水层也可以由具有透水河床的河流与洪水中得到补充。在很多干旱的地区，分布于低地的含水层，在几年之中偶尔也有一度

从山洪暴发中获得短期的补给。

在天然条件下，因流入量等于流出量而保持着准平衡状态。如果通过抽水截取了部分补给量，那么就减少含水层中的流出量，由此建立一个新的准平衡状态。因此，含水层可做为一种水源。

储水库 每个水资源系统都要求有一个储水场所，尤其是水的扩充为断续的，并易受随机变化的时候。潜水含水层中，空隙是可利用的大容积的储水场所。根据粗略的推算。一个含水层若其大小为 10×10 公里，储水系数为 15% 时，其水位上升 1 米，就可储存的水为 15×10^6 立方米。因此，我们有可能利用人工补给的技术，把大量的水储存在潜水含水层中。这样一来，含水层水位就被抬升并造成由补给区向外流动的梯度，这会导致被储存的水的散失和（或）经过边界的流失。因此，若不加以利用的话，它们就会逐渐消失。尽管如此，但因地下水流的运动是缓慢的，若采取合理的管理措施，这种损失是可以减少到最低的程度。一种可采取的管理措施是，当天然补给量过大时，首先通过抽水来降低地下水位，把抽取的水体储存于含水层中（初始水位和最终水位之间）作为一段时间储备，然后把抽水空出来的地带再用于储存。这样一来，不把地下水水位抬升到过高的高程也可储存。有时，我们甚至通过在地下水面上造成一个降落漏斗，再把它用水充填起来，从而达到储存的目的。在另一方面要把储存的损失减少到最低程度。可以设想，地表储存中也会因蒸发与渗漏而产生损失。

一个含水层可用于长期的储存，如从丰水年份储存到干旱年份；也可用于季节性储存，如从雨季储存到旱季；甚至还可用于更短期的储存。储存形式的选择、地表储存与地下储存的正确的联合等，则应根据当地的条件与经济因素而定。

如管道般的含水层 利用人工补给的技术，可以在一个地点把水注入到含水层中，也可以在另一个地点或几个地点通过抽水来汲取含水层中的地下水。被注入的水将在含水层中由高水位的补给区向较低水位的抽水区流动，流动的速度随含水层的导水性而变化。对于分散在较大范围内的各个消费者来说，因此可以避免设置大型的分配系统。很明显，无论是水位抬升还是下降都有一个限度，含水层象管道一样，其利用的程度也要受到限制的。

如过滤器般的含水层 利用人工补给的技术，把劣质水注入到含水层之后，含水层可以被看作是过滤器与净化器。过滤的方式有如下几种：

1. 把含有悬浮物质的地表水通过渗水池下渗补给到含水层时，地表水到达地下水面时，可以清除水中的悬浮物质。
2. 通过化学反应和发生在孔隙骨架的固体颗粒表面上的吸附作用与离子交换作用（尤其是存在粘粒时），除去各种化学物质。特别有意义的是，不但减少了有机质含量，而且去掉了味道、细菌与病毒，尤其是水流经过了相当长的距离与时间的情况下，这些利用更为显著。不过有时由于溶解作用，水中矿物质的含量将会增大。
3. 含水层中，注入水与原有水同时流动时，由于水动力扩散作用与水流模式的几何特征，这两种水会产生混合作用。
4. 在一条河流附近抽水，会导致河水补给含水层。当水流经过含水层由河流向井流动时，也会发生河水的过滤与净化作用。

每一种情况下，如果认为杂质是在水进入渗水池池底或注水井附近的土壤物质的阶段已有效地被清除了的话，那么提高净化水质的能力，乃是取决于含水层物质的化学与物理

性质，还取决于水中所含的矿物杂质与有机杂质的类型。

基流的控制 泉与河流由含水层地下水补给时，通过控制含水层中的水位就能够达到控制基流的大小。

作为矿水的含水层 我们在上面已经指出，开采一段时间储备在含水层中的初始潜水面与规划中的最高潜水面之间的时间储备的可能性。在滨海含水层中，淡水与咸水的界面向计划的位置推进时，情况也是这样（根据水动力弥散作用而利用开采有效的某一系数）。

一个含水层的开采量，一般是其补给量（可再生的资源）的长期平均值。但是，在一些情况下（尽管少有），我们可以计划把一个含水层中的地下水全部开采出来（象任何一个不可再生的其它类型的资源一样），如果一旦把它们开采之后不发生什么令人担心的问题。在这种情况下，通常只根据经济上的考虑来进行开采。

我们概述了地下水在区域水资源管理中所起的作用。同时，也提出了把含水层看作为满足人们的需要而能运行各种功能的一个系统，并对各个功能进行了讨论。

§ 1—2 地下水资源的管理

地下水资源系统的管理，无论是单独的，还是和地表水联合的，都是通过作出有关该系统开发和（或）运营的一组决策（或政策）来达到确定的目的。有关地下水管理的一些情况，在第12章中将作讨论，在此不重复。只是做为下列各章中要介绍的含水层中水的物理过程讨论的背景，而加以简短而初步的叙述。

目标与约束

目标是在一个体系的不同范围上作出规定的，如国家的、区域的（如省的）、社会的与各个消费者的范围上作出决定。例如，我们可以提出改善居住的标准，提高国民总产值，改善生活水平，收入的再分配，增加纯利润，保护国家资源，保护与提高环境质量等。通常考虑的目标都不是单一的，我们讨论的就是多目标的设计。某些目标是可以定量的，而另一些则难以确定。

在此我们考虑的只是指那些通过地下水系统的开发与运营有可能得到直接的或间接的（至少是部分）收益的目标。

在典型的情况下，通过不同的政策可以达到同一个或同一组目标。因此，管理问题包括选择出一个最优政策，它能实现一个特定的目标或同时实现一组目标。这就要求有用来选择最优政策的准则，或要求有一些相对有效的办法，依此可用各种备选使用的政策去达到特定的目标。测量各种备选政策的有效性的决策变量的数量函数叫做目标函数。并不是所有的政策都是可行的，某些违反特定的约束条件，如社会的、经济的或技术的条件，是不应考虑了。我们将在12章中比较详细地讨论这些概念。

更加具体地讲，一个特定含水层的管理，通常意味着要确定出下列决策变量的全部或部分数值：

1. 抽水量在区域与时间上的分布。
2. 人工补给量在区域与时间上的分布。
3. 与含水层相连通的河流和湖泊中的水位。