

平原地下水 资源评价

金光炎

水利出版社

平原地下水资源评价

金光炎

水利出版社

内 容 提 要

本书介绍平原地区的地下水资源评价方法。书中以水量均衡的原理为基础,结合水文和水文地质学的方法,详细叙述了地下水资源评价的意义和途径,地下水各均衡要素的计算方法和运用条件,以及水文地质参数的确定和地下水均衡的计算方法,并附有例题。

本书可供中技或高中文化水平的水利和水文地质工作者阅读,亦可供有关院校师生参考。

平原地下水资源评价

金 光 炎

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 2 $\frac{1}{2}$ 印张 56千字

1982年7月第二版, 1982年7月北京第一次印刷

印数 0001—7110册 定价 0.30元

书号 15047·4198

序 言

地下水资源，遍布各地，蕴藏丰富。特别是浅层地下水，补给容易，取用方便，实为一宗天然的宝贵财富。

地下水资源，各地分布不一。为了极大可能地满足工农业生产发展的需要，必须对它进行系统的评价，做到合理地开发利用和有效地调节补充，使地下水更好地为人类服务。

地下水资源，可用不同方法来进行评价。这里，我们采用水均衡法。由于其原理简单，概念清楚，计算容易，便于广大地下水工作者应用。

本书的内容，着重于平原地区浅层地下水的评价方法。大家知道，要开展地下水资源评价工作，首先要搜集各种有关的资料，即水文、水文地质和地下水长期观测等方面的资料。资料的质量，对评价结果影响很大。因此，慎重检查所搜集到的资料，是评价前一项必不可少的工作。

地下水资源评价工作是长期性的，它随着资料的积累和实际情况的发展，要经常进行修订和不断加以提高。对于资料不足或缺乏的地区，应尽速进行勘探和试验。同时，还应立即建立或扩大地下水长期观测站网和必要的试验站点，充分发动群众进行观测研究。在搜集资料时，不但要搜集当地的资料，也要搜集相邻地区资料。外地已有的资料、经验、成果和研究方法，也应取来作为参考。

应当注意，这些资料都具有一定的误差(如观测误差等)，所采用的方法也有某种程度的近似性。因此，在分析计算

时，可在规定的精度范围内，采用简化的方法，力求避免冗长而烦琐的计算。

深深感到，作为一个地下水工作者，具备一些地下水资源评价方面的知识，是不无裨益的。因为，有关于地下水的规划设计、开发利用、观测研究和管理调度等，都同它有密切的关系。所以，介绍这方面的知识，颇有必要。这是编写本书的目的。

本书承蒙张蔚榛、曹万金和伍军同志详细审阅，提出了许多宝贵意见，作者都一一考虑了。在此，表示深切的谢意。

限于作者的水平，书中可能存在缺点和错误，请予批评指正。

金 光 炎

1981年6月于蚌埠

目 录

序 言

第一章 概论	1
§ 1-1 地下水资源的特点	1
§ 1-2 地下水资源评价的意义	2
§ 1-3 地下水资源评价的途径	4
§ 1-4 评价时应注意的问题	9
第二章 地下水均衡因素分析	13
§ 2-1 影响地下水的因素	13
§ 2-2 地下水的运动规律	15
§ 2-3 地下水的补给和消耗	16
第三章 地下水补给项的计算	19
§ 3-1 降雨入渗补给	19
§ 3-2 河渠补给	26
§ 3-3 区外侧向补给	30
§ 3-4 越层补给	31
§ 3-5 人工回灌	33
§ 3-6 灌溉回归水	33
第四章 地下水消耗项的计算	38
§ 4-1 农业灌溉用水	38
§ 4-2 潜水蒸发	41
§ 4-3 其它消耗项	47
第五章 水文地质参数的确定	49
§ 5-1 给水度的确定方法	49

§ 5-2	用稳定流方法确定参数	60
§ 5-3	用非稳定流方法确定参数	63
§ 5-4	渗透系数的经验公式	66
第六章	地下水均衡计算方法	68
§ 6-1	总述	68
§ 6-2	按降雨量选典型年法	69
§ 6-3	按灌溉需水量选典型年法	71
§ 6-4	多年调节法	71
附录一	井函数 $W(u)$ 值表	75
附录二	$W(u_e, \frac{r}{B})$ 值表	76
附录三	$W(u_d, \frac{r}{B})$ 值表	77
参考文献		78

第一章 概 论

§ 1-1 地下水资源的特点

地下水是蕴藏在地下的一种重要自然资源。地下水与别的矿藏资源（如石油、天然气、煤矿和铁矿等）具有显著不同的特点，就是地下水在开采取用之后，能够得到补给。例如，浅层地下水可以经常从大气降水和地面水经渗入得到补给；深层地下水和自流水还可以从遥远的山区源源给予新的补充。因此，单就补给一项来说，地下水就比其它矿藏资源有更丰富的内容，它与周围环境的联系更为密切。

地下水不断地开采和消耗，继而又经常地补给和恢复。这种循环不止的规律，当为人们掌握和认识之后，就可以充分发挥地下水的作用。如果地下水的开发利用适宜，一年以内可以补给，自相调剂；或者在一定允许年度（两年、三年或多年）内，能够以丰补歉，做到相对的平衡（或基本平衡）。这样，地下水可以为工农业生产和国民经济建设源源不断地提供水量。

地下水在地下的储存，由于开采和消耗，形成地下水位（或压力水头）下降，而由于补给和恢复，又造成地下水位（或压力水头）上升。这种盈亏相间式的天然或人为调节，实际上相当于地下水库的概念。地下水库比地面水库更广阔，要清楚地认识地下水库的各类特性（如有关的水文地质条件，储存特性和边界情况等），要比地面水库进行更多更长

期的工作。但是，地下水库工程的兴建，在某种意义上来说，却比地面水库来得简单。当我们认识到地下水库的基本特点后，用不着象地面水库那样要在人力、物力和财力上如此集中地进行施工。因为地下水库是天然形成的，一般仅是建造成批的取水建筑物（井泉）而已。井泉建设，可以就地取材，因地制宜，既可国家兴建，也可社队自办，而还能分期分批地进行。当然，这是一项为数众多而规模巨大的工程，说它简单而并不简单。

另一方面，地下水库的水帐计算也同样有如地面水库那相的特性。地下水的补给和损耗，就是地下水资源评价中的一笔收支帐，进行规划时，我们必须做到地下水量收入和支出的平衡，此即进行地下水水均衡的目的。

地下水是一项宝贵的自然资源，使用得当，能够为社会主义祖国创造很多的财富。因此，我们必须更好地来认识它，并充分研究它的规律。

§ 1-2 地下水资源评价的意义

地下水资源评价，具体来说，就是摸清地下水的开采和补给条件，分析地下水的水帐（特别是同地下水开发利用有关的水均衡帐）。评价时，重点为地下水量。当然，水量的变化，直接影响到地下水位升降，也影响到水质和水温的变化。这些都应当在地下水资源全面评价中加以考虑。

在地下水的开发利用中，如果地下水取用过多，而补给贫乏，或长时期得不到补充，就会使地下水位持续下降，漏斗不断扩大，严重地形成地下水枯竭，甚至造成地面沉陷等恶果。这是违反了地下水的客观规律，因而受到客观规律的

惩罚。反之，若地下水可用而不取，或取用过少，地下水资源就得不到充分的利用，使本来可以开采的地下水，通过不同途径损耗掉（如潜水蒸发和流经下游注入河道而流走），这是浪费了地下水资源，乃是十分可惜的事。因此，评价中必须做到地下水的均衡。

顺便说一下，地下水的均衡工作，可以同地下水的开发利用规划和具体实施结合起来考虑。比如说，按一般的漫灌，地下水需取用的量相当大，而地下水的储存和补给量不能满足需要，这可在实际工作中采取各种省水的灌溉制度和办法。例如，改漫灌为畦灌，或者因地制宜地采用喷灌、滴灌和渗灌。另外，也可以改种一些需水量较少的农作物，等等。如果有些地区的地下水相当丰富，本地区实在用不完，也可以调配给旁的缺水地区。所以，在地下水资源评价中，必须具备整体的思想，考虑到人的主观能动性，才能把这方面的工作做好。

地下水资源评价，对水利部门来说，首先有关的是水利规划，特别是其中以农业灌溉为主的井灌规划。

农业灌溉面广而量大，需要开采的地下水量远比其它部门大得多。我国北方干旱和半干旱区，主要靠井灌，有了地下水，才能稳产高产，农业持续保丰收。尤其是地下水贫乏的地方，真有水贵如油之感。因此，地下水资源评价工作，一定要认真做好。

实际井灌规划中，常常需要知道在计划开采期间内的地下水变化情况，也就是说要知道下列两个问题：第一，计划开采能力下的地下水位降落情况；第二，控制到一定的地下水位深度，能开采到多少地下水量。这些都是地下水资源评价工作的内容。

在其它的水利规划中，也要进行地下水资源评价。例如，在南水北调规划中，可以考虑在地下水丰富的地区充分利用地下水，而把水调到最需要的地方去，这就需要由地下水资源评价来提供资料。又如在除涝计划时，可以考虑井灌与井排相结合，以便干旱时能灌溉，涝渍时能井排（或以别的方式排出地下水），来降低地下水位。同时也可考虑在大雨之前，预先腾出一部分地下库容，以增加入渗水量。这样可以在一定程度上调节地面水和地下水，减轻或免除涝渍灾害，而且也有利于防洪和治碱。这些都是同地下水的调度有关，需要在地下水资源评价中作出统一考虑。

另外，如城市中的工业用水与民用水，山区的人畜用水等，也常以地下水作为供水水源，同样要对地下水资源进行评价。

地下水资源评价工作是为工农业生产和各国民经济部门服务的，这个工作做得好不好，直接影响到工农业和国民经济能否大干快上，其意义是显而易见的。

§ 1-3 地下水资源评价的途径

进行地下水资源评价，主要有下列几种途径：四大储量法，地下水动力学法，水均衡法和数理统计法等。现简要叙述如下。

一、四大储量法

我国以往在较长的时期内，曾沿用此法来评价地下水资源，在历史上起过一定的作用。四种储量为：

1. 静储量。在天然条件下，最低地下水位以深的含水层中所蓄存的水量（指能由重力或弹性释放排出的水量），

称为静储量。其计算公式为：

$$W_1 = \mu HF \quad (1-1)$$

式中： W_1 为静储量， μ 为含水层的给水度（其意义见 § 5-1）， H 为最低地下水位以深的含水层厚度， F 为计算区面积。

静储量可以分层进行计算。例如把最低地下水位以深，按不同的岩石（土壤）性质，分成若干层次来进行计算。

有些地区，含水层较厚，静储量很大。在干旱季节，可以动用的静储量，取决于开采能力（水泵的吸程和开采井的数量）。所以，农业灌溉所能提取的水量，常常只有总静储量的百分之几。

2. 动储量。一般，天然条件下的地下径流量（亦即地下水在一定时间内通过某一断面的总水量），称为动储量。其计算公式为：

$$W_2 = KIA \quad (1-2)$$

式中： W_2 为动储量， K 为渗透系数（其意义见 § 2-2）， I 为水力坡度， A 为地下水位以深垂直于水流的含水层横断面面积。

对于水力坡度较缓的地区（如平原地区），地下径流微弱，从农灌角度来看，动储量和其它储量相比是微不足道的。

3. 调节储量。天然条件下，地下水最高水位与最低水位之间含水层中所蓄存的水量（指能由重力或弹性释放排出的水量），称为调节储量。其计算公式为：

$$W_3 = \mu h F \quad (1-3)$$

式中： W_3 为调节储量， h 为地下水变幅（最高最低水位之差），其余符号意义同前。

地下水受工农业的补给和消耗（如潜水的主要补给为降雨

入渗补给和消耗为潜水蒸发)的影响,地下水位有季节性和多年的变化。因此,地下水调节储量可分为不同时间段的调节储量,如年调节储量等。

4. 开采储量。在一定的技术经济条件下,通过各种取水设施(如井),能从含水层中提取的水量,称为开采储量。其计算公式为:

$$W_4 = nqs \quad (1-4)$$

式中: W_4 为开采储量, n 为计算区内开采的井数, q 为井的单位涌水量(即每降深 1 米的出水量), s 为设计的抽水降深值。

四大储量法,因计算过于简单,有些项目未能考虑。例如,动储量中只计及侧向水流,而未考虑垂直向的越层补给。又如在调节储量内,不能详细分析降雨和蒸发对地下水位变幅的影响。尤其是静储量的概念,如未加具体说明,常常使人误解成可以开采的储量。因此,近些年来此种方法已很少采用了。

二、地下水动力学法

地下水动力学是应用数学物理方程来研究地下水运动规律的学科。目前已发展了许多有用的理论、公式和方法。早期,在地下水动力学中,均沿用以裘布依(J. Dupuit)公式为代表的稳定流理论。这套理论尽管在一定范围内有应用价值,但有其局限性。到了本世纪三十年代之后,发展了非稳定流的理论,在一定程度上克服了稳定流理论所具有的局限性,使地下水动力学大大地推进了一步,从而逐渐得到了应用^[2]。但是,非稳定流理论在目前阶段也不是很完善的,有待于在实践中加以总结提高。同时在应用这两种理论时,都必须符合一定的前提条件,实际上不一定能全部符合这些

条件，故只能视具体情况而取用其结果。

二维的地下水流连续方程（水量均衡方程）为：

$$a\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right) + \frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1-5)$$

式中： h 为地下水位在一定基面上的高程， x 和 y 为直角坐标系中的坐标值（如可取顺水力坡度方向为 x ，与其垂直的方向为 y ）， ε 为垂直补给强度（取正值）或消耗强度（取负值）， μ 为给水度， t 为时间。又 a 为压力传导系数，即

$$a = \frac{K\bar{h}}{\mu} \quad (1-6)$$

其中： K 为渗透系数， $\bar{h}$ 为时间 t 内的平均地下水位高程。

求解方程式（1-5），可得到不同时间 t 时和不同位置（ x ， y ）处的地下水位值 h ，有了地下水位的变化过程，可以对水量作出评价。

对于式（1-5），在一定的初始条件和边界条件下，可以求解。常用的求解法为有限元法和有限差分法。另外，还可利用地下水力学与电学中的数学物理方程相似，用电模拟法来进行解算。

在式（1-5）中，右端的一阶偏导数表示水位随时间的变化速率，左端的二阶偏导数分别表示 x 和 y 方向水力坡度随距离的变化梯度。现在我们来剖析二阶偏导数中的其中一项，如取 x 方向的情况。我们知道，此时的一阶偏导数 $\frac{\partial h}{\partial x}$ 表示水力坡度，因此二阶偏导数为水力坡度的梯度。平原地区，地下水的水力坡度较缓，故 $\frac{\partial h}{\partial x}$ 较小，且其变化不大，常常出现水力坡度的梯度近于零。因此，在水力坡度比较平缓的地区， $\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}$ 和 $\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}$ 的值接近于零，加上节点观测井中水

位观测的误差，常使式（1-5）求解困难。再则，使用这种方法，必须设置较密的节点观测井，观测的工作量大，不易管理，加之观测精度要求较高，在大面积上使用，具有一定的问题。所以，一般认为地下水动力学法可应用于水力坡度变化较大和面积较小的地区。

三、水均衡法

水均衡法就是水量均衡的方法。上面已经说过，地下水储存于广阔的地下水库之中，并且每时每刻都在不断地运动着，经常补补泄泄、收收支支，循环往复不停。这就是我们建立水均衡法的思想基础。在指定的均衡区内和一定的时段中，水均衡法的计算公式为：

$$I - O = \mu h \quad (1-7)$$

式中：I 为总补给量，O 为总消耗量， μ 为给水度， h 为时段始末的水位变幅。如果时段始末的地下水位一样， $h = 0$ ，即地下水库的蓄水量没有增减。如果补给大于消耗， $h > 0$ ，说明水量有盈余，则时段末的地下水位高于时段初的地下水位，蓄水量增加了，也加大了我们取用的能力。反之，如果补给小于消耗，说明水量有亏损， $h < 0$ ，则时段末的地下水位低于时段初的地下水位，蓄水量减少了，不利于我们取用。所以，在较长的时期内（如一年或多年），补给和消耗要达到均衡，不均衡会出现不良的后果。

水均衡法要求计算较多的有关因素项，如要详尽弄清它们，也不很容易。然而，这种方法的概念明确，道理简单和使用方便，成为目前最常用的一种方法。

四、数理统计法

数理统计法是一种用概率统计原理来处理观测试验数据的方法。这种方法并不需要事先建立严格而复杂的成因公式，

而只需判断所分析因素之间确有物理成因关系，通过一定的统计处理，就能得到有用的结果。举例来说，欲求区域开采量与地下水位平均下降值的关系。如果用地下水动力学法，要逐点逐井进行计算，不但工作量大，而且在水文和水文地质参数缺乏实地研究资料时，工作就会遇到困难。如果采用水均衡法，对水均衡的各项因素进行计算也不省事，再遇到有些因素缺乏资料时分析不易进行。用数理统计法常可避开这些问题，直接建立区域开采量与地下水位平均下降值之间的相关关系。如果关系在统计意义上是密切的，那么所得的成果可以采用。这是此法的优越一面。但是，地下水资料评价中的各种问题，并不能都象上例那样简单，因而数理统计法也只能在条件不变和观测试验数据范围内进行内插（或外延不远）等一些比较简单的问题中才能应用。

概括来说，这几种途径各有其优缺点。在目前的研究水平下，应该取其优点，综合比较，合理采用。各种方法不应相互排斥，而应相辅相成。本书以叙述水均衡法为主，必要时也辅以其它方法。

这里有一点必须强调，就是不论用什么方法，都需要有较多年份的资料（其中应包括丰水年、平水年和枯水年的资料）。如果只有少数几年的资料，很可能代表性不足，使分析和评价的结果具有一定的片面性。

§ 1-4 评价时应注意的问题

进行地下水资源评价时，除了必须搜集充分而可靠的基本资料（如水文、气象、土壤、地质、水文地质、农业、水利和有关的社会概况等）之外，还需要考虑与评价有密切关

系的问题。现摘要叙述于后。

一、地表水与地下水的关系问题

地表水和地下水的关系是十分密切的，它们可以相互补给和相互转化。一般来说，丰水期，地表水补给地下水；枯水期，地下水补给地表水。特别是人类活动，对地表水和地下水的影响是大的。例如在河道中筑闸蓄水，把本来自然流走的水，蓄存于闸上河道之中，抬高河道和与其相通的各种河渠的水位，使水体经过河渠边周的土壤，缓缓渗入，补给地下水。其它如水库的兴建，湖塘的开挖，洼地的形成以及矿藏的开发，都能改变地表水与地下水相互之间的关系。

工农业用水，降低地下水位，常使一部分地表水转化成地下水。近河地区，由于提取地下水使地下水位下降，因而加大了河水补给地下水的水位坡降，激励了补给条件，增加了河水对地下水的补给量。另一方面，地下水位降低，增大了地下库容，可以加大雨水的入渗，使本来要沿地面流走的一部分水量，渗入地下，成为包气带的土壤水，以及补给地下水。

还有一种情况，当灌溉取用地下水后，水经渠道到达田间。渠道和田面渗漏的水量，一部分成为包气带的土壤水，一部分回归成地下水。

诸如此类的例子，说明在评价时应予充分考虑。

二、以丰补歉的问题

地下水资源评价时，要求地下水量在一定时间（应该考虑较长的时间，如年或多年）内做到补给消耗相互平衡。对此，我们必须掌握以丰补歉的原则，灵活掌握。

一年之内，有多雨期和少雨期。如果我们用少雨期的补给量来评价开采量，当然全年都有补给保证。但到了多雨