

地下水资源计算与评价

曹 万 金

水利电力出版社

地下水资源计算 与 评 价

曹 万 金

水 利 电 力 出 版 社

地下水资源计算与评价

曹 万 金

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10印张 221千字

1987年12月第一版 1987年12月北京第一次印刷

印数0001—5150册

ISBN 7-120-00016-0/TV·6

15143·6460 定 价2.10元

内 容 提 要

本书主要介绍平原地区地下水资源的评价和计算方法。内容包括：地下水资源的划分与计算，各种水文和水文地质参数的测定和计算，地下水资源的评价与预报。书中附有较多的实例及数表，便于读者应用参考。

本书可供中专以上地下水工作者阅读，也可供有关院校师生参考。

前 言

我国北方干旱、半干旱地区，雨量较少，年内分配极不均匀，地表水源不足，需要开发利用地下水。有些地方，地下水资源是主要的，甚至是唯一的水源，但过量开采会导致地面沉降、海水入侵、水质变坏等不良后果。为了有计划地利用地下水，使地下水更好地为国民经济服务，必须做好地下水开采利用的规划与管理。因此，正确地评价和计算地下水资源，是一项必不可少的工作。本书主要针对地下水工作实践中所需要解决的问题，结合地下水工作的多年实践经验，系统地介绍地下水资源的评价和计算方法。

本书共三章，第一章叙述地下水资源计算的原则和方法，包括地下水资源的概念、分类和地下水各种补给资源量的计算方法、步骤及其变化规律；第二章是地下水资源评价和计算中所遇到的各种水文参数与水文地质参数，并介绍了它们的测定与计算方法，其中，给水度是最重要的参数，书中对其定义作了详尽的论述，对常值给水度和变值给水度也作了一定的评述，这是一个较新的问题，有待于更进一步探讨，并在实践中付诸应用。另一个重要参数是降水入渗补给系数，它除与岩性有关外，还与地下水埋深和降雨量大小有关。这里，笔者提出了最佳埋深的概念。第三章是地下水资源的评价与预报，书中主要采用地下水平衡法进行评价。关于地下水预报方法，目前国内外应用较少，笔者对它作了简要的介绍，以期引起地下水工作者的注意，有待于进一步研究。

限于作者的水平，书中难免有一定的缺点和错误，请同志们批评指正。

在本书的编写过程中，承安徽省水利科学研究所金光炎同志详细审阅，并提出宝贵修改意见，谨致谢意。

曹万金

1985年8月于南京

目 录

前 言

第一章 地下水资源计算	1
第一节 地下水资源及其划分	1
第二节 地下水补给资源的计算	14
第三节 地下水可能最大补给量与可利用量的确定	79
第二章 水文及水文地质参数的测定与计算	91
第一节 给水度的测定与计算	91
第二节 降雨入渗补给系数的确定	144
第三节 灌溉入渗补给系数、灌溉回归系数及潜 水蒸发系数的确定	164
第三章 地下水资源评价与预报	178
第一节 地下水资源评价概述	178
第二节 地下水资源评价方法	188
第三节 地下水预报	282

第一章 地下水资源计算

地下水资源计算是研究与评价地下水资源的重要内容。地下水资源量的正确确定，直接关系到地下水资源的评价、规划与管理工作的可靠性。在各种自然因素与人类活动的影响下，地下水资源量的时空变化十分复杂，并显示有多种变化特征，增加了地下水资源计算的困难；地下水资源的不同分类，也使计算内容多样化。

众所周知，水文地质学中按地下水的埋藏条件把重力地下水分为潜水与承压水两类。但是我国自本世纪70年代大规模开采地下水以来，多数机井不是分层取水，因而机井构成了不同类型地下水的通道。根据不同的开采深度与混合水的主要特征，又将地下水分为浅层水与深层水。浅层水是指开采深度在40~60m以浅，潜水与第一层微承压水的混合水；深层水（也有把深层水再分为深层水和中深层水两类）是指开采深度在40~60m以深，通常为几层承压水的混合水。

应当指出，山丘区与平原区的地下水赋存条件及运动特点不同，地下水资源计算方法也有区别。本书重点论述平原地区浅层地下水资源计算方法。

第一节 地下水资源及其划分

一、水文循环与地下水时空分布的关系

（一）自然界中的水文循环

在自然因素与人类活动影响下，自然界中各种形态的水

处在不断运动与相互转换之中，形成了水文循环。形成水文循环的内因是固态、液态、气态水随着温度的不同而转移变换，外因主要是太阳辐射和地心引力。太阳辐射促使水分蒸发、空气流动、冰雪融化等，它是水文循环的能源；地心引力则是水分下渗和径流回归海洋的动力。人类活动也是外因，特别是大规模人类活动对水文循环的影响，它可以促使各种形态的水相互转换和运动，加速水文循环；也可能抑制各种形态水之间的相互转化和运动，减缓水文循环的进程。水文循环并不是单一的和固定不变的，而是由多种循环途径交织在一起，不断变化、不断调整的复杂过程。

1. 大循环与小循环

海陆之间的水分交换称为大循环。由于海陆分布不均匀与大气环流的作用，构成了地球上水的若干个大循环，这些循环随季节有所变动。在大循环过程中又交织着一些小循环。从图1-1可见，由海洋面上蒸发的水汽，再以降水形式

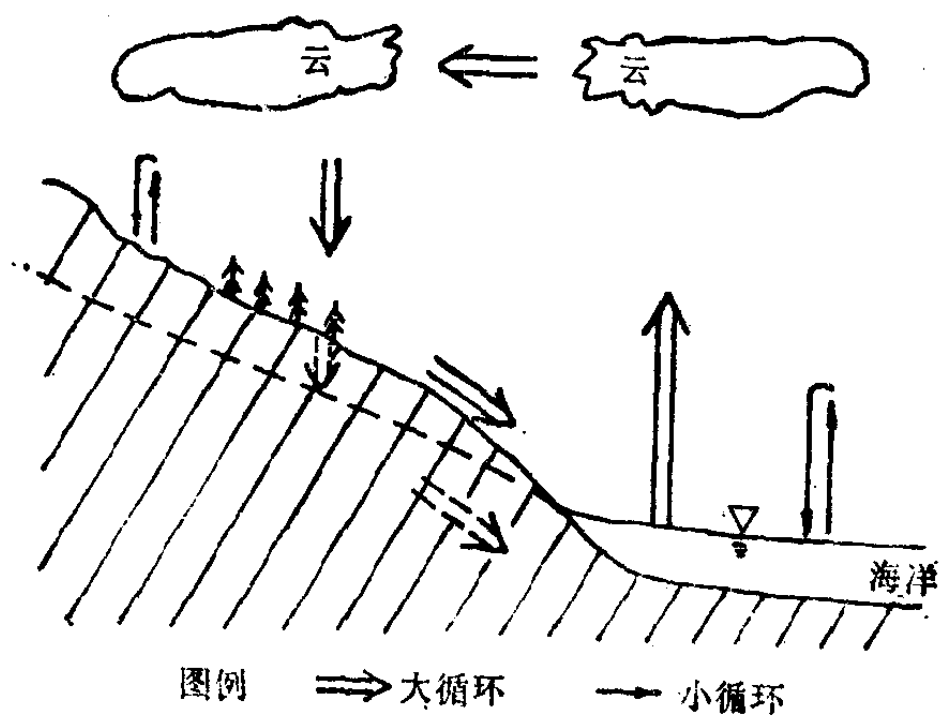


图 1-1 自然界水文循环示意图

直接落到海洋面上，或从陆地蒸发的水汽再以降水形式落到陆面上，这种循环称为小循环。

在水文循环中，天空、地面、地下三者之间水的交换形式有通过降水、蒸发、下渗进行水分交换；海洋与陆地之间的水量交换；空中水汽的交换和陆地向海洋注入的径流。海陆之间的水汽交换既有从海洋上蒸发的水汽随移动气团输送到大陆，也有从陆地蒸发的水汽输向海洋。前者比后者大，两者之差恰好等于由陆地注入海洋的径流。

2. 内陆水文循环

从海洋蒸发的水汽，其中一部分被气流带至大陆上空，遇凝结降雨，先在海洋边缘地区部分降雨形成径流返回海洋，部分水汽则蒸发上升。随同海洋输送来的水汽被气流带往离海洋较远的内陆地区上空，遇凝结降雨，其中一部分形成径流，一部分蒸发上升，继续向内陆推进循环。这样愈向内陆水汽愈少，直至远离海洋的内陆，由于空气中水汽含量很少而不能形成雨雪。这种循环过程称为内陆水文循环。

3. 水文循环的作用

据估计，地球上的淡水量有 3500km^3 ，仅占自然界总水量的2.5%。在这有限的淡水资源中还有相当大的一部分为极地冰川，很难利用，经济价值不大，而水文循环所产生的各种形态的水对人类关系很大。据统计，大气中水汽量为 12900km^3 ，而全球降水量却有 577000km^3 ，后者是前者的44.8倍，这是由于大气中水汽反复输送的结果，其每次循环的平均周期 $T(365/44.8)$ 约为8d；全球河槽水的水量为 2120km^3 ，而年径流总量为 47000km^3 ，后者为前者的22.2倍，平均周期约为16d；土壤水的平均周期约为一年，生物水循环的平均周期仅几小时。由此可见，水资源的多寡受水

文循环的控制。但是水文循环的时空变化很不稳定，在某种场合下水文循环很活跃，短期内输送大量的水汽导致特大暴雨，造成洪水灾害；而在另一时期，水文循环很弱，降水、径流都很小，造成严重干旱。在地区上水文循环变动也很大，例如我国南涝北旱或北涝南旱的发生，就与此有关。

由上可见，地下水是自然界水分循环的一个重要环节，地下水周而复始的运动和变化皆源于水文循环，地下水资源的多寡也受水文循环的控制。

（二）我国主要的水文循环系统与地下水资源时空分布的关系

我国主要处在西伯利亚干冷气团与太平洋暖湿气团进退交锋地区，年内水汽输送量与降水量的大小，主要取决于太平洋暖湿气团进退的早迟、西伯利亚干冷气团的强弱以及七八月间太平洋西部的台风情况。

1. 我国主要的水文循环系统

根据水汽来源不同，我国主要有五个水文循环系统。

（1）太平洋水文循环系统 我国的水汽主要来源于太平洋。海洋上空潮湿的大气在东南季风与台风的影响下，大量的水汽由东南向西北方向移动，在东南沿海地区形成较多的降雨，越向西北降水量越少。我国大多数河流自西向东注入太平洋，形成了太平洋水文循环系统。

（2）印度洋水文循环系统 来自西南方向的水汽也是我国水资源的重要来源之一。夏季主要是由于印度洋的大量水汽随着西南季风进入我国西南，也可进入中南、华东以至河套以北地区。但是由于高山的阻挡，水汽很难进入内陆腹地。另外，来自印度洋的是一支深厚、潮湿的气流，它是我国夏季降水的主要来源。印度洋输入的水汽形成的降水，一

部分通过我国西南地区的一些河流，如雅鲁藏布江、怒江等汇入印度洋，另一部分则参与了太平洋的水文循环。

(3) 北冰洋水文循环 北冰洋的水汽，借强盛的北风，经西伯利亚、蒙古人民共和国进入我国西北，风力大而稳定，有时可通过两湖盆地直到珠江三角洲，但含水汽量少，引起的降水量不多。

(4) 鄂霍次克海水文循环 在春季到夏季之间，东北气流把鄂霍次克海和日本海的湿冷空气带入我国东北北部，对该区降水影响很大，降水后由黑龙江汇入鄂霍次克海。

(5) 内陆水文循环 我国新疆地区，主要是内陆水文循环系统。大西洋少量的水汽随西风环流东移，也能参与内陆水文循环。

此外，我国华南地区除受东南季风和西南季风影响外，还受热带辐合带的影响，把南海的水汽带到华南地区形成降水，并由珠江汇入南海。

2. 我国地下水资源的时空分布特征

降水是水文循环的重要环节。我国降水的时空分布主要受五个主要的水文循环系统及其变化的控制，加之诸多小循环的参与，呈现出极不均匀的现象。在我国，降水入渗是地下水的主要补给来源，因此地下水资源的时空分布与降水的时空分布关系极为密切。降水多的地区地下水资源丰富，降水少的地区地下水资源贫乏，显示出地下水资源自东向西、自南向北由多变少的趋势。也可以说，不同的气候区，其地下水资源亦不相同。实际资料表明，在同一气候区内，不同地区的地下水资源常常相差悬殊，致使其空间分布极不均匀，造成这种现象的主要原因是各地区地质（构造、岩性）条件、地貌条件、水文地质条件及人为因素的不同。地下水资

源量随时间的变化规律很明显，如：汛期地下水资源的补给量呈递增趋势，非汛期则呈递减趋势；在为农田灌溉的开采条件下，使这两种趋势更加突出。地下水资源量不仅在年内变化很大，而且年际间变化也相当大。遇到连续丰水年时，地下水资源量呈增加趋势，在连续枯水年时，则呈减少趋势。

二、地下水资源的特征及地下水资源的划分

(一) 地下水资源的特征

地下水资源有下述几点特征。

1. 可恢复性

地下水是客观存在的一种资源，它与矿产资源不同。地下水资源在天然状态下受到各种自然因素（如地质、地貌、土壤、植被、水文地质、水文及气象等）的影响，处于不断的运动与变化之中，其补给与消耗，形成了某种天然平衡状态。在开采条件下，这种天然平衡遭到破坏。从年内看，旱季为主要开采季节，消耗地下水，雨季地下水得到补给；从年际看，干旱年地下水消耗常常大于补给，而丰水年降雨入渗对地下水补给不仅满足丰水年消耗的需要，尚可填补干旱年的缺水量。地下水资源获得这种周期性补充，恢复其原有水量的特征，称为可恢复性。因此，只要开采得当，开采之后被消耗的部分水资源可以得到补充，形成开采条件下新的平衡状态。

2. 具有水利与水害两重性

地下水资源量的多寡、埋深的大小和水质的好坏，对工农业生产及人类生活有极大的影响。就农业生产而言，我国北方广大地区以地下水作为重要的灌溉水源，地下水多寡直接关系到农业生产，形成了“有井一片绿”的景象。同时，地下水埋深与农业生产的关系也极为密切。地下水埋深大

时，会增加提水费用，但埋深过小又可能引起土壤盐渍化、沼泽化；只有埋深适宜的地下水才可增加农作物产量；如果过量开采使地下水位大幅度下降可能引起许多灾难性的后果。地下水水质与农业生产的关系十分密切，例如在非盐碱土农田，灌溉用水的含盐量应小于 $1.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，若管理条件良好，灌溉水含盐量可略高。但超过 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 时，对多数作物有害，长期灌溉还会使土壤理化性质变坏。

3. 地下水与地表水相互转换

地下水与地表水皆源于大气降水。在天然状态下，河道常常是地下水的排泄出路，即地下水可以变成地表水。实际资料表明，如果河道受潜水补给，则枯水流量变化较大；如果受承压水补给，则枯水流量比较稳定。地表水在某些时期、某些河段也会补给地下水，例如汛期河流的中下游就是如此，而在其他时段这种补给关系有可能相反。只有在那些所谓“地上河”的河段，地表水才常年补给地下水。应当说明，在人类活动影响下，这种转换关系往往发生较大的变化。

前述地下水资源的时空变化，即地下水资源随时间的变化性及区域性，也是地下水资源的重要特征。地下水资源随时间的变化，一般比较缓慢，但是在大规模人类活动（如大量开采和人工回灌等）影响下，会使地下水的变化频繁而强烈，年内和年际间变化都很大。地下水资源的这些特点，增加了研究和评价的困难。

（二）地下水资源的分类

毫无疑问，人们对某种资源进行研究时，总是抱有某种目的。例如，地下水资源评价，在明确研究对象基础上，通过定量计算予以评价。因此必须对地下水资源进行分类，或

称为地下水资源的划分。但是地下水资源分类或划分至今观点不一，分类法有较大的不同。地下水资源评价至今尚无完善的方法，不能不说这种认识上的不一致是一个重要的原因。但是，地下水资源的划分是地下水研究中一个重要的和十分复杂的理论问题，如果不加研究而强求一致是无济于事的。因此，有必要认识和了解地下水资源分类的现状。

地下水资源分类法很多，主要划分方法有：1）补给量，储存量和允许开采量；2）可恢复性资源和不可恢复性资源；3）天然资源和开采资源；4）补给资源和储存资源；5）四大储量，即动储量、静储量、调节储量和开采储量。分述如下：

（1）1979年国家建委组织编制的《供水水文地质勘察规范》中，从地下水的补给、径流和排泄的运动规律出发，将地下水资源划分为补给量、储存量和允许开采量。

补给量是指天然状态或开采条件下，在单位时间进入水源地含水层范围内，可被开采的各种水量。一般包括地下水径流流入量，大气降水的人渗补给量，地表水的人渗补给量，越层补给量和人工补给量等。

储存量是指地下水在其补给与消耗的循环过程中，在水源地范围内含水层中积存（当补给量大于消耗时）或消耗（当补给小于排泄时）的重力水体积。在潜水含水层中，储存量的变化主要反映为水体积的改变，称为体积储存量；在承压含水层中，压力水头的变化主要反映弹性水的释放，称为弹性储存量。

允许开采量是指技术经济许可条件下，在整个开采期内，以出水量不减少、动水位不超过设计要求、水质和水温变化在允许范围内，在单位时间内从水文地质单元（或取水

地段)中能够得到的水量。获取这一水量以不影响邻近已建水源地正常开采和不发生危害性的工程地质现象为前提。

地下水的补给量和储存量是客观存在的,并在各种自然因素的影响下,随时间和空间而变化,而开采地下水或其他人类活动只能激化这种变化。对地下水补给量和储存量及其变化的研究,无疑是一个重要的课题。但是,地下水的消耗量(即补给量与排泄量之差)不宜作为地下水资源计算,否则由此可能导出错误的结论。另外,人类开发利用地下水,一般是长期的(在某些地段,为某种短期的目的而开采地下水的情况除外),因此越层补给量是需要研究的。越层补给也是客观存在的。但是,越层补给的源地一旦被开采,越层补给量就可能消失。同样从地下水开发利用的长期观点考虑,弹性储存量也无保证,由于含水层的弹性释水是有条件的,一旦它赖以存在的条件发生变化,并且开采量很大时,使原存在的弹性储量有可能全部用完,此时则不应再计算弹性储存量。

《规范》中允许开采量的大小只能反映开采能力和用水水平,无法确切反映地下水资源的多少。

(2)把地下水资源划分为可恢复资源与不可恢复资源。可恢复与不可恢复是相对的,并随时间与各种因素的影响而变。同时如果把某些条件下的人工恢复量(如人工回灌)称为恢复资源也欠妥当。

(3)吉林省给水排水勘察设计院李家琪和长春地质学院李同斌根据地下水资源的基本特性和供水特点,共同提出了地下水资源的分类方法(见图1-2)。

图中可开采资源一项是指通过取水建筑物,在开采延续时间内,从蓄水构造中可能开采的,连续、稳定的最大地下

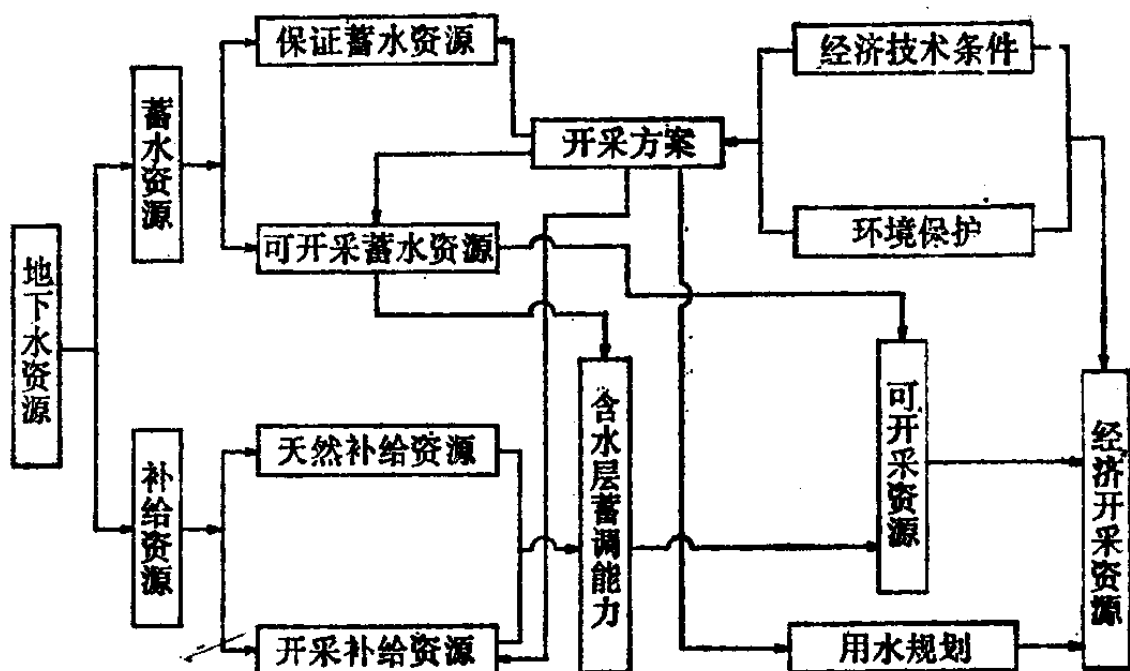


图 1-2 地下水资源分类框图

水径流量。它等于蓄水构造本身能够提供的可开采蓄水资源和在含水层蓄调作用下不同补给资源的代数和。可用下式表示：

$$Q_{kk} = Q_a + Q_{kb} + W_{ka}/T \quad (1-1)$$

式中 Q_{kk} ——可开采资源 (m^3/d)；

Q_a ——天然补给资源 (m^3/d)；

Q_{kb} ——开采补给资源 (m^3/d)；

W_{ka} ——可开采蓄水资源量 (m^3)；

T ——开采延续时间 (d)。

可开采蓄水资源是指保证取水建筑物正常工作所需的蓄水深度以上、最枯地下水位以下，允许疏干带储存的重力水（承压蓄水构造为弹性蓄水资源）。它应是允许开采的，为可开采资源的一部分。

天然补给资源是指在天然条件下，通过蓄水构造循环流