

地下水资源管理

尹承怀 倪深海 编著
李祚祥 高希星



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地下水资源管理

尹承怀 倪深海 李祚祥 高希星 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分八章,包括:地下水资源系统,水文地质普查与勘察,地下水文参数的确定,地下水资源计算与评价,地下水资源开发利用规划,水源地的开发利用和管理,地下水资源监测与保护,地下水资源管理。内容上基本反映了地下水资源评价、规划和管理的主要理论、方法和技术。

本书是水行政主管部门从事地下水资源管理的工具书,也可作为水文水资源工程、水利水电工程、农业水利工程、给水排水工程、环境工程等专业教材,并可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下水资源管理/尹承怀等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2001. 6

ISBN 7-5084-0704-0

I. 地… II. 尹… III. 地下水资源-资源管理 N. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 036202 号

书 名	地下水资源管理
作 者	尹承怀 倪深海 李祚祥 高希星 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 6.5 印张 174 千字
版 次	2001 年 7 月第一版 2001 年 7 月北京第一次印刷
印 数	0001—2600 册
定 价	20.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

地下水资源是人类生产和生活中不可缺少的物质基础，是必须经常取用的自然资源，地下含水层具有较大的调蓄能力，水量稳定，在水资源中日益显示其重要性。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；我国北方干旱半干旱地区，沿海城镇和缺水山区，地下水已成为工农业、畜牧业和居民生活用水的重要供水水源，它给国民经济提供了巨大的经济效益。而地下水的水量 and 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，尤其城市地区更为突出。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。因此，加强地下水资源管理已刻不容缓。这将有利于地下水资源的可持续利用，实现从工程水利向资源水利的过渡。

本书由山东农业大学倪深海和肥城市水资源管理委员会尹承怀、李祚祥及山东省水利厅高希星共同编著。其中：第一、三、四、五章由倪深海执笔；第二、六章由尹承怀执笔；第七章由李祚祥、高希星执笔；第八章由倪深海、尹承怀执笔。参加编写的人员有：肥城市水资源管理委员会刘冬梅、朱锋、魏庆银、石建民、孔亮、张新、陈文明，泰安水文水资源勘测局程传伟、亓修增。全书由倪

深海统稿。水利部原水资源司副司长任光照（教授级高工）和河海大学博士生导师崔广柏教授担任主审，对书稿提出了许多宝贵意见和建议，为提高书稿质量作出了重要贡献，谨致衷心感谢。肥城市水资源管理委员会刘正一高工提出了宝贵意见，中国水利水电出版社陈薇副编审为本书的出版做了大量工作，在此表示真诚的感谢。

由于学术水平所限，书中不当之处，恳请读者给予批评指正。

作 者

2000年12月



李祚祥，男，1951年3月生，大学文化，现任肥城市水资源管理委员会办公室主任，市政协委员，山东农业大学兼职教授。其对水资源管理的系统性有较深入的研究，并加以

在实践中应用，建立了水资源管理的开发利用、保护、监督及信息提供等规范化程序，率先在全国推行了县级水资源公报制度，在非常规水资源开发利用方面进行了有益探索，发表学术论文8篇，连年被评为省市水资源管理先进个人。



尹承怀，男，1969年9月10日生，现为肥城市水资源管理委员会办公室副主任，山东农业大学水利学院兼职副教授，市专业技术拔尖人才。曾获市百名文明青年、泰安市第三届青年科技奖、跨世纪优秀

科技人才等荣誉称号。其在多年水资源管理工作中，理论与实践相结合，先后完成市以上重大科研项目近10项，发表有关学术论文10余篇，获省、市科技成果进步奖十二次，业绩卓人。



倪深海，男，1964年10月生，安徽庐江人，博士。山东农业大学水利学院副教授，山东省水利科技带头人。先后主持和参加完成省部级重点科研项目 and 地市级研究课题近10项。在水资源综合评价及规划、

地下水资源微机管理、水资源优化配置与可持续利用、水库优化调度等领域，取得了一批重要成果，为山东省及有关地市所采用；曾获得山东省科委、教委、水利厅科技进步奖8项。发表学术论文20余篇。并著有《小型水库管理人员培训指南》。

目 录

前言

第一章 地下水资源系统管理	1
第一节 地下水资源系统的概念	1
第二节 地下水资源特点及分类	3
第三节 地下水资源管理系统	8
第四节 地下水资源系统管理模型	10
第二章 水文地质普查与勘察	13
第一节 水文地质普查	13
第二节 水文地质勘察	19
第三节 地下水的动态与均衡	22
第三章 地下水文参数的确定	32
第一节 给水度	32
第二节 降水入渗补给系数	40
第三节 灌溉入渗补给系数	48
第四节 潜水蒸发系数	50
第四章 地下水资源计算与评价	55
第一节 评价区的划分	55
第二节 地下水资源评价的任务和原则	56
第三节 平原区地下水资源计算	58
第四节 山丘区地下水资源计算	67
第五节 地下水资源评价	84
第五章 地下水资源开发利用规划	113
第一节 地下水资源开发利用规划原则	113

第二节	基本资料及其分析整理	114
第三节	规划分区	117
第四节	水量平衡计算	121
第五节	井灌和综合治理规划	129
第六节	井渠双灌和综合治理规划	143
第七节	地下水资源开发利用规划示例	146
第六章	水源地的开发利用管理	150
第一节	水源地和取水建筑物	150
第二节	用水管理	155
第三节	取水建筑物的管理与养护	159
第四节	饮用水水源地管理	161
第七章	地下水资源监测与保护	162
第一节	地下水的监测	162
第二节	地下水环境质量评价	165
第三节	地下水污染防治	166
第四节	地下水资源保护	172
第八章	地下水资源管理	176
第一节	地下水资源行政管理	176
第二节	地下水资源法律管理	185
第三节	地下水超采区管理	192
第四节	地下水资源微机管理	196
参考文献		201

第一章 地下水资源系统管理

自 20 世纪 60 年代以来,国内外水文地质学家开始注意到系统工程这一新兴的学科,先后用系统的观点研究地下水问题,并提出“地下水系统”的理论。通过对地下水系统的分析研究,并借助于系统工程的方法,对地下水资源进行评价和管理。

地下水是在自然或人为活动下大气降水及各种地表水渗入地下,在地下含水层中生成、发展演变、宣泄,是依附于地下水含水层并同地质环境密切相关的水体。地下水在开采、消耗过程中自身不断地获得补充和恢复,而补给的数量和恢复的速度又取决于地下水的储存环境。地下水在整个地质历史中,其水量、水质均随时空而变化,特别是近代大规模的人类开采活动对地下水所造成的各种影响使地下水的运动更趋复杂,因而对地下水的研究不能仅局限于地下水自身,而从地下水的储存环境着手把同地下水有关的各个方面(人类的和自然的)联系起来,作为一个整体对待,并采用新的系统工程研究方法才能奏效。这一实践的最新研究成果,提供了可资借鉴和应用的途径。

第一节 地下水资源系统的概念

地下水资源系统是指由两个或两个以上相互区别又相互作用的子系统(或要素)有机结合起来,具有特定功能且能适应环境变化的综合体。展开上述定义,可解释为:地下水资源系统可以包含两种或两种以上不同性质的储水介质,但却具有连续的水动力系统和水化学系统。也就是说,在系统内的任何地区,当改变其水动力条件或水化学条件时就能引起整个地下水资源系统的某种变动,具有“牵一发而动全身”的特征。因此,地下水资源系

统能够更确切地反映地下水的储存环境及运动状态。

地下水资源系统是由输入、输出和水文地质实体遵循一定的客观规律,在人为制约因素影响下造成系统内部的传输或转换,从而产生输出的全部过程。

所谓输入,凡外界对系统施加的物质(原料、能量和信息等)均称为系统的输入。就地下水资源系统而言,其输入变量通常有降雨入渗补给、潜水蒸发、渠系渗漏补给、沟道排渗、人工开采、灌溉回归补给、地下水侧向交换、层间越流等。它们在时间和空间上是变化的,针对时间和空间而言,上述各种输入均系变量,其中有些是不可控制的,如降雨入渗补给和潜水蒸发等,但有些是可以控制的,如人工开采、渠系渗漏补给、灌溉回归补给等,人们常用可控制的输入变量对系统进行控制、调度和管理,以达到预期的目标,这些可控制的输入变量称为系统的决策变量。

所谓输出,是指系统对输入物质作出响应(或反应)的物质输出(产品、能量、效益等)均称为系统的输出。就地下水资源而言,其输出如获得补给后引起地下水位、矿化度的降低、泉流量的增大等,那么地下水位、矿化度和泉流量就是系统的输出。很明显,上述的地下水位、矿化度、泉流量等也是随时间和空间变化的。故可统称其为输出变量。输出变量是描述系统状态的,从而也可称为状态变量。由于地下水位是补给、径流、排泄等各种因素对地下水资源系统影响的综合反映,所以地下水位是最常用的用来选择描述系统状态的状态变量。

所谓水文地质实体,是指地下水资源系统的结构,如含水层类型、埋藏条件、分布条件、物理和化学特性等,通常以地下含水层的规模、几何形状、边界条件及含水层参数等加以描述,这些均可采用系统的特征函数(或称传递函数,或状态转移方程)来概括和表达。

根据上述对输入、输出和水文地质实体的说明,可将地下水资源系统表达为由决策变量、状态变量和特征函数(或状态转移方程)三大模块耦合所构成的系统有机综合体。

通常，现实的地下水资源系统均为随机系统，输入、输出和特征函数都是随机的，但在实际应用时，一般将地下水资源系统视为准随机系统，即系统的输入和输出是随机的，而其特征函数不随时间和状态变化，这显然比随机系统简化得多，计算工作量小，且易于求解，同时又比确定性系统更接近于实体系统，得出的结果更能付诸实用。

第二节 地下水资源特点及分类

一、地下水资源特点

地下水资源是指对人类生产与生活具有使用价值的地下水，它属于地球上水资源的一部分。

地下水资源与其他自然资源相比，有许多特点，正确认识这些特点，对合理开发利用地下水资源是很重要的。

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可以得到补充，形成开采条件下新的平衡状态。

2. 调蓄性

地下水资源与地表水资源相比，它具有一定的调蓄性。如果流域内没有湖泊、水库，则地表水资源很难调蓄，暴雨时洪水漫溢，久旱则河床断流。而地下水可利用含水层进行调蓄，即在补

给期把多余的水量储存于含水层中，在非补给期或枯水年份动用储存量，以满足生产生活的需要。例如山西娘子关泉域含水层的调蓄能力可达 13 亿 m^3 ，相当于一个很大的水库。

人们正是利用地下水具有调蓄性这一特点，在枯水季节或年份，当地表水缺乏时，适当加大地下水的开采，以满足用水要求，到丰水季节或年份，把多余的水量予以回补。这就是常说的“以丰补欠”。以丰补欠是对开发利用地下水资源具有积极意义的合理原则。这样，可使地表水资源和地下水资源两者互为补充，充分发挥水资源的效益。

3. 转化性

地下水与地表水在一定条件下可以相互转化，这是水资源区别于其它自然资源的又一个重要特点。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。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，而在其它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。

地下水资源除了上述三个基本特点外，还有其他方面的特点，如地下水资源随时间的变化性及区域性。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，年内和年际变化都很大。

在进行地下水资源计算与评价时，必须认真研究这些特点，以便得出正确的结论。

二、地下水资源分类

为了研究地下水资源形成的基本规律，必须对地下水资源进行分类。目前，我国还没有统一的地下水资源分类。现介绍以水均衡为基础的分类法。

一个地下水均衡单元（例如，某一地下水流域，或某一地下

水蓄水构造，或某一含水层的开采地段等）在其均衡时段内，地下水的循环总是表现为补给——排泄——储存量变化三种形式，它们三者之间，在数量上的均衡关系总可以表达为：

$$Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}} = \pm \Delta Q \quad (1-1)$$

补给量 ($Q_{\text{补}}$)、排泄量 ($Q_{\text{排}}$) 和储存量变化 (增量 ΔQ) 三者无论是天然状态还是人工开采条件下，尽管各自的数量会有变化，而上述关系总是不会变的。

由上述分析可知，地下水资源可分为：补给量、排泄量和储存量。

(一) 补给量

补给量是指单位时间内进入某一含水层或含水岩体中的重力水水量体积，用 m^3/d 或 $\text{万 m}^3/\text{a}$ 等单位表示。它又可分为天然补给量、人工补给量和开采补给量。

天然补给量是指天然状态下进入某一含水层的地下水量。平原地区天然补给量主要由三部分组成：一是本区域降水入渗补给，这是地下水当地资源；二是地表水渗漏补给，这是地表水资源转化为地下水资源的重复量部分；三是邻区流入量，这是区外转入本区的地下水重复部分，这项数值，一般不是很大的。山丘区地下水补给量主要是大气降水入渗补给量。

人工补给量是指采用人工引水入渗补给地下水的水量，例如，引河水灌溉入渗补给地下水。

开采补给量是指开采条件下，除天然补给量之外，额外获得的补给量。例如，开采以后，地下水位下降，降落漏斗扩展到邻近的地表水体（河流、湖泊、水库等），使原来补给地下水的地表水渗漏补给量增大，或使原来的不补给地下水的地表水体变为补给地下水。又如，由于降落漏斗的扩展使得属于邻区的地下水流入本区，从而取得额外补给。

为了正确地进行地下水资源计算与评价，关于地下水补给量有下列两点必须说明：

(1) 地下水补给量是使地下水运动、排泄、水量交替的主导

因素，没有地下水的补给，就谈不上地下水资源，一个水源地能有多少地下水可以开发利用，首先取决于补给量，所以，计算补给量是地下水资源计算与评价的核心内容。

(2) 计算地下水补给量时，应按天然状态与开采条件下两种情况分别进行。实际上许多地区的地下水都已不同程度的开采，很少保持纯净的天然状态。因此，评价时，应首先计算现状条件下地下水补给量，然后再估算开采后可能获得的额外补给量。

开采补给量在开采前是不参加开采区水量交替的，只是在开采过程中造成比天然状态更为强烈的水动力条件后被夺取来的，所以也称之为开采夺取量。从整个地下水资源观点来看，邻区的地下水资源也要开采利用，你这里夺取多了，他那里就减少了。再从“三水”转化的观点来分析，如河水已被开发利用，这里却又加大开采强度，夺取河水来补给地下水，地表水资源势必减少。我国有些地区河流基流量大幅度减少，甚至干涸，使已建水利工程失效，究其原因，往往与地下水开采有关。因此，对于开采补给量必须慎重对待，统筹兼顾，千万不能顾此失彼。

(二) 排泄量

排泄量是指单位时间内从某一含水层或含水岩体中排泄出去的水量体积，以 m^3/d 或 m^3/a 等单位表示。排泄量可分为天然排泄量和人工开采量两类。

天然排泄量有潜水蒸发、流入河道、侧向径流渗入邻区等。人工开采量是从人工取水构筑物（如机井）中汲取出来的地下水量。

人工开采量反映了取水建筑物的产水能力，它是一个实际的开采值。但它不一定是合理的。因此，在这种分类中，有人提出“允许开采量”的概念。

允许开采量是指通过技术经济合理的取水建筑物，在整个开采期内水量和水位不超过设计要求，水质、水温变化在允许范围内，不影响已建水源地正常生产，不发生危害性工程地质现象的前提下，单位时间内从水文地质单元（或取水地段）中能够取得的水量。

允许开采量的大小主要取决于补给量但一般不等于补给量，因为地下水排泄量总是或多或少存在的，所以，一般允许开采量要比补给量小。如果开采区在开采过程中能夺取较多开采补给量时，它也可能大于天然补给量。

(三) 储存量

储存量是指储存在含水层内的重力水体积。该量可分为容积储存量和弹性储存量。

容积储存量是指含水层空隙中所容纳的重力水体积，亦即将含水层疏干时所能得到的重力水体积，潜水含水层中的储存量主要是容积储存量，可用下式估算：

$$W_{容} = \mu V \quad (1-2)$$

式中： $W_{容}$ 为地下水容积储存量， m^3 ； μ 为含水层的给水度； V 为计算区潜水含水层的体积， m^3 。

弹性储存量是指将承压含水层的水头降至含水层顶板时，由于含水层弹性压缩或水的体积弹性膨胀所释放出来的水量，可用下式计算：

$$W_{弹} = \mu_e \cdot \Delta S \cdot F \quad (1-3)$$

式中： $W_{弹}$ 为承压水的弹性储存量， m^3 ； μ_e 为承压含水层的弹性释水（或贮水）系数； ΔS 为承压水自顶板界面起算的压力水头高度， m ； F 为计算区承压含水层的面积， m^2 。

由于地下水的水位是随时间而不断变化的，所以地下水储存量也是随时间而增减。天然条件下，在补给期，补给量大于排泄量，多余的水量便在含水层中储存起来。在非补给期，地下水的消耗大于补给，则动用储存量来满足地下水的消耗。所以，地下水储存量起着调节作用。在人工开采条件下，同样如此，如开采量大于补给量，则动用储存量，以支付不足，在补给量大于开采量时，由多余的水量来加以回补。储存量的调节作用是很重要的。

这种以水均衡为基础的地下水资源分类法是比较合理的，它基本上反映了地下水的补排关系，为地下水资源的分类与评价提供了可靠的理论并指明了方向，在我国供水水文地质勘探和非区

域性（集中开采区）地下水资源评价中得到广泛应用。

此分类法中，把排泄量列为地下水资源量是不很相宜的。另外，地下水资源的开发利用是长期持续的，其中弹性储存量的存在是有条件的，开采后，一旦它赖以存在的条件发生变化，尤其开采量很大时，就可能全部消耗殆尽，此时不应再计算弹性储存量。

第三节 地下水资源管理系统

地下水资源管理系统是一个集地下水资源调查评价、开发利用规划、调度分配、取水许可实施及监督管理和保护等组成的复杂体系。它是社会、政府对地下水资源管理的职能的系统体现，涉及到自然、人、社会、政治、经济、技术多方面、多层次的因素，集技术性、社会性、政策性为一体，内涵丰富，是一项复杂的系统工程。由于各区域的自然地理及气候条件所致的资源状况不同、开发利用及管理水平的差异，因此，不同区域的地下水资源管理应是结合当地的实际情况采取适宜的控制政策、管理措施及保护技术。一个完整、科学、高效的地下水资源管理系统应该包括资源的信息系统支持、政策支持、管理体系支持、动态监控体系支持、保护工程措施支持、经济支持六个子系统。

一、地下水的信息支持系统

地下水资源的信息，应是对一个区域内地下水的质和量及其存在状态的科学评价，包括评价所依据的水文地质状况及有关参数，降水、地表径流、地下水的相互转化关系及特性，天然水质状态及人为因素对地下水的影响等信息数据。对地下水的综合认识基础是所依靠的有效数据信息，这是对地下水进行科学规划的依据，是地下水资源管理的基础。在这个系统运行过程中，应积极推行计算机等现代化技术的应用，以确保信息的科学化、规范化、效率化。

二、政策支持系统

地下水资源管理是水资源管理的一个重要组成部分，资源的

合理开发及有效控制必须依靠强有力的政策支持，包括行政的及法律的手段措施，是地下水资源有序管理的保障。该系统应该规定地下水的调查评价管理、取水许可管理、经济管理及奖罚等主要政策措施。

三、管理体系支持系统

管理体系是地下水资源管理的先决条件和基础，管理系统的主要内容，即是必须有一科学可靠的组织技术管理体系及有效的工作运行规范。该体系是实施地下水资源有效管理的组织保证和技术保证，主要功能是对政策制度的落实与运转进行行政组织管理，包括专业人才的组织、管理及技术运行系统的建立、有关的管理办法政策的制定等。

四、动态监控系统

地下水的动态监控，包括地下水的水质状态及变化，地下水位动态规律，以及地下水环境地质变化等。地下水动态监控的过程，必须采用的规范的工程措施及科学的监测计量设施，如地下水动态监测井网等，对地下水的动态监测，必须有一个科学的规划，才能确保监控系统所提供信息的准确性和代表性。

五、地下水保护工程系统

地下水保护工程包括防止污染工程措施、地下水回灌补源工程措施等。地下水保护工程措施是减少人为因素对地下水造成破坏的重要手段，可有效地促进地下水动态平衡及其持续利用。地下水保护工程，必须有一个科学的规划，如地下水的回灌工程，必须确保回灌水源的水质。地下水回灌包括有拦蓄地表径流增渗地下水，利用浅层地下水回灌深层地下水，建跨流域调水回灌地下水工程等多种形式。

六、经济支持系统

地下水资源的科学评价、规划、调度、工程保护、管理体系的运行，均需要经济支持，否则这个系统就无法正常运行。地下水资源管理是一种社会行为，必须有政府财政的资金支持，收取水资源费用于地下水资源管理系统的运行，是一种有效的经济支