

中国地质学会首届地下水资源评价学术会议论文选编

# 地下水资源 评价理论 与方法的研究

地质部水文地质工程地质研究所选编

地质出版社

327

中国地质学会首届地下水资源  
评价学术会议论文选编

# 地下水资源评价理论与 方法的研究

地质部水文地质工程地质研究所 选编

地质出版社

## 内 容 提 要

本选编共选论文或论文摘要87篇。其中,关于地下水资源的概念、分类及评价原则的文章9篇;地下水资源评价的理论、方法及参数计算的文章56篇(其中,地下水资源评价的数值法及反求参数的文章17篇);具体地区的地下水资源评价的探讨和方法研究的文章22篇。这些文章,都是全国各有关部门(包括生产、科研与教学等单位)在开发利用地下水资源方面,做了很多工作后所取得的成果。

本选编可供从事地下渗流、水文地质、农田供水、城市厂矿供水排水等工作的科学研究人员及工程技术人员参考。

中国地质学会首届地下水资源评价学术会议论文选编

### 地下水资源评价理论与方法的研究

地质部水文地质工程地质研究所 选编

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑 戴鸿麟

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: 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张: 40<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 字数: 971,000

1982年4月北京第一版·1982年4月北京第一次印刷

印数1—3,880册·定价6.50元

统一书号: 15038·新688

## 编 选 说 明

1978年12月，中国地质学会首届地下水资源评价学术会议在北京召开。这次会议，主要是交流学术成果，总结实践经验。地下水是宝贵的地下资源，是水资源的重要组成部份。敬爱的周恩来总理，生前很重视地下水资源的开发利用，曾一再指示，要查清我国的地下水资源的分布情况。来自生产、科研、教学等各方面的代表，在这次会上交流了150多篇论文。这些文章，是全国各有关部门，在开发利用地下水资源方面做了很多工作之后所取得的成果。在这次会议上，重新成立了中国地质学会水文地质专业委员会。根据专业委员会第一次会议的决定，我所承担了这届会议《论文选编》的编选工作。

经过编选，选入《论文选编》的文章共87篇。有些在大会上交流的文章，如陈钟祥等同志的《双重介质渗流方程组的精确解》、王及弟等同志的《地下水非稳定流计算的有限元方法》、刘慈群同志的《饱水土层的一维压密问题》、王桂增同志的《某水源地下降漏斗稳定条件的分析计算(试用开采强度法)》，等等，由于已在有关刊物上发表，未予编入。

选入《论文选编》的文章，按出版要求，大部份作者都做了修改或压缩。在编选过程中，我们本着尊重文章作者的观点和看法的原则，及作者对文章负责的精神，基本上没作原则上的改动，仅作了一些文字上的修饰。对明显的技术错误，在征得作者的同意后作了修改。

所选文章的编排次序仍按学术会议上划分的三大类编排。第一部份为地下水资源的概念、分类及评价原则，共9篇文章。第二部份为地下水资源评价的理论、方法及参数计算。这部份文章数量最多，共56篇。其中，地下水资源评价的数值法及反求水文地质参数的文章有17篇。第三部份为具体地区的地下水资源评价的探讨及方法研究，共22篇文章。这样的编排，其合理性当然只能是相对的。

《论文选编》的编阅工作，是曲焕林同志完成的。文中插图的清绘、制字和剪贴，是我所绘图组及植字组的同志们承担的。

地质部水文地质工程地质研究所

# 目 录

## 编 选 说 明

### 第一部份 地下水资源的概念、分类及评价原则

- 不同类型地区地下水资源形成和评价方法的若干问题……………王兆馨 (1)
- 地下水资源的概念、分类及评价的基本原理
- ……………国家建委建研院勘察技术研究所 陈雨荪 (7)
- 地下水资源评价的原则和勘探思想的探讨……………武汉地质学院 陈崇希 (23)
- 关于地下水储量分类和概念的改革问题……………冶金工业部武汉勘察公司 梁汝超 (34)
- 对地下水资源的基本特征及其定量评价的初步认识
- ……………安徽省建筑设计院 李加奇 (39)
- 关于地下水资源的概念和评价问题
- ……………河北地质学院水文地质工程地质系 刘光亚 (47)
- 关于地下水资源分类及其概念的探讨
- ……………陕西省综合勘察院 王强忠 段真富 沈静娴 (52)
- 均衡法评价地下水资源的理论研究……………北京市地质地形勘测处 周长瑚 (58)
- 岩溶水资源评价的几个问题……………地质部岩溶地质研究所 袁道先 (68)

### 第二部份 地下水资源评价的理论, 方法及参数计算

- 大面积均匀开采条件下三层结构含水层中地下水的非稳定运动
- ……………武汉水利电力学院 北方地下水科研组 (73)
- 用越流理论评价区域地下水资源……………长春地质学院 林绍志 宿青山 郑义 (82)
- 考虑弱渗透层的弹性储量时液体向一口完整井的不定常渗流
- ……………中国科学院兰州冰川冻土研究所 刘慈群 (87)
- 孔隙-裂隙含水层地下水向水井流动特性的初步探讨
- 北京大学数学力学系 肖树铤
- ……………江苏省水文地质队 庞炳乾 叶剑林 (95)
- 地质部水文地质工程地质研究所
- 罗文或 陈德华 胡安邦
- 考虑弱透水层释水条件下三层结构浅层地下含水层水并非稳定流计算和水文地质
- 参数确定……………武汉水利电力学院 北方地下水科研组 (105)
- 用瞬时抽水试验测定水文地质参数……………长春地质学院 宿青山 林绍志 郑义 (114)
- 含水层的“滞流作用”与边界条件的处理……………西北农学院水利系 李佩成 (122)
- 测算潜水含水层渗透参数的“割离井法”……………西北农学院水利系 李佩成 (127)
- 无限平面中有越流补给时流向抽水域(面状井)地下水不稳定流计算

.....北京工业大学计算站	胡佩清(133)
河渠影响下双层结构含水层地下水非稳定流计算	
.....武汉水利电力学院 北方地下水科研组	(155)
水位恢复试验的理论和实践.....青海省地质局第二水文地质队	胡惠良(167)
利用群井抽水试验资料求解水文地质参数的若干问题	
.....山西省地质局第一水文地质队上兰村供水勘探计算组	(谢云鹤执笔)(174)
利用温度数据确定大范围地下水渗流速度和地层渗流系数	
.....地质部水文地质工程地质研究所	胡循森(183)
黄土塬区的抽水试验分析	
.....地质部水文地质工程地质研究所	曲焕林 范鹏飞 薛小钢 赵静珍
.....甘肃省水文地质一队	路瑞宗 刘梅
南苑抽水试验场试验结果.....冶金工业部成都勘察公司	刘光尧 赵任公(208)
基岩裂隙地区面积井群的地下水资源评价及其水位动态预报方程	
.....第四机械工业部勘测公司	施鑫源(210)
试谈弱透水层的给水性及其在平原区地下水资源评价中的意义	
.....河北地质学院水文地质工程地质系	孙伯益(217)
利用开采动态资料评价深层地下水开采量.....华北石油水电指挥部	陈国富(223)
非稳定流抽水试验求浅层水水文地质参数探讨	
.....河南商丘地区浅层地下水资源评价改关组	(232)
非稳定流抽水试验确定潜水含水层给水度的几个问题	
.....南京大学地质系	朱学愚(241)
浅层地下水大骨料井非稳定流抽水试验小结	
.....安徽省地质局323地质队	赵锡九(245)
潜水或浅层地下水给水度计算方法的探讨.....华东水利学院	叶水庭(251)
地下水资源评价中降雨下渗补给量的确定	
.....华东水利学院 钱孝星 曹万金 刘新仁	(255)
.....南京大学地质系 朱学愚	
岩溶泉典型径流曲线的建立及应用	
.....云南省地质局水文地质工程地质队	梁明川(260)
平原岩溶地区天然水潭水量评价的初步探讨	
——广西某厂找水的实践与认识.....广西水文工程地质队	郭光权(271)
大型井群抽水试验评价郭庄岩溶泉扩大开采的方法	
.....山西省水文工程地质勘探大队	姜世敏(277)
娘子关泉水流量的相关分析.....山西省地质局水文地质队	钱学溥(286)
相关分析在地下水资源评价中的应用体会与设想	
.....地质部水文地质工程地质研究所	范鹏飞(297)
多元非线性相关分析在地下水动态预报中的运用	
.....南京大学地质系 陈葆仁 吴俊奇	(304)
.....河北保定地下水观测站 任国治	

## 研究开采区地下水动态的数理统计方法

——逐步回归分析法……地质部水文地质工程地质技术方法研究队 杨树山(315)  
山东省桓台县水利局

山东省桓台县地下水回灌试验资料初步分析……山东省水文总站惠民水文分站(321)  
山东省地质局第二水文地质队

## 地下水资源评价中的R-C电网络模拟技术

……河北地质学院水文地质工程地质系电模拟组(329)

## 采用“电网络模型试验”进行地下水储量评价研究的几点体会

……武汉地质学院 陈明征(338)

## 解渗流问题的不规则网格电模拟-手算联用法(BDS法)

……北京市地质局水文地质工程地质大队 张宏仁 袁志梅(342)

## 井流流场特征与井流理论的关系

……地质部水文地质工程地质技术方法研究队 王绍强(346)

论“影响半径”……国家建委建筑科学研究院勘察技术研究所 陈雨孙(358)  
北京市地质地形勘测处 周长瑚

抽水曲线方程……贵州省地质局第一水文地质工程地质大队 陈科昶(363)

关于矿山地下水的计算问题……河北师范大学 陈藻平(367)

水文地质计算中一些问题的分析……冶金工业部长沙勘察公司 汪鉴江(373)

## 夹有弱透水层的两承压抽水含水层越流系统的数学模型及有限元解法

……地质部水文地质工程地质研究所 伍兆聪(378)

## 非稳定流的有限单元法中承压水析奇与潜水逐步析奇的一个方法

……长春地质学院 杨天行(389)

## 等参数有限元法在三维渗流问题中的初步应用

……南京大学 薛禹群 谢春红 戴水汉(399)

## 多层越流系统的数学模型及一种新解法

……地质部水文地质工程地质研究所 伍兆聪(409)

多个含水层中渗流问题的有限元分析……南京大学 薛禹群 谢春红 戴水汉(420)

潜水三维非稳定流的有限元分析……地质部水文地质工程地质研究所 朱锡冰(426)

承压水三维非稳定流有限元分析……地质部水文地质工程地质研究所 伍兆聪(435)

地下水流模拟中的强隐式法……煤炭工业部地质勘探研究所 李竞生(440)

解地下水不稳定渗流问题的不规则网格有限差分法……张宏仁 李俊亭(451)

## 二次有限元在地下水非稳定渗流理论中的应用

……地质部水文地质工程地质研究所 朱锡冰(459)

## 用有限元预报水位的方法与问题的分析

……第五机械工业部勘测公司勘测研究室 阮霖森(467)

## 地下水有限单元法计算中第一类边界( $\Gamma_1$ )变水位值的确定方法——BT法

……北京工业大学计算站 胡佩清(473)

利用有限单元法反求多层体系的导水系数……罗焕炎 陈雨孙 许广森(483)

地下水非稳定流的数学模型和算例.....	复旦大学 陈惠江	(490)
	上海市地质处 张景辉 孙曙光	
复杂含水层水文地质参数初值的确定.....	煤炭工业部地质勘探研究所	李谢淮(495)
线性规划在反求含水层参数中的应用		
.....	北京市地质局水文地质工程地质大队 张宏仁	唐宁华(500)
解地下水逆问题的数值方法述评.....	山东大学	孙纳正(506)

### 第三部份 一些具体地区的地下水资源评价及其问题的讨论

用比拟法估算松辽平原林甸幅(1/20万)新生界承压水开采资源		
.....	黑龙江省地质局第一水文地质队	谭世燕(515)
土左地区农田供水地下水资源计算与评价方法的探讨		
.....	内蒙古自治区地质局水文地质队	孙文承(523)
山西多字型构造盆地地下水资源评价.....	山西省煤田地质勘探公司	杨正贻(531)
甘肃地下水资源评价的现状概述.....	甘肃省地质局水文地质二队	(536)
董志塬黄土潜水资源评价探讨.....	甘肃省地质局水文地质一队	路瑞宗(539)
试用有限元法评价贞元地区地下水资源		
.....	陕西省地质局第一水文地质队 姜淑云	赵春兰(548)
江汉平原地下水资源评价与计算.....	湖北省地质局水文地质大队	朱庆贤(553)
区域普查地下水资源估算的水文地质统计方法(兼求江西含水层径流模数)		
.....	江西省地质局水文地质大队	高忠坛(557)
大地震对地下水资源的破坏.....	国家地震局地质研究所	王立功(560)
数值法在地下水资源评价中的应用		
.....	北京市地质局水文地质工程地质大队 唐宁华 胡淑琴 袁志梅	(564)
隐伏岩溶裂隙水评价一例.....	天津市地质处 (李凤忠执笔)	(568)
一水源地岩溶水的资源评价.....	江苏省地质局水文地质队	(577)
	地质部水文地质工程地质研究所	
西安市供水若干水文地质问题和扩大开采地下水资源的途径		
.....	陕西省地质局第一水文地质队 沈小珍 柯凌鹏	(585)
柳湾水源地基岩裂隙水开采资源评价.....	陕西省地质局第二水文地质队	刘祖植(589)
水城盆地岩溶地下水资源评价问题的研究		
.....	冶金工业部成都勘察公司	刘海冲(593)
用电厂施工排水试验成果对水源地水文地质参数和资源评价所作的初步分析		
.....	电力工业部东北电力设计院	金福录(600)
应用非稳定流理论评价潜水水资源的初步尝试		
.....	冶金工业部西安勘察公司 韩昌彬 曹树济 许恒革	(612)
一供水水源地承压水组资源评价方法的初步探讨		
.....	宁夏回族自治区地质局第一水文地质队 宗景礼 张纪祥	(618)
一干旱沙漠地区地下水资源评价的体会		
.....	冶金工业部西安勘察公司 杭鹏 曹树济	(624)



中小型山间河谷地区地下水资源评价方法及应注意的几个问题 .....冶金工业部沈阳勘察公司	宋巨田(630)
山区小河谷潜水资源评价及预测的初步探讨 .....第一机械工业部勘测公司	余刚(634)
向阳机械厂傍河取水几个问题的讨论.....第二机械工业部地质四队	符志元(637)
附:英文书名和目录.....地质部水文地质工程地质研究所	谢超凡译(640)

# 第一部分 地下水资源的概念、分类 及评价原则

## 不同类型地区地下水资源形成和 评价方法的若干问题

王 兆 馨

### 一、地下水的天然资源和开采资源

地下水是天然水循环中的一个组成部分。它能得到大气降水、地表水的补给而不断更新。一个地区地下水资源的丰富程度和可利用资源数量的大小，主要取决于补给条件和开采条件。首先应区分地下水天然资源和开采资源两大基本概念。

我们在1973年所写的一文<sup>[1]</sup>中已指出，地下水天然资源是指一个水文地质单元（区域的总体或单个含水层组）内在天然条件下接受大气降水、地表水直接或间接补给而形成的多年平均补给量。在区域水文地质普查工作中，就是以评价地下水的天然资源为重点的。

地下水开采资源，是指在经济合理的开采条件下，在开采过程中不发生水质恶化等不良地质现象的情况下，在开采期内有保证的可开采的地下水水量。地下水开采资源是与一定的开采方案紧密相联系的。应区别三种情况：（1）基本上未开发的地区。对适宜开采的地段，常采用平均布井法概略估算开采资源；（2）具有一定开采规模的地区。利用已开采地段的资料，结合工农业供水规划，评价开采资源，选择合理开发方案；（3）大规模普遍开采的地区。利用大量实际观测资料，结合现有开采方案或调整的开采方案，预测开采动态。

在一些情况下，计算贮存量也是必要的。地下水贮存量主要是容积贮存量。它是指含水介质中所贮存的重力水体积。对于潜水含水层来说，是指多年最低水位以下的重力水体积。在水源不足的情况下，允许动用一部分容积贮存量。对于多层承压含水系统，还存在弹性贮存量 and 弱透水层的给水量，在开采时可以获得一部分水量。

现将地下水资源（和贮存量）的组成部分及特征列于表1。

表 1

名称	主要控制因素	组 成 部 分	表示方法 (量纲)	评价主要目的	别名
天然资源	含水介质的空间分布, 导水性能, 补给排泄条件以及气象、水文、地貌等因素	以补给量表征, 主要包括降水和地表水的入渗量、来自相邻含水层的越流量等(如平原区); 以总排泄量表征, 主要包括排泄入河的地下径流量、泉水和地下河排泄量等(如丘陵山区、岩溶地区)	流量(L <sup>3</sup> /T); 径流模数补给模数(L <sup>3</sup> /T·L <sup>2</sup> )	研究在天然条件下地下水资源的空间分布及区域的水均衡, 评价其丰富程度及其在水资源中所占的定量比例关系; 为制定工农业远景规划、水资源统一规划和综合利用方案提供基础资料	天然补给量
开采资源	开采方案和开采动态; 其他因素与控制天然资源的主要因素相同	开采区内所截取的天然资源; 开采条件下形成的补充资源(来自相邻含水层越流增加量、地表水体诱导补给增加量、降水入渗增加量、夺取相邻地区的水量等); 人工补给量; 允许利用的一部分贮存量	流量(L <sup>3</sup> /T); 开采模数(L <sup>3</sup> /T·L <sup>2</sup> )	为地下水合理开发、开采动态预测以及水资源管理提供资料	可开采量
贮存量	含水介质的空间分布及给水能力等因素	容积贮存量; 弹性贮存量; 弱透水层给水量	总体积(L <sup>3</sup> ); 单位厚度贮存量(L <sup>2</sup> )	研究含水层贮水能力; 评价后备水源等	静弹性贮存量

## 二、不同类型地区地下水资源形成特点和评价方法问题

### (一) 以裂隙水为主的丘陵山区

这类地区的地下水, 主要赋存于风化裂隙、层间裂隙、构造裂隙和断裂带中。一般裂隙在浅部较发育, 随深度增加而减弱。地下水库容较有限, 调节能力不甚大。地下水接受大气降水补给后, 向邻近沟谷排泄或以泉的形式排泄。最终, 积极交替带的地下水大部分泄入当地的地表水系。

地下水天然资源可用地下径流模数表示, 其优点是可编制地下径流模数图, 便于进行区域的对比研究。现将位于不同气候带的几个省不同岩性地区的地下径流模数值列入表 2 中。从中可看出: 湿润地区与半干旱地区, 灰岩、松散岩类地区与碎屑岩、变质岩地区及地形较平坦与地形切割较强烈的地区, 相对来说, 前者年平均地下径流模数较后者为大。这反映出地下水天然资源与降水量、岩性和地貌等因素有着密切的关系。

在丘陵山区, 一般只对适宜开采的富水地段、山间河谷等局部地区进行开采资源的评价。

### (二) 岩溶水分布区

岩溶地区具有富水性极不均一、水位季节变化剧烈和地表水文网发育弱的特点。岩溶含水层常被一些自然边界分为具有独立的补给、径流和排泄的单元(或地下水流域)。

目前, 我国对华北地区的岩溶大泉和西南地区的地下河系研究得较为详细, 在地下水

表 2

气候带	地区及测流地点		岩 性	年平均地下 径流模数	备 注
湿润气候带	云南省北部	披 戛 站	玄 武 岩	2.5	为了便于对比, 还列出了孔隙水和岩溶水地区的数据 (根据有关省水文地质队的资料)
		新 华 站	红 色 岩 层	9.5	
	金沙江流域	大石房站	灯 影 灰 岩	10.5	
半 干 旱 气 候 带	陕 西 省	陕北黄土高原	梁 峁 区 黄 土	0.5—0.8	
			塬 区 黄 土	1.4	
		陕南山地	花 岗 岩	1.6	
			变 质 岩	1.1—1.3	
	山 西 省	六大盆地	松 散 岩 类	2—3	
		吕梁山区	碎屑岩、岩浆岩	0.5—1	
		五台山区	变 质 岩	1—2	
		太行山中南段	碳 酸 岩	3—5	
	河北省大清 河流域上游	阜 平 站	变 质 岩	1.7	
		涑源石门站	石灰岩、砂卵石	8.9	

资源评价方面积累了一些经验。集中参数系统的方法, 特别是数理统计方法是评价岩溶水资源的重要方法。近几年来, 在研究岩溶大泉的动态和评价天然资源的过程中, 逐渐认识了岩溶水资源形成的某些特点。例如, 采用系统理论方法研究了邯邢地区奥陶系灰岩中的黑龙洞泉群的动态<sup>[3]</sup>, 发现前33个月(约三年)的降水量均对某月份的泉流量有不同程度的影响。保定地区大清河上游的涑源泉群也有类似情况。根据河流水文图分解法求得的地下径流量与降水量建立的多元线性回归模型, 确定了降水对本区地下水的补给存在3—4年的调节作用<sup>[2]</sup>。太行山中、南段奥陶系灰岩岩溶水的多年调节, 是与补给区范围广、含水岩体的岩溶化程度较强及地下水库容较大等因素有关。这说明评价岩溶水资源时, 必须深入研究地下径流的形成过程、动态变化规律和多年调节问题。

华北地区的一些岩溶大泉, 多出露在山区与平原交界处, 主要靠山区岩溶潜水补给。可以通过工程设施, 使岩溶地下径流在时间上和空间上进行再分配, 以便在某一时期或某一地点获得所需要的可开采量; 而总的开采资源仍是以整个单元(或地下水流域)的天然资源来保证的。

西南岩溶地区地下河系甚发育, 甚至在集中降雨季节降水也主要都渗入地下, 迅速形成地下径流。地下河流量过程线可明显区分出汛期与非汛期流量, 一般分别计算各期的地下径流模数。地下河系不是孤立的, 而是与其周围岩溶裂隙密切相连。这种大型通道与网状裂隙构成的岩溶含水系统, 可视作双重介质系统。汛期后的退水过程反映了岩溶裂隙中水的相对缓慢流动, 这正是在非汛期的无降水月份地下河系不断流的原因。因此, 汛期接受的补给对非汛期退水过程有显著影响。忽视这一点, 只探求地下河系某月径流量与当月降水量的相关关系是不妥的。据此建立的数学模型所求得的结果, 常与实际资料有较大出

入。因此，必须根据地下水资源形成过程建立较为切合实际的数学模型。

地下河系的汛期流量也属于地下水天然资源的一个部分，应加以充分利用。地下河系的开采利用与地表河流开发利用有相似之处（如修建地下水库，调节和控制洪峰流量），并结合具体工程设施进行开采资源评价。

### （三）孔隙水分布的平原区

除山前地带为巨厚单层的砂、砾、卵石层外，多属于由各种砂层与弱透水层或隔水层相间组成的复杂的多层含水系统。评价地下水资源首先应分析地下水补给条件、补给来源，区别从平原的内、外补给区所获得的补给量。在不同条件下，内、外补给区的作用有所不同。例如，在西北干旱区的平原，外补给区起主要作用，其补给量约占总补给量的60—80%；在半干旱地区的黄淮海平原和松辽平原，内、外补给区均起重要作用。但在不同部位又各有主次之分：山前平原地带接受外补给区的补给量占的比重较大，如永定河冲积扇，山区补给占40%左右，降水入渗补给约占33%。冲积平原，则主要靠本地降水补给，如河北平原一些地区，降水入渗补给占60—70%。

平原地区水平径流很弱，主要是垂直方向上的水交替。一般在剖面上可分为浅层水、中深层水和深层水。浅层水包括潜水和浅部承压水，主要接受大气降水、地表水补给，水循环交替较强烈。开采中深层水，除靠含水层本身一部分天然补给外，主要靠上覆浅层水的越流补给，以及消耗含水层本身弹性贮存量和弱透水层的给水量。据估算，有的冲积平原地区，越流量约占开采量的60%。实际上，其中可能包括弱透水层的给水量。弱透水层的释水系数比承压含水层释水系数常常大一、二个数量级。在剖面上，弱透水层厚度常比砂层厚度大两、三倍以上，故弱透水层的给水量不可忽视<sup>①</sup>。深层水是在长期地质历史过程中形成的。深度愈大，水交替时间愈长，地下水的循环条件愈差。开采后主要消耗弹性贮存量，因而水头下降很快，且难于恢复。一般认为，浅层水开采方便，补给恢复快，人工补给和调节较经济合理，可视为开采和调节利用的主要目的层。

对平原地区地下水资源的评价，目前多采用分布参数系统的方法。在研究程度较高、有系统观测资料、条件较为复杂的地区，采用有限单元和有限差分数值解法和电模拟法。有时，也用集中参数系统的方法。从河南、河北等地区农田大面积地下水资源评价的经验可看出，对研究程度一般的地区，水均衡法是评价浅层水资源的重要方法。

在国内外的实践中<sup>[3]、[4]、[5]</sup>，采用水均衡法，分别在平面、剖面和时间上，划分出均衡区、均衡层和均衡期。在正确分析地下水主要补给来源及其形成特点的基础上，确定适于本区的地下水均衡式。利用水文气象及地下水动态观测资料、降水量与地下水补给量的相关关系、平均水位下降值与补给量（排泄量）的相关关系以及比拟法等确定均衡要素，估算地下水补给量及预测区内平均水位。由于一个地区地下水补给量主要受降水量影响，为了求得多年平均地下水补给量，常采用各典型年份（丰、平、枯水年）的加权平均值或平水年的地下水补给量作为其多年平均补给量。

在实际工作中，地区内地下水开采量很小或比补给量小一个数量级以上时，可近似以地下水多年平均补给量表征天然资源；当开采量与补给量处于一个数量级时，所求得的地下水补给量，除天然资源外，包括了补充资源，可以把多年平均补给量作为开采资源的

① “区域地下水研究中的定量方法”，《水文地质技术方法》，1972年，第一期，水文地质四大队主编。

最大保证量。

#### (四) 大型基岩向斜承压水盆地

以陕北-陇东盆地和四川盆地为代表。这两个盆地是由中生代沉积物组成的大型向斜承压水盆地。在盆地内存在着两种循环系统，一种是向当地河流排泄的地下水；另一种是通过向斜的区域地下径流。可利用补给区或排泄区的地下水均衡式评价天然资源<sup>[4]、[6]</sup>。

对不同类型地区地下水资源评价的主要方法，见表3。

表 3

评价方法	地区类型		岩溶水区		孔隙水分布的平原区		大型基岩向斜承压水盆地		简要说明	实例
	以裂隙水为主的丘陵山区		天然资源	开采资源	天然资源	开采资源	天然资源	开采资源		
	天然资源	开采资源								
集中参数系统的方法	水均衡法			+	+	**	+	**	适于均衡区边界较清楚地区	河南商丘、河北保定、北京地区
	河流水文图分割法及水文测流法	**		**	**				适于水系较发育地区	云南、山西
	数理统计法	+	+	**		**	+		有观测资料的地区	广西、河北
	系统理论方法	+		+					同上	河北峰峰
	水力学法		+		+		+	+	适于局部开采地段	陕西铜川
分布参数系统的方法	解析法	+	+	+	+	+	**	+	边界条件清楚、水文地质条件相对较简单地区	广泛采用
	数值法				+		**	+	边界条件清楚、条件较复杂、研究程度较高地区	河北、甘肃、北京
	模拟法				+		**	+	同上	天津宝坻、河北
其他方法	比拟法	+	+	+	+		+	+	适于研究程度较低的地区	水文地质普查中采用较多

注：\*\*示重要方法；+示一般方法

### 三、地下水和地表水的互相转化和综合利用问题

地下水与地表水经常有着密切的联系。在我国的一些自然单元内，地下水和地表水相互转化的规模是相当大的。现将几种主要类型的特征列于表4。

修建蓄、引、提水和人工补给地下水的工程设施能够改变地表水和地下水天然循环状况。如果在Ⅱ型的干旱区山前地带上游拦蓄地表水，则直接减少了对山前平原地下水的补给；在黄河下游地区引河水灌溉，可引起土壤盐碱化；在Ⅲ型地区，利用地下水与河水交替补给的特点，枯水期过量开采的地下水量，可从汛期岸边侧渗补给量获得补充。因此，必须针对不同类型的转化关系，统一规划和综合利用水资源。这方面的定量评价问题是十

表 4

类 型		水文地质单元	实 例	地下径流形成和分布特征
I	地下水常年补给型	丘陵山区	太行山区	降水入渗后, 主要形成裂隙潜水和岩溶裂隙潜水, 以泉和散流形式排泄于沟谷中, 构成地表水系平水期的补给来源和汛期的部分补给来源, 统称为排泄入河的地下径流 (基流)
II	河水常年补给型	干旱地区的山前地带	河西走廊	由山区冰雪融化和降水补给的山区河流, 出山口后, 大量渗入地下, 构成山前平原地下水的主要补给来源 (可达其补给量的 60—80% 以上)
		具有“地上悬河”的冲积平原	黄河下游地区	在黄河下游的冲积平原, 河床高出两岸几米, 河水侧渗补给地下水, 沿岸地带地下水位浅, 水量较丰富
III	地下水与河水交替补给型	一般平原区	渭河谷地	平水期两岸地下水向河流排泄, 汛期河水补给地下水, 其补给量决定于汛期河水水位高程和洪峰持续时间等
IV	暗流与明流交替出现型	湿润气候带岩溶强烈发育地区	广西地下河系	地下岩溶通道强烈发育, 降水大量注入地下, 在靠近分水岭的峰丛洼地多以暗流为主, 流向下游转为以明流为主。地下径流的季节性变化大

分重要的。

在区域地下水资源评价中, 应特别重视河流水文测流及现有气象、水文资料的充分利用; 注意不同研究程度地区地下水资源评价方法及其使用的经济合理性问题的研究; 加强地下水资源形成、包气带水份运移规律、弱透水层给水及深层水循环机理的研究; 同时应逐步开展人工补给条件下地下水资源评价方法、地下水与地表水相互转化的定量评价及水资源管理问题的研究。

### 主要参考文献

- 〔1〕 河北省地质局水文地质四大队: 1974, 地下水资源评价问题现状, 水文地质工程地质选辑 1, 地质出版社。
- 〔2〕 河北省地质局水文地质四大队, 河北大学数学系: 1976, 地下水天然资源评价方法的初步探讨, 水文地质技术方法, 第二辑, 地质出版社。
- 〔3〕 西安煤田地质研究所水文科研队, 武汉地质学院水工系科研组: 1977, 系统理论在研究黑龙洞泉动态中的应用, 水文地质技术方法, 第三辑, 地质出版社。
- 〔4〕 河北省地质局水文地质四大队: 1977, 陇东陕北承压水盆地几个基本水文地质问题的分析, 水文地质技术方法, 第四辑, 地质出版社。
- 〔5〕 UNESCO, 1972, An International Guide for Research and Practice, Groundwater Studies, Paris.
- 〔6〕 1975, Региональная оценка ресурсов подземных вод, “Наука”, М..

# 地下水资源的概念、分类及评价的基本原理

国家建委建研院勘察技术研究所

陈雨荪

建国以来,我国在供水水文地质勘察中,评价地下水资源,大多是采用普洛特尼柯夫(Н. Н. Ллотников)的四个储量的概念。经过多年实践的检验,普遍感到问题很多。将其归结到一点,就是计算的与实际开采的水量不符。这里,除了含水层的分布埋藏、补给排泄条件没有查清,水文地质参数测得不准确等原因外,储量的概念和计算的原理不能真实反映地下水的形成和运动规律,则是更为重要的一个原因。近年来,国内外提出了不少地下水资源或储量的概念和分类。概念和分类的不一致,也正反映了我们对地下水资源问题还未达到完全符合实际的认识水平。

地下水主要是受补给排泄条件所控制。如补给是周期性地进行,则地下水的动态也出现周期性的变化;如补给是持续、稳定地进行,则地下水动态也是稳定的。因此,研究地下水的资源或储量,必须密切地联系补给、排泄条件。本文试图在一定假设条件下,按常见的补给排泄类型建立数学模型,求得解析解。这些类型是:①下渗补给,水平排泄;②具常水位的地表水体的补给,水平排泄;③地表水体以常流量补给,水平排泄;④下渗补给,垂直蒸发排泄;⑤深层承压水或自流水的开采;⑥开采后补给量的增加。假定条件是:①含水层的几何形状是底板水平的、规则的均质六面体;②初始状态是静止的。从而期望能在以下几方面取得进一步的认识。即:①普氏四个储量的成因和性质;②储量、资源、开采量的区别;③地下水资源的概念和分类;④地下水开采的作用;⑤地下水开采量计算的基本原理等。

为了便于叙述,先将普氏三个储量的公式列出如下:

$$\text{静储量: } V_{\text{静}} = \mu V \quad (0-1)$$

式中:  $\mu$  为给水度;  $V$  为水位变动带以下的含水层体积。

$$\text{动储量: } Q_{\text{动}} = KIBM \quad (0-2)$$

式中:  $K$  为渗透系数;  $I$  为水力坡度;  $B$ 、 $M$  分别为含水层的宽度和厚度。

$$\text{调节储量: } V_{\text{调}} = \mu A(h_{\text{max}} - h_{\text{min}}) \quad (0-3)$$

式中:  $A$  为含水层面积;  $h_{\text{max}}$ 、 $h_{\text{min}}$  分别为地下水年最高和最低水位。

## 一、下渗补给的潜水

下渗补给是指通过含水层顶部垂直渗入含水层的一种补给方式,包括降水下渗、灌溉



水下渗，沟渠及河流水下渗等。现以周期性降水下渗补给为例，建立数学模型。

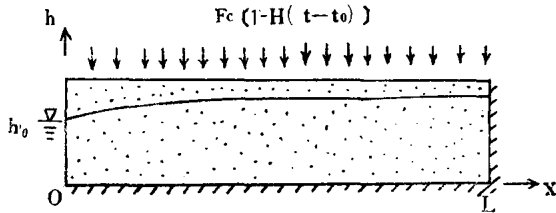
先假定含水层只接受一次历时为 $t_0$ 的降水下渗补给，有微分方程

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{2f_c(t)}{K} = \frac{1}{a} \frac{\partial h^2}{\partial t}, \quad a = \frac{K\bar{h}}{\mu} \quad (1-1)$$

式中的下渗率

$$f_c(t) = F_c[1 - H(t - t_0)]$$

$F_c$ 为单位面积下渗率，假定为常数； $H(t - t_0)$ 为单位函数（即在区间 $0 \leq t \leq t_0$ 为0，否则为1）； $\bar{h}$ 为平均动水位。其定解条件是：



$$h^2 = h_0^2, \quad t = 0 \quad (1-2)$$

$$h^2 = h_0^2, \quad x = 0 \quad (1-3)$$

$$\frac{\partial h^2}{\partial x} = 0, \quad x = L \quad (1-4)$$

图 1

$L$ 是含水层的长度。得解为：

$$h^2 = h_0^2 + \frac{32F_cL^2}{\pi^3K} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^3} \left\{ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2at}{4L^2}} - H(t-t_0) \left[ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2a(t-t_0)}{4L^2}} \right] \right\} \cos \frac{(2n-1)\pi(L-x)}{2L} \quad (1-5)$$

据式(0-2)及(1-5)得动储量

$$Q_w = \frac{8F_cBL}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2} \left\{ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2at}{4L^2}} - H(t-t_0) \left[ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2a(t-t_0)}{4L^2}} \right] \right\} \sin \frac{(2n-1)\pi(L-x)}{2L} \quad (1-6)$$

从而说明动储量是随断面位置 $x$ 和时间 $t$ 而变化。最大动储量出现在排泄面处，即

$$Q_{max} = \frac{8F_cBL}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \left\{ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2at}{4L^2}} - H(t-t_0) \left[ 1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2a(t-t_0)}{4L^2}} \right] \right\} \quad (1-7)$$

而 $Q_{max}$ 也就等于地下水的排泄量。而最小的动储量 $Q_{min}=0$ ，出现在分水岭 $x=L$ 处。式

(1-7)表明 $Q_{max}$ 也是因时而异的。故欲了解动储量和补给量的关系，需从以下两式着手：

$$\int_0^{t_0} Q_{max} dt = F_cLBt_0 - \frac{32F_cBL^3}{\pi^4 a} \left[ \frac{\pi^4}{96} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2at_0}{4L^2}}}{(2n-1)^4} \right] \quad (1-8)$$

$$\int_{t_0}^{\infty} Q_{max} dt = \frac{32F_cBL^3}{\pi^4 a} \left[ \frac{\pi^4}{96} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2at}{4L^2}}}{(2n-1)^4} \right] \quad (1-9)$$

相加即得一个补给周期的排泄量：

$$W = F_cBLt_0 \quad (1-10)$$

这恰与降水下渗的全部补给量相等。与此相似，也可推知，含水层任一断面的动储量的总