

56-581073

03783

供水水文地质手册

第三册

地下水资源评价



地质出版社

供水水文地质手册

第三册

地下水资源评价

《供水水文地质手册》编写组

地质出版社

供水水文地质手册

第三册

地下水资源评价

《供水水文地质手册》编写组

*

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：朱庆陞

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷

(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：850×1168¹/₃₂·印张：22¹/₈·插页：4个·字数：584,000

1983年3月北京第一版·1983年3月北京第一次印刷

印数1—12,370册·定价5.50元

统一书号：15038·新807

内 容 提 要

《供水水文地质手册》是机械工业勘测单位，结合我国供水水文地质勘测工作的特点，根据历年积累的资料和技术经验编写而成的。

全书共分三册：第一册为《常用数据资料》、第二册为《水文地质计算》、第三册为《地下水资源评价》。

第三册汇集了勘测工作中进行地下水资源评价时应建立的概念、各种水文地质条件和不同类型地区的评价方法及其原理、应用条件和部分示例。包括地下水资源分类及评价原则、地下水开采资源评价方法、地下水资源评价的电网模拟法、地下水资源评价的数值解法（有限差分法、有限单元法）、地下水资源的开发与保护等有关内容。

本手册可作为供水水文地质勘测人员的工具书，也可供基建单位、厂矿企业有关人员和大专院校有关专业师生参考。

本手册编写单位：

- 第一机械工业部勘测公司；
- 第二机械工业部第四设计研究院勘察大队；
- 第二机械工业部地质四队；
- 第三机械工业部勘测公司；
- 第四机械工业部勘测公司；
- 第五机械工业部勘测公司；
- 第六机械工业部勘测公司；
- 第七机械工业部第七设计院勘测队。

《供水水文地质手册》编写人员：

施鑫源 阮森森 王世杰 柳宗铎 石松山 赵福顺 王瑞玉 马永才 曹慧清

手册总审校

常士骥 施鑫源

前 言

建国三十年来，我国的供水水文地质勘测事业，取得了可喜的进展。通过大量的工程实践，积累了丰富的经验和资料。为了交流经验，便利生产实践，我们根据机械工业供水水文地质勘测的特点，在总结历年经验的基础上，汇集了国内外有关资料和数据，编写了这套《供水水文地质手册》。

在编写本手册时，我们力求能比较全面地反映出地下水资源评价的各种方法，同时对理论概念及方法原理和实用条件相应作了扼要介绍，以利在工程实践中有所参考。

编写本手册时，曾得到全国供水水文地质勘察规范编制组、国家建委建筑科学研究院勘察技术研究所、北京市地质地形勘测处、长春地质学院、南京水利科学研究所、北京大学、武汉地质学院、上海勘察院、河北地质学院、武汉水利水电学院、北京师范大学、北京钢铁学院、北京工业大学计算站、国家地震局地质科学研究所、山东大学、北京水文一大队、上海地质处水文大队、水文地质工程地质研究所、煤炭研究所水文室、南京大学、广西水文地质队、冶金部沈阳勘察公司、内蒙古自治区水文地质队、陕西省地质局第二水文地质队、河北省地质局水文地质大队、天津市地质处等有关单位的大力协助，及如提供资料和编写建议、修改审阅等等，在此一并致谢。对于为《手册》审稿付出劳动的张蔚榛、陈雨孙、罗焕炎、周长瑚、于光仪、陈铭佑、孙讷正、张宏仁、陈铭征、胡佩清、等同志我们深表谢忱。

由于水平所限，时间匆促，其中定有不少缺点和错误，敬请批评指正，以便再版时修订更正。

《供水水文地质手册》编写组

目 录

第一章 地下水资源的概念及评价原则

第一节 地下水资源评价的现状	1
一、地下水资源分类存在的问题	1
二、几个常用公式的分析	3
(一) 达西断面流量公式	3
(二) 普洛特尼科夫公式	4
(三) 布西涅斯克公式	6
(四) 阿里托夫斯基干扰系数公式	7
(五) 傍河取水计算公式	8
三、地下水资源评价的主要经验	9
第二节 地下水资源的概念	11
一、补给量、储存量和消耗量	11
(一) 补给量的概念	11
(二) 储存量的概念	13
(三) 消耗量的概念	14
二、补给量、储存量、允许开采量之间的相互 关系	15
(一) 补给量与允许开采量的关系	15
(二) 补给量与储存量的关系	16
三、允许开采量的组成和扩大开采的途径	16
第三节 地下水资源评价原则	19
一、地表水和地下水是水资源的两个方面，它们 是互相转化的	19
二、充分利用储存量的调节作用，以丰补歉	20
三、开采方案必须因水文地质条件和不同供水	

目的而异	20
四、要区分浅层地下水与深层地下水的不同特点	21
五、要充分重视开采后补给和消耗发生的变化	21
第四节 补给量和储存量的确定	22
一、补给量的确定	22
(一) 用雨量资料推求补给量	22
(二) 用水动力学法计算补给量	27
(三) 用水文分析法计算补给量	33
二、储存量的确定	35
(一) 潜水含水层的储存量计算	35
(二) 承压含水层的储存量计算	35

第二章 地下水开采资源评价方法

第一节 地下水开采资源评价的常用方法	37
一、	37
(一) 补偿疏干法	37
(二) 资源平衡法	44
(三) 开采强度法	61
(四) 漏斗均衡法	72
(五) 相关分析法	82
(六) 水量均衡法	99
(七) 平均布井法	109
(八) 系统理论法	117
二、	127
(一) 开采抽水法	127
(二) 试验推断法	132
(三) 降落漏斗法	135
(四) 大井计算法	138
(五) 多因素分析法	140
(六) 允许开采模数法	145
三、地下水文分析法	155
(一) 地下径流模数法	155

(二) 流量过程线切割法	158
(三) 频率分析法	161
(四) 岩溶截流总和法	178
(五) 泉水动态分析法	183
(六) 泉群补偿疏干法	195
(七) 泉水水量均衡法	198
(八) 泉水消耗系数法	200
四、水文地质比拟法	203
(一) 降深比拟法	203
(二) 下降系数比拟法	209
(三) 降雨渗入系数比拟法	211
(四) 开采模数比拟法	214
(五) 泉群最小流量比拟法	215
第二节 地下水资源评价的电网模拟法	217
一、电网模拟的基本原理	219
(一) 电阻网模型法	220
(二) 电阻-电容模拟法 (又称电阻-电容网络模拟机)	223
(三) 电阻-电阻网模拟法 (又称电阻-电阻网络模拟机)	224
二、电阻网模型试验的组成和实验方法	226
(一) 电阻网模型的装置和测量仪器	226
(二) 电阻网模型试验的布置	228
(三) 电阻网模型试验所需基本资料	247
(四) 电阻网模型试验的方法和资料整理	248
三、电阻-电容网络模拟机组成和实验方法	255
(一) 电阻-电容网络模拟机组成	255
(二) 电阻-电容网络模拟布置	256
(三) 电阻-电容网络模拟所需资料	262
(四) 电阻-电容网络模拟机的试验方法	263
四、电阻-电阻网络模拟机组成和实验方法	263
(一) 电阻-电阻网络模拟机组成	263
(二) 电阻-电阻网络模拟试验的布置	265

(三) 电阻-电阻网络模拟机试验所需资料.....	267
(四) 电阻-电阻网络模拟机的试验方法.....	268
(五) 资料整理	269
五、实例应用	269
(一) 青海引胜沟地区地下水资源评价的电阻网模型 试验	269
(二) 下仓地区地下水资源评价的电阻-电容网络模拟 试验	288
(三) 均质无界含水层单孔抽水模拟试验	299
第三节 地下水资源评价的数值解法	303
一、有限差分法	303
(一) 有限差分法基础	303
(二) 有限差分法的几种解法	308
(三) 有限差分的线性代数方程组解法	331
(四) 水文地质参数确定方法	334
(五) 地下水的水位预报及资源评价	338
(六) 有限差分法对勘探和数据资料的要求	341
(七) 计算示例及源程序	343
二、有限单元法	385
(一) 地下水非稳定流的数学模型	388
(二) 区域剖分与 $h(x, y, t)$ 的分片插值	399
(三) 渗流区域节点方程的建立	403
(四) 关于常微分方程组化为线性代数方程组	434
(五) 地下水水位预报	442
(六) 反求参数	443
(七) 求开采量及有关评价问题	447
(八) 对水文地质数据、资料及勘探工作的要求.....	448
(九) 示例	450
(十) 源程序	462

第三章 地下水资源的开发与保护

第一节 地下水区域性持续下降和过大下降的防止	490
------------------------------	-----

一、地下水区域性下降的危害及产生的原因	491
(一) 地下水区域性持续下降的危害	491
(二) 地下水区域性持续和过大下降的原因	492
二、地下水位区域性持续和过大下降的预防	493
(一) 统筹兼顾, 全面规划	493
(二) 改建水源地, 增大补给量	493
(三) 调整开采量, 合理利用地下水	496
第二节 地下水源的污染及水质恶化的防护措施	496
一、污染源与污染途径	497
(一) 污染物及来源	497
(二) 造成地下水污染的原因及其途径	497
二、形成地下水污染的地质条件	518
三、地下水污染的危害	523
四、开采过程中的水质恶化	528
(一) 不同成分水的混合	528
(二) 含水层的水动力条件改变对地下水质的影响	530
(三) 包气带金属矿物氧化产物的进入	531
(四) 引水工程本身对水质的影响	532
(五) 其它	532
五、开采利用过程中水质恶化的估算	532
(一) 考虑上层水被疏干时水质恶化的估算	533
(二) 考虑上层水有持续补给时的估算	539
六、地下水源污染防治的环境水文地质工作	555
(一) 基本情况调查	555
(二) 环境水文地质调查研究与勘探	555
(三) 样品采集及水样的化验项目	556
(四) 开展地下水动态观测	557
(五) 编写调查报告	557
七、地下水源的保护	557
(一) 治理工业“三废”是防止地下水污染的根本途 径	557
(二) 城市建设必须充分考虑水文地质条件	563

(三) 建立地下水监测站	563
(四) 加强对地下水资源的保护与管理	566
(五) 用人工回灌方法治理地下水污染	567
(六) 防止不同成分水的混合	567
(七) 掌握水盐平衡的方向, 造成有利于水质淡化的 水动力与水化学条件	568
(八) 污染水垂直渗透的堵引	569
第三节 地下水资源的开采与地面沉降 (地面塌陷)	
的关系及其防治	571
一、地面塌陷的形成与防治	571
(一) 塌陷产生的原因	571
(二) 塌陷分布的基本规律	572
(三) 减少塌陷的途径	573
(四) 预测塌陷的方法	575
(五) 塌陷的处理	578
二、地面沉降与开采量的关系	579
(一) 控制地面沉降的方法	580
(二) 增加地下水补给量, 灌采结合, 控制地面沉降	580
(三) 合理开采控制地下水水位	583
(四) 开采深层地下水	583
三、地面下沉量的计算	584
第四节 地下水的人工补给	586
一、人工补给地下水的目的及条件	587
(一) 人工补给地下水的目的	587
(二) 进行人工补给地下水时应注意的基本条件	587
二、人工补给地下水水源的水质要求	588
(一) 管井回灌水源的水质标准	588
(二) 不同水质对回灌试验的效能	588
三、人工补给地下水的类型	592
(一) 地面渗水补给	592
(二) 诱导补给	599
(三) 地下灌注渗水补给	599

四、管井回灌的回灌量	601
(一) 单井回灌量的分析	601
(二) 压力回灌有三种不同的进水方式	604
五、人工补给的回扬问题	606
(一) 含水层岩性对回灌量变化的影响	606
(二) 几种不同回灌与回扬方式的对比	608
(三) 回扬水的水质分析	614
(四) 回扬次数和回扬时间的确定	615
(五) 回扬的方法	616
六、管井回灌中出现的问题及处理方法	617
(一) 回灌井的堵塞	617
(二) 回灌井水质变坏	626
(三) 回灌井出砂	627
七、人工补给地下水的的作用与经济效益	629
(一) 增加地下水的淡水补给源	630
(二) 稳定地下水位, 控制地面沉降	630
(三) 改变地下水温度, 为工厂提供冷、热源	631
(四) 改变地下水的水质	633
(五) 防止或减少海水入侵含水层, 污染地下水	637
(六) 保持地热水、天然气和石油地层的压力, 增加有效生产能力	639
八、管井回灌的动态观测及资料整理	640
附录 数学基础	642

第一章 地下水资源的概念 及评价原则

第一节 地下水资源评价的现状

一、地下水资源分类存在的问题

在我国水文地质勘测中，曾经广泛采用普洛特尼科夫的储量分类，即：静储量、动储量、调节储量和开采储量。这种分类法二十多年来在我国地下水资源评价工作中起过一定的积极作用，但在使用中也有一些混乱现象，说明这种分类方法，并不能很好适应地下水资源评价的需要。

(一) 储量的含义，应该是在一定的空间内储存的物质数量，是一个相对稳定的量。但地下水不同于固体矿产，它具有流动性，也不同于液体矿产（如石油），它还有恢复性。地下水在岩石空隙中，除了占有空间外，还有随着时间不断变化的补给和消耗，所以储量这个名词，并不能反映地下水这种密切联系于补给和排泄的现象。

(二) 动储量和调节储量的实质都是天然补给量，只是表现形式不同。动储量即天然的断面流量，按其性质应为流量而非储量，其计算公式采用达西定律：

$$Q = KBIH \quad (1-1-1)$$

此式只是简单地表达某时某地地下水的天然流量，并未反映地下水流量随时间和地点的变化。习惯上往往把一条断面上计算出来的某一时间的动储量当作整个含水层的任何时间的动储量，很明显，这样计算是不合理的。从达西定律可知，水力坡度 I 和含水

层厚度 H 均非常数，它们是随补给条件、排泄条件、断面所在位置和时间的不同而变化的，所以动储量不是常数，它也是既随时间又随所取断面位置的不同而变化的。就潜水而论，地下水流程的增长，一般意味着补给面积的扩大，从而接受降雨渗入的量愈多。当断面取在地下水分水岭处，地下水流程为零，补给面积为零，此时没有补给量也没有排泄量，动储量为零。当断面沿流程向下游移动，补给面积逐渐增大，故动储量 Q 也随着增加。在一定条件下，当流程到达排泄基准面时，补给面积达到最大，从而获得最大的动储量，而且恰好等于此处地下水的排泄量。在这种情况下，如果没有其他排泄途径，利用排泄基准面处的动储量（即排泄量），即可反推整个含水层的补给量。

关于调节储量，习惯上的含义是指一个水文年中最高水位和最低水位之间的地下水体积。众所周知，当降雨渗入开始以前，含水层地下水处于最低水位，在接受降雨补给后，地下水位逐渐升高，当降雨补给終了后的某时刻，地下水位升到最高点。但这时的最高水位的高度并非到处一样，它也是随地下水流程而变化的。应该指出，在大多数情况下，调节储量并不代表全部含水层的补给量，而只代表补给量的一部分。这一部分补给量，是在降雨补给期还没来得及排泄完而积储在含水层中的，一俟补给期終了，它又以动储量的形式继续排泄。这时调节储量实际上是动储量的一个组成部分，即动储量中包括了调节储量。可是普氏储量分类却把动储量和调节储量并列起来，而且没有说明两者之间的关系，这样使人在使用中就容易把两者孤立开来，甚至把它们叠加在一起作为地下水的开采储量。显然，这就会导致结论的错误。

（三）普氏把年最低水位以下地下水的体积称为静储量。似乎这块水体积是静止不动的。但是从运动角度看，真正的“静储量”应是低于当地排泄基准面的地下水体积。实际上的所谓“静储量”，并不是一个静止的水体积，而是一个水文气象周期内的最小储存量。而且当补给或排泄条件变化时，其体积也跟着发生

变化。所以在稳定持续补给条件下，根本不会出现什么静止不变的静储量。除非最低水位的变化不是周期性的变化，而是始终向水体积减少的方向变动，当含水层的水位下降到与排泄基准面一致时，地下水停止运动，水体积也不发生变化，这时才符合“静止”的概念，当然，这是一种排泄基准面不变动的特殊条件下所反映的概念。

(四) 开采储量是指从含水层中取出的水量，它并非储量。它是一个与地下水资源条件所允许的且与开采方案密切联系的具有量纲为 L^3/T 的量。开采储量既不应该与动储量、静储量、调节储量并列，更不是三者叠加的结果，它与三者有密切联系，并且与开采设施的类型、位置、数量及开采方案有关。用天然状态下获得的四类储量，实际上无法确切评价开采量的保证程度，因为在开采条件下，补给排泄的关系往往会发生很大的变化。所以沿用天然状态下的开采储量的概念是无法探求补排关系变动下的开采量的。

(五) 评价地下水资源，应考虑到地下水作为地球水圈的一部分，它与大气层、地表水、包气带存在密切的联系并在一定条件下互相转化。在许多场合下应考虑各种水源的综合利用问题。对于存在多层含水层的越流系统和多相流体受渗流场和温度场控制的地热储层的水热系统，以及矿物质-地下水-污染物（包括气体、细菌）复合体受渗流物、化学物控制的含水层系统，在对各相流体的水量评价的同时必须定量评价含水介质的结构变化和水的物理和化学性质（主要指水温和水质）。

概括地说，地下水资源评价就是在一定的经济技术开采条件下，论证水位不超过允许范围、水量不发生减少、水质不恶化、水温不致不合标准的最大开采量，同时还要对水位、水质、水温的变化情况作出预测。

二、几个常用公式的分析

(一) 达西断面流量公式

如式(1-1-1)所示，为

$$Q = KBH I$$

式中 K ——透渗系数 (米/日) ;
 B ——含水层宽度 (米);
 H ——含水层厚度 (米);
 I ——水力坡度。

使用式 (1-1-1) 的假设条件是地下水为平面稳定流, 含水层均质等厚。

达西公式主要用来评价断面流量。使用该公式计算的水量一般均偏小, 实际开采量常成倍地超过它, 导致这一偏差的因素很多:

1. 达西公式只能用来计算水平补给量, 但是自然界中实际上经常是有垂直补给的, 特别是对大面积的区域来说, 边界相距很远, 垂直补给量常常比水平补给量大很多 (平原地区尤为明显)。因此, 单用达西公式计算的数据就会得出偏小的结论。

2. 现行的抽水试验和计算方法, 特别是在单孔抽水的条件下, 常得到偏小的渗透系数 K 值, 也造成算得的断面流量偏小。

3. 水源地在长期开采条件下, 随着时间的推移, 当抽水影响范围波及到补给边界时, 不可避免地会改变原有的补给、排泄关系。常见的情况是, 使原来的补给量增大, 一部分天然排泄量被袭夺, 并转化为开采量。因此, 实际开采量往往大于原来计算的断面流量。

(二) 普洛特尼科夫公式

$$Q = eB \frac{Q_0}{2R} \quad (1-1-2)$$

式中 Q ——开采量 (米³/日);
 e ——经验系数, 采用2—5, 一般取3;
 B ——含水层宽度 (米);
 R ——影响半径 (米);
 Q_0 ——单井出水量 (米³/日)。

此公式是评价断面流量和开采量的经验公式, 使用时无须已

知渗透系数 K 值，就能比用达西公式求得更多的开采量，所以在供水水文地质计算上直到现在还被广泛地应用。但是，利用式 (1-1-2) 不仅理论上没有足够的依据，实践结果也常常得出偏大的数据，因此是不能用来对地下水的断面流量作出正确评价的。

普氏认为在无限延伸的承压含水层中，单井抽水的单位宽度地下水流量可用下式表示

$$q = \frac{Q}{E} \quad (1-1-3)$$

式中 q —— 单位宽度的地下水流量 (米³/日·米)；

Q —— 出水量 (米³/日)；

E —— 补给带宽度 (米)。

(1-1-3) 式的实质，即表明井孔出水量和断面流量之间的关系；通过井孔出水量、补给带宽度即可求出单宽的断面流量，这是正确的。但是普氏所说的补给带宽度必须利用许多观测孔的资料，绘制成等水头曲线才能确定，这在一般情况下是不易作到的，因而普氏建议用 (1-1-2) 式代替 (1-1-3) 式。这种代替实质上是用影响半径代替补给带宽度。即令

$$2R = eE \quad (1-1-4)$$

由于这一代替，普氏承认，计算的结果可产生 50% 的误差。众所周知，补给带宽度是有限的，而影响半径实际上是无限的，两者在理论上不发生任何本质联系，因而公式 (1-1-2) 在理论上是缺乏根据的。另外，野外勘测中实测影响半径的较少，常按经验公式计算，因而产生下列几个问题：第一，一般计算影响半径的公式毫无例外地都包含着渗透系数 K 值。如已知 K 值，即可用达西公式求出单位断面流量，公式 (1-1-2) 就成为多余的。第二，一般计算影响半径的经验公式如最有代表性的库萨金公式和奚哈尔特公式

$$R = 2S\sqrt{KH} \quad (1-1-5)$$

$$R = 10S\sqrt{K} \quad (1-1-6)$$