3563
13477.1
T. 3

689027

中等专业学校试用教材

水文地质学

(三)

应用水文地质学



地质出版社

统一书号：15038·教45
定　　价：1.70　元

中等专业学校试用教材

水文地质学

（三）

应用水文地质学

西安地质学院　主编

地质出版社

水文地质学

（三）

应用水文地质学

西安地质学院　主编

*

地质部教育司教材室编辑
地质出版社出版
（北京西四）
沧州地区印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年11月北京第一版·1979年11月北京第一次印刷
印数1—5,490册·定价1.70元
统一书号：15038·教45

前　言

从前，这门课程叫做《专门水文地质学》或《地下水的普查与勘探》。我们认为这样命名不够确切，专门是对普通而言，勘探不是应用。就其内容来说不够全面，很少涉及开采过程中出现的问题，如大面积水位下降（包括引起的地面沉降）及水质恶化（包括污染）问题等；另一方面重复过多，如水文地质调查在各类供水中都讲，实际上这部分内容大同小异，我们把这部分内容统一放在《水文地质基础及水文地质调查》这本书里面了。

关于地下水的开发利用以及对地下水的防护方面，目前在我国主要是供水和排水这两方面工作量最大。供水方面主要是城市供水、厂矿企业供水和农田灌溉供水。排水方面主要是矿山排水。但是其他方面的开发和防护：如热水、矿水、肥水的开发利用，以及由于利用地下水而产生的大面积水位下降、水源污染、水质恶化、次生盐碱化和沼泽化、地方病及环境地质等的调查研究，也都在迅速地开展。特别是在应用过程中所出现的问题，以及如何处理这些问题，也是水文地质工作者的任务。因此，我们把本教材命名为《应用水文地质学》。

本教材共分七章，一至六章由西安地质学院编写，第七章由湖南地质学校编写。第一章地下水蕴藏量的分类和评价；第二章地下水的合理开采与利用；第三章地下水合理开采的水质问题；第四章地下水资源保护；第五章土壤盐碱化和沼泽化及其防治；第六章地下热水及其综合利用；第七章矿区水文地质。这样做是一种尝试，可能有很多不妥之处，加之编写的同志水平有限，错误在所难免，希望读者提出指正，以便修改。

编　者

一九七九年三月

目　录

第一章　地下水蕴藏量的分类和评价……（1）
第一节　地下水蕴藏量的性质和分类……（1）
第二节　地下水天然蕴藏量的性质和计算……（2）
第三节　地下水开采量的性质及组成……（8）
第四节　地下水开采量的计算与评价……（13）
第二章　地下水的合理开采和利用……（86）
第一节　合理开采地下水的方法……（87）
第二节　恢复和增大水井的出水量……（98）
第三章　地下水合理开采的水质问题……（115）
第一节　饮用水水质评价……（115）
第二节　工业用水水质评价……（122）
第三节　农业灌溉用水水质评价……（136）
第四章　地下水资源保护……（145）
第一节　区域地下水位下降的防治……（145）
第二节　地下水水质恶化及其防治……（151）
第五章　土壤盐碱化和沼泽化及其防治……（156）
第一节　土壤盐碱化及其水文地质防治措施……（156）
第二节　沼泽的成因及其改造利用……（167）
第六章　地下热水及其综合利用……（178）
第一节　地热的基本知识……（178）
第二节　地下热水……（182）
第三节　中国的地下热水资源……（186）
第四节　怎样寻找地下热水……（195）
第五节　地下热水综合利用简介……（204）

第七章　矿区水文地质 …… (206)
第一节　矿床充水因素 …… (206)
第二节　矿床水文地质分类 …… (219)
第三节　不同类型矿床的水文地质
特征及勘探要求 …… (224)
第四节　矿床不同勘探阶段的水文地质工程地质
工作要求和内容 …… (249)
第五节　矿坑涌水量预测 …… (259)
第六节　矿坑水的疏干方法及防水措施 …… (315)
第七节　矿坑水的综合利用 …… (331)
第八节　资料整理和报告的编写 …… (333)

第一章　地下水蕴藏量的分类和评价

近些年来，许多水文地质工作者都用“资源”一词来说明地下水的蕴藏量，而将沿用已久的“储量”一词逐渐趋于抛弃。主要是因为地下水具有流动性，它的蕴藏量不仅表现在储存方面，也表现在运动方面，并且具有可变性质。“储量”一词似乎不能确切地反映地下水蕴藏量的性质。然而，用“资源”一词来说明地下水的蕴藏量，函义更不明确，因为“资源”一词的函义很广，它的主要函义还不是量，而是质，即利用价值。例如：森林、土地、矿产、水利电力等都是资源，地下水当然是资源，这主要是因为它们都有可使人们利用的价值。而利用价值首先是由质来决定的，其次才是量。因此用来说明地下水蕴藏量的多少，“资源”一词的缺陷远比“储量”一词的缺陷大得多。实际上，人们在过去也并非简单的应用“储量”一词，在具体应用时人们早已创造出“动储量”、“静储量”、“调节储量”等词来说明地下水蕴藏量的特殊性。实际上“储量”一词的缺陷早已得到了弥补。所以，在水文地质科学发展的现阶段上，提出废弃“储量”一词而另立“资源”一词，还为时过早。

第一节　地下水蕴藏量的性质和分类

地下水是在一定的地质条件和气候条件下，在不断补给和不断消耗的对立发展运动中形成的，补给和消耗的矛盾斗争贯彻地下水形成过程的始终。因此，它与固体矿产不同。它的蕴藏量不仅表现在占有一定空间的储存方面，还表现在随时间而运动的变化方面。

因此，地下水的蕴藏量有以下四种性质。

（1）地下水的存在都占有一定空间，具有储存的性质，表现为储存量。在这方面，与固体矿产和液体石油的储量的性质是相同的。

（2）地下水是流体，具有流动性质，表现为径流量。在这方面与固体矿产不同；固体矿产没有径流量。石油虽然是流体，但其流动性只有在开采时才显著的表现出来。

（3）地下水始终处在不断补给和不断消耗的新旧交替过程中。补给和消耗的矛盾发展是不平衡的，它的数量随时间而周期的变化，具有调节性质，表现为调节量。在这方面，与固体矿产和液体石油都不相同，是地下水蕴藏量的特点。

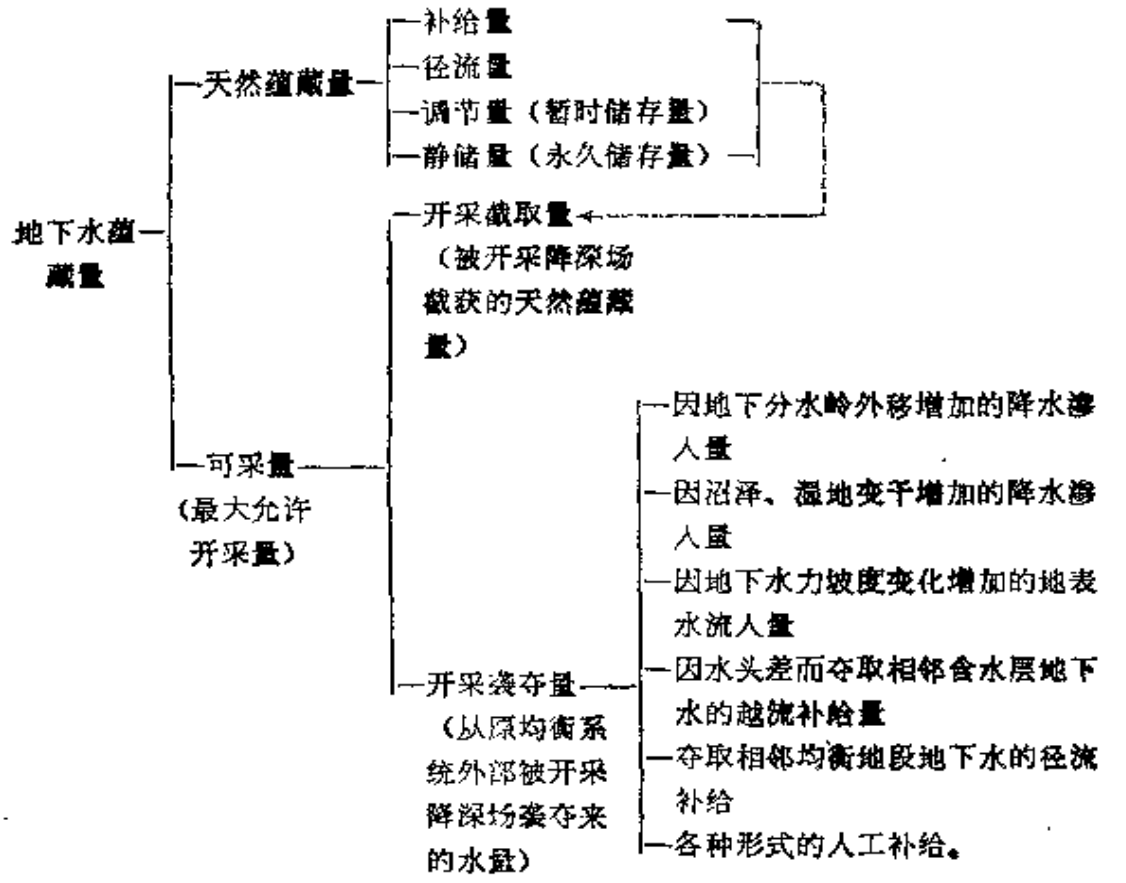
（4）人工开采地下水时，补给和消耗之间的矛盾发生激化，引起补给作用加强，使矛盾向着适应开采的方向发展。开采量只要不超过某种限度，地下水量由于有补给而并不显著减少；停止开采后，水量和水位又都能自动地恢复。地下水的数量具有自动补偿的性质，表现为天然补给量和开采袭夺补给量。在这方面，与固体矿产和液体石油都不相同，是地下水蕴藏量的另一特点。

因此，地下水的蕴藏量是从储存性质、流动性质、调节性质、恢复性质四个方面来表现的。一个地区地下水蕴藏量的多少必须从这四个不同的方面来衡量，而可供开采的水量有多少，除了这四个方面外，还要从人们开采地下水的能力方面来衡量。缺少哪一方面都不能全面说明地下水的量。

根据地下水蕴藏量的性质，结合人工开采条件，可将地下水的蕴藏量分类列如后页表。

第二节　地下水天然蕴藏量的性质及计算

天然蕴藏量就是在天然条件和状态下计算地段（或计算单元）所蕴藏的地下水量。它表现在以下几个方面。



一、天然补给量

天然补给量是指在天然条件和状态下单位时间进入计算地段含水层的水量，单位用米^3/昼夜或米^3/年表示。构成天然补给 量的通常有以下几项。

1．降水渗入量；

2．地表水渗入或流入量；

3．来自相邻地段的地下水流入量；

4．来自相邻含水层的地下水越流量。

所以，天然补给量就是在天然条件和状态下地下水的各种收入量，它是表示地下水的自动恢复性质的一个量。当含水层的地下水被不断取用（支出）时，全靠补给量来补偿；而当停止取用后，又全靠补给量来恢复。

天然补给量明显地受气候变化和地质条件的制约，所以它随时间有很大的变化。雨季或丰水年补给量增多，旱季或枯水年补

给量减小。这种变化是引起含水层内部水量变化的主要原因。

人工开采地下水并非直接取自补给量，而是直接取自含水层内部的储存量。补给量转化为储存量。而储存量也只能转化为流向取水构筑物的径流量才能被取出来。所以，补给量是蕴藏在计算地段一定气候条件和地质条件下的一个代表补给能力的量。人工开采地下水时，天然补给量可以全部转化为开采量，但在一些情况下，由于种种原因只是部分天然补给量转化为开采量，其余的部分仍按天然方式消耗。例如蒸发、径流消耗等。在制定取水方案时，应当合理而又最大限度地截取由补给量转化来的天然消耗量。

正因为天然补给量是蕴藏在计算地段一定气候条件和地质条件下的一个代表地下水补给能力的量，而不是已经储存在含水层中的水量，所以在过去的地下水储量分类中，补给量不作为地下水储量考虑。然而，在现代水文地质计算中，补给量已成为表示地下水蕴藏的数量多少的一个十分重要的量。不仅有天然补给量，人工开采地下水时还能够夺取得到更多的补给量。从大气水、地表水同地下水相互转化的关系来看（这种转化关系是计算与评价地下水量不可忽视的），补给量是地下水蕴藏量的一种。只是这种蕴藏量并非直观的蕴藏在含水层内部（储存），而是蕴藏在含水层系统以外。但它与含水层有联系而又必然能进入含水层中，并且是可以被开采的。如果地下水蕴藏量中不包括补给量，那么在河流岸边打井，开采地下水时，来自河水补给的那部分开采水量，也就自然不应算作地下水蕴藏量。然而，实际上它是地下水蕴藏量。所以，我们把补给量也算作地下水蕴藏量。

二、天然径流量

天然径流量就是流经含水层过水断面的地下水天然流量。单位以米^3/昼夜或升/秒表示。在以前，人们习惯上常把天然径流量称为动储量（见图1—1A）

径流量是含水层地下水从补给向消耗的转化过程中以运动形式表现出来的水量，它表示地下水交替作用的强度。在不稳定的

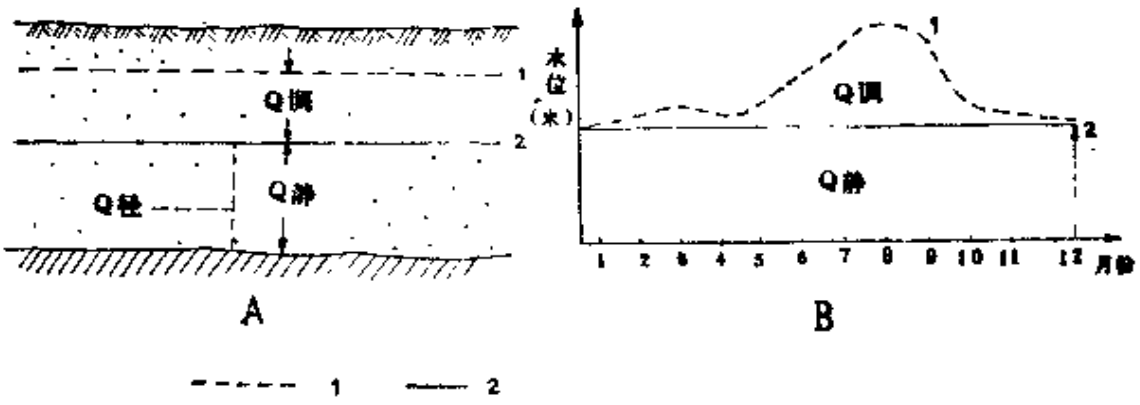


图 1—1 调节储量、径流量与静储量

1—年最高水位；2—年最低水位。

天然流场中，含水层各个过水断面的径流量是不相等的。所以径流量都是一定过水断面的地下水流量。径流量是在含水层上下游水位差的作用下形成的；水位差是由补给和消耗的矛盾引起的。随着补给和消耗的矛盾发展，上下游水位差的变化，同一断面的地下水径流量也是随时间而变化的。

人工开采地下水时，随着人工开采流场的形成和发展，天然径流量将变为适应开采的径流量

所以，在有明显人工开采降深场的情况下，拿天然径流量作为开采量的保证的水量评价办法显然是不适宜的。但在没有明显开采降深场的情况下，例如泉水的利用，岩溶地下河水的利用，是可以利用天然径流来评价开采量的。

计算方法：径流量（$Q_{径}$）

$$Q_{径}=KI\omega=K\cdot I\cdot H\cdot B \qquad (1—1)$$

式中：K——计算区含水层平均渗透系数（米/日）

I——地下水的水力坡度（无因次）

ω——含水层过水断面面积（米^2）

H——含水层平均厚度（米）

B——计算过水断面宽度（米）

Q——径流量（米^3/日）

三、天然调节量（暂时储存量，调节储量）

天然调节量是指一年或多年调节期内含水层暂时储存的重力水体积，它在数值上等于一年或多年地下水位变幅带重力水或弹性释放水的体积，以m^3单位以立方米表示（见图1—1B）。调节量就是含水层地下水的暂时储存量，以前，人们习惯上称为调节储量。它包括容积调节量和弹性调节量两种形式。

容积储存量是地下水位变幅带内含水层在一个大气压下暂时储存的重力水体积。弹性调节量是承压水从水头变幅带的最高水头降至最低水头时从含水层内释放的重力水体积。

调节量是地下水补给和消耗的矛盾发展的不平衡性和变化的周期性而以暂时储存形式表现出来的水量。因为地下水的补给总不会是均匀地进行，雨季补给多，旱季补给少，尤其降水渗入更是如此，而地下水消耗量虽然也变化，但幅度较小，相对于补给来说比较稳定，所以雨季补给量大于消耗量，来不及消耗的水量即暂时储存在含水层中，引起地下水位上升；旱季消耗量大于补给量时，就疏干雨季储存的水量，引起地下水位下降。因此，调节量就是储存量的周期性变化量，即暂时储存量。一年内的调节量称为年调节量；若干年内的调节量称为多年调节量。

调节量是在补给和消耗之间起调节作用的水量。当人工开采地下水时，由于补给量增加，由于形成开采漏斗而腾出了更大的调节空间，所以调节量也将发生变化，并在补给和开采之间起调节作用。雨季补给量大于开采量时，多余的补给量除了一部分天然消耗之外其余的都暂时储存于含水层内；旱季补给量小于开采量，不足的部分全靠消耗雨季的暂时储存量来维持开采。这样，只要暂时储存量够旱季使用，在一年内水量也能达到收入和支出的平衡。

计算方法：调节量（$Q_{调}$）

1．潜水：　　$Q_{调}=\mu\cdot\Delta h\cdot F$　　(1—2)

式中：μ——计算区潜水含水层的给水度（无因次）；

Δh——计算区潜水水位年变化幅度（米）；

F ——潜水含水层分布面积（米^2）；

$Q_{调}$——潜水年调节量（米^3）。

2．承压水：　　$Q_{调}=\mu^*\cdot\Delta H\cdot F$　　(1—3)

式中：μ^*——承压含水层的释水系数（无因次）；

ΔH——承压水位的变幅（米）

F ——承压含水层分布面积（米^2）

$Q_{调}$——年调节量（米^3）。

对于承压水称弹性调节量。

四、静储量（永久储存量）

静储量也叫永久储存量或永久储量。它是以运动或静止状态储存于含水层最低水位以下的重力水体积，也就是最低水位以下含水层所容纳的重力水体积，单位以立方米表示（见图1—1）。

静储量也分容积的和弹性的两种。对潜水来说只有容积静储量，承压水不仅有容积静储量，同时还有弹性静储量。

对于人工开采地下水来说，静储量只能在开采量超过开采降深场影响范围内的全部补给量（包括天然补给量和开采增加的补给量）及调节量的情况下才能被开采消耗。凡是不超过补给量及调节量的开采量，其中都不包括静储量。而静储量一旦被消耗，就必然引起含水层中地下水储存量减少。长期消耗静储量，将引起区域地下水位持续不断地下降，最终将导致地下水源枯竭，或者由于水位降深超过了提水设备所允许的深度而使设备失效。

在地下水开采中，静储量是可以取用的，但是不能全部取用。合理地动用部分静储量，由于能扩大开采降深场影响范围，可以增加开采补给量，从而增加开采水量。以往那种认为地下水静储量完全不可动用的观点，是地下水量评价中的消极观点。

但是，动用静储量的数值是有限度的。静储量的消耗值应当限制在提水设备所允许的水位降深范围内。开采允许降深以内的静储量是可以利用的，其余的静储量则是不可利用或不能利用的。可利用的静储量都随开采量的大小不同，有一定的开采利用期限。在进行地下水蕴藏量计算时应当把这两部分静储量区分

开。那种笼统地单纯计算全部静储量水体积的方法，往往是不符合地下水开采设计要求的。

计算方法：

1．潜水：　　$Q_{静}=\mu\cdot H\cdot F$　　(1—4)

式中：H——潜水最低水位以下含水层的平均厚度（米）；

μ——计算区含水层的给水度（无因次）；

F——含水层分布面积（米^2）；

$Q_{静}$——静储量（米^3）。

2．承压水：　　$Q_{静}=\mu\cdot F\cdot M$　　(1—5)

式中：M——承压水含水层的厚度（米）；

μ——含水层的给水度（无因次）；

F——含水层分布面积（米^2）；

承压水补给量在含水层中的运动形式，与潜水不完全相同。它有径流量，并以水体积形式运动在全部含水层中。没有实际的调节量，但有弹性调节量（即：在巨大水头压力下使含水层发生弹性变形，比它在一个大气压下所多容纳的地下水水量）。这些水量，在雨季补给时暂存含水层中，水头上升；旱季消耗时部分释放出来，水头下降。在开采减压时，可以释放更多的弹性调节量。

第三节　地下水开采量的性质及组成

地下水在开采前，由于补给和排泄的矛盾结果，已经形成了地下水的天然动平衡状态。雨季补给量大于消耗量，含水层内水量增加，水位上升；旱季消耗量大于补给量，含水层内水量减少，水位下降。补给和消耗总是不平衡的，但这种不平衡的发展过程具有一定的周期性。从长时间来看，总的补给和总的消耗接近相等，补给和消耗之间又处于一种天然的动平衡状态。

人工开采地下水时，必然改变地下水的天然状态，并向着开采状态发展。开采就意味着增加人工排泄量，改变了原有的排泄

条件。由于地下水开采结果就出现了人工的排泄基准面，将在很大范围内代替了天然排泄基准面，从而改变了含水层原有的排泄条件。

由于排泄条件改变，地下水原有的天然动平衡状态被破坏，出现了地下水的开采状态。

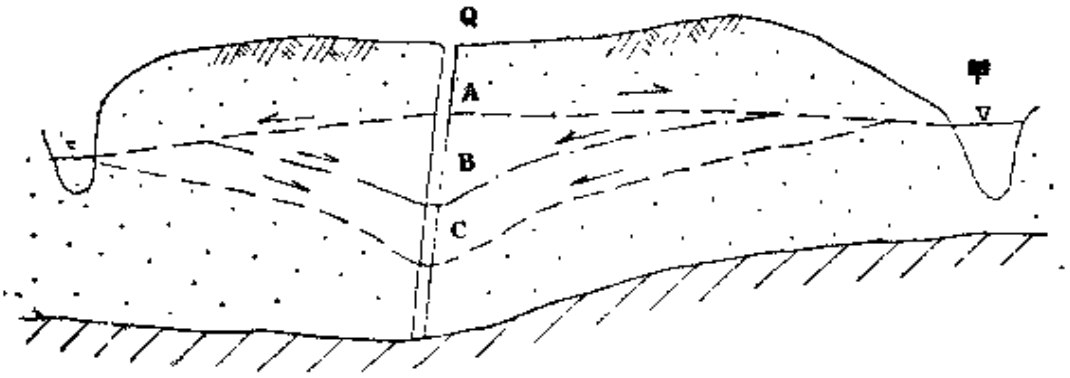


图 1—2　开采过程示意图

用图（1—2）所示的河间地块潜水为例，分析一下开采时地下水的发展过程。

假设以一定的开采量抽水。在水位由A开始下降，抽水井除了不断疏干含水层而取出疏干量外，在疏干范围内还截取了部分补给量（径流量和调节量）。随着下降漏斗的扩展，截取的补给量不断增加，当增加到与开采量平衡时，漏斗停止发展，水位降到B的位置便稳定下来。

到旱季，补给量减少，失去平衡。如果开采量仍保持不变，则必须扩大下降漏斗，继续扩大疏干量。但随着漏斗扩展，截取的补给量也相应增多。特别是在漏斗扩展到乙河沿岸时，乙河由原来排泄潜水而转为补给潜水，使抽水井又得到天然条件下没有的额外补给量（激化补给量）。结果使补给量和开采量又趋向新的动平衡，水位由B降到C的位置又相对稳定下来。

雨季在有利条件下（有疏干水位差）补给量迅速增加，除了

保证开采量外，多余部分就要补偿疏干量，水位回升，漏斗收缩。但随着回升和收缩，补给量又相应减少，减到同开采量平衡时，水位便升到某一高度又稳定下来。

上述过程，随季节和年分变迁不断周期性的发展着。在发展过程中，有两种可能的发展趋势。一是旱季借用的疏干量，到雨季或丰水年能全部补偿回来。所以最大水位降深不超过开采设备的吸程，即允许降深，这时的开采量能保持长期稳定。二是借用的疏干量，历年雨季不能全部补偿回来。所以历年水位下降大于水位回升，总的趋势是水位不断下降。经过一定时期，水位降深超过允许降深，设备就要失效，有补给量也取不出来，这时的开采量就失去稳定性。

从上述实例看出，开采过程，就是在一定开采条件下激化的补给量与开采量的对立发展过程。在这个过程中，要保持开采量稳定而不减少，一是要有一定的补给量与之平衡，二是最大水位降不得超过允许降深，保证开采设备能把地下水从含水层中取出来。这两条缺一不可。这就是说，没有补给保证的开采量只能代表开采能力，没有稳定性。取不出的补给量，只是天然补给量而不是开采量。

开采量的性质不同于天然蕴藏量，主要有两点：

1.组成不同。天然蕴藏量是由径流量、调节量、静储量组成的。而开采量的组成，除了个然补给量外还有激化补给量参加，甚至可能成为开采量组成的主要部分。这是开采激化的必然结果。

凡是在开采过程中夺取过来的，并参于开采量的额外补给量，统一称为激化补給量。其形式很多，如：截取流出量，截断泉流量，夺取邻区含水层的渗透补给量，吸取深部承压水的越流补給，夺取地表水的补给和人工补给等，均属激化补给量（也可称夺取量）如（图1—3）。

这个性质说明，一个含水层中天然补给量可能不多，但是在开采激化条件下，如果具备形成激化补给量的条件时，开采量可

能很大。

2．数量不同。因为组成不同，所以开采量在数量上可以小于，更可能大于天然蕴藏量。实践证明，由于开采条件和水文地质条件所限，一般情况下不可能把一个含水层（组）中的天然蕴藏量全部取出来，只能取出其中的一部或大部分，其余的仍以天然方式消耗掉。而实际的开采量可以远远超过天然蕴藏量，其原因在于有激化补给量参加。如某城市水源地，在开采前地下水的补给量只有 4.7 万吨/日，因开采而获得的激化补给量则可达10.9万吨/日。

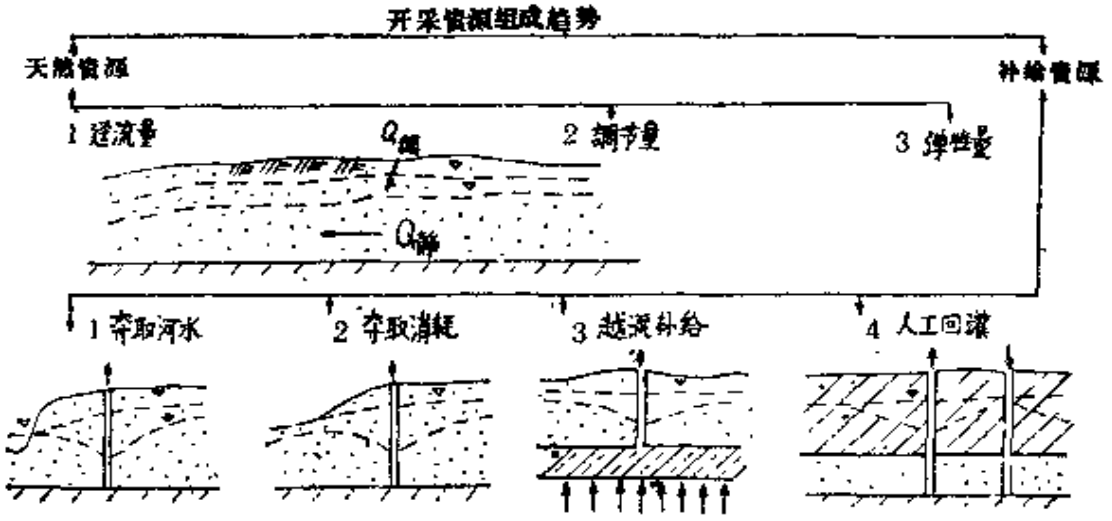


图 1—3

这个性质说明，评价开采量时不能以天然蕴藏量做为唯一的依据。必须具体分析开采过程中可能形成激化补给量的条件，充分考虑开采条件下增加的各种补给量，才能做出符合实际的评价。

激化补给量的确定和计算方法：

1）夺取地下水的补给量 $Q_{地}$

可用达西定律计算，即公式1—1

$$Q_{地}=H\cdot B\cdot H\cdot I$$

为取得计算数据，要在补给区沿垂直地下水流向方向布置勘探线，并进行单孔或多孔抽水试验。分别查明天然条件和开采条

件下含水层性质和厚度，测定渗透系数及水力坡度等参数，代入上式计算取其二者差值即为地下水的增加补给量。

2）夺取河水的补给量（$Q_{河}$）

开采条件下河水补给量减去天然条件下的河水补给量。

即：
$$Q_{夺河}=Q_{开河}-Q_{天河} \qquad (1—6)$$

3）邻层水越流补给量（$Q_{越}$）

由于开采漏斗的形成使开采层同邻层（上下层）之间形成水位差。在水位差的作用下，邻层水可能通过弱隔水层发生垂直渗透，形成补给开采层的越流量。这种越流量随开采降深增大而增加。

a．开采潜水层时，若下部有承压水的越流补给（也有称越层补给）：

$$Q_{下}=K_{下}\cdot F\frac{H-h_c}{M_{下}}(米^3/日) \qquad (1—7)$$

式中：$K_{下}$，$M_{下}$——潜水层底板的渗透系数和厚度；

H——承压水头；

h_c——潜水漏斗的平均水位；

F——发生越流补给面积。

b．开采承压水时，若顶底板都有越流补给：

$$Q_{越}=K_{上}F_{上}\frac{H_{上}-h_c}{M_{上}}+K_{下}F_{下}\frac{H_{下}-h_c}{M_{下}} \qquad (1—8)$$

式中：$K_{上}$，$M_{上}$——开采层顶板的渗透系数和厚度；

$K_{下}M_{下}$——开采层底板的渗透系数和厚度；

$H_{上}H_{下}$——开采层上下邻层的水位；

$F_{上}F_{下}$——顶底板发生越流补给面积；

h_c——开采漏斗的平均水位。

如：某县自流水分布区，在145.6平方公里内，顶托补给量达1.22万吨/日；在某河漫滩26.5平方公里内，承压水顶托补给量达0.98万吨/日。

4）灌溉水渗入量（$Q_{灌}$）计算

灌溉水渗入量包括地表水灌溉入渗和地下水灌溉回渗。在农业地区它们是地下水补给量不可忽视的组成部分。其计算方法：

a．根据渠系有效利用系数计算灌溉渗入量：

$$Q_{灌}=Q_{引}(1-\eta)\cdot\beta \qquad (1—9)$$

式中：$Q_{灌}$——灌溉水补给量（渗入量）；

$Q_{引}$——渠道引水量；

η——渠道有效利用系数，可根据实测取得；

β——渗漏系数，即转变为重力水的入渗水量与总入渗水量（包括转变土壤水）之比。

b．根据漫流入渗面积和渗漏系数计算灌溉水补给量：

$$Q_{灌}=F\cdot q\cdot\beta$$

式中：$Q_{灌}$——灌溉水补给量；

q——土壤灌溉定额；

F——土地灌溉面积；

β——灌溉水渗漏系数，取决于包气带土层性质，可用渗水试验法测得。

第四节　地下水开采量的计算和评价

地下水开采量的评价，一般的作法是，在规定开采条件下，具体确定能够增加的补给量，减少的消耗量，以及区域漏斗能够提供的储存量，必要时还应该考虑多年的季节平衡、最后论证开采量的稳定性和保证程度，有时须重新拟定开采方案。

地下水开采量评价的基本任务主要是解决两个方面问题：一是在一定技术条件下，能够取出多少水量；二是有无补给保证。在预定开采条件（开采时间、允许降深）下，既能取出来又有补给保证的稳定开采量才是可采量。

能取出多少水量和有无补给保证，这是取决于不同因素的两个对立方面。前者主要与开采能力有关；开采规模越大，开采时间越长，设备越先进，可能取出的开采量就越大，但不一定有补

给保证。补给保证主要受含水层的补给能力控制；含水层导水性越强，补给条件越好，可能的补给量就越多。但是能否取出，还决定于开采能力。所以二者既有差异性，又是互相联系，互相制约，构成开采过程中的矛盾运动。矛盾斗争的结果，才能形成一定的既能取出来又有补给保证的稳定开采量。

这种对立统一的发展过程说明，评价地下水开采量时，应根据条件不同，沿着不同的途径进行。

1．条件简单时，应该分别计算开采量和补给量，并论证后者对前者的保证程度，最后确定开采期间内可以取出的稳定开采量。

2．条件复杂时，可把规划的需水量做为开采量，再结合开采方案预测水位的发展趋势，并根据发展趋势论证开采量的稳定性。如果在开采期间内最大水位降不超过允许降深，则开采量是稳定的。相反，从某一时间开始超过允许降深，说明开采量只有一段时间的稳定性，超过这段时间，必须采用人工补给或控制水位降深，以保证开采量的稳定性。两种评价途径不同，但是确定开采期间内的稳定开采量这一点是相同的。

具体评价方法，可按具体条件确定：

1．不同类型地下水的开采量评价方法

潜水的特点，一般埋藏较浅，受降水补给，与地表水有直接联系，其补给量比较容易确定。所以评价潜水开采量的方法，一般采用第一种途径为宜。

承压水的特点，一般是面积大、埋藏深、径流微弱，开采量主要是弹性释放量，求它的补给量较难，也不容易符合实际。所以评价承压水开采量的方法，一般采用第二种途径较适宜。

2．为不同目的服务的地下水开采量评价方法

国内外，在进行地下水开采量评价时，一般分成对某水源地的开采量评价和区域性的开采量评价，即称局部地区地下水开采量评价和区域地下水开采量评价。有些评价方法对局部和区域地下水开采量评价都可用，如水均衡法等。为避免重复，我们将其

评价方法综合归类，并为适应当前的科学水平，介绍下述几种方法：

一、比拟法；

二、试验法；

三、水均衡法；

四、相关分析法；

五、水文气象法；

六、水文数值法；

七、模拟法。

这种归类介绍，可能问题不少，请用者自行选择使用。

一、比拟法

就是利用详勘或实际生产资料推算出与该区水文地质条件相似地区的开采量。（所指水文地质条件主要有：含水层厚度、岩性、埋藏条件、补给、径流、排泄条件等）。

（一）水文地质比拟法

水文地质比拟法是按照水文地质条件相似性原则，根据已开发地区开采地下水和疏干地下水的实际资料，来对比评价设计水源地或后备水源地的地下水开采量。

此法适用水文地质条件复杂，水文地质参数不够，边界条件难查清，用理论公式计算困难较大的地区；在基本查清水文地质条件的基础上，用此法既经济又简便，效果也好。一般用开采模数法。

开采模数（M），就是在含水层的某一稳定的开采降落漏斗范围内，单位面积的地下水开采量。

$$M=\frac{Q_{总}}{F} \qquad (1—11)$$

式中，$Q_{总}$——典型开采地段地下水总开采量或总排水量，等于各单井开采量的总和；

F——典型开采地段稳定降落漏斗的面积。

求得典型开采地段的开采模数（M）之后，即可按下式求出

与之相似地区或水源地的开采量 $Q_{开}$。

$$Q_{开}=M\cdot F$$

式中：F——评价区的面积，

如果评价区与典型开采地段在某些方面有差异，则在计算时应加以校正。例如：评价区比典型开采地段增加河流的渗漏补给量，评价时应考虑进去，其开采量的公式：

$$Q_{开}=MF+Q_{河}$$

式中：$Q_{河}$——河流在开采条件下的渗漏补给量。

此法非常简便，不用投入很多的工作量。

（二）补给宽度法

是根据井孔涌水量与补给带宽度成正比的关系，推算开采量。

该方法是以抽水孔为中心，按垂直和平行地下水流向的方向布置四条观测线，每条线上布置3—4个观测孔。然后根据稳定抽水资料（抽水量为Q）所绘制的等水位（压）线图确定补给带宽度，如（图1—4）。

补给带宽度上的单宽流量 q 为：

$$q=\frac{Q_0}{L}\qquad(1—13)$$

如果水流宽度不大，而且含水层岩性和厚度都比较稳定时，全断面（长度为B）上的可采水量Q如：

$$Q=q\cdot B=\frac{Q_0}{L}\cdot B$$

若水流宽度很大，而且岩性不均匀，这时需要分段抽水，确

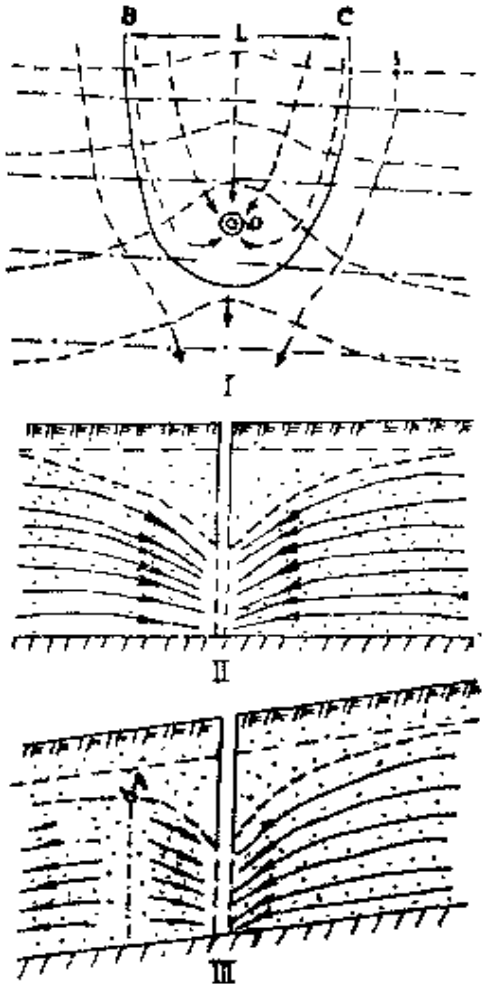


图 1—4 补给带宽度示意图

Ⅰ—平面图；Ⅱ—垂直流向剖面图；Ⅲ—沿流向剖面图；A—分水点；L—补给带宽度；BAC—补给边界

定各段的补给带宽度及单宽流量，按上式分段计算求其总和，即得整个断面宽度上的可采水量。

该法适用于径流补给区。

补给带宽度（L）的确定：

1．根据抽水等水位（压）线图确定补给带宽度（前述）。

2．根据影响半径换算补给带宽度。换算式如下：

$$L=\frac{2R}{e} \qquad (a)$$

式中：R为影响半径；e为校正系数，一般为3—5之间。e值也可按水力坡度选定，见（表1—1）。

校　正　系　数　　表 1—1

水力坡度 I	0.01	0.01—0.001	<0.001
校正系数 e	2—4	2—3	1.4—2

3．根据公式计算补给带宽度：

承压水　　$$L=\frac{Q_0}{KMI} \qquad (b)$$

潜水　　$$L=\frac{2Q_0l_{1-2}}{K(h_1^2-h_2^2)} \qquad (c)$$

式中：Q_0——抽水量；

I——承压水的天然水力坡度；

h_1和h_2——抽水前沿水流方向二点测得的潜水含水层厚度；

l_{1-2}——两测量点间的距离。

（三）下降漏斗法

此法是根据承压水的开采量与降落漏斗开采降深近似成正比关系，用比拟法推测设计降深的开采量。

用井群开采承压水时，必然形成开采降落漏斗，但漏斗的范围随季节周期性的扩大和收缩，但不会连续扩展（指在开采量小于补给量时），这样的开采漏斗可视为相对的稳定漏斗，其大小

等于多年的漏斗平均范围。如果把这种漏斗看成是一口“大井”形成的，则开采量（Q）和水位降（S）的变化关系，可用稳定流单井裘布依公式计算，

$$S=\frac{Q}{2\pi K_M}\ln\frac{R}{R_0},\quad 设\alpha'=\frac{\ln\frac{R}{R_0}}{2\pi K_M}$$

$$\therefore\quad S=\alpha'\cdot Q$$

式中：K_M——开采漏斗内含水层平均等水系数；

R——开采漏斗的等效影响半径；

R_0——“大井”半径；

α'——系数；

在有补给保证地区，R的值多年变化很小。井群分布面积一定时，R_0也是定值。这时α'接近常数，故水位降和开采量近似成正比关系。

因α'很小，一般只有万分之几。为了计算方便，常用其一千倍代替，即令 $\alpha=1000\alpha'$。其它单位不变，则上式可写成，

$$Q=\frac{1000S}{\alpha}$$

$$\alpha=\frac{1000S}{Q}\qquad(1—16)$$

式中：α——区域单位降深值，即当区域的取水量为1000米^3/日时，“大井”水位的降深值，也就是区域降落漏斗中心水位下降最大地段的降深值。

用此方法计算时，首先要统计多年的开采量和水位降，编制等水压线图，圈定开采漏斗面积，确定漏斗中心水位降，然后求α值，将设计降深（或涌水量）代入上式，即可求出设计开采量（或降深）。

如果开采区井群分布不均，则漏斗常呈不规则的形状成形成二个以上漏斗，因而从区域漏斗上很难找到最大水位降，在这种情况下，可取各个漏斗的最大水位下降，用加权平均值计算平均

下降值 S_{cp}。

$$S_{cp}=\frac{\Sigma(S_iF_i)}{\Sigma F_i} \qquad (a)$$

式中，S_{cp}——加权平均最大水位下降值；

F_i——每个下降漏斗的最大面积；

S_i——每个下降漏斗的最大水位下降值；

$$\therefore \quad \alpha=\frac{1000\Sigma(S_iF_i)}{Q\cdot\Sigma F_i} \qquad (b)$$

式中：Q——各漏斗开采量总和。

适用于开采量和水位降成正比关系的承压水旧水源地扩大开采时的评价，如陕西第一水文地质队曾用此法评价，实际效果较好。

例 1 某水源地共有取水井 204 个，平均井距为 250 米，分布在半径为 2 公里的面积内，总开采量 35800 米^3/日，区域水位最大下降值在等水压线图上求得为1.84米。现要扩大地下水开采量，设区域允许下降值为 3 米，该水源地能增加多少开采量。

解：先求 α

$$\alpha=\frac{1000S}{Q}=\frac{1000\times1.84}{35800}=0.0514$$

再按降深为 3 米算出扩大后预计开采总量Q：

$$Q=\frac{1000\times3}{0.0514}=58365.76\text{米}^3/\text{日}$$

因此，在原来开采的基础上还可以增加 22565.76 米^3/日开采量。

二、试验法

在水文地质条件复杂地区，由于水文地质条件（尤其是含水层的边界条件）在短时间内很难查清，水文地质参数及补给量又不容易取得，用理论公式计算较困难，如果需水量不太大，而又急需作业评价时，可采用较长时间的抽水试验，取得水量有无补给保证，水质是否恶化的实际资料进行评价。

（一）实抽法：主要是利用探采结合的生产井或现有的生产井，进行与实际需水量（或实际开采量）相近的抽水试验，稳定时间较长（旱季开始延续时间1至数月），用其稳定流量直接评价，并根据动水位变化趋势及水位恢复情况分析地下水补给保证程度。

（二）涌水量曲线方程法：根据三次不同降深的实际资料，绘制曲线，确定曲线类型（抛物线型、指数曲线型、对数曲线型等），推测在设计降深条件的涌水量或设计涌水量条件下的降深。具体方法，见《水文地质计算原理及方法》一书。

（三）补偿疏干法（包括单位静储量法）：适用条件是蓄水范围有限，季节性补给的潜水区，补给时间较短，补给量不多，但有一定的储存量能起调节作用的新（或旧）水源地。如间歇性河谷区，小型潜水盆地，局部块状岩溶地段等。其补给水源主要是间歇性河水补给或降水渗入补给等。

为了找出正确的评价方法，从分析潜水形成的特殊规律，得出解决问题的方法。

由于补给的间歇性，这类潜水是在天然分配过程中形成和发展的。旱季天然补给量小于天然消耗量时，消耗储存量形成疏干层，引起水位下降。雨季天然补给量大于天然消耗量，补偿储存量的不足，水位回升。这个过程说明，在天然分配过程中，储存量起调节作用，保证天然消耗。所以按天然规律可以变成人工分配过程，即增大储存量的调节能力，保证开采量。具体方法：

旱季借用储存量，保证连续开采。

雨季夺取补给量，除保证开采量外，还要补偿借用的储存量。这种旱季借用雨季补偿储存量的人工分配法叫补偿疏干法，或叫雨季补旱季，丰年补欠年的评价方法。

用这种方法评价时，要求计算和论证以下两个重要问题：一是旱季借用的储存量，必须满足旱季连续开采的要求，不能中断；二是两季可能夺取的补给量，必须把旱季借用的储存量全部补偿回来。

下面以两种典型水文地质条件为例，说明具体评价方法。评

价时要根据不同水文地质条件和开采条件，选用不同的方法。

1．间歇性河谷潜水

这里含水层厚度不大，分布面积有限，天然补给量不多。旱季河水断流，补给渗入中断；雨季洪水淹没河谷，是渗入补给的有利时期，但时间不长，大量地表水体以天然方式消耗掉。

在这种水文地质条件下，为了最大限度借用储存量，通常采用水平集水管群开采，并垂直河谷（有时平行河谷）互相平行的埋在下伏隔水层面上，如（图1—5）。各管间距应当尽量小，但最好没有明显干扰。间距太大管理不便，干扰太强开采量就会减少。在互不干扰条件下，每根管均成独立集水区，评价时只研究一根管的开采量和补给量就够了。现结合开采条件分两步计算：

第一步计算开采量。一根集水管的开采量，即同该管的开采

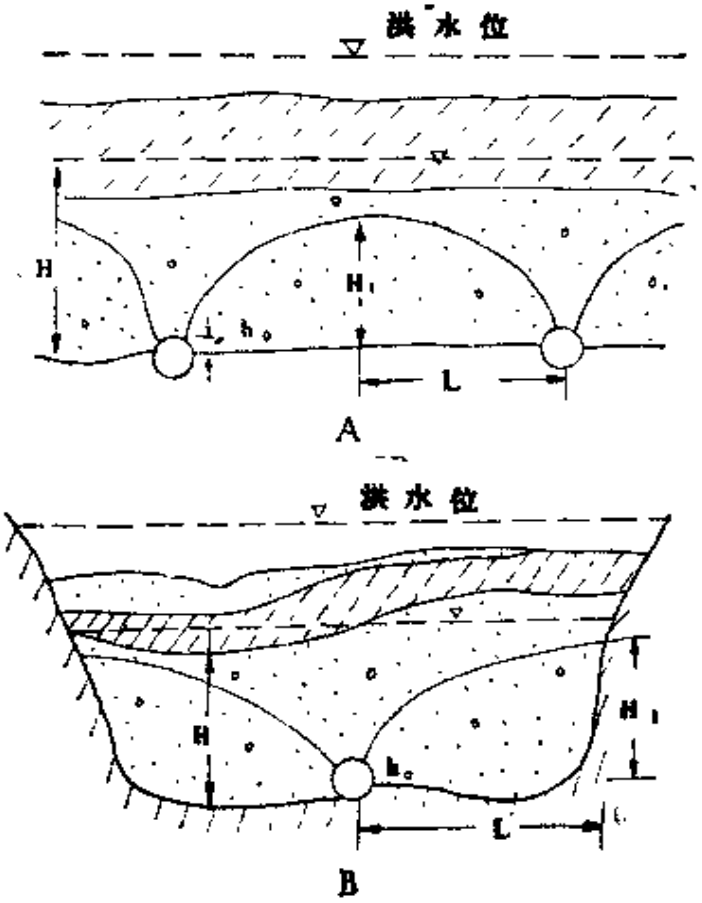


图 1—5　开采间歇性河谷潜水示意图

A—垂直河谷布置的集水管；B—平行河谷布置的集水管

能力有关，也受可能的储存量控制。从集水管开采能力来看，该管受两侧补给，开采量可按平面流公式二倍计算，即

$$Q_{开}=K\cdot B\frac{H_1^2-h_0^2}{l} \qquad (1—17)$$

式中：H——汗水含水层厚度即旱季末期边界上的预计水位（米）；

B——河谷宽度等于集水管长度(米)；

K——渗透系数（米/日）；其它符号见（图1—5)。

在影响宽度$2l$范围内，设一根管允许借用储存量体积是$V=V_2-V_1$；V_2—是矩形体积；V_1—抛物线以下体积。

$$\text{则}\quad V=V_2-V_1=2lBH_1\mu-2\mu B\int_0^l h\cdot dx^*$$

$$=2\mu\cdot lH_1B-2\mu lH_1B\frac{2}{3H_1}\cdot\frac{H_1^3-h_0^3}{H_1^2-h_0^2}$$

$$=2\mu\cdot l\cdot H_1B\left(1-\frac{2}{3H_1}\cdot\frac{H_1^3-h_0^3}{H_1^2-h_0^2}\right)$$

按下面两种情况计算：

两平行水管间水位没下降：

$$V=2\mu lHB\left[1-\frac{2}{3}\cdot\frac{H^3-h_0^3}{H(H^2-h_0^2)}\right] \qquad (a)$$

两平行水管间水位下降了：

$$V=2\mu lH_1B\left[1-\frac{2}{3}\cdot\frac{H_1^3-h_0^3}{H_1(H_1^2-h_0^2)}+\frac{H-H_1}{H_1}\right] \qquad (b)$$

(a)及(b)式中，当集水管长B一定时，l是未知数，可消

---

* $\int_0^l h\,dx=lH_1\frac{2}{3H_1}\cdot\frac{H_1^3-h_0^3}{H_1^2-h_0^2}$ ∵ $h=\sqrt{H_1^2-\frac{H_1^2-h_0^2}{L}\cdot x}$

$$\therefore\ \int_0^l h\cdot dx=\int_0^l\left(H_1^2-\frac{H_1^2-h_0^2}{l}\cdot x\right)^{\frac{1}{2}}dx$$

$$=l\cdot H_1\frac{2}{3H_1}\cdot\frac{H_1^3-h_0^3}{H_1^2-h_0^2}\ \text{（用代换积分法）}$$

掉，得$Q_{开}$和V的关系：

因 $$l=K\cdot B\frac{H_1^2-h_0^2}{Q_{开}}$$

代入上式得：

$$Q_{开}\cdot V=2\mu B^2\cdot H_1\cdot K\cdot\left[H_1^2-h_0^2-\frac{2}{3H_1}(H_1^3-h_0^3)\right]$$

$$=2\mu\cdot B^2\cdot H_1\cdot K\cdot\left[\frac{3H_1^3-3h_0^2H_1-2(H_1^3-h_0^3)}{3H_1}\right]$$

$$=2\mu\cdot B^2\cdot K\left[H_1^3-h_0^2H_1-\frac{2}{3}(H_1^3-h_0^3)\right]$$

允许借用的储存量V，按照$Q_{开}$，开采时，能够保证连续开采的时间$t_{开}$为：$t_{开}=\frac{V}{Q_{开}}$则$V=Q_{开}\cdot t_{开}$把V代入上式得：

$$Q_{开}=B\sqrt{\frac{2\mu\cdot K}{t_{开}}\left[H_1^3-h_0^2\cdot H_1-\frac{2}{3}(H_1^3-h_0^3)\right]}\quad(1-18)$$

这就是一根集水管开采量公式

如用河水断流时间代替式中$t_{开}$，则求出的$Q_{开}$就能保证旱季连续开采，不会中断，一般最好采用多年出现的断流时间做$t_{开}$。或分析当地多年水文气象资料后，确定安全系数r值，通常取1.1—1.5则$t_{开}=r\cdot T_{勘}$；$T_{勘}$—勘探年河水断流时间。

也可用$t_{开}=\frac{V}{Q_{开}}$评价，$t_{开}$是借用储存量体积可以满足连续开采的时间。

如果$t_{开}$比旱季时间小，则借用储存量体积不能满足开采要求，应当扩大各管间距，增加疏干范围，重新计算。如果$t_{开}$比旱季时间长，应减少疏干范围，以便集中开采。直到$t_{开}$接近而又稍大于旱季时间为止。这时借用的储存量体积合适，$Q_{开}$也能保证旱季连续开采，而不中断。

第二步计算补给量的评价。也就是计算雨季补给量大小，对开采量的保证程度。

在洪水淹没河谷期间，主要靠渗入补偿借用的储存量，可按达西定律估算一根集水薄可能得到的补给量：

$$Q_{补}=2K_1\cdot F\cdot I=2K_1\cdot Bl\cdot 1 \qquad (1—19)$$

设水力坡度$I=1$；K_1—表层渗透系数；$F=lB$为已经确定的疏干面积。

设洪水淹没河谷时间为$t_{补}$。在此时间内所得补给量，除了保证正常开采量外，应把借用的储存量全部补尝回来。所以$Q_{开}$和$Q_{补}$应满足下列不等式：

$$Q_{补}\cdot t_{补}>Q_{开}\cdot(t_{补}+t_{开}) \qquad (a)$$

从多年气象周期出发，式中$t_{补}$应取多年最短的淹没时间。或取安全系数。$t_{补}=(0.1-0.5)\,T_{补}$，$T_{补}$—勘查年洪水淹没时间。

也可用$t_{补}=\dfrac{V}{Q_{补}}$，$t_{补}$—为补给量全部补给借用储存量体积的时间。

如果$t_{补}$比洪水淹没时间长，则借用的储存量只能得到部分补偿，应当调整上述开采方案，适当增大F值，重新计算。如果$t_{补}$小于洪水淹没时间，则借用的储存量可以全部补尝回来。这时用$Q=K\cdot B\dfrac{H_1^2-h_0^2}{l}$式求得开采量，就是能开采出来又有补给保证的开采量。

根据以上两个步骤计算结果，如果满足上列不等式，则$Q_{开}$是既有补给保证，又能取出来的开采量，否则应取$Q_{开}$和$Q_{补}$中较小值做为开采量。

需要集水管的根数，可按需水量确定：

$$N=\frac{Q_{需}}{Q_{开}} \qquad (b)$$

式中，N——集水管根数

$Q_{需}$——规划需水量

例，某厂$Q_{需}=1500$米^3/日。准备在间歇性河谷区建水源地，开采河谷潜水。试做出评价。（两平行管间水位下降很小）。已知，

按勘探年旱季的试验工作查明：河谷为透水性良好的砂砾石层，两岸和底板为相对隔水层。河谷平均宽度 $B=1500$米；已知资料：砂砾石潜水层 $K=11$ 米/日，$\mu=0.2$；$H_1=4$ 米；亚砂土盖层：$K_1=0.8$ 米/日，$\mu_1=0.1$。降水集中在夏季，雨后河水淹没河谷，勘探年淹没时间即 $t_{淹}=5$—7天；旱季河水断流，失去补给，断流时间 $T_{旱}=280$天，潜水天然水力坡度 $I=0.001$，$h_0=0.5$米。水文地质剖面及开采方案如（图1—6）。

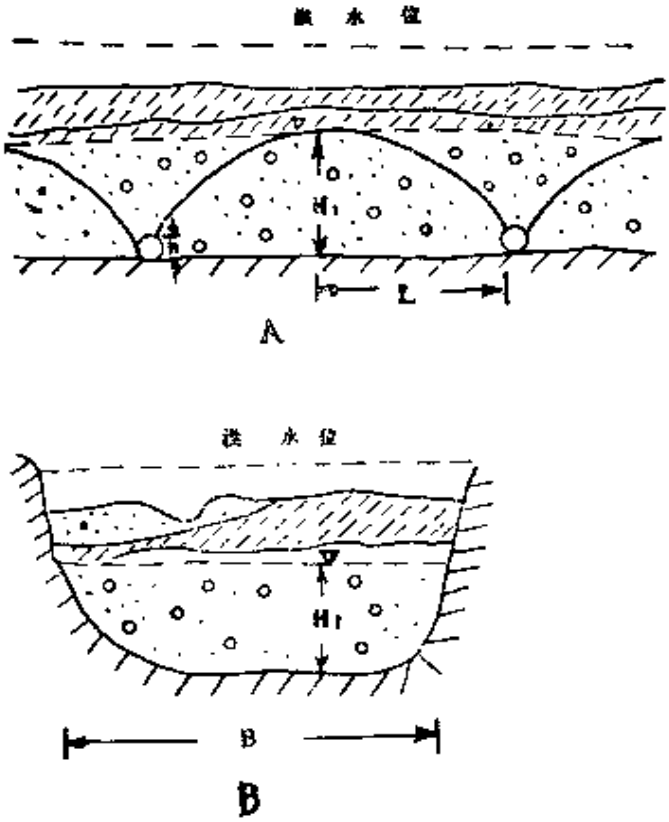


图 1—6　垂直河谷布置的水平积水管

A—纵剖面，B—横剖面

解：天然流量($Q_{自}$)：按达西定律：

$$Q_{自}=K\cdot B\cdot H_1\cdot I=11\times1500\times4\times0.001=66\text{米}^3/\text{日}$$

即使把天然流量全部截取也不能满足要求

下面用补偿疏干法评价：

按（1—18）式计算开采量并取 $t_{开}=r\cdot T=1.1\times280$ 天 $=308$ 天得：

$$Q_{开}=1500\sqrt{\frac{2\times0.2\times11}{308}\left[4^3-0.5^2\times4-\frac{2}{3}(4^3-0.5^3)\right]}$$

$=810.16$米^3/日

按（1—11）式计算补给量。一根集水管单侧影响宽度：

$$l=\frac{K_1\cdot B(H_1^2-h_0^2)}{Q_{开}}=\frac{11\times1500(4^2-0.52^2)}{810.16}=320.77\text{米}$$

将有关数据及 l 代入（1—19）式：

$Q_{补}=2\times0.8\times1500\times320.77\times1=769,848$米^3/日

取　　$t_{补}=0.1T_{开}=0.1\times5=0.5$天

∴　　$Q_{补}\cdot t_{补}=769,848\times0.5=384,924$米^3

$Q_{开}(t_{开}+t_{补})=810.16\times(308+0.5)=249934.36$米^3

说明所求$Q_{开}$有保证。为满足需水量要求，只要相距 $2l=643$ 米，垂直河谷布置两根平行的集水管就够用。管长 $B=1500$米。

$2Q_{开}/Q_{自}=\frac{2\times810.16}{66}=24.55$；这是由于充分利用了储存量的调节作用。比天然流量增大了 24.5 倍。

2．局部块状岩溶潜水

这是含水层面积有限，但厚度较大，适合向深部疏干。补给来源主要是间歇性河水补给及降水渗入补给。

在这样复杂的水文地质条件下，一般采用井群开采，并用抽水试验方法求出开采量和补给量。为此对抽水试验有两点要求：抽水量保持固定值（尽可能接近需水量），任其水位下降（非稳定抽水）；抽水时间，最好从旱季末起到雨季初止，以便测到旱季水位降和水位回升。

实践证明，在长期定量抽水过程中，水位过程曲线，通常出现两种规律。

第一，有经常补给且很充足地区。旱季开始抽水后，初期有个水位急速下降阶段，这是扩大疏干量的非稳定阶段。但是水位下降到一定深度后，由于补给量与开采量近似平衡便转入相对稳定阶段。当抽水延续到雨季时，因补给量增大而使水位回升，由

稳定转入非稳定阶段见（图1—7）中的虚线，又称稳定开采状态。

第二，在补给贫乏或受季节补给地区。旱季开始抽水后，由于抽水量大于补给量，水位急速下降结束后，又转入缓慢持续下降阶段。二个阶段转折点所对应的水位和时间，分别用 S_0 和 t_0 表示。这种非稳定状态在两个阶段上的延续，说明不断借用储存量的结果，已使漏斗扩展到含水层的边界，而形成区域水位等幅下降。当抽水延续到雨季时，补给量迅速扩大，除了保证抽水外，多余部分便补偿借用的储存量，又出现水位等幅回升阶段。见（图1—7）中的实线所示。

从实线变化规律可知，在定量抽水条件下，出现 S_0 以后，水位便转入等速下降。这时的下降速度等于抽水量与漏斗给水面积的比值，

$$u=\frac{S-S_0}{t-t_0}=\frac{Q_0}{\mu F} \quad 或 \quad \mu F=\frac{Q_0(t-t_0)}{S-S_0}=\frac{Q_0\Delta t}{\Delta S} \qquad (a)$$

式中：μF—区域下降漏斗内单位下降的给水量，等于漏斗面积 F 和给水度 μ 之积。它的物理意义，表示旱季抽水时水位下降一米所借用的储存量，同样也表示雨季抽水时水位回升一米所得

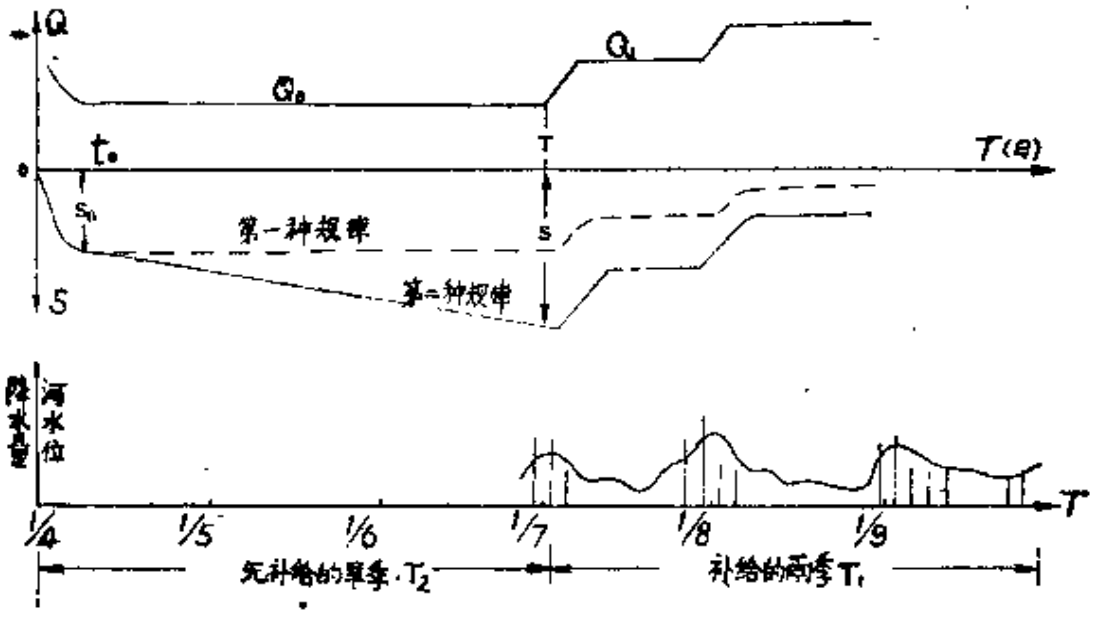


图 1—7　抽水时水位、流量过程曲线和补给示意图

到的补偿量。即称单位静储量，此法叫单位静储量法：

S—旱季末时刻的水位降（米）

t—旱季末时刻（日）

Q_0—旱季定量抽水量（米^3/日）

其它符号见（图1—7）

根据求出的 Δt 值，可分两步计算补给量和开采量。

第一步计算补给量。设在雨季抽水时，经过 Δt 时段测得水位回升值为 ΔS，抽水量为 Q_1，于是补给量应等于抽水量和借用储存量之和。

$$Q_{补}=\mu\cdot F\cdot\frac{\Delta S}{\Delta t}+Q_1 \qquad (b)$$

第二步计算开采量：如果岩溶水在一年内接受补给时间为 $t_{补}$，则可以得到补给量体积为 $V_{补}=Q_{补}\cdot t_{补}$。把这个体积分配到全年开采。即得开采量为：

$$Q_{开}=\frac{V_{补}}{365}=\frac{t_{补}}{365}\left(\mu F\frac{\Delta S}{\Delta t}+Q_1\right) \qquad (1—20)$$

这样求出来的开采量，对一年来说无疑是有补给保证。$t_{补}$ 的确定：从多年气象周期出发，考虑可能出现的旱年系列，选用安全系数 $r>1$，则 $t_{补}$ 可以选取为 $t_{补}=T_1/r$，下试验年的雨季时间。这样选取 $t_{补}$ 后，按（1—20）式计算开采量对多年来说也是有补给保证的。

第三步根据开采方案评价：

首先分析开采量能否取出来，到旱季末期如果借用的储存量形成最大水位降已经超过允许降深，则设备就要失效，虽有补给保证也无法取出来。因此，分析开采量能否取出来关键在于检查旱季末期的水位降是否超过允许降深。

在连续开采过程中，到旱季末期必须借用的储存量体积应等于开采量与旱季时间 T_2 的乘积，即 $V_{借}=Q_{开}\cdot T_2$。则旱季末期可能出现的最大水位降：

$$S_{max}=S_0+\frac{Q_{开}\cdot T_2}{\mu\cdot F} \qquad (c)$$

这样计算出来的 S_{max}，已超过允许降深，则证明开采量在旱季末期有中断危险。这时，可把开采量做为未知量，用允许降深代替 S_{max}，按（c）式重新求出开采量。所求结果，与上述(1—20)式计算开采量比较，如果结果比前者小一些，就是既有补给保证又能开采出来，所以是要求的开采量。

相反，如果求出的 S_{max} 小于允许降深，则证明（1—20）式求得的开采量就是有补给保证的开采量。

例 2 某新建水源地，据勘探试验查明：含水层属中石炭纪厚层灰岩，呈条带状分布，面积约10平方公里。灰岩分布区有一条间歇性河，故岩溶水补给来源，主要是季节性河水渗漏和降水渗入。抽水试验资料见图（1—8），勘查年旱季时间 $t_{开}=253$天，雨季补给时间为 112 天。允许降深 23 米

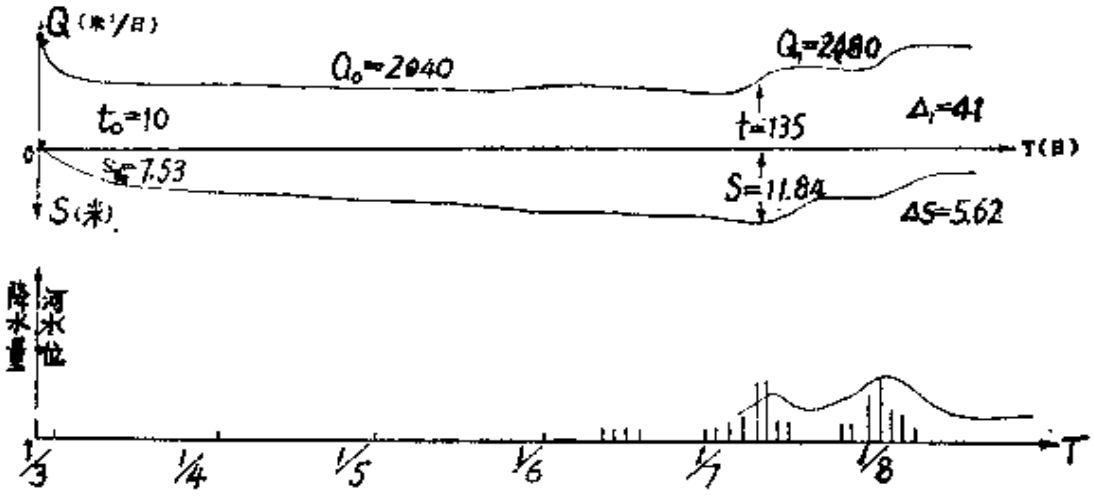


图 1—8　抽水试验过程曲线

（1）求单位静储量：

$$\mu\cdot F=\frac{Q_0(t-t_0)}{S-S_0}=\frac{2040(135-10)}{11.84-7.53}=59164.73\text{米}^3/\text{日}$$

（2）求补给量：

已知：$\Delta S=5.62$米　$\Delta t=41$天

$$Q_{井}=\frac{\mu\cdot F\cdot\Delta S}{\Delta t}+Q_1=\frac{59164.73\times 5.62}{41}+2490$$

$$=8109.9+2490=10599.9\text{米}^3/\text{日}$$

（3）求开采量：

$$t_{井}=\frac{T_2}{r}=\frac{112}{1.4}=80\text{天}$$

$$Q_{井}=\frac{t_{井}}{365}\left(\mu\cdot F\frac{\Delta S}{\Delta t}+Q_1\right)=\frac{t_{井}}{365}\cdot Q_{井}$$

$$=\frac{80}{365}\times 10599.9=2323.27\text{米}^3/\text{日}$$

（4）求井最大允许降深（旱季末期最大水位降）：

$$S_{max}=S_0+\frac{Q_{井}\cdot T_2}{\mu\cdot F}=7.53+\frac{232327\times 253}{59164.73}$$

$$=7.53+9.93=17.46\text{米}$$

（5）根据开采条件评价：

因为允许降深是23米，大于旱季末期最大水位降为17.35米，所以求得的开采量是有补给保证。

（四）天然试验法：实际上就是天然抽水试验法。大面积分布的石灰岩地区，地下水的赋存条件是岩溶和构造组合形成统一的含水带。其含水层特点是导水性强，水位或水压传导快，所以地下水交替强烈，补排迅速。但导水性极不均匀，各向导性明显。尤其是隐伏岩溶区，边界条件复杂，一般短时间难查清。在这类复杂地区评价地下水开采量时，困难很大（原因是参数测定较困难，理论公式很难适用等）。但是，灰岩分布区往往出露有流量很大的泉群。如，邯郸附近的黑龙洞泉群，一般流量为5米^3/秒左右；太行山东麓的面泉，平均流量4—5米^3/秒，最大流量8—9米^3/秒，其它地区也有类似现象。这些泉群的天然动态就反映了灰岩地区地下水的形成规律。为区域地下水蕴藏量评价提供了有利条件。

如将上述泉群，看成抽水井群，则泉群的作用就相当于天然

抽水试验，而且是特大型的长期抽水试验。流量和降深之大，时间之长，范围之广，都是人工抽水试验无法比拟的。用天然试验资料比用人工试验资料准确得多。尤其对复杂的岩溶裂隙水，其它方法失效时，更显示出天然试验法的优越性。

假设岩溶裂隙水的地下流域是封闭的，主要接受季节性补给，维持泉群的消耗。这是常见的岩溶裂隙蓄水构造类型之一。由于上述含水层特性所决定，在雨季能够很快得到大量补给，除了保证泉群的天然消耗外，使水头迅速抬高，大部分补给量必为弹性调节量暂时储存起来。雨季过后，补给量急剧减少，甚至中断，这时，主要靠释放弹性调节量供泉群消耗，水头下降，在集水面积内形成天然的区域下降漏斗，范围可达几百平方公里。到旱季末期水头降到最低位置，变幅达十几米到几十米。

旱季消耗弹性储量，雨季补偿弹性储量这类承压水的形成规律，可以弹性均衡做为地下水蕴藏量评价的基础。

要求的长观测资料，应按旬(或月)统计泉流量，选择具有代表性的水头变化值。按上述资料，绘制$Q=f(t)$及$S=f(t)$动态曲线，如图1—9为，天然的区域下降漏斗图。

设在旱季期间，动态曲线上的某一段的水头是等速下降区

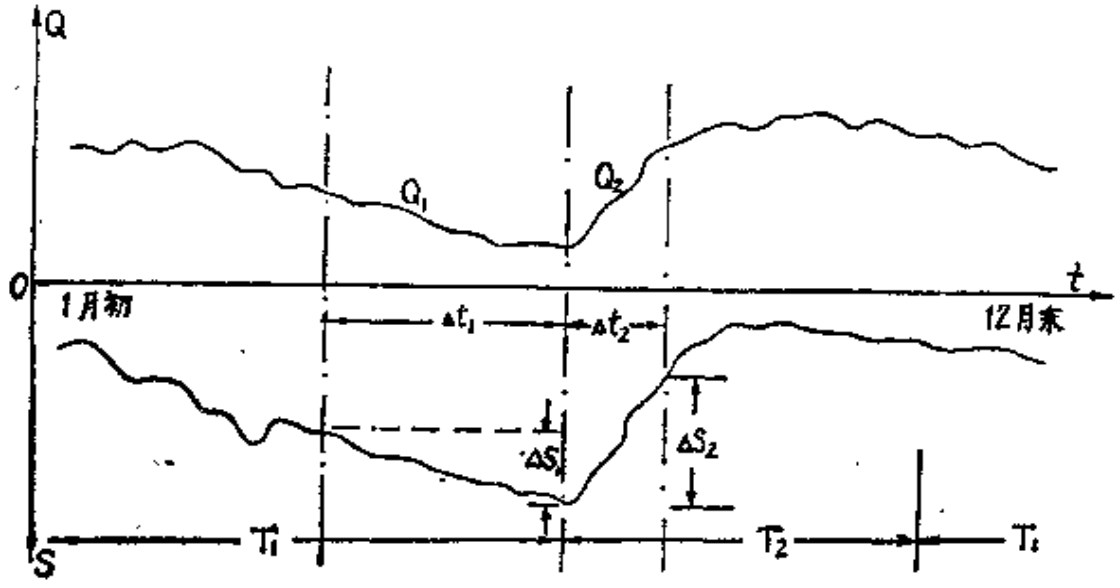


图 1—9　天然泉流量过程曲线

间。这个区间对应的时间为 Δt_1，泉群流量为 Q_1，水头降差为 ΔS_1。集水面积用 F 表示，平均弹性给水度为 μ^*。则弹性均衡关系是：

$$\mu^* \cdot F \cdot \Delta S_1 = Q_1 \cdot \Delta t_1 \quad 或 \quad \mu^* \cdot F = \frac{Q_1 \Delta t_1}{\Delta S_1} \qquad (a)$$

式中：$\mu^* F$—在旱季代表水头下降一米时集水面积内释放的弹性储存量；在雨季代表水头上升一米时，对消耗的弹性储存量的补给量，可按(a)式直接计算出来，不必分别测定，尤其 μ^* 值在灰岩地区无法准确测定时，则依此做为评价的基础。

设在雨季期间，某一段水头等速上升区。在此区间对应的时间为 Δt_2，泉流量为 Q_2，水头升差为 ΔS_2。这段时间所得补给量，应等于泉群流量与补偿量之和：

$$Q_{补} = Q_2 + \frac{\mu^* \cdot F \cdot \Delta S_2}{\Delta t_2} \qquad (b)$$

如果一年内总补给时间为 T_2，则总补给量体积 $V_{补}$：

$$V_{补} = Q_{补} \cdot T_2 \qquad (c)$$

把这个补给量体积分配到全年使用，即得开采量。把以上三式综合起来：

$$Q_{开} = \frac{V_{补}}{365} = \frac{T_2}{365}\left(Q_2 + Q_1 \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \cdot \frac{\Delta S_2}{\Delta S_1}\right) \qquad (1—21)$$

这样求出的开采量，对一年来说无疑是有补给保证的。为了经得起旱季、特别是旱年系列的考验，应当选取安全系数 $a>1$。用 T 表示计算年的补给时间，可取 $T_2 = \frac{T}{a}$。这样选取 T_2 后按上式计算的开采量对多年来说也是有补给保证的。

在指定地区实际开采时，这样的开采量能否取出来，必须检查旱季末期可能形成的最大水头降低是否超过设备的允许降深。按(a)式得：

$$S_{max} = \frac{Q_{开} \cdot T_1}{\mu^* \cdot F} \qquad (d)$$

这里的T_1是旱季总时间，S_{max}是拟开采区的最大水头降低值。

如果求得的S_{max}在设备的允许降深以内，则证明拟采区可以取出$Q_开$。这时的$Q_开$就是既有补给保证又能取出来的区域开采量。

值得注意的是，计算$\mu^* \cdot F$或者$Q_开$时，要求选择水头等速升降的区间。对旱季来说是反映区域水头下降而不是局部；对雨季来说是反映一定开采条件下的补给能力而不是天然条件的补给量。

但是在这个区间内，泉群流量一般是不稳定的，应该注意选取那个数值计算呢？如果流量变幅不大，可取最大和最小的算数平均值；如果变幅很大时，要按积量取平均值。即对任一时刻来说，都能满足弹性均衡关系：$\mu^* \cdot \bar{F} \cdot ds = Q dt$，在$\Delta S$段求其积分，$\mu \cdot F \cdot ds = \int Q dt$。这时，只要找出$Q—t$变化规律，就能完成这个积分。经过积分的平均作用，再求$\mu^* \cdot F$或$Q_开$的值，比较可靠。

评价方法及原理与上述两个问题相同，故不重复。

（五）干扰井群法：这种方法，适合井数不多、井位集中、开采承压水的新建水源地。用它解决中小城市、厂矿企业等单独供水点的开采量评价，比较方便。

方法的基本原理，是利用有观测孔的单井非稳定抽水试验资料，推算允许降深以内的稳定开采量。现在以两口承压井为例，说明方法的原理。

在二井单独抽水试验时，设井1的水位降为S'_1，稳定流量为Q'_1，试验时间为t'_1。井2的流量和时间为Q'_2和t'_2，对井1的影响水位降S''_1根据非稳定流公式，井1的水位降和影响水位降分别为：

$$S'_1 = \frac{Q'_1}{4\pi KM} \ln \frac{2.25 a t'_1}{r_1^2}; \quad S''_1 = \frac{Q'_2}{4\pi KM} \ln \frac{2.25 a t'_2}{r_2^2}$$

式中：KM——导水系数；

a——导压系数；

r_1——井1半径；

r_2——井2至井1的距离。

在二井开采过程中，设开采量分别为Q_1和Q_2，开采时间为t_1和t_2。这时，在开采末期井1的水位降S_1，按叠加原理表示为：

$$S_1=\frac{Q_1}{4\pi KM}\ln\frac{2.25at_1}{r_1^2}+\frac{Q_2}{4\pi KM}\ln\frac{2.25at_2}{r_2^2}$$

把前面二式中的常数项$\ln\frac{2.25a}{r_1^2}$和$\ln\frac{2.25a}{r_2^2}$提出来代入上式的对应项中，整理后得：

$$S_1=\frac{Q_1}{Q_1^1}S_1'+\frac{Q_2}{Q_2^1}S_1''+\frac{Q_{井}}{4\pi KM}\ln\frac{t}{t'} \qquad (a)$$

$$Q_{井}=Q_1+Q_2;$$

$$\ln\frac{t}{t'}=\frac{(Q_1\ln t_1+Q_2\ln t_2)-(Q_1\ln t_1'+Q_2\ln t_2')}{Q_{井}} \qquad (b)$$

分析(a)式可见，井1在开采末期的水位S_1是由三项组成的。第一项与开采时间无关，它相当于井1单独生产而开采量为Q_1时应有的水位降。第二项也与开采时间无关，它相当于井2单独生产而开采量为Q_2时对井1的影响值。第三项同时间有关，按时间的对数规律变化，这是开采过程中消耗弹性量引起的附加水位降。

根据上述两口井水位降的组成规律，不难理解，如用多口干扰井开采时，任一口井中的水位降总可以写成三项之和：

$$S=S+\sum\Delta S+\Delta S(t) \qquad (1—22)$$

式中，S——计算井在开采末期水位降；

S——计算井单独生产时的水位降；

$\sum\Delta S$——各井单独生产时对计算井影响值的总和；

$\Delta S(t)$——计算井的附加水位降。

当开采过程中有激化补给量参加使开采动向趋向稳定时，$\Delta S(t)\to 0$，于是得简单式：

$$S=S+\sum\Delta S \qquad (1—23)$$

公式（1—22）（1—23）就是要求的结果。

公式（1—22）考虑了附加水位降，用在开采大面积深部承压水，且离补给边界较远，径流微弱地区比较适合，这时附加水位降有几米到几十米，是不能忽视的。

公式（1—23）适合径流较发育地区，距补给边界较近或有激化补给量参加，开采过程容易趋向稳定的承压水。这时开采引起的水位降很小，可忽略。

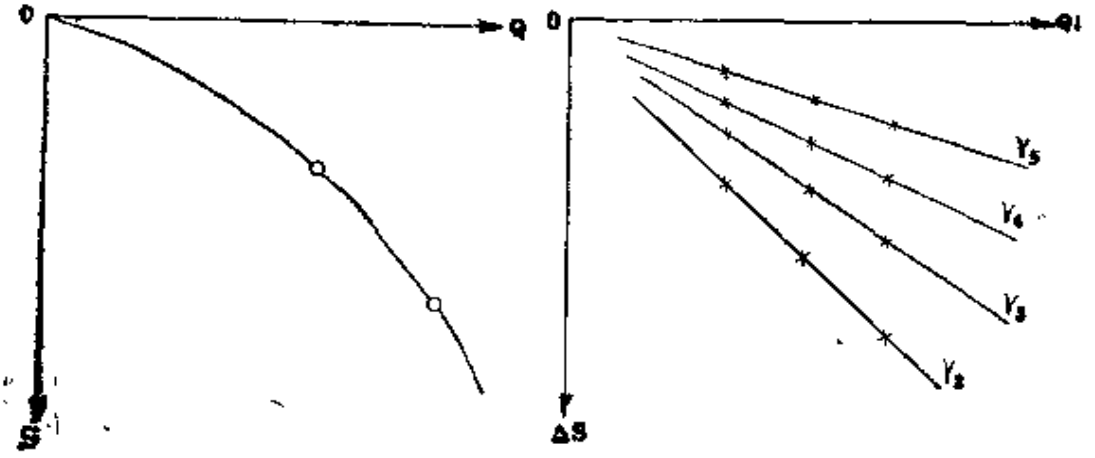
推算稳定开采量步骤：

第一步、按生产和设计要求，拟定开采方案（井数、布局、开采时间、允许降深）。把需水量分配给各井，并选出分配量最大和受干扰最强的井做为计算井。这种井在开采中水位降最大开采量最易失去稳定性。

第二步、求计算井单独生产时的水位降 S 值。可按抽水试验资料绘出 $Q—S$ 曲线，用外推法确定，（图 1—10）之(A)。首先判别曲线性质，找出曲线方程，用两个落程的试验资料确定出方程的系数。然后，把计算井分配量代入方程求出 S 值。

承压水的 $Q—S$ 曲线，多数符合两种规律：

抛物线规律：$S=AQ+BQ^2$



（A）　　（B）

图 1—10

(A)—计算井的 $Q—S$ 曲线；(B)—计算井水位削减曲线

幂曲线规律：$S=AQ^B$

式中：A，B—待定系数

第三步、求计算井的$\Sigma\Delta S$。用抽水时观测资料绘出计算井的水位削减值如（图1—10）之(B)。这种图可按各井单独抽水时对计算井的影响值绘制；如各井没做抽水试验，考虑井间干扰的等效性，也可用计算井抽水时对各井的影响值绘制。多数资料证明，水位削减值图一般都是通过座标原点的直线。所以按各井分配量，从图中可以直接查出开采时对计算井的影响值。把各值总和起来即得$\Sigma\Delta S$。

第四步、求计算井的$\Delta S(t)$。按$\Delta S(t)=\frac{Q_井}{4\pi KM}\ln\frac{t}{t'}$计算，

其中$\ln\frac{t}{t'}$可按(b)式计算。根据水文地质条件判断，如果采用公

式（1—23)时可忽略$\ln\frac{t}{t'}$。

第五步、检查开采量的稳定性。根据上述已求得的水位降，按公式计算出井在开采末期水位降S值。把它同规划的允许降深做比较。如已超过允许降深，则说明分配量不稳定，应调整方案，增加井数或调整分配量，重新计算。如果小于允许降深，则说明开采方案合理，在预定开采期间，分配量有保证。这时各井分配量之和就是开采量。

这样确定的开采量，既能满足需水量的要求，又能在既定开采方案的条件下，从含水层中取出来，而且在预定开采期间内最大水位降不超过允许降深。开采量稳定，所以符合开采量的要求。

（六）开采强度法：在开采区范围内，井位分布比较均匀，各井开采量相差不大的开采区，概化成一个或几个规则形状，如圆形区或矩形区。然后，把分散的总开采量看成是均匀分布在这种规则的开采面积上，再利用开采强度（单位面积上的开采量）和水位的变化规律预测，即称开采强度法也称非稳定流法。适用

于地下水局部开采区的农田供水等的开采量评价。

下面以承压水矩形开采区为例，说明其原理及方法，如图1—11。

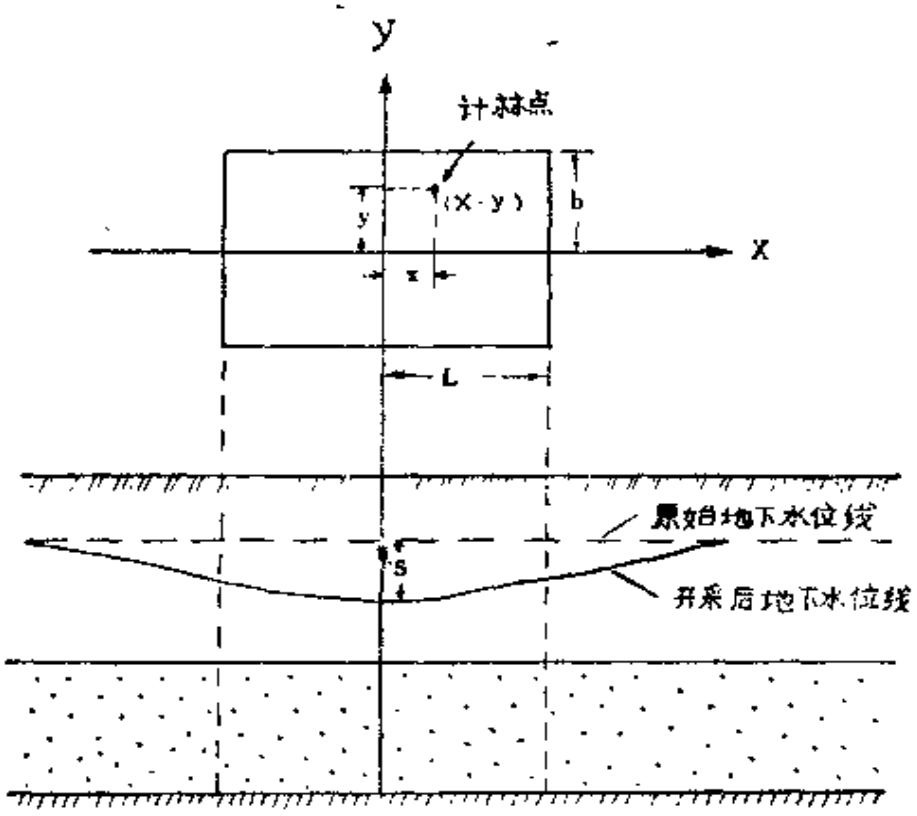


图 1—11

在矩形开采区内，任一点的总水位降为：

$$S(x\cdot y\cdot t)=\frac{\varepsilon t}{\mu^*}\cdot\overline{S} \qquad (1—24)$$

式中：$S(x\cdot y\cdot t)$——时间为 t 时任一计算点的水位降深（米）；

ε——开采强度（米/日），即单位面积单位时间开采量；

t——计算水位降深的时间（日）；

μ^*——弹性储水系数；

$\overline{S}$ 矩形开采区降深系数。它决定了开采区的尺寸、计算点所在平面位置，含水层水文地质参数及计算降深的时间，由下式表示：

$$\bar{S}=\frac{1}{4}\left[S^*\left(\frac{l+x}{2\sqrt{at}},\ \frac{b+y}{2\sqrt{at}}\right)+S^*\left(\frac{l+x}{2\sqrt{at}},\ \frac{b-y}{2\sqrt{at}}\right)+\right.$$

$$\left.S^*\left(\frac{l-x}{2\sqrt{at}},\ \frac{b-y}{2\sqrt{at}}\right)+S^*\left(\frac{l-x}{2\sqrt{at}},\ \frac{b-y}{2\sqrt{at}}\right)\right] \quad (1\text{--}25)$$

函数$S^*=(\alpha,\beta)=\int_0 \mathrm{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\tau}}\right.$

α \ β	0.02	0.04	0.06	0.08	0.01	0.14	0.18	0.22
0.02	0.0041	0.0073	0.0101	0.0125	0.0146	0.0184	0.0216	0.0243
0.04	0.0073	0.0135	0.0188	0.0236	0.0278	0.0353	0.0416	0.0470
0.06	0.0101	0.0188	0.0266	0.0335	0.0398	0.0509	0.0602	0.0684
0.08	0.0125	0.0236	0.0335	0.0425	0.0508	0.0652	0.0776	0.0884
0.10	0.0146	0.0278	0.0398	0.0508	0.0608	0.0786	0.0939	0.1072
0.14	0.0184	0.0355	0.0509	0.0652	0.0786	0.1025	0.1232	0.1414
0.18	0.0216	0.0416	0.0602	0.0776	0.0939	0.1232	0.1490	0.1716
0.22	0.0243	0.0470	0.0684	0.0884	0.1072	0.1414	0.1716	0.1984
0.26	0.0267	0.0518	0.0754	0.0978	0.1188	0.1573	0.1916	0.2222
0.30	0.0288	0.0559	0.0817	0.1060	0.1280	0.1714	0.2094	0.2433
0.34	0.0306	0.0596	0.0871	0.1133	0.1381	0.1839	0.2251	0.2621
0.38	0.0322	0.0628	0.0920	0.1197	0.1461	0.1949	0.2391	0.2789
0.42	0.0337	0.0657	0.0963	0.1254	0.1532	0.2048	0.2515	0.2938
0.46	0.0349	0.0683	0.1001	0.1305	0.1595	0.2135	0.2626	0.3071
0.50	0.0361	0.0705	0.1035	0.1350	0.1650	0.2212	0.2724	0.3189
0.54	0.0371	0.0725	0.1065	0.1389	0.1700	0.2281	0.2812	0.3275
0.58	0.0380	0.0743	0.1091	0.1425	0.1744	0.2343	0.2890	0.3389
0.62	0.0387	0.0795	0.1115	0.1456	0.1783	0.2397	0.2959	0.3472
0.66	0.0394	0.0773	0.1136	0.1484	0.1818	0.2445	0.3020	0.3547
0.70	0.0401	0.0785	0.1154	0.1509	0.1849	0.2488	0.3075	0.3612
0.74	0.0406	0.0796	0.1171	0.1531	0.1876	0.2526	0.3123	0.3671
0.78	0.0411	0.0806	0.1185	0.1550	0.1900	0.2559	0.3166	0.3722
0.82	0.0415	0.0814	0.1198	0.1567	0.1921	0.2588	0.3203	0.3768
0.86	0.0419	0.0822	0.1209	0.1582	0.1940	0.2615	0.3237	0.3808
0.90	0.0422	0.0828	0.1219	0.1595	0.1957	0.2638	0.3266	0.3844
0.94	0.0425	0.0834	0.1228	0.1607	0.1971	0.2658	0.3292	0.3875
0.98	0.0428	0.0839	0.1236	0.1617	0.1984	0.2676	0.3314	0.3902
1.00	0.0429	0.0842	0.1239	0.1622	0.1990	0.2684	0.3324	0.3914
1.20	0.0437	0.0858	0.1263	0.1654	0.2030	0.2740	0.3396	0.4001
1.40	0.0441	0.0866	0.1275	0.1669	0.2049	0.2767	0.3431	0.4093
1.80	0.0444	0.0871	0.1283	0.1680	0.2060	0.2785	0.3454	0.4071
2.00	0.0444	0.0871	0.1284	0.1681	0.2064	0.2787	0.3457	0.4075
2.20	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4076
2.50	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4077
3.00	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2789	0.3458	0.4077

式中：l ——开采区 x 轴向长度之半（米）；

b ——开采区 y 轴向长度之半（米）；

a ——压力传导系数（米²/日）。

$S^*(\alpha,\beta)$ 可查表 1—2

$$\Big) \operatorname{erf}\left(\frac{\beta}{\sqrt{\tau}}\right) d\tau$$

表 1—2

0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62
0.0267	0.0288	0.0306	0.0322	0.0337	0.0349	0.0361	0.0371	0.0380	0.0387
0.0518	0.0559	0.0596	0.0628	0.0657	0.0683	0.0705	0.0725	0.0743	0.0759
0.0754	0.0817	0.0871	0.0920	0.0963	0.1001	0.1035	0.1065	0.1091	0.1115
0.0978	0.1060	0.1133	0.1197	0.1254	0.1305	0.1350	0.1389	0.1425	0.1456
0.1188	0.1290	0.1381	0.1461	0.1532	0.1595	0.1650	0.1700	0.1744	0.1783
0.1573	0.1714	0.1839	0.1949	0.2048	0.2133	0.2212	0.2281	0.2343	0.2389
0.1916	0.2029	0.2251	0.2391	0.2515	0.2626	0.2724	0.2812	0.2890	0.2959
0.2222	0.2433	0.2621	0.2789	0.2938	0.3071	0.3189	0.3295	0.3389	0.3472
0.2494	0.2737	0.2954	0.3147	0.3320	0.3474	0.3612	0.3735	0.3844	0.3941
0.2737	0.3009	0.3252	0.3470	0.3665	0.3839	0.3995	0.4134	0.4257	0.4366
0.2954	0.3252	0.3520	0.3761	0.3976	0.4169	0.4341	0.4495	0.4633	0.4756
0.3147	0.3470	0.3761	0.4032	0.4256	0.4466	0.4654	0.4823	0.4973	0.5108
0.3320	0.3665	0.3976	0.4256	0.4508	0.4734	0.4937	0.5119	0.5281	0.5427
0.3474	0.3839	0.4169	0.4466	0.4734	0.4975	0.5191	0.5385	0.5559	0.5715
0.3612	0.3995	0.4341	0.4654	0.4137	0.5191	0.5420	0.5626	0.5810	0.5973
0.3735	0.4134	0.4495	0.4823	0.5119	0.5385	0.5626	0.5842	0.6036	0.6209
0.3811	0.4257	0.4633	0.4773	0.5281	0.5559	0.5810	0.6036	0.6238	0.6430
0.3911	0.4368	0.4756	0.5108	0.5427	0.5715	0.5925	0.6209	0.6420	0.6609
0.4027	0.4466	0.4865	0.5227	0.5156	0.5854	0.6122	0.6364	0.6582	0.6778
0.4104	0.4553	0.4962	0.5334	0.5672	0.5977	0.6254	0.6503	0.6728	0.6929
0.4172	0.4630	0.5043	0.5429	0.5774	0.6087	0.6371	0.6627	0.6857	0.7064
0.4232	0.4690	0.5125	0.5513	0.5865	0.6185	0.6475	0.6736	0.6972	0.7184
0.4286	0.4760	0.5192	0.5587	0.5946	0.6272	0.6567	0.6834	0.7074	0.7291
0.4333	0.4813	0.5252	0.5553	0.6017	0.6348	0.6648	0.6920	0.7165	0.7386
0.4374	0.4860	0.5305	0.5711	0.6080	0.6416	0.6721	0.6996	0.7245	0.7469
0.4411	0.4902	0.5351	0.5762	0.6136	0.6476	0.6784	0.7063	0.7316	0.7543
0.4442	0.4938	0.5392	0.5807	0.6184	0.6528	0.6840	0.7123	0.7378	0.7608
0.4453	0.4955	0.5410	0.5827	0.6206	0.6552	0.6869	0.7150	0.7406	0.7638
0.4558	0.5070	0.5540	0.5909	0.6362	0.6719	0.7044	0.7339	0.7605	0.7846
0.4608	0.5127	0.5603	0.6035	0.6438	0.6801	0.7132	0.7432	0.7704	0.7949
0.4641	0.5165	0.5645	0.6086	0.6489	0.6856	0.7190	0.7494	0.7769	0.8018
0.4645	0.5169	0.5651	0.6092	0.6495	0.6863	0.7198	0.7502	0.7778	0.8207
0.4646	0.5171	0.5653	0.6094	0.6497	0.6865	0.7200	0.7505	0.7781	0.8030
0.4647	0.5172	0.5653	0.6095	0.6498	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032
0.4647	0.5172	0.5654	0.6095	0.6499	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032

当计算开采中心（$x=0$，$y=0$）的水位降深时由（1—24）式可得：

$$S(0,t)=\frac{\varepsilon t}{\mu^*}\ S^*\left(\frac{l}{2\sqrt{at}},\ \frac{b}{2\sqrt{at}}\right) \qquad (1—26)$$

函数 $S^*=(\alpha,\beta)=\int_0^1 \mathrm{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\tau}}\right.$

α \ β	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90
0.02	0.0387	0.0394	0.0401	0.0406	0.0411	0.0415	0.0419	0.0422
0.04	0.0759	0.0773	0.0785	0.0796	0.0806	0.0814	0.0822	0.0828
0.06	0.1115	0.1136	0.1154	0.1171	0.1185	0.1198	0.1209	0.1219
0.08	0.1456	0.1484	0.1509	0.1531	0.1550	0.1567	0.1582	0.1595
0.10	0.1785	0.1818	0.1849	0.1876	0.1900	0.1921	0.1940	0.1957
0.14	0.3397	0.2445	0.2088	0.2526	0.2559	0.2589	0.2675	0.2638
0.16	0.3959	0.3020	0.3075	0.3133	0.3106	0.3203	0.3231	0.3266
0.22	0.3472	0.3547	0.3012	0.3671	0.3722	0.3768	0.3808	0.3844
0.24	0.3941	0.4027	0.4104	0.4172	0.4232	0.4286	0.4333	0.4374
0.30	0.4368	0.4466	0.4553	0.4630	0.4699	0.4760	0.4813	0.4860
0.34	0.4756	0.4865	4.4962	0.5048	0.5125	0.5192	0.5282	0.5305
0.38	0.5108	0.5227	5.5334	0.5429	0.5513	0.5587	0.5653	0.57
0.40	0.5427	0.5556	5.5672	0.5774	0.5865	0.5946	0.6017	0.6080
0.46	0.5715	0.5854	5.5977	0.6087	0.6185	0.6272	0.6348	0.6416
0.50	0.5975	0.6122	6.6254	0.6371	0.6475	0.6567	0.6648	0.6721
0.54	0.6209	0.6364	0.6503	0.6627	0.6736	0.6834	0.6920	0.6996
0.58	0.6420	0.6582	0.6728	0.6857	0.6972	0.7074	0.7165	0.7245
0.62	0.6609	0.6778	0.6929	0.7064	0.7184	0.7291	0.7386	0.7469
0.66	0.6778	0.6953	0.7110	0.7250	0.7375	0.7486	0.7584	0.7671
0.70	0.6929	0.7110	0.7272	0.7417	0.7546	0.7660	0.7762	0.7852
0.74	0.7064	7.7250	0.7417	0.7566	0.7698	0.7816	0.7921	0.8014
0.78	0.7184	7.7375	0.7546	0.7698	0.7834	0.7956	0.8063	0.8159
0.80	0.7291	7.7486	0.7660	0.7816	0.7956	0.8080	0.8190	0.8288
0.88	0.7386	7.7584	0.7762	0.7921	0.8063	0.8190	0.8302	0.8402
0.90	0.7468	7.7671	0.7852	0.8014	0.8159	0.8288	0.8402	0.8504
0.94	0.7543	0.7748	0.7932	0.8036	0.8343	0.8374	0.8491	0.8594
0.98	0.7608	0.7818	0.8002	0.8158	0.8317	0.8450	0.8569	0.8674
1.00	0.7638	0.7846	0.8034	0.8201	0.8351	0.8485	0.8604	0.8710
1.20	0.7846	0.8064	0.8259	0.8434	0.8591	0.8731	0.8855	0.8966
1.40	0.7949	0.8171	0.8370	0.8549	0.8710	0.8853	0.8980	0.9094
1.80	0.8018	8.8243	0.8445	0.8627	0.8789	0.8935	0.9065	0.9180
2.00	0.8027	8.8252	0.8454	0.8636	0 8799	0.8945	0.9075	0.9191
2.20	0.8030	8.8255	0.8458	0.8640	0 8803	0.8949	0.9079	0.9195
2.50	0.9032	8.8257	0.8460	0.8642	0.8805	0.8951	0.9081	0.9197
3.00	0.8032	8.8257	0.8460	0.8642	0.8805	0.8951	0.9081	0.9197

(1—24) 及 (1—26) 式，为矩形开采区的计算公式，其适用条件，是含水层分布面积很大，距补给区很远，开采量主要是由储存量组成的，故并不丰富。这时的评价方法，应在满足需水量的前提下，拟定控制水位降深的规划，并按此规划计算开采量

$\left)\ \mathrm{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\tau}}\right)d\tau\right.$

表 1—2

0.94	0.98	1.00	1.20	1.40	1.80	2.00	2.20	2.60	3.00
0.0425	0.0428	0.0429	0.0437	0.0441	0.0441	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444
0.0834	0.0839	0.0842	0.0868	0.0866	0.0871	0.0817	0.0872	0.0892	0.0872
0.1228	0.1236	0.1239	0.1263	0.1273	0.1283	0.1284	0.1284	0.1284	0.1284
0.1607	0.1617	0.1622	0.1654	0.1669	0.1680	0.1681	0.1682	0.1682	0.1682
0.1971	0.1984	0.1990	0.2030	0.3049	0.2062	0.2064	0.2065	0.2065	0.2065
0.2658	0.2676	0.2684	0.2710	0.2767	0.2785	0.3767	0.2788	0.4788	0.2789
0.3292	0.3314	0.2334	0.3396	0.3431	0.3454	0.3437	0.3458	0.3458	0.3458
0.3875	0.3902	0.3914	0.4001	0.4043	0.4071	0.1075	0.4076	0.4077	0.4077
0.4411	0.4442	0.4457	0.4558	0.4608	0.1641	0.4645	0.4646	0.4647	0.4647
0.4902	0.4938	0.4955	0.5070	0.5127	0.5165	0.5169	0.5171	0.5172	0.5172
0.5351	0.5392	0.5410	0.5540	0.5603	0.5645	0.5651	0.5653	0.5653	0.5654
0.5762	0.5807	0.5827	0.5969	0.6039	0.6086	0.6092	0.6094	0.6095	0.6095
0.6136	0.6184	0.6206	0.6362	0.6438	0.6489	0.6495	0.6497	0.6498	0.6499
0.6476	0.6528	0.6552	0.6719	0.6801	0.6856	0.6863	0.6865	0.6867	0.6867
0.6784	0.6840	0.6865	0.7044	0.7132	0.7190	0.7198	0.7200	0.7202	0.7202
0.7063	0.7123	0.7150	0.7339	0.7432	7.7491	7.7502	0.7505	0.7506	0.7506
0.7316	0.7378	0.7406	0.7605	0.7704	7.7769	7.7778	0.7781	0.7782	0.7782
0.7543	0.7608	0.7638	0.7846	0.7949	8.8018	8.8022	0.8030	0.8032	0.8032
0.7748	0.7816	0.7846	0.8064	0.8171	8.8243	8.8252	0.8255	0.8257	0.8257
0.7922	0.8002	0.8034	0.8259	0.8370	8.8145	8.8454	0.8458	0.8460	0.8460
0.8096	0.8168	0.8201	0.8434	0.8549	0.8627	0.8636	0.8640	0.8642	0.8642
0.8243	0.8319	0.8351	0.8591	0.8710	0.8789	0.8799	0.8803	0.8805	0.8805
0.8374	0.8450	0.8485	0.8731	0.8853	0.8935	0.8945	0.8949	0.8951	0.8951
0.8491	0.8569	0.8604	0.8855	0.8980	0.9063	0.9025	0.9079	0.9081	0.9081
0.8594	0.8674	0.8710	0.8966	0.9094	0.9180	0.9191	0.9195	0.9197	0.9197
0.8686	0.8767	0.8803	0.9064	0.9195	0.9282	0.9294	0.9298	0.6300	0.9300
0.8767	0.8849	0.8886	0.9151	0.9284	0.9373	0.9384	0.9389	0.9391	0.9391
0.8803	0.8886	0.8924	0.9191	0.9321	0.9414	0.9426	0.9430	0.9432	0.9433
0.9064	0.9151	0.9194	0.9472	0.9614	0.9709	0.9722	0.9726	0.9728	0.9729
0.9195	0.9284	0.9324	0.9614	0.9759	0.9858	0.9871	0.9875	0.9878	0.9878
0.9282	0.9373	0.9414	0.9709	0.9858	0.9959	0.9972	0.9977	0.9979	0.9980
0.9294	0.9384	0.9426	0.9722	0.9871	0.9972	0.9985	0.9990	0.9992	0.9993
0.9298	0.9389	0.9430	0.9726	0.9875	0.9977	0.9990	0.9995	0.9997	0.9998
0.9300	0.9391	0.9432	0.9728	0.9878	0.9979	0.9992	0.9997	1.0000	1.0000
0.9300	0.9391	0.9433	0.9729	0.9878	0.9980	0.9993	0.9998	1.0000	1.0000

和回灌量，结合人工补给评价开采量的稳定性。

计算方法：

1．第一步计算公式中的参数 μ^*、a。对新水源地，一般按抽水试验资料计算参数。对旧水源地，可用相邻两年的开采资料，即开采区中心水位及年平均开采强度，代入（1—26）式列出两方程：

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= \frac{\varepsilon_1 t_1}{\mu^*} \cdot S^*\left(\frac{l}{2\sqrt{at_2}},\ \frac{b}{2\sqrt{at_1}}\right) \qquad (a) \\ S_2 &= \frac{\varepsilon_1 t_2}{\mu^*} \cdot S^*\left(\frac{l}{2\sqrt{at_2}},\ \frac{b}{2\sqrt{at_2}}\right) + \frac{(\varepsilon_2-\varepsilon_1)(t_2-t_1)}{\mu^*} \\ &\quad S^*\left(\frac{l}{2\sqrt{a(t_2-t_1)}},\ \frac{b}{2\sqrt{a(t_2-t_1)}}\right) \qquad (b) \end{aligned}\right\}$$

消去 μ^*，再用试算法求 a 值。把所得之值代入上二式之一可求得 μ^*。这样求出的参数比较符合实际。

2．结合开采规划预测开采区中心水位降。依据规划的需水量，求出开采强度，然后按（1—24）式或（1—26）式预测历年水位降。如果预测期间水位降均小于允许降深，则证明规划的开采量是有保证的，否则应做下一步预测工作。

3．预测历年必需的回灌量。依据开采设备确定必须控制的水位标高，计算历年可能开采量，它同规划需水量之差就是必须回灌量。至于回灌效果，还需继续观测。

根据上述计算，既能满足需水量要求，又可以回灌把水位控制在允许降深之内，保证开采量稳定性。这就是深部承压水开采量的评价方法。

例，某局部开采区，水井分布均匀，但远离补给边界，据开采井资料，从1968年开始生产，开采区形状可概化为矩形见图（1—11），$2L=11000$ 米，$2b=4000$ 米。开采前地下水处于相对稳定状态，经开采后所得资料如下：

从69.7.19到70.7.30继续开采，开采面积为44平方公里，

年 月 日	天 数 (日)	开 采 量 Q (万米³)	开采面积 F (平方公里)	开采强度 (ε = 10⁻⁶米/日)	中心水位降 S (米)
68.2.20—68.9.30	222	207.0	44	21.2	6.7
68.9.30—69.7.10	283	165.06	44	13.2	7.05
69.7.10—70.7.30	385	296.36	44		

矩形开采区 L 及 b 没有变化，预计开采量 296.36 万米³，预测70年漏斗中心水位降，并进行评价，区域最大允许降深 50 米。

解

1．利用开采资料确定水文地质参数 a、μ^*；

1）先求 a；

用 68 年和 69 年资料代入（a）及（b）式得，

$$t_2 = 222 + 283 = 505$$

并用试算法求 a，设 $a = 7.5 \times 10^4$ 米²/日代入

$$\begin{cases} 6.7 = \dfrac{21.2 \times 10^{-6} \times 222}{\mu^*} S^*\left(\dfrac{5500}{2\sqrt{a \times 222}}, \dfrac{2000}{2\sqrt{a \times 222}}\right) \\ 7.05 = \dfrac{21.2 \times 10^{-6} \times 505}{\mu^*} S^*\left(\dfrac{5500}{2\sqrt{a \times 505}}, \dfrac{2000}{2\sqrt{a \times 505}}\right) \\ \quad + \dfrac{(13.2-21.2) \times 10^{-6} \times (505-222)}{\mu^*} S^*\left(\dfrac{5500}{2\sqrt{a(505-222)}}, \right. \\ \quad \left. \dfrac{2000}{2\sqrt{a(505-222)}}\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 6.7 = \dfrac{21.2 \times 10^{-6} \times 222}{\mu^*} S^*(0.674,\ 0.245)\ S^* \text{ 查表1—2} \\ 7.05 = \dfrac{21.2 \times 10^{-6} \times 505}{\mu^*} S^*\ (0.447,\ 0.162) \\ \quad + \dfrac{(13.2-21.2) \times 10^{-6} \times (505-222)}{\mu^*} S^*(0.6,\ 0.217) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 6.7=\dfrac{21.2\times222\times10^{-5}}{\mu^*}\times0.4034 & (1)\\ 7.05=\dfrac{21.2\times505\times10^{-5}}{\mu^*}\times0.2359 & \\ \quad -\dfrac{8.0\times283\times10^{-5}}{\mu^*}\times0.3397 & (2) \end{cases}$$

取（1）式除（2）式消掉μ^*得：

$$1.05=\frac{505\times0.2359}{222\times0.4034}-\frac{8\times283\times0.3397}{21.2\times222\times0.4034}$$

$$=\frac{119.13}{89.55}-\frac{769.08}{1898.56}=1.33-0.41$$

$$1.05\doteq0.92 \qquad (3)$$

（3）式两边数值基本接近，因此设的$a=7.5\times10^4$米^2/日即为所求的a值。

2）再求μ^*：将上面确定a值，代入(a)式即可求μ^*

$$\mu^*=\frac{21.2\times10^{-5}\times222}{6.7}\times0.4034=3.16\times222\times0.4034\times10^{-5}$$

$$=283.3\times10^{-5}\doteq0.00283$$

2．预测水位降深$S_{(o)}$，根据式（1—26）即可求得：

$$S_{(o)}=\frac{\varepsilon t}{\mu^*}S^*\left(\frac{l}{2\sqrt{at}},\frac{b}{2\sqrt{at}}\right)$$

1）先求开采强度ε：

$$\varepsilon=\frac{Q}{F\cdot t}=\frac{296.36\times10^4}{44\times385\times10^6}\doteq17.49\times10^{-5}\text{(米/日)}$$

2）求S：已知，$t=222+283+385=890$(日)

$\mu^*=0.00268$　　$a=7.5\times10^4$(米^2/日)

$l=5500$米　　$b=2000$米

则：

$$S=\frac{17.49\times10^{-5}\times890}{0.00268}S^*\left(\frac{5500}{2\sqrt{7.5\times10^4\times890}},\right.$$

$$\frac{2000}{2\sqrt{7.5\times10^{4}\times890}}\Big)$$

$$=\frac{17.49\times89\times10^{-4}}{268\times10^{-5}}S^{*}(0.34,\ 0.12)$$

S^{*}查表(1—2)代入得：

$$S=\frac{17.49\times89}{268\times10^{-1}}\times0.161=9.35(\text{米})$$

3）因为$S=9.35$米<50米，在允许降深范围，说明开采量是有补给保证的。

如果预测水位降超过允许降深，必须按需水量，及开采面积和开采时间，再求开采强度，重新按式$Q=\varepsilon\cdot t\cdot F$计算开采量，确定其回灌量，以保证生产井正常工作。如需水量为40000米^3/年·公里^2，则开采强度为11×10^{-5}米/日·公里^2，而计算的开采量为27900米^3/年·公里^2，需要的回灌量等于（40000—27900）米^3/年·公里^2=12100米^3/年·公里^2。

三、以水均衡为基础的方法

水均衡法，是指在天然因素和人为因素影响下，一定地区（均衡区），在一定的时间（均衡期）内，地下水的补给量和消耗量之间的数量平衡关系。

这样均衡因均衡条件的差异，而具有不同的均衡关系。而均衡条件并不是固定不变的，它是随着水文地质条件和开采条件而变化，因此可分为天然条件下的水均衡和开采条件下的水均衡。相应的评价方法，前者称为天然均衡法（即均衡方程中开采量为零）；后者称为开采均衡法（即均衡方程中开采量不为零），总之地下水的均衡是有条件的。用水均衡法进行地下水蕴藏量评价时，关键是均衡要素的选择和确定。同时要密切注意开采条件下水均衡要素的变化趋势。

水均衡法用于不同的水文地质条件和开采条件，评价地下水开采量时，评价的方法也不同。下面仅介绍几种有代表性的方法：天然均衡法；开采均衡法；平均布井法；资源平衡法等。

（一）天然均衡法：这种方法，适合浅部积极交替带的地下水，主要用于潜水大区域的地下水蕴藏量评价，对深部承压水效果不好。适用于开采后补给条件变化不大(即开采夺取量小)，水均衡要素较容易确定地区的地下水开采量的评价，否则不适用。

对一个含水层（组）来说，在补给和消耗的不平衡发展过程中，任一时间补给量和消耗量之差，永远等于含水层（组）中水体积的变化量。这就是水量均衡法的基本原理。根据这个原理，考虑到未来开采量时，可写成下列形式的均衡方程式：

$$\mu F \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} = (Q_{入} - Q_{出}) + (W - Q_{开}) \qquad (a)$$

式中：$\mu F \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t}$——均衡区内单位时间的水体积变化量；

μF——单位疏干量；

μ——含水层的平均给水度；

F——均衡区面积；

Δt——计算时段，也称均衡期；

ΔH——在Δt时段内含水层水位平均变幅。

$Q_{入}-Q_{出}$——在均衡区侧向流入量和流出量之差。

$W-Q_{开}$——在均衡区，垂向补给量和消耗量之差。其中$W=N+y+a-Z$，N—平均降水渗入量；y—平均河水渗入量；a—平均越流补给量；Z—平均潜水蒸发量。$Q_{开}$—预测的开采量。

考虑在开采时ΔH为负值时，（a）式可改写为：

$$Q_{开} = (Q_{入} - Q_{出}) + W + \mu \cdot F\frac{\Delta H}{\Delta t} \qquad (1—27)$$

这就是水量均衡法的予测公式，式中ΔH取正值。分析1—27式可以看出，一个含水层内的区域开采量是由三部分组成的：一是侧向补给量，二是垂向补给量，三是开采过程含水层的疏干量$\mu F\frac{\Delta H}{\Delta t}$。这个关系很重要，它从理论上说明了区域开采量的可能组成关系。

应用（1—27）式，评价区域开采资源方法：

1．确定均衡要素：方程中的补给量和消耗量，各项称均衡要素。它是随水文地质条件、开采条件而变化。所以为确定均衡要素要先确定水文地质分区，或者叫做划分均衡区。如山前洪积扇区，可分为山区裂隙潜水—承压水区，洪积扇顶部孔隙潜水区，中下部孔隙潜水—承压水区等。如果同一区内水文地质条件差异很大，还可按不同指标把一个区分成若干段。分段的指标是：含水层的导水系数水位埋深及水位变幅等。这种分区分段的依据是可变的，以满足正确测定均衡要素的原则。我们这里只讲天然均衡要素的测定方法。

$Q_{入}-Q_{出}$——可用断面法测定，按达西定律计算，在控制断面上，测出天然水力坡度和含水层厚度，再根据抽水试验资料求得平均渗透系数即可。

W——一般有条件地区可在均衡场专门测定。也可用计算方法求出。

下面介绍用公式（a）计算W值。在有代表性地段，沿地下水流向布置三个观测孔，用抽水试验方法求出给水度μ和渗透系数

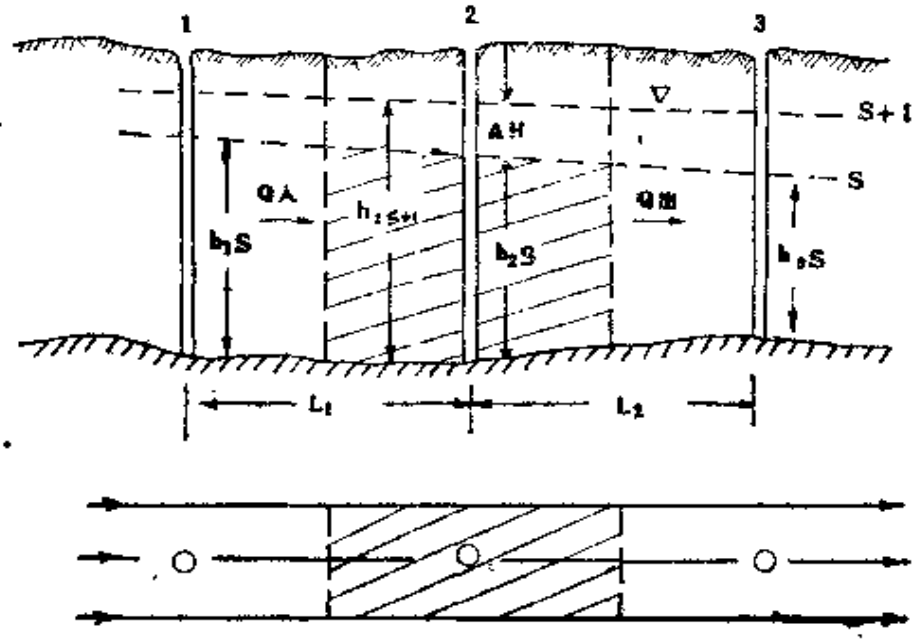


图 1—12　计算均衡要素W值示意图

K。然后观测各孔水位变化。见（图1—12）。

设经Δt时段中央孔水位变幅为ΔH，则按单宽流量公式计算：

$$Q_{入}=K\frac{h_{1t}^2-h_{2t}^2}{2l_1},\quad Q_{出}=K\frac{h_{2t}^2-h_{3t}^2}{2l_2},$$

$$\frac{\Delta H}{\Delta t}=\frac{h_{2t+1}-h_{2t}}{\Delta t},\quad F=\frac{1}{2}(l_1+l_2)$$

令 $Q_{开}=0$（因为考虑天然水均衡），将上述各式代入(1—27)式得：

$$0=K\frac{h_{1t}^2-h_{2t}^2}{2l_1}-K\frac{h_{2t}^2-h_{3t}^2}{2l_2}+W+\frac{\mu(l_1+l_2)}{2}\cdot\frac{h_{2t+1}-h_{2t}}{\Delta t}$$

整理后得：

$$W=K\cdot\frac{h_{2t}^2-h_{3t}^2}{2l_2}-K\frac{h_{1t}^2-h_{2t}^2}{2l_1}$$

$$-\frac{\mu}{2\Delta t}(l_1+l_2)\cdot(h_{2t+1}-h_{2t})\qquad(b)$$

适用条件：1）观测地段含水层（或隔水层顶板）是水平的；2）均质岩层；3）平面流；4）非稳定流。

还可根据具体的水文地质条件（如非均质岩层，隔水层顶板倾斜等），导出不同的公式求W。

用上述方法，如果均衡区选择的好，均衡要素确定的准确，则计算的结果比较符合客观实际。

2．评价区域开采量：公式（1—27）的前两项都是补给量，按前述方法可以测定参加计算。

关键在于公式中的最后一项疏干量，如何确定呢？要想做到区域评价，必须给出全区的统一开采条件。比如，可给出开采时间若干年，开采末期平均允许降深若干米，将给定值$\frac{\Delta H}{\Delta t}$，按公式（1—27）就能求出一个分区（段）的$Q_{开}$，各分区$Q_{开}$之和就是区域开采量。相反，设已知规划要求的开采量，按规划时间，给出Δt_2时段开采量，再求水位降ΔH_2。依此类推，最后可以求出规定时间内的总水位降。只要它不超过允许降深，则规划的总开采量是有补给保证的区域开采量。

缺点：第一，根据多年实测资料确定的补给量，只代表天然条件下的实际情况，不能反映开采条件下的激化补给量，所以比实际开采量小。

第二，给定或求得的 ΔH 值是每个分区（段）的平均值，不能代表各点水位的真实变化。在未来开采过程中，下降漏斗中心区的水位降最大，因开采强度不均其余部位的水位降也有较大差异，因此不能用 ΔH 预测各点水位变化。

（二）开采均衡法：

这种方法适用已开采的水源地，如山前冲洪积层潜水、河流冲积层潜水、大型河谷潜水等。含水层分布面积较大，补给充足，所以天然蕴藏量比较丰富。开采这类地区潜水时，补给条件会发生很大变化，激化补给量也较大，这是不可忽略的。在这种情况下，采用开采均衡法评价。

从生产实践证明，开采这里潜水时，除了有较丰富的天然蕴藏量外，还有各种形式的开采袭夺量，且数量很大，往往超过原有的蕴藏量，形或开采量的主要组成部分。但开采袭夺量在不同时间、不同空间其组成形式和数量也是不同的，因此必须查清在开采条件下水文地质条件的变化规律，确定开采袭夺量的组成形式及其数量大小，这是一个关键性的问题。（其求法前已讲述）

开采均衡法就是把开采漏斗作为均衡区，建立开采条件下水量均衡方程式，求出开采量。在开采条件下，进入开采漏斗的补给量，不仅包括天然补给量同时也包括开采袭夺量，而漏斗的天然消耗量极小，可忽略。因此漏斗的补给量和疏干量全部由开采量来平衡，则开采漏斗的水量均衡方程式为：

$$Q_{开} \leqslant Q_{径} + Q_{越} + Q_{河} + Q_{渗} + Q_{人} + \mu \cdot F \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1-28)$$

式中：$Q_{开}$——开采量；

$Q_{径}$——侧向径流补给量；

$Q_{越}$——越流补给量；

$Q_{渗}$——降水渗入量；

$Q_{渗}$——地表水体渗漏补给量；

$Q_{人}$——人工补给及废水回灌量；

$\mu \cdot F\frac{\Delta h}{\Delta t}$——开采漏斗单位时间疏干量。当进入稳定开采状态以后，该项等于零。

评价方法：

第一步，预测开采条件及开采漏斗边界，建立开采均衡式。根据设计的开采方案，得出开采降深；根据建筑物的大致布局，概化出开采区的平面形状；根据开采影响半径，结合水文地质条件，预测开采漏斗的影响范围及漏斗边界位置，并预测开采漏斗边界的性质和类型，如供水边界、隔水边界等。在查明漏斗补给条件的基础上，建立开采漏斗的均衡方程式。

第二步，确定漏斗的均衡要素，计算开采量。径流量，根据开采漏斗进水断面和预测的水力坡度，按达西定律计算；越流补给量，开采条件下的地表水体渗漏量，降水渗入量及人工补给量的计算前已述过。这样求得的补给量是包括开采袭夺量在内的开采条件下的补给量。各项补给量总和就是稳定开采状态的开采量。

评价：将上述补给量与开采量比较分析式（1—28）可以看出：

第一、等式右边各项的代数和大于 $Q_{开}$，可得出开采量有补给保证的评价结论；

第二、等式右边各项的代数和，在枯水年小于 $Q_{开}$，而平水年又大于 $Q_{开}$。这时要检查两点，一是借用的储存量形成的水位降深是否超过允许降深，二是平水年的补给量能否把借用的储存量补偿回来。既没有超过允许降深又能补偿回来，从多年来说，开采量仍然有补给保证。这是丰年补欠年的评价方法。

第三、同第二种情形，但借用储存量造成水位降落已经超过允许降深，或者平水年超额的补给量不能全部补偿借用的储存量。在这种情况下，应该重新调整开采方案，再进行计算。

下表为我国某河流域地下水蕴藏量平衡计算成果，在保证率

资源平衡计算表（万米³/年）　　表 1—3

年　分	$Q_{径}$	$Q_{侧}$	$Q_{河}$	$\Sigma Q_{补}$	$Q_{开}$	$Q_{灌}$	$Q_{损}$	$\Sigma Q_{消}$	ΔQ	ΔS
$P=97\%$	804	472	1990	3266	3185	2216	263	5664	−2398	2.68米
$P=50\%$	804	836	7006	8646	2185	0	263	3148	+5198	

为百分之九十七的枯水年，资源平衡结果$\Delta Q=-2398$万米³。此值需借用储存量，引起的相应水位降$\Delta S=268$米。在保证率为百分之五十的平水年平衡结果，$\Delta Q=+5198$米³，除去补偿枯水年借用的储存量外，尚余5198−2398＝2800万米³。

这说明，一个水源地的开采量，在枯水年可能出现补给不足，要借用储存量以保证开采量。但在丰水年时超额的补给量可以补偿储存量，所以评价开采量时，必须从多年的补给关系出发。

（三）漏斗均衡法：

这种方法，适用于深部承压水的旧水源地，依据开采资料用外推法进行预测，也可用于开采量失去补给保证时，解决如何实行人工补给问题。我国上海地区，用这种方法进行水位预测，采用人工回灌措施，较好的解决了地面沉降问题。

假设水源地已形成区域下降漏斗，如（图1—13），影响漏斗区水位变化的主要因素：是开采量，回灌量，径流量，设t_1时刻，漏斗中心的水位为H_1。从t_1到t_2期间，从漏斗内取出的开采量体积为V_1，向漏斗内回灌量体积为V_2，补给漏斗区的径流量的体积为V_3。水体积变化必引起水位变化。所以在t_2时刻漏斗中心水位变为H_2。

从t_1到t_2期间，水位变化值为H_2-H_1，水体积变化量为$V_2-V_1+V_3$，根据漏斗区承压水的弹性均衡关系，可写出近似表示式：

$$\mu^* F(H_2-H_1)=V_2-V_1+V_3 \qquad (a)$$

式中：μ^*——弹性给水度；

F ——漏斗扩展面积。

设漏斗边缘的平均水位为 H_0，漏斗的等效影响半径为 R，从 t_1 到 t_2 期间，径流量体积的平均值可按达西定律计算：

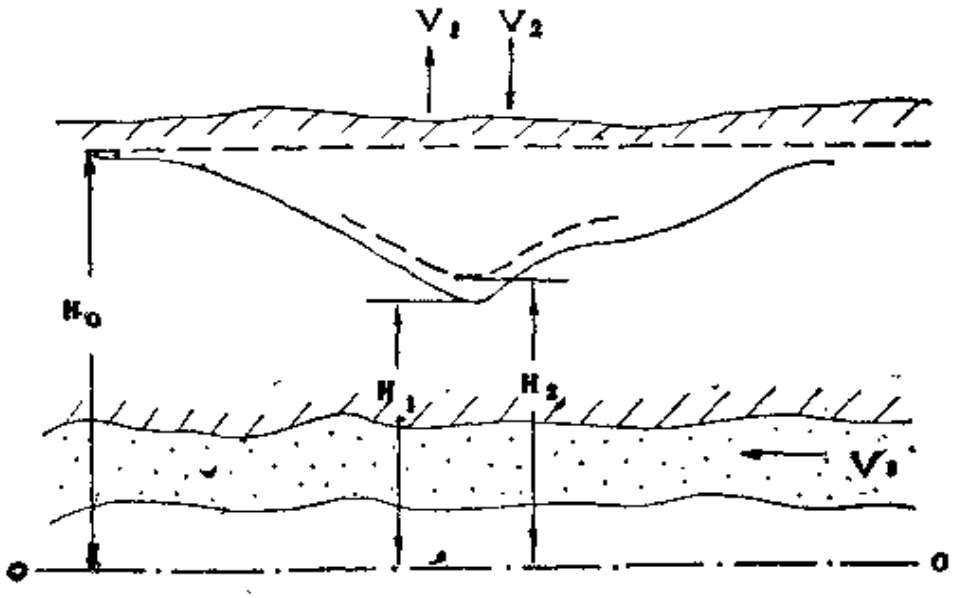


图 1—13　下降漏斗均衡剖面图

$$V_3 = K \cdot \omega \frac{H_0 - H_1}{R}(t_2 - t_1) \qquad (b)$$

式中：K ——渗透系数；

ω ——过水断面（漏斗的侧面）面积。

把（b）式代入（a）式，整理结果为：

$$H_2 = a_0 + a_1(V_1 - V_2) + a_2 H_1 \qquad (1—29)$$

$$a_0 = \frac{K\omega H_0}{\mu^* \cdot F \cdot R}(t_2 - t_1)\,;\ a_1 = -\frac{1}{\mu^* \cdot F}$$

$$a_2 = 1 - \frac{K\omega}{\mu^* \cdot F \cdot R}(t_2 - t_1)$$

这就是该方法的计算公式。a_0、a_1、a_2 为系数。当时间间隔一定时，a_0、a_1、a_2 分别为常数，但也是变化的。三个系数的确定，如果开采量有限，可选用时间间隔相邻的三年资料，代入（1—29）式，得三个方程，求方程组的解即可，但精度差一些。如有多年开采资料，最好用相关法确定三个系数。

应用（1—29）公式如何进行预测：

第一、现有开采量有补给保证。可由动态曲线中，看其历年水位是否发生持续下降的趋势做出定性判断。

对这类水源地，在满足扩大开采规划的条件下，采用逐年预测法预测水位下降趋势。这时 $V_2=0$。给出上一年漏斗中心的水位 H_1 和第一年规划的开采量体积 V_1 预测第二年的水位 H_2，再以 H_2 和第二年规划的开采量体积为初值，预测第三年的水位 H_3。依此类推，可以做出多年预测。

根据预测结果分析历年的水位下降趋势。如果预测期间的水位都在允许降深以内，则证明规划的开采量是有补给保证的。

第二、现有开采量已经失去补给保证，地下水位逐年下降。对这类水源地，要满足扩大开采规划，可采用人工回灌措施，把水位控制在某一标高以上，即在允许降深范围内，保证抽水设备的工作条件不受影响。

控制办法，是要推算历年必需的回灌量。依回灌前的水位 H_1，给出第一年规划的开采量体积 V_1 和制定的控制水位 H_2，按（1—29）式，求第一年必需的回灌量体积 V_2。以第一年控制水位 H_2 为初值，给出第二年规划的开采量体积和控制水位，再求第二年必需的回灌量体积。这样推算下去，可以预测历年必须的回灌量，保证规划开采量的要求。

这个公式的缺点是：对水位只能做点上预测，不能做面上预测，井的布局和分布面积发生较大变化时，三个系数也变化较大，则此公式失效。

（四）平均布井法：

这种方法，对浅部汗水和深部承压水都适用，一般用于区域性的地下水蕴藏量评价，水文地质条件简单时结果准确些，水文地质条件复杂时误差大些。

对大面积地区做好分区分层，是应用这一方法的前提。在平面上做好水文地质分区，必要时将区细分为段。在剖面上按水动力特征，分成不同的含水层（组），然后分段分层计算区域开采

量。

过去一般评价方法是：以影响半径二倍为平均布井的间距，按稳定流单井公式计算给定降深时的流量，再取各井流量总和，最后用天然补给量论证其保证程度。但因理论公式是把天然水力坡度设零时建立的，又加上将影响半径看成是常数，因而计算出的流量仅能代表疏干量或弹性量，而没有包括区域补给量，因而评价的区域地下水蕴藏量比实际偏小，这是在评价时应该注意的问题。

从水均衡方程式：即公式（1—27）

$$Q_{井}=(Q_{入}-Q_{出})+W+\mu\cdot F\frac{\Delta H}{\Delta t}$$

可知：一个含水层（组）的开采量，在给定的条件下，是由三部分组成的。即侧向补给量$(Q_{入}-Q_{出})$，垂向补给量W，疏干量$\mu\cdot F\frac{\Delta H}{\Delta t}$。这三项实际上包括两种性质不同的地下水蕴藏量：

第一、补给量即上式中的前两项。如果不考虑开采条件下的激化补给量时，这两项就是天然蕴藏量。可近似的代表开采条件下的补给量。这是开采量组成中的可恢复部分。

第二、损失量即上式中的最后一项，对潜水，承压水来说，这一项包函不同的函义。在给定条件下，对潜水说来是疏干量$\mu F\frac{\Delta H}{\Delta t}$是开采时水位下降形成的平均疏干层提供的水量。对承压水说来是弹性量$\mu^{*}F\frac{\Delta H}{\Delta t}$，（$\mu^{*}$—弹性给水度），是开采时水头下降形成的减压所释放的水量。无论是疏干量或弹性量，对含水层来说都是水体积或质量的损失量。但对开采来说，都是必须取出的，因而是开采量的组成部分。

对局部开采来说，取出一定的疏干量或弹性量，是为保持长期开采所必须的，否则地下水不会向井中汇聚。因其暂时性质和数量不大，所以评价时可忽略掉。但对区域评价时，这部分水量

相当大，可占开采量一半左右，所以必须作为区域开采量的组成部分，而不可忽略。

根据以上对组成关系的分析可知，预测区域开采量，必须分别求出补给量和损失量，再取其和。如果计算区的面积为F，按平均布井法，一口井的流量为Q影响面积f，则计算区的损失量为：

$$\mu F\frac{\Delta H}{\Delta t}\ (\text{或}\mu^{*}\cdot F\cdot\frac{\Delta H}{\Delta t})=\frac{F}{f}Q$$

所以一个含水层（组）的开采量是

$$Q_{开}=(Q_{入}-Q_{出}+W)+\frac{F}{f}Q \qquad (1—30)$$

如果计算区内既有潜水又有承压水，应按上式分别求出二者的$Q_{开}$，其总和即为计算区的开采量。计算区的总和就是区域开采量。

(1—30)式右边各项的求法：等式右边前三项代表开采条件下的补给量，实际计算中一般只用天然条件下补给量代替，其方法已如前述。

等式右边最后一项代替损失量。其中F是已知的。关键在于如何计算一口井的流量Q和其影响面积f值。

在一个计算区内，要充分利用已有机井或试验孔资料进行估算。如果已有Q—S曲线，可用外推法求出给定降深时的流量，再根据井的最大影响半径求f值。这是按稳定流的估算方法。

也可用非稳定流方法估算。这时要根据有代表性的抽水试验资料，先确定a，μ，和K等，然后给出平均布井间距，各井的开采时间t，允许降深S。在这些给定条件下，由于井间干扰作用，在开采末期，计算区将形成某一疏干层或减压层ΔH_1，见图1—14，则

$$\Delta H=\frac{Q\cdot t}{\mu^{*}\cdot f};\quad \text{承压井}Q=\frac{4\pi KM(S-\Delta H)}{\ln\frac{2.25at}{r_0^2}}$$

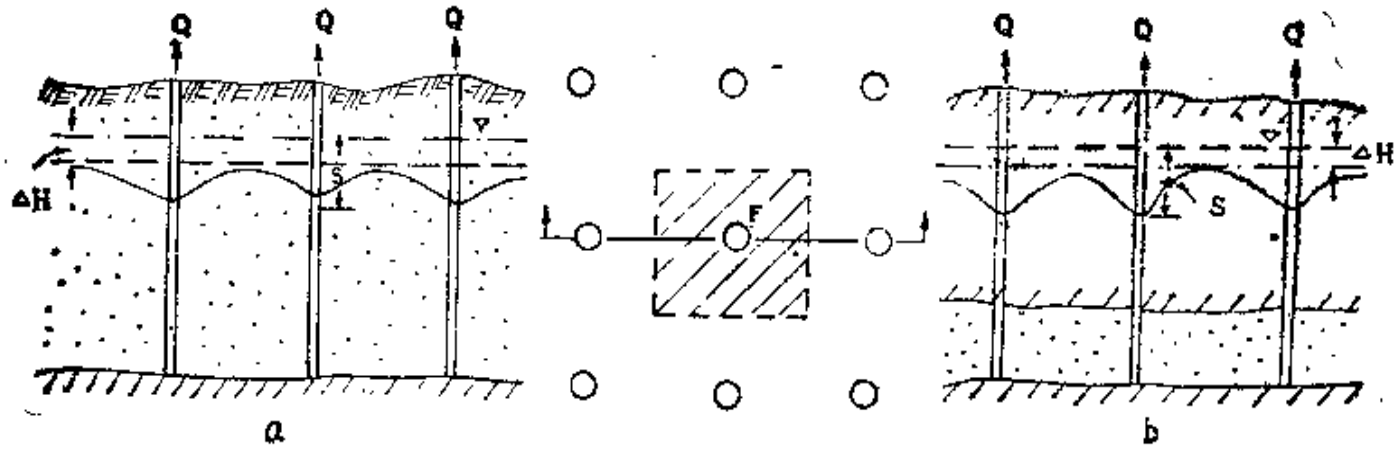


图 1—14　计算含水层损失量示意图

$$\Delta H=\frac{Q\cdot t}{\mu\cdot f}\text{；潜水井 }Q=\frac{2\pi K(2H-S-\Delta H)(S-\Delta H)}{\ln\frac{2.25at}{r_0^2}}$$

以上承压水井或潜水井都有两个方程，均含两个未知量 ΔH 和 Q，其余都是已知量，因此可解联立方程求 Q 值。这就是补给量和损失量的求法。

为了反映区域开采量的分布和形成规律，可给出开采模数图。用 F 除（1—30）式：

$$\overline{h}=\frac{Q_{开}}{F}=\frac{\Delta Q+W}{F}+\frac{Q}{f}$$

式中 $\overline{h}$ —开采模数，单位米^3/秒—公里^2。把模数分成若干区间，在平面图上用不同图例表示。从图中可以看出模数在区域内的变化；同理可求补给模数与损失模数，两者的不同比例反映开采量的恢复程度。据此可做出开采量的分布与形成规律的评价。

四、相关分析法（数理统计法）

这种方法适用于已开采的潜水或承压水的旧水源地扩大开采的评价，对新水源地不适用。旧水源地扩大开采时，在边界条件和开采条件变化不大时，用该法进行预报（水位，开采量）效果好。

相关分析法是根据地下水的两个或多个主要相关变量的大量实际观测数据，找出它们之间相互关系的表达式，然后用外推法进行预报。

在自然界所遇到各种现象之间的关系，归纳起来有三种：函数关系（完全相关），近似关系（统计相关），没有关系（零相关）。

自然界中各种物理变量之间往往既不是函数关系，又不是毫无关系，而是介于两者之间。例如从一口井抽水时，流量和水位降的关系总是能满足函数关系，但是对一个开采区来说，由于井数过多、影响因素复杂，加上观测误差，开采量和水位降的关系往往不是函数关系，但也不是没有关系，而是一种近似关系—统计相关（相关关系）。

设有若干组 Q_i 和 S_i 是历年观测的开采量和相应的水位降（一般用区域下降漏斗内的最大水位下降值）。如果把它们分别点在 Q—S 座标纸上（见图1—15）就会出现各点的位置比较分散，并不处于某种圆滑的轨迹上，因而不能用某种函数关系反映它的规律性，但是从整体来看，他们还有一定的分布趋势。如果从分布趋势中能找出最佳的直线方程或曲线方程，就可用来做最大降深时预测。用这种方法建立的方程，通常叫回归方程。

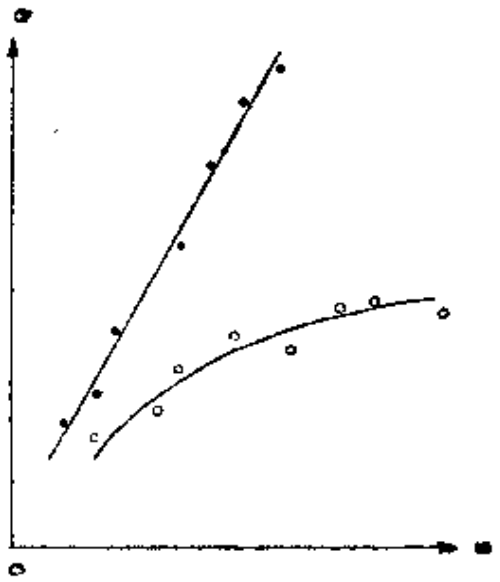


图 1—15 Q—S 分布趋势图

回归方程有两种：直线相关回归方程：

$$Q=AS+B \qquad (1—31)$$

曲线相关回归方程：

$$Q=B'\cdot S^{A} \qquad (1—32)$$

式中：A, B 为待定系数，通过多年观测资料一般用最小二乘法求得。B' 是 B 的反对数。

根据历年开采量 Q_i 和水位降 S_i 先求平均值 $\overline{Q}$ 和 $\overline{S}$。再求相关系数 r 及 V。

直线相关

$$r=\frac{\sum (Q_i-\overline{Q})\cdot(S_i-\overline{S})}{\sqrt{\sum (Q_i-\overline{Q})^2\cdot\sum (S_i-\overline{S})^2}} \qquad (a)$$

曲线相关

$$V=\frac{\sum (\lg Q_i-\overline{\lg Q})(\lg S_i-\overline{\lg S})}{\sqrt{\sum (\lg Q_i-\overline{\lg Q})^2\cdot\sum (\lg S_i-\overline{\lg S})^2}} \qquad (b)$$

r(V)有一定的物理意义，$r=0$ 时，表示零相关，$r=1$ 时表示完全相关，r 一般在 0—1 之间表示统计相关。所以 r(V) 大小反映了现象之间相关的密切程度，故称相关系数，一般认为 $r>0.5$ 表示 Q 与 S 存在相关关系。$r>0.8$ 表示相关密切。

在求出相关系数的基础上进一步求 A，B。

直线型：

$$A=r\cdot\sqrt{\frac{\sum(Q_i-\overline{Q})^2}{\sum(S_i-\overline{S})^2}} \qquad (c)$$

$$B=\overline{Q}-A\overline{S} \qquad (d)$$

曲线型：

$$A=V\cdot\sqrt{\frac{\sum(\lg Q_i-\lg\overline{Q})^2}{\sum(\lg S_i-\lg\overline{S})^2}} \qquad (e)$$

$$B=\overline{\lg Q}-A\,\overline{\lg S} \qquad (f)$$

将计算的 A,B 值分别代入上述相应的直线或曲线型公式中，得到适于该水源地地区的相关公式。只要给定设计降升值（或规划的开采量）就可预报相应的开采量（或水位降深值）。

应用方法及步骤：

第一步，计算要取得水源地历年的开采资料，主要是各开采井的流量和水位降。根据历年水位绘出动态曲线，分析它的变化趋势，可对现有开采量的保证程度做出定性评价。

再根据各井的流量和水位降统计出历年的开采量，绘出历年的区域下降漏斗图，确定图中最大水位降。最后，把历年的开采量和水位降分别点在 Q—S 座标纸上，分析它们的分布趋势。

第二步，根据其分布趋势，计算直线型和曲线型相关系数（并确定相关程度）及待定系数，最后建立回归方程

第三步，预测和评价：把设计降深代入拟定的回归方程中，即可求出相应的开采量。反之，给出规划的开采量也可预测水位降。如果预测的水位降没有超过设备的允许降深，则说明规划的开采量是有保证的。否则，部分设备可能失效，应调整开采方案。

几点说明：

1．用相关分析法外推，预测一年地下水水位精度相当高，是一种可行的预测近期水位和评价近期可开采水量的方法。

2．相关法除了用于开采量和水位降预测外，还可以解决更多变量的相关问题。如，建立水位与时间的相关方程，水位和降水量的相关方程，可以做水情预报；建立降水量和调节量的相关方程，降水量和径流量的相关方程，可以预测多年补给量及其保证率等。以上均称单相关。

3．为提高用相关分析的预测精度；可以研究更多有关变量的复相关分析；也可以探索更长一些时间外推的可能性。

实例 某水源地已有多年开采资料，经过分析，选择其中六年的开采资料进行相关计算。为了满足扩大开采的要求，外推设计降深为 26 米时的开采量。

为了对比计算结果，分别按直线相关和曲线相关来计算。

1．按直线相关计算。原始资料和计算过程列出直线相关计算表（1—4）

直线相关计算表　　表 1—4

年份	开采量 Q_i 万米³/日	水位降 S_i (米)	$Q_i-\overline{Q}$	$S_i-\overline{S}$	$(Q_i-\overline{Q})^2$	$(S_i-\overline{S})^2$	$(Q_i-\overline{Q})\cdot(S_i-\overline{S})$
1959	60	16.5	-8.3	-2.2	68.89	4.84	18.26
1960	67	18.0	-1.3	-0.7	1.69	0.49	0.91
1961	60	16.5	-8.3	-2.2	68.89	4.84	18.26
1962	63	17.3	-5.3	-1.2	28.09	1.44	6.36
1970	80	21.5	+11.7	+2.8	136.89	7.84	32.76
1971	80	21.9	+11.7	+3.2	136.89	10.24	37.44
总和Σ	410	111.9			441.34	29.69	113.99
平均	$\overline{Q}=68.3$	$\overline{S}=18.7$					

（1）求直线相关系数：

$$r=\frac{\sum(Q_i-\overline{Q})\cdot(S_i-\overline{S})}{\sqrt{\sum(Q_i-\overline{Q})^2\cdot\sum(S_i-\overline{S})^2}}$$

$$=\frac{113.99}{\sqrt{441.34\times29.69}}=0.995$$

（2）求待定系数A、B：

$$A=r\cdot\sqrt{\frac{\sum(Q_i-\overline{Q})^2}{\sum(S_i-\overline{S})^2}}=0.995\cdot\sqrt{\frac{441.34}{29.69}}$$

$$=0.995\times\frac{21.08}{5.45}=3.83$$

$$B=\overline{Q}-3.83\overline{S}=68.3-3.83\times18.7$$

$$=68.3-71.62=-3.32$$

（3）建立回归方程：即将求得的 A、B 代入直线回归方程

$$Q=AS+B$$

$$\therefore \quad Q=383S-3.32$$

（4）求外推设计降深26米时的开采量

$$Q=38.3\times 26-3.32=96.26(\text{万米}^3/\text{日})$$

2．按曲线相关计算。先列出曲线相关计算表(1—5)。

曲 线 相 关 计 算 表　　表 1—5

年份	$\lg Q_i$	$\lg S_i$	$\lg Q_i-\overline{\lg Q}$	$\lg S_i-\overline{\lg S}$	$(\lg Q_i-\overline{\lg Q})^2$	$(\lg S_i-\overline{\lg S})^2$	$(\lg S_i-\overline{\lg S})(\lg Q_i-\overline{\lg Q})$
1959	1.778	1.218	−0.053	−0.050	0.00280	0.0030	0.00270
1960	1.826	1.255	−0.005	−0.013	0.00003	0.0002	0.00007
1961	1.778	1.218	−0.053	−0.050	0.00280	0.0030	0.00270
1962	1.799	1.243	−0.032	−0.025	0.00100	0.0006	0.00080
1970	1.903	1.332	+0.072	+0.064	0.00520	0.0041	0.00460
1971	1.903	1.340	+0.072	+0.072	0.00520	0.0052	0.00520
总和Σ	10.987	7.606			0.01703	0.0161	0.01610
平均	$\overline{\lg Q}=1.831$	$\overline{\lg S}=1.268$					

（1）求曲线相关系数

$$V=\frac{\Sigma(\lg Q_i-\overline{\lg Q})\cdot(\lg S_i-\overline{\lg S})}{\sqrt{\Sigma(\lg Q_i-\overline{\lg Q})^2\cdot\Sigma(\lg S_i-\overline{\lg S})^2}}$$

$$=\frac{0.0161}{\sqrt{0.01703\times 0.0161}}=0.976$$

（2）求待定系数 A、B'

$$A=V\sqrt{\frac{\Sigma(\lg Q_i-\overline{\lg Q})^2}{\Sigma(\lg S_i-\overline{\lg S})^2}}=0.976\times\sqrt{\frac{0.01703}{0.0161}}\doteq 1.005$$

$$\lg B'=\overline{\lg Q}-A\,\overline{\lg S}=1.831-1.005\times 1.268=0.556$$

取 0.556 的反对数 $\therefore \quad B'=3.6$

（3）建立回归方程：将 A、B' 代入曲线型回归方程，则

$Q=3.6\,S^{1.005}$

（4）外推降深26米时的开采量，即将26米代入回归方程，

$Q=3.6\times26^{1.005}=3.6\times26.42=95.11$（万米³/日）

比较以上两个回归方程，从相关系数大小来看，以直线回归方程接近实际。但两个相关系数都符合要求，故可同时使用，以便比较。

用两个回归方程分别外推设计降深时的开采量，计算结果如表1—6。

开采量预测结果　　表1—6

设计降深（米）		16	18	20	22	24	26
开采量（万米³/日）	$Q=3.83S-3.32$	57.96	65.62	73.28	80.94	88.60	95.26
	$Q=3.6S^{1.005}$	58.30	65.60	72.80	80.30	87.70	95.11

五、水文气象法

地下水的补给来源，归根结底主要是靠大气降水补给。大气降水降到地面后，一部分蒸发返回大气中，一部分沿地表流动形成地表径流，另一部分渗入地下。渗入地下部分有一些停留在包气带中，增加包气带的水份，而大部分渗入到地下水面补给地下水。因此，可以根据大气降水的数量和地表径流总量，评价地下水蕴藏量。以上就是这种方法的基础。也就是根据水文地质条件，确定地下水形成的主要均衡要素，作为评价的依据。这种方法目前还处于探索中，没有很成熟的经验。但是，对某种特殊的水文地质条件效果较好，如：独立的流域，岩溶地区等。

介绍以下几种方法：地下径流模数法，泉水流量评价法，降水渗入法等。

（一）地下径流模数法：

该法适用于基岩裂隙含水层。在地表分水岭和地下分水岭基本重合的一个独立流域内（尤其在岩溶发育地区），如山间盆地

等。则该地区的水均衡方程式：大气降水量(X)＝地表径流量(Y)＋地下径流量(Q)＋蒸发量(Z)，其中地表，地下径流量均为流域最终断面的流量。至于在流域范围内，地表和地下径流如何转化，对整个流域来说，没有什么影响，只要根据最终断面处两者的流量说明在流域范围大气降水对地下水的补给强度。蒸发量的测定较困难，收集气象站的资料。地下径流量和地表径流量均在流域内最终断面上实测。求得地下径流量即为整个流域内的地下水天然蕴藏量。而开采量大于天然蕴藏量，但在开采过程中地表水补给增加仅限于沿河地段开采，以及地下水蒸发不存在等原因，因此在论证整个流域内地下水的补给保证时，一般可采用天然蕴藏量。

评价时一般用地下径流模数：

$$M=\frac{Q_i}{F_i}$$

式中：M——地下径流模数（米^3/秒·平方公里）

Q_i——该支流域内地下径流量（米^3/秒）

F_i——该支流域面积（平方公里）。

如若求流域总面积为F，则流域内总地下径流量$Q=M\cdot F$。

实例：广西保安地苏岩溶盆地，已查明该区为岩溶地下水的独立流域，岩溶发育，以地下暗河为地下径流的主要通道，暗河发育系统如（图1—16）所示。其中六也支流又成一独立的小型暗河系，其面积为155平方公里，暗河出口处的流量为0.62米^3/秒，整个地苏暗河流域面积为1000平方公里，水文地质条件与六也支系相同，求该流域中可利用的地下水量。

解：1.先求径流模数M：根据六也水系资料

$$M=\frac{Q_i}{F_i}=\frac{0.62}{155}=0.004\text{米}^3/\text{秒}\cdot\text{公里}^2$$

$$=4\text{公升}/\text{秒}\cdot\text{公里}^2$$

2．再求整个地苏河流域（1000平方公里）的径流量

$$Q=M\cdot F=0.004\text{米}^3/\text{秒公里}^2\times 1000\text{公里}^2=4\text{米}^3/\text{秒}$$

因此该流域中可利用的地下水量是4米³/秒。

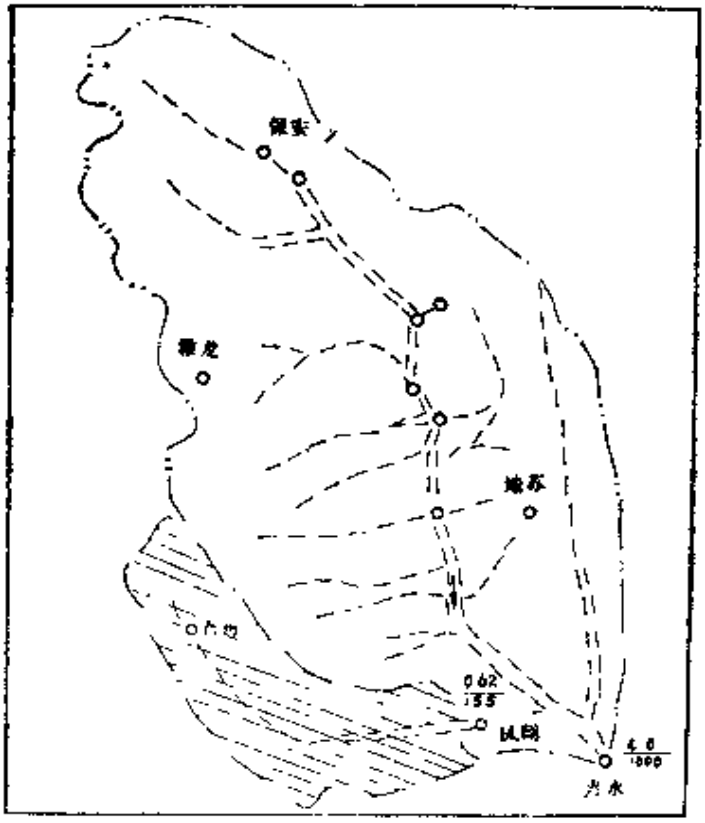


图 1—16　地苏地下河系穴也—凤翔支流面积流量分配图

1—地下河系，总补给面积；2—观测水点控制面积；3—地下河；4—地下河天窗出口。分子为流量（米³/秒），分母为补给面积（平方公里）。

（二）利用泉流量法：

利用泉的流量评价地下水蕴藏量的意义和利用地下径流模数评价的意义相同，特别是以泉为主要排泄方式的地区。用这种方法首先应查明泉水的补给条件和出露条件，并进行泉水的动态观测。在此基础上，对泉水流量作出评价。其评价方法如下：

1．根据泉水流量动态曲线评价可开采量

泉的观测年限较短，一般可根据泉的流量资料编制流量动态曲线图（图 1—17），有时在泉流量动态曲线图上绘出与泉流量有关的水文，气象等要素，以便分析它们的相关关系。一般以泉的最小流量作为可开采量（图 1—17中 a 、 b）对季节用水地区，

开采量大于年最小流量，应根据月，季用水量和泉流量变化规律具体确定可开采量，每个季节的泉流量应满足该时期最大需水量（也可用相应用水季节的泉流量作为可采水量）。

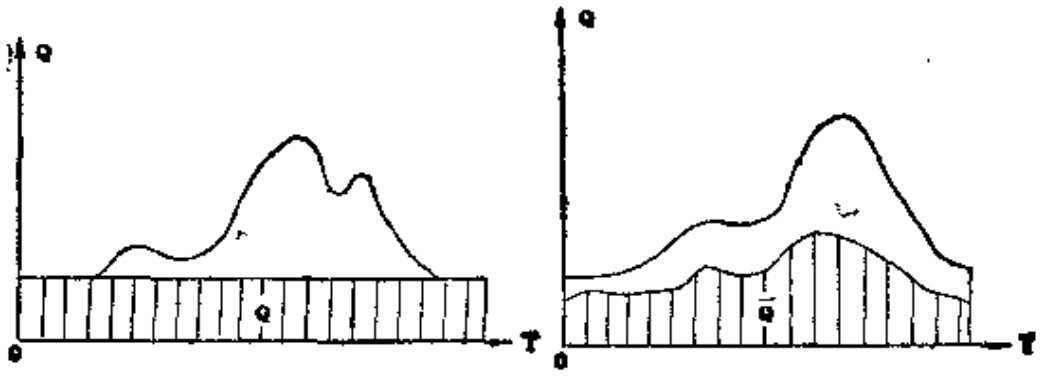


图 1—17　泉流量动态曲线示意图

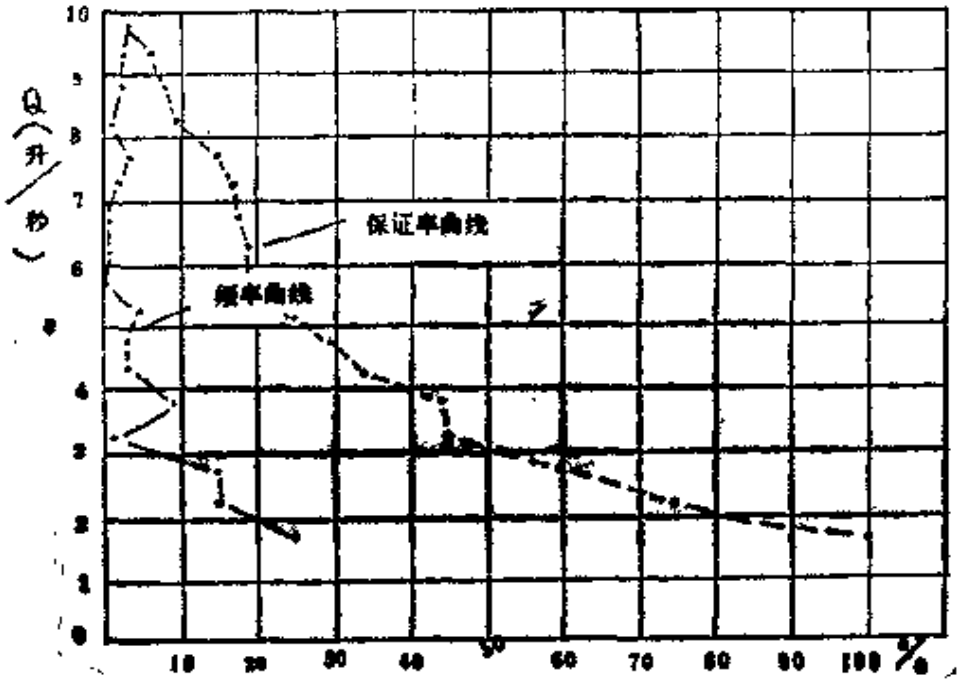


图 1—18　泉水流量频率与保证率曲线图

2．根据泉流量的频率曲线，保证率曲线评价。

泉水动态观测期限较长时，可将流量观测资料列表并计算泉水流量频率和保证率，依此绘制流量频率和保证率曲线（图 1—18）根据曲线评价泉水的可开采量。例如：某泉有六年按月平均

某泉月平均流量（升/秒）　　表 1—7

月份 \ 年度	1952	1953	1954	1955	1956	1957
I	1.60	2.40	3.00	1.85	1.75	4 10
II	1.50	2.10	2.50	1.70	1.55	3.90
III	1.80	2.30	2.10	1.65	1.55	3 75
IV	1.95	2.35	2.20	1.70	1.65	3.80
V	1.90	2.40	2025	1.75	1.70	3.90
VI	1.95	2.50	2.30	1.90	1.85	4.15
VII	2.15	2.70	2.50	2.50	2.80	4.25
VIII	2.40	2.90	2.45	2.70	2.95	4.70
IX	9.20	8.30	7.30	7.90	8.90	9.55
X	8.70	7.10	5.10	5.05	9.25	9.95
XI	6.85	5.25	3.85	3.70	7.55	7.80
XII	4.70	3.90	2.76	2.50	4.85	5.30
总　和	44.7	44.2	37.25	33.15	46.55	65.15
平　均	3.72	3.68	2.74	2.76	3.88	5.43

各流量区间出现的月数、频率、保证率　　表 1—8

流量区间（升/秒）	10～9.5	9.5～9.0	9.0～8.5	8.5～8.0	8.0～7.5	7.5～7.0	7.0～6.5	6.5～6.0	6.0～5.5	5.5～5.0	5.0～4.5	4.5～4.0	4.0～3.5	3.5～3.0	3.0～2.5	2.5～2.0	2.0～1.5	总和
出现的月数	2	2	2	1	3	2	1	1	0	4	2	3	7	1	11	11	18	72
频率%	2.8	2.8	2.8	1.4	4.1	2.8	1.4	1.4	0	5.5	4.1	4.1	9.7	1.5	15.3	15.3	25	100
保证率%	2.8	5.6	8.4	9.8	13.9	16.7	18.1	19.5	19.5	25.0	29.1	33.2	42.9	44.4	59.7	75	100	100

的流量观测资料表（1—7）把流量依据大小按0.5升/秒分成许多区间，统计六年中各流量区间出现的月数，然后标出每个区间流量频率及保证率表（1—8）。所谓泉水流量频率就是该区间出现的月数占流量观测总月数的百分数。保证率就是流量自大而小，即自左而右各区间频率逐渐累积的百分数。

依据观测资料，该泉的流量1.5—2.0升/秒·时，保证率100%，2.0—2.5升/秒·时，有75%保证，2.5—3升/秒·时，有59.7%的保证，再大的流量就无足够的保证。也就是说，根据泉水流量保证率曲线，可以确定不同保证率的泉水可采量，而根据泉水流量频率曲线可给出不同泉流量重复出现的比例。

3．根据布西涅斯克公式确定泉的最小流量

当含水层厚度很大，水位动态变化很小（相对含水层厚度而言）。枯水期间泉的流量不均匀运动微分方程：$\frac{\partial H}{\partial t}=\frac{KH}{\mu}\cdot\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$

进行积分后，得出如下水量变化规律的数学式 $Q=Q_0e^{-\alpha t}$

式中：Q——枯水期开始后 t 时刻流量；

Q_0——枯水期开始时的泉流量；

t——从枯水期开始算起的任意时间；（或旱季开始至任一计算时段）

e——自然对数底；

α——含水层贮存量的消耗系数（或流量消耗系数），可根据泉流量观测资料按（a）式或（b）式确定：

$$\alpha=\frac{\ln Q_0-\ln Q}{t} \qquad (a)$$

$$\alpha=\frac{\pi^2 K\cdot h_{cp}}{4\mu\cdot L^2} \qquad (b)$$

式中：μ——给水度

L——泉出露处至潜水分水岭的距离；

h_{cp}——补给泉水的含水层厚度平均值；

K——渗透系数

如果 t 值取枯水期的整个延续时间，则按布西涅斯克公式求得 Q 就是泉的最小流量

当含水层厚度不大时，可按下式近似确定枯水期泉的流量变化规律。

$$Q=Q_0\cdot\frac{1}{(1+\alpha t)^2} \qquad (1-34)$$

式中：$\alpha=5.772\frac{KV}{4nL^3}$

V ——补给泉的含水层体积（即泉出露处至潜水分水岭的含水层体积。其它符号同前。

例：山西娘子关泉某年观测到流量为 13.2 米^3/秒，经 60 天后，泉流量 $Q_1=12.0$ 米^3/秒。则泉水消耗系数为：

$$\alpha=\frac{\ln 13.2-\ln 12}{60}=0.0016$$

旱季期间泉流量消耗方程式为

$$Q=13.2l^{-0.0016t}$$

据此计算出不同时期的泉流量值为：

$t=90$ 天　　$Q=11.44$米^3/秒

$t=120$天　　$Q=10.90$米^3/秒

$t=150$天　　$Q=10.38$米^3/秒

$t=180$天　　$Q=9.95$米^3/秒

（三）降水渗入法

该方法适用于主要由降水渗入补给的潜水或闭合流域地段，在地下水分水岭和地表水分水岭一致的地区，用此法评价效果较好。这是一种近似的方法。

假设所有渗入的降水全部转化为地下水，则可用降水渗入量表征地下水的可开采水量，公式如下：

$$Q_{开}=F\cdot A\cdot\alpha \qquad (1-35)$$

式中：F ——计算区面积（米^2）

A ——多年平均降水量（米）

α——降水渗入系数，变化范围0.1—0.9，准确测定这个系数较困难，一般多采用经验系数值，见表(1—9)。大气降水渗入系数，是指大气降水渗入量与大气降水量x的比值。即$\alpha=\frac{W}{x}$。降水渗入系数还可根据河流流量曲线，地下水长期观测等资料确定，这里不再详述。

降水渗入系数经验数值　　表 1—9

土层类别	土层名称	降水渗入系数
松散土层	亚粘土	0.01—0.02
	亚砂土	0.02—0.05
	粉砂	0.05—0.08
	细砂	0.08—0.12
	中砂	0.12—0.15
	粗砂	0.15—0.20
	砾石	0.20—0.25
	砂卵石	0.20—0.30
岩石类别	裂隙发育程度	降水渗入系数
裂隙岩层	微弱	0.01—0.02
	较弱	0.02—0.05
	中微	0.05—0.10
	较强	0.10—0.15
	极强	0.15—0.25
可溶岩	微弱	0.01—0.03
	较弱	0.03—0.07
	中微	0.07—0.15
	较强	0.15—0.25
	极强	0.25—0.40

用这种方法具体评价时，应根据降水量，地形，植被，覆盖层，岩性及厚度等特点将全评价区分成上述条件大致相同的若干小区，然后确定每小区典型地段的降水渗入系数，用(1—35)式计算每个小区的地下水补给量，最后将各小区地下水补给量相

加，即为全评价区的地下水径流量。如区内尚有地表水渗漏补给时，应测出河流的渗漏量，再加到区内地下径流中。

（四）水文图成因分解法：

常年有水河流，补给来源有大气降水与地下水。在枯水期间，河水几乎全部由地下水补给；而洪水期，河水大部分由洪水及雨水和少部分地下水补给，因此可结合具体水文地质条件及对地表径流量的长期观测资料绘制的水文图分析，找出水文图上补给河水的地下径流量。如果把评价区内各水文图上的地下径流量找出来，即可得出全区地下水的径流量。

根据不同水文地质条件，分解河流水文图可按下列四种性质进行（图1—19）：

1．潜水与河水无水力联系时地下径流量可按下式确定：

$$Q=qk_1+qk_2+\cdots+qk_n$$

式中：q ——枯水期地表径流量（即该时期地下径流量）。

k_1、k_2、k_3、$\cdots k_n$ 表示地下水径流量动态变化系数（如月变化系数），它是该月份泉的最大流量与枯水期基流量之比 $k_3=Q/q$。根据流域内泉水的动态观测资料确定。k_1 为枯水期的动态变化系数，并定为 1。

根据枯水期地表径流量以及各月地下径流量动态变化系数 k_1、$k_2\cdots k_n$ 分别求出各月的地下水径流量值，然后标在水文图上。

2．潜水与河水有水力联系

枯水期，河流流量全由地下径流量组成，雨洪期由于河水位高于潜水位，形成河水补给地下水，此时，河水径流量的绝大部份由洪水组成，地下水则占很少一部份。

如何确定雨洪期流入河流的地下径流量呢？如某河的水文图如图1—20所示，该河集水流域内18090平方公里。枯水期地下径流量与雨洪水用 AB、DE 垂直线分开见图 1—20。该河雨洪水于 3 月23日在全流域同时开始，此时河水位高于潜水位，因此开始时潜水补给河水，但到 3 月23日前已经流入河床的地下水，与洪峰一起从河流上游往下移动，洪峰移动速度为346公里/日，因

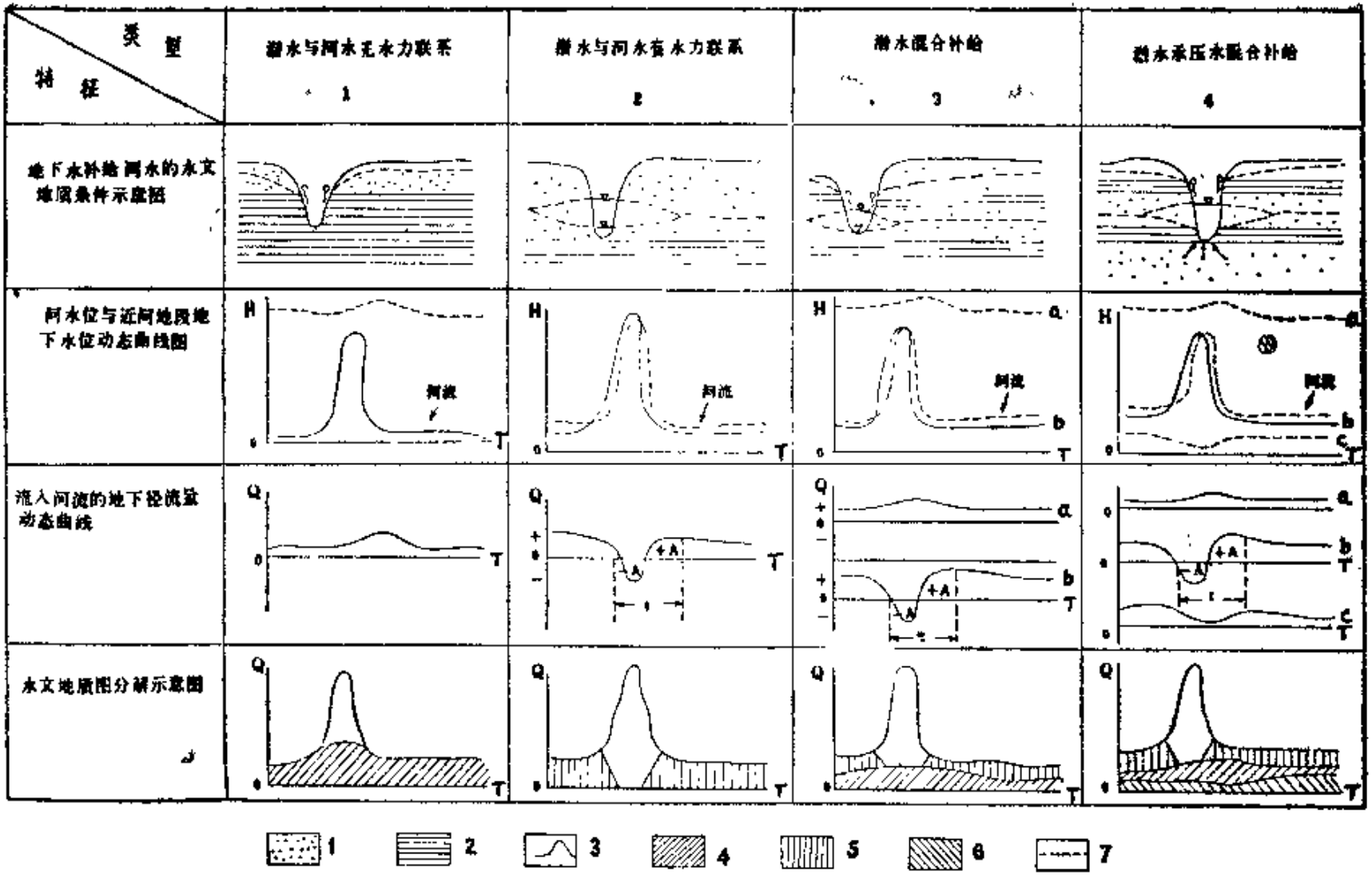


图 1—19　根据不同水文地质条件水文图分解示意图

1—含水层；2—隔水层；3—地表径流量；4—与河水无水力联系的潜水径流量；5—与河水有水力联系的潜水径流量；6—承压水径流量；7—地下水位；t—洪水期；a—从上部含水层中流出来的基流动态曲线；b—从中部含水层中流出来的基流动态曲线；c—从下部含水层中流出来的基流动态曲线

地下水将经八天从流域最远点流到观测站，因此观测点地下水补给量将按BF直线逐渐减少如图1—20，洪水在观测站5月8日停止，而上游是在4月13日停止。4月13日以后上游河床开始有地下水补给。根据上述，它们流到观测站需要八天，即4月21日，见图上G点，观测站处才开始有地下水补给，其补给河流的地下径流量将以GD直线增加。

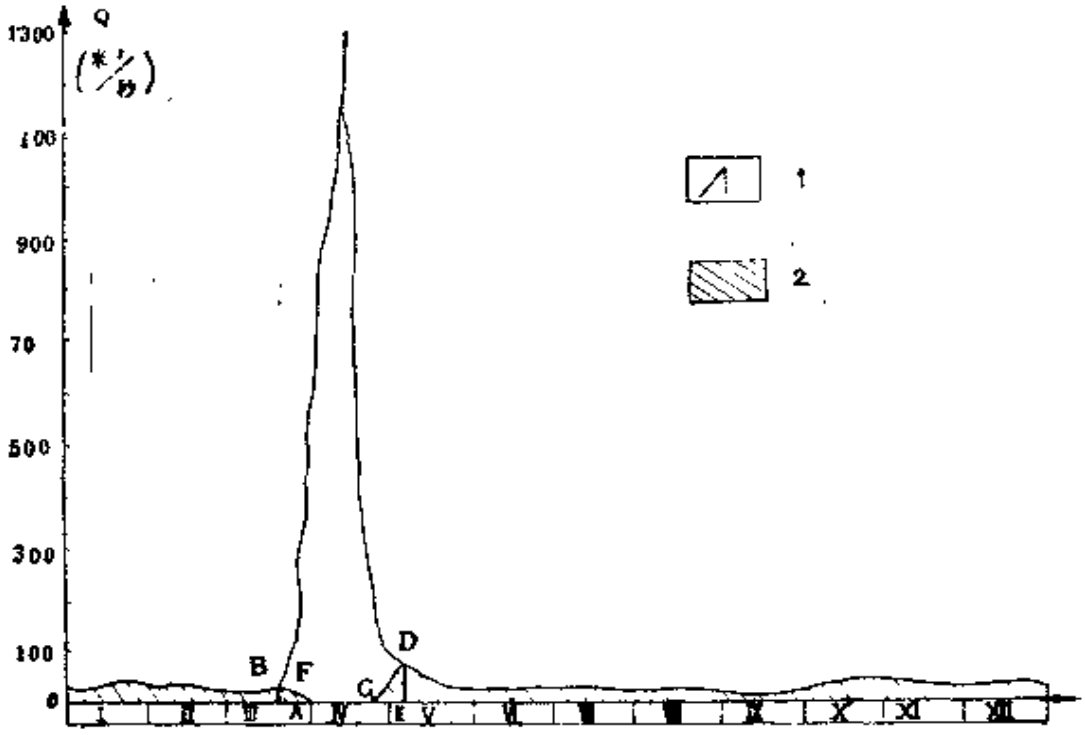


图 1—20　在某河水文图上确定雨洪期地下水径流示意图

1—地表径流量；2—地下径流量。

3．潜水与河水有水力联系及无水力联系混合补给：

分解水文图分两步进行：首先在水文图上按上述（2）情况分出潜水与河流水力联系时，地下径流量，然后在已分出的水文图下半部份画出含水层与河水无水力联系时，流入河流的地下径流量值。后者是根据整个流域内泉水总流量（考虑它们的动态变化）资料画出，泉水总流量数值一般取自水文地质普查或档案、文献资料。如缺乏上述资料时，可按水文地质条件相似地区的泉水流量资料。

4. 潜水承压水混合补给河水：

潜水径流量的确定可参照上述（2）、（3）情况。承压水径流量根据水文地质普查中上升泉资料以及档案文献资料确定，河流雨洪期间，由于河水位抬高，相应期间流入河流的承压水径流量要比枯水期少，见图1—19（3）。

地下径流量可依据水文站多年观测的流量资料计算求得，也可直接用求积仪在水文图上确定一年的地下径流量总值或多年平均地下径流量总值。在实际工作中，地下径流量常用以下三种方法表示：

地下径流深度（毫米/年）——河流流域内单位面积上的地下水径流流量（以水层厚度表示）。

地下径流模数（升/秒·公里^2）——含水层单位面积上的地下径流量。

地下径流系数（无因次）——地下径流量与同时期流域范围大气降水量之比。

利用水文图成因分析法确定地下水蕴藏量时，首先根据河流切割深度内水文地质条件（含水层埋藏条件，与河水有无联系等特点）。把评价区划分成水文地质条件大致相同的若干地段，然后分解每个地段内各河水文图上流入河流的地下径流量，再根据各河流域面积，可分别求出地下径流深度，地下径流模数及地下径流系数等指标，汇总成表1—10。综合全面评价区各河流的地下径流量指标，即可编出全区的地下水径流图系（地下径流深度多年平均值图，地下径流系数及径流多年平均模数图）即可进行评价。

六、数值法

在区域地下水蕴藏量评价中，由于水文地质条件复杂，区内水文地质参数不均一，地区形状不规则，边界条件复杂，不能用理论公式计算。在这种情况下可采用数值法计算。这也是一种近似的方法。这种方法在地下水蕴藏量评价中主要有：有限差分法；有限单元法等。

××地区流入河中地下径流量的多年平均资料汇总表　表1—10

河流名称	流入去处	观测站名称	河流长度（公里）	集水流域面积（公里²）	观测年限	观测期限	大气压（毫米）	观测期限内多年平均值								
								总径流		地表径流		地下径流		地下径流占总径流的比例（%）	地下径流模数（升/秒·公里²）	
								高度（毫米）	系数（%）	高度（毫米）	系数（%）	高度（毫米）	系数（%）		多年平均值	最小值	最大值

（一）有限差分法：

求解答的途径，是以微分方程为基础，用差分法代替微分的方法。

在均质同性含水层中，潜水的微分方程式：

$$\frac{\partial H}{\partial t}=\frac{K\cdot h_{cp}}{\mu}\left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}\right)+\frac{\omega}{\mu} \qquad (a)$$

式中：H——水位；

t——时间；

K——渗透系数；

h_{cp}——含水层平均厚度；

μ——给水度；

ω——垂向补给量，$\omega=\sigma-\varepsilon$；

σ——垂向补给强度；

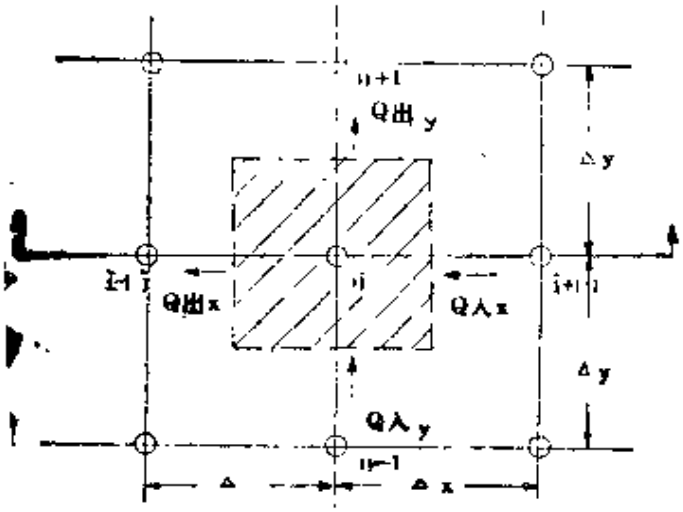
ε——开采强度；

x,y——座标。

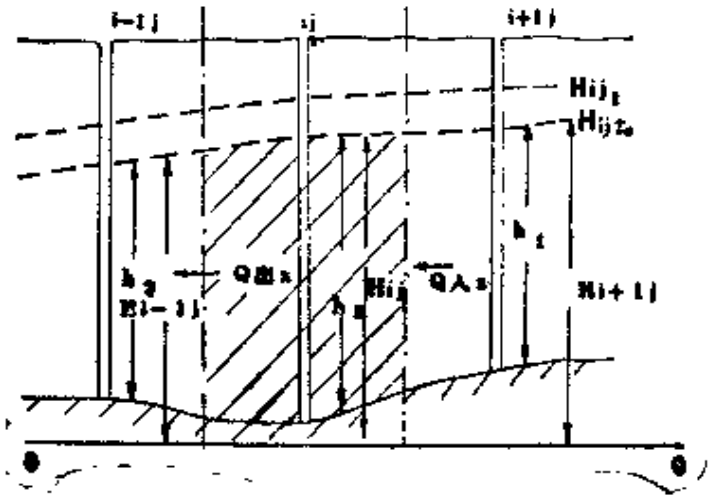
有限差分法的基本思路：是把整个计算的平面区域分成许多有限正方形网格，每个网格的面积 $\Delta x\cdot\Delta y=\Delta\sigma^2$。然后用差分法代替微分，见图（1—21）。则方程（a）的差分形式是：

$$\frac{\Delta H}{\Delta t}=\frac{K\cdot h_{cp}}{\mu}\left(\frac{\Delta^2 H}{\Delta x^2}+\cdot\frac{\Delta^2 H}{\Delta y^2}-\right)+\frac{\omega}{\mu} \qquad (b)$$

其中：　　$\Delta H=H_{i,j,t}-H_{i,j,t_0}$，　$\Delta t=t-t_0$



(a)



(b)

图 1—21

a—平面图，b—剖面图。

$H_{ij,t}$ 和 H_{ij,t_0} 分别表示通过网格中心断面计算初始时刻 t_0 和结束时刻 t 的水位值，Δt 为时间。

$$\left.\begin{aligned}\frac{\Delta^2 H}{\Delta x^2}&=\frac{H_{i+1,j,t_0}-2H_{i,j,t_0}+H_{i-1,j,t_0}}{\Delta l^2}\\ \frac{\Delta^2 H}{\Delta y^2}&=\frac{H_{i,j+1,t_0}-2H_{i,j,t_0}+H_{i,j-1,t_0}}{\Delta l^2}\end{aligned}\right\}\quad 设\ \Delta x=\Delta y=\Delta l$$

把这些代入（b）式整理后得：

$$H_{i,j,t}-H_{i,j,t_0}=\frac{4Kh_{cp}\Delta t}{\mu\cdot\Delta l^2}\left(\frac{H_{i+1,j,t_0}+H_{i-1,j,t_0}+H_{i,j+1,t_0}+H_{i,j-1,t_0}}{4}-H_{i,j,t_0}\right)+\frac{\sigma-\varepsilon}{\mu}\Delta t \qquad (1—36)$$

在生产中运用该式时，如果适当选取 Δl 和 Δt，可使式中的 $\frac{4Kh_{cp}\Delta t}{\mu\cdot\Delta l^2}=1$。

则式（1—36）可变为预测水位变化的简单方程：

$$H_{i,j,t}=\frac{H_{i+1,j,t_0}+H_{i-1,j,t_0}+H_{i,j+1,t_0}+H_{i,j-1,t_0}}{4}+\frac{\sigma-\varepsilon}{\mu}\Delta t \qquad (c)$$

当地下水运动是一维流的简单形式时，（a）中的$\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}$一项等于零。其差分方程为：

$$\frac{\Delta H}{\Delta t}=\frac{Kh_{cp}}{\mu}\cdot\frac{\Delta^2 H}{\Delta x^2}+\frac{\omega}{\mu} \qquad (d)$$

式中：$\Delta H=H_{i,j,t}-H_{i,j,t_0}$

$$\frac{\Delta^2 H}{\Delta x^2}=\frac{H_{i-1,j,t_0}-2H_{i,j,t_0}+H_{i+1,j,t_0}}{\Delta x^2}$$

代入上式加以整理后即得一维流情况下预测潜水含水层中水位变化的基本公式：

$$H_{i,j,t}-H_{i,j,t_0}=\frac{2Kh_{cp}\Delta t}{\mu\cdot\Delta x^2}\left(\frac{H_{i-1,j,t_0}+H_{i+1,j,t_0}}{2}-H_{i,j,t_0}\right)+\frac{\sigma-\varepsilon}{\mu}\Delta t \qquad (e)$$

若令$\frac{2Kh_{cp}\Delta t}{\mu\cdot\Delta x^2}=1$则式（e）变为下列简单形式：

$$H_{i,j,t}=\frac{H_{i-1,j,t}+H_{i+1,j,t_0}}{2}+\frac{\sigma-\varepsilon}{\mu}\Delta t \qquad (f)$$

分析（1—36）式和（f）式的各项物理意义可知，在二维流情况下，含水层中某一点任意时段末期水位将等于这一时段初始时刻计算断面上下游含水层的平均水位再加上在Δt时间内剖面上所得到的垂向补给量的高度。

我们也可以通过水均衡关系，推导出上述水位预测方程。现以一维流为例说明：

如图（1—21）所示，在Δt时段内，剖面1和剖面2之间的均衡水量变化等于：

$$\frac{\Delta H}{\Delta t}\cdot\mu\cdot\Delta x=Q_{入}-Q_{出}+\frac{\omega}{\mu}\Delta x$$

式中：$\Delta H=H_{i,j,t}-H_{i,j,t_0}$

$Q_{入}$和$Q_{出}$是均衡地段地下水的流入量和流出量，在Δt时间内可以认为是不变的，因此可用稳定流公式表示：

$$Q_{入}=K\frac{h_1+h_2}{2}\cdot\frac{H_{i+1,j,t_0}-H_{i,j,t_0}}{\Delta x}$$

$$Q_{出}=K\frac{h_2+h_3}{2}\cdot\frac{H_{i,j,t_0}-H_{i-1,j,t_0}}{\Delta x}$$

将ΔH、$Q_{入}$及$Q_{出}$代入上式，并设含水层厚度较大，均质岩层的情况下

$$h_{cp}=\frac{h_1+h_2}{2}=\frac{h_2+h_3}{2}$$

整理后即得（e）。

分析（1—36）式和（e）式可知，若计算某一时刻t的水位值（$H_{i,j,t}$），必须具备一定的初始条件，边界条件和水文地质参数。

初始条件：即计算单元在t_0时刻的潜水位。这个水位值，通

常可按观测的资料给出的等水位线图确定。

边界条件，即含水层的边界，含水层的边界，包括透水边界和隔水边界。如果区域的一个边界是河流、湖泊、水库或渠道时，将水边线作为透水边界，确定边界上的水位和水力坡度进行计算。

计算参数确定及选择：

K、μ 可根据抽水试验取得。

Δl、Δt是计算前人为选取的，从理论上说越小越好，但计算手续麻烦，所以要选取适当，使其保证计算精度和计算手续简单。因此要求选取的 Δl 和 Δt 满足 $\frac{2Kh_{cp}\Delta t}{\mu\cdot\Delta l^2}=1$，一般根据一年中水位动态曲线上几个上升段和下降段来选取。而后将 Δt 代入上式计算出 Δl 值。

关于垂向补给强度，计算时按实测值；开采强度可按需水量值计算。

具体计算步骤，首先在等水位线图上按选定的Δl大小划分正方格（如是一维流只需选一个代表性剖面即可），然后求各网节节点水位。对二维流，按五个节点一组求其中点水位。计算时最好先从某一个节点或断面开始。然后依据时段Δt初（即t_0时刻）的已知节点水位和给出的垂向补给强度 σ 与开采强度 ϵ，即可求出 x、y 方向所有各节点在时段Δt 末（即 t 时刻）的水位。再把已求出的水位作为下一时段的初始水位，按次序计算下一时段末的各节点的水位。这样逐个时段推演下去，即可求出规定时间末时应开采强度的水位值。

（二）有限单元法

有限单元法是近十多年随着电子计算机出现而迅速发展起来的一种数值方法，是解决复杂边界条件下地下水非稳定运动一种比较有效的方法。

有限单元法是根据变分原理将求解地下水运动的偏微分方程问题转化为求泛函的极值问题。首先，根据区域的形状，水文地

质条件，将连续的含水层划分为有限个三角形的块体——小单元体，并根据水均衡原理建立起小单元体的地下水的偏微方程。然后依据解偏微分方程的初边值问题与解变分问题的等价原理，求解一定的开采强度下，水位随时间变化的规律。

因此，在利用有限单元法进行地下水蕴藏量评价前，必须先找出求极值的泛函。

承压含水层非稳定流的基本微分方程为：

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial K}{\partial y}\right)+\varepsilon+\varepsilon^{*}(H_0-h)=\mu\frac{\partial h}{\partial t} \tag{1—37}$$

式中：ε为补给强度或开采强度（米^3/日）；

$\varepsilon^{*}=\frac{K'}{m'}$为越流的补给系数（1/日）；

μ为承压含水层的储水系数或释水系数。

初始条件：$t=0$，$h=H_0(x、y)$

边界条件可划分为两种类型，第一类型边界条件为水位已知，即：

$$h|_{s_1}=H(x,y,t)$$

$h|_{s_1}$表示沿第一类边界S_1的水位。

第二类边界条件的流量为已知，即：

$$T\frac{\partial h}{\partial n}\Big|_{S_2}=q(x,y,t) \tag{a}$$

$T\frac{\partial h}{\partial n}\Big|_{S_2}$表示沿第二类边界$S_2$的侧向补给量。

正如大家知道，求解偏微分方程的初边值问题的分析解—即直接积分是相当困难的。但可根据变分问题的等价原理，把求偏微分方程的初边值问题，转化为对泛函求最小值的变分问题，而后者可以积分求解。

在第一类边界条件下，求解（1—37）式，等价于泛函J取

极值求解水头$h(x,y,t)$的问题。设在一定时间内 ε，$\frac{\partial h}{\partial t}$视为常数，则：

泛函
$$J(h)=\iint\left[\frac{1}{2}T\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}T\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)-\varepsilon h+\mu\frac{\partial h}{\partial t}h+\frac{\varepsilon^*}{2}h^{*2}\right]dx\,dy \qquad (1—38)$$

式中：$h^*=H_0-h_0$

在第二类边界条件下，求解（1—37）式等价于以下泛函求极值解水头$h(x,y,t)$的问题：

$$J(h)=\iint\left\{\frac{1}{2}T\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}T\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2-\varepsilon h+\mu\frac{\partial h}{\partial t}h+\frac{\varepsilon^*}{2}h^*\right\}dx\,dy-\int_{S_2}qh\,ds \qquad (1—39)$$

这里，重要的是要找出承压含水层分布区域内，水位变化规律的数学表达式，或者说水头函数$h(x,y,t)$的解析式。

首先根据计算区含水层的特性，观测井的分布资料情况和计算要求，将求解区域划分为有限多个三角形单元（图1—22）。每一个三角形即一个单元体，三角形顶点称“带点”，在边界上的节点称外节点，余为内节点。然后分别对节点和单元体进行统一编号。这样，统一的承压水面，便成为用多个三角形面近似表示的。为了说明有限单元的计算方法，取一个三角形（图1—23）为第β个三角形进行分析。

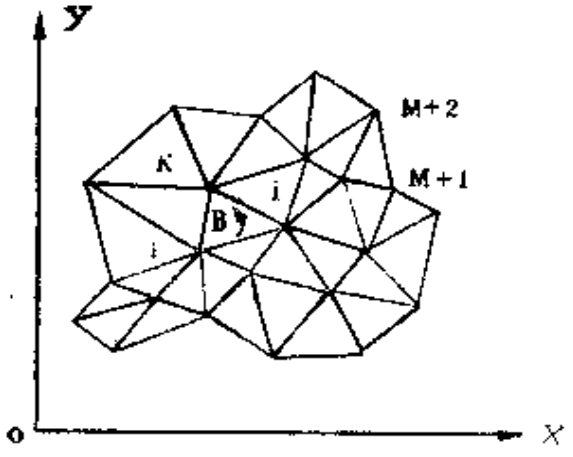


图 1—22

在有限单元法中，假设各时段每个单元内部的地下水面是一个平面，单元体内任一点（x，y）的水头（x，

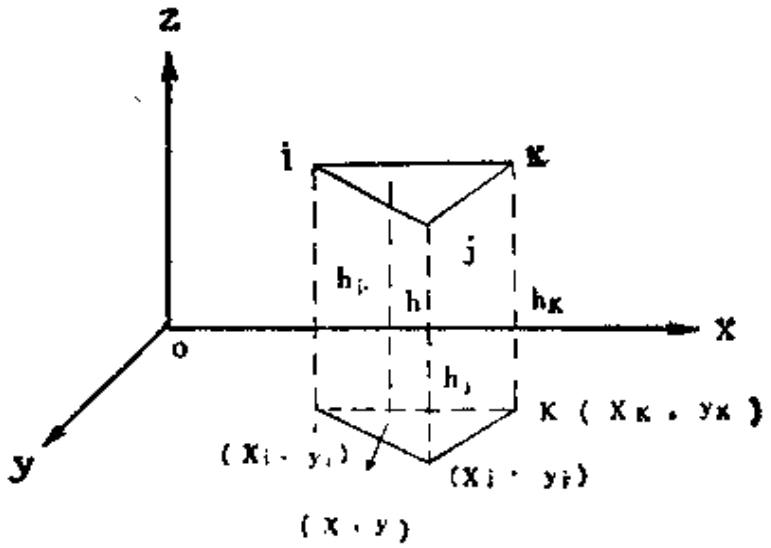


图 1—23

y) 可近似的用座标的线性函数表示，即：

$$h=a+bx+cy \qquad (b)$$

因为平面(b)式经过 i，j，k 三个节点，于是有下面一组关系式：

$$\left.\begin{aligned} h_i&=a+bx_i+cy_i\\ h_j&=a+bx_j+cy_i\\ h_k&=a+bx_k+cy_k \end{aligned}\right\} \qquad (1—40)$$

式中 a、b、c 为待定系数，可将（1—40）式中三式联立求解。这时单元体 β 上的水头函数 $h(x、y、t)$ 是通过三角形三个顶点的水头和座标表示出来。

把所得的水头函数 h_β 代入式（1—38）进行积分，得出 $J(h)$ 值是 h_i、h_j、h_k 的二次方程。但按要求的极值条件，应取 $\frac{\partial J}{\partial h}=0$；所以结果得 h 的一次线性方程组。

$$\frac{\partial J}{\partial h_i}=0;\quad 得\ A_1h_i+B_1h_j+C_1h_k=D_1,$$

$$\frac{\partial J}{\partial h_j}=0;\quad 得\ A_2h_i+B_2h_j+C_2h_k=D_1,$$

$$\frac{\partial J}{\partial h_k}=0;\quad 得\ A_3h_i+B_3h_j+C_3h_k=D_k,$$

上述方程式也可写成矩阵形式：

$$\partial_\beta h_\beta = D_\beta \qquad (1—41)$$

式中：$\underbrace{A_1、A_2、A_3, B_1、B_2、B_3, C_1、C_2、C_3}_{\partial_\beta}$ 以及 $\underbrace{D_i、D_j、D_k}_{D_\beta}$ 均为线性方程组的系数。

以上是对一个单元体写出的线性方程组。对整个区域而言，应取各三角区之和，然后再求极值。所以应得到若干个这样的线性方程组。

式（1—41）中，$\partial_\beta D_\beta$ 都是已知值，仅 h_β 为未知，有几个未知量 h_β，就有几个线性方程，故可按（1—41）式予测任一顶点的水头 h。这种方法的原理不难，但计算麻烦，故宜用电子计算机计算。

公式（1—41），是在已知参数，开采率和边界条件下，予测水头值。如已知参数，水头和边界条件，也可予测开采率。同样，也可以予测边界上的补给量、水文地质参数等。

七、模拟法

水文地质条件复杂地区，用一般数学分析法确定地下水可开采量困难极大，可用模拟法解决区域地下水的可开采量。一般效果较好。

目前国内常用的模拟法有两种，一是电网络模拟法，二是数学模拟法。

（一）电网络模拟法

它是利用地下水渗流与电流现象两者之间存在着某种一致的数学物理关系，利用水电比拟模型评价地下水的一种方法。模拟的基本原理是电导体内电位分布和渗流场内水头的分布都符合拉普拉斯方程式，

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial z^2}=0$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x_2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}=0$$

式中：H为渗透场中的水头；U为电场中的电位。两者物理量相似关系见表（1—11）。

渗透水流和电流的相似性　　表 1—11

渗　　流	电　　流
测压水头H	电位U
渗透系数K	导电率（导电系数）$C=\frac{1}{\rho}$
渗透速度V	电流密度i
达西定律：	欧姆定律：
$V=-K\frac{\partial H}{\partial S}$	$i=-C\frac{\partial U}{\partial S}$
水头的拉普拉斯方程：	电位的拉普拉斯方程：
$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial z^2}=0$	$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}=0$
边界条件：	边界条件：
不透水层面：$\frac{\partial H}{\partial n}=0$	绝缘面$\frac{\partial U}{\partial n}=0$
n——垂直于不透水层的法线	n——垂直于面的法线
拉普拉斯方程积分（水头函数）	拉普拉斯方程积分（电位函数）
$H=f(x,y,z)$	$U=f(x,y,z)$
等水头面$H=$常数	等电位面$U=$常数
渗流通过的过水断面ω	电流通过的横断面F
渗流途径长度S	电流线长度L
水力坡降$J=\frac{H_1-H_2}{S}$	电场强度$E=\frac{U_1-U_2}{L}$
渗流量$Q=K\omega\frac{H_1-H_2}{S}$	电流量$I=CF\frac{U_1-U_2}{R}=\frac{U_1-U_2}{R}$（电阻$R=\frac{L}{CF}=\rho\frac{L}{F}$）

从以上相似关系可以通过设置电场来模拟天然渗流场，测定各点电位和电流量，分别换算出渗流区相应各点的地下水水头值与渗流量。根据这个道理可以进行预报。

模拟的条件：确定模拟区在平面上和剖面上的边界条件，根据勘探和试验资料绘出模拟区的导水系数等值线图，这是模拟的必要准备工作；电模拟区域和渗流区域几何形状相似，边界条件一致，也就是区域的几何形状和大小，选择比例尺把模拟区缩小

到网眼板上。根据导水系数图和稳定的开采时间，计算模拟区各部位应当使用的电阻电容。按边界条件，逐步调整补排边界接近含水层的实际边界。

编好方案后，应利用实际资料检查模拟方案的可靠性。办法有二。一是模拟机上各点水位是否与实际水位吻合；二是按已知水位资料用选择法确定水文地质参数，并同已知的实际参数对比。这样检查后，可以估算模拟方案在进一步予测开采时的效果和评价开采量时的精度。

给出开采方案。即规定开采时间、拟定的开采区中心的允许水位降深及规划的开采量。模拟可用二种方法：一是预测规定开采时间内开采中心最大水位降深不超过允许降深时的可能开采量；二是依据规划的开采量，预测不同时间的水位下降趋势。

（二）数学模型：

适用于区域地下水蕴藏量评价。是电子计算机应用于水文地质计算的新的数学模型。它的优点是计算速度快，解决复杂问题能力强。数学模型分为稳定状态模型与非稳定状态模型。

它是依据地区的边界条件，初始条件和水文地质参数等，把天然渗流场模拟为数学计算模型，在模型区域中制成若干网格，或有限单元，用建立线性差分方程或有限单元方程组代替地下水的微分方程，以便用电子计算机对该方程求解。如果计算机算出的结果和已有的动态观测资料一致，则可用它建立数学模型进一步预测设计开采条件下的地下水开采量或水位降深值。如果计算机初算结果和已有动态观测资料不一致，则应对模型的边界条件和水文地质参数进行调整，反复调试，直到一致为止，然后再进行预测。

地下水蕴藏量评价的主要问题及其评价时应注意的问题：

评价地下水可采量时，最根本的一条是必须搞清补给量和消耗量，最好能使补给量和消耗量在长期开采过程中始终保持动平衡。不至于由于开采地下水产生区域水位下降，水量减少，水质

恶化等不良影响。因此评价地下水可开采量时，必须把水文地质条件、开采方案和区内水资源（地下水地表水）的关系紧密地有机地联系起来，又因水文地质条件的多样性和开采方案（受技术经济条件限制）的复杂性，因此，在选择评价方法时，应采用多种方法综合评价，无论何种评价方法，均以均衡为基础，论证补给量和消耗量的关系，这样才能作出比较可靠的评价。应当说明是补给量既应包括天然补给量，又要考虑开采条件下由于边界条件和补给关系变化所增加的补给量。

地下水蕴藏量评价实际上就是对水文地质条件的一个逐渐认识过程，在这个认识过程中，辩证唯物论的认识论贯穿于地下水蕴藏量评价过程的始终。人们的认识依赖于实践，在地下水蕴藏量评价中的实践就是客观存在的水文地质条件，是第一位的。评价是对客观认识的反映和验证，是第二位的。这是认识的不断深化过程。此过程一是通过勘探认识客观条件，二是通过计算和评价反映客观条件，三是通过开采验证对客观条件认识的程度。因此，这项工作具有反复性和长期性的特点。只有抓住这个特点，才能使认识符合客观实际，做到正确评价地下水蕴藏量。

对客观条件的认识取决于勘探程度，对条件的反映则决定于开采方案和水文地质条件的选择。如对客观条件认识不够，就不会有合于实际的评价结果，相反，对客观条件有较全面的认识，但在评价方法的选择上不能很好反映或不能反映它，也不会有合于实际的评价结果。因此，要正确地进行地下水蕴藏量评价，一要客观地认识水文地质条件；二要准确全面的反映对水文地质条件这种客观认识；三要注意在评价中出现的问题及在开采过程中验证对水文地质条件认识是否合于实际，从中找出进一步工作的重点，逐步加深对水文地质条件的客观认识。

基于上述认识，我们认为做好地下水蕴藏量评价，查清水文地质条件是基础；正确地选择评价方法和合理地确定开采方案是手段，通过评价过程和开采的实践对水文地质条件认识不断深化，最终达到不断提高地下水蕴藏量评价精度的目的。

第二章　地下水的合理开采和利用

我们的祖先开发利用地下水已有悠久的历史。相传作于唐尧时代的一首击壤歌中就写到，“凿井而饮，耕田而食”，有的古书上认为“井”是夏禹时伯益首创的。至于三千多年前的商朝有井更是确凿的事实。这充分证明，我国是世界上最早利用井的国家。

到了公元前 250 年的战国时代，凿井技术有了进一步提高。考古工作者在陕西咸阳和河北石家庄等地，发现了战国时代的水井遗迹，其中有完整的陶制圆井圈，水井是由几个大小不等的圆井圈垒起来的。当时不仅能凿井开发利用浅层地下水，而且在四川自贡一带能凿井汲取卤水煎盐。当时打的盐井，已经深达 100 余米了。

汉朝开发利用地下水技术有很大的发展。当时已经能采取埋藏在地下 200 余米深处的自流水。这是世界上最早的自流井，比法国的自流井要早 1500—2000 年左右。除用井汲取地下水外，还创造了巧妙的井渠（坎儿井）。据《史记·河渠书》记载，在公元前一百年左右的汉武帝时代，陕西大荔劳动人民在引洛河水到商原崖下时，因崖岸容易坍塌，就改凿为井，在井下通水。施工时曾挖得龙骨化石（脊椎动物化石），故名龙首渠。此后，这种井下通水的渠道形式就被各地劳动人民利用来开发截取地下含水层的水。由于它能截取较多的水量，又能防止输水过程中大量蒸发等优点，就在干旱的新疆等地区得到了普遍的发展，名叫坎儿井（山西叫水卷，甘肃叫串井等）。坎儿井是开发山前倾斜平原地下水的巧妙办法。

虽然我国智慧而勤劳的人民很早以前就在开发利用地下水方面有很多发明创造，但是由于长期的封建统治以及近百年来帝国主义的侵略，这些宝贵的经验一直未能加以总结和发展。

解放以后，由于工业、农业生产的迅速发展，开发地下水的规模不断扩大，局部地区由于不合理开发地下水，已经引起大面积水位下降和水质恶化，所以合理地开发和保护地下水资源已显得十分必要。这就必须根据水文地质条件、技术经济条件和供水目的，正确地选择集水建筑物，合理地布置这些建筑物。

第一节　合理开采地下水的方法

合理开采地下水的方法，是指在掌握开采区的水文地质条件和准确评价水质、水量的基础上，正确选择集水建筑物并对其进行合理的布置，以期达到最科学、最经济，有计划最大限度地开采地下水，而又不引起不良后果。

一、取水建筑物的确定

利用最经济的取水建筑物取得最多的水量，是选择取水建筑物的根本要求。因此，在确定取水建筑物类型时，应对开采区的水文地质条件、技术经济条件和供水目的，进行全面考虑。

常用的地下水取水建筑物有垂直、水平和倾斜的三种。开采地下水时可根据它们的适用条件进行选择。现将主要取水建筑物类型的适用条件介绍如下：

1．垂直取水建筑物

（1）筒井：也称大口井。按其衬砌结构有砖井、石井、混凝土和钢筋混凝土井等（图2—1）。筒井主要适用于开采潜水，深度以小于 40 米为宜，大于 40 米时施工较困难。松散岩层和坚硬岩层都能打筒井。坚硬岩层中的筒井有时可不作衬砌。

筒井的优点是直径大，单位长度进水面积大，井底也能进水。因而它比相同深度的管井和其它小口径水井出水量大。如果出水量相同，它比小口径水井利用的含水层厚度要小得多。筒井结构简单，可以用普通工具和人工开凿。可以安装普通的卧式离心泵和其他简单的提水工具。其造价较低，并且易于维修。

筒井的主要缺点是，开采的含水层多为埋藏较浅的潜水层，

易受气候影响，水位变化大，干旱时期水量减小，甚至干枯。在水质卫生保护方面较逊于管井和其他小口径水井。同时人工开凿揭露含水深度有限，其深部含水层不能利用。

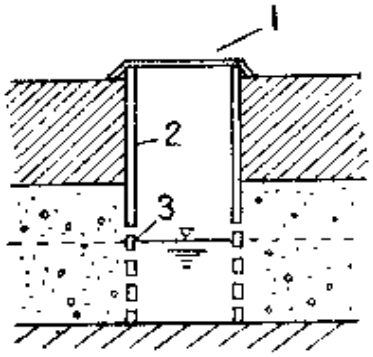


图 2—1　筒井示意图
1—井盖；2—井壁；3—过滤层

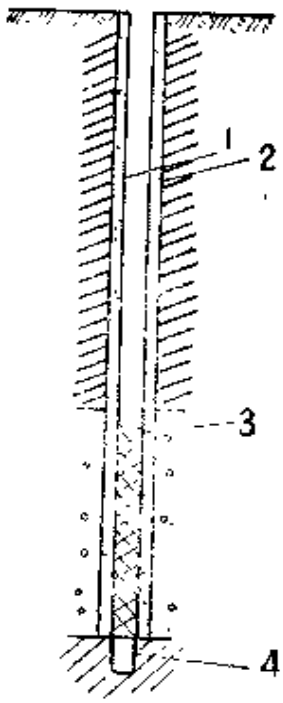


图 2—2　管井示意图
1—井壁管；2—滤料；3—滤水管；4—沉砂管

（2）管井：也称机井或钻井（图 2—2）。主要用于开采埋藏较深和含水层较厚的地下水。松散岩层和坚硬岩层均可施工。其深度取决于所利用的含水层的埋藏深度。农业供水管井，目前一般深度为 30—150 米，超过 300 米者不多。工业供水管井深度较大，一般 100—300 米。也有很深的，目前有超过 1000 米深的管井。

管井的主要优点是，可以揭露厚度大的含水层和多层含水层，可以开采深部的含水层，并能进行分层开采。在水质卫生保护方面较筒井及其他取水建筑均佳。

管井的主要缺点是含水层厚度不大时进水面积小，难以获得较大的出水量。施工技术复杂，造价较高，水井损坏时不易修理。

2．倾斜取水建筑物

倾斜取水建筑物以斜井为代表。它主要适用于开采坚硬岩层中水位埋藏较深的裂隙潜水和岩溶裂隙潜水。井筒的横截面积多

为马蹄形，少数也有梯形和矩形的。一般不需衬砌加固。井筒的倾斜度一般为30—40度。

斜井的优点是出水量大，可以开采水位埋藏较深的地下水，可用普通卧式离心泵进行梯级提水。此外，管理方便，安全耐久，容易检修。其缺点是只能开采地面下第一个含水层，施工时间长。

3．水平取水建筑物

（1）水平集水廊道：包括渗渠、引潜流、截潜流几种形式。它们的共同特点是进水部分为水平的或接近水平的地下集水廊道（或集水管道），并用开挖明渠的方法施工。

水平集水廊道适用于开采水位埋藏很浅(一般不超过3米)，含水层厚度不大的冲洪积层潜水。如果潜水位埋藏较深，开明渠就很困难。含水层厚度很薄时用水平取水建筑物可以获得较大的进水面积和开采补给范围，因而能取得较多的水量。如果地形有利还可以自流取水。其缺点是水量受气候影响较大，卫生防护较差。

渗渠是埋于地下的水平集水廊道。其埋设深度一般不超过6米，常见的3—5米。主要适用于集取河床底部和岸边冲积层地下水。有平行河流布置的（以取岸边渗透水为主）和垂直河流布置的（以取河床底部渗透水为主），也有两个方向组合的。其单位长度（以米计）的出水量一般为20—30米^3/昼夜。

引潜流与渗渠相似，所不同的是它以集取间歇河谷冲积层潜水为主。一般顺着河谷纵坡布置，并通过引水管道将潜水引出地面，实现自流取水。

截潜流与引潜流相似，不同的是横截河谷冲积层修筑截水墙，同时沿截水墙修筑集水廊道。所以要求冲积层潜水断面径流量大，下部隔水层埋藏不能过深（否则施工困难）。

（2）水平集水隧道和坎儿井：集水隧道或称平硐适用于开采坚硬岩层的裂隙水或半胶结砂砾层的孔隙水。有时采用竖井与水平隧道相结合的形式。隧硐的横断面有马蹄形，椭圆形、梯形

和矩形等。一般不作衬砌加固。其优点是断面积大，揭露的裂隙多，增加了进水面积和水量。缺点是施工所费时间较长。

坎儿井是井渠结合的巧妙取水建筑物（图 2—3），广泛的应用在干旱和半干旱缺水地区。它能减少在输水过程中的强烈蒸发。它主要适用于开采山前冲洪积扇的地下水。因为这里地面和含水层均有一定坡度，可将地下水引出地面，实行自流取水。

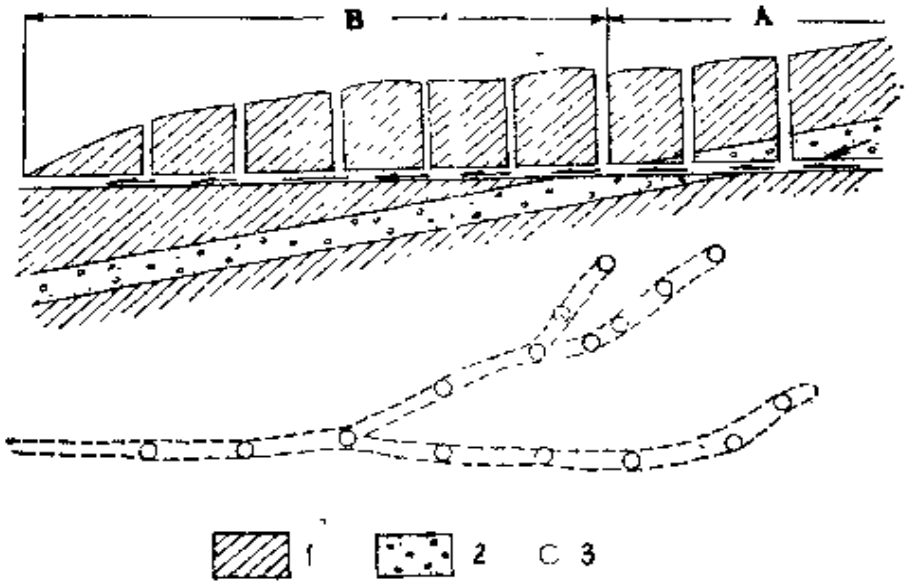


图 2—3　坎儿井纵剖面及平面略图

1—亚粘土；2—含水砾石层；3—井
a—集水部分；b—送水部分；c—出口

二、取水建筑物的合理布置

1．城市、工业水源地井群的合理布置

城市和工业供水的特点是，开采井集中，单位面积开采强度大。要求开采地段有较丰富的地下水资源，以满足采用井群形式开采地下水。因此正确布置井群和选择井群形式是合理开采地下水的关键。

（1）井群位置的选择

井群位置应在城市、工业企业发展规划的基础上，根据当地水文地质条件（包括水资源条件），供水特点和各项技术经济指标来确定。一般应考虑下列原则：

① 井群应当尽可能的靠近补给发生流失的地区（即可以截取较多补给量的地区），或靠近天然排泄区。

② 在技术经济条件和卫生防护条件允许的情况下，开采井群首先应选在含水层透水性强，厚度大，水量丰富而且水位埋藏最浅的地段。

③ 考虑水资源保护，井群应选在城市上游和远离各种污染源以及不被洪水淹没的地段。

④ 考虑供水方便和城市的发展，井群应选在距用水地点最近的地段。

（2）井群的形式

所谓井群，系由若干个水井及连接各水井集水管、集水池、输水管、抽水设备及其附属建筑物等组成的多井取水系统。

井群的平面布置形式，可分为直线形井群、多角形井群和梅花形井群。直线形井群适用于地下径流量较大的地区，主要用于截取侧向补给量。多角形和梅花形井群适用于地下水流坡度平缓

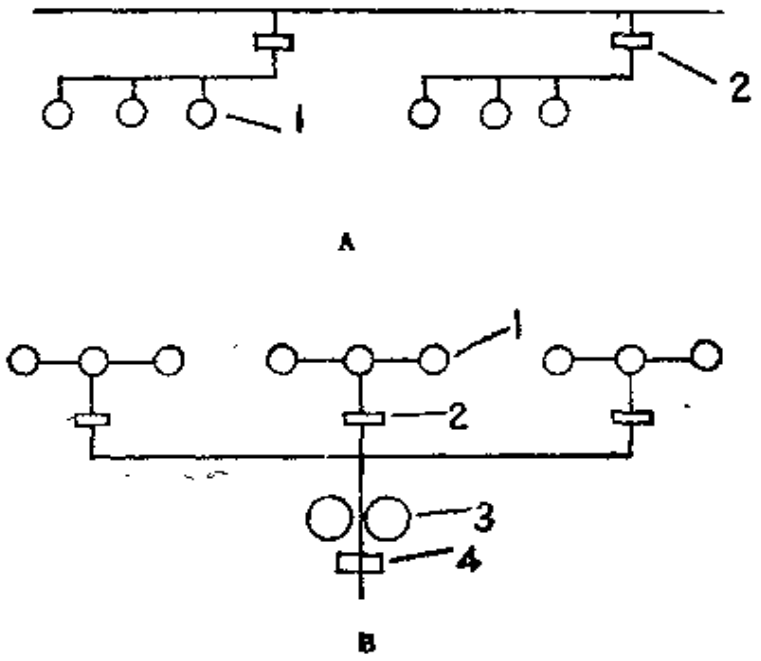


图 2—4　井群的形式

（A）单侧式井群；（B）对称式井群

1—取水井；2—抽水站；3—集水井（池）；4—抽水站

的地区，主要用于截取垂直方向上的补给量。直线形井群又分对称式和单侧式两种（图 2—4）。对称式井群的优点是，可以减小集水管的直径和埋藏深度。如果一侧发生故障，另一侧仍能照常工作。因而这种形式采用较广。单侧式井群，则需要口径较大的集水管，而且一旦集水管发生故障，便会全部停水，所以采用较少。

直线式井群应垂直地下水流向或平行补给边界。例如开采径流量较大的冲洪积扇地下水时，可垂直地下水流向布置；开采与河流有密切水力联系的冲积层潜水时，可平行于河岸布置。如果布置一排井群受限制时，也可以布置成两排。排与排的井位要交错排列。

以截取垂直补给为主的水源地，应采用梅花形井群或多角形井群。在地下径流比较微弱，以降水渗入补给或越流补给为主的平原区，应采取均匀布井。

关于井群中各井之间的距离，取决于含水层的富水性，抽水设备能力以及其他技术经济条件等，可根据干扰抽水试验或干扰井计算，并经过技术经济比较来确定，一般情况下，可参考经验值确定。表 2—1 所列为单井间最小距离经验值。

单井间最小距离　　表 2—1

单井出水量（吨/小时）		100—300	20—100	小于20
单井距离（米）	裂隙岩层	200—300	100—150	50
	松散岩层	150—200	50—150	50

对于单层厚度大于 40 米的透水性良好的厚含水层，为了合理取水，可用管井分段开采（图 2—5）。分段取水井组，以沿地下水流向排列为好。过滤器的设置深度应从无压水动水位或承压水隔水顶板以下 1.5—2 米起分段排列。井组的配置可参阅分段取水井组配置表（表 2—2）。

2．平原井灌区开采井的合理布置

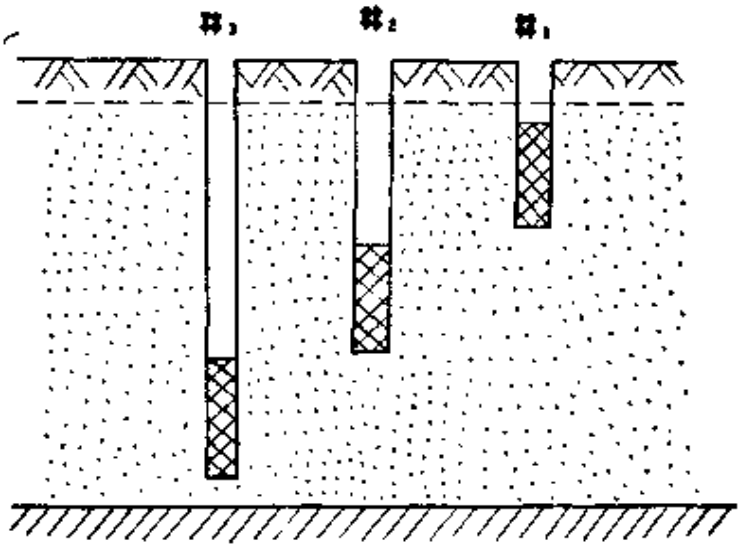


图 2—5　分段取水井组示意图

分段取水井组配置表　　表 2—2

含水层厚度（米）	配置			
	井数（个）	滤水管长度（米）	水平间距（米）	垂直间距（米）
40—60	2	20—30	5—10	≥5
60—100	2—3	20—25	5—10	≥5
>100	3	20—25	5—10	≥5

平原井灌区开采地下水的特点是井数多，井位分散，属于大面积开采地下水。它要求单井出水量大，灌溉效益高，地下水资源丰富。平原井灌区合理开采地下水的关键在于开采井的合理布局，即合理确定井型、井结构、井位、井深、井距等等。实践证明，如果布局合理，既能充分发挥单井灌溉效益而又不引起不良后果，又能大量节省资金、设备、降低成本。相反，如果布局不合理，如井位过密、井深相同、集中过量开采同一层水，就会引起区域地下水位严重下降，水井灌溉效益降低。导致人力、物力和资金浪费，甚至造成地下水资源枯竭等严重后果。

（1）正确处理地表水与地下水的关系

地表水和地下水在一定条件下，是相互影响、相互制约和相互转化的。所以要合理开采地下水，就要对地表水与地下水统筹考虑。采取井、渠、坑塘联合使用，提、引、蓄、排统一调度。使井能抽水灌溉，又能降低地下水位；渠能引水、排水，又能蓄水引渗；坑塘能蓄水，又能补给地下水。在这个原则下，对地表水和地下水进行全面科学的安排。充分利用地表水，科学地开发地下水，保证地下水相对稳定，保证农业灌溉用水的要求。

在地表水与地下水都比较丰富的地区，应以使用地下水为主，尽量把地表水送到水源缺乏的地区去。浅层地下水补给容易，开采方便，应优先开采。深层水补给来源远，水位下降后不容易恢复，要适当开采。

在平原灌区应实行井渠结合，以地下水位为标准，当地下水位下降到一定深度时，则采取渠灌，以渠道渗漏补给地下水。而当地下水位上升到一定程度时，则用井灌，以避免地下水位上升过高，造成土壤盐碱化。例如河南省的人民胜利渠灌区，采用了井渠结合措施。地下水位一般控制在 2.5—3 米的深度，既避免地下水位大面积下降，又防止了土壤盐碱化，取得了良好效果。

在地下水源不多的地区，应当充分利用地表水。同时要采取措施拦蓄地表水补给地下水，做到补排结合。即在排水河道内设闸，在汛期后蓄水，一方面可设电灌站提水灌溉；另一方面可以利用排水河道的蓄水渗漏补给地下水。

（2）开采井的合理布局

正确地布置开采井是合理开发地下水的重要环节。其目的是为了保持地下水资源的收支平衡，减少开采井间的干扰，充分发挥单井效益，节省设备和动力，降低开采成本。

开采井合理布局的关键是井距。井距太小，则井间干扰增大，单井水量减少，设备投资多，动力消耗大，甚至会引起区域水位持续下降，使开采条件恶化；井距过大，井间干扰减小，单井出水量增大，但其单井控制的灌溉面积大，轮灌时单井出水量满足不了灌水定额要求。所以开采井布局问题实质上是井距与单

井保浇面积之间的对立统一关系问题。

在同一含水层组中，合理井距应根据地下水可采量，灌溉需水量和井的引用补给半径三者的关系来确定。

a.当地下水可采资源大于需水量，单井出水量也较大时，主要根据需水量来确定井距。首先根据单井出水量计算单井保浇亩数：

$$W=\frac{Q\cdot T\cdot t}{m}$$

式中：W—为单井保浇亩数，Q—为单井出水量（吨/时），T—为轮灌天数，t—为每天抽水时间（小时），m—为亩次灌水定额（吨/亩）。

例如，单井出水量为100吨/时，10天轮灌一次，每次抽水12小时，亩次灌水定额为50吨/亩，则单井保浇面积：

$$W=\frac{100\times 10\times 12}{50}=240\text{亩}。$$

其次，求平均井距。每平方公里相当于1500亩，在一般情况下，耕地约占土地面积的三分之二，即每平方公里内耕地约为1000亩，则每平方公里应布井数 $n=\dfrac{1500\times\frac{2}{3}}{240}=4$ 眼。

于是平均井距 $L=\dfrac{1000}{\sqrt{n}}=\dfrac{1000}{\sqrt{4}}=500$ 米。

如果由于某些原因不能均匀布井，则井距应尽可能大于两倍影响半径，以便避免干扰和充分发挥单井灌溉效益。

b.当地下水可采量小于需水量时，则应根据地下水可采量布井。

每平方公里可布井数为 $n=\dfrac{m_b}{Q\cdot t\cdot T_2}$。

式中：n—为每平方公里可布井数，m_b—为补给模数（吨/平方公里·年），即每平方公里每年接受补给的水量，Q—为单井出

水量（吨/小时） t —为每天抽水时间（小时），T_y—每年平均抽水天数。

例如补给模数为 15 万吨/公里²年，单井出水量为 20 吨/时，每天抽水 12 小时，每年抽水 100 天，则每平方公里可布井数为

$$n = \frac{15 \times 10000}{20 \times 12 \times 100} = 6 \text{眼。}$$

$$\text{井距 } L = \frac{1000}{\sqrt{6}} = 400 \text{米。}$$

这样计算的井距可以保证地下水资源收支平衡，但不能保浇全部耕地。水量不足部分应通过开辟新水源的途径来解决，例如开发更深部含水层组，或开辟地表水源等。

c．根据开采实验确定井距

上述两种情况都是比较理想的，而实际上一个地区在开发地下水的初期阶段，地下水资源往往尚未完全查清。同时由于对水量的需求及所有制的限制等原因，井的密度和间距往往超过地下水资源所允许的范围。在这种情况下，可进行抽水试验或实际开采试验，根据抽水实际影响范围来确定井的间距。如果条件允许，井距应等于或大于二倍影响半径（这里所说的影响半径实际是指引用补给半径，而真正的影响半径由于水位测量精度不同，是个很不确定的数值）。但实际上很难做到这点，因为机井布局涉及的问题很多。在这种情况下，通常要求至少将井距限制在多孔干扰抽水的出水量减少到不超过单井出水量的 30% 的范围内。例如河北省衡水地区确定的允许最小井距如表 2—3。

按这样确定的允许最小井距布井后，开采量将超过地下水资源补充能力。这时可采取引渗回灌的办法人工补给地下水，或者地表水与地下水综合利用，以避免由于消耗静储量引起地下水位持续下降，导致开采条件恶化。在以后的长期开采过程中，也要不断总结经验，逐渐调整井距，以使开采水量与地下水资源补充能力保持平衡。

需要指出，对于总开采量已经超过了地下水资源的补充能力

河北省衡水地区允许最小井距　　表 2—3

含水层类型	埋深（米）	允许最小井距（米）	允许最大机井密度（眼/平方公里）
浅层水（潜水半承压水）	<50	250—300	11—16
中深水（潜水半承压水）	<150	600—800	16—28
深层淡水（承压水）	150—250	1000	1
深层淡水（承压水）	250—350	1500	0.45
深层淡水（承压水）	>350	1500—2000	0.25—0.45

而引起区域地下水位持续下降的老灌区，企图保持原有的总开采水量，仅仅通过调整机井布局来解决水位下降问题，是行不通的。必须通过充分挖掘这个地区的水资源全部潜力，开源节流，人工补给，增加地下水资源总量来解决。

d．开采井的垂向配置（分层取水）

上面谈的是开采井在水平方向上的合理布局，在垂直方向上也存在着开采井合理配置问题。比如一个地区的开采井都打在同

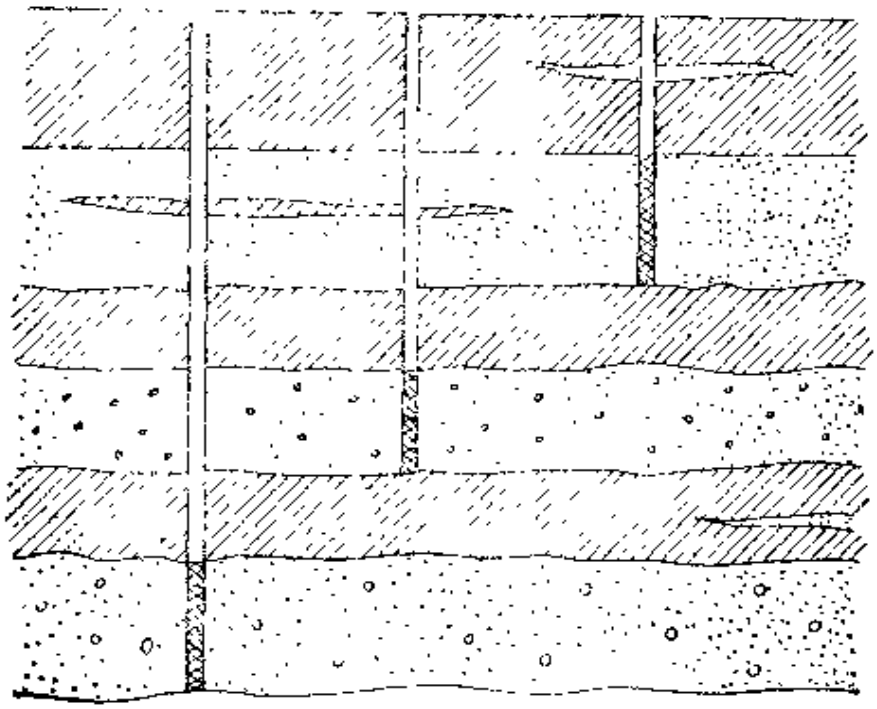


图 2—6　分层取水示意图

一含水层组中，就会使这个含水层组开采过量，而其他含水层组水资源的作用又不能发挥。所以有多个含水层组的平原地区应根据各含水层组的水资源情况采取分段取水，浅、中、深穿插配置井位（图 2—6）。这样可避免同一含水层组井位过密，开采量过大。

分层取水应本着先易后难，由浅而深的原则，先考虑浅层含水层组水资源，按成井水量计算浅层含水层组的井数。当浅层水井数不能满足灌溉需水量要求时，则依次考虑中层、深层含水层组，计算所需井数，直到满足需水量要求（当需水量小于可采量时）或达到可采量（当需水量大于可采量时）为止。根据各含水层组分配的井数，采取穿插配置井位，即做到开采井合理的垂直配置。

第二节　恢复和增大水井的出水量

取水工程的实际开采量并未超过地下水开采储量，但经过一段开采后，少则几个月，多则几年，几十年，出水量就会逐渐减少，甚至不出水而报废。因此，应该很好地研究造成水量减少或不出水的原因，从中找出规律，研究恢复和增大取水井出水量的改造措施。

一、取水井出水量减少的原因及防治措施

取水井出水量减少的原因是多种多样的，归纳起来有对水文地质条件了解不够，工程设计不当，成井工艺不合格，使用管理不善等几个方面。针对具体情况，因地制宜地采取恢复和增大出水量的措施。

1．井淤：含水层中的一部分细小砂粒及岩粉，在抽水水动力条件下，受地下水流作用而产生移动，经过过滤层进入井内。一部分随抽水水流带到地面，一部分沉积在井内。这是一种较普遍的现象，它随着使用时间的延长逐渐减少而消失。这种现象称为正常井淤，只要井底留有 3—5 米长的沉砂管并定期掏井就可

以解决。若因某种原因，产生经常性的大量流砂或掉进其它实物，淤满含水层大部分，严重影响出水量，则叫着危害性井淤。我们着重研究的就是这种井淤。

（1）出砂量较多，并夹有中粗砂。产生这种现象的原因可能是过滤管不合适，网格大，滤料的粒径小，大量滤料流失腾空，或年久砂砾密实下落造成空洞，使地层坍落，抽水时大量出砂。遇到这种情况，就必须减少抽水量或暂时停抽，间隔一定时间再进行少量抽水，使滤层有重新组合排列的机会，逐渐适应。当出砂现象停止后再正式使用。在老井中因砂粒过多，过滤层不起过滤作用时，必须采取清淤补充合适滤料的措施，才能彻底制止出砂。

（2）大量出砂夹过滤层砂砾。这是过滤管严重不合适或滤网已经破裂的表现。遇到这种现象，要观察其发展情况，如果没有继续发展就不必处理。若严重影响出水量时，应进行定期淘井或用空压机作洗井清淤处理，即进行强烈抽水，将井底泥砂淤积物冲洗出来。若经处理无效，要进行清淤补砂或更换过滤管。补砂方法（图 2—7），即一方面在取水井强烈抽水，一方面向补砂孔加入足够的水量和选配好的砂石料。这一过程要同时进行，也可以分多次完成。经过处理后，制止了流砂，在井的周围形成渗透带，实际上等于增大了井径，达到增加井的出水量的目的。用这种方法修复的井孔效果极好。但因工作量及投资很大，一般在

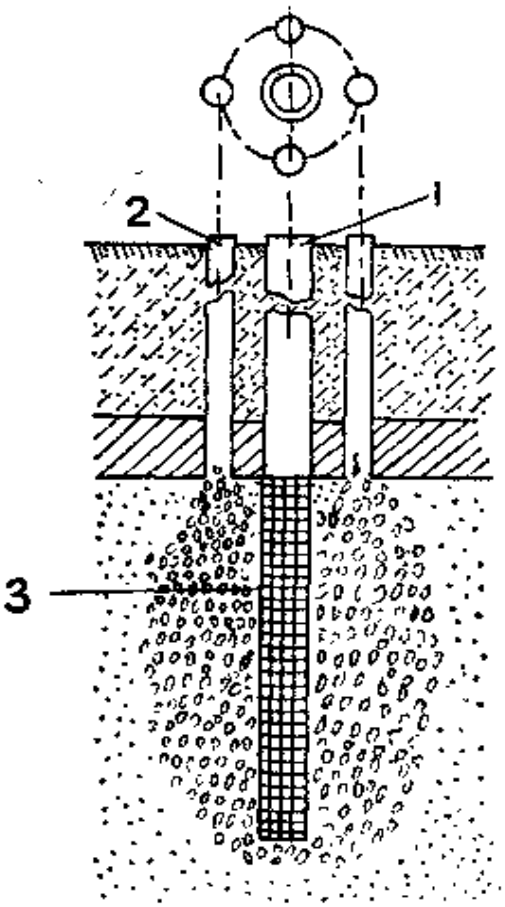


图 2—7　利用补砂孔放置滤料
1—取水井；2—补砂孔；3—滤水管

含水层埋藏不深，要求技术简单时才采用。因此，上海深井工人建议在打新的深井时，就在井附近设置补砂管，以供补充过滤层砂料之用，这是值得推广的。

使用管理不善造成的井淤，也是常见的。特别是农业灌溉用井，在灌溉期没有专人负责，灌溉期后无人过问，丢进砖头瓦片及其他杂物。地处低洼的井在雨季则被洪水灌浸淤塞。因此，井口应安装井盖防止掉进杂物，并加高井口，高于当地洪水位。

另外，由于开采时降深过大，产生过大的水跃值和水力坡度，增强了对井壁的冲刷力，破坏过滤层，大量砂粒进入井内造成井淤。这种情况下就应确定合理的降深和开采使用制度，定期进行淘沙洗井来解决。

2．堵塞：指的是井筒、过滤层或含水层的孔隙裂隙被杂物、泥砂、泥浆岩粉及化学物堵塞。

（1）杂物堵塞：杂物堵塞井筒严重影响井的使用和出水量，是常见事故之一。对供水工作人员，尤其是管理使用人员，要经常进行政治思想教育，提高警惕，加强责任制，确保工农业生产和人民生活用水，做好对取水工程的保护和管理工作。这类事故主要采用打捞方法处理，有条件时亦可用钻机扫孔，清除堵塞物。

（2）泥沙堵塞：滤网眼过小，抽水时移动的砂粒堵塞在滤网外面，或淤积在过滤层及其周围含水层的孔隙裂隙中。有的是因采用了不合适的滤网代用品，不合理的包扎方法，如多层棕皮、芦席包扎，孔眼过小，造成泥砂堵塞。增加了水流阻力，减低了渗透性，严重地影响出水量。遇到这类堵塞，一般采用注水压水或空压机抽水洗井处理。这样处理无效，只有更换新的过滤管及滤料才能彻底解决。

（3）泥浆岩粉堵塞：由于打井时的岩粉和泥浆没有及时清洗，或泥浆岩粉渗延很远，造成滤网及周围含水层孔隙堵塞。遇到这种情况，可采用拉杆活塞洗井及用处理泥砂堵塞的方法处理，进行彻底清洗。但要注意在金属网包扎的过滤管井中，用活

塞洗井易产生砂粒堵塞网眼，影响出水量。

（4）化学物堵塞：在酸性、中性及弱碱性水中溶解氧含量高并含有铁离子时，使过滤管和水中铁离子由低价变成高价，形成氢氧化铁沉淀：

$$2Fe + O_2 = 2FeO$$

$$4FeO + O_2 = 2Fe_2O_3$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow$$

这种沉淀物质，滞附于过滤管和充填于含水层孔隙裂隙中，造成化学堵塞，影响出水量，并且使水变成有腥味的黄褐色（铁锈色）。

由于井水中铁离子浓度增加，给铁细菌创造了生活和繁殖条件，从而加剧腐蚀作用和二价铁的氧化，使腐蚀产物附着在滤管上成为结疤（即铁细菌硬壳）。由于结疤的不均匀分布，结疤部分氧减少，就形成适合硫酸盐还原细菌生长的嫌气条件。硫酸盐还原菌利用氢还原硫酸盐析出硫化氢，该硫化氢又直接和铁作用，促进了铁的腐蚀。这种化学堵塞现象最常见也最易被人们忽视，但却是使井管损坏及影响出水量的主要原因之一。对待这些堵塞现象，必须做到以预防为主，即采用钢（铸铁）井管时，应涂防水漆保护层、塑料保护层或沥青漆保护层等。

在开采中发现井水位下降很快，出水量显著减少，断续出水或不出水，这是已经产生堵塞的表现。遇到这种情况，认真查找堵塞的部位和严重程度。可用空压机分段冲洗，见出水量有明显增加时即处理完毕。若不然，可采用 10—15% 浓度的 HCl 溶液处理。在处理前，应先用空压机将井水抽干。在水位恢复前，迅速压入盐酸溶液，然后立即压入稍大于井筒体积的水量。所需盐酸数量，取决于堵塞轻重情况和含水层岩性、厚度、透水性及以往处理次数。一般处理一米长需要 0.4—1.5 吨。

酸溶液和冲压水要以最大速度压入。这时盐酸可溶解过滤器表面的铁锈及含水层中的铁和铝的氧化物，生成三氯化铁和三氯化铝：

$$FeO + 2HCl = FeCl_2 + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6HCl = 2FeCl_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2O$$

但水中所含三氯化铁过多，时间过长时，仍能产生氢氧化铁或其他基性盐沉淀下来，

$$FeCl_3 + 3H_2O \xrightarrow{水解} Fe(OH)_3\downarrow + 3HCl$$

因此，在井内维持数小时至一昼夜后，应立即将水抽出，以便清除反应产物。这时如果出水量仍不大时，还可用同样程序再次处理。

处理所需盐酸浓度、数量及维持时间，应按堵塞轻重情况，含水层渗透性大小和以前处理次数而定。一般堵塞严重，含水层渗透性大时，浓度、数量及维持时间均可取上述要求的高值。但用金属过滤器时不能取过高值，否则会受侵蚀损坏。故有时需要在盐酸中加入适量醋酸或磺化石油产物的钠盐等阻化剂，降低反应速度。而酸与岩石作用时，易生成硅酸凝胶填充。

即 $$Na_2SiO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2SiO_3$$

$$\downarrow \rightarrow SiO_2 + H_2O$$

凝　胶

为了防止生成这种凝胶，可在盐酸中加入适量的3—6%的氢氟酸，

$$SiO_2 + 4HF = SiF_4\uparrow + 2H_2O$$

用盐酸处理井孔，可以疏通含水层和除去过滤管的堵塞物，并可扩大含水层的裂隙、孔隙和溶洞，使出水量成倍增加。

二、增大取水井出水量的途径

由于含水层薄，渗透较差，出水量较小，开采数十分钟或数小时后，出水量显著减少。对于这类含水层，应该采取增加其补给量的办法来增加地下水的开采量。即采取沟通或扩大比其水位高的地表水体和上下含水层的水力联系，增加渗漏断面积，或者采取抬高补给源的水位、水头等人工措施，来达到增加地下水开

采量的目的。

1．增设井下辐射滤水管：当含水层渗透性较差，出水量不够充沛时，在井下敷设辐射滤水管，可增大取水井出水量。特别是对含水层较浅及透水性不好的地区，效果更为显著。

辐射井是一种比较特殊的井型，它是由大口径竖井和若干水平辐射滤水管组成（图 2—8）。水平辐射管在大口径竖井的下部穿过井壁深入含水层中。这种带有辐射管的井称为辐射井。辐射井周围含水层中的地下水直接渗入就近的辐射管，经辐射管流进大口径竖井，以供水泵提取。

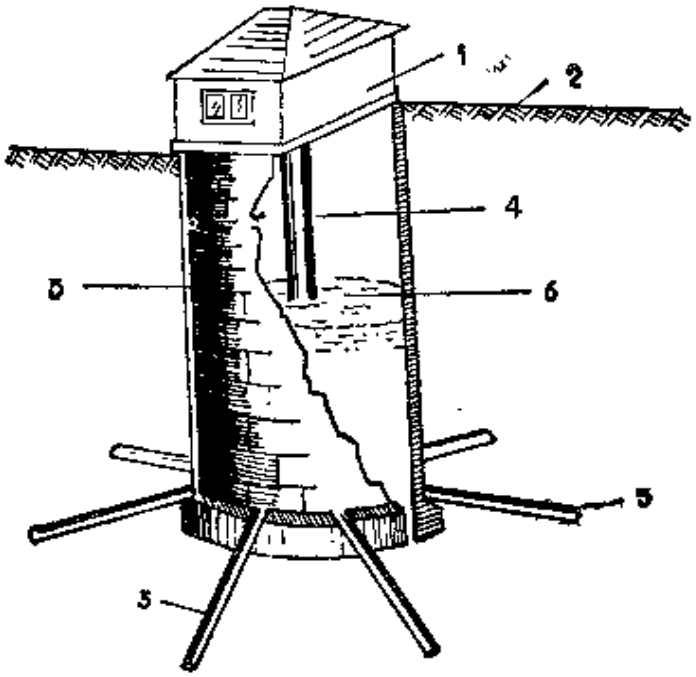


图 2—8　辐射井示意图

1—机房；2—地平面；3—集水井；4—泵管；5—辐射管；6—静水面

辐射管一般是用水平钻机打成的。根据含水层情况，辐射管有安设滤水管的，也有无滤水管的，还有通过特殊施工方法使辐射管周围含水层改变为水平集水带的。辐射管有均匀分布的，也有朝着主要来水方向加长或加密的。为了充分利用地下水，增大出水量，也可敷设几层辐射管。

辐射井的类型可以有不同的分类方法。按照地下水补给条件

和不同的集水形式分为：

（1）集取河床渗透水时，集水井设在岸边或滩地，辐射管伸入河床下（图 2—9）。

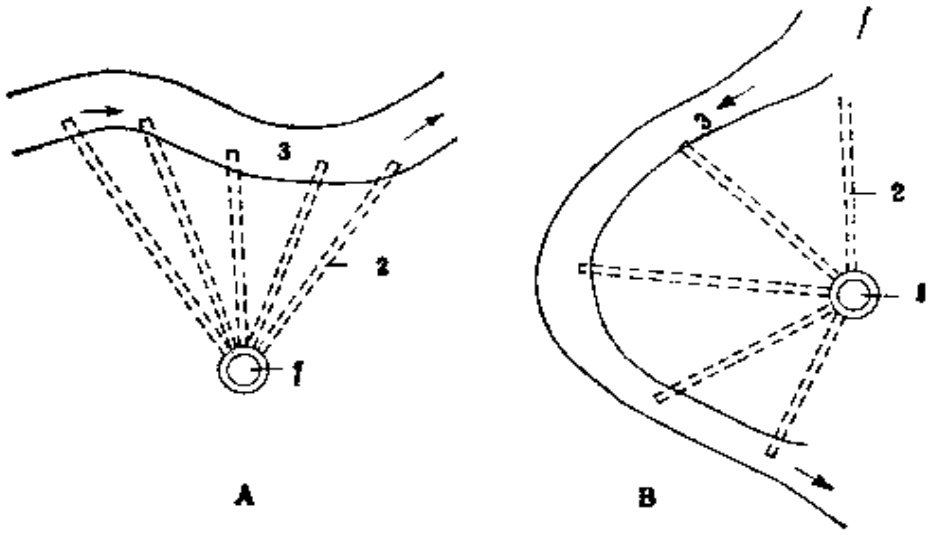


图 2—9

1—集水井；2—辐射管；3—河流

（2）集取河床渗透水和岸边地下水时，集水井设在岸边，部分辐射管伸入河床下，部分辐射管设在岸边（图 2—10）。

（3）集取岸边地下水时，集水井和辐射管均设在岸边（图 2—11）。

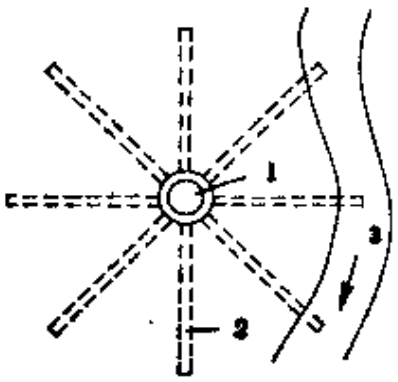


图 2—10

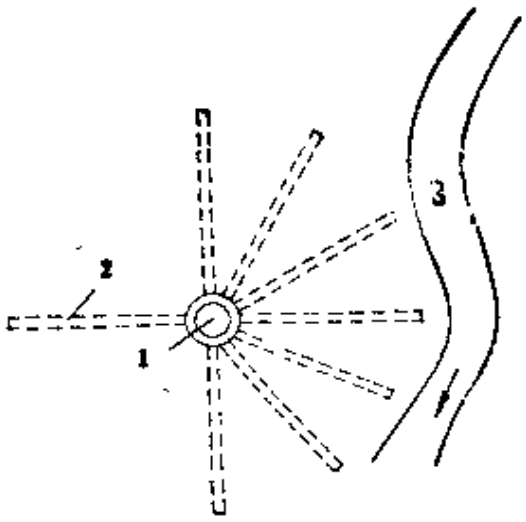


图 2—11

（4）远离河岸集取地下水时，大多数辐射管的布置应垂直于地下水流向。垂直地下水流向辐射管的长度应比平行地下水流向的辐射管长些（图 2—12）。

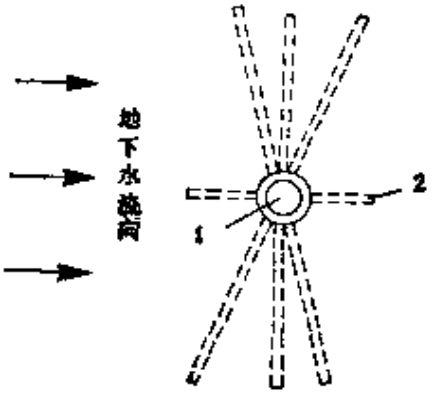


图 2—12

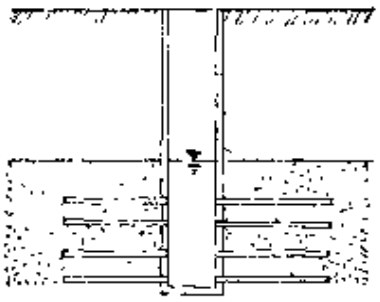


图 2—13

按照辐射管在平面上的分布形式，可以将辐射井分为对称布设型（图 2—10）和集中布设型（图 2—11）。按照辐射管在垂直方向的分布，辐射井有单层辐射管（图 2—8）和多层辐射管（图 2—13）。

辐射管的布设形式、根数及长度，根据水文地质条件和需水要求而定。当含水层较薄或集取河床渗透水时，宜布置单层辐射管。辐射管根数 1—5 根均可，按需水量增减。如果含水层较厚，地下水丰富，渗透系数较大时，可设多层辐射管。若辐射管直径为 100—150 毫米时，一般采用 2 层，层距为 1.5—3.0 米，每层 3—6 根；若辐射管直径 50—70 毫米，一般可设 4—6 层，层距为 0.5—1.2 米，每层为 6—8 根，也有 10 根以上的。当含水层较厚，但不渗水的夹层较多时，宜设置倾斜辐射管（图 2—14）。以上各类辐射管距井底的距离一般不小于 1—2 米。

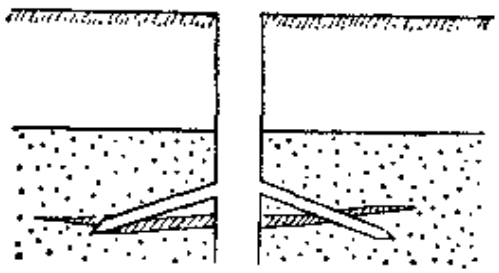


图 2—14

辐射井的特点在于其辐射管向四周深入到含水层中，增大了取水范围，扩大了地下水向井内

渗透的进水面积。含水层中的水可直接渗入就近的辐射管，由辐射管顺利地向集水井汇集，减少了水在含水层的渗透路程和水头损失，因此增大了井的出水量。如陕西地区，辐射井的出水量比未打辐射井之前往往超过6—15倍，多数在10倍以上。

辐射井出水量，影响因素很多。国外有很多经验和理论计算公式，但在相同条件下使用不同公式，计算结果往往有很大出入。国内实践经验也不成熟。现以辐射管长30—50米，开采潜水含水层出水量的计算为例（图2—15），其经验公式为：

$$Q=qn\alpha \text{ 米}^3/\text{日}$$

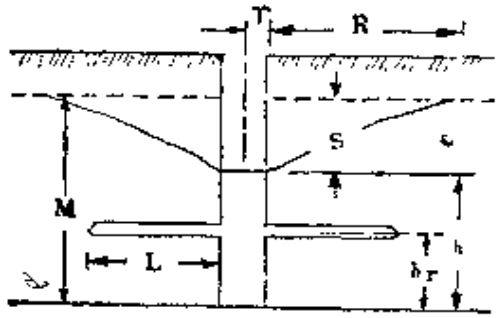


图 2—15 无压含水层辐射井计算图

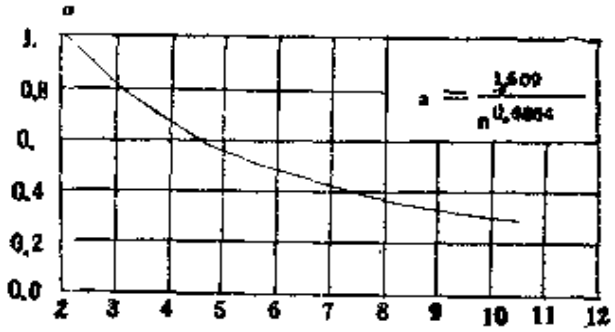


图 2—16 $\alpha=f(n)$关系曲线

式中 n—辐射管的根数；

α—系数，随辐射管根数、长短、管间夹角不同而异，由$\alpha=f(n)$关系曲线图（图2—16）确定；

q—单根辐射管的出水量，按下式计算：

$$\text{当}h_r<h\text{时}\quad q=1.36\,K\frac{m^2-h^2}{\lg\frac{R}{0.75L}}\text{（米}^3/\text{日·根）}$$

$$\text{当}h_r>h\text{时}\quad q=1.36\,K\frac{m^2-h^2}{\lg\frac{R}{0.25L}}\text{（米}^3/\text{日·根）}$$

式中 m—含水层厚度（米）；

h—动水位以下含水层厚度（米）；

L—辐射管长度（米）。

其他符号同前。

2．井中雷爆法：在坚硬岩石中，常常由于裂隙、岩溶发育不均匀或裂隙溶洞被淤积物堵塞，即使打在同一含水层中的井，其出水量差异甚大。在这种情况下，可用井中雷爆法进行处理，增大出水量。

这种方法是将炸药、雷管密封装置的专用爆破器（图 2—17），用钢丝绳垂入井内所需深度，把导线引至井口地面一定距离之外，接通电源时，爆破器在井中起爆，形成一定范围的岩石破碎圈和振动圈。这样就增加和扩大了地下水流入井的通道，减少了水流阻力，增大了水井出水量。当含水层很厚时，可自下而上进行多次爆破。

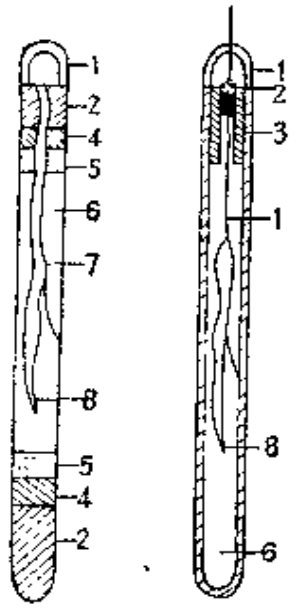


图 2—17 用于集水钻孔的爆炸器

1—锁帽；2—与塞头相接的塞头；3—塞头；4—沥青或其它的绝缘物质；5—砂；6—火药；7—双心电缆；8—电雷管

在进行爆破之前，一定要仔细地清除钻孔中的岩粉并进行抽水试验，直到水清为止。爆破后要把碎石等充填物清除干净，然后用相同的方法进行抽水试验。对比前后抽水试验资料，采用富水变化系数评价爆破效果。即：

$$\eta=\frac{q_2}{q_1}$$

式中 η—爆破井富水性变化系数；

q_1—爆破前单井出水量；

q_2—爆破后单井出水量。

如果 $\eta=0$，爆破后井不出水，这说明含水层岩性不适于爆破。一般不适于爆破的岩石有：粘土、页岩、泥灰岩、泥页岩、泥质砂岩以及含有大量粘土质的松软岩石等。

$0<\eta<1$ 时，效果不好，含水层含有大量粘土成分或粘土夹层和透镜体。

$\eta=1$ 时，效果不显著，说明含水层适宜爆破，但因某些原因，如炸药量不足或爆破残渣清理不彻底等，而未达到雷爆目的。遇到这种情况，要查清失败的原因，再次进行爆破，一般会取得良好效果的。

$\eta>1$ 时效果良好，说明爆破能沟通较好的富水带，同时证实爆破设计也是正确的。适于雷爆的岩石有花岗岩、石英岩、灰岩及致密砂岩等坚硬脆性岩石。

在均质岩层中，破碎圈成一近似的球形，不均一的岩层则为不规则形状。在破碎圈（带）范围内，硬脆性岩石表现为裂开和破碎，而松软岩石则强烈压缩。

破碎圈（带）的半径可依下面的公式计算：

$$R_p=K_p\sqrt[3]{C}$$

式中 R_p—破碎圈（带）半径（米）；

C—炸药重量（公斤）；

K_p—岩石对破坏作用的挠性系数。举例列表如下（表 2—4）：

表 2—4

岩石名称	挠性系数 K_p
石灰岩、砂页岩、砂岩及弱胶结的砾岩	0.92
白云岩、硬砂岩和纯灰岩	0.88
花岗岩、片麻岩和其他致密岩石	0.84

振动圈（带）半径（R_c），可依经验公式计算：

$$R_c=\mu R_p$$

式中 μ—经验系数，一般可在 1.5—2.0 区间选取。在振动圈（带）内能形成一些细小的裂隙，但岩石的产状和岩石的粘结性并没有受到破坏。

由前述可知，雷爆法并非在任何情况下都能获得有效的结果。某些不宜于雷爆的岩石（粘土、页岩、泥灰岩及其它类似的

岩石），当爆炸时，在巨大压力和高温下，易变得更加致密或裂隙被粘土及碎屑所填，形成局部弱透水或不透水岩层。只有在硬脆性岩层中，爆破时的巨大压力能形成一定范围的破碎圈和振动圈，造成所需的裂隙密集带，沟通其他断裂或岩溶富水带，效果显著。所以详细评价含水层的岩性，并对含水层的裂隙性质、岩溶情况等进行详细研究，是水文地质雷爆能否成功的关键。为此，在雷爆前，必须具备钻孔柱状图，技术剖面及其说明，并详细研究这些资料，其中应特别注意组成含水层的岩性及其顶底板的岩性，在此基础上编制井的爆破设计书。

3．密封井（真空作业井）：井的出水量小，不是由于过滤器发生故障或裂隙被堵塞，而是含水层透水性不良所造成的。在此情况下，当条件适宜时可采用真空抽气井增大井的出水量。这种井是密封取水管与井口的间隙（图 2—18），或在井孔内安装栓塞（图 2—19），将井的下部与大气隔绝，然后从井中抽水，这时密封段以下就逐渐形成真空，产生与真空值相应的负压力，直接增加了水头差，使水进入井内的流速加快，水量增加。显然井内造成的真空值越大，增加出水量越显著。在理论上，绝对真空时

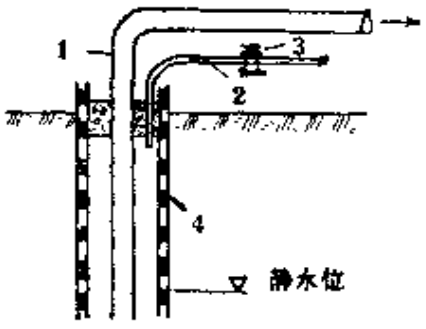


图 2—18　装有抽气管的真空作业井示意图

1—抽水管；2—抽气管接真空泵；3—气门开关；4—井管

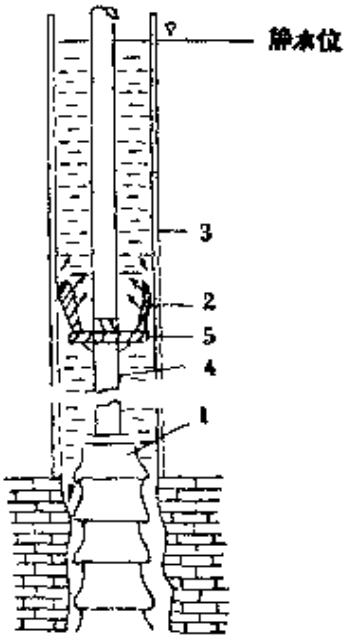


图 2—19　带有密闭胶皮碗的真空钻孔示意图

1—水泵；2—胶皮碗；3—套管；4—提水管；5—托盘

可增加10米水头值，但实际上不能超过7—8米。由于漏气或从水中逸出的气体逐渐减低真空值，因此常需要设置专门抽气管（图2—18），用真空泵定期抽气来增加真空值。

密封井用于开采自流水及承压水时，增加出水量的效果最好。有时对具有较厚（3—5米）的透气较弱的包气带的潜水含水层，也能得到良好的效果。

承压含水层真空井的出水量可按下式求得：

$$Q=\frac{2\pi KM(S+h_a)}{\ln R-\ln r}$$

式中 M—承压水含水层厚度（米）；

K—渗透系数（米/日）；

S—承压水水位下降值（米）；

h_a—抽气造成的真空值（以水银柱高表示），该值不大于8—8.5米；

R—影响半径（米）；

r—水井半径（米）。

h_a值可根据固定在栓塞上的真空计测得，也可按下式算得近似值：$h_a=\frac{10S}{S+t}$

式中 t—栓塞至动水位的高度（米）。

潜水真空井出水量的计算公式如下：

$$Q=\frac{\pi K\left(2H-S-\frac{10S}{S+t}\right)\left(S+\frac{10S}{S+t}\right)}{\ln R-\ln r}$$

式中 H—潜水含水层厚度（米）；

S—潜水水位降低值（米）；

其他符号同前。

（4）对口抽（泵井对口密封），“对口抽”是华北广大贫下中农，在战胜连年干旱，地表水供不应求的情况下，为了更好地挖掘地下水源保丰收，充分发挥原有水泵、电机能力，对机井进行

出水量改造斗争中，通过实践改装而成的。这是我国劳动人民重要的创造，是开发地下水的一项重大改革，是目前对待含水层薄而透水性小的地区增加机井出水量的一种好办法。它具有增加井的出水量，节约投资，维修管理方便及保障机井安全等优点。适用于农用开发地下水，颇受贫下中农欢迎。

一般用的水泵有一个共同特点，吸程越小出水量越大，通常吸水底阀（吸水龙头）和与管径有关的流速水头损失很大。如六时泵的底阀，当通过 140—150 米³/时水量时，损失有效水头约为 2 米。在同样流量情况下，10 吋管径的流速水头损失仅为 6 吋管径的12.8%；12吋管径流速水头损失仅为6吋管径的6.25%。因此采用“对口抽”以后，取消了底阀和用大于吸水管径的井壁管代替吸水管后，就消除了底阀水头损失和减少了进水管这一段流速水头损失，相应的增加了有效吸程。这是增大出水量的主要因素。

另外从地下水方面来说，在改装前井水面和空气直接接触，承受一个大气压力，改装后泵井管内形成一个封闭装置。在抽水开始前先用手压水机排除井内空气，然后再起动电动机进行抽水，这时井内出现真空，大气压力消失了，井水产生与真空值相应的负水头。这样就加快了地下水流向井内速度，提高了机井的出水量。如北京市某公社对四眼机井进行实验，出水量平均增加 122.3%。

将离心泵向地下下卧，也是提高有效吸程增加机井出水量的常用措施。但下卧到 1—3 米以下，对开挖技术和安全生产都带来很大困难。如果条件适宜，两者并用，出水增加更大。

“对口抽”可以用在金属井管、塑料井管、水泥井管和竹子木头井管上，形式多种多样。但共同基本的要求，是从水泵至动水位以下 1 米左右一段井管要严密封闭。如有漏气就影响出水量，甚至可能抽不上水。从“阀”的安装不同，可把“对口抽”分为四种主要类型。

① 阀在井下，即在井管内加装底阀，其作用和原来吸水管

底阀相同。三根棍式对口抽（图 2—20）就属这种类型。使用前，将井管及泵体内灌满水，开机即可出水。

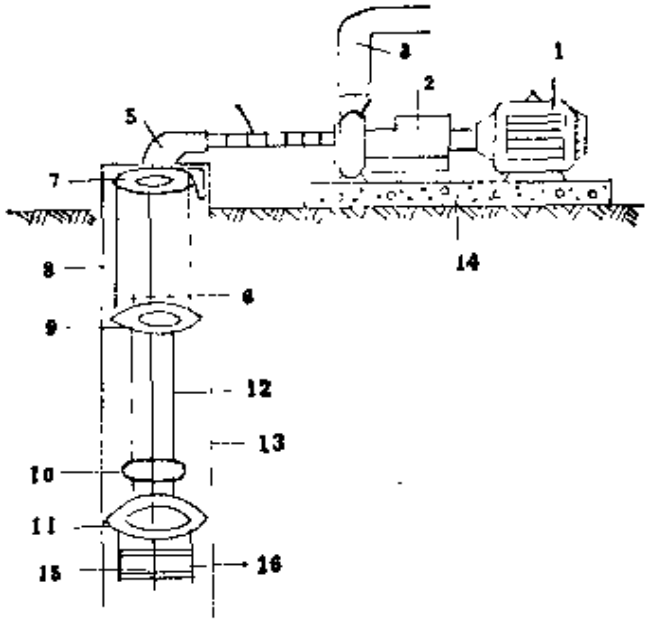


图 2—20　三根棍式对口抽示意图

1—电机；2—水泵；3—出水管；4—胶管；5—带弯头的缩口；6—螺母；7—顶盘；8—钢筋棍；9—撑盘；10—阀门；11—底盘；12—钢筋棍；13—井管；14—机泵座；15—长杆螺丝；16—导向板

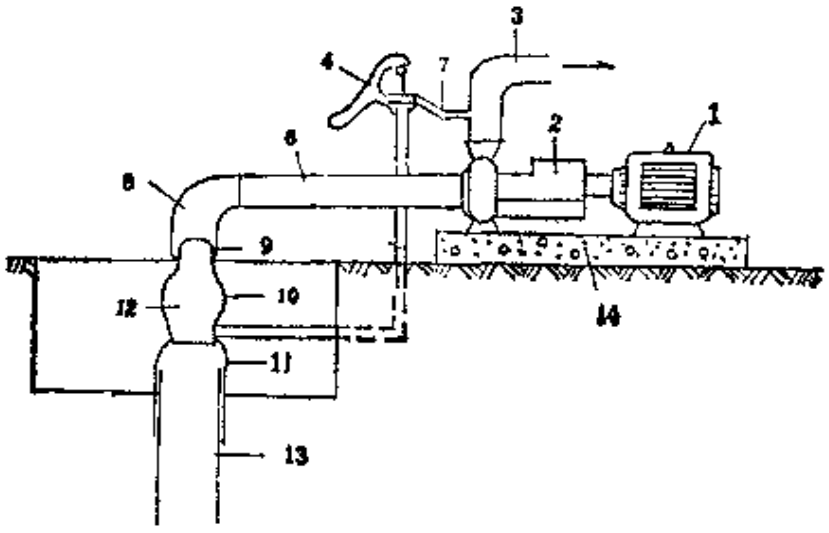


图 2—21　大肚子式对口抽示意图

1—电机；2—水泵；3—出水管；4—汗水机；5—铁管；6—大铁管；7—联结管；8—弯头；9—大铁管；10—逆止阀；11—大小头；12—井管坑；13—井管；14—机泵座

② 阀在井上。在水泵的进水管道上加装一个逆止阀，下通水管，水管上安装手压水机。这种形式一般叫大肚子式对口抽（图 2—21），用压水排气吸水，当水充满泵体和井管后，开机即可出水。

③ 把阀门安装在水泵的出水管道中，进水管道上加装一压

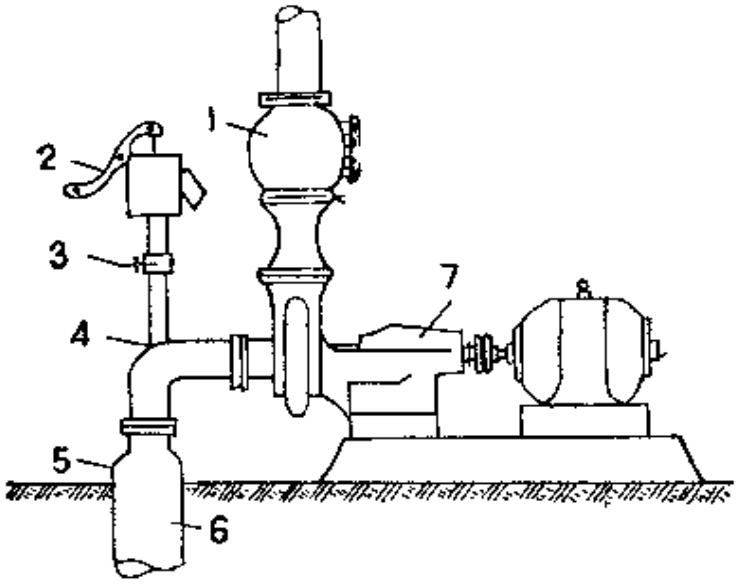


图 2—22 吸管无阀式对口抽示意图

1—逆止阀（或闸阀）；2—手压水机；3—压水机截门；4—焊接；5—缩口盘；6—带丝扣铸铁井管；7—水泵

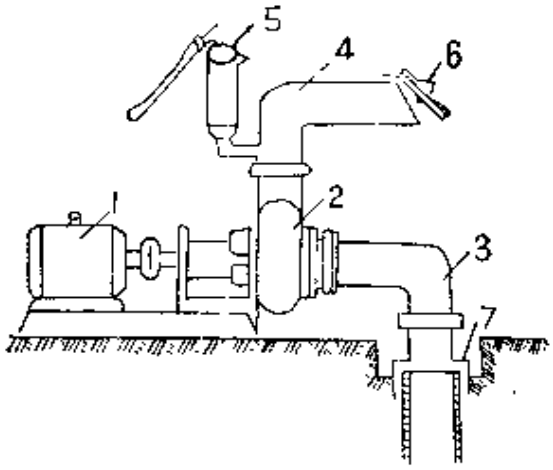


图 2—23 水泵拍门式对口抽安装示意图

1—电动机；2—水泵；3—吸水管；4—出水管；5—压水机；6—拍门；7—变径管

水机，压水排气时起密封作用。这种形式叫吸管无阀对口抽（图2—22）。

④ 井泵管道中都不装阀，只是在出水管口安装一个拍门。这种形式叫做水泵拍门式对口抽（图2—23）。

三根棍式及大肚子式对口抽，结构复杂，安装维修麻烦，吸水管道水头损失大，增水量效率小，且抽水开始时，开泵抽水不容易一次成功。而吸管无阀式和水泵拍门式对口抽，结构简单，安装、使用及维修都很方便，且增加出水量大。特别是水泵拍门式，增加水量最大，易于因地制宜，经济实用，很值得大力推广。

第三章　地下水合理开采的水质问题

地下水资源评价包括水量评价和水质评价两个方面。水质评价不仅是水文地质调查的主要内容之一，同时也是开采地下水过程中必须研究的课题之一。

在寻找与勘探地下水源时，要查明地下水的天然成分，以确定能否满足水质标准要求；同时还可以用地下水化学成分分析地下水所处的地质环境及其循环条件。在开采利用过程中，观察地下水水质是否发生变化，如已发生变化，则需查明水质变化的原因和变化趋向，以及变化的水质是否仍可继续用于该供水项目等。

地下水的物理性质、化学成分和微生物成分是多种多样的，而含量也是不同的。水中不同的物质成分，特别对供水来说，有害成分的含量应有一定界限，在这个数量界限范围内，才能满足供水项目的需求。这个决定事物质量的数量界限，叫做水质评价标准。但不应把水质评价标准看成是死的，一成不变的东西，而应该用对立统一的观点评价地下水水质，必须强调因地制宜的原则，坚持密切结合各供水项目的特点和地区的水文地质条件，来制定和运用地下水水质评价标准。

第一节　饮用水水质评价

水是生物维持生命所必须的物质，如细胞新陈代谢，调节体温，摄取所需要的矿物质以及溶解人体中的废物后排除体外，都需要水。水中所含的各种成分及其浓度对饮用水来说是很重要

的。如果饮用水中缺少人体所需要的成份或者过多，就要影响健康。对人体有害或不需要的成分含量超过人体能适应的数量及排泄能力，便能引起不良反应，以致中毒。

在考虑饮用水的水质时，必须从对人体健康需要出发对水中各种成份及其相互关系要有足够的认识。应了解哪些是不可缺少的，哪些是非必需摄取的，哪些虽无害但过量要影响人体健康，哪些是与病原菌有关系及有害的。还要结合地区水质形成环境和当地人民群众长期生活实践经验，按有关卫生规程和标准作出评价。

对饮用水的水质是从地下水的物理性质、化学成分和微生物成分三个方面进行评价的。其中非常重要的是判明地下水的污染标志，下面根据我国卫生部规定的生活饮用水质标准分别叙述。

一、物理性质

作为饮用地下水的物理性质应当是无色(色度不超过15度)、无味、无嗅、透明、无沉淀、浑浊度不超过5度、水温在7°—11℃之间。不含有肉眼可见的水生生物及令人憎恶的物质。一般情况下，地下水物理性质本身不会对人体健康产生显著有害影响。物理性质不好的水饮用时只能使人产生不好感觉，以致胃液分泌受抑制，影响人身的吸收能力及胃液的杀菌作用。但是根据物理性质可以间接判别地下水的循环条件，污染情况以及化学成分等。例如：纯水无色，含腐植质呈黄色，含低价铁呈淡蓝色，含高价铁或锰呈黄色到棕色，悬浮物质使水呈浑浊的浅灰色，硬水呈浅蓝色；含硫化氢有蛋臭味，含有机物细菌及原生动物有腐败味、霉味、腥味、药味、臭味等；含有机物的水发甜，含高铁有水锈发涩，含硫酸镁或硫酸钠的水苦涩，含氯化钠的水味咸，等等。这对初步评价水质和确定进一步分析地下水是有一定意义的。

二、化学成分

从化学成分上评价水质包括水中溶解的盐类和有毒成份两个方面。另外有些化学成分还可以作为判断水是否受到细菌污染的

间接标志。

1．水中溶解的普通盐类，如 Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^-、Ca^{2+}、Na^+、K^+ 及 Fe、Mn 等，大多数情况下，它们是天然矿化的产物，其含量可在相当大的范围内变化，对人体并不产生显著不良影响。其含量过高时，往往会涉及水的颜色和口味，含量过低时也对人体产生某些不良影响。但是要对水中普通溶解盐类的含量制定一个到处都适用的统一标准，实际上是不可能的。因为人体可以比较迅速地适应某种矿化度的饮用水。因此，对普通溶解盐类，应根据当地的自然条件，因地制宜地确定其允许含量。一般说来，水的矿化度以不超过 1 克/升为宜。但在一些缺少淡水的地区，居民可以适应到 2 克/升、3 克/升、甚至到 5 克/升。

以下几种成分在饮用水评价中值得重视。

（1）水的硬度，水中钙、镁离子的含量对于评价饮用水具有重要意义。总硬度大于 25 度（德国度）的水不宜饮用，也不宜用来洗涤衣物；小于 8 度的软水对人体有害；最好是10—15度。

钙是人体需要从水中摄取的主要矿物质。水中缺钙易得牙病，并影响血管系统及骨骼生长。

人体对镁的需要量远比钙少得多。水中含镁过多时易使水发涩发苦。特别是硫酸镁含量大于 300—500 毫克/升时，能引起肚泻。有人认为克山病与水中缺镁有关。

（2）硫酸盐（SO_4^{2-}）：水中硫酸盐含量过高能败坏水的味道，甚至引起腹泻使肠道机能失调。在水中缺钙的地区，硫酸盐含量低于 10 毫克/升时易得大骨节病。

（3）硅酸（SiO_2，$HSiO_3^-$）：据日本三泽敬义（1957）研究认为，人体长期摄取过量硅酸可引起高血压和动脉硬化症。

（4）氧化亚铁和锰：如果氧化亚铁含量达到 0.3 毫克/升时，水具有墨水味；锰含量达到 0.5 毫克/升时，水味不佳。

（5）碘（I）：人体需要适量的碘以造甲状腺激素与碘代谢。碘在淡水中含量一般很低（0.002—0.01 毫克/升），易为植物吸收，特别是柳树。人体如缺碘过久，会发生甲状腺肿病和克

打病。

2．毒性成分：水中的毒性物质主要有酚、氰、砷、硒、汞、铬、镉、氟、铅、洗涤剂、硝基化合物、苯、醛、氯苯、农药等。这些物质的来源主要与地下水受到污染有关，少数也有天然形成的。地下水的毒性污染来源十分广泛，主要有工业废水、废渣、废气、矿渣、生活废水、农药、化肥、垃圾、动物排泄物等。作为饮用水首先要求是不允许受到污染，水中各种毒性物质的含量不允许超过一定限度。

各种毒性物质对人体的危害及它们在水中的允许含量如下：

（1）砷（As）：水中砷含量大于0.1毫克/升时，能麻痹细胞的氧化还原过程，以致使人得溶血性贫血，并有致癌作用。此外，砷还可以从妇女乳腺排出，影响婴儿健康。饮用水中含砷界限一般为0.01—0.002毫克/升。如超过0.05毫克/升时，可作为放弃水源的根据。

（2）硒（Se）：水中含硒量过多对人有较强的毒害。它在人体中有明显的蓄积作用，易引起慢性中毒。损害肝脏和骨髓的功能以及阻碍水中氟的作用，而引起龋齿。此外，硒是强致癌物，饮用水中硒的最高允许浓度为0.01毫克/升。

（3）镉（Cd）：镉有很强的毒性，能在细胞中蓄积，使肠胃肝脏受损，还能与骨骼中钙起作用使骨骼软化变脆，产生骨节病。有人认为贫血及高血压也与镉在肌体内蓄积有关。饮用水中镉的最高容许浓度为0.01毫克/升。

（4）铬（Cr）：对人体有害，特别是六价铬，含量大于0.1毫克/升时，对人的消化系统有刺激和腐蚀性，能破坏鼻内软骨，甚至有人认为有致肺癌作用。饮用水中六价铬最多允许含量为0.05毫克/升。

（5）氟（F）：它与人的牙齿及骨骼健康有关。含量过低（小于0.3毫克/升）失去防止龋齿的作用；过高（大于1.5毫克/升）可腐蚀牙齿釉质，出现氟斑齿，甚至造成牙齿崩坏。长期饮用含氟过高的水，还能引起骨骼改变等全身慢性病，称氟骨

症，即氟中毒，以致残废。饮用水标准中规定氟含量为0.5—1毫克/升，最高不超过1.5毫克/升。

（6）铅（Pb），为蓄积性毒物。含量超过1毫克/升时，能蓄积在机体内使高级神经活动障碍，产生中毒症状，存在于骨髓内可使人瘫痪；并能从妇女乳腺中排出，影响婴儿健康。饮用水中铅的含量界限为0.05—0.1毫克/升。

（7）汞（Hg），为蓄积性毒物。汞入人体后可使中枢神经、消化道及肾脏受损害，使细胞的蛋白质沉淀形成细胞原浆毒。妇女、儿童及肾病患者对其敏感，且能从妇女乳腺排出，影响儿童健康。饮用水汞含量界限为0.001毫克/升。

（8）氰化物：毒性剧烈。从口或呼吸道进入人体后均能引起中毒。在达到一定浓度时，可使人急剧死亡。我国新拟饮水标准中规定氰化物最高允许含量为0.01毫克/升（以CN计算）。

（9）酚类，在用消毒处理水时，如酚类含量达0.005毫克/升时，就会出现令人难以忍受的氯酚味，根本不能饮用。饮用水中酚类限量多为0.001—0.002毫克/升。

判别饮用水是否合乎标准的直接有效的办法，是取样进行毒性成分和有关微量元素的化学分析。并且要查明各种污染源及污染途径和方式，并采取相应的防护措施。

3．微生物：微生物是指传染病菌的细菌。在饮用水的评价中是判明地下水污染的重要标志。因为被污染的水常易含有病菌，对人体发生危害，水的被污染乃是人和牲畜的排泄物及其污水所造成的。因此我们对地下水进行细菌分析，一般仅分析水中的大肠杆菌。大肠杆菌并非病源菌，但是有一定数量的大肠杆菌存在，常常说明其他病菌（霍乱、伤寒、痢疾菌等）有共存的可能。表示大肠杆菌含量的单位通常采用菌度。所谓菌度即是含一个大肠杆菌的水的毫克数。对水中大肠杆菌含量的要求，亦如对普通溶解盐类的要求一样，也很难有统一的标准，而且随地区的自然条件，卫生情况以及居民点的大小等而有不同。

（1）细菌指标

a．细菌指数：一般认为细菌总数在37℃培养24小时，细菌总数不超过100个/毫升。

b．大肠杆菌指数：饮用水标准中规定一升水中大肠杆菌不得超过3个，即其指数不超过3。如用菌值表示，应大于333毫升/个。

（2）有机污染指标

除细菌分析外，水中某些化学成分的存在也可以作为有机污染的间接指标。它们包括氨、亚硝酸、硝酸、磷酸、硫化氢、耗氧量等。

a．氮化物：包括蛋白氮和氨、亚硝酸、硝酸。它们在天然水中的含量极少，为无机起源的。如果含量较多，说明已被污染。

蛋白氮和氨(NH_3)是水受污染的重要标志，多出现于污染及还原环境中。氨是有机蛋白质在细菌作用下腐败分解，经过复杂的生物化学作用而析出的产物。尿素也易变成NH_3。氨本身对人体无害，但它的存在说明水已受到明显的污染，细菌容易繁殖。一般地面水中蛋白质含量不超过0.04—0.1毫克/升，氨不超过0.03—0.08毫克/升；地下水中一般不存在这些成分。只有在多硫化氢的深层水中，有时有无机成因的氨出现。有些国家规定氨的最大允许含量为0.01—0.05毫克/升。我国有些地区，氨限量为0.02毫克/升，蛋白质限量0.04毫克/升。

亚硝酸（NO_2^-）：氨经过氧化生成亚硝酸：

$$2NH_3 + 3O_2 \underset{\text{还原}}{\overset{\text{氧化}}{\rightleftharpoons}} 2HNO_2 + 2H_2O \quad (\text{或}N_2O_3 + 3H_2O)$$

NO_2^-不仅说明水中有细菌繁殖活动，而且其本身对人体也有害。人体吸收后，能使组织缺氧中毒，重者可因缺氧而导致呼吸循环衰弱。清洁的地表水中NO_2^-含量一般为0.001—0.01毫克/升，被污染后可达1—10毫克/升。我国有些地区饮用水标准中规定NO_2^-含量不大于0.03毫克/升；有些国家规定为0.02—0.06毫

克/升（以N计）。

硝酸（NO_3^-）：水中一般含量0.01—1毫克/升。在深层地下水中NO_3^-也可由矿物质溶解而来。但一般多数是动物污染分解的产物。由植物污染来源者很少。亚硝酸进一步氧化即生成硝酸：

$$2HNO_2 + O_2 \underset{\text{还原}}{\overset{\text{氧化}}{\rightleftarrows}} 2HNO_3 \ (\text{或} N_2O_5 + H_2O)$$

此外，NO_3^-还来源于农药氮肥，如NH_4^+、NO_3^-等。NO_3^-对人体健康有影响，特别是对婴儿更显著。饮用水中NO_3^-量不允许超过20—50毫克/升。我国有些地区规定不超过30—40毫克/升。

b．磷化物：以$H_2PO_4^-$、HPO_4^{-2}、PO_4^{-3}形式存在于水中。天然水中磷化物含量一般不小于0.01—1毫克/升。HPO_4^{-2}来源于磷矿物；$H_2PO_4^-$来源于无机物经细菌氧化的蛋白质；PO_4^{-3}来源于动物排泄物，在无污染的天然水中当pH值大于4时才能出现。因此，饮用水中一般不允许PO_4^{-3}存在。我国有的地区规定磷的含量不超过0.1毫克/升。

c．硫氢化物：天然水中一般只有H_2S及HS^-两种形式。而S^{-2}只有在pH＞11时才出现。无机来源是因含硫酸盐多的水与煤、石油接触反应以及风化带中硫化物的分解。有机来源是由于动物体或含硫蛋白质在缺氧条件下分解而成。饮用水中硫氢化物含量一般不大于0.5毫克/升。

d．耗氧量和溶解氧：水中耗氧量的增加或溶解氧的减少，都说明水中有机物增加。耗氧量1毫克/升相当于有机物含量21毫克/升。洁净水耗氧量一般为1—4毫克/升。饮用水规定耗氧量不大于2.5毫克/升，（耗$KMnO_4$量10毫克/升），即相当于有机物含量50毫克/升。

e．合成洗涤剂：水中常遇到的是烷基磺酸盐阴离子洗涤剂。它来源于生活污水或工业废水。我国新拟饮用水水质评价标准中规定其浓度不应超过0.3毫克/升。

现把我国卫生部1973年制定的饮用水水质标准（表3—1）

和国外饮用水水质标准（表3—2）列表如下。

第二节　工业用水水质评价

工业技术用水的水质评价不可能制定通用的标准，因为各工业项目对地下水质有不同的要求。应该注意的是，当工业用水与生活饮用水的管道合并时，要按照生活用水标准评价。如果各种

饮用水水质标准　　表 3—1

编　号	项　　目	标　　准
1	色度	≤15度并无异色
2	浑浊度	≤ 5毫克/升
3	嗅和味	不得有异臭、异味
4	肉眼可见物	不得含有
5	PH值	6.5—9.0
6	总硬度	≤25德国度
7	铁	≤0.3毫克/升
8	锰	≤0.1毫克/升
9	铜	≤1.0毫克/升
10	锌	≤1.0毫克/升
11	铅	≤0.1毫克/升
12	镉	≤0.01毫克/升
13	铬（六价）	≤0.05毫克/升
14	汞	≤0.001毫克/升
15	砷	≤0.02毫克/升
16	硒	≤0.01毫克/升
17	挥发酚类	≤0.002毫克/升
18	阴离子合成洗涤剂	≤0.3毫克/升
19	硝酸盐氮	≤10毫克/升
20	氟化物	≤1.0适宜浓度0.5—1.0毫克/升
21	氰化物	≤0.01毫克/升
22	细菌总数	≤100个/毫升
23	大肠杆菌类	≤3个/升
24	游离性余氯	30分钟内应不低于0.3毫克/升（注）
25	放射性物质	由卫生部另订

〔注〕：集中式给水除出厂水应符合上述要求外，管网末梢不低于0.05毫克/升。

表 3—2

项目 \ 国别	单位	世界卫生组织(1971年)	美国	苏联	日本	欧洲(1970年)
色度	度	5.5[1]	15	20	—5	
浑浊度	度	5.25[1]	5	2毫克/升	2	
总固体	毫克/升		500	1000	500	
臭		无恶臭	3	1级(2℃)	无	
味		无异味	3	1级(2℃)	无	
总硬度	毫克/升	100—500[1]		7(25[1])	300	100—500
pH		7.6—8.5 6.5—9.2[1]	7—10.6	6.5—9.5	5.8—8.6	
余氯	毫克/升		0.05—0.1	>0.3, <0.5 加压贴附近	>0.1—0.2	
铅	毫克/升	0.1	0.05[1]	0.1	0.1	0.1
砷	毫克/升	0.05	0.01—0.05①	0.05	0.05	0.05
氟	毫克/升	0.6—1.7	0.6—1.7	1.5	0.8	0.7—1.7
铜	毫克/升	0.05,1.5[1]	1	0.1	1	0.05,3.0①
锌	毫克/升	5.0,15[1]	5	1	1	5
铁	毫克/升	0.3,1.0[1]	0.3	0.5	0.3	0.1
酚类	毫克/升	0.001,0.002①	0.001	0.001	0.005	<0.001
硒	毫克/升	0.01	0.01①	0.01		0.01
铬(六价)	毫克/升		0.05①	0.1	0.05	0.05
氰化物	毫克/升	0.01	0.01,0.2①	0.1	0	0.01
硼	毫克/升	1				
汞	毫克/升	0.001	0.005	0.005	不得检出	
硝酸态氮	毫克/升	45 (NO_3^-计)	45 (NO_3^-计)		10	—
氨氮	毫克/升				和NO_3^-不能同时检出	0.05
硫化氢	毫克/升					0.05

续表

项目 \ 国别 / 单位	单位	世界卫生组织(1971年)	美国	苏联	日本	欧洲(1970年)
稠核香芳烃	微克/升	0.2				0.2
矿物油	毫克/升	0.01,0.3①				
锰	毫克/升	0.05,0.5①	0.05		0.3	0.05
钙	毫克/升	75,200①				
镁	毫克/升	30②,150①				30,125②
硫酸离子	毫克/升	200,400	250	500		250
氯离子	毫克/升	200,600①	250	350	200	200,600
溶解氧	毫克/升					>5
洗涤剂	毫克/升	0.2,1.0①	0.5			0.2
钡	毫克/升	1	1.0			1.0
银	毫克/升		0.05①		0	
镉	毫克/升	0.01	0.01	0.01	0.01②	0.01
活性炭氧仿提取物	毫克/升		0.2			
高锰酸钾消耗量	毫克/升	10	250		10	
有机磷	毫克/升				0	
放射性物质	微微居里/升		Fa236 3 Sr90 10 总β射线 1000			α射线 1 β射线 10
附注		①最大容许浓度 ②当硫酸盐含量低于250毫克/升，测其含量容许浓度。	①超过此标准不能作为饮用水源	①未确定>0.05毫克/升	①近来订为0.05毫克/升 ②暂订标准	①与游水管接触16小时的容许浓度 ②当硫酸盐含量低于250毫克/升的容许浓度。

工业项目使用同一水源时，要按照水质要求较高标准评价。

一、锅炉用水

锅炉中的水是在高温、高压环境下，发生各种化学作用，其中对锅炉极为有害的是成垢作用、起泡作用和腐蚀作用。这些作用主要与水的化学成份有关。

成垢作用是沸水中的一些化合物发生沉淀，在锅炉壁上形成锅垢。它不仅使锅炉浪费燃料，而且能引起锅炉爆炸。锅垢的成分通常是由溶解于水中的钙、镁盐类及胶体的SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3和悬浊物沉淀而成的。例如：

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\triangle} CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\triangle} MgCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

锅垢有硬垢石和软垢泥两种。硬垢石系有碱土金属碳酸盐、硫酸盐及硅酸盐构成；软垢泥系由悬浊物质及胶体物质[$Fe(OH)_3$、$Mg(OH)_2$等]构成。水中结垢物质越多其结垢作用就越强。锅炉用水要求结垢物质的含量不能超过允许的限度。

起泡作用是水煮沸时在水面上产生多量气泡，如果气泡不能立即破裂，就会在水面以上形成很厚的极不稳定的泡沫层。它使锅炉内水的汽化作用不均匀，水位升降不稳定，以致使锅炉不能正常工作。产生这种现象的原因是由于水中含溶解的钠盐、钾盐、以及油脂和悬浊物，受炉水的碱度作用发生皂化的结果。在钠盐中，促使水起泡的物质为苛性钠和磷酸钠。苛性钠除了可使脂肪和油质皂化外，还促使水中的悬浊物变为胶体状的悬浊物。磷酸根与水中的钙、镁离子作用也能在炉水中形成高度分散的悬浊物。胶体状悬浊物增强了气泡薄膜的稳定性，加强了气泡的积累作用。所以蒸汽锅炉用水不允许这些成分含量超过一定限度。

腐蚀作用是酸性水对锅炉壁的一种腐蚀破坏。严重时也能导致锅炉爆炸，炉壁腐蚀主要是水中的氢离子置换铁而产生的。氢离子可以是水中原有的，也可以由水温增高使弱基性盐类水解而生成的。水中存在硫酸盐、硝酸盐及氯化物也能引起腐蚀作用。

此外，溶解水中的气体，如氧、碳酸气、硫化氢等也可成为腐蚀作用的因素。锰的盐类、硫化铁、有机物、脂肪及油脂等，皆可作为接触剂而加强腐蚀作用。因此，蒸汽锅炉用水要求 pH 值不小于 8 的碱性水。水中 O_2、CO_2、$MgSO_4$、$MgCl_2$、$CaCl_2$、$Mg(NO_3)_2$、$Ca(NO_3)_2$ 以及有机物、脂肪、油类等的含量不得过多。

以结垢、腐蚀和起泡三种作用综合考虑，锅炉用水对水质的要求如表 3—3。

蒸汽锅炉用水水质要求　　表 3—3

项　　目	最大允许含量		
	10个大气压以	10—17下个大气压	17个大气压以上
浑浊物（毫克/升）	20	10	5
硫化氢（毫克/升）	10	5	0
二氧化硅（毫克/升）	40	20	5
溶解性固体（毫克/升）	3000—1000	2500—500	1500—100
总硬度（德国度）	4.2	2.2	0.45
pH 值	<8	>8.5	>9

对各种型式的锅炉用水进行水质评价时可参照（表 3—4）的标准。

事实上天然水中总含有某些能够引起结垢、腐蚀、起泡作用的物质成份。只是它们的含量多少不同而引起这些作用的程度不同而已。水质评价时不仅要鉴别水中对锅炉有害物质的含量是否超过允许限度，而且还应该说明水产生结垢、腐蚀、起泡作用的性质及其强弱程度。通常采用下列数量指标来说明。成垢作用以锅垢的总重量来说明，锅垢的性质用硬垢系数来说明，锅垢总重量可按下式计算：

$$H_0 = S + C + 36rFe^{+2} + 17rAl^{+3} + 20rMg^{+2} + 59rCa^{+2}$$

式中：H_0——锅垢总重量，毫克/升；

S——水中悬浮物重量，毫克/升；

C——胶体物质（$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$）的总重量，毫克/升；

各种型式锅炉用水水质标准　　表 3—4

项目 \ 锅炉型式 \ 工作压力（公斤/厘米²）	火管 5—15	水管 15—25	大容量 25—59	高压 50—125
碱度（毫克/升）	400—1000	200—600	100—300	2[illegible]—80
SiO_2（毫克/升）	（注1）	（注1）	（注1）	5
P_2O_5（毫克/升）	—	—	10—50	10—50
$KMnO_4$ 耗氧量（毫克/升）	—	200	100	50
硬度（德国度）	2（注2）	0.5	0.15	0.1（注3）
溶解氧（毫克/升）	1	0.5	0	0
游离 CO_2（毫克/升）	0	0	0	0
油质（毫克/升）	10	5	2	1
pH 值	—	—	不低于7	不低于7
附注	（注1）如果碱度不小于上述数字时，低于50个大气压的锅炉中，SiO_2不作规定 （注2）最好不大于1度 （注3）当压力大于80个大气压时，容许硬度降低到0.05度，在短时内不得超过0.1度			

γFe^{+2}、γAl^{+3}、γMg^{+2}、γCa^{+2}——各种离子的含量，毫克当量/升。

按锅垢总重量，水可分为如下四种：

$H_0<125$ 水垢很少的水

$125<H_0<250$ 水垢少的水

$250<H_0<500$ 水垢多的水

$H_0>500$ 水垢很多的水

硬垢石的重量可按下式计算：

$$H_s=SiO_2+20\gamma Mg^{+2}+68(\gamma Cl^-+\gamma SO_4^{-2}-\gamma Na^+-\gamma K^+)$$

式中：H_s——硬垢的重量，毫克/升；

SiO_2——二氧化硅的重量，毫克/升。

若括号内之和是负数时，则略去不计。

硬垢系数 K_s 为：

$$K_h = \frac{H_h}{H_0}$$

按硬垢系数可以判定锅垢的性质，即：

$K_h < 0.25$　　软沉淀物水

$0.25 \leqslant K_h \leqslant 0.5$　　中硬沉淀物水

$K_h > 0.5$　　硬沉淀物水

起泡作用以起泡系数来说明，通常按水中钠盐和钾盐的含量表示起泡系数（F）即：

$$F = 62rN_a^+ + 78rK^+$$

按起泡系数将水分为：

$F < 60$ 不起泡的水，锅炉需一周换一次水；

$60 \leqslant F \leqslant 200$ 半起泡的水，锅炉需一周换二次水；

$F > 200$ 起泡的水，锅炉不超过两天换一次水。

水的腐蚀性用腐蚀系数来说明，腐蚀系数（K_k）可按下式计算。

对酸性水：

$$K_k = 1.008(rH^+ + rAl^{+3} + rFe^{+2} + rMg^{+2} - rCO_3^{-2} - rHCO_3^-)$$

对碱性水：$K_k = 1.008(rMg^{+2} - rHCO_3^-)$

按腐蚀系数水可分为：

$K_k > 0$　腐蚀性水；

$K_k < 0$　但 $K_k + 0.0503Ca^{+2} > 0$ 半腐蚀性水；

$K_k + 0.0503Ca^{+2} < 0$　非腐蚀性水；

式中的 Ca^{+2} 以毫克/升表示。

因为酸性水有腐蚀铁的性能，所以水的腐蚀标准往往也可以直接用水的 pH 值来说明。

二、冷却用水

冷却用水包括热电站的冷凝器、钢铁厂的高炉、平炉的冷却装置用水等。冷却用水水温越低越好，通常要求不宜高于 11°—15℃。但水温高时可以进行人工降温处理，所以它还不是最主要的评价项目。在常温情况下一般要求水中混浊物的允许含量为50

—100 毫克/升。最重要的是防止腐蚀和结垢，所以水中腐蚀性成份和结垢物质的含量，不应超过允许含量。硫化氢的含量不应大于 0.5 毫克/升；铁的含量不应超过 0.1 毫克/升；锰的允许含量为 0.04—0.02 毫克/升；硫酸钙的含量为 1500—2000 毫克/升；碳酸盐硬度不超过 6—20 度，它的允许值尚取决于水中游离 CO_2 含量及水的温度。详见表 3—5。

冷却用水不同 CO_2 含量的允许硬度　　表 3—5

游离CO_2（毫克/升）	不同温度时所允许的碳酸盐硬度（度）					
	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10	9.1	8.3	7.6	6.9	6.4	5.8
20	11.5	10.4	9.5	8.7	8.0	7.3
30	13.2	12.0	10.9	10.0	9.2	8.3
40	14.5	13.2	12.0	11.0	10.1	9.1
50	15.6	14.2	12.9	11.8	10.9	9.8
60	16.6	15.1	13.1	12.6	11.6	10.5
80	18.3	16.6	15.1	13.8	12.8	11.5
100	19.7	17.9	16.3	14.9	13.8	12.4

三、其它工业用水

其它工业生产用水通常是把水作为洗涤、化学溶剂或产品原料之用，其水质要求见表 3—6。

四、工程建筑用水

地下水对工程建筑的损坏，表现在对混凝土和金属铁管的侵蚀性上。当水的 pH 值低、水中含有溶解氧、游离硫酸、H_2S、CO_2 及其它重金属硫酸盐时，即对金属铁管产生强烈地侵蚀破坏作用。

水的一般酸性侵蚀性与游离氢离子含量有关，当 pH 值小于 5.0（最坏条件下）和 6.8（最好条件下）时，水将具有这种侵蚀性。金属铁管受到侵蚀破坏是由于铁置换了水中的氢离子而引起的。

即：
$$Fe + 2H^+ = Fe^{+2} + H_2\uparrow$$

其它工业产品生产用水水质要求

表 3—6

项目	造纸用水	人造纤维用水	粘胶丝生产用水	纺织用水	印染工业用水	制革工业用水	制糖用水	制淀粉用水
混浊度（毫克/升）	2—5	0	5	5	5	10	0	0
总硬度（德国①度）	12—16	2	0.5	4—6	0.5—4	10—20	<20	<20
耗氧量(毫克/升)	10	6	2		8—10	8—10	<10	<10
氯②（毫克/升）					50	30—40	50	60
硫酐③（毫克/升）					50	60—80	50	60
亚硝酸④（毫克/升）		0	0		0	0	0	0
硝酐（毫克/升）		0	0		痕迹	痕迹	痕迹	0
氨（毫克/升）		0	0		痕迹	0	0	0
铁（毫克/升）⑤	1.0	0.2	0.03	0.2	0.1	痕迹	痕迹	0.5*
锰（毫克/升）⑥			0.03	0.2	0.1	痕迹	痕迹	0.05
碳酸（毫克/升）								100
硫化氢(毫克/升)						1.0		
氧化钙（毫克/升）⑦								120
氧化镁（毫克/升）								120
固形物（毫克/升）	300		100			300—600	200—300	400—600
pH 值⑧	7—7.5	7—7.5		7—8.5	7—8.5			
色度（度）	30	15	0	10—20	5—10		10—20	10—20
附注	①硬水妨碍染色，使皮革柔性变坏。②使皮革具吸水性，糖不易结晶。③Ca_3O_4、$MgSO_4$妨碍染色，对制糖起不良影响。④N_2O_3可使糖大量减产。⑤使染色物、纸张起斑点，淀粉、糖着色。⑥使染色物，纸张起斑点，淀粉、糖着色。⑦使淀粉灰份增多，Ca和Mg 过多使纤维物变脆。⑧碱水妨碍染色。 * 为$Fe_2O_3 + Al_2O_3$含量。							

水中含有溶解氧对金属铁管发生氧化作用，使铁管锈蚀，当O_2与CO_2共同存在时，氧的侵蚀作用加剧。

水中含有游离H_2SO_4时产生的侵蚀作用，同样是由于铁置换氢离子的结果。关于水中SO_4^{-2}的影响，根据在青岛市进行的水质对金属管道的腐蚀试验，得出下列曲线资料（图3—1）。

曲线表明，随着SO_4^{-2}含量的增加腐蚀速度加快。故以防侵蚀角度出发水中SO_4^{-2}含量最好低于25毫克/升。

当水中溶有CO_2或H_2S时，可使水成为电导体而不断地发生电化学作用，引起并加速侵蚀过程的进行。反应式为：

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$$

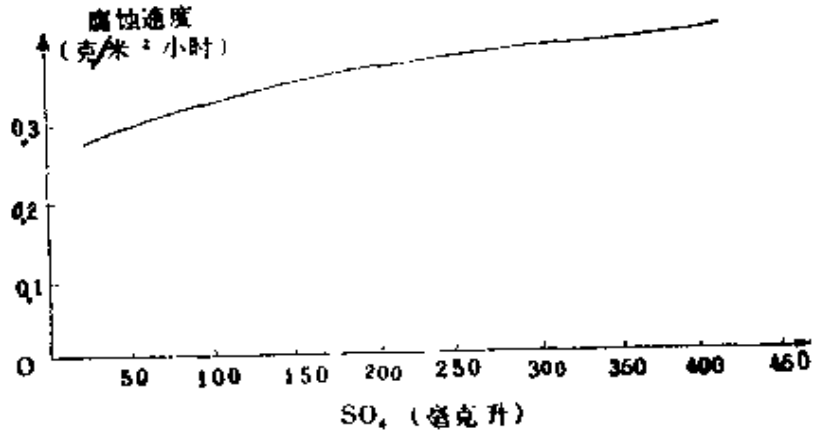


图 3—1

此时，铁放出电荷，氢接受电荷即：

$$Fe = Fe^{+2} + 2e$$

$$2H^+ + 2e = H_2\uparrow$$

使反应不断进行。

当水中有重金属硫酸盐如$CuSO_4$存在时，也加速对铁的侵蚀。因为金属铜和金属铁构成微电池而使反应不断进行，加速了腐蚀作用，此时铜接受电荷，即

$$Fe = Fe^{+2} + 2e$$

$$Cu^{+2} + 2e = Cu$$

地下水对混凝土的侵蚀作用，经常发生在引水工程，水工建筑以及浸没在地下水位以下的各种混凝土建筑物之中。试验证明，地下水能够破坏混凝土是因为地下水能溶解和溶滤水泥的某些成分，并在混凝土中形成一些新的化合物。水对混凝土侵蚀分为酸性侵蚀，碳酸侵蚀，结晶性侵蚀和分解结晶复合侵蚀。

碳酸侵蚀　碳酸侵蚀是由于碳酸钙在侵蚀性 CO_2 作用下溶解，而使混凝土遭到破坏。因为在空气及水中 CO_2 的作用下，混凝土表面层的石灰能生成一层 $CaCO_3$，此 $CaCO_3$ 进一步被碳酸（CO_2+H_2O）所溶解，生成易溶于水的重碳酸钙，就使混凝土遭到侵蚀。可用下列的可逆反应式表明：

$$CaCO_3+H_2O+CO_2 \rightleftharpoons Ca^{+2}+2HCO_3^-$$

当水中有溶解的重碳酸钙时，为使重碳酸钙保持在溶液内，水中必须有相应数量的游离 CO_2 与之保持平衡，这部分游离 CO_2 就是平衡二氧化碳。

如果水中游离 CO_2 的含量比平衡所需要的数量少，则从水内将析出 $CaCO_3$，使反应由右向左进行，直至达到平衡为止。而如果水中游离 CO_2 的含量比平衡所需要的数量多时，则多余的游离 CO_2 便可以溶解 $CaCO_3$，使反应由左向右进行，溶解过程一直继续到平衡为止。在这种情况下，与 $CaCO_3$ 反应而消耗的这部分游离 CO_2 便叫做侵蚀性 CO_2。

当水中 HCO_3^- 含量很少、未饱和时，就始终要溶解碳酸钙和溶滤氢氧化钙。反应为：

$$CO_2+H_2O \rightleftharpoons H^++HCO_3^-$$

$$Ca(OH)_2+2H^+=Ca^{+2}+2H_2O \quad (\text{溶滤反应})$$

说明 HCO_3^- 越少，平衡向右移动；H^+ 越多，也就促使溶滤反应不断进行。所以，当水中不存在侵蚀性 CO_2 时，也可通过溶滤侵蚀作用破坏混凝土。这种侵蚀性的指标就是 HCO_3^- 含量。

硫酸侵蚀　当水中 SO_4^{-2} 含量大时，水渗入混凝土体内结晶，形成使混凝土膨胀和破坏的盐类—石膏和硫酸铝盐等。石膏是生成硫酸铝盐的中间产物。

$$4CaO\cdot Al_2O_3\cdot 12H_2O + 3CaSO_4\cdot nH_2O \longrightarrow$$
$$3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 3CaSO_4\cdot nH_2O + Ca(OH)_2$$

须指出的是，硫酸侵蚀与碳酸侵蚀密切相关，有碳酸侵蚀性可以促进硫酸侵蚀性。水的硫酸侵蚀性还取决于建筑物所处的条件。例如，当混凝土干湿交替变化很大时，硫酸侵蚀性就会剧烈增加。当混凝土未被全部淹没时，硫酸侵蚀性也可能增高。一般采用耐硫酸水泥时，水中 SO_4^{2-} 含量达到 4000 毫克/升以上，便产生水的侵蚀；而采用普通水泥时，SO_4^{2-} 含量达到 250 毫克/升以上，便产生水的侵蚀。

弱盐基硫酸盐离子侵蚀　这种侵蚀性是在水中Mg，Fe，Cu，Zn，NH_4 离子含量很多时产生的。含有高量弱盐基(特别是$MgCl_2$)的水对混凝土的破坏，表现为 $MgCl_2$ 与混凝土中结晶的$Ca(OH)_2$起交替反应，结果形成了 $Mg(OH)_2$ 和易溶于水的CaCl 而破坏了混凝土。镁离子的极限允许含量根据水泥品种，建筑物条件、结构和 SO_4^{2-} 含量不同。

水对混凝土侵蚀性判定标准[工业与民用建筑工程地质勘察规范（初稿）]分为分解性侵蚀、结晶性侵蚀和分解结晶复合侵蚀三类：

分解性侵蚀：

分解性侵蚀的总指标是分解性指数 pH_s

$$pH_s = \frac{HCO_3^-}{0.15HCO_3^- - 0.025} - K_1$$

式中　HCO_3^-—水中 HCO_3^- 的含量（毫克当量/升）；

K_1—由表 3—7 查得数据。

若 $pH \geqslant pH_s$ 时，则无分解性侵蚀；

$pH < pH_s$ 时，则有分解性侵蚀。

pH—水中 pH 的实际测定值。

分解性侵蚀又分为酸性侵蚀和碳酸型侵蚀两种：

酸性侵蚀—侵蚀性指标为 pH，当pH 值小于附表(表 3—7)中的数值时为有酸性侵蚀。

水对混凝土侵蚀性判定标准

表 3—7

侵蚀性类型	侵蚀性指标		混凝土周围含水层岩性									
			碎石土				砂土				粘性土	
			水泥类别									
			A		B		A		B		A	B
			普通的	抗盐硫酸的	普通的	抗盐硫酸的	普通的	抗盐硫酸的	普通的	抗盐硫酸的	普通的	抗盐硫酸的
分解性侵蚀	侵蚀性指数 pHs		pH<pHs								不限	
	系数 K_1		0.5		0.3		1.3		1.0			
	pH		<6.2		<6.4		<5.2		<5.5			
	系数 K_2		20		15		80		60			
	游离 CO_2 (mg/升)		游离CO_2>a〔Ca^{+2}〕+b+K_2									
结晶性侵蚀	SO_4^{-2} (mg/升)	Cl^-<1000 (mg/升)	>250		>250		>300		>300		>400	>400
		Cl^-=1000—6000(mg/升)	>100+0.15Cl^-	>3000	>100+0.15Cl^-	>4000	>150+0.15Cl^-	>3500	>150+0.15Cl^-	>4500	>250+0.15Cl^-	>250+0.15Cl^-
		Cl^->6000 (mg/升)	>1050		>1050		>1100		>1100		>1200	>1200
复合分解结晶侵蚀	弱盐基硫酸盐离子 (Me)		(Me) >1000 mg/升 且(Me)>K_3—SO_4^{-2}								不限	
	系数 K_3		7000		6000		9000		8000			

注：①表中A为硅酸盐水泥，B为火山灰质，含砂火山灰质矿渣硅酸盐水泥

②表中系数 a、b 按表3—8查得。

碳酸型侵蚀—侵蚀性指标为游离 CO_2，当水中游离 CO_2 的含量大于附表（表 3—7）中公式：

$a[Ca^{+2}]+b+K_2$ 的计算值时，为有碳酸型侵蚀。

式中 Ca^{+2}——水中 Ca^{+2} 含量（毫克/升）；

a、b——由附表（表 3—8）查得；

K_2——由表 3—7 查得。

当按分解性侵蚀指数 pH_s，酸性侵蚀指标 pH 及碳酸型侵蚀指标游离 CO_2 判定结果中，如有任一种侵蚀性存在时，即为具有

碳酸型侵蚀判定指标中系数 a、b 值　　表 3—8

重碳酸根离子碱度 HCO_3^-（毫克当量/升）	Cl^- 和 SO_4^{-2} 的总含量（mg/升）											
	0—200		201—400		401—600		601—800		801—1000		>1000	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1.4	0.01	16	0.01	17	0.01	17	0.00	17	0.00	17	0.00	17
1.8	0.04	17	0.04	18	0.03	17	0.02	18	0.02	18	0.02	18
2.1	0.07	19	0.06	19	0.05	18	0.04	18	0.04	18	0.04	18
2.5	0.10	21	0.08	20	0.07	19	0.06	18	0.06	18	0.05	18
2.9	0.13	23	0.11	21	0.09	19	0.08	18	0.07	18	0.07	18
3.2	0.16	25	0.14	22	0.11	20	0.10	19	0.09	18	0.08	18
3.6	0.20	27	0.17	23	0.14	21	0.12	19	0.11	18	0.10	18
4.0	0.24	29	0.20	24	0.16	22	0.15	20	0.13	19	0.12	19
4.3	0.28	32	0.24	26	0.19	23	0.17	21	0.16	20	0.14	20
4.7	0.32	34	0.28	27	0.22	24	0.20	22	0.19	21	0.17	21
5.0	0.36	36	0.32	29	0.25	26	0.23	23	0.22	22	0.19	22
5.4	0.40	38	0.36	30	0.29	27	0.26	24	0.24	23	0.22	23
5.7	0.44	41	0.40	32	0.32	28	0.29	25	0.27	24	0.25	24
6.1	0.48	43	0.44	34	0.36	30	0.33	26	0.30	25	0.28	25
6.4	0.54	46	0.47	37	0.40	32	0.36	28	0.33	27	0.31	27
6.8	0.61	48	0.51	39	0.44	33	0.40	30	0.37	29	0.34	28
7.1	0.67	51	0.55	41	0.48	35	0.44	31	0.41	30	0.38	29
7.5	0.74	53	0.60	43	0.53	37	0.48	33	0.45	31	0.41	31
7.8	0.81	55	0.65	45	0.58	38	0.53	34	0.49	33	0.44	32
8.2	0.88	58	0.70	47	0.63	40	0.58	35	0.53	34	0.48	33
8.6	0.96	60	0.76	49	0.68	42	0.63	37	0.57	36	0.52	35
9.0	1.04	63	0.81	51	0.73	44	0.67	39	0.61	38	0.56	37

分解性侵蚀。

结晶性侵蚀

结晶性侵蚀的侵蚀性指标为 SO_4^{-2}，同时与 Cl^- 的含量有关，当水中 SO_4^{-2} 的含量大于附表（表 3—7）中数值时，为有结晶性侵蚀。

分解结晶复合侵蚀

分解结晶复合侵蚀的侵蚀性指标为弱盐基硫酸盐离子（Me），用于被工业废水污染的地下水的侵蚀性判定。当（Me）＞1000 毫克/升且满足下式时为有侵蚀性

$$(Me) > K_3 - SO_4^{-2}$$

式中（Me）——Mg^{+2}，Fe^{+2}，Fe^{+3}，Cu^{+2}，Zn^{+2}，NH_4^+ 等的总量或任一种，几种离子含量（毫/克升）；

SO_4^{-2}——水中 SO_4^{-2} 含量（毫克/升）；

K_3——由表 3—7 查得。

如（Me）离子含量小于 1000 毫克/升，则不论 SO_4^{-2} 含量多少，均为无侵蚀性。

按上述判定标准判定无侵蚀性，系指对抗渗性不低于 B-4的混凝土而言。当有侵蚀性时可根据工程具体情况，提高混凝土抗渗标号或采取其他措施。

第三节　农业灌溉用水水质评价

灌溉的目的是为了增加农业生产。但若水质不符合要求，不仅不能增产，反而会减产，甚至会引起或加剧土壤的盐碱化。灌溉水质的好坏主要以水温、水的总矿化度及溶解盐类的成份三个方面对农作物和土壤产生的影响来考虑的。其次，有时也考虑水的 PH 值和水中有毒元素的含量对农作物和土壤的影响。

灌溉用水对水温的要求，要因地制宜考虑。水温过低过高均对作物生长不利。北方小麦等作物要求水温以 10—15℃ 为宜，而南方的水稻则以 15—25℃为宜。水温不是评价水的重要因素。

因为水温如果过低，可在灌溉前将地下水引至水库或蓄水池中曝晒，以提高其温度。同时还可使不利于农作物生长的低氧化物，特别是氧化亚铁发生氧化。

矿化度过高对农作物和土壤都产生有害的影响。一般灌溉用水矿化度以不超过 1.7 克/升为宜，最大允许标准不超过 5 克/升。

水中不同成份的盐类，对农作物有不同的影响。有些盐类，如 $CaCO_3$ 和 $MgCO_3$〔在水中为 $Ca(HCO_3)_2$ 和 $Mg(HCO_3)_2$〕对作物生长并无害处。对农作物最有害的是钠盐，而尤以 Na_2CO_3 危害最大，它能腐蚀农作物的根部，使作物死亡，还能破坏土壤的团粒结构；其次为 NaCl，它能使土壤盐化成盐土，使农作物不能正常生长，甚至枯萎死亡。对于易透水的土壤来说，钠盐的允许含量一般为：Na_2CO_3—1 克/升；NaCl—2 克/升；Na_2SO_4—5 克/升。如果这些盐类同时存在，其允许值更低。水中盐类也有对农作物有益的，如硝酸盐和磷酸盐具有肥效，有利于作物生长。

关于对农田灌溉用水水质评价方法，过去常用的方法有苏联灌溉系数法和美国的钠吸附比法。灌溉系数是以钠离子与氯根、硫酸根的相对含量通过经验公式来计算。其意在于表征水中的钠害值，但忽略了全盐量的作用。钠吸附比是指钠与镁的比值，用符号 SAR 表示，即：

$$SAR=\frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}}$$

式中 Na^{+}、Ca^{+2}、Mg^{+2} 表示各该离子以毫克当量/升为单位的浓度。钠吸附比也是反映钠害的，应用时虽与全盐量结合进行评价，但颇为烦琐。

近些年来，我国一些科研和生产部门在总结群众利用地下水灌溉经验的基础上，经过大量科学试验，提出了适合我国情况的新的灌溉水质评价方法。下面择其主要的方法作一介绍。

一、农田灌溉水质评价方法

利用盐度、碱度和矿化度评价灌溉水质。这个方法是河南省水文地质队在豫东地区经过多年试验和实践确定的，目前已被广泛应用。按这种评价方法，灌溉水质对农作物和土壤的危害分为四种类型。

1．盐害：主要指氯化钠和硫酸钠这两种盐分对农作物和土壤的危害。一般农作物根、茎、叶内的含水量很低，当用含多量氯化钠和硫酸钠的高矿化水灌溉以后，由于渗透压力的存在，作物本身的低浓度水向高浓度水方向运移而发生渗透作用，使作物枯萎死亡；或在阳光作用下，盐分积累在植物茎叶表面，使作物不能正常生长。而且用这种水灌溉后，使土壤积盐发生盐化，严重时甚至在土壤表面形成厚约1—2厘米或更厚一些的盐皮。盐土的特点是结构明显疏松。

水质的盐害程度主要用盐度来说明。盐度就是液态下氯化钠和硫酸钠的最大危害含量（单位为毫克当量/升）其计算方法为：

当 $\gamma Na^+ > \gamma Cl^- + \gamma SO_4^{-2}$ 时，盐度 $= \gamma Cl^- + \gamma SO_4^{-2}$

当 $\gamma Na^+ < \gamma Cl^- + \gamma SO_4^{-2}$ 时，盐度 $= \gamma Na^+$

2．碱害：也称苏打害，主要是指碳酸钠和重碳酸钠对农作物和土壤的危害。这种钠盐能腐蚀农作物的根部，使作物外皮形成不溶性腐植酸钠，造成作物烂根，以致死亡。另一方面，水中的钠离子易与土粒表面吸附的钙、镁等离子交换，形成富含吸附钠离子的碱土。碱土不具团粒结构，透水性和透气性都很差。干时坚硬、龟裂、湿时很粘，不适子农作物生长。

碱害程度用碱度来说明。碱度就是液态下重碳酸钠和碳酸钠的危害含量（毫克当量/升）其计算方法为：

$$碱度 = (\gamma HCO_3^- + \gamma CO_3^{-2}) - (\gamma Ca^{+2} + \gamma Mg^{+2})$$

当计算结果为负值时，盐害起主导作用。

3．盐碱害：即盐害与碱害共存。当盐度大于10，并有碱度存在时，即称盐碱害。这种危害一方面能使土壤迅速盐碱化；另一方面又对农作物根部有很强的腐蚀作用，使作物死亡。

4．综合危害：除盐害碱害外，水中的氯化钙、氯化镁等其它有害成分与盐害、碱害成分一起对农作物和土壤产生的危害，称综合危害。综合危害的程度主要决定于水中所含各种可溶盐的总量，所以用矿化度（克/升）来说明。

应用表3—9和表3—10进行灌溉用水水评价时，应结合当地水文地质条件、土壤类型、农作物的适应情况等因地制宜的确定，不要机械的套用。

单纯盐碱类型单项评价指标 **表 3—9**

水质评价指标 / 水质类型 / 危害类型及表示方法		淡水	中等水	盐碱水	重盐碱水
盐害	碱度为0时盐度	<15	15—25	25—40	>40
碱害	盐度小于10时碱度	<1	4—8	8—12	>12
综合危害	矿化度	<2	2—3	3—4	>4
灌溉水质评价		长期灌溉对主要农作物生长无不良影响，还能把盐碱地浇成好地。	长期灌溉不当对土壤和主要农作物生长有影响，但合理灌溉能避免这种影响。	灌溉不当土壤盐碱化，主要作物生长不好，注意掌握好灌溉方法，作物生长良好。	浇灌后土地迅速盐碱化，对农作物影响很大，即使特别干旱时也尽量避免多浇灌。
备注		本指标适用于非碱化土壤，对于已盐碱土壤可视盐碱化程度调整指标使用。			

盐碱害类型双项评价指标 **表 3—10**

盐度	碱度	水质类型
10—20	4—8	盐碱水
	>8	重盐碱水
20—30	<4	盐碱水
	>4	重盐碱水
>30	微量	重盐碱水

二、肥水

肥水是含有相当数量硝态氮（以NO_3—N表示）的浅层地下水，是一种良好的氮素肥源。我国北方劳动人民，在长期生产斗争中很早就发现了肥水，有的地区利用肥水灌溉已有几十年甚至上百年的历史。群众把肥水称为油水、苦水、赖水等。

肥水含有作物容易吸收的硝态氮。用它来灌溉、既供肥又供水，增产效果显著。据陕西省关中地区1966年以来的资料统计，用肥水灌溉小麦可增产23--116%，玉米增产37—100%，谷子增产48—124%，棉花增产30%。此外，肥水对大麦、油菜、高粱、烟叶、蔬菜也有突出的增产效果。开发利用地下肥水简单易行，投资少收益大。以每眼肥水井浇地100亩计，每年可增产粮食2—3万斤。

1．肥水的水质及其评价

一般将硝态氮含量大于15度（即每方水中硝态氮含量大于15克）的地下水称作肥水。以此作为与一般灌溉用水相互区别的界限。肥水水质的优劣，一般从肥水中硝态氮含量的多少，全盐量的大小，有害成分的多少及肥盐比几个方面来衡量。

（1）硝态氮的含量：肥水中的"肥"主要是硝态氮，以NO_3—N表示。其含量按氮（N）含量来计算，不是按硝酸根含量计算。硝态氮含量是评价肥水水质的主要指标。

氮素是构成作物蛋白质和叶绿素的主要成分，对作物营养具有重要的作用。氮素供应充足，则作物株枝高大，枝叶繁茂，叶色浓绿，光合作用增强，能提高作物的产量和品质。氮的形态有多种，有些形态作物可直接吸收，有些形态则不能被作物直接吸收，或需转化为其它形态后方可被作物吸收利用。硝态氮就是作物最容易吸收的一种形态。从农业生产的角度出发，肥水中硝态氮含量愈高，则其水质就愈好。这同评价饮用水水质正相反，在饮用水中硝态氮的含量不允许超过一定的限度。

另一方面，当水中NO_3含量增高时，还能削弱钠盐对农作物的危害程度。因为作物具有选择吸收它所需要的离子的特性；当

水中有 $NaNO_3$ 存在时，农作物吸收 NO_3^- 总比吸收 Na^+ 多。水中 NO_3^- 浓度增高，还能促进土壤微生物活动，加速分解有机质而产生大量有机酸，降低了水溶液的碱性和 Na^+ 的浓度。因而能削弱钠盐的危害。这是肥水具有肥效的另一原因。

（2）全盐量：肥水中除含有相当数量的硝酸盐外，尚含有或多或少的其他可溶盐。这些盐类对农作物和土壤往往产生不利作用。如果长期使用含盐量高的水进行灌溉，便会产生盐害和碱害。所以，肥水的含盐量是评价肥水不可忽视的指标。从灌溉角度来说，含盐量越高，则水质越不好。在这方面可用一般灌用水的水质评价标准来衡量。

（3）有害成分的含量：肥水中的有害成分以钠离子的危害最为突出。如果水中钠离子浓度过高，用于灌溉时土壤吸收复合体逐渐为钠离子所饱和，土壤物理性状就恶化，干时坚硬，湿时粘重，耕作困难。团粒结构被破坏，透水性和透气性变差，甚至使土壤碱化，有些对钠敏感的农作物还可由于组织中钠的积累而遭受损害，因而造成农作物减产。

水中钠盐含量，一般用钠吸附比，作为评价灌溉水质的标准。肥水中钠盐的评价与一般灌溉用水的水质评价标准大致相同。

（4）肥盐比：硝态氮含量与全盐量的比值称为肥盐比。评价肥水水质时，不仅需注意水中硝态氮和可溶盐各自的数量多少，还要考虑硝态氮与总盐量的比例。硝态氮所占的比例愈大，则肥水的水质愈好，反之水质愈差。

较大的肥盐比是肥水同其他灌用水的本质区别。因此是评价肥水水质的基本指标。目前对肥水水质尚无统一评价标准，现将河南省开封地区评价肥水水质的标准列于表 3—11 供参考。

2．肥水的形成和分布

关于地下肥水成因问题，可以从地下水中硝态氮的来源，硝化细菌活动的有利环境，以及硝态氮积累和贮存的有利条件等几个方面来探讨。

（1）硝态氮的来源：地下水中硝态氮来源有多种途径，例

肥水水质评价标准　　表 3—11

肥水类型	硝态氮含量	硝酸盐在全盐中的比例	肥盐比	肥水水质评价
优质水	高	大	>0.1	接理想的肥水，含氮量超过度，100 时，与淡水掺灌，以扩大浇地面积
良好水	中等	大	0.1—0.01	可直接灌溉的肥水
可用水	高	小	0.01—0.05	需掺淡稀释，注意用利除害
不合格水	低	小	<0.005	不适于使用

如聚积大量硝酸盐的土壤，含氮的页岩和砂岩，含氮的工农业废水或污水，施用大量矿物质氮肥或有机肥料等，都可成为地下水中氮素的来源。但是从各地调查的大量实际资料来看，地下肥水中的氮素来源，绝大多数情况是由于居民点人类长期活动的结果。居民点人畜生活和生产活动过程中所遗弃的含氮有机物，粪尿、秸杆、污水、污物等，在适宜的条件下转化为硝酸盐渗入地下，溶于地下水中形成肥水。

肥水中硝态氮的上述来源，可以从以下事实得到证明：

a．肥水在居民点及其附近分布较多。

b．居民点越大，人口越密集的地方，肥水分布的面积越大，沿地下水流向向外扩展的距离越远。

c．肥水的分布不仅与现代居民点有关系，还与历史上人类曾经活动过的遗址有关系。

d．据化验资料，居民点土壤中硝态氮含量比大田表土中要高几倍至几十倍。

但也有一些地方肥水的氮素来源与人类活动并无关系。例如分布在珠江三角洲平原地区的肥水，赋存于第四系海陆混合沉积相中，尤以海相沉积为主。在这里，沉积物中富含动植物遗体是地下肥水中氮素的主要来源。

不论硝态氮的来源如何，其硝酸盐的形成主要是含氮有机物在微生物作用下，有机氮转化为无机氮的矿化过程。这一过程的

完成，必须有充分的氧气。有机物中氨基酸经过氨化作用生成氨，再经过亚硝酸细菌作用生成亚硝酸，亚硝酸又经过硝化细菌作用而氧化成硝酸盐。它在大气降水或其他因素的影响下渗入下部土层，并逐渐进入地下水中，长期积累即形成肥水。

肥水的形成首先取决于硝酸盐有无来源；但是有硝酸盐来源，也不一定能形成肥水，因为渗入到地下的硝酸盐需要有适宜的地貌和水文地质条件才能形成肥水。

有利于肥水存藏的环境条件主要是：地势宽阔平缓，潜水径流滞缓，上覆土层或岩层渗透性能好，下伏砂砾层埋藏较深，隔水层和潜水位埋藏深度适中。

众所周知，地面宽阔平缓则地面水渗入较多流失较少，有利于硝酸盐随水下渗。故在平原地区肥水分布较多，而在山区肥水难以存藏。

潜水径流滞缓则潜水中硝酸盐不便大量流失。故在冲洪积扇上部径流带，水流通畅，不能形成肥水。在冲洪积扇下部径流滞缓带，逐渐进入盆地中心或平原地带，水流滞缓，因此肥水存藏较多。

上覆土层渗透性能好，下伏砂砾层埋藏较深，有利于硝酸盐随水下渗到潜水面聚积。若上覆土层透水性差，硝酸盐难以渗入，也难于聚集。故河漫滩，很少有肥水形成，而高阶地肥水分布较多。

隔水层和潜水位埋藏深度适中，有利于上层肥水与下层淡水隔开，硝酸盐在上层富集，并溶于潜水中而形成肥水。故在潜水位埋藏很深的黄土高原上很少有肥水，而在潜水位较高的塬区则肥水较多。

肥水的分布是与其形成条件密切相关的。根据调查，我国北方广大地区如东北平原，华北平原、淮北平原、山东半岛、黄土地区、汉中盆地等都有肥水分布。南方如江汉平原也发现有肥水露头。有些地区肥水分布较多，如陕西的渭河、洛河、径河的阶地，特别是渭河二级阶地和部分黄土塬地；河南的黄河北岸一、

二级阶地；山东胶莱冲积平原，山西的大同、太原、运城、长治等盆地；吉林的松嫩平原和辽河平原，安徽的黄泛冲积平原等。

在同一地貌单元上，肥水分布与微地貌有密切关系。阶地、塬地等平坦地形上的碟形凹地、槽形凹地或坡坎地，洪积扇前缘下部平缓带或其局部低洼地形转折地段，都是肥水分布较多的地带。如果阶地或平原被水系切割剧烈，肥水存藏条件受到破坏，很少有肥水分布。

由于肥水主要是居民点人类长期活动的结果，因此肥水一般均分布在积存条件适宜的居民点及附近。一般来说，居民点愈大，愈古老，人口愈密，肥水分布面积愈大，肥水含氮量愈高。如西安是一个古老而较大的城市，肥水蕴藏丰富，分布广泛，并连成面积达十三万亩一片的肥水集中分布区。一些大、中城市及各县县城附近，一般都可能是肥水分布区。较大的村庄如陕西兴平县的赵村，河南温县的赵堡，山西汾阳县的冀村，肥水分布较多，利用时间也较长，有的肥水集中成片，肥水灌溉面积超过六千亩。

3．肥水的开发利用

为了寻找和鉴别地下肥水，一般采用取水样作化验分析的方法。用硝酸试粉测定硝态氮含量，有滤纸比色法、试管比色法和光电比色法。如有电导光度两用仪则更方便，不仅能测出硝态氮含量，同时还能测出全盐量。

在开采肥水时，要注意控制打井深度，避免打穿硝酸盐层以下的隔水层，以免引出淡水，降低肥水含氮量，甚至变为一般的淡水井。肥水井的涌水量一般较小，为了增加水量，不能盲目增加井深。在确定肥水井深度时，需正确处理好井的涌水量与含氮量的关系，即水与肥的关系。如果水中含氮量很高，而涌水量很小，在农业上难以大面积利用；反之，涌水量大，而含氮量低，以至于起不到肥水的作用。因此在打肥水井时，对肥和水两方面要兼顾。在含氮量不很高的地区，水井不宜穿入砂层过深，以免含氮量下降过多；如果含氮量很高则可适当加大井深，增加井的涌水量，同时掺进淡水降低肥水的含盐量，更能增加肥水的增产效果。

第四章　地下水资源保护

随着工农业的迅速发展，地下水开采量日益扩大，工业“三废”和生活污水、垃圾、农药、化肥逐年增多，保护地下水资源已显得十分迫切。否则，地下水资源将面临着水量逐渐枯竭和水质恶化、污染的威胁。

地下水资源的形成和发展，有它自己的客观规律。我们研究一个地区的水文地质条件及地下水的水质水量，就是为了认识这种规律，进而做到合理地开发利用地下资源，采取科学的保护措施。

第一节　区域地下水位下降的防治

在自然状态下，干旱和湿润年份是间杂交替的，干旱年份发生区域性地下水位下降，能在湿润年份得到补给和恢复。一般说来，这种下降对长远影响不大。如果由于盲目大量开采地下水，而引起区域性地下水位过大下降，使取水工程的出水量逐渐减少甚至干枯废井，给工农业生产和人民生活带来很大危害。我们必须重视研究其原因，对区域性地下水位过大下降进行有效的防治和合理的改造。

一、区域地下水位下降的原因及其危害

区域性地下水位下降是指含水层内的水量平衡遭到破坏，地下水消耗量大于补给量，静储量不断被消耗，开采漏斗不断扩大，动水位持续下降的一种不稳定现象。这种现象在开采地下水中应尽量避免发生；一旦出现这种现象，也不允许其发展下去。如果不加控制地任其发展下去，将会带来极为不良的严重后果。

1．区域地下水位下降的原因：

（1）不合理开采地下水：由于对水文地质条件了解不清，开采地下水没有统一规划，违背了地下水的客观规律。有些部门和单位，只从局部利益和眼前利益出发，认为一眼井水量不够用就打两眼井或多眼，浅井水量不够就打深井，离心泵吸程小就换深井泵。这样便造成井点过密，过多和集中开采同一层水，因而造成井间互相干扰互相抢水的不合理现象。由于不合理开采，大量动用了静储量，含水层的水逐渐趋于枯竭，开采动态一直处于不稳定阶段，动水位下降不止。

（2）补给源的减少：如河流人工改道，可使水源地失去地表水体的补给；上游截流，使下游水源地失去补给。由于补给源的减少，出现了开采量大于补给量的不稳定开采动态，引起区域地下水位持续下降不止。

2．区域地下水位下降的危害：

（1）水井出水量减少或报废：井的出水量随着区域地下水位下降而不断减少，井的效益降低。如果任其继续发展下去，可产生吊泵和枯井现象。在这种情况下，除非更换取水设备或重新打深井，否则不能维持开采。但这样做不仅提高了抽水成本，而又不能制止地下水位持续下降，最终还是不能解决问题。例如美国伊利诺州东北部地下水总抽取量，从1880年的40914米^3/昼夜增加到1965年将近104558米^3/昼夜。近年来水位下降速度达到每年3米左右，有几个地区每年下降12米以上。如此严重的水位下降，造成了抽水成本大幅度提高，井的出水量不断减少，供水困难。

（2）地下水资源枯竭：不合理的取用静储量，支出大于收入，造成含水层水量亏损。地下水位的下降是它的外部表现，含水层水源枯竭才是它的实质。而地下水源枯竭是一个难以弥补的损失。[4]例如美国得克萨斯州和新墨西哥州高原的奥格拉拉含水层，可采地下水量为3000亿立方米，截止1961年已抽取了600亿立方米，现在每年仍抽60—120亿立方米，抽取量超过了天然补给量50倍以上。据估计，即使停止抽水，依靠天然补给也要几

千年才能恢复。

（3）地面沉降：地下水位大幅度下降会造成松散含水层逐渐压密压实，从而引起地面下沉。地面下沉的后果是十分严重的。它可以引起房屋、桥梁、渠道、堤坝和水库等各种建筑物破坏。在城市少量的不均匀沉陷也能对建筑物起破坏作用。例如意大利的米兰市，1969年至1972年间的地面沉降虽然只有2厘米左右，然而有六百年历史的古迹——多莫尼教堂已出现建筑物倾斜，支柱的大理石面破裂。

（4）海水入侵：沿海地区大量抽取地下水，使水位严重下降，往往会造成海水侵入地下含水层，从而大面积的破坏原有的地下淡水含水层。例如塞浦路斯1965年抽取地下水约5300立方米，引起部分地区地下水位下降3—8米，造成海水侵入地下含水层，使该区沿海1.6公里宽的地带内的果园却遭到破坏。又如美国的加利福尼亚州，由于大量抽取地下水后，地下水位下降，造成海水侵入到沿海13个含水层，使54万亩良田变成了碱地。

二、地下水位区域性下降的防治

供水水源地补给量的多少与取水量的大小，构成了决定水位升降的一对主要矛盾，当补给量减少取水量增大时，则使地下水位急剧下降，反之则上升。因此我们必须采取既能满足生产上对地下水的需求，又能防止地下水位不断下降和水源枯竭这样一个两全齐美的措施。这个措施就是人工补给。地下水的人工补给是在一定条件下合理开采地下水的一项积极措施。

1．成立领导和管理地下水资源的统一组织机构，加强管理，建立合理的开采制度，例如定时、定量开采和限制开采降深等。合理调整水源地。在集中开采区应加强对地下水开采动态的监测及对地下水情的预报工作。

2．扩展新的开采层：在水文地质和经济技术条件许可的情况下，可在水源地范围内增加新的开采层或新建水源地，减少原有取水工程的开采量，以控制地下水位下降。例如某城市供水，在解放前及解放初期主要是采用第一、二层水，造成了地下水位

大幅度下降，引起地面下沉。以后经大量的供水水文地质勘察工作，查明市区除浅层水外，共有四个承压含水层。以后逐年有计划地将开采重点转移到第三、第四层，对开采第一、第二层水的原有取水井作了统一的调整和限制。到目前为止，已基本控制了市区地下水位的下降及地面的沉降问题，甚至有些地方已有所回升。

3．人工补给地下水：人工补给地下水又名回灌，其实质就是用各种方法使地面水渗入地下，从而做到把水储存于地下，并起到补充地下水资源，提高其水位的作用。开展人工回灌的目的主要有两个方面：首先是增补地下水资源，借以避免含水层因大量开采而逐渐枯竭和由此引起的种种危害，特别是地面沉降和海水入侵等。人工补给地下水的另一重要目的是增加蓄水能力，把地表水源储存在地下，以备需要时抽出来再用。从而扩大了总的水资源调节能力。

人工补给还可以调节地下水的温度，储存冷热源；在咸水或水质恶化地区，借助人工回灌可以改变水质等。由于此方法具有上述好处，因此在国外得到推广。我国北京、天津、上海、西安等地均在进行人工补给试验。上海采取了向开采层回灌大量的水，获得了控制地面沉降的经验。

（1）人工补给地下水的方法：

进行人工补给地下水的方法大体上可以分为：水扩散法，渠道和浅井法，注水井和诱导补给法。

水扩散法适用于浅部补给，即主要用于地表具有透水岩层，在地表水和地下水之间又没有隔水层的地区。采取在地表放水的办法或进行大面积灌水，增加向地下渗入。如果地面下不深处有隔水岩层就需要开挖渠道或浅井，揭露下伏含水层把水直接补到含水层。例如1960年夏季，华北平原发生一次特大洪水，一片汪洋，平原上的所有取水井都变成了注水井，大量洪水补给地下水，使区域性水位下降得到普遍回升，大面积农业供水区的降落漏斗普遍恢复而消失，石家庄市供水所形成的降落漏斗虽未消

失，但范围大大缩小。

注水井法主要适用于深部补给，通常采用此方法补给承压水层，或者深处的潜水含水层。这种方法主要是打灌水井，也可利用原有的深井做为补给井，进行回灌。回灌方式可根据灌前地下水位的高低和回灌井的结构特点，采用真空回灌，正压回灌和加压回灌等不同方式。

a．真空回灌，适用于地下水位埋藏较深（10米以下），含水层渗透性能良好的地区；适用于滤网结构耐压耐冲强度较差，凿井年代较久的老井。个别回灌量要求不大的深井也可采用。

b．加压（正压）回灌，适用于地下水位高透水性差的含水层中，也适用于滤网强度较大的深井。

c．诱导补给法是一种间接的人工补给方法，即是在河流或其他地表水体附近打井，抽出地下水，使地下水位降低，导致地表水渗入补给地下水。

d．截流蓄水，减少径流，增强回渗补给；在覆盖层较薄，河流沟谷较窄地段，修建地下截水墙成拦河坝，堵截潜流和地表径流。抬高地表水位及地下水位，使潜水含水层变厚，可直接增大出水量成增强附近含水层的回渗补给。

e．开“天窗”打底井，沟通含水层和地表水之间的联系；当开采层分布范围内有正常水位高于开采动水位的地表水体时（河、湖、池塘、水库），可在水体底部打孔，揭穿开采层隔水顶板建立防污注水井（图4—1）。开采潜水时，可尽量在地表水体附近建井，有意夺取地表水。若开采层底下埋藏有高水头承压含水层时，可揭穿隔水底板，

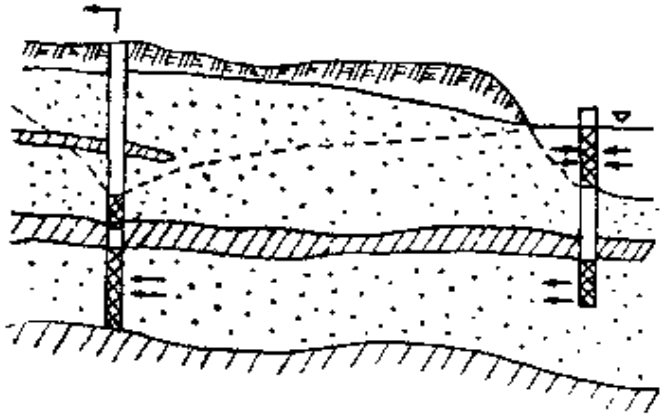


图 4—1　夺取地表水体补给开采层示意图

造成自流补给开采层（图4—2）。

f．实行井渠间灌，增加渗透补给量：在开采利用地下水浇灌农田的同时，也尽可能取用地表水。条件许可的地段要尽量多用些地表水，实行井渠结合。这样被开采的地下水可以得到渠灌水和田间水的下渗补给。例如黄海淮平原，过去由于渠灌的发展，地下水位急剧上升，发生了次生盐碱化。后来实行停渠兴井，2—3年后使地下水位大面积下降，个别地区下降7—9米以下，严重的影响了农业生产。有些地区从实际出发，因地制宜，有计划地实行井渠结合，采用科学的井渠间灌方法，这样即防治了次生盐碱化又控制了地下水位过大下降，保证了农业连年丰收。

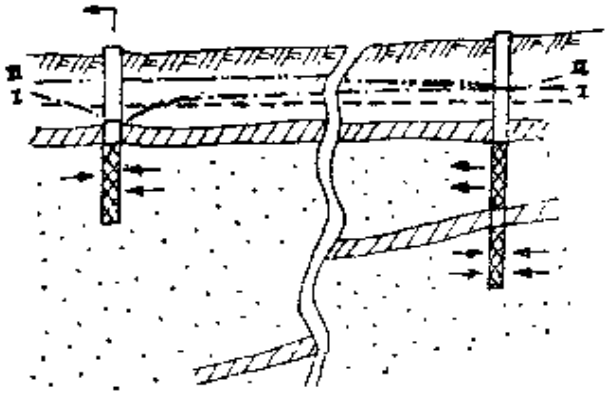


图 4—2 揭穿隔水层底板自流补给开采层示意图

Ⅰ第一层承压水头线；Ⅱ第二层承压水头线

（2）进行人工补给地下水的条件：

a．人工补给地下水的水源条件：

要求补给水源的水质要比地下水的原始水质要好一些，以免引起区域性水质污染。其水源主要有：大气降水，地表水和经过处理净化后的工业废水等。

b．人工补给的水文地质条件：

接受补给的含水层要水路畅通，具有一定的渗透能力，对含有较多粘土成份的地段则不利于人工补给。

在利用地表水或大面积灌水进行下渗补给时，饱气带的厚度以10—20米为宜，在补给区要求具有较大厚度的含水层并有较好的透水性，含水层应没有铁、锰、硫的化合物和腐植质等。

在进行深部补给时，回灌井要有一个回灌水位与静水位的水位差，形成水力坡度，以促使地下水渗流。

（3）进行人工补给应注意的问题：

人工补给地下水遇到的主要问题是淤填。造成淤填的原因很多，主要是补给水源中有悬浮物质以及渗透过程中化学作用的影响。另外还要防止污水进入注水系统。

第二节　地下水水质恶化及其防治

地下水资源的开采利用过程中，必然引起地下水存在与流动的天然状况改变，因此可能使地下水水质发生变化。同时随着工业“三废”和生活污水、垃圾、农药及化肥的增多，矿山开采等造成的水质污染，这就使得有些国家和地区感到水源日趋紧张，所以人们不得不重视地下水在开采利用过程中，如何保护地下水不受污染，以及一旦被污染来如何治理的问题。

在一些工业发达的国家，污染已成为普遍的问题。其中美国，苏联，日本等国最为严重。如美国东北部五大湖几乎成为毒湖，半个美国的河水几乎成为毒水；在苏联的黑海，里海沿岸已被油污染成黑色；日本“公害”更是世界闻名，就连东京 117 个水源地全部受到污染。人类健康受污染威协日趋严重。

我国是一个发展中的社会主义国家。工农业和国防建设正朝着现代化发展。有关环境保护问题，尤其是水资源保护问题，已经受到重视。但在一些局部地区出现了地表水和地下水的污染问题。为了防止水源污染和治理已被污染的地下水，我国一些有关部门正在对污染问题进行研究和探索。

一、不合理开采引起的水质恶化及其防治

在开发利用地下水时，不仅破坏了天然的水量平衡，有时也破坏了天然的水质平衡（盐均衡），使之朝着开采方向发展。如果盐均衡朝着水质淡化方向发展，水质一般不会发生恶化，如果盐均衡朝着水质咸化某些有害成份不断积累的方向发展，而且这种发展超过允许的限度时，就会导致严重的水质恶化。

1．水质恶化原因：

（1）由于过量开采地下水，使水动力条件发生变化，导致不同含水层发生水力联系，好水与坏水发生混合，引起水质恶化。这种情况是较常见的。例如当开采某一含水层的地下水时，如果相邻含水层为劣质水，其间的隔水层为弱隔水层或分布不连续有天窗。而开采漏斗扩展影响到劣质水时，劣质水就会补给开采层与好水混合，使流向开采井的地下水水质恶化。

此外，同一含水层的水质也不相同，当我们开采好水时，降落漏斗一旦扩展影响到劣质水，劣质水就会补给开采井与好水混合，使好水水质恶化。

（2）由于开采地下水出现了新的补给源，如河、湖、渠等地表水的补给（属于开采袭夺量），如新补给源水质不好，渗入补给开采层后，可使流向开采井的地下水水质恶化。

（3）滨海地区或内陆濒临咸水区大量开采淡水，由于咸水入侵而导致水质恶化。尤其是在咸水区内开采淡水透镜体的地下水时，若开采水位下降过深，则将严重破坏淡水和咸水之间的平衡状态，导致淡水咸化。

（4）开采井的工艺不合理，没有对水质不良的含水层采取止水封闭措施或封闭不严密，导致好水与坏水混合，使水质变坏。

（5）取水工程材料的腐蚀作用也可使水质变坏。例如水中的氢离子与井管或过滤管的铁发发生置换反应，产生锈蚀现象，使水中铁质增加，水质变坏。

2．水质恶化的防治：

（1）对好水与坏水相间的含水层要采取分层开采，成井时要做好严格的止水工作。

（2）合理控制开采量和水位降深，避免夺取水质不良的地表水体或相邻含水层的地下水。对开采区和降落漏斗范围内工业废水和生活污水的排水渠应采取防渗措施。

（3）在濒临咸水区的淡水区内打井时，应注意选择合理的井距，开采量和水位降，防止咸水倒灌。

（4）根据水质采用不同的耐蚀的井管材料。

二、地下水的污染及其防治

由于污染引起的地下水水质恶化是非常严重的问题，地下水一旦被污染，治理起来就非常困难。所以在勘察和开发地下水工作中，有关水质污染问题应当引起高度重视。

（一）地下水的污染源及污染途径

地下水的污染来源十分广泛，主要有工业废水，生活污水，工业废渣，废气，矿渣，农药，化肥，城市垃圾和动物排泄物等。其中工业废水在地下水污染中占重要地位。工业废水中的主要污染物有酚、氰、砷、汞、铬、镉、洗涤剂、油类、硝基化合物、苯、醛、氯苯、农药、磷等有害物质。城市生活污水和牲畜污水主要含有碳水化合物，蛋白质，油脂等有机物质。这些物质分解后产生亚硝酸和硝酸并放出甲烷、硫化氢、氨等气体。另外还常含有细菌、病菌病原虫及各种寄生虫等。这些污染物往往通过下列途径污染地下水。

1．未净化的工业废水和城市污水任意排放使地表水受污染，渗入地下引起地下水污染。

2．工业废碴、矿碴及城市垃圾等各类固体废物处理不当，其有害物质经雨水淋溶渗入地下引起地下水污染。

3．被污染的大气中含有某些有害气体和尘埃，如一氧化碳、二氧化碳，二氧化硫以及粉末状杀虫剂、汞、铅、镉等有害元素微粒，随大气降水进入地下，引起地下水污染。

4．工业废水和城市污水处理不当，污染物经排污渠道，污水渗坑，渗井等渗入地下，导致地下水污染。

5．未经净化处理或处理不合格的工业废水和生活污水，在净化能力低的地质条件下进行污水灌溉，引起地下水大面积污染。

6．不适当地使用大量农药、化肥，其有害物质经雨水淋洗或随农田灌溉水（或排水）渗入土层和地下，引起地下水污染。

上述污染原因和途径，属于人类活动造成的污染，应采取改造排水和保护水源的措施来防治，属于客观地质因素为主的渗透

污染，应从合理规划、布局和改造自然入手来防治。

（二）防治地下水污染的一般措施：

地下水污染较难治理，所以应贯彻“予防”为主的方针。在进行水文地质勘探时，应对可能的污染源，污染途径和有害物质成份，进行调查研究，并论证其可能污染的范围、深度、程度及其危害程度等，以提出切实可行的予防措施。

1．本着综合利用，兴利除害的原则，加强对工业“三废”的治理是防止地下水污染的根本方法。积极处理和净化工业废水和城市污水，改革工艺流程，开展兴利除害的回收利用工作，进行“废水”无害处理，严格控制“三废”的排放标准。

2．城市建设必须充分考虑水文地质条件，全面规划、合理布局。新建或扩建供水水源地应尽可能选在地下水上游补给区，对于易引起污染的工厂、企业，如石油、化工、电镀、冶炼等，应尽可能布置在远离水源地的下游地区。

3．建立地下水监测站网，进行地下水动态（尤其是水质动态）长期观测。开展对地下水污染的调查研究，以便及时发现问题和采取措施。

4．加强对地下水资源的保护和管理。水源地附近应根据水文地质条件和水源地规模设一定范围的卫生防护带。严禁采用渗坑、渗井排放废水。污水灌溉区应布置在防渗条件较好且有较厚的土层区，并严格控制灌溉定额和采取防渗措施。对大量使用农药和化肥的耕地，要合理控制其用量。对废碴、矿碴及城市垃圾等堆放地点必须调查研究合理选择。对生产井要进行严格管理，杜绝一切可能的污染。

关于治理已被污染的地下水，目前尚无有效办法。一般采用人工补给地下水方法治理。即向含水层区注入纯净的水，以加快地下水的稀绎和净化过程。

（四）水源卫生防护带：

新建生活饮用水水源地，不论其水质如何，都需要设置卫生防护带，以防止污水自地表渗入含水层污染地下水。卫生防护带

的范围主要根据水文地质条件，取水工程的形式和附近的水文地质状况来确定。在作好环境保护工作的前提下，设置卫生防护带的原则是：应能防止水源受到污染和保证取水工程安全运行；卫生防护带的范围宜尽量少占农田，并应注意水源卫生防护与给水净化消毒之间的关系。

水源卫生防护带一般分戒严带，限制带和观察带。

1．戒严带：为泵房和取水工程所在地。在戒严带禁止修建任何其他建筑物，并要设有围墙保护。一般只有 6 米以上复盖层的水源地，戒严带半径为 10—30 米；复盖层在 6 米以下者，水源地戒严带半径为 30—50 米。

2．限制带：如果开采层的地下水含水层和地面水之间没有直接互补关系，可以不设限制带，否则应设限制带。一般以开采降落漏斗的影响范围作为限制带的范围。在限制带内不得排放污水和通过污水沟渠；不得施用持久性和剧毒性农药，不得修建渗水厕所和污水渗坑；不得堆放垃圾、动物排泄物和设置家畜饲养场；不准从事破坏深层土层的活动。

3．观察带：为邻接限制带外围的地区，其范围包括与水源地有天然径流补给关系的地区，主要是上游地区。在观察带应经常进行流行病及地下水污染问题的观察，以便及时采取防护措施。

由于自然原因（如含水层类型等）和人为因素（如有污染源）有可能造成水质污染的水源地，应定期取水样化验，长期进行监测工作。

第五章　土壤盐碱化和沼泽化及其防治

土壤盐碱化严重威胁着农业生产，轻者造成减产，重者可以导致作物死亡。而沼泽化除了影响农牧业的发展外，还能造成交通障碍等。因此，土壤盐碱化和沼泽化给农业生产和国民经济带来的危害是很大的。

土壤盐碱化和沼泽化最普遍和最根本的原因，乃是潜水积极参加土壤的成壤过程。因此对盐碱化的改造，必须进行水文地质调查，查明土壤改良的水文地质条件，采取正确的调节潜水动态的措施，以防止和消除土壤的盐碱化和沼泽化。

盐碱土和沼泽的分布与气候条件有密切关系。一般说来，盐碱土主要分布在干旱及半干旱气候带。例如我国西北的内陆盆地，华北平原，淮北平原、东北西部平原等。另外在滨海地区也有分布。这些地区的蒸发量往往大于降水量。作物生长期内气温高，湿度小，土壤水分不足，土壤溶液和潜水的浓度，温度都比较高。而沼泽主要分布在降水量大于蒸发量，气温不高，空气湿度很高，土壤水过多的地区。

盐碱土和沼泽的发育还与地形条件有密切联系。大多集中分布于各种低地和洼地之中。如山间盆地、山前平原、河流下游冲积平原、滨海或滨湖低地等。因为在低洼地区，地势平坦，低洼易涝，排水不畅，地下水位一般比较高，地下径流阻滞，有利于土壤和潜水中盐分的聚积。因此，潜水得以积极参与土壤成壤过程。

第一节　土壤盐碱化及其水文地质防治措施

土壤中盐类聚集过多的现象称为土壤盐碱化。土壤中含盐量

超过 0.25% 时(以重量计),农作物生长受到抑制;为0.4—0.8% 时农作物减产 60%;为 1.0—1.2% 时,农作物不生苗。

土壤盐碱化是在气候、地形、水文地质等自然因素综合作用下形成的。但基本原因是由于潜水面埋藏深度小于发生盐碱化的临界深度。使毛细水带接近或达到地表,水分得以不断蒸发,水中盐分积累在表层土壤中,而产生土壤盐碱化。土壤盐碱化有自然原因形成的,也有人为原因形成的,后者称为次生盐碱化。

下面,根据我国人民群众的生产实践经验,着重介绍与开采利用地下水有关的土壤次生盐碱化问题。

一、土壤盐碱化的成因

在干旱、半干旱的气候条件下,地下水径流条件不良,潜水埋藏又较浅的地区,极易产生土壤盐碱化。在这些地区进行灌溉,特别是不合理的灌溉时,会促使潜水位迅速抬高至临界深度,甚至接近地面。由于地下水和土壤水分不断蒸发,土壤盐分剧增而产生次生盐碱化或使原生盐碱地的程度加重。因此地下水是土壤发生盐碱化的决定条件。

(一) 地下径流滞缓

地下水在运动过程中,能溶解岩石或成土母质的盐分;河水在补给地下水时,也同时把河水中的盐分带到地下水中。这些都促成了地下水含有一定盐分。在地下水运动过程中,又受地形、地貌、成土母质的影响,在不同的地貌部位,地下水埋藏深浅、径流通畅与滞缓、地下水矿化度高低等均有差异,而影响到土壤的积盐状况。一般地势越低,地面和地下径流越不通畅,地下水埋藏越浅,矿化度越高,土壤越容易发生盐碱化。反之,则不易发生盐碱化。黄淮海平原土壤集盐状况,就反映出这种规律性。例如,在山麓地带地面坡度较大,土壤质地较粗,雨水及地面水可以很快排走,地下水埋深在 4 米以下,地下水矿化度一般小于1克/升;在冲积平原的缓岗地带,地下水径流通畅,地下水埋深大于 3 米,矿化度在 0.5—1克/升。以上这些地区,土壤一般不发生盐碱化。但在冲积平原上,地面坡度平缓,地下径流缓慢,

地下水埋深在2—2.5 米，地下水矿化度 1—5克/升，有些地区土壤轻度盐化。在冲积平原的大型洼地边缘，因洼地积水侧渗与地下径流互相阻滞，地下水埋深 0.5—2.0 米，地下径流滞缓，矿化度在 2—5 克/升，甚至 5—10 克/升，有的地方可以达 10—30 克/升。这些地方就分布有重盐碱地或盐碱荒地。至于滨海平原，地下水径流极为滞缓，矿化度在 10—30克/升，高的达 100克/升，分布有大面积的盐碱荒地。

（二）地下水位的升高

农田灌溉本来是缺水地区增加农业生产的有效措施。但是，如果灌溉不合理，例如单纯地引地表水灌溉，有灌无排，灌水定额过高，大水漫灌，渠道渗漏等，都会给地下水增加新的补给量。破坏地下水的天然收支平衡，引起地下水位升高，上升的速度与地形和岩性有关。在地形坡度较大的地方，原来水位埋藏较深，地下水流坡度和流速也较大，水位上升速度较慢，一般不易形成次生盐碱化。在低平的地段则相反，原来地下水位埋深就较小，地下水流坡度和流速都小，多呈停滞状态，灌后极易加速地下水位上升。由于不断地蒸发，土壤表层逐渐积盐。

岩性条件决定毛细水上升高度和渗透性。粘土层的毛细上升高度大，上升速度和毛细水流量均小，地下径流速度也小。所以，当包气带土壤中有大于 10 厘米厚的粘土层存在时，有人认为应该看作是隔水层和隔盐层。而亚砂土及亚粘土，粉砂的毛细上升高度虽较粘土为小，但它们的上升速度和所运移的毛细水流量均较大。所以，对水、盐运移作用大，灌溉后也易于抬高地下水位，形成次生盐碱化。

地下水位是决定性因素。一般地下水埋深越浅，则潜水蒸发量越大，土壤积盐越重。即使在地下水矿化度较低的情况下，如果地下水埋深较浅时，由于地下水因蒸发进入土壤中的水分较多，也会携带较多的盐分，使土壤积盐。如地下水矿化度在 2—3 克/升左右，地下水埋深在 1.5米左右，即便在夹粘土的轻质土的条件下，土壤仍会发生积盐。只有地下水控制在不致因蒸发而

使土壤积盐的深度，土壤才不发生盐碱化。

河北平原的石津灌区建于1958年，在1959及1960年开始灌溉，由于渠道防渗工程较差，配套不全，渠道渗漏，大水漫灌，造成该区地下水位迅速抬高，一般地区埋深仅1—2米。大量的高矿化水，经蒸发排泄，地表强烈积盐，形成大片的次生盐碱地。到1964年为止盐碱地面积比灌前增加一倍多。1962年停灌，到1964年初，水位就下降了0.5—1.0米，盐碱化程度开始有所减轻。

其它如水库回水及渗漏，都可促使潜水位抬高，产生次生盐碱化。

通过对我国部份灌区的观察，灌溉前后地下水动态有明显的变化。一般情况下，灌前地下水位埋深较大，地下水保持着相对稳定的动态类型。在灌溉初期，地下水位上升很快，以后又逐渐趋于平衡（较灌溉前埋深小）。从图5—1可以看出一般情况。在一些平原、洼地，灌前地下水位埋深多为2—4米，灌后水位抬高1—2米，而小于临界深度。由于蒸发逐步使地表积盐，产生次生盐碱化。

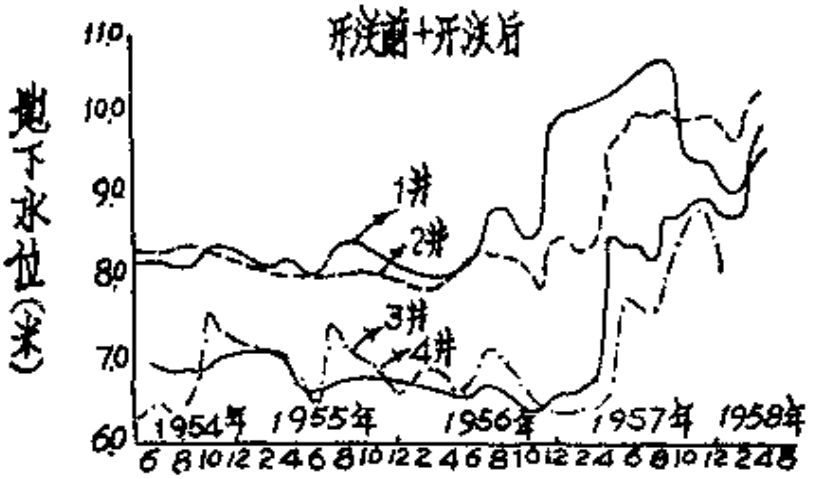


图 5—1　山东大道王灌区开灌后地下水位变化曲线

前面已经提到临界深度，它是指开始引起盐碱化的潜水面埋藏深度(即根系活动层的厚度加上毛细水带的高度)(图5—2)。它



图 5—2 临界深度示意图

的大小与土壤岩性、气候、地下水矿化度及耕作技术等因素有关。根据已有资料，亚砂土为2.5—3.0米，轻亚粘土，3.0—3.5米，中亚粘土3.5—4.5米，重亚粘土4.5—5.5米，粘土5.5—6.0米，一般在2—3米之间。

临界深度可以用测制剖面的方法求得。即在跨越由非盐碱化地段的剖面上观测确定（图5—3）。图中Ⅰ为非盐碱化区，Ⅱ为盐碱化区。井2处于两区的分界，其地下水埋藏深度即为所求的临界深度值。下面是石津灌区东部，根据岩性综合体和潜水矿化度，用直接观测法(典型剖面法)所求得的临界深度值(表5—1)。

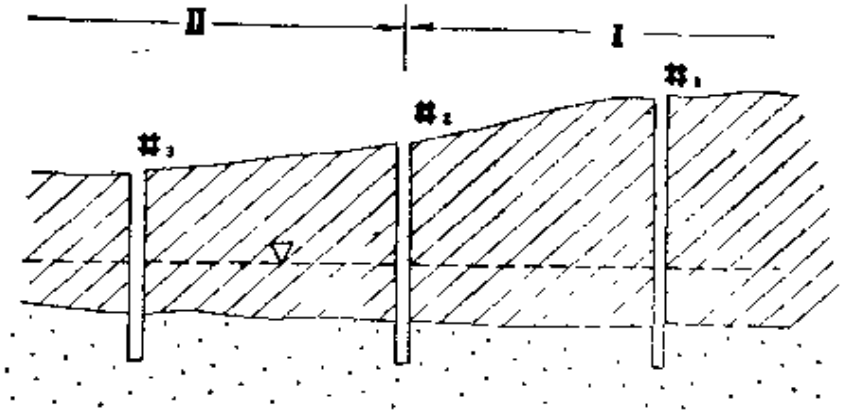


图 5—3 实测剖面法示意图

表 5—1

岩性综合体代号	0—3米岩性综合体种类	潜水矿化度(克/升)	临界深度(米)
Ⅲs	以亚砂土为主，其它夹层小于0.5米	1—5	2.4左右
		5—10	2.8左右
Ⅱs	以亚粘土为主，其它夹层小于0.5米	1—5	2.4—2.7
Ⅰs	以粘土为主其它夹层小于0.5米	1—5	1—1.6

确定临界深度值的影响因素多，地区性强，所以最好是各灌区各自确定自己的临界深度值。确定的最好方法是实测剖面法，而不采取测定毛细上升高度再加上植物生根层（约为0.5米）的计算方法。[2]

也可采取在调查访问基础上分析已有资料，确定临界深度值的做法。如山西省水利科学研究所对山西省西南部涑水河流域的盐碱土，进行了一系列的调查，并访问了当地人民群众，进行综合分析，得出地下水埋藏深度，矿化度与土壤盐碱化的关系（表5—2）。当地下水埋深小于5米时，土壤开始受盐碱化威胁，而地下水埋深在1.5—2.5米时，矿化度增高，土壤盐碱化显著加重，这便是该区地下水临界深度的变动范围。

表 5—2

地下水埋深（米）	地下水矿化度（克/升）		地下水蒸发强度	土壤盐碱化情况
	最高	一般		
<1.5	28.7	4—14	极强烈	普遍有强烈盐碱化
1.5—2.5	23.6	3—8	强烈	中度至轻度斑状盐碱化
2.5—5.0	6.1	2—5	较弱	一般无盐碱化，局有微盐斑
5.0—9.0	3.6	1—3	微弱	无盐碱化，但尚存在盐碱化威胁
>9.0	2.0	0.5—1.5	基本不受蒸发影响	无盐碱化

（三）地下水和土壤中的含盐量

地下水或土壤中含有一定量盐份，土壤才能产生盐碱化。否则，地下水位抬高也只能形成湿地或沼泽。

一般在地下水埋深相同的情况下，地下水矿化度越高，地下水向土壤中补给的盐分就越多，土壤积盐越重。即使地下水埋藏较深，蒸发量较少，但因其矿化度高，随毛细管水进入土壤的盐量也大。在砂壤的条件下，当地下水矿化度在10—15克/升，地下水埋深在2.8米时，土壤仍会发生积盐。高矿化度地下水对底土盐化的影响尤为明显。有的地方表土含盐很轻，但由于地下水

矿化度高，底土仍处于轻度或重度盐化状态。

地下水与土壤盐分组成有密切关系。两者的盐分组成基本是一致的。例如河北高阳县是硫酸盐地区，在土壤及地下水中SO_4^{-2}及$K^+ + Na^+$占绝对优势；而在河北滨海骅县属氯化物地区，土壤及地下水中Cl^-及$K^+ + Na^+$占绝对优势。

关于盐碱化的分级，水利水电科学院水利研究所根据新乡、苏北、盘锦、青铜峡等地资料，认为大多数旱作物在耕作层(0—20厘米)含盐量小于0.2%，氯根含量小于0.01%时作物生长正常。当含盐量为0.2—0.4%，氯根含量大于0.01%时，大多数旱作物的生育都会受到一定程度抑制。该所在1961年提出如下的盐化程度分级（表5—3）。

表 5—3

盐碱化程度分级	含盐量（%）		氯根含量(%)	生长情况（指旱作物）
	0—20厘米土层	20—80厘米土层	0—20厘米土层	
非盐碱化	0.2以下	0.1以下	0.1以下	正常
轻度盐碱化	0.2—0.4	0.1以下	0.1以下	开始受到抑制
中度盐碱化	0.4—0.6	0.1—0.2	0.01—0.05	受到一定的抑制
重度盐碱化	0.6—0.8	0.2—0.4	0.05—0.1	受到较大的抑制
盐碱地	0.8以上	0.4以上	0.1以上	生长困难

对于次生盐碱化来说，这一分类标准比原生盐碱化土壤严格。

多数情况下，次生盐碱化土壤剖面的盐份分布是表层多，下层少，且相差很大。河北省曲周县的情况是，地表以下5—15厘米盐份多，是由于灌水压盐淋洗所致。1.5米以下盐分又增多，这是地下水带上来的。在有毛细水的土壤中，毛细水带顶部盐份也多。在春季返盐季节，则是表层盐分最多。

上面概括地谈到了产生次生盐碱化的主要原因，它们之间是互相联系互相影响的。尤其是后面两个原因，因为只要含有一定量有害盐分的地下水升高到一定成度，就可发生次生盐碱化。只

有一个因素便不会产生盐碱化，如地下水矿化度再高，而水位很低，盐分运移不上来，也不能出现盐碱化。

旱、涝、碱三害往往同时存在，是有其内部联系的。由于旱，特别是春旱，在地下水位较高，径流条件差的情况下，含盐地下水强烈蒸发，形成盐碱地。夏秋季节雨水集中，发生涝灾，使水位抬高，又给盐碱化创造了条件。

从这里不难看出，在加强排水的条件下，进行灌溉，就可以调整水盐动态和水盐均衡，对旱、涝、碱进行综合治理。

二、土壤盐碱化的防治措施

我国劳动人民在长期生产实践中，积累了丰富的改造盐碱地的经验。对于土壤盐碱化的予防和治理，一般是从旱、涝、碱综合治理入手，而有灌有排，调控地下水位，则是防治盐碱化的根本措施。应本着以防为主，防治结合原则进行治理。在拟定防治盐碱化措施之前，应进行水文地质调查研究，着重观测和研究地下水和土壤盐分的动态变化。在此基础上采取科学的治理措施。在一般条件，可以考虑采取以下几方面的措施。

（一）合理灌溉。这是一种予防措施，主要是控制灌溉水对地下水的过量补给，将地下水位限制在临界深度以下。

这类措施中包括：严格控制灌溉定额，改善灌溉方法；减少水库及渠道渗漏；设置排水网等。这样即节约了灌溉用水，控制了地表水的过量入渗，又可把节约的水量用于扩大灌溉面积。如果条件允许，采取渠灌和井灌结合，既开采地下水又补充地下水，这样更容易控制浅层地下水位。

正确制定灌水定额，有计划的用水。主要抓：统（对水源的利用统一安排）、算（水账、田亩、时间、劳动）、配（定配水次序和时间）、灌（贯彻丰产的灌溉制度和合理灌水方法）、定（人员、职责）、量（量水和灌水因素数据）等六个环节。

改善灌水方法，提高水的利用率。陕西泾惠渠灌区，开灌前地下水位埋深一般在15—20米，1944年上升至5—16米，1945年—1952年平均每年上升0.3—1.0米，普遍产生盐碱化，棉花等

作物显著减产。1953 年开始进行计划用水和改大水漫灌为畦灌、沟灌以后，地下水位基本保持稳定状态。

进行防渗处理，减少库、渠的渗漏。在难于处理或处理后仍渗漏时，应在下游适当位置开挖截流沟以降低下游的地下水位。沟的深度应以既能降低下游的地下水位，又不增大库渠渗漏量为标准。在渠灌区内渠道很多，应从砂质土渠段开始进行防渗工作，可以采用泥沙充填、夯实或建筑防渗层（用粘土或灰土）等方法进行。

（二）人工排水。这是控制地下水位的有效措施。实行有灌有排，排灌结合，控制地下水位在临界深度以下。这样既防盐碱，又防涝。同时能加强浅层地下水交替作用，使灌溉水和大气降水入渗过程中不断淋洗土壤中的盐分，将其带入地下水中。促使土壤向脱盐方向转化。

1．河渠排水。修建河渠系统，不断将多余的地下水排走，达到控制地下水位和治碱的目的。根据各地经验，排水沟对于土壤脱盐的作用与排水沟深度和土质有关。根据山东省打渔张灌区及河北深县龙治河灌区等地资料，排水沟单侧脱盐影响范围与沟深的关系为：轻质土沟深 1.7—4 米时，脱盐影响范围为沟深的 80—100 倍，粘质土沟深 1—2.5 米时，脱盐影响范围为沟深的 80—130 倍。

由此可见，为了达到一定脱盐效果，排水沟愈深则间距可以愈大。利用浅沟排碱，施工比较容易，但效果较差。沟的密度不宜过大，以利田间交通和机耕。深沟可以避免浅沟的缺点，但在土质条件不好的地方，施工维护困难。排水沟的深度和间距一般根据地形、土壤、水文地质条件来确定。一般末级固定排水沟（农排）深度可按下式计算：

$$t = H_{KP} + d + H_0$$

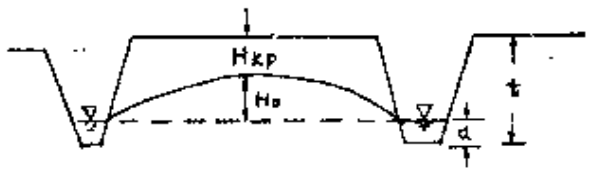


图 5—4　排水沟深度及间距示意图

式中　t ——排水沟深度（米）；

H_{KP}——地下水临界深度（米）；

d——排水沟设计水深（米）；

H_0——排水地段中部地下水面与排水沟内水面高差。

水利水电科学研究院，1961年根据某些计算数据和国内各地经验以及实地调查结果，提出（表5—4）中的末级固定排水沟深度，供参考使用。

表 5—4

土壤质地与渗水性		表土或地下水面以上有＞40厘米的粘土层，透水性差	中壤粘土到轻亚粘土，透水性中等	轻亚粘土到亚砂土，透水性良好
沟深（米） 间距（米）		1.5—1.8	2.0—2.4	2.2—2.6
地下水	30	＜250	250—350	350—450
矿化度	15—10—5	250—300	350—450	450—600
（克/升）	＜5	300—350	450—600	600—750

一般情况下，为加快脱盐，往往采用大定额灌水冲洗盐碱地，两条排水沟间的中心地带常因灌水渗入而水位抬高，影响冲洗脱盐，并容易返盐。在这种情况下可在两深沟中间加一条1—1.5米深的浅沟，待土质改良后，再将浅沟填平。

2．竖井排水。在某些水文地质条件下，适于采用垂直排水系统降低地下水位。当潜水含水层与下伏承压含水层有密切水力联系，且承压含水层的侧压水位高于潜水水位时，承压水便不断补给潜水。这时，用水平排水沟往往不能有效地降低潜水位。而要用打到下伏承压含水层中的竖井进行抽水。当承压水水质符合灌溉要求时，抽出的地下水还可以用于灌溉。如承压水水质不适于灌溉，则可在水平排水沟底上每隔一定距离打一小口径竖井，使承压水通过井口自流排泄，可节省抽水的动力消耗。

当下部承压含水层与潜水含水层联系不密切时，也可直接在

潜水层中抽排。为了加强排水效能，可采用各种水量大的浅井井型，例如辐射井、群井等。当潜水水质符合灌溉要求时，排出的水可用于灌溉。在这种情况下，垂直排水比水平排水更为经济合理。

3．植物排水。树木在生长过程中，通过叶面蒸发排出大量水分，在一定条件下可以用来降低地下水位。一棵15年的柳树每年通过叶面蒸发消耗91.4方水，杨树为82.9方水。据研究，灌溉渠系林带的排水影响范围可达200米，潜水位下降最大的地方可达1.6米。

一般多在灌溉渠旁植树，利用它吸收渠道侧渗补给地下水的水量，以消除灌溉渠道两侧可能产生的次生盐碱化或沼泽化。这就代替了截渗沟的作用。

（三）洗土。即用淡水冲洗土壤，溶解土壤中的盐类，使其进入地下水中，再用人工排水的方法将其排走。洗土要与排水结合，要在适当的时期进行。并制定合理的冲洗定额，选择适当的水质和水温。否则不但达不到脱盐的目的，有时反而引起积盐，加重土壤盐碱化。对于碱土，单纯用水冲洗还不能达到改良的目的，必须同时加入石膏以中和碱土，以及防止由于钠盐土脱盐而向碱土转化。

（四）严格防止地下水矿化度增加。主要防止开采地段地下水咸化，防止高矿化水进入井内，以保证淡水灌溉，尽量减少盐分积累，只要保持地下水的含盐量不增高，在其他条件不变的情况下，也可减轻土壤盐碱化的程度。其次，在使用矿化度超过2克/升的地下水灌溉时，要严加控制和采取相应措施，以免扩大土壤盐碱化。

（五）配合适当的农工技术措施。土壤盐碱化往往是多种因素综合作用的结果。正确的农业技术措施也是改碱不可缺少的。一般是采取平整土地，精耕细作，增施有机肥，修条田，衬砌渠道等措施。这样，一方面可以节省灌水，提高灌溉质量；另一方面可以改善土壤结构，增加土壤的透水性和透气性，切断毛细水

上升的通道，减少土壤水分蒸发，起到防治次生盐碱化的作用。

总之，防治土壤盐碱化一定要“碱、涝、旱兼治，蓄、灌、排兼施”，因时因地制宜地采取措施。

土壤盐碱化是和水的运动分不开的，水的运动又受旱涝的支配，旱、涝是碱的主要成因，而碱害抑制作物生长，又会加重旱、涝灾情。防碱治碱需要消除旱涝，而治理不当又会加重盐碱化。可见这三大灾害相伴发生，互为因果。在治理碱、涝、旱灾害当中，应当把防碱治碱放在首位，兼治旱、涝。消除碱、涝、旱的根本措施是灌溉排水。为了加速土壤脱盐和用水洗碱，需要灌溉。有了灌溉，作物不受旱碱威胁，晚苗减少，就有利于抗涝。防止涝灾必须排水，防止土壤次生盐碱化也须排水。所以，必须灌排并举，才能逐步根除碱、涝、旱灾害。

第二节　沼泽的成因及其改造利用

沼泽是一种特殊的自然地理综合体，是在一定的自然地理和地质条件下，地壳表层水的补给与排泄矛盾斗争过程中所产生的过湿或充水地段。在这个地段上生长有喜水性植物，有时有泥炭堆积。

沼泽在自然界的分布是较广泛的。据估计全世界沼泽总面积约有350余万平方公里，苏联最多，约占全世界沼泽总面积的四分之三，其次是加拿大和美国。根据现有资料，沼泽在我国的西南、西北高原及东北地区分布较多。初步估算东北地区沼泽总面积约有82000余平方公里，如黑龙江省三江平原地区，吉林省东部某些地区，西南高原上仅若尔盖高原地区沼泽面积就有2696.2平方公里（平均沼泽率达到21.4%，最高达32%），青海柴达木盆地的沼泽分布也相当广阔，面积约有23000平方公里。

沼泽通常都侵占着平坦而丰水的地方，它直接影响着农、牧业的发展，在山区也严重影响着森林的更新，甚至成为交通的障碍。此外，沼泽中蚊蝇和细菌大量繁殖，常常成为疾病的策源

地，危害人、畜健康。但是沼泽并不是无用之地，经过合理改造后可以变成良田、牧场和宜林地。沼泽中还蕴藏着丰富的泥炭资源及有用植物资源。这是需要我们对沼泽地区进行水文地质调查工作，查明沼泽的分布，形成和发育情况。并根据沼泽形成的原因及类型，全面规划，采取综合治理措施，对沼泽进行合理地开发利用与改造。

一、沼泽的成因

为了对沼泽地区进行合理改造和利用，首先要了解沼泽是如何形成的。按沼泽所处的地理位置、地质环境及其产生状态和内部结构，可知沼泽的形成是地理因素和地质因素综合作用的结果。此外，人为因素也是不可忽略的。

（一）气候因素：

气候对沼泽形成的影响主要表现在降水、蒸发和温度等方面。大气降水是沼泽的主要水分来源。它不但直接补给沼泽，而且常常通过地表水和潜水间接补给沼泽。蒸发是沼泽的主要排泄方式。温度不但影响降水、蒸发以及土层冻结（包括多年冻结）而且影响植物的生长速度及盐类沉积。

黑龙江东北部的别拉洪河流域是三江平原的重沼泽区。它位于温带季风气候区，年平均气温低，在1.5—2.5℃之间。降水量充沛，气候湿润，这些是沼泽形成的有利因素。大气降水是沼泽的主要水分来源，年降水量500—650毫米，集中在夏季。特点是短期暴雨，七、八、九三个月降水量占年降雨量的50—60%，大量补给了分水岭地区河间阶地和沼泽洼地。秋季则是长期连续下雨，特点是雨面大、雨日多、历时长，继续补给了沼泽地。此时正是气温低、蒸发小而即将上冻时期。这些水分由于径流停滞，排泄不畅，渗透微弱而被冻结在地表和土壤中。第二年春季地表积雪和冻层开始融化，但地下冻层犹存，表水不能下渗，加上气温低、蒸发弱，大量融水仍停蓄在地表，致使土壤过湿，形成春涝。到春末初夏，气温迅增，始有径流，而雨季又随之来临。这种状况，年复一年，周而复始，使该区总是处于过湿的环境中，

促使沼泽广泛发育。

（二）水文因素

地表水常是沼泽水的重要补给来源，由地表水补给而形成的沼泽大多见于河流中、下游漫滩及阶地的洼地上。

位于青藏高原东北边缘的若尔盖高原沼泽区，是我国最大的沼泽之一。它就是当年红军二万五千里长征途中所经过的“草地”。黑河和白河自南而北纵贯全区。其中黑河中、下游流域面积较上游增加很大，河流比降只有0.2—0.3%，河床曲率达到2—2.5，河流流速极小，平均只有0.4—0.8米/秒。许多小河无正规河道，造成大面积地表积水或地表经常过湿。因此沼泽发育很重，分布很广，沼泽率可达30%。

三江平原沼泽地区的别拉洪河的特点是，上、中游滩地平坦开阔，没有明显的河槽，下游段则河曲发育，整个滩地均为沼泽植被所覆盖，盖度达80%左右，河流比降小（0.55/10000—0.72/10000），糙率大，流速缓（0.10—0.17米/秒），是典型的平原沼泽性河流。河漫滩地区以及阶地内部的碟型，线型洼地广泛发育的沼泽均接受河水补给。

（三）地形及地貌

地形及地貌是形成沼泽的重要条件之一。如其它条件都具备以后，没有积水的低洼地形，一般也难于形成沼泽。新构造运动直接影响着大面积沼泽的形成和发展。在地壳上升地区，如沼泽与地表水无水力联系，沼泽便逐渐消失。而在有地表水体的地方如湖泊，若地表水面相应下降，湖泊逐渐退化成为沼泽，如松嫩平原的大部分沼泽就是这样形成的。而在地壳下降地区，则更有利于沼泽的形成。

三江平原地势低平，坡降为1/5000—1/10000，由于松花江及黑龙江多次改道和变迁，形成了阶地与河漫滩等主要地貌类型。第四纪以来，因受新构造运动长期下沉作用的影响（下沉了120米以上，平均每年下沉约0.27毫米），使分水线，河间阶地发育甚不明显。而河漫滩都十分宽广，古河道、半封湖、碟型洼

地、线型洼地分布普遍。洼地间为缓坡漫岗地或低平地，形成了微波起伏，岗洼相间的微地貌景观。由于径流停滞，低洼地长期积水，致使沼泽大面积分布。

（四）植被因素

地表过渡潮湿或经常处于积水条件下，促使沼生、湿生植物广泛发育，如毛果苔草、小叶樟、丛桦、沼柳等生长茂密，盖度达80%以上。每年为地表积累增加了大量有机物，形成较厚的草根层。这些有机残体的堆积，改变了表层土壤的结构和水分物理特性。另一方面大大增加了地面糙度，因而径流更为滞缓。沼泽植被的生长和发育，使低平地或地势稍高的缓坡漫岗地，也产生强烈的沼泽化，反过来促使地表更加潮湿。

沼泽植被呈大面积分布的有：三江平原的苔草沼泽植被，松嫩平原与辽河平原的芦苇沼泽植物，若尔盖高原的蒿草、苔草沼泽植被，柴达木盆地的盐性沼泽植被以及洞庭湖和白洋淀等地的滨湖芦草沼泽植被。

（五）岩性及地质构造：

岩性特征制约着岩层中水分运动，以三江平原为例，该区堆积了深厚河流冲积相沉积物。其剖面结构：表层为 3—17 米厚的粘土或亚粘土，其下部为 8—12 米厚的细砂层，砂层之下约有10米以上的砂砾层。粘土层普遍出露地表是该区的重要特征。粘土层的渗透系 数很小，每昼夜仅 1—2 厘米，成为良 好的隔水层。使地表水与地下水无水力联系，为上层滞水的形成和洼地积水创造了条件，从而引起低平地，缓坡漫岗地土壤的强烈沼泽化，洼地则聚水成沼。

此外，岩石成份还直接影响着沼泽水的水化学特征。若尔盖高原沼泽水的水化学性质特征是：矿化度低，一般只有 0.1—0.5 克/升，最多不超过 1 克/升，以重碳酸—钙型水为主，酸度（pH）都在 6.5 以上[111]，呈中性到碱性反应，总硬度在 1—7.5 毫克当量/升之间，这种特征的形成是与该区的岩性以及气候条件有关。从岩石性质来看，该区广泛分布着含钙质较多的砂、页岩，并夹有薄

层灰岩。碳酸钙在二氧化碳作用下，在水中直接离解为碳酸离子和钙离子。冷温的气候，丰富的降水量，漫长的冻结期和较低的温度，使岩石的化学风化作用减弱，影响水分对于盐类的溶解，从而造成沼泽水的低矿化度，并以重碳酸—钙型水为主。

地质构造一方面影响承压水的赋存，另一方面影响地貌发育。有时承压水以泉的形式通过覆盖层补给沼泽，向斜或盆地构造分布区往往在地形上是凹地，给沼泽的形成创造了有利条件。

（六）人为因素：

沼泽除受各种自然因素影响和制约外，人类活动也直接影响着沼泽的形成和发育过程。例如由于修建水库后潜水发生回水，使水库附近潜水位抬高，可以发生侵没而形成沼泽。人工灌溉过剩水量的渗入地下，也可以使潜水位抬高，形成沼泽化。又如东北某些被采伐和火烧过的森林地区，表土因踏烧而变密实，减少了水分蒸发，使地表过度湿润，促使了沼泽的形成。如长白山区的“黄花松甸子”就是这样形成的。

综上所述，可知在一定的气候条件下，有充足的大气降水、地表水或地下水的补给来源，在第四纪松散岩层覆盖层下不深处具有隔水层的凹地地区，最易形成沼泽。

二、沼泽的起源及沼泽类型的划分

（一）沼泽的起源：

根据国内外资料，沼泽的起源可归纳为两大类，即水体沼泽化与陆地沼泽化，水体沼泽化又可分为湖泊（池塘、水库）沼泽化与河流沼泽化。陆地沼泽化又可分为森林沼泽化与草甸沼泽化。

中国科学院南水北调综合考查队沼泽小队，对若尔盖高原沼泽区进行了普查，根据野外沼泽调查的实际资料得知，该区沼泽主要起源湖泊与草甸，可以从下面三个方面进行分析。

从沼泽的沉积物来看，该区主要有三种沉积相，即湖泊—沼泽相，冲积—沼泽相与坡积—沼泽相。湖泊沼泽相的剖面结构是：深厚的泥炭层下为黑色淤泥或腐泥，再下为灰兰色的粘土、亚粘

土或为灰绿色的粉砂。在整个剖面中，均含有大量的小水螺贝壳、锈斑与植物残体。推测过去曾出现过许多湖群，当地壳相对稳定或下沉缓慢的时期，湖群大部分退化为沼泽，堆积了深厚的泥炭层。冲积—沼泽相的剖面特征是：在薄层的泥炭下为薄薄的深色腐质植层，再下为灰蓝色的亚粘土或与灰色、黄色互层，剖面中植物残根较多，无小水螺贝壳，多呈带状分布。这种堆积物质显然是由于过去河流的冲积与河流泛滥淤积而成，经过草甸而发育成沼泽。坡积—沼泽相的剖面结构是：在较薄层的泥炭层（小于1米）下为细砂、中砂及小角砾，无贝壳残体，但植物残根较多。可知沼泽化开始之前是草甸，相邻地段沼泽化以后，引起排水不良，土层过湿，从而导致沼泽化。

从泥炭层的结构及植物残体的鉴定分析来看，湖积—沼泽相中的泥炭层厚度较大，约3—4米，有机质含量很高（平均含量60—70%）含小水螺贝壳很多。这说明泥炭的积累过程是在嫌气分解条件下进行的。也就是一直处于积水的环境下，这是水体沼泽化的重要特征。而冲积—沼泽相与坡积—沼泽相的泥炭层一般都较薄，在一米右左，有机质含量较低，这表明沼泽化过程是在相对嫌气分解条件下进行的。泥炭开始形成时，是在过度湿润环境下积累的，水分与空气有周期性交换，这是草甸沼泽化的重要特征。

以现代湖、河沼泽化过程加以分析，能够得到更确切的概念。如江错湖滨，宽广的新老湖滩十分发达，最宽处可达1000—1500米。湖水面正在收缩，湖水变浅（已不及1米），老湖滩已普遍沼泽化。又如夏曼北部的一些浅湖，已被沼泽分割为许多小湖，原来的湖水面显然变小，而且正在收缩中。此外，河流沼泽化过程在纳垒曲状宽谷中，仍在进行，在水流缓慢的河段充满了眼子芽及睡芽，将河床分割为一段一段的暗流。

上述事实，说明若尔盖高原沼泽的起源，是以水体沼泽化（尤其是湖泊沼泽化）为主，其次是草甸沼泽化。

（二）沼泽类型的划分：

我们知道沼泽的形成是一个复杂的过程，是各种自然因素和人为因素综合作用的结果，关于沼泽类型的划分，直到目前还没有一个统一的分类系统，往往从不同专业角度，根据一定的目的提出各种各样的分类。

沼泽类型的划分是在水文地质调查工作基础上进行的，划分类型的目的是为了针对各不同类型的沼泽，采取有效的措施，进行改造和利用。为此，我们认为沼泽类型划分的原则应当考虑制约沼泽形成的主要因素，如地形、地貌和水文地质条件等。而不同地貌单元、地形特点和水文地质条件下的沼泽特点是不相同的，水分补给来源也不同。因此，我们可按沼泽所处的地貌类型及水分主要补给来源来划分沼泽成因类型。

吉林省地理研究所沼泽室将黑龙江三江平原的别拉洪河流域沼泽荒地划分为两个类型：

1．河间阶地沼泽—大气降水补给型；

2．河漫滩地沼泽—河水补给型

在上述类型中，按植物群落或优势种属划分出沼泽体，详见下表5—5。

表 5—5

沼泽类型	沼泽体	地貌部位	补给水源	水分状况	相当于那一类荒地
阶地沼泽	毛果苔草沼泽	碟线型洼地及古河道	大气降水	常年积水深 0.2—0.4米	4
	毛果苔草—乌拉果—沼向荆沼泽	碟线型洼地	大气降水	常年积水深 0.2—0.5米	4
	小叶樟—苔草沼泽	洼地边缘	大气降水坡水	季节性积水深 0.1—0.2米	3.4
	小叶樟—丛柳沼泽（沼矛压）	低平地	大气降水坡水	无积水或临时性积水，土壤水饱和	2.3
滩地沼泽	毛果苔草沼泽	河漫滩	河水	常年积水深0.3—0.5米	4
	睡菜—沼向荆沼泽	河漫滩	河水	常年积水深0.4—0.7米	4

三、沼泽的改造和利用

改造和利用沼泽应根据其形成原因及类型，进行全面规化和综合治理。从改造措施来看，主要是水利措施和农业土壤改良措

施。水利措施可以保证农业措施效用的充分发挥；农业措施可以弥补水利措施之不足。两者密切结合，互相促进，才能收到良好的效果。

吉林省地理研究所沼泽研究室在三江平原别拉洪河流域沼泽荒地进行了综合考察研究，考察面积四万二千平方公里，查清了沼泽荒地三千万亩，并对自然条件进行了综合评价。对该区沼泽的改造途径，提出从以下三个方面进行。

（一）河间阶地沼泽的改造：

河间阶地沼泽主要发育在碟形洼地、线性洼地、低平地等微地貌单元上。这些地区排水不畅，承泄条件不良。在沼泽治理方向上，应以排水为主，排灌结合，统一规划，全面治理。一般采用下列几种治理措施。

1．回灌排水：

回灌排水在国内外已被广泛采用。这种方法是根据自然地理条件和水文地质结构，通过无压注水或加压回灌方法，将远离承泄区或无排水出路的闭流洼地的积水，排灌到地下承压含水层中去。回灌排水的承压水区，应选择在经流区。回灌含水层要具有较大的厚度，并有良好的透水性，地下水水头不宜过高，上覆隔水层要有足够的隔水能力。

吉林省地理研究所在三江平原中部别拉洪河上游与浓河上游河间地块的闭流洼地，进行了井排和井灌试验。该地段地势低平，坡降为万分之一，径流迟缓，承泄条件不良，沼泽遍布。岩性表层为厚 6—10 米左右的粘土、亚粘土层，是良好的隔水层，基本上隔断了地表水和地下水的水力联系；其下为细砂层，厚十米左右，再下为中粗砂和砂砾石互层，可见厚度 40 多米。该层为含水层，透水性好，渗透系数每昼夜 21 米多，为承压水，初见水位6.5米，稳定水位 3.2 米。试验井为直径 30 厘米的水泥管井。下管深度为 48 米，其中井壁管 24 米，滤水管 22 米，沉淀管 2 米。排水水源是就地挖坑汇集沼泽水，略经沉淀后便引入孔中，通过虹吸自流排水试验，测得平均每小时排水量为 48.68 吨，

动水位抬高 1.36 米。这说明本区井排潜力较大。

回灌排水的优点很多，最大的优点是能做到排灌结合，汛期可将地表积水进行回灌，旱季可抽水灌溉农田。其次是回灌排水所需要的设备比较简单，工程量、投资、占地均少；单位面积排水量较大，且较迅速，见效快。缺点是需要一定数量的机械和动力设备。如果回灌的沼泽水有机成分较高，可能污染地下水，需经水质处理。

2. 分级排水：

河间阶地的一些地段有明显的层次性。在最低的河床承泄区尚未整治以前，可采用分级排水的办法，改造沼泽低湿地。分级排水的实质是高水低排，分割水势，保护已垦沼泽土地，免受涝渍灾害的侵袭。这种方法可以解决局部沼泽地的开发利用问题。

3. 随机排水：

随机排水是指在排水地区，遇有积水较深且面积太大的沼泽洼地时，可根据洼地的地形条件和排列情况，因地制宜地开挖随机排列式排水沟。这些排水沟可使每个洼地连接起来，把积水排入适宜的固定渠道，或附近的大型碟、线型洼地临时承泄区，解决部分沼泽洼地改造利用，并使土地连片。

4. 鼠道式排水：

在缓坡漫岗的沼泽化地区或低洼沼泽地区垦后常发生渍涝。主要原因是土质粘重，结构性差，降水后易饱和，并形成上层滞水引起土壤过湿。在这类地区，除了要进行明沟排水外，可采用鼠道式排水。据有关单位试验，认为是一种排除沼泽水的有效措施。鼠道式排水网要求的条件是地面应具有一定的坡度（2‰—5‰）土质为粘土、亚粘土，深度要求在 0.6—0.7 米，亦可布置在 0.4—0.45 米处（浅式鼠道），鼠道间距变化较大，在 3—20 米间，视排水要求和岩性特征而定。鼠道式排水除了可以排除土壤中多余水分外，尚可提高地温，改善土壤通气条件，促进土壤熟化，此种排水方法还具有施工简单，工作效率高，单位面积造价低等特点。必须指出，鼠道式排水网必须与明式排水沟连通，才

能起到应有的排水作用。

5．系统排水：

在河间阶地有些部分沼泽连片，地势低洼，坡降很小，土壤过湿，一般均需要系统排水。可根据地貌特点，因地制宜地布置干、支、斗三级固定渠道和一些田间临时排水沟，组成排水系统，加速地表径流，排除地表积水。

以上排水措施，应在全面规化，综合治理的前提下，因地制宜的配合运用。

（二）河漫滩地沼泽的改造：

河漫滩地沼泽常年积水并为沼泽植被所覆盖，水分主要补给来源是河水，其次是大气降水。这里河流糙率大，比降小，流速缓。

针对滩地沼泽上述特点，治理方向应以整治河道为主，改造与利用结合，远近期结合，统一规划，综合治理。治理目标在于排出地表或沼泽中大量余水，改造大片易涝耕地和易涝荒地。

1．对河流截弯取直。这是使河床相对稳定增加水力坡度，加大流速的重要措施。

2．疏浚河道。通常采用清除杂草，浚深和拓宽河道等办法以减少水流阻力。

3．分流泄势。由于中上游排水不畅，下游导致河床造价很高。因此可修建分流渠道。有两种方式：一种是自上游分流经人工或天然渠道汇入下游河道；一种是跨流域分流，即把洪水分流至相邻河流域或湖泊等承泄区。

（三）农业土壤改良措施：

无论是阶地沼泽或滩地沼泽，在采用水利措施的同时，均需与农业土壤改良措施相配合。农业土壤改良措施是通过排除土壤耕作层多余的水，建立土壤团粒结构，提高土壤剖面的持水性，以达到调节土壤水分的目地。

1．垄作：采用大垄深沟，以加速地表径流，排出土壤中过多的水分，群众实践认为是洼涝地区行之有效的抗涝增产措施。

2．台田：是在河滩地区受洪水顶托的洼地上，挖沟取土抬高田面的治涝措施，通过台田沟来滞蓄涝水，并相机排出。这是排滞结合，以排为主的田间治涝工程。效果明显。

3．条田：条田多半修在浅平洼地和缓平坡地的边缘，是在已有田间排水系统的基础上起到排除涝渍的一种措施，效果较明显。

4．改土：是耕翻土（深耕，秋翻）和施肥相结合的一种改良措施，通过耕翻和施肥建立土壤团粒结构，改善土壤物理性质达到抗涝增产的目地。

对沼泽除改造作为耕地外，还可以发展成牧场。例如若尔盖高原沼泽占据了该区全部平坦地区，现有牧场只局限在山丘、坡麓。现有草场面积不能满足需要，扩大牧场是发展畜牧业的关键。根据有关单位调查，该区沼泽疏干后可利用为牧场，这里可以发展优良牧草—蒿草，而且草甸中禾本植物或其他牧草也能侵入，牧场质量将逐渐得到提高，当地表积水全被疏干后，牲畜传染病也容易消灭。所以，这里沼泽改造成牧场是有广阔前途的。

此外，沼泽地区还蕴藏着宝贵的资源—泥炭。泥炭是一种具有多种用途的资源，不仅可作为地方燃料和良好的有机肥料，而且可以从泥炭中提炼出 80 余种较贵重的化学工业方面的原料。

总之，实践证明沼泽不是无用之地，更不是无法改造的。要对沼泽进行综合考察工作，查明沼泽的分布，发育规律，形成原因，沼泽的水文地质条件及沼泽的类型等。再结合该地区的需要，对沼泽的开发、利用和改造进行全面的规划，采取综合治理措施，改造它不利的一面，充分发挥它的作用，使之成为社会的财富。

第六章　地下热水及其综合利用

自然界中温泉、火山等现象，很久以来就引起了人们的注意。它使人们看到了地球内部热能的具体表现。

地下水作为一种传导物质把地下热能源源不断地带到地表，成为地下热水供人们利用。我国第一座地热电站一九七〇年在广东丰顺邓屋地区建成投产，北京附近怀来地区地热试验电站也于71年建成。天津市出现了综合利用地下热水的群众运动，从生活用水、医疗卫生、取暖、农副业生产直到工业锅炉和某些工艺流程的用水，积累了宝贵的经验。一些地区还从地下热水中提取矿物盐类和微量元素。

地热作为一种新的能源，对加速扭转北煤南运，节约煤炭、石油，改变燃料构成，减少城市公害有重大意义。研究地热的基本任务就是认识和掌握地球这个大热库的表现形式、热动态（热能的空间分布和变化发展过程）、热能的来源以及开发利用等。

第一节　地热的基本知识

地球是一个巨大的热库，蕴藏着丰富的热能资源。这种热能不断地向外界散失，但这种散失与整个地球深部不断产生的热能比较还是很微弱的。

地球热能来源问题，是现代地质学中比较重要而复杂的问题之一，它直接与地球的形成和地球的经历过程有关。目前，由于对地球深部研究还很不够，因此在解释地热来源问题上说法不一。

归结起来，主要有以下几种说法：放射热、地球转动热、化学反应热及重力分异热等。上述热源虽然都是来自地球内部，但

它们在地球内产生的性质，至今还不十分清楚，各种热源所占的地位也是不尽相同的。

放射热是由于地球内部广泛分布的放射性物质蜕变而产生的热。这种热量是很大的。经计算，一克镭完全蜕变而放出的热量达 3.7×10^{6} 千卡，相当于燃烧一克煤炭所产生热量的五十万倍。有的资料提到在地球 500—1000 公里的深度内，放射性元素最多。有人估计，放射热相当于 1.2×10^{28} 尔格/年（1 尔格$=2.39\times10^{-8}$ 卡）。

地球转动热在地球的热源中占有重要地位。它主要由于地球自转时角速度的变更，引起非均质的地壳岩层水平位移和挤压而产生的机械热。根据计算，地球转动热相当于 4.81×10^{28} 尔格/年，即放射热的四倍。地球自转角速度的变化与地壳运动的发生是密切相关的，它严格控制着各种矿产与地下热水的形成和分布。

其他还有重力分异热（相当于 1×10^{26} 尔格/年）及化学反应热等，但与其他热源相比在地球的热源中所起的作用是比较微小的。

地热在地壳中的分布状态大致可分三个带：可变温度带，常温带及增温带。

可变温度带，又称外热带或太阳辐射热带。其热能来源于太阳的辐射和地球内部。该带温度变化幅度按一定规律随深度而递减。可变温度带厚度不等，从十几米到几十米，大多数为 15—20 米。

可变温度带以下，温度的变化幅度等于零时，称常温带。即太阳辐射热与地球内部热能的影响，在这一带相对达到平衡，地温接近于常温。昼夜常温带埋藏深度一般在地表下 1—2 米；年常温带一般在 20—30 米。

常温带以下几十公里的地壳，温度随深度逐渐升高。其热能主要来自地球内部，决定于地壳本身的热状况，所以称为内热带或增温带。

增温带温度随深度的变化以“地热增温率”或“地热增温级”表示。地热增温率又称“地热梯度”，是指每一单位深度内温度增加的数值，一般以℃/100 米或℃/1 公里表示。地热增温级又称“地热陡度”，是地热梯度的倒数，指地温每升高一度所需要增加的深度，以米/℃为单位表示。

地热梯度K（以℃/100 米为单位）可按下式求得：

$$K=\frac{T-t}{H-h}\times 100$$

H, T——分别为相应测温深度和实测温度；

h, t——当地年常温带深度和温度。

各地地热梯度差别很大（图 6—1）。地热梯度与地质构造条件、岩石传热性能、火山与岩浆活动情况以及水文地质等因素有关。在近代火山与岩浆活动地区，地热梯度很大，约为每深百米增温六至八度。在地壳运动不活跃的古老结晶岩地区、地热梯度很小，每深百米增温小于一度。在主要由沉积岩组成的近代沉降地区和年青的山地为每深百米增温二到四度。但绝大部份地区都在每深百米增温二到五度之间，平均为每深百米增温三度。

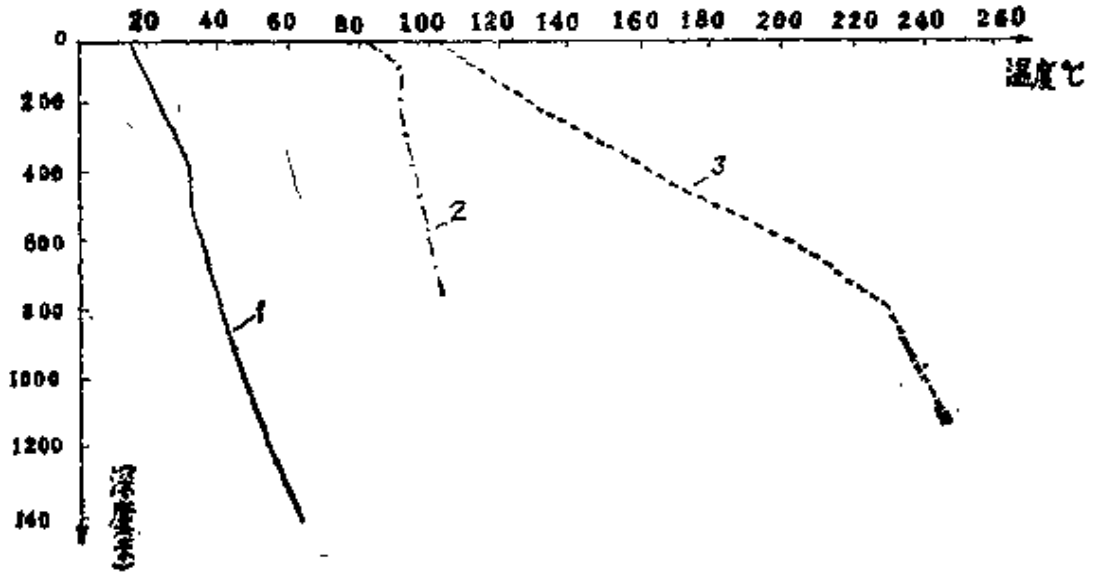


图 6—1　不同地区温度随深度的变化

1—华北平原某深孔温度曲线；2—广东某热平田自流井温度曲线；
3—意大利拉德瑞罗蒸气孔温度曲线

通常以某一地区许多观测点（即钻孔）地热梯度的平均值来表示该地区的地热增温规律。当地热梯度值接近于地壳的平均地热梯度值（3.0—3.3度/100米）时，为正常增温。由于某些地质原因，破坏了地壳的正常增温，使地热梯度值超过地壳平均地热梯度值时，便称为地热异常。在地热异常区内，岩石、土壤以及地下水的温度都比相邻地区为高。

地热异常分布的特征与地质构造型式和组成它们的岩石性质有密切关系。一般在背斜构造的顶部，温度及地热梯度都较两翼为高。即使在同一深度，顶部的温度比两翼部可高1—3℃，背斜构造顶部热流密度也显著增加。而在向斜区域热流密度、地热梯度较小。这是由于沿岩石层面的导热性大于垂直层面的导热性。同时也和背斜张性裂隙发育及深部热水热汽的上升有关（图6—2）。

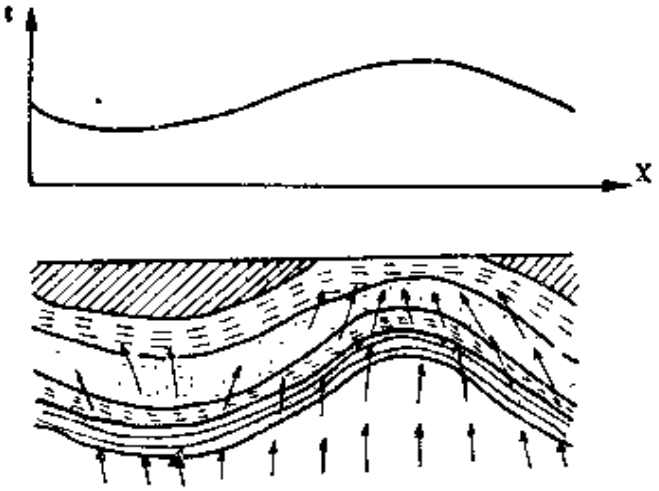


图 6—2　背斜及向斜区热流分布示意图

目前我国的地热勘探资料表明，地壳上部的温度分布与深部基岩构造有一定关系。例如天津地区的基底隆起区一般地热梯度较高，形成地热异常区。此外，晚近期活动性基底断裂，也是构成地热异常的主要因素。

岩石的导热性是影响地球热力状况的主要因素之一。由于各种岩石传热性能不同，在热流密度和其他条件相同的情况下，地热梯度与岩石导热率成反比，即导热良好的岩石地热梯度小。其岩性不同所导致的地温变化可达1—2倍，甚至达10倍。根据导热性的不同，岩石可分为导热层（如砂，砂岩，页岩等）和隔热层（粘土等）。

由于地热分布的异常特征所决定，地下等温面一般不是平的，随地区和地带的不同而起伏不平。同时等温面之间的间隔各地也是不同的，在等温面隆起的地方，间隔小的地方就是地热梯度高的热异常区。热异常的调查是寻找地下热水、热汽的直接而有效的方法之一。

第二节　地下热水

地下热水是在一定的地质条件下，固受地球内热能的影响而形成温度较高的地下水，它以其较高的温度，特有的化学成份和气体成份区别于一般地下水。它通过一定的通道（如断层破碎带、钻孔等）把地下热能带到地表。

根据目前对地下热水进行广泛的地球化学及同位素绝对年龄测定，都表明绝大部分地下热水来自深循环的大气降水。既使现代火山区和近代岩浆活动地区，由岩浆分离出的所谓原生水和蒸汽也不超过那里热水和蒸汽总量的百分之五到百分之十。此外，在一些海相或陆相沉积层所构成的大型自流盆地中的热水，可能有与沉积岩同时形成的沉积水。

地下热水的温度分类一般可以从实用的角度，同时考虑它在地壳中存在的条件来划分（表 6—1）。

地下热水的温度分类　　**表 6—1**

相	热水类型	热水名称	温度界限(℃)
液相	热水	低温热水	20—40
		中温热水	40—60
		高温热水	60—100
液—气相	过热水	低温过热水	>100
		高温过热水	>374（水的临界温度）

既然地下热水大部分是来自深循环的地下水，那么它的动态变化应该是比较稳定的。但许多温泉表现了与气候变化一致的动

态特征。这可能是由于：一、地下热水由深部上升的途中受到上部地下水混合的影响；二、可变温度带的影响等。

由于地球内部的热能使地下热水具有各种不同的温度，所以水温直接反映了地壳的地热状态。对水平或倾斜较缓的含水层来说，地下热水渗透的速度较小，一般水温与围岩温度处于相对平衡状态，形成地壳的正常地热状态。但在一些断裂及构造破碎带

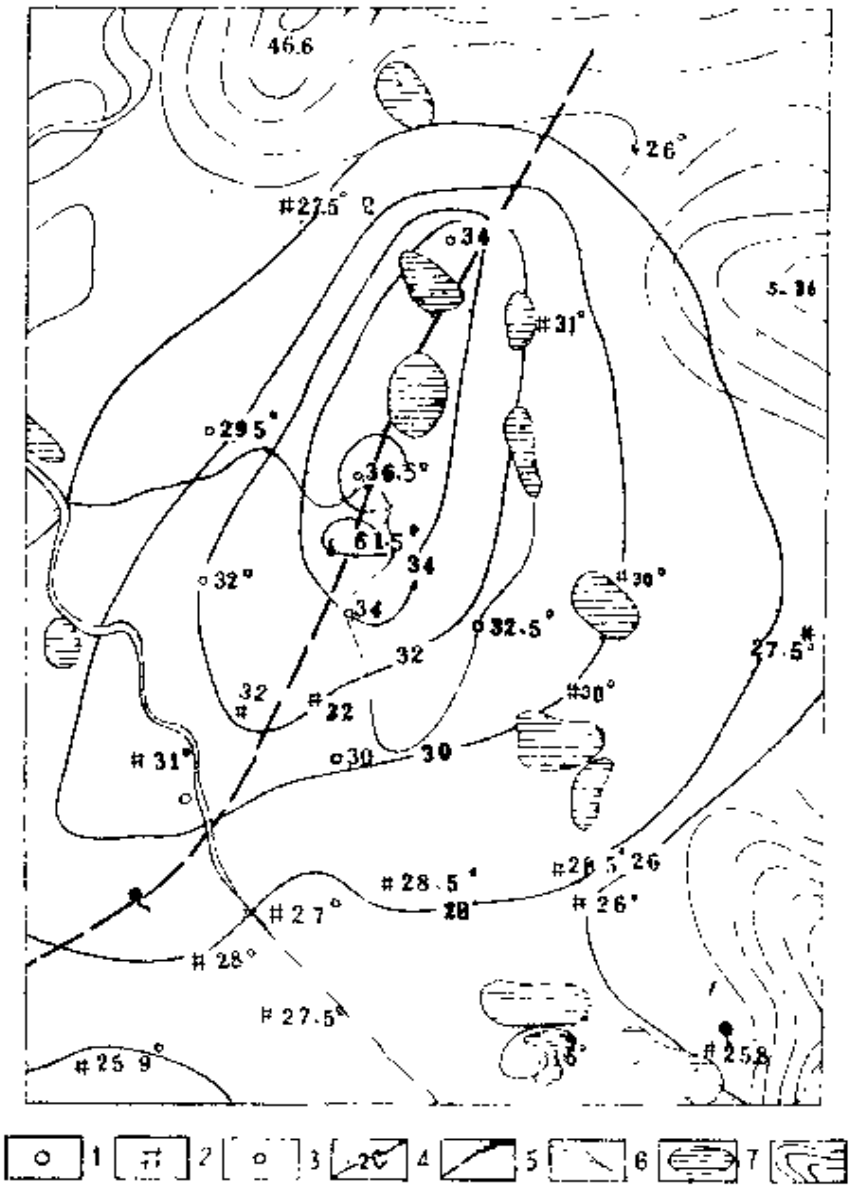


图 6—3　广东某地热异常区浅层地下水等温线图

1—钻孔；2—浅井；3—泉；4—浅层地下水等温线；5—断层；6—河流；7—池塘；8—地形等高线（等高距 5 米）

地区，地下水循环通道良好，上升的速度较快，水温来不及适应上部围岩的温度。由于热的传导不断将其热量向地表扩散，形成地热异常。因此，通过测温勘探，测量地下一定深度井孔温度，作等温线图或地热梯度等值线图，就可以圈出地热异常带，从而大致推断地下热水分布的范围和高温地下热水分布的地段（图6—3）。

地下热水在地壳中运动，经历着不同地质、地球化学环境，发生各种地质、地球化学及生物作用，构成了区别于一般地下水的水文地球化学特征。

在结晶岩地区，由大气降水渗透到地壳深部而形成的地下热水，多属微矿化热水，矿化度一般小于1克/升，常呈碱性反应，钠离子含量较高。硅酸、氟和氡可作为这类热水的标性元素。例如陕西兰田汤峪和眉县西汤浴的温泉。

硅酸盐的溶解度一般随深度的增高而增大，因此地下水中硅酸的含量常常与温度成正比。硅酸是弱酸，离解很弱，水中 OH^- 比 H^+ 要多，因而水呈碱性。氟和钠在地下热水中的富集与介质的pH值以及热水对结晶岩的溶滤有关。在结晶岩中循环的地下水，只能沿裂隙及断裂运动，同岩石的接触面积不大，不能使岩石大量溶解，所以矿化度一般较低。

沉积岩发育地区的自流盆地地下热水，其水文地球化学作用，主要是离子交替吸附作用，浓缩作用，生物化学作用以及在盆地边缘地区发生的与大气降水混合的淡化作用等。这一类地下热水往往具有较高的矿化度，同时含有多量的溴、碘、硼、锂、锶、钡等微量元素，成为这一类型地下热水的水文地球化学特征。

此外，地下热水中存在着多种不同成因的气体。按其起源，可分四类：

（1）生物化学起源的气体：CH_4、CO_2、N_2、H_2S、H_2、O_2 等。

（2）大气起源的气体：N_2，O_2 及惰性气体等。

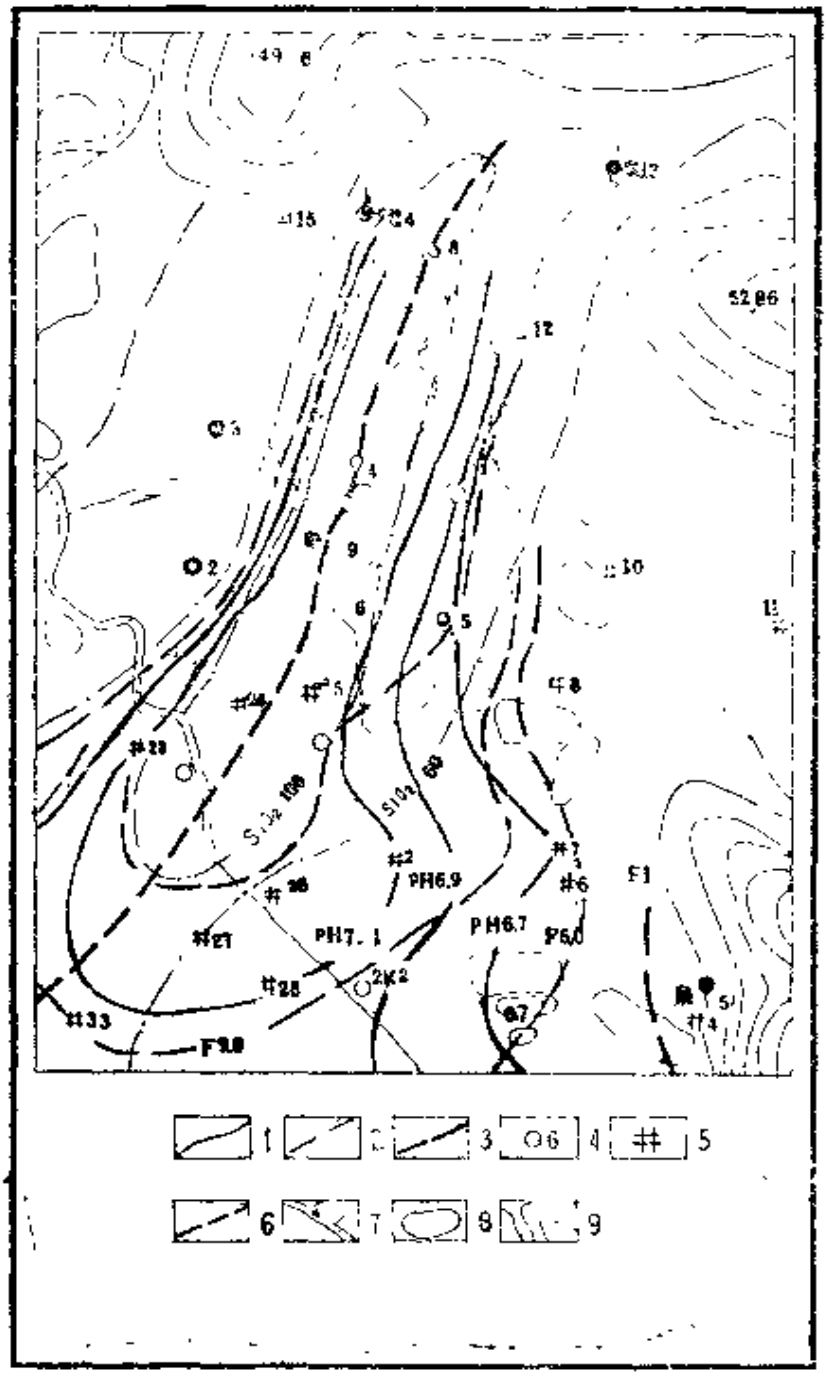


图 6—4　广东某地热区地下水F、SiO_2含量及pH值与地下热水分布关系图

1—pH值等值线；2—二氧化硅（SiO_2）含量等值线；3—氟离子（F）含量等值线；4—钻孔；5—民井；6—断层；7—河流；8—湖塘；9—地形等高线（等高距5米）

（3）化学起源的气体：CO_2、H_2S、H_2、CO、N_2、HCl、HF、NH_3等。

（4）放射性起源的气体：He、Rn等。

地下热水中的气体含量，除了决定于各种气体本身的化学性质之外，还取决于许多原因，如周围介质中气体的压力，温度条件，水中其它溶解物质及生物的存在等。

利用地下热水特殊的水文化学特征，进行水文地球化学勘探，寻找出地下热水的标性元素。例如某些微量元素，放射性元素及气体成分，某些高含量组分如钠、SO_4^{-2}离子或pH值以及一些组分的比值如Cl/F、Cl/Br、Na/K、Na/Ca、Ca/Mg等，确定其在地热区的组合特征，以圈出地热分布范围（图6—4）。

第三节　中国的地下热水资源

温泉是地下热水的天然露头。据不完全统计，我国已发现的温泉（包括少数钻孔）有二千余处。其分布与各种主要构造体系，特别是与新华夏、歹字型、山字型等扭动构造体系的活动断裂构造形影相随。岩浆活动在地下热水形成方面也起着重要作用。

新华夏构造体系控制的热水主要分布在我国东部地区。西部地区的热水则属康藏歹字型构造体系控制范围。其次，巨型山字型构造体系，东西向构造体系及各种构造体系的复合部位，对某些地区的地下热水有一定的控制作用。

新华夏构造体系，主要出现在中国东部地区。其主体是由北北东走向的几条隆起带和沉降带所构成。在这些隆起带和沉降带及其邻近地区，走向北北东的褶皱带以及与该褶皱带有密切联系的不同性质的活动性断裂，极为发育。

在其隆起带，构造具有更大的活动性，温泉大量涌现，构成中国东部三条温泉密集带（表6—2）。其中台湾和东南沿海广东、福建等省，沿新华夏方向形成密集的活动性断裂构造，而且岩浆活动频繁，成为我国温泉分布最多的地区。仅台湾、福建、广东

和江西四省温泉的总数达525处之多，约占全国温泉总数的27%。其中60℃以上的温泉112处，约占全国已知60℃以上温泉的47%。从表（6—2）可以看出新华夏构造体系第一、二隆起带温泉的数量和温度均超过第三隆起带。这种分布规律与新华夏系构造体系在中国表现的所谓“东强西弱”的特点是一致的。

新华夏构造体系隆起带温泉之温度统计表　　表 6—2

构造体系	主要分布区	温度状况及数量				合计
		20—40℃	41—60℃	>60℃	温度不详	
第一隆起带	台湾	11	26	19	46	102
第二隆起带	长白山、辽东半岛、山东半岛、福建、江西、广东	113	217	126	162	618
第三隆起带	冀热山地、太行山、秦岭东段、川东、黔东	75	83	36	190	384

新华夏构造体系的沉降带，同样蕴藏着丰富的地下热水，只是由于被新生代巨厚沉积物所覆盖，使地下热水不能以温泉的形式直接出露地表。近年来在这些沉降带的石油地质勘探中，不断揭露到地下热水。如第二沉降带的三个钻孔：孔深800米，水温52.4℃；孔深900米，水温54.7℃；孔深3000米，水温97℃。第三沉降带的某钻孔深2900米，水温89℃，等等若干地下热水井。

整个中国东部的地下热水，就是呈带状蕴藏在上述一系列的隆起带和沉降带中，这反映出新华夏构造体系控制着中国东部地下热水的形成和分布。

康藏歹字型构造，是出现在中国西部的一个巨型旋卷构造体系。其头部所影响的西藏东部、川藏间“横断山脉”地区，以及云南西北部和青海等地，在发育有曲度极为显著的强烈褶皱带，及大规模横冲与逆掩断层之处，都有较多的温泉涌现。例如雅鲁藏布江分布的高温喷泉。四川西部的康定地区，沿南北向构造带有8处温泉[3]（水温最高85℃）。在这个歹字型构造的中部，从云南西北部往南与南北向构造带复合，形成近南北向分布的三条温泉密集带，共有300余处温泉。其中断裂发育的洱海地区温泉最

多。腾冲一带是一个构造隆起带，岩浆岩广泛分布，晚近期曾有强烈的火山喷发活动，此处温泉簇涌，温度极高，形成高热喷泉和喷气孔。在云南东部，南北向构造与云南山字型构造复合，形成一系列地地热异常带。这里温泉分布受近南北向区域构造控制极为明显，如巧家、东川、嵩明、宜良、登江、江川、华宁等地都有温泉分布。

巨型山字型构造对某些地区地下热水也有一定控制作用。它们往往与东西复杂构造带联合控制地下热水的分布。以淮阳山字型构造体系为例（图 6—5），它位于秦岭东段以南，横跨苏、皖、鄂三省，在其主要构造部位展布着一系列温泉。如位于前弧部位的湖北钟祥温泉（41℃）、京山温泉（41℃）、应城温泉（71℃）和安徽的舒城西汤温泉(62℃)，岳西温泉(60℃)，巢县温泉(62℃)等；位于脊柱部位的河南省商城温泉（60℃）、湖北省英山温泉（62℃）、罗田温泉（41℃）等；以及反射弧部位的湖北保康温泉（31℃）、房县温泉（730℃）和江苏的南京汤山温泉（60℃）、江蒲温泉（50℃）等等。

构造体系的复合和干扰，特别是新华夏构造体系对其他构造体系的干扰，形成了不同构造体系复合或联合现象。这些地区或地段，由于各种应力作用的集中和强化，断裂构造相当发育，从而构成了地下热水的良好通道，使这些地方成为温泉集中涌现的地段。例如河北省怀来、赤城、延庆、丰宁、蔚县等地下热水区，至少有三个构造体系在这一带相复合，即祁吕贺兰山字型构造体系东翼反射弧，阴山东西构造带的南缘和太行山新华夏系构造的北端。由于它们的复合，地质构造复杂，地层破碎，造成地下热水在这里大量涌现。其中后郝窑地段于 40—100 米的深度内，可以普遍的揭露到70—85℃的地下热水。前已述及的云南温泉分布情况也是明显的例证。

在讨论构造体系与我国地下热水形成分布的关系时，还须指出不同等级构造对地下热水的分级控制作用。以新华夏构造体系为例，如前所述，其第一级构造（北北东走向的断裂）对我国东

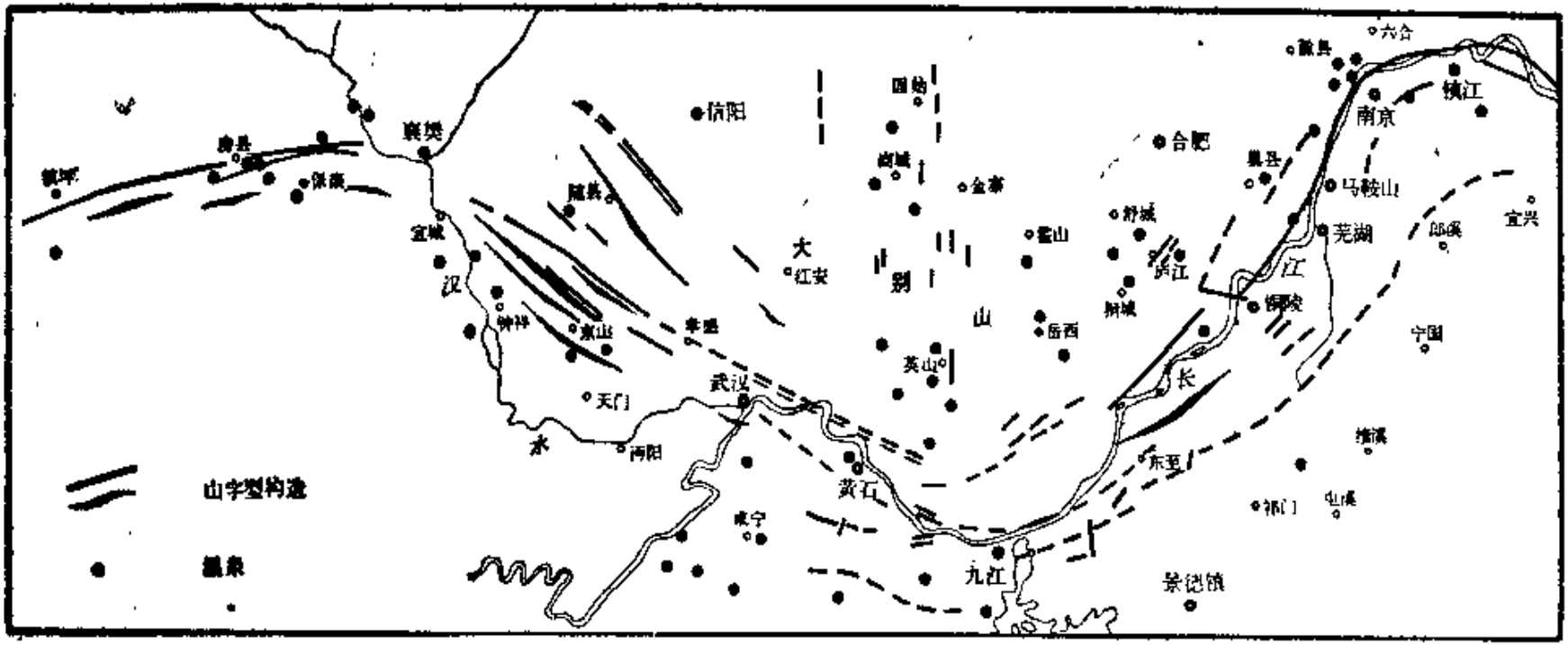


图 6—5　淮阳山字型构造与温泉分布关系图

部地下热水的分布起区域性控制作用。而在这一地区的局部地段温泉分布方向，未必与第一构造线方向一致，往往是它的次一级或再次一级构造支配着地下热水的主要通道。

如广东省东部的莲花山断裂带分布着十余处温泉，区域断裂方向为北北东，而每处温泉的排列方向则多受次一级断裂所控制（图6－6）。

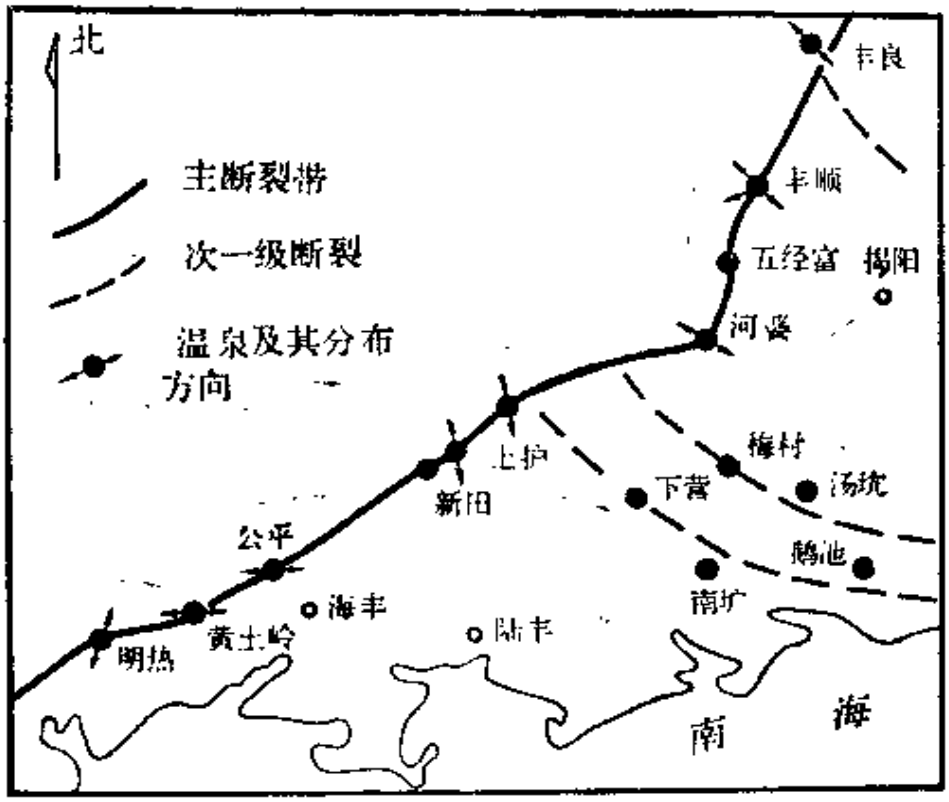


图 6—6　广东莲花山断裂带温泉分布示意图

前面叙述了巨型扭动构造体系对我国地下热水分布规律的控制作用。值得注意的是，岩浆活动对于控制地下热水分布、特别是对于形成地下热水的热源和循环通道，有着不可忽视的作用。

在构造活动比较剧烈的地区，往往有火成岩的侵入，其分布受构造体系所控制。中国东部地区，随着燕山期隆起和沉降格局的发生和发展，岩浆活动非常频繁。与新华夏构造体系的隆起带和沉降带格局相对应，均有北北东走向的多期岩浆岩侵入及火山岩喷发活动。这些岩体的形状虽然是多种多样的，但总的方向是

受新华夏构造体系的控制。说明卷入一个构造体系的火成岩，由于地壳表层构造运动以及岩浆本身的凝结作用，造成裂隙或裂口而从深部冒出，为地下热水出露地表造成良好条件。在新华夏构造体系隆起区，如长白山、辽东半岛、山东半岛、东南沿海广东、福建等地，均有强烈的燕山期中酸性岩浆岩活动，沿这些巨型花岗岩体一般都有大量温泉涌现。广东省的巨型花岗岩体大多沿北北东向新华夏系断裂侵入分布，以燕山期中酸性花岗岩为主。在大东山等8处岩基式的大岩体边缘，共有83处温泉，约占全省温泉总数的39.34%。其中粤北地区的大东山、连阳、诸广山和贵东岩体，形状整齐，温泉明显地沿接触带出露。在沉降带也有较强的基性岩浆活动。位于华北平原沉降带的天津地下热水区，发现黄骅复向斜内晚近期曾有多次火山岩喷发活动。在南部和中部也有中新生代的火山岩断续分布。这说明岩浆活动对沉降带地热异常区的形成是有影响的。

根据分析结果，火成岩的放射性元素含量最高，它在衰变时所释放的热能对于形成地下热水的热源起着重要作用。至于这种热源在各类型地下热水热源形成中所占的地位如何，有待进一步研究。

综前所述，我国地下热水的分布规律，严格受地质构造，特别是巨型扭动类型构造体系的控制，与岩浆岩侵入也有关系。

二、地下热水基本类型及其主要特征

根据地下热水形成的地质作用及其所赋存的地质构造形态，将我国地下热水划分为三大基本类型，即隆起带地下热水；沉降带地下热水；近期岩浆活动带地下热水。

（一）隆起带地下热水

在我国多数隆起带都是由结晶岩和古生代经受了不同程度变质的致密岩层所组成。反映在地热状态上，属于地热梯度低值区，介于0.25℃/100米—2.5℃/100米。构成局部地热异常的因素，主要是沿活动性断裂分布的地下热水（温泉）和近期岩浆活动。地下热水主要是现代大气降水经深部渗透循环，然后在适宜

的条件下沿着导水的构造裂隙流至地表，形成承压裂隙状地下热水——温泉。水的交替、循环作用比较强烈。

因为这类地下热水参与自然界中水的总循环，其水文地球化学作用主要是溶滤作用。水的化学成分主要决定于地下热水循环途径的岩石性质和成分。

典型的微矿化重碳酸盐类型地下热水，多出现在花岗岩类岩石（尤其是燕山期花岗岩）地区。水中有含量较高的放射性氡、硅酸及氟等。如广东省出露在花岗岩体（或附近）的83处温泉，绝大部分属重碳酸盐类型水，矿化度 0.2—0.4 克/升，水中氟含量大多在10—20毫克/升，硅酸含量一般在 100 毫克/升，最高达250—300 毫克/升，多数温泉含氡 5—10 马海，最高达 100 马海以上。

在沿海地带，当第四纪海侵残留的高矿化埋藏水以及现代海水通过一定的地质构造及水文地质条件与现代大气深循环水混合后，可形成中等矿化的氯化物类型热水。水的矿化度为1—10克/升，含有溴、碘等微量元素。

灰岩及煤系地层分布区，往往形成硫酸盐及重碳酸盐——硫酸盐类型地下热水，其矿化度较花岗岩地区的地下热水略有增加的趋势。如滇东地区的温泉，从岩性来看绝大多数分布于石灰岩和白云岩等可溶性岩层中。

广东省东部地区温泉水化学类型比较齐全，提供了隆起带地下热水水文地球化学特征的典型例证（图6—7）。

隆起带地下热水点比较分散，可在医疗、全民办电、农副业等方面统筹利用。

（二）沉降带地下热水

主要指中国东部新华夏构造体系沉降带中有中新生代沉积的大型盆地而言。至于西部地区的塔里木、准噶尔及柴达木盆地，由于工作较少，对那里地下热水的特点尚未掌握。沉降带都被巨厚的沉积物所覆盖，反映在地热状态上属于地热梯度高值或正常值区，介于2.0℃/100米—4.7℃/100米。构成局部地热异常的因

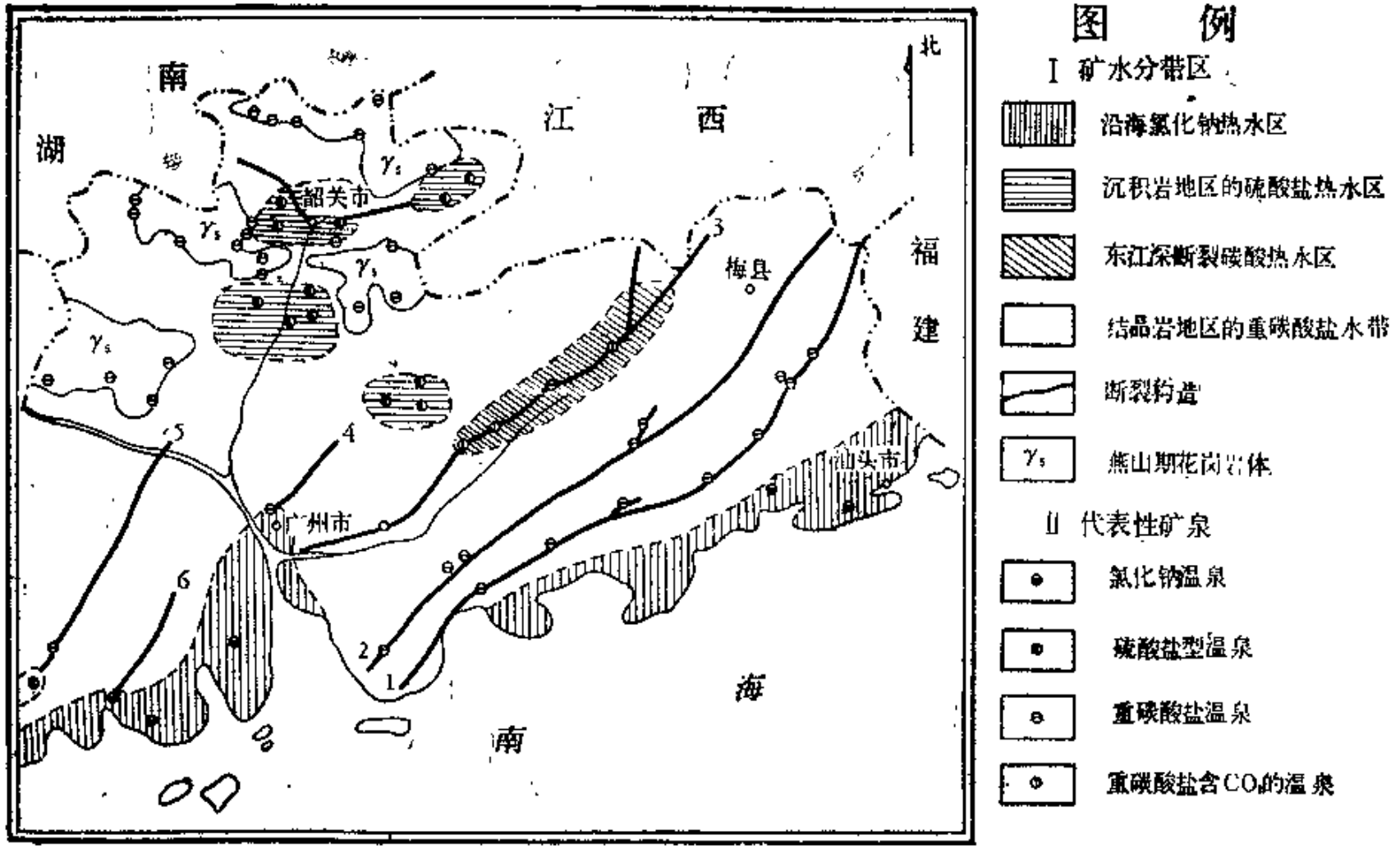


图 6—7　广东东部地区温泉分布示意图

素，主要是新生代沉积厚度及其岩相变化情况，以及地下构造状态。天津地区覆盖层凸起和凹陷部位所表现的热流密度有明显的差异。凸起部位的地热梯度高达6—7℃/100米，而相邻的凹陷部位则为2—3℃/100米。地下热水的补给来源，除大气降水外，尚有部分埋藏水。在沉降带与隆起的过渡地带，其补给来源主要是大气降水，水的交替循环作用也相对的强烈一些。

其分布往往与油气田有密切关系。根据100余眼深井资料，水中含有多量的硼（100—3595毫克/升）、溴（92—1977毫克/升）、碘（6—69毫克/升）、锂（48—208毫克/升）、铯（2.5—16.8毫克/升）、锶（56—1340毫克/升）等工业原料。具有较高的矿化度，最高可达300克/升。水化学类型一般为氯化物水。在沉降带的边缘地区也有低矿化的重酸盐型地下热水，如北京、天津的地下热水。

本带往往是大工业区和大城市的所在地，在城市供热、民用和提取工业原料等方面，都有较大的用途。

（三）近期岩浆活动带地下热水

这是近期岩浆活动造成的特殊类型地下热水。来自地壳内高热熔岩构成了这些地区的地热异常，在火山口附近温泉成群出现，温度极高，如云南腾冲火山带温泉。雷州半岛和海南岛北部的第三系中有厚达180米的几层火山岩，说明第四纪火山活动频繁。岩浆活动使雷琼地区形成明显的地热异常带及独特的水文地球化学特征。地热增温级达16—26米/℃，一般孔深达300—450米均可揭露到35—50℃的地下热水。在类似上述地质条件的近期岩浆活动地区（如山西大同等地）是可能蕴藏这类地下热水的远景地区。

水化学成分主要取决于水文地质条件。当气体进入结晶岩地区的浅层地下水时，富集碳酸气即可形成低矿化的，水温较低的重碳酸盐类型水（如黑龙江省五大莲池、甘肃省肃南白浪沟等温泉）；当气体进入海相成因的地下水或循环于深部的高矿化水时，就可形成氯化物或成分复杂的地下热水，如云南腾冲、台湾火山

温泉。

本带是高能位地下热水开发利用的远景地区，对水中特殊组分的研究和提取也是极需重视的。

第四节　怎样寻找地下热水

调查地下热水的目的是，查明地下热水的补给、循环、排泄及出露地表的条件；地下热水的水化学特征，储量和其它指标的评价；理想的热水开采地段和合理的采水深度；地下热水动态及其与一般地下水的关系等。为合理开发利用地下热水提供地质依据。

地下热水的调查方法，目前在我们国家经常采用的有：地质、水文地质、水文地球化学、测温、地球物理及钻探工作等。但是其中一些工作内容与一般水文地质工作是相同的。为了避免重复，这里只介绍调查地下热水的特殊方法。

一、寻找地下热水的一些标志

在地下热水的地质普查勘探工作中，要注意向当地群众调查，吸取他们在长期生产斗争中所积累的寻找地下热水的丰富经验。

（一）地名

我国很多地名起源于当地的热泉，如温泉，温汤、暖泉、汤池、汤山、汤坑、热水、热泉、药泉等等。

（二）地植物和农作物的生长情况

植物的生产离不开地下水，不同水质与水温的地下水，对植物的生长条件有显著的影响，时常可以从植物的外貌清楚的反映出来。例如，河北省东部的遵化县马兰峪温泉一带地下热水分布地段，据群众介绍，1955年春天，栽种了数百棵柳树苗，树苗的大小和栽种条件基本相同。过了两年左右，其生长速度有了明显的差别。在靠近温泉附近的范围内（约有0.4平方公里）的柳树，长的又粗又大（高约7—8米，根部树干直径达14—16厘米），

而在这个范围以外的柳树，则与其它地区的柳树差不多（高约4—5米，根部直径7—8厘米）。从远处看高低分明，而且高大者更显得枝叶翠绿。这显然是与地下热水的作用有关。

在河北秦皇岛热水头和汤泉寺温泉、平山温扩热泉等地区，根据稻田等农作物的生长情况，并配合其他方法圈定了地下热水的分布范围。

（三）积雪动态

当地下热水埋藏不太深时，由于近地表的地温比较高，可以直接改变地表的小气候，特别在北方冬季降雪时，有地下热水分布的地方，积雪很快就会融化掉。如山东省招远地下热水勘探工作中，矿区的热异常就是用这种方法圈定的。

（四）地方病症

地下热水中一般都含有特殊的化学元素，其中有些有害元素超过一定含量时，往往饮用它就可能产生不同的病症，甚至会形成局部性的地方病区。例如河北东部长城北的冷口温泉，附近有四个村庄，恰好位于与温泉出露有关的玢岩分布区。这些村庄中的群众，只要是从小生长在当地长期饮用含氟地下热水，一般都患有氟斑齿症。这种现象在相距不远的另外几个村庄就没有了，可借此圈定地下热水的分布范围。

二、测温普查

测温普查对寻找地下热水有着重要意义。热异常的调查能够把隐伏很深的热水探查出来。

地下热水的温度取决于地热条件与地区的气候条件，并与该地的地质构造特征、地下水排泄条件、岩层的含水性等有密切关系。隐伏于覆盖层下面的含水层和构造破碎带中的地下热水，由于热的传导作用而不断将其热量向地表扩散。因此，通过地表以下一定深度的温度测量和天然热流量的测定，就可以圈定出地热异常带，从而大致推断地下热水的分布范围和高温地下热水的分布地段。实践证明，该方法与水文地球化学、物探等方法配合使用，是普查勘探地下热水比较有效的方法。其总费用只占钻探费

用的一小部分，可以大大节约勘探费用。

（一）直接测温

测温点的选择，可直接利用水文地球化学勘探的取样点。如果勘探区的地下水埋藏较深，不一定要求打到地下水再测温，可以按一米或两米的深度进行测温即可。如河北省平山温塘地热区，利用一米深的温度测量圈定了地热异常带。在有地下热水出露的地区，即使深度很浅也有明显的地热异常显示。如广东丰顺县邓屋地热区的实际测温证明，甚至地表以下几十厘米深的地温测量，在测温剖面上也有很好的地热异常反映。

上部覆盖有导热性较差的岩层，测温效果可能受到一定的影响。如湖南宁乡县灰汤地热区，花岗岩上部覆盖有较厚的第三纪砂砾岩，其透水性及导热性均较差。测热调查结果，除在泉水出露附近有明显的反映外，其它地段（已被其他勘探方法证明下部有地下热水）则不很明显。在这样一些地区进行测温勘探，就要求适当增加测温深度才能达到较好的效果，并配以其他的勘探方法。

在地表没有地热异常显示的覆盖层较厚的地区寻找和勘探地下热水，测温深度同样应该大些。如能在常温带以及下测温会有更好的效果。

将测温资料进行整理后，即可绘制调查区的同一深度或同一含水层的平面等温线图和水文地质等温剖面图（图6—8）等图件。在等温闭合线的范围内和剖面的峰部，一般是埋藏地下热水最有希望的地段。特别是等温剖面图能清晰表明地下热水埋藏和运动特征，[9]并可直接指示出未来获得最理想地下热水的地段。

在广东邓屋地热区，曾分别进行过浅部、[9]50米和100米等不同深度的地温测量。从平面等温线图（图6—9）可知，三种深度所表现的温度分布特征基本是一致的。这说明在地下热水分布地区，采用浅部温度测量圈定地热异常和反映地热场的情况，是有明显效果的。所以在打深孔以前，能打一些浅孔（或利用已有的井孔）进行测温调查以圈定地热异常带，是地热调查的一种既直

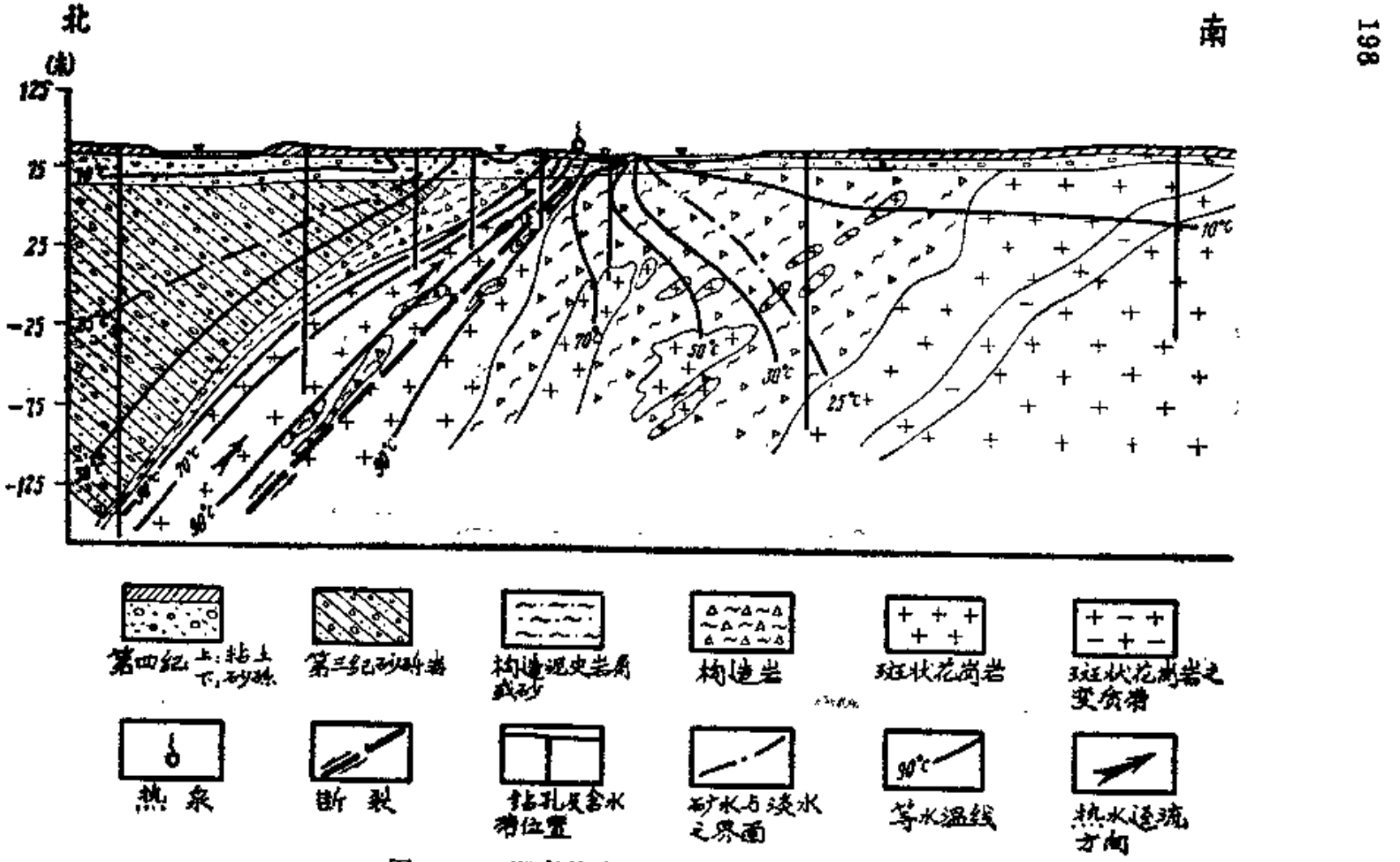


图 6—8　湖南某地热区等水温剖面图

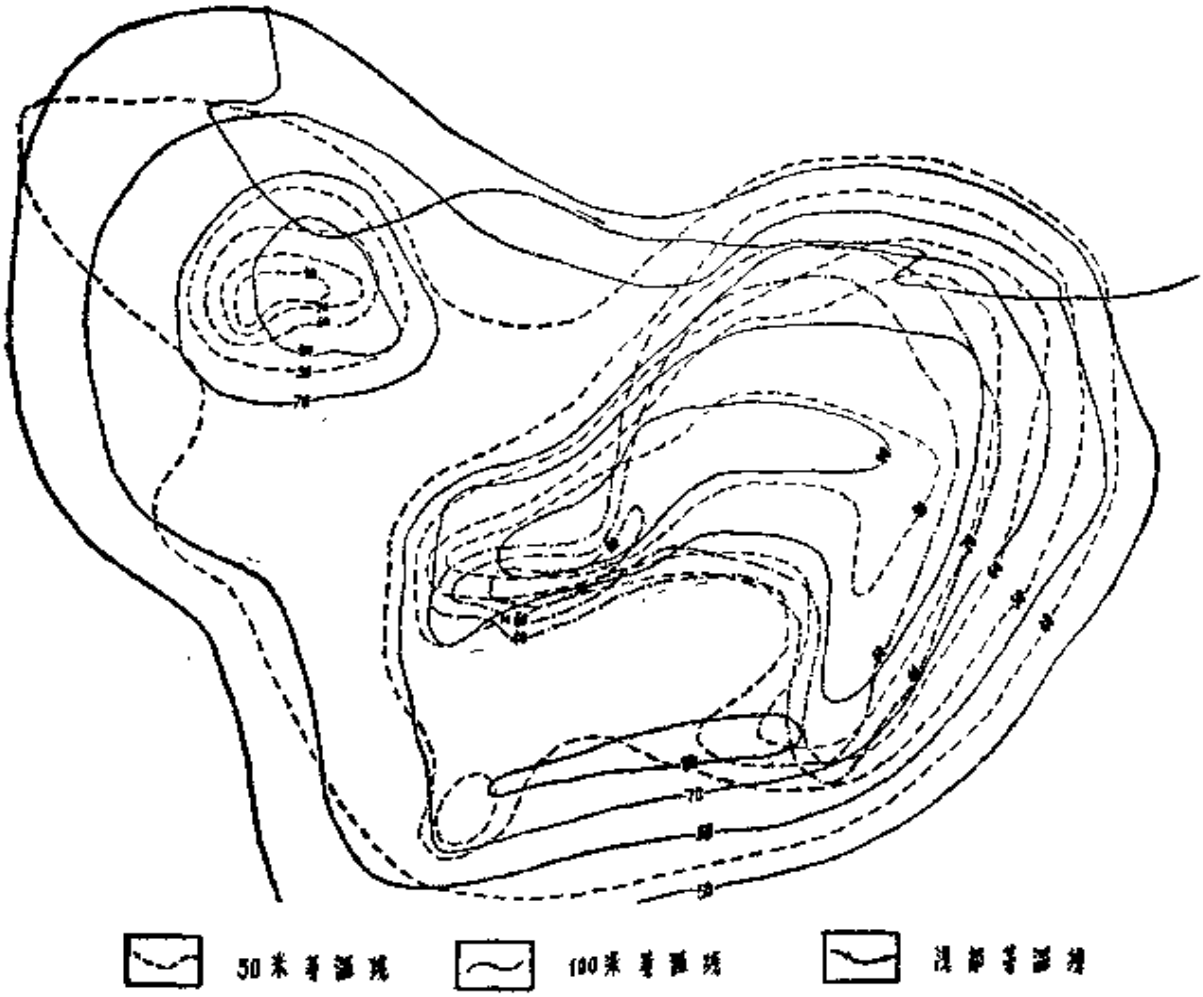


图 6—9　广东邓屋地热区等温线图

观又有效的方法之一。

为减少和避免气候因素的影响，浅井的测温工作，最好能在大致同一时间完成，应尽可能在夜间或早上进行。如在城市测温，还要特别注意工业热水管道、锅炉等人为热源对地温的影响，这些情况将会造成假的地热异常。

（二）热测井

在勘探地下热水的每个钻孔中都必须进行系统的温度测量，以便取得确定地热梯度和绘制每个钻孔剖面地温曲线所必需的资料。

在钻进的钻孔中所测的温度，有时大大不同于相应深度岩

层的天然温度，由停钻至测量温度经过的时间越短，这个差别就越大。由于对流与扩散等原因，甚至在长期停钻之后仍然与岩层的真实温度有差别。所以，要取得天然温度随深度连续变化的资料，最好在停钻一段时间后再进行测温。

利用钻孔测温资料，可按下列公式计算出地热陡度（地热增温级）：

$$G=\frac{H-h}{T-t}$$

式中：G—地热陡度，米/℃；

T—在深度H处的实测温度；

t—常温带温度；

h—常温带深度；

H—测量深度。

为了获得更准确的地热陡度，最好在钻孔中，每隔一定深度（例如 10—20 米）进行测温，这样可以得到连续的温度曲线。

有了这些资料，就可以计算出地热梯度值（地热增温率）：

$$K=\frac{T-t}{H-h}$$

式中各项同上。

测温工作，除在专门钻孔中进行外，还要利用其它井孔。在城市由于这些井孔的利用目的不同，往往没有测温资料，即使有少量测温资料也不够准确。在利用这资料时要具体情况具体分析。在选择测量深度（H）和测量温度时，天津是按下列原则进行的：

1．对混合抽水测温时的深度（H）计算：

$$H=H_1+\frac{H_2-H_1}{2}\text{(米)}$$

式中：H_1—最上层滤水管顶深（即最上含水层顶板）

H_2—最下层滤水管底深（即最下含水层底板）。

2．对分层抽水测温时的深度（H）计算：

$$H = H_1 + \frac{H_2 - H_1}{2}\text{（米）；}$$

式中，H_1—最下含水层顶板深度；

H_2—最下含水层底板深度；

既有分层测温资料，又有混合抽水测温资料，则以混合测温为准。

有了深度（H）值，即可按公式计算出该点的地热梯度（K）值。然后在平面图上绘制K值等值线图，并与正常的地热梯度值比较，结合地质条件和其它方法圈出地热异常区。

（三）地表热流量测定

用这个方法的目的，在于确定调查区的天然热流量，并进而找出这个地区单位面积热流量的异常区。此方法目前在我国地下热水勘探工作中尚未广泛使用，下面予以简单介绍。

要精确测定出整个工作区的地表热流量是比较困难的，但可以对每一个观察到的热特征的热流量进行估算。散发热量的途径一般有下列几个方面：

1．地下热水（汽）的直接排出量；

2．地表水面的蒸发和辐射；

3．地表面的热辐射；

4．地下渗流；等等。

根据热流量的测定结果，做出地热特征图件，经过对比而划分出热流密度的高强度地段，即是地热异常带。

因为地下热水分布地区的地温，不但与气温，地热条件有关，而且与地表温度，常温带温度、地区海拔高度、坡向、植被，水文地质条件等因素也有密切关系。所测温度往往是所有这些因素的综合反映，这就在一定程度上歪曲了地热场的真实情况。所以，圈定地热异常应与其它方法所取得的资料进行综合分析对比，这样才能取得比较满意的结果。

三、进行水化学调查

水文地球化学方法，就是通过地下热水分布区的水文地球化

学特征的研究而圈定地热异常区。

在不同的地质条件下形成的地下热水，都有其特殊的化学组成。它们和当地浅层冷水有明显的区别。例如我国东部地壳断裂运动活跃的花岗岩或片麻岩中形成的地下热水，其矿化度较低，每升水中所含的各种离子多小于 1 克；PH 值大多在 7.5—8.5 之间，呈碱性反映；水中氟离子含量 3—10 毫克/升以上，可溶性硅酸的含量 20—100 毫克/升以上；水中逸出气体以氮气为主，形成所谓“氮气硅酸水”。上面所列举的这些成分，可以认为是这类地下热水的“标志组分”。尤其是氟离子和可溶性硅酸，它们是高温条件下热水溶滤火成岩和变质岩的产物，其含量与温度高低有明显的对应关系。如怀来盆地的几个地热异常区，当地冷水中氟离子含量都小于 1 毫克/升，可溶性硅酸的含量在 10—20 毫克/升以下；而热水中氟离子含量在 3—5 毫升/升至 10 毫克/升以上，可溶性硅酸的含量在 40—100 毫克/升以上。

其它类型的地下热水也各有不同的化学特征。因此，在寻找地下热水时应该进行水化学普查，找出反映当地地下热水的“标志组份”。“标志组份”的存在与否，含量高低，能够给我们提供寻地下热水的重要线索。

水化学调查就是通过取样，分析获得有关的水化学资料，编制各种水化学平面图、水化学剖面图及各种水化学曲线图，然后根据这些图件与其他方法所获得的成果，进行综合对比而找出异常。

四、地球物理勘探

近年来在普查勘探地下热水的工作中，地球物理勘探方法得到广泛的应用。地球物理勘探的任务是，确定与地下热水有关的地质构造，火成岩体的分布、规模和性质，查明各种断裂方向和性质，查明第四纪覆盖层各含水层的水文地质特征，判断地下热水的分布与埋藏状况等。

在地下热水勘探中常用的方法有电法、磁法、重力法、地震法和红外线法等。地球物理勘探方法，是项专门性的勘探方法，

不拟在这里一一介绍。只简单地介绍一下电法在勘探地下热水中的应用。

实践证明，电法不仅能查明一般的地质构造条件，而且在某些情况下能直接帮助我们查明地下热水的分布与埋藏状况。这是因为，在富集热水的地层中，土壤、岩石和热水本身都有较高的温度，加上地下热水的矿化度一般均高于冷水，因此在这类地区进行电法勘探时，所测得视电阻率（指测量地点地下某一深度内

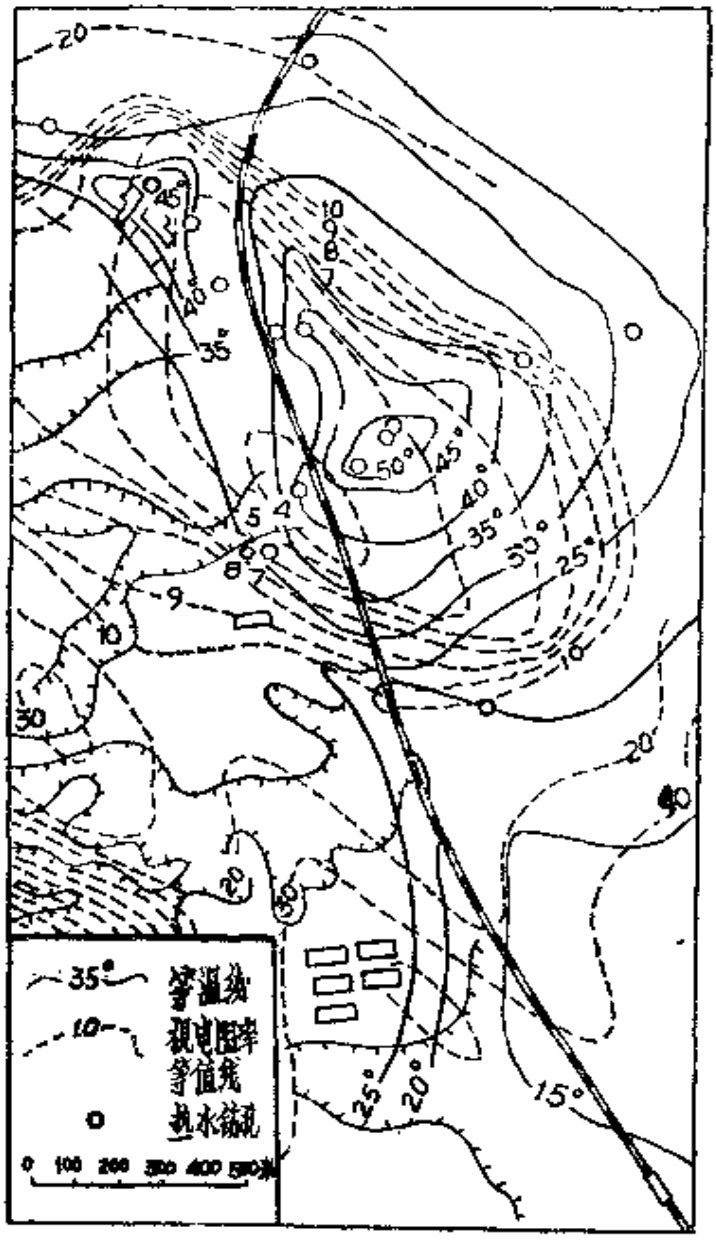


图 6—10　怀来某热水电视电阻率等值线与浅层地下水等温线图

各种岩石和水综合形成的电阻率)均显著降低。图6—10为怀来盆地某热田的视电阻率等值线和浅层地下水的等温线。钻探结果表明，图中视电阻率愈低的地方正是高温热水埋藏较浅的地方。在电法勘探地下热水时，视电阻率的绝对值本身没有特别重要意义，关键在于找出视电阻率变化和地下水温度高低之间的关系。

综上所述，寻找地下热水时，应该把普查地热异常现象、井、孔温度测量、水化学调查和各种地球物理勘探方法结合起来，互相补充和配合。经过初步普查工作，对各种材料进行综合分析后，在有希望的地区进行钻探。钻探是查明地下热水分布和储存条件的基本手段。

第五节　地下热水综合利用简介

利用地下热能的主要途径之一，是把地下热能转化为电能，即利用地热发电，它既不用锅炉和燃料，又不污染空气，也不象原子能发电那样具有放射性危害，同时成本低廉。它可以就地取能，分散隐蔽地建立在地下，适应于战备需要。在燃料缺乏的高寒地区，对于国防供水，山区农村电气化具有重要意义。

目前国外大多是在火山地区，直接利用高温(达200—300℃)、高压（达10巴）地下蒸汽发电。而我国多为100℃以下的中低温热水，这就要求我们根据我国具体情况，探索综合利用的新路子。我国已于1970年在广东某地建起了第一座试验电站，利用100℃左右的地下热水，采用减压扩容法进行发电成功。同时天津地热会战指挥部还试验成功了中间介质发电，利用60℃的地下热水。河北怀来地热调查组，于1971年国庆节前夕建立了我国第一座中间介质（氯乙烷）地热电站。

地下热水还可以用来供热取暖。许多工业部门，如印染、化工、造纸等的许多工艺过程，都需要耗用大量热水，可以直接利用地下热水，或用地下热水向中、低压锅炉补给，可以大量节约煤炭，而且大大减低城市空气污染，安全可靠，既不会有火

灾，也不会发生煤气中毒事故。

地下热水用于农业，前景就更为广阔了。在温带地区用热水育稻、灌溉农田，可以提早成熟，甚至可以实现改单季稻为双季稻，扩大复种面积，增加粮食产量。此外可以利用地下热水温室种菜。也可以把地下热水用于孵化，养鱼、以及农产品的发酵、蒸馏、干燥等方面。

地下热水含有丰富的有用元素和组份，如碘、溴、硼、锂、镁、钽、氨、芒硝、钾盐、重水等，有时含量很高，有极重要的提取价值。因此，可以把地下热水看成是多种成份的矿产。有的地下热水含有不同数量的微量元素和气体成份，有很高的医疗价值。饮用或淋浴，可治疗多种疾病，如关节炎，某些皮肤病等。

总之，地下热水的综合利用是大有可为的。我们相信，在实现四个现代化的过程中，地下热能开发和利用的花朵，定将开遍祖国的大地。

第七章　矿区水文地质

矿区水文地质工作是矿产普查勘探中的一个重要组成部分，是一项专门性的水文地质工作。在发展国民经济建设中有着重要的意义，直接关系到矿产资源的合理开发和人民生命财产的安全。它的任务主要是查明矿床充水因素以及水文地质边界条件，正确预计矿井涌水量，为矿井设计提供防、排、供水所必须的水文地质工程地质资料。

第一节　矿床充水因素

一、矿坑水的来源

矿坑水的来源，是指进入露天采矿场、井筒及坑道开采系统的各种水源。不论是露天采矿场或是坑道开采系统，首先遇到的关系最密切的水源是来自矿层顶底板含水层中的地下水。某些矿体（层）本身就在含水层（体）之中。而含水层中的地下水又是受大气降水及地表水的补给，因此，矿坑水也来源于大气降水及地表水。某些古老矿山同时还来源于废旧的老窑水。

（一）地下水

一个矿床开采矿层时，地下水能否进入矿坑，决定于矿层与含水围岩的接触关系。层状（或似层状）的倾斜(或水平)矿层，矿坑水来源于矿层顶底板含水岩层中的地下水。若是脉状或直立矿层，矿坑水来源于矿层两壁含水岩层中的地下水。根据矿层顶底板和两壁含水岩层和隔水层分布情况，来水的形式有四种：一种是矿层顶板（或一壁）直接与含水岩层接触，中间无隔水层或因隔水层很薄不能起隔水作用，而底板有较厚的能起隔水作用的隔水层阻隔。开采此类矿床时，矿坑水主要来源于矿层顶板

水。第二种是矿层底板（或另一壁）直接与含水岩层接触，矿层与含水岩层之间无隔水层或因隔水层很薄不能起隔水作用，而顶板有较厚的能起隔水作用的隔水层阻隔，开采此类矿床时，矿坑水主要来源于矿层底板水。第三种是矿层产于含水岩层之中，或是矿层顶底板均直接与含水岩层接触，矿层与含水层之间无隔水层或因隔水层较薄不能起隔水作用。开采此类矿床时，矿坑水既来源于顶板水，又来源于底板水。第四种是矿层顶底板(或两壁)均有较厚的隔水层存在，含水层不会造成矿床开采直接充水，但是由于导水断裂破碎带的存在，在开采导水断裂破碎带附近若没有留一定数量的防水矿柱，顶底板含水层中的地下水，可以通过导水断裂破碎带，引起矿坑充水。

这些直接或间接向矿坑充水的含水岩层（简称充水岩层），按其含水空间的情况，可分为孔隙、裂隙、岩溶等三类充水岩层。它各有其特征。

孔隙水水源：直接产于孔隙含水层之中的砂矿床，孔隙水就成为矿坑水的直接充水水源。其它产于基岩中的矿床，覆盖有第四系松散或半胶结的孔隙含水层，此类矿床，孔隙水是属于间接性的充水水源。例如：长江中下游的铁矿和铜矿，大部分都有孔隙含水层覆盖，有的还会严重的影响开采。如河北开滦煤矿，煤田位于滦河冲积扇的分布范围。历史上曾多次因开采引起顶板坍陷透水事故。后来采取保留 40—50 米煤柱，避免了顶部砂砾石层孔隙水向矿坑充水。如果疏松含水层与地表水体有密切的水力联系时，孔隙水水源对矿床开采往往造成严重的威胁。同时由于含水层中有流沙的存在，很多矿区在开采中可能遇流砂冲溃矿坑等不良的工程地质现象，特别是流砂层很厚的露天采矿物，将会引起边坡的崩塌。

裂隙水水源：当坑道揭露含裂隙水的矿体或围岩时，裂隙水便会涌入矿井，造成坑道涌水。裂隙水为矿坑水的主要水源时，其特点，一般的说水压大，水量较小。据我国资料统计，这类矿井每小时涌水量由几立方米到百多立方米，个别由于巨大断裂带

突水，每小时可达几百立方米，极个别超过1000立方米。在裂隙水与其它水源无联系时，多数矿井涌水量会逐渐减少，当裂隙水与其它水源有联系时，则会造成淹井事故。

岩溶水水源：全国已开采的大涌水量矿山，矿坑水的水源均为岩溶水。所以说岩溶充水的矿床，一般的说，具有涌水量大，水量较稳定，矿坑水不易疏干，且常常造成灾害性的溃水淹井事故等特点。一般涌水量每小时大于1000立方米。有些矿区且水压亦很大。因此，开采这类矿床时，应预先进行疏干。

（二）大气降水

大量的生产实际资料证实，大气降水是矿坑充水的主要水源。分布在当地侵蚀基准面以上，特别是地下水面以上分水岭附近的矿床。大气降水就成为矿坑唯一的充水水源。如京西门头沟煤矿，煤层顶板主要为砂质页岩相对隔水岩层，干旱季节开采时，矿坑几乎无水，但在雨季期间，大气降水通过开采裂隙大量涌入矿坑，后来将地表裂隙用粘土充填夯实处理后，矿坑水就减到很少了。

矿坑充水的水源主要为大气降水时，矿坑涌水量具有明显的季节性变化之规律。从许多矿区经过长期观测后，绘制的坑道涌水量与降水量动态观测曲线图中可以看出，矿坑涌水量的增减变化与降水量密切相关，雨季涌水量增加，而到旱季相对地减少。如河北庞家堡铁矿。矿坑涌水量的变化有二个峰值，出现在四月和九月，而该区三、四月为融雪期，七、八月为暴雨期，矿坑涌水量峰值出现的时间比融雪期和降雨期后延半个月至一个月。涌水量变化幅度超过年平均的42%（图7—1）。

矿床的充水程度与降水量多少、降水性质、降水强度和降水延续时间有相应的关系。降水量大和长时间的小雨对渗入有利，坑道涌水量即大，反之即小。在其它条件相似情况下，我国南方矿区，因潮湿多雨，而北方矿区干旱少雨，一般说来南方矿区受降水的影响大于北方矿区。对沿海矿区的影响大于内地矿区。

大气降水渗入量随开采深度的增加而减少；坑道涌水量变化

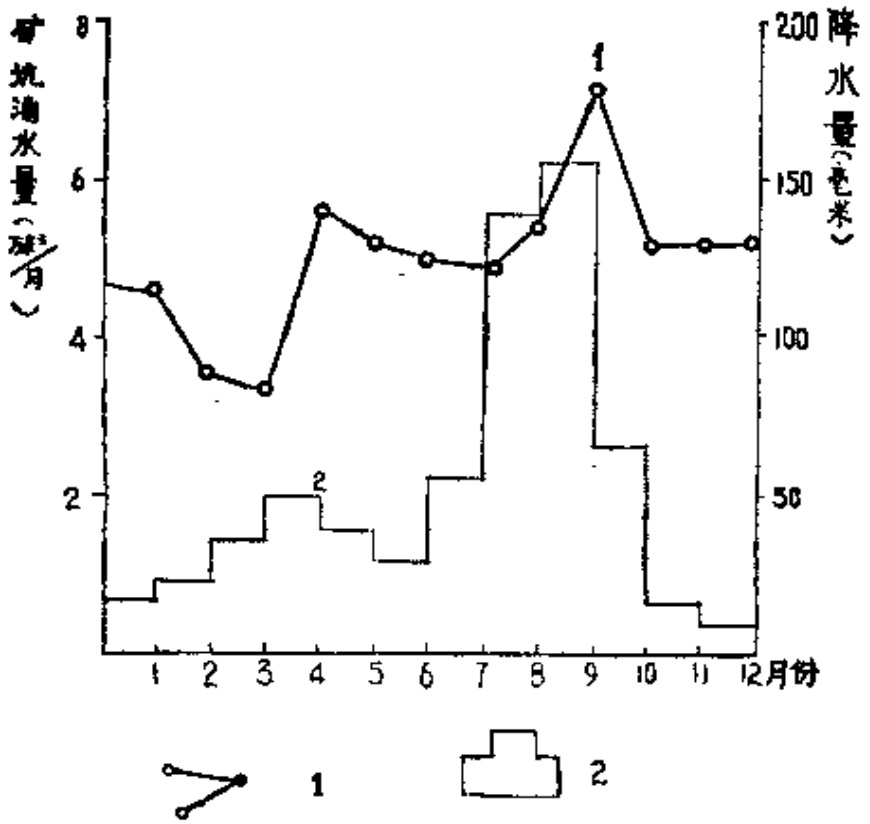


图 7—1　庞家堡矿坑涌水量与降水量关系曲线

1—矿坑涌水量；2—降水量

幅度亦减少，涌水量峰值出现的时间亦向后延长。这是因为大气降水通过裂隙、岩溶向地下渗透，而裂隙、岩溶的发育程度随深度的加深有减弱的变化规律。大气降水对矿坑的渗入量亦与此规律相适应，所以，一些矿床开采深度超过 500 米以后，降水对矿坑充水就不明显了。

（三）地表水

在矿区内或矿区附近有海洋、河流、湖泊、水库等地表水体存在时，地表水体可能成为矿坑充水的水源。特别是有些矿区的主要含水岩层与地表水的水力联系密切时，往往会引起地表水突然溃水，造成矿井严重的淹井事故。如山东淄博煤田，[8]有淄河流经矿区，[9]最大流量 3200 米³/分，最小流量 27米³/分，经调查观测有 47%的水量成为地下径流量。因此，淄河成为该煤田的重要补给水源之一。

以地表水为矿坑充水的主要水源时，矿坑涌水量大，其流量较稳定，有随地表水的动态而变化之规律，具有与大气降水为矿坑充水水源相似的，同样具有的季节性变化，例如广东沙洋矿区在13个井同时排水过程中，南部，东南部1—2公里内的稻田积水全部漏失，民井干枯，石根河流经黄龙群石灰岩分布区，通过第四系砂砾石层补给岩溶水，在排水过程中，使流量30升/秒的河水几乎全部漏失（图7—2）。

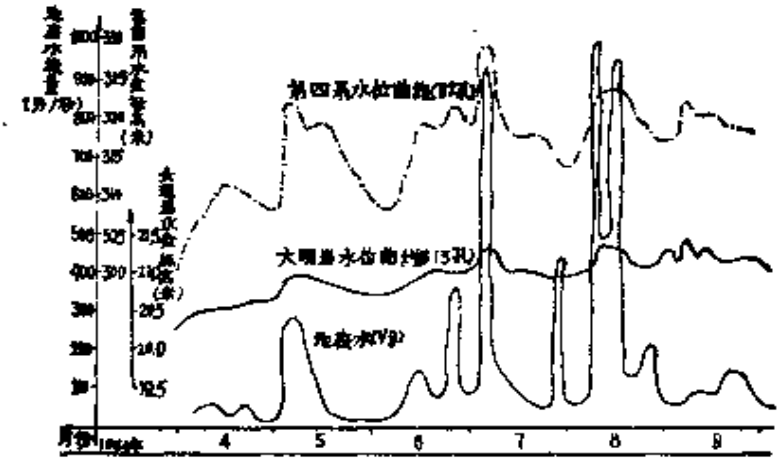


图 7—2　沙洋矿区地表水与地下水关系曲线

矿坑充水的水源为地表水时，其充水强度主要决定于矿体（层）顶板及覆盖层的岩性（力学性质、透水性、厚度、结构），并与开采方法有关。如果顶板岩层力学性质强，透水性弱，厚度大，且在开采时再采取一些保护顶板的安全措施，即使在地表水体下开采，也可以做到安全生产。如山东新汶煤矿在河下采煤，深度在地面以下125米，开采煤层厚度2米，用水砂充填保护顶板，多年来一直是安全生产。若顶板岩层的岩性不利，又有导水断层存在，则会发生强烈的充水，特别是岩溶充水的矿区，危险性就更大。如广东凡口铅锌矿，矿体顶板为中上石炭系壶天群灰岩，为矿坑充水的主要含水层，开采后灰岩岩溶在凡口河床处发生塌陷、开裂，一九六九年十月引起流量50000米^3/日的河水全部灌入地下，使矿坑涌水量从36200米^3/日猛增至68400米^3/日。

（四）老窑水

在大部分老矿山均分布有废旧矿坑，这些老窑除部分顶板岩石崩落充填一些空间外，还有相当一部分空间及崩落空隙中积满了水，这部分积水体即叫老窑水。老窑中除积水外，还含有一氧化碳、二氧化碳、甲烷、硫化氢等有害气体。老窑积水大部分分布在浅部，在现代开采区的上部，当生产坑道遇到它或接近它时，老窑水便成为矿坑充水的水源，对于矿山安全生产有很大的危害。如一九五六年江西某矿一斜井，巷道掌子面上干燥无水，但放炮爆破后，揭穿一积水老窑，1000 万立方米老窑水突然溃入坑道，淹没斜井，造成人身伤亡事故。有些开采历史很长的老窑区，老窑很多，老窑采空区往往连成一片，有些地方甚至与地表水和大气降水发生直接联系，与矿坑充水的主要含水层亦有水力联系，对这些矿区的老窑水应特别注意，采取必要措施。如留保安矿柱，或对老窑水进行探水和放水等，以防止老窑水突水事故的发生。

老窑水充水的特点是：时间短，来势猛，破坏性大，且含有硫化氢等一类臭味，硫酸根离子很高，因而具有很强的腐蚀性，对井下设备有腐蚀作用。

老窑水一般是“死水”，以静储量为主，水量变化较大。老窑水如与其它水源无水力联系时，突水后在短期内即可以排干。如蜂蜂反修矿，1970 年大煤老窑突水，开始水量为 43200 米^3/日，后渐减，18 日后流量只有 1400 米^3/日。若与其它水源有水力联系时，对矿坑充水的水量既大且较稳定，危险性极大。

二、影响矿坑涌水量的因素

（一）地形

矿床在地形上所处的位置，对于矿坑涌水量大小的影响是很大的。就一个矿区而言，有的全部矿床位于当地侵蚀基准面以上，有的大部分矿体位于当地侵蚀基准面以上，而小部分矿体位于当地侵蚀基准面以下，有的小部分矿体位于当地侵蚀基准面以上，而大部分矿体位于当地侵蚀基准面以下，有的全部矿体位于

当地侵蚀基准面以下。所以，我们首先要分析矿体在地形上与当地侵蚀基准面的关系，一般地说埋藏在当地最低侵蚀基准面以上的那部分矿体，地形有利于地下水的自然排泄，充水条件比较简单，大气降水往往成为矿坑充水的主要水源，水文地质条件亦比较简单，矿坑涌水量一般比较小。埋藏在当地最低侵蚀基准面以下的那部分矿体，地形有利于地下水的汇集，而不利地下水的排泄，矿坑充水的水源是多方面的。因此，水文地质条件较复杂，矿坑涌水量比较大。如云南某矿被江水所切，分成江南和江北两个矿区，通过生产矿井的观测，江南矿井(当地侵蚀基准面以下)的涌水量大于江北矿井(当地侵蚀基准面以上)的 8 倍。

地形坡度的陡缓，切割程度对于矿坑充水影响亦是很大的。在地形切割较深、坡度较陡峻的山区，大气降水落到地面后，很快通过地表径流流出矿区，对地下水的补给量即小，一般的说矿坑涌水量就相对地要小一些；而相反，在地形平缓无切割的平原地区，地形有利于大气降水渗透补给，水源就多，所以矿坑涌水量亦较大。如某矿床在距河流最近时涌水量为 500米^3/时，稍远时为 250—300米^3/时，在分水岭附近时，涌水量最小，为 75—100米^3/时。

（二）岩石性质

矿层顶底板岩层透水性能影响岩层的富水程度，而岩层的透水性能，直接受着岩层的孔隙、裂隙、溶隙的大小及发育程度控制。岩层的孔隙、裂隙、溶隙三者直接成为矿坑充水的通道。

1．岩石的孔隙：第四系松散沉积物、胶结不紧的或风化厉害的碎屑岩、粗晶岩浆岩均有一定的孔隙，大小一般是均匀的，因此矿坑穿过时充水也是均匀的。当矿体或充水围岩是颗粒很粗的砂砾石层，这种情况下，含丰富的孔隙水，若又与地表水有水力联系，补给水源充足。如一些近河床附近的砂矿床。开采此类矿床时，孔隙水可能引起露天采矿场或矿坑的强烈充水，采矿场及矿坑涌水量很大。矿体或围岩是饱水的流砂时，还会造成流砂的冲溃。

2．岩层的裂隙：风化裂隙多数是在成岩和构造裂隙的基础上发展起来的。这种裂隙集中分布近地表处，无定向规律，随深度增加而迅速减少，变小。除分布在基岩古风化面部位较深外，现代风化壳的风化裂隙分布深度一般为30—50米，个别的超过100米。其赋存的水量一般较小，只对风化壳矿体稍有威胁，当它与其它水源有通道相连时，则对矿井涌水才有意义。

成岩裂隙是指该岩层成岩作用中所产生的裂隙（如玄武岩的柱状节理）。严格地受岩性的控制，多沿某方向呈开口存在，有充填和无充填两种。在侵入岩的边缘部分分布的成岩裂隙，分布均匀，是张开的。据统计某地区花岗岩的成岩裂隙，平均间距约0.4—0.6米，平均宽度为2—3毫米。强裂隙带的厚度达50—100米不等，向深部消失。成岩裂隙所含水量一般不大且均匀，除少数外，对矿井涌水的意义也不大。但应注意它们是否与其它水源有水力联系。

对于矿床充水或矿井涌水有普遍而严重威胁的是构造裂隙。这是指地壳岩石受构造变动所产生的裂隙，是岩石在构造变形的同时形成的破坏形态，包括各种节理、断层，在这里我们统称之为断（层）裂（隙）。在开采中，当采掘工作面和它们相遇或接近，矿坑充水水源即会通过构造裂隙涌入坑道，造成突水。例如河北某矿自1952年到1960年发生了六次突水，均与断层有关。

3．岩层的溶隙：这种空隙是可溶性岩石所独有的，从细小的溶孔到巨大的溶洞，一直到地下河管道系统，这种空隙特别大，所以贮存有大量的地下水，当坑道接近或揭露它们时，一般的说容易产生突水，其矿坑涌水量是很大的。

（三）覆盖层的透水性、透水矿体和围岩的出露条件

地表水和大气降水渗入地下的数量，与矿体上部覆盖层的透水性能有直接的关系。透水性大则补给水量和井下涌水量皆大。一般认为，矿区内如分布有稳定的厚度大于5米的隔水的粘土层存在时，则可以有效的阻止降水，地表水和上部覆盖层的水进入矿坑。例如安徽淮北煤田，其上部覆盖层就有较厚的硬质粘土层

存在，煤层开采后虽然地表塌陷形成人工湖积水，对矿坑充水无影响。当矿体和围岩是透水的，出露在地表的面积愈大，接受大气降水和地表水下渗的量就愈大，井下涌水量亦大。在地形坡度缓、厚度大、缓倾斜的透水层最易得到补给。在矿区内若分布有大面积的、较厚的不透水层，下面坑道得不到补给水源。

（四）未封的勘探钻孔

这是一种人为因素造成的矿坑充水或使矿坑涌水量发生变化。在勘探中一些未封或封孔质量不高的钻孔，将使矿层与顶底板含水层或地表水体沟通起来，引起矿坑涌水量增大，若坑道掘进中遇到或接近这些钻孔时，常造成突水事故。例如峰峰矿务局二矿遇 208、209 两孔，该两孔均穿过煤系地层内全部含水层，未封孔。后来井下揭露 208 孔，稳定涌水量 2880 米^3/日，水压 19 公斤/厘米^2；209 孔稳定涌水量为 2160 米/^{3}日，水压 22 公斤/厘米^2。在 216 大巷揭露 209 孔时，发生突水事故，在－90 米下山石门造成冒顶突水，涌水量达 3888 米^3/日。

（五）地面塌陷

在岩溶水充水为主的矿床开采时，因矿井长期疏干排水，破坏了平衡条件，产生地面塌陷。在全国许多矿区出现了这一不良工程地质问题。矿区内或附近由于地面塌陷的出现，一方面成为矿坑充水和增加矿坑涌水量新的变化因素；另一方面严重的影响各种地面建筑物，以至破坏交通运输和大量农田，涉及面广，危害性大，已引起各方面的重视。如湖南斗立山煤矿香花台矿井经长期排水，产生了七个塌陷区，塌陷洞达 400 多个，民房倒塌 15000 多平方米，大片农田开裂塌陷，人民生命财产和农业生产都受到很大影响；同时引起泉井干涸，水源断流，使当地居民饮用水都造成困难。由于塌陷，使地表水和雨季降水通过塌陷洞进入地下，矿井涌水量由 1000 米^3/时，增加到 3600 米^3/时，大大增加排水费用，仅电费一项每年需 204 万元。

（六）开采方法的影响

1．开采方法简介

（1）矿山巷道基本概念：为了探矿、开拓及开采矿床等，在矿床上部或侧面围岩中进行开凿工作时形成空洞，统称矿山巷道（简称矿坑）。矿山巷道由几个岩石面所围成的空间，其两侧面叫巷道的“帮”；上部的面叫“顶”；其下部的面叫“底”；巷道前进方向的面叫“掌子面”；巷道通到地表的出口叫“巷道口”。

（2）巷道分类：开采矿床时，为输送矿石、通风、排水、运料等目的，事先必须作很多巷道。这些巷道归纳为几种。

① 按坑道用途可以分为：

探矿巷道：为探矿目的开凿的巷道。

开拓巷道（或称基建巷道）：为开拓目的开凿的巷道，为整个矿山开采水平服务的永久性巷道。例如主井井筒、风井、水平运输大巷等。

采准巷道：为某开采区服务的巷道。如石门等。

回采巷道：为回采工作面开凿的巷道。

② 按巷道与地面关系划分为：

露天巷道：又分探槽与堑沟。

地下巷道：分水平巷道，又分平硐、隧道、石门、平巷、穿脉、沿脉等。

倾斜巷道：又分斜井、斜天井、下山、上山等。

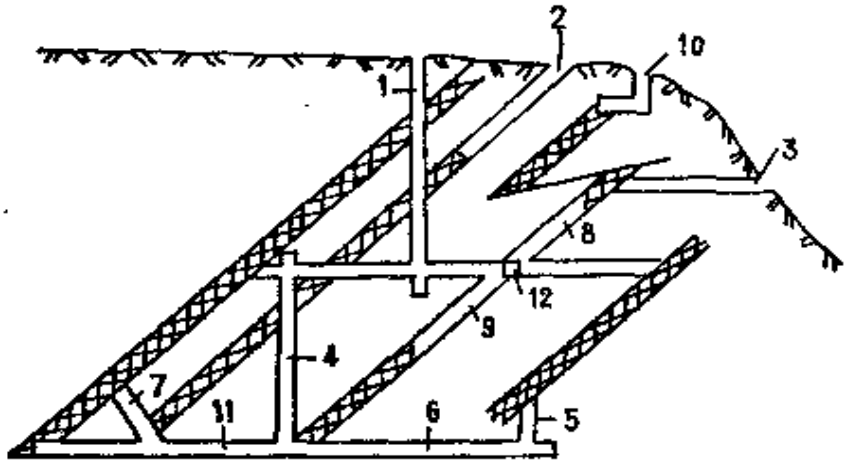


图 7—3　矿山开采井巷示意图

1—竖井；2—斜井；3—平硐；4—暗井；5—溜井；6—石门；7—溜井；8—上山道；9—下山道；10—风井；11—岩石平巷；12—煤层平巷

垂直巷道：探井、竖井（立井）、天井（溜井）。

硐室：又分水泵房、变电所、机修房、地下炸药库、调度室等（图 7—3）。

（3）矿床开拓方式简介：矿床开采时，按采矿场与地面的关系，其采矿方式可分为露天开采和地下开采两种。地下开采又根据开拓方式不同又可分为平硐开拓、斜井开拓和竖井（立井）开拓三种。

（4）采矿方法基本概念

① 采矿方法：包括采矿系统和采矿工艺两个内容。采矿系统是采准巷道的布置方式，掘进和回采顺序的安排以及采区通风、运输系统。回采工艺是指在回采场子内所进行落矿、装矿、运输、支护和采空处理等工作，以及这些工作的安排和配合关系。

② 开采水平与中段：矿层（或矿体）开采过程中在垂直方向上是自上而下开采的。矿层开采设计必须根据矿体厚度、产状、埋深等自然因素结合开采方法等确定矿体开采最大深度。在开采深度内确定分阶段开采，并确定阶段标高。煤炭系统称“开采水平”，并多数以 100 米垂高为一个开采水平。冶金系统称开采阶段为“中段”，并多数以 50 米或 40 米为一个中段（图 7—4）。

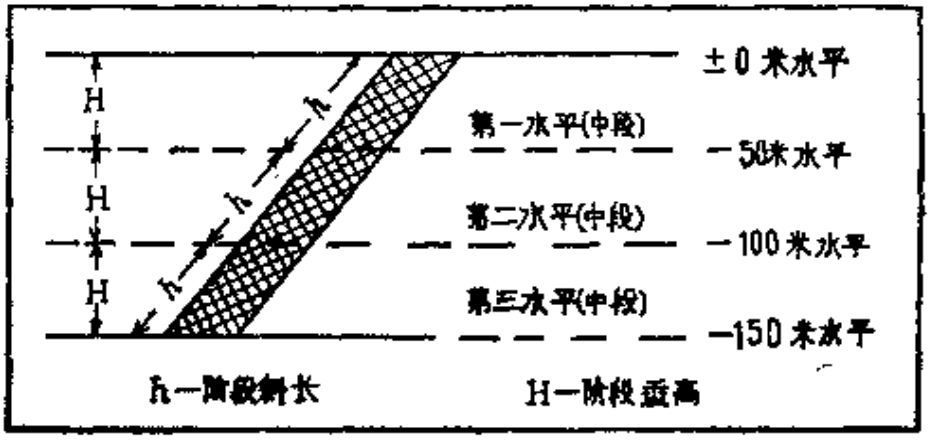


图 7—4 开采水平示意图

⑧ 上山与下山开采：上山开采系指运输大巷向矿层倾斜方向上方开采。工作面前进方向是自下而上，矿石流动（运输方

向）是自上而下。下山开采与上山开采相反。矿体开采时多数是开上山，少数开下山，单水平开采矿井是上山、下山同时开采。

④ 常见采矿方法有崩落法、充填法和空场法等。

2．采矿方法的影响：从大的采矿方法到具体的开采顺序等都对矿区水文地质条件的变化有所影响，因而影响矿井涌水强度，并使防治矿井水的措施而随之不同。从采矿方法看，如采用崩落法开采，就可能产生大量的人工裂隙，使顶板岩层的渗透性能大大提高，结果可使矿井涌水量增大，甚至发生冲溃。例如某地的新庄矿区，1955 年因采空崩落，使地表水涌入矿井，每日达 1344—3853 米^3，直到积水漏干，才恢复到正常涌水量。如采取充填法开采，则可以基本保持采区上部地层不产生或仅产生少量的人工裂隙，而不致过大的改变上复地层的渗透性能，可基本上保持涌水量不变。采矿顺序上，应遵循从水文地质条件简单即水小的地段（远离强水源），向水大的，即水文地质条件复杂的地段开采。

采取崩落法产生人为裂隙的原因是矿层大面积开采后，形成大面积采空区。这些采空区上部周围岩石失去下部岩层的支撑，在矿山压力的作用下，岩石的应力状态将产生剧烈的变化，引起采空区周围地层的破坏变形并向采空处移动，先开始弯曲、开裂，最后冒落、位移可波及到地面。在采空区上部，根据岩层变形和破坏的情况，一般可以划分为三个带（图 7—5）。

冒落带（Ⅰ）：当矿层采出之后，如果采区未用外部材料进行充填，顶板岩层则在自重的作用下弯曲，产生裂隙至断裂，最后冒落。冒落带的高度，取决于采出矿层的厚度、产状、开采方法和岩层的力学性质。如果该带直接波及到采空区上部强含水层成地表水体，则矿井突水事故就不可避免（图 7—6）。

导水裂隙带（Ⅱ）：冒落带上部的岩层，在重力作用下，继续下沉弯曲。当其弯曲程度超过了它的力学强度，就会产生张裂隙以至断裂。离采空区越高，产生裂隙也就越小和越少。与采空区构成水力联系的裂隙，称之为导水裂隙。导水裂隙发育的区域，

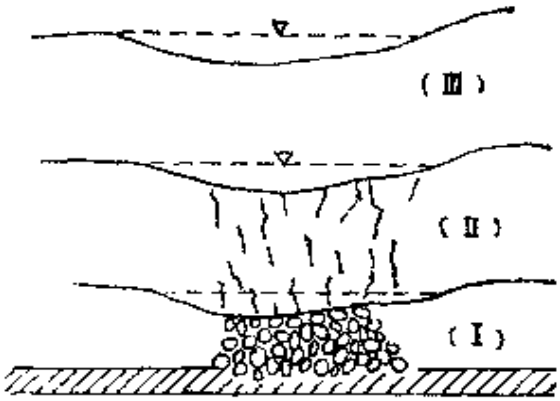


图 7—5 顶板岩层移动分带示意图
(Ⅰ)—冒落带；(Ⅱ)—导水裂隙带；
(Ⅲ)—弯曲带

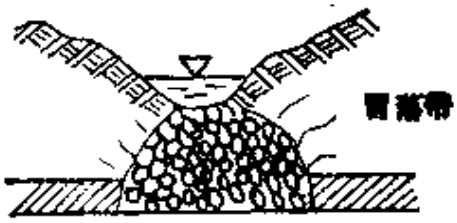


图 7—6 冒落带直接接触河床造成突水示意图

称为导水裂隙带。导水裂隙带的最高点到回采上边界的垂直高度，称为导水裂隙带的高度。导水裂隙带的高度与岩石的抗张强度和冒落岩石的碎胀性有密切的关系。当该带高度直接波及到强含水层或地表水体时，矿井涌水量就会显著增加，但一般不会造成突水事故（图7—7）。

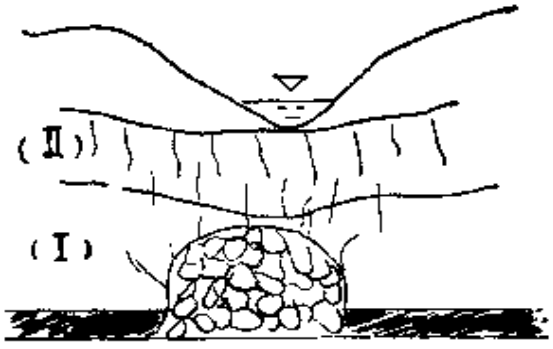


图 7—7 导水裂隙带波及河床引起矿井涌水量增加示意图
(Ⅰ)—冒落带；(Ⅱ)—导水裂隙带

弯曲带（Ⅲ）：位于导水裂隙带的上部，岩层呈平缓弯曲，没有裂隙或在其下部有少数闭合裂隙。一般情况下，该带的裂隙不会与井下沟通，所以亦称不导水带。

预测冒落带和导水裂隙带高度的理论公式还没有建立起来。目前，生产单位都是在生产实践中，采用实测的方法，找出不同条件下，冒落带和导水裂隙带的发育规律，然后总结出经验公式来指导生产。[3]缓倾—倾斜岩层冒落带高度（h）与采矿厚度（m）成正比，与崩落岩层的碎胀系数（松散系数）（K）成反比，与矿层倾角的 $\cos\alpha$ 成反比。即按公式7—1计算。

$$h=\frac{m}{(K-1)\cos\alpha} \qquad (7—1)$$

碎胀系数（K）是决定冒落高度的重要参数之一。岩层碎胀系数决定岩层的岩性及胶结程度，并与顶板的压实程度有关。常见岩层碎胀系数（K）值见表 7—1。

表 7—1

碎胀系数 / 岩石名称	最初碎胀系数	最终碎胀系数	备注
第四系砂层	1.08—1.2	1.01—1.03	包括细、中、粗砂
第四系亚砂土	1.06—1.15	1.01—1.04	包括轻亚粘土
第四系粘土	1.15	1.03—1.07	包括重亚粘土
第三系砂岩	1.8 —1.3	1.30—1.40	微胶结砂岩
第三系泥岩	1.4 —1.3	1.15—1.30	
石炭系砂岩	1.60—1.40	1.20—1.30	
石炭系页岩	1.55—1.4	1.25—1.30	
煤层	1.60—1.50	1.20—1.30	
石英岩、灰岩	1.8 —1.5	1.25—1.35	

我国多数煤田试验资料统计结果，冒落带高度（h）是煤层高度 2—5 倍。阜新第三系煤田冒落高度为采煤层厚的 8 倍。

导水裂隙带的高度，根据煤炭系统多数矿山研究资料统计结果，导水裂隙高度为冒落带高度的 2—3 倍。

第二节　矿床水文地质分类

矿床水文地质分类是矿床水文地质学中重要理论部分，也是矿床水文地质工作中重要研究课题。因为，矿床水文地质类型划分的正确与否，对矿床水文地质学在理论研究上和生产实践中关系甚大。分类正确，可使矿床水文地质学在理论上日趋完善和发展；更重要的是在生产实践中，特别是在矿区水文地质工作中，可以合理的布置勘探工程和工作量；同时，为矿床将来的开采利用提出正确依据。为此，解放以来，我国广大水文地质工作者历

来很重视分类工作的研究，特别是1958年大跃进以来，各地质勘探部门都为矿床水文地质分类作了很多工作，并且根据各种不同的原则提出了相应的分类方案。

为了解过去分类情况和今后如何分类，先将我国对矿床水文地质分类作一简单介绍。目前所采用的分类方案叙述于后。

一、我国矿床水文地质分类简况

对我国矿床水文地质分类工作开展较早的是1958年煤炭工业部沈尔炎工程师。他根据矿山开发条件、岩性和水文地质特征，对煤、油页岩矿床进行分类。首先按矿床开采方式分为二组，即第一组为地下开采的矿床；第二组为露天开采的矿床。然后根据地质断面岩性分疏松不胶结岩石，硬、半硬岩的裂隙性岩石，岩溶性岩石三种。再根据水文地质条件复杂程度分为简单的、复杂的、极复杂的三类。

1959年地质部水文地质工程地质局和水文地质工程地质研究所提出我国固体矿床水文地质分类方案，该方案认为中国矿床水文地质分类首先考虑到气候因素。因为气候因素在我国表现得非常明显，干旱区与非干旱区矿床水文地质条件有很大不同。如干旱地区年降水量小于250毫米，潮湿系数为0.001—0.18，地表水流稀少，补给水源有限，主要是消耗地下水的静储量，因

我国固体矿床水文地质分类初步方案 （表 7—2）

组	亚	纲	类
Ⅰ.干旱地区范围内 Ⅱ.非干旱地区范围内	1.侵蚀基准面以上 2.侵蚀基准面以下，远离地表水体但为静储量小的构造 3.侵蚀基准面以下，远离地表水体，但静储量大的构造。 4.侵蚀基准面以下，近地表水体		A.充水岩层以坚硬裂隙岩层为主的矿床 B.充水岩层以疏松及半胶结的岩层为主的矿床 C.充水岩层以岩溶化岩层为主的矿床 D.充水岩层以坚硬裂隙和岩溶化岩层为主，并为具有气压含水层或承压的矿床 E.产于多年冻土层的矿床

此，工作中主要问题不是矿坑排水而是矿山供水。所以，首先根据气候条件将矿床分为两组。其次，根据中国的矿床多分布在高山区和丘陵区。因此，地形因素对中国矿床水文地质条件的影响很大。最主要的是受当地侵蚀基准面的控制，侵蚀基准面以上的矿床水文地质条件简单，一般可以自然排水。而侵蚀基准面以下的矿床水文地质条件一般是较复杂或极复杂；另外，还考虑了地表水与矿床的关系，将矿床分为四个亚组；最后按充水岩层的水文地质特征分为五类。中国固体床分类初步方案见表 7—2。

在上述初步方案基础上，又按照水文地质和工程地质条件的复杂程度和开采方法的矿床开采条件进行了分类（表 7—3）。

按水文地质及工程地质条件的复杂程度和开采方法的开采条件分类

表 7—3

开采条件 / 复杂程度	露天开采	地下开采
简单的	Ⅰ—1—A，B，C，D Ⅰ—2—A，B，C Ⅱ—1—A，B，C，D	Ⅰ—1—A，B，C，D，E Ⅰ—2—A，B，C，E Ⅱ—1—A，C，E Ⅱ—2—E
中等的	Ⅰ—2—D Ⅰ—5—A，B Ⅱ—2—A，B，C	Ⅰ—3—E Ⅰ—4—E Ⅱ—1—E Ⅱ—2—A，C
复杂的	Ⅰ—1—E Ⅰ—2—E Ⅰ—3—A，B，C，D，E Ⅰ—4—A，B，C，D Ⅱ—1—E Ⅱ—2—D，E Ⅱ—3—A，B，C Ⅱ—4—A	Ⅰ—1—D Ⅰ—3—A，C，D Ⅰ—4—A Ⅱ—2—D Ⅱ—3—A，E Ⅱ—4—A，E
极复杂的	Ⅰ—1—E Ⅱ—3—D，E Ⅱ—4—B，C，D	Ⅰ—1—C，D Ⅱ—3—C，D Ⅱ—4—C，D

1962 年 3 月中华人民共和国地质部、中华人民共和国冶金部联合颁发“矿床水文地质工作规范”第二分册中总论部分阐述金属矿床水文地质分类问题。首先按矿床产状分层状或似层状矿床和非层状矿床两组，然后根据自然地理、地质、水文地质条件又分为充水岩层以坚硬裂隙岩层为主的矿床、充水岩层以岩溶化岩层为主的矿床、充水岩层以裂隙或岩溶化岩层为主、并为较厚的疏松含水层覆盖的矿床等三类。最后按水文地质条件的复杂程度划分为简单的、中等的、复杂的和极复杂的等四个类型。

1977年 4 月在安徽省蚌埠召开的全国岩溶矿床水文地质专题座谈会上，提出了“岩溶充水矿床水文地质类型划分的初步方案”。本方案是在一九七四年颁发的“矿区水文地质工作规范”的基础上，就充水岩层以溶洞岩层为主的矿床作进一步的划分。根据岩溶矿床水文地质特征的特殊性，以及突出岩溶与矿床的关系进行划分。首先，按照矿床所处的岩溶含水体（层）的出露条件划分为：矿床所处的岩溶含水体裸露于地表（简称裸露型）、矿床所处的岩溶含水体被较厚的第四系疏松盖层覆盖（简称覆盖型）、矿床所处的岩溶含水体被非碳酸盐类的坚硬岩层覆盖（简称埋藏型）；其次，根据矿体（层）与岩溶含水体（层）的接触关系，划分为矿体直接（或间接）顶底板为岩溶含水层（简称顶底板进水）、矿体直接（或间接）顶板为厚层岩溶含水层（简称顶板进水）、矿体直接（或间接）底板为厚层岩溶含水层（简称底板进水）；再次，即根据岩溶含水体（层）的含水空间结构，划分为以溶蚀裂隙为主，以溶洞为主、以管渠（地下暗河）为主；最后根据水文地质工程地质条件的复杂程度划分为简单、中等、复杂、极复杂等四种。

二、我国固体矿床水文地质分类

以上介绍的各种分类，均大同小异，可以作为今后工作参考。目前我们采用 1973 年 3 月在长沙召开的矿区水文地质工作座谈会和同年 7 月在青岛召开的水文地质工程地质会议讨论修订的，1974 年由国家计委地质局颁发的“矿区水文地质工作规范”

所提出的分类方案。

（一）按充水岩层的水文地质特征分类

根据自然地理、地质、水文地质条件，把我国固体矿床水文地质划分为三个基本类型。

1．充水岩层以孔隙岩层为主的矿床。矿坑涌水量主要取决于岩层孔隙率的大小，构造破坏程度，岩层的厚度，分布范围以及自然地理条件。

2．充水岩层以裂隙岩层为主的矿床。矿坑涌水量主要取决于岩体结构，裂隙发育程度，裂隙力学性质，构造的复杂情况、裂隙发育的宽度、深度及充填情况和自然地理条件。

3．充水岩层以溶洞岩层为主的矿床。矿坑涌水量主要取决于溶洞的发育情况，充填情况，地质构造以及古地理和自然地理条件。

（二）按水文地质工程地质的复杂程度分类

根据矿区的地形条件，构造复杂程度，主要充水岩层的含水性及其与地表水体的水力联系程度，顶底板岩层的稳定性等因素，将每类矿床水文地质工程地质条件的复杂程度划分为三级。

1．水文地质工程地质条件简单的矿床。矿体位于当地侵蚀基准面以上或位于地下水位以下，地形有利于自然排水；矿区内无大的含水层，矿体和顶底板含水微弱，或矿体直接顶底板有较厚而稳定的隔水层；矿床附近无地表水体或距离地表水体很远；矿体顶底板均较稳定，岩体结构完整，工程地质条件良好。

2．水文地质工程地质条件中等的矿床。矿体位于当地侵蚀基准面以下，或位于当地侵蚀基准面以上而在地下水位以下，地形不利于自然排水；矿体附近无地表水体或距地表水体较远，地下水与地表水联系甚微；充水岩层有裂隙或溶洞，矿体或围岩含水，但补给条件较差，矿坑涌水量较小；地质构造较简单，矿体顶底板岩层较完整稳定，不具有较大静水压力。

3．水文地质工程地质条件复杂的矿床。矿体位于当地侵蚀基准面以下，矿区附近有地表水体，地下水与地表水有水力联系；

矿体顶底板直接或间接与充水岩层接触，岩层裂隙或溶洞发育，含水丰富，矿体上部有时被较厚的松散充水岩层覆盖；地质构造复杂，局部地段矿体顶底板岩层破碎，并且有较大的静水压力，有利于地下水的聚集，矿坑涌水量较大，在疏干范围内可能引起地面塌陷和其它工程地质问题。

第三节　不同类型矿床的水文地质特征及其勘探要求

不同类型矿床的水文地质特征及其勘探要求是不一样的。下面按照矿床充水岩层的不同，分别阐明其主要水文地质特征、问题及勘探要求。

一、充水岩层以孔隙岩层为主的矿床

这类矿床在我国多分布于沿海丘陵地带、海滩以及山前冲洪积平原、山间盆地、河流两岸阶地、河床沉积及山谷的缓坡地带。主要是产于第三系及第四系岩层中的矿床。有原生的第三系褐煤及油页岩矿，有次生的第四系残坡积和冲积的各种砂矿床。另外一些上复巨厚含水丰富的第四系松散沉积物而矿体产于下部含水微弱的坚硬基岩中的金属或非金属矿床也属这种类型。

这类矿床的水文地质特征，由于主要充水岩层埋藏浅，多接近地表或暴露于地表，因而受大气降水的影响很大，矿井涌水量明显的呈季节性变化。地下水的补给范围不广，主要补给来源为大气降水，往往还有地表水的补给。其充水程度主要决定于直接充水岩层的富水性。而富水性主要受岩性，即受到松散含水层的厚度、粒度、滚圆度、分选性、粘土成分的含量等控制。其次，决定于含水岩层与地表水之间的水力联系程度。

此类矿床的主要水文地质工程地质问题，其一，在矿区勘探和开采过程中，受到流砂冲溃，造成施工上的困难。其二，在槽井探施工和露天开采中，常常遇到边坡滑动、巷道变形等特殊工程地质问题。

为此，在这类矿床进行矿区水文地质工作中，应着重查明流砂、边坡滑动产生的可能性、产生条件和危害程度。查明直接含水岩层的厚度、岩性、富水性的变化。对某些矿区由大面积第四系松散层被疏干而出现居民饮用水和农田供水的困难，亦应予以研究解决。

此类型的第三系褐煤和油页岩，以及产于上复巨厚松散沉积物的坚硬基岩中的金属或非金属矿床多位于当地侵蚀基准面以下，而且往往附近有地表水体存在，故水文地质条件比较复杂。以广东茂名油页岩金塘矿区为例。

茂名的东、西、北三面环山，西南接茂南平原，矿区处于平原东北之丘陵起伏地带，区内海拔标高为35米。与矿区有密切关系的有白沙河、泗水河、东江河。河水流量仅在山洪时期较大，河水位标高一般为25米。油页岩绝大部分位于河水位以下。当露天开采至河水位以下时，河水将补给地下水，流入采矿场。本区气候属海洋性，年平均降水量达1754毫米。丰富的降水使地下水获得经常的补给，且使露天采矿场直接受降水的威胁。油页岩形态十分规则，以半弧状向北平缓倾斜，倾角一般为6°—8°。油页岩系产于第三系疏松的透水层中，含矿层厚达600米，分上下两部分，中夹有厚约200米之夹层，上部为劣质油页岩，下部为下第三系茂名系油页岩，厚30米，下第三系茂名系油页岩以

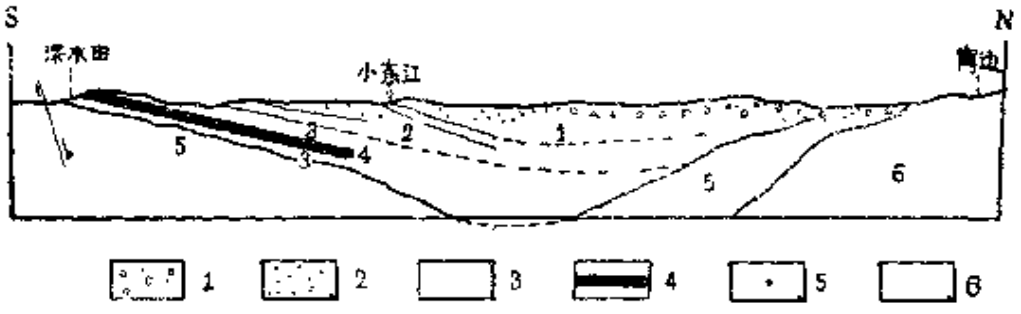


图 7—8　广东茂名油页岩矿金塘矿区地质剖面示意图

1—第三系老虎岭砂砾层；2—第三系泥岩层；3—第三系茂名岭砂砾层及油页岩下部的油柑窝松砂层；4—油页岩层；5—白垩系红色岩层；6—中泥盆系变质岩系

单一矿层产出（图 7—4）。

本矿区含水层有：冲积层含水层，厚度小于 10 米，含水甚少。第三系黄牛岭砂砾含水层，为油页岩上覆岩层，厚 54 米。主要为花岗砂砾组成，胶结不良，含水丰富，水位标高为 34.49—38.73 米，单位涌水量为 0.34—1.51 升/秒·米，属承压水。第三系油柑窝松砂含水层，位于油页岩之下部，厚度 22 米，主要由细砂及砂砾组成，稍胶结，单位涌水量为 0.025—0.20 升/秒·米，水位标高为 36.45—38.73 米，属承压水。此外，金塘 1 号断层，单位涌水量为 0.095 升/秒·米，水位标高 36.89 米，含水甚小。

茂名油页岩系以透水性弱的白垩系红色岩层及喷出岩为基底。露天开采时主要考虑油页岩顶板含水层及地表水对开采的影响。经预计开采深度达 40 米时，涌水量为 2500 米^3/时。由于上复松散砂砾质岩层及断层中具有流砂，使工程地质条件复杂化。

第四系砂矿床大多数是产于当地侵蚀基准面以上的缓坡或阶地上，水文地质条件简单。部分的砂矿床产于河床冲积层中及海滩上，它们在洪水期或海潮期有被地表水淹没的可能。

产于冲积层的砂矿床以湖南常德丁家港与桃源县桃源砂矿为例。

矿区位于常桃红色盆地内，为典型的侵蚀堆积丘陵地带。西部分布有海拔 150—160 米的山岗，向东为海拔 40—50 米的沅水冲积平原。沅水为两矿区天然界线，其常年水位标高为 33.5 米。常年流量为 1.880 米^3/秒。沅水两岸有六级阶地，并有南北向的细谷切割。细谷及阶地冲积层具有二元结构，砂矿产于砾石层中，均位于沅水水面以上。矿区年平均降水量为 1578.3 毫米，并集中在 4—6 月间。地势西高东低，并有细谷切割，因而大气降水几乎全部变为地表径流，迅速汇流于沅水。矿床实际上很少受大气降水及地表水流的影响。矿区的地质条件简单，最下层是第三系衡阳砂岩及砂砾岩，为该矿层的底板不透水层。中部为第四系含矿砂砾石层，分布于阶地及细谷的底层，埋藏深度为 3—4 米，

厚 3—11 米，砂矿以层状或似层状产于其中，本层亦为本矿区的主要含水层。上部为遍及全区的粘土层，厚为 3 米，为矿层上覆盖的不透水层。粘土层不利于大气降水的渗入，能减少降水的渗入量（图 7—9）。

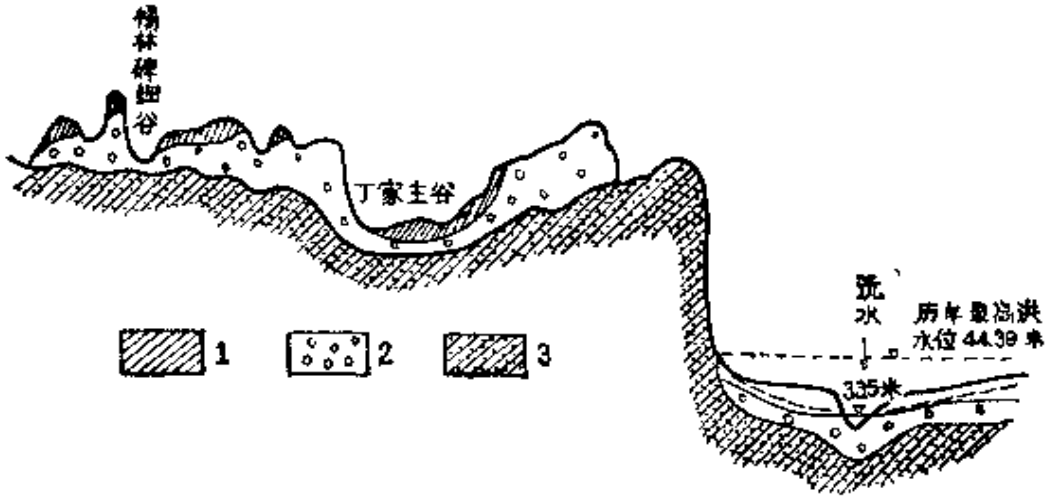


图 7—9　常德县丁家港砂矿地质剖面示意图

1—不透水的红色粘土；2—弱透水的砾石层（含矿层）；
3—不透水的第三系砂岩

第四系砂砾石层为弱孔隙含水层，单位涌水量为 0.07 升/秒·米，静水压力小于 10 米。由于砂砾石层形成的时代、分布标高及粘土充填情况不同，因而不同阶地的砂砾石层含水性亦不同，如Ⅵ、Ⅴ级阶地的砂砾石层不含水，Ⅳ、Ⅲ级阶地砂砾石层含水性很小，涌水量小于 0.3 升/秒，Ⅱ级阶地砂砾石层涌水量较大，为 0.5—2 升/秒，Ⅰ级阶地砂砾石层，由于埋藏在沅水面以下，为矿区的富水区，涌水量为 3—7 升/秒。

本矿区的地形、现代水文网及地层岩性均不利于大气降水渗入补给。矿层顶板均为不透水层或微含水层，矿床主要充水的砂砾石层含水微弱，故地下水对矿床开采的影响不大。同时由于开采深度小，地表工程地质条件亦较稳定，因而本矿区的水文地质工程地质条件均简单。

本矿区水文地质工作，主要作区域及矿区第四纪地质、地貌

及水文地质测绘，在测绘工作基础上，挖掘一定数量的浅井，并作浅井抽水试验，以了解第四系含水层的岩性、厚度及含水性，同时作地下水与地表水的动态观测工作。

二、充水岩层以裂隙岩层为主的矿床

属于此类矿床的在我国分布比较多，全国各地的侏罗系煤田；广东、湖南的石炭系煤田、云南大部分地区的二叠系乐平煤系、江西的二叠系老山煤层、福建的二叠系煤田；一些产于非可溶性基岩中的金属矿和非金属矿等等。

此类矿床的充水程度及其直接充水含水层的富水性，主要取决于岩性（粒度、胶结物成分等）、裂隙性质和发育程度。充水强度、富水性及其差异性均较岩溶矿床小，但风化裂隙带及断层两侧富水性一般较强。不同类型的裂隙，对矿床充水存着不同的意义，风化裂隙发育深度有限，对矿床充水没有什么大的影响。成岩裂隙仅在某些岩石中（例如玄武岩）发育，一般岩石中的成岩裂隙，对矿床充水无意义，唯有构造裂隙，对矿床充水有较大的意义，尤其是大的断裂带，其中常可赋存水量较大的脉状承压水。当砂岩与页岩互层，砂岩层的厚度较大，且裂隙发育时，具有水压很高，水量较丰富的层间裂隙承压水。因此，成为本类矿床的主要威胁，在矿坑掘进过程中，如果思想麻痹，有时也会造成突水事故而淹没矿井。

裂隙充水的矿床主要受裂隙发育程度的限制，裂隙发育具有随深度增加而减弱的规律，同时这一类矿床大多数分布在山区，其水文网发育，天然排水条件良好，不利于地表水和地下水的汇集，矿床地下水的动、静储量都比较小，地下水多以分散水流的形式向矿井充水，矿坑涌水量一般较小，而且到一定深度后，水量不随开采深度的增加而增加。根据我国现有生产矿井和勘探矿区的资料，钻孔单位涌水量一般不超过 1 升/秒·米，坑道涌水量一般在 300 米^3/时以下，当坑道遇有断裂带沟通其它含水层或地表水时，矿坑涌水量就会增大，有时可增至 300—500 米^3/时，但一般很少超过 1000 米^3/时。由此可见，这类矿床的水文地质

条件一般的说是比较简单的。特别是分布在我国西北、华北的干旱、半干旱地区的矿床，大部分位于当地侵蚀基准面以上，在这些地区的水文地质工作主要是解决供水问题，而不是排水问题。如内蒙石拐子煤田主要充水岩层为侏罗系砂页岩，含水性极弱，矿坑总涌水量仅 0.37 米^3/时。

此类矿床的主要水文地质工程地质问题：

1．由于充水岩层主要是裂隙岩层，矿坑涌水直接受裂隙水的影响，因此，必须查清矿区各种成因裂隙的性质、分布特点、发育深度、富水性。

2．必须着重查明断层破碎带的导水性、富水性。当矿区有较大的充水断层破碎带且与其它含水层或地表水体沟通时，矿坑涌水量会较大，水文地质条件变成中等或复杂。因此，必须对断层破碎带的含水特征进行调查研究，查清断层的水文地质性质（富水、导水或隔水）及其对矿坑充水的影响程度，这是裂隙充水矿床最主要水文地质问题。

3．必须查清裂隙含水层与断层破碎带及地表水体之间的水力联系，矿区内或矿区附近如有大的地表水体存在，可以通过导水断层的破碎带与矿床主要充水裂隙含水层发生水力联系。因此，必须查清它们之间的相互关系及其影响程度。

4．某些以裂隙水为主的存在有可溶岩的矿床，对于这类矿床除了研究裂隙岩层的含水性外，还应研究岩溶形成的可能性和它的发育规律。

5．这一类矿床的岩石是坚硬的，一般的说坑道顶底板岩石、露天采矿场边坡比较稳定，工程地质条件较简单。但巨大的构造破碎带，亦能沟通离矿体较远的地表水体、岩溶水和孔隙水或老窑水，而发生突然溃水，淹没矿井事故，产生地面塌陷等问题。如果采取崩落法开采，亦可能产生地面开裂、陷落，引起地面水和上覆含水层地下水的大量渗入。因此，在矿区水文地质工作中，应研究它们发生的可能性。

矿区水文地质勘探工作，除进行水文地质测绘外，主要是针

对各矿区的具体水文地质问题，布置必要的水文地质勘探与水文地质试验工作量，在勘探坑道及生产矿井作好坑道水文地质测绘，以查明裂隙发育程度及其分布情况，断裂带的导水性、富水性和地表水之间有无水力联系。

此类矿床以湖南桃林铅锌矿为例。

矿区南部山势高峻，为连绵不断的花岗岩山地，最高峰大云山，标高940米，东部由前震旦系片岩组成的山地，一般标高在400米以上，北部及西部为红色砂砾岩及千枚岩所组成的低矮构造盆地，标高在200—300米。中部低平，标高均在100米左右，河流网发育，在花岗岩与板溪群接触附近的蚀变带所成的单斜山脊，横贯在花岗岩山地与构造盆地之间。矿区即位于比较低凹的部分，一般标高在100—150米左右。

矿区降水量丰沛，年平均降水量为1740毫米，最大年降水量可达2336.5毫米。含矿带出露面积较大，大部分矿体可作露天开采。因此，气候因素对未来开采具有一定的影响。

新墙河流经矿区，横切矿带，矿体大部分均埋藏在侵蚀基准面以下。如果不进行河流改道，露天开矿时，河流将直接流入采场。

区域构造是一个轴部向西倾没的背斜，其轴部为侵入的大片花岗岩的岩基，两翼为蚀变的石英岩及云母片岩。桃林铅锌矿即位于背斜北翼拗陷断裂接触处的破碎带上。矿区地层很简单，由老到新，前震旦系板溪群千枚岩系，其与花岗岩接触部分在水平距离数百米内变质较强烈，形成片岩；前震旦系岩层之上为第三系衡阳红色砂砾岩，其底部为砾岩，中上部则为砂岩及砾岩；第四系地层很薄，更新统厚度只有几米，有白砂井层的卵石层，粘土夹砾石层及红土层等，全新统有坡积层及冲积层，厚度5—8米（图7—10）。

本矿区主要含水层为蚀变带裂隙水，片岩裂隙水，花岗岩裂隙水及冲积层（图7—11）。蚀变带裂隙水分布于花岗岩与前震旦系千枚岩间之裂隙承压水层中，含水层之顶板皆复有不透水之前

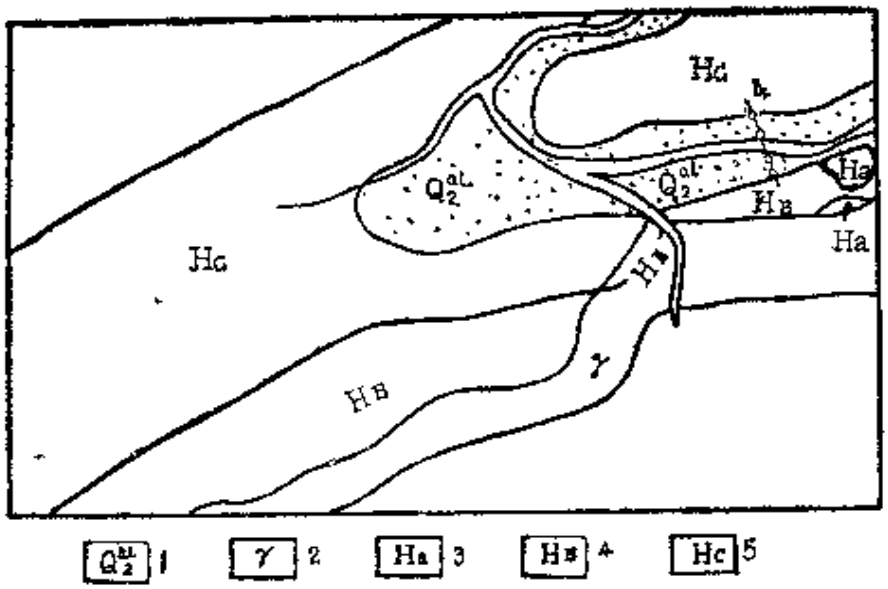


图 7—10　湖南桃林铅锌矿区地质示意图

1—第四系冲积层；2—古生代花岗岩；3—前震旦系片岩；4—前震旦系蚀变带；5—前震旦系千枚状砂岩板岩及页岩

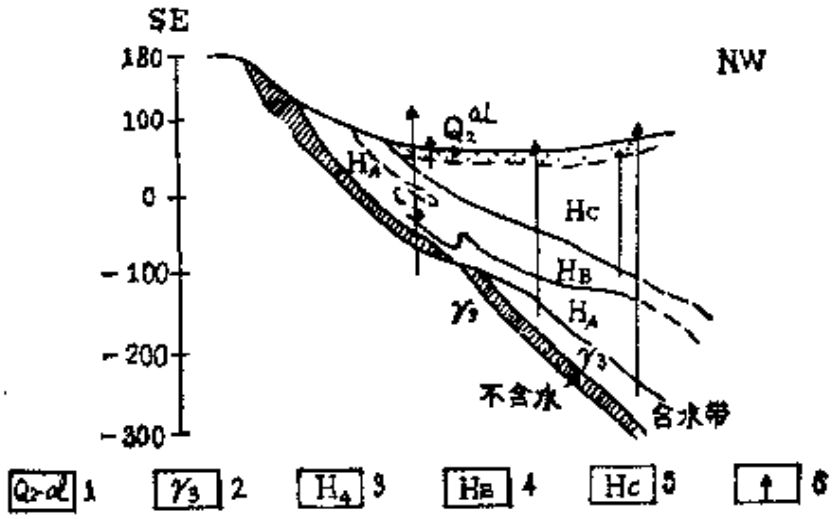


图 7—11　湖南××铅锌矿××山区第四排水文地质剖面示意图

1—第四系冲积层；2—绿泥石化及片麻状花岗岩带；3—绢绿石英片岩；4—蚀变带；5—千枚状砂岩、板岩及页岩；6—承压水位高度

震旦系千枚状砂岩、页岩及板岩或是不透水的第三系红色砂砾岩。裂隙水因裂隙发育不均，故有时相邻两段的水压及涌水量相差变化很大。一般在顶部角砾岩化含矿带中，硫化矿体及石英蛋石富集处，裂隙水较丰富。蚀变带厚度一般为100米左右，含水

层厚度变化较大，一般为 10—70 米。泉水流量为 0.01—2.2 升/秒，水压标高 100—124 米，钻孔抽水单位涌水量 0.0047—0.81 升/秒·米，渗透系数 0.0396—2.84 米/日。为矿坑主要充水的水源。

前震旦系云母片岩地下水分两部分，在上部风化带中裂隙沿片理发育，有泉水出露，其流量为 0.02—0.1 升/秒；在下部裂隙带中除片理裂隙外，尚有张节理含水裂隙，其中往往有高压承压水存在，水量也较大。有钻孔打至本层时，地下水涌出孔口高达 8 米以上，涌水量为 1.71 升/秒。片岩含水带在西部延伸，与蚀变下部之绢绿石英片岩连成一含水层。

花岗岩微含裂隙承压水，岩石较致密，裂隙不甚发育，一般分布于该层上部，且多呈闭合型，含水性变化极大，钻孔抽水单位涌水量 0.0002—0.012 升/秒·米，渗透系数 0.225 米/日，对矿床开采影响不大。

第四系冲积层潜水，厚度 5—8 米，其上部为不透水之亚粘土，下部为砂砾石层，泉水流量 0.1—2.25 升/秒。与基岩地下水无水力联系。矿区水文地质条件属于以裂隙水为主的复杂类型。但该矿区有利条件是河流易于改道，改道后水文地质条件可以转化为简单类型。

本矿区经过详细勘探，做了大量的水文地质工作，为查明区域水文地质条件对矿区、矿段水文地质条件的影响，作了 150 平方公里的区域水文地质测绘；矿区内作了矿区水文地质测绘及坑道水文地质测绘；施工水文地质钻孔 16 个及水文地质浅井 12 个，钻孔抽水试验 6 个；同时还进行了钻孔简易水文地质观测，水样采取及地下水与地表水长期观测工作。通过以上工作查明了矿区水文地质工程地质条件，预计了矿坑涌水量，并提出了合乎矿区实际情况的防、排水措施意见。

三、充水岩层以溶洞岩层为主的矿床

（一）水文地质特征

此类矿床是指矿体直接产于可溶性的碳酸盐类石灰岩、白云

质灰岩、硅质灰岩、白云岩等岩层中（有的矿体本身就是可溶的如石膏、岩盐），或矿体顶板或矿体底板为可溶性的碳酸盐类岩层，而岩溶又较发育，其矿坑充水水源主要为岩溶水。属于此类矿床的矿种很多，包括各种有色金属、黑色金属、可燃有机岩矿床、非金属及某些稀有分散元素等矿床。岩溶矿床分布也很广，以我国南方为最多，特别是广西、云南、贵州，其次是四川、湖南、湖北、江西、广东。华北地区及我国东部沿海一带岩溶矿床亦较多。我国东北的南部、西北的局部地区亦有此类矿床。从矿床埋藏深度上看，从最浅出露地表，至最深几千米。

国内外大量的生产实践证明，岩溶矿床的水文地质条件一般比较复杂，矿坑涌水量一般都比较大，有的矿井常遭受岩溶水的突然灌入而淹没，给矿山带来很大损失。据了解在国外一些大水矿床均与岩溶水有密切关系，其实测的矿坑涌水量达30—40万米^3/日，静水压力达40—50个大气压。在国内，大家都很熟悉的河南焦作煤田9对矿井总涌水量达60万米^3/日，其中李封矿井最大涌水量为13万米^3/日；河北峰峰煤田13对矿井总涌水量16.8万米^3/日；山东莱芜叶庄铁矿矿井涌水量11万米^3/日；江苏贾汪煤矿雨季最大涌水量13万米^3/日；湖南煤炭坝煤矿矿井总涌水量18万米^3/日；广东凡口铅锌矿涌水量7万米^3/日。

此类矿床的充水强度首先决定于岩溶发育强度、岩溶发育深度、岩溶含水层厚度。充水岩溶地层所处“蓄水构造”大小，“蓄水构造”封闭程度及区域补给面积大小和矿床处在补给区或是径流区还是排泄区的位置。其次决定岩溶含水层的出露条件以及接受大气降水和地表水的补给程度。其岩溶矿床有如下水文地质特点。

1．矿井涌水量一般都比较大，岩溶水一般以集中突水点的形式涌入井巷。溶洞水的突然冲溃是岩溶矿床的主要威胁。由于岩溶含水层的富水性一般都比较强，所以矿井涌水量一般也比较大，如前面提到的一些矿区，矿井涌水量大都达到每小时几千立方米，有的甚至达到每小时万立方米左右。岩溶含水层不仅富水

性强，而且由于岩溶发育的不均一性，其富水性也很不均一。根据很多矿区的井下观测，岩溶水皆沿溶洞、溶蚀裂隙、断裂带等处以集中突水点的形式进入井巷。常常在致密的几乎无水的石灰岩邻近地段突然遇见巨大的含水溶洞，因而造成毁灭性的冲溃，淹没矿井。这样的例子在我国南北方都很多。如山东某矿1958年4月2日在－160米水平底板突然涌水，涌水量由360米^3/时猛增至1200米^3/时，水位上涨至－12米水平，全部开采水平被淹停产。

2．矿坑涌水量受大气降水的影响显著，动态变化大。

由于岩溶含水层本身的透水性强，水力联系好，传递快，因之大气降水对矿坑涌水量的大小影响显著。从湖南斗笠山煤矿香

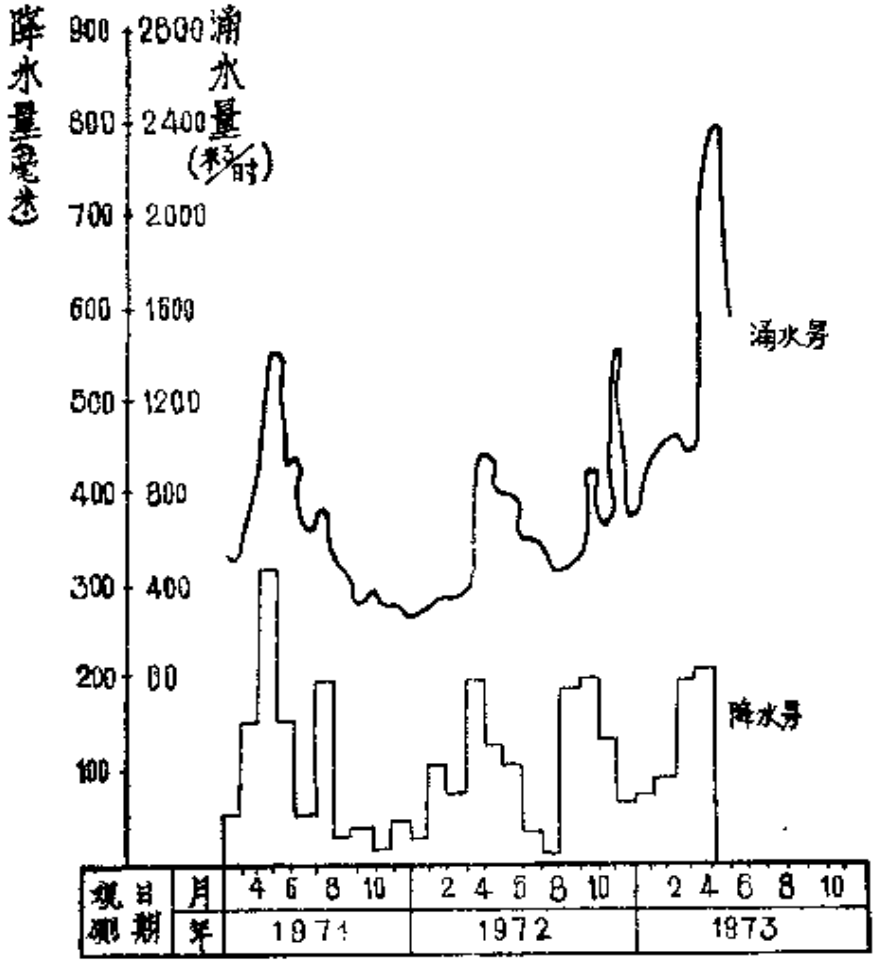


图 7—12　湖南某煤矿区矿井总涌水量与降水量关系曲线

花台矿井—22米水平涌水量多年动态变化就可以看出：年最大涌水量出现在降水量多的季节，最枯涌水量出现在干旱季节（图7—12）。多数岩溶矿床的矿坑涌水量动态曲线，均与降水变化曲线一致，具有明显的季节性变化。其季节性变化系数较大，这是由于岩溶水本身的动态特点所决定的，因而是岩溶矿床的普遍规律。矿井涌水量的季节性变化系数是随着岩溶含水层的出露条件及埋藏情况的不同，在数值上的差别也是很大的。有的可高达几十、甚至几百，而有的却很小。如同在湖南涟邵煤田的各矿矿井涌水量的季节性变化系数由最小1.99到12.31之间。一般的说，无覆盖层的裸露型浅部岩溶发育的矿床，季节性变化系数最大，而地表有厚而稳定隔水层覆盖的埋藏型的岩溶矿床，受降水的影响不明显，因而季节变化系数小。

3．疏干排水降落漏斗和补给边界可以扩展很远。岩溶含水层的强透水性和良好的水力联系，不仅有利大气降水的垂直渗透和补给，而且也有利于水平方向上的渗透和补给。当岩溶含水层分布很广，而没有其它隔水层和构造阻隔时，疏干排水降落漏斗可以扩展很远，其补给边界不断向外围延伸，以致改变区域地下水天然的补给径流和排泄条件，引起一些远离矿床的地表水的倒灌，以及由于长期疏干排水而产生地面塌陷，流砂、泥土冲溃矿坑等不良工程地质问题，并使矿区水文地质条件复杂化。

4．我国岩溶矿床分布很广，所处的自然地理、地质条件差异很大，因之矿床充水条件也不完全相同。从对大量岩溶矿区的资料分析得出：岩溶含水层的出露条件和埋藏情况的不同，矿床充水程度的差别很大，因而可以根据主要充水的岩溶含水层(体)的出露条件，将岩溶矿床进一步划分为裸露型、覆盖型和埋藏型等三类。[1]其水文地质特征简述如下。

裸露型岩溶矿床：矿床所处的岩溶含水体裸露于地表，在地形上一般分布在低中高山地区的分水岭或斜坡地带，矿床往往埋藏在当地最低侵蚀基准面以上甚至地下水面以上。其主要充水岩层的岩溶形态以地面溶沟、石芽、溶槽、洼地、漏斗、落水洞为

主。地下以暗河和大溶洞为主。岩溶水以垂直运动为主，垂直循环带特别发育，厚度可达100米以上，通过地表岩溶直接接受大气降水的补给，渗入系数大于0.90。在汇水范围内无地表径流。地下水量以溶洞库存的静储量为主，动储量具有暂时性，来势猛，消失快，变化大的特点，季节性变化系数可高达数百。地下水位一般随地形的变化而变化。这类矿床一般属于岩溶矿床中水文地质条件简单到中等类型。

覆盖型岩溶矿床的水文地质特征：矿床所处的岩溶含水体（层）被较厚的第四系疏松盖层覆盖。此类矿床多位于低山丘陵山间盆地或山前倾斜平原。岩溶含水层的岩溶形态以地下岩溶为主，岩溶水多为承压水，有统一的含水层和地下水面。地下水以水平运动为主。含水层之间水力联系密切，抽、排水能形成扩展较远的降落漏斗，大气降水通过覆盖层或矿区外围含水层出露地段间接补给，因之地下水动态的季节性变化不如裸露型明显。地形有利于地下水的汇集，补给面积大，补给水量充沛，动、静储量均较大，往往矿坑涌水量亦较大，威胁生产。一般的说，覆盖型矿床水文地质条件比较复杂，从中等到复杂类型，有的甚至是极复杂类型。例如广东的凡口铅锌矿，河北的邯郸铁矿。

埋藏型岩溶矿床的水文地质特征：矿床所处的岩溶含水体被非碳酸盐的坚硬岩层覆盖。埋藏型岩溶矿床在我国主要分布在广大的山前洪积平原及大型的山间盆地中，如华北的石炭二叠系掩盖式煤田，山东莱芜铁矿等即属此类。此类矿床不直接接受大气降水和地表水的渗入补给，以区域侧向补给为主要水源，矿坑涌水量相对较稳定，季节性变化系数小；岩溶水为承压水，具有较大的静水压力，其水头可高达数百米，承压水位常高于矿区地表；若上部覆盖松散孔隙潜水含水层，又无大的导水断裂沟通时，基本上不与下部的岩溶含水层发生水力联系，对一定深度以下的巷道和回采工作面不会产生影响，即对深部无充水意义；但在开采浅部矿体时要防止顶板陷落带的导水裂隙造成突水事故。假若松散沉积物稳定性差，建井时的工程地质条件复杂，常造成涌水

及流砂冲溃；此外，埋藏型岩溶矿床由于岩溶含水层上覆厚而稳定的隔水层与第四系松散沉积物中的孔隙水没有直接的水力联系，因而在矿区抽、排水时，一般不会产生塌陷。仅在某些矿区，由于构造缺失，构成所谓“天窗”地段。在天窗范围内岩溶含水层和第四系孔隙含水层直接或通过基岩风化带发生水力联系，从而在抽、排水时产生地表塌陷。则“天窗”地段就成为埋藏型岩溶矿区大气降水以至地表水垂向渗入补给矿坑水的途径。由此可见，“天窗”地表的塌陷及大气降水和地表水的垂向补给是埋藏型岩溶矿床一个特殊的水文地质问题。研究和掌握天窗的位置、范围及其垂直补给乃是该类型矿区水文地质调查工作中的重要内容。埋藏型岩溶矿区的矿体均埋藏在当地侵蚀基准面以下，一般水文地质工程地质条件比较复杂。

根据矿体（层）与岩溶含水体（层）的接触关系，又可将岩溶矿床划分为顶板进水为主的岩溶矿床、底板进水为主的岩溶矿床及顶底板同时进水的岩溶矿床等三类。

顶板进水为主的岩溶矿床：矿体直接（或间接）顶板为厚层岩溶含水层，直接充水岩溶含水层位于矿层顶板之上，地下水主要是通过冒落带向矿井进水。大气降水和地表水对直接充水的补给往往局限在矿层分布范围内。间接充水含水层，因矿层与岩溶含水层之间有隔水岩层存在。在这种情况下，主要是通过断层、不整合面上的接触部位对矿层进行充水。若边界补给条件差，而又不能从地表水体获得大量补给时，矿井涌水量消耗静储量为主，开采初期涌水量较大，后期即明显的随季节而变化。此类矿床常因疏干排水引起地面塌陷、泥砂溃入等水文地质、工程地质现象。属于此类型矿床有河北邯邢铁矿田、湖南水口山铅锌矿、江西丰城仙姑岭矿区王潘里层、广东凡口铅锌矿、云南四营煤矿、湖北铜绿山铜矿。

底板进水为主的岩溶矿床：矿体（层）直接（或间接）底板为厚层岩溶含水层，直接充水含水层位于矿层底板，地下水主要是在矿层底板薄弱或受构造破坏以及采空面积过大的地段，造成

底鼓突水而进入矿井。直接充水含水层一般仅能在矿区外围获得补给。补给范围往往很大，获得补给的能力强，矿井涌水量普遍很大。具有较高的水头压力和较充沛的动储量及静储量。矿井涌水量相对的比较稳定，随季节变化小。常因疏干排水引起矿区外围地面塌陷，矿井内有溃入泥砂等水文地质工程地质现象。属于此类型的矿床有河北峰峰煤田、山东淄博煤田、旅大石棉矿、湖南恩口煤矿、广东石篆铜矿等。

顶底板同时进水的岩溶矿床：矿体（层）直接（或间接）顶底板均为岩溶含水层，直接充水含水层既位于矿层顶板又位于矿层底板，地下水既来源于矿层顶板岩溶水又来源于底板岩溶水，具有顶板进水和底板进水的水文地特征。此种类型的矿坑涌水量更大，因而水文地质、工程地质条件亦更为复杂。属于此类矿床的有湖南会同坪村煤矿。

（二）主要水文地质问题

1．岩溶矿区的主要水文地质、工程地质问题是由岩溶所引起的。因为岩溶矿区的矿体（层），有的直接赋存于可溶岩中，有的是矿层直接顶板为岩溶化强烈的可溶岩，有的是矿层直接底板为岩溶化强烈的可溶岩，因此，岩溶发育程度及其分布特点是决定岩溶矿区水文地质工程地质复杂程度的基本因素；所以必须查清矿区内的岩溶发育程度及其分布规律。

2．岩溶矿区的地下溶洞，不同程度的被亚砂土、亚粘土、砂砾石等物质所充填。而溶洞充填物的性质和充填程度（半充填、全充填），它直接影响着岩溶含水层的富水性。同时，由于溶洞充填物的存在，常常造成在抽水、排水过程中形成泥砂溃入坑道或矿井内，埋损井下机械，降低排水效能，甚至引起其它事故，影响生产等。因此，必须研究和掌握溶洞充填物的性质和充填程度。

3．岩溶矿区的第三个主要水文地质问题是岩溶含水层的富水性、渗透性，以及岩溶水在自然状态下和改变其运动状态之后的补给、径流、排泄条件。岩溶矿区的主要含水岩层，由于岩溶发育、渗透性和富水性均较强，具有较大的地下水动、静储量，

为矿坑主要充水水源。又因岩溶发育的不均一性，导致岩溶含水层的富水性、渗透性亦具有极不均一性。某些矿区，在不均一中也有相对均一的地段；北方一些矿区岩溶发育较为均一，这些矿区的溶洞和溶蚀裂隙是互相连通的，引起水力联系密切，具有统一的地下水面。在自然状态下，由补给区向排泄区运动，但一经抽水、排水后，随着地下水水位不断降低，其运动条件亦发生改变，使原来地下水的排泄区往往成为新的补给源地，地下水的主要径流方向又成为排泄区地下水和地表水倒灌补给矿坑的途径，因而增加了矿坑涌水量。同时，岩溶矿床若未采取提前疏干的办法，则往往可能产生突然溃水而淹没矿井，给生产带来危害。因此，必须认真研究岩溶含水层的分布、埋藏条件、富水性、渗透性及地下水补给、径流、排泄条件等特征。

4. 必须掌握可能产生地面塌陷的程度及分布规律。岩溶矿区的主要岩溶含水层，绝大部分被第四系松散层覆盖，在自然条件下，两者是处于相对平衡的状态，但经较长时期的抽（排）水后，随着水位的降低产生地下水的潜蚀、淘空能力的加强和溶洞充填物的大量流失，这种平衡便遭到破坏，地面即开始发生沉降、开裂与塌陷。地面塌陷的出现，一方面引起矿区水文地质、工程地质条件的变化，使大气降水和地表水沿塌陷、开裂灌入地下，增大了矿井排水量和排砂量。另一方面，塌陷的出现直接影响着人民生命安全和矿山建设的布局，其危害性较大。因此，研究和掌握地面塌陷的形成条件及分布规律，对其预测和处理，是岩溶矿区水文地质勘探的又一个新的重要问题。

（三）勘探要求

由于岩溶矿床存在以上几个水文地质、工程地质问题，需要在矿区水文地质工作中很好得到解决。解放近三十年来的工作，取得了正、反两方面的经验教训，总结一下水文地质条件复杂的岩溶矿床对以上几个主要水文地质工程地质问题的工作经验，根据岩溶矿床特殊性，除一般水文地质工作外，应做一些专门性水文地质工作，才能得到解决。岩溶发育程度和分布规律及其岩溶

含水层的富水性的研究，过去没有认真对待，常常下了些错误的结论。例如1954年湖南斗笠山煤矿Ⅰ、Ⅱ井田对主要充水岩溶含水层煤层底板茅口灰岩仅作一孔的混合回填抽水试验，预计矿坑涌水量70米³/时，而1958年在Ⅱ井田香花台矿井开掘过程中，矿坑涌水量不断增大，最大涌水量达1050米³/时，不得不被迫停挖，封闭巷道，保护井筒，等待水文地质资料。这种教训是很多的。如何查清岩溶矿床的水文地质工程地质条件，全国各矿区经过大量的生产实践，已总结了不少经验，归纳起来有以下几个方面。

1．为查明岩溶矿区的补给、径流、排泄条件、蓄水构造特征，必须从大面积1:5万—1:20万比例尺区域水文地质调查入手，逐步进行1:1万—2.5万比例尺矿区水文地质测绘，以至1:2千—1:5千矿床水文地质测绘工作，特别是底板进水的岩溶矿区，区域水文地质调查的面积不能局限于矿区范围以内，应尽可能包括一个完整的水文地质单元，以便了解和掌握区域水文地质条件对矿坑补给的关系，以彻底查明矿坑进水的补给边界，隔水边界。

2．为查明主要充水岩溶含水层的岩溶发育程度和分布规律，必须用较多的钻孔揭露该岩层，了解其岩性、化学成分、厚度、溶洞、溶蚀裂隙、溶孔等溶蚀现象，岩溶在垂直和水平方向的分布规律性。若是顶板进水的岩溶矿床，尽可能地利用所有地质储量勘探孔，收集岩溶发育资料，做到一孔多用。而对于底板进水的岩溶矿床，因地质储量勘探孔往往打穿矿层底板后即停钻，水文地质难以利用，因此，必须设计利用一定数量的地质储量勘探孔加深揭露底板主要充水岩溶含水层，或打一部分专门揭露底板岩溶含水层的钻孔，其揭露深度以能揭露主要岩溶发育带为准，少量钻孔应揭穿全层，以了解该岩层全层的岩溶发育程度。揭露底板岩层的钻孔数量多少，应以能控制查明岩溶发育程度和分布规律为准。布置原则一般可采用剖面线布置，剖面线长度应控制到供水边界或隔水边界。为解决这个问题，水文物探是行之有效

的方法，应同时进行面上电法勘探，钻孔进行水文电测井工作。

3．为查明岩溶矿床主要充水含水层的富水性，除布置一定数量的单孔抽水试验，以了解不同地段岩溶含水层的富水性外，应按岩溶垂直发育分布情况，进行分段（分层）抽水分层观测的群孔抽水试验，以了解不同深度不同岩溶发育带的富水性及其各向异性。经过大量矿区实践证明，对于岩溶发育的大水矿区，由于岩溶含水层的富水性强，小口径单孔抽水，水位降低值达不到抽水试验目的的要求，近几年来多采用大口径大流量群孔抽水试验，其优点是：对富水强的矿区进行抽水可以获得较大降深，可以形成较大的人工流场；通过流场分析可以反映岩溶发育的各向异性；可以清楚的暴露边界条件；通过较大流量的抽水，可以计算出较为准确的水文地质参数资料，并根据抽水时形成的人工流场分析，还可以预报未来矿床开采地下水动态及涌水量。但是人工大流量群孔抽水亦存在缺点：施工复杂，工程量大，施工期限长；工程量大相应投资亦较大。岩溶矿区如果有生产坑道或勘探坑道，则可以利用它们作为矿井抽水试验、矿井排水试验或放水试验，对于研究岩溶矿床来说比大口径大流量群孔抽水试验更为有效。

4．为查明岩溶含水层与构造断裂及地表水的水力联系，除利用大量地质孔进行简易水文地质观测，了解其断层带导水性外，应在断层带两侧及岩溶含水层同时布置专门水文地质孔，进行互换抽水观测。在地表水体附近布置专门水文地质试验孔。通过抽水试验和观测，以解决它们之间的相互关系。

5．其他水文地质调查工作方法，如地下水和地表水的长期观测、水文物探、连通试验、水质分析、岩石相对溶解度试验、岩（土）样试验、钻孔简易水文地质观测等工作。都不应忽视，在工作中还要加强对资料的综合研究工作。许多矿区实践证明，采取多种工作方法，各兵种联合作战，查明岩溶矿床水文地质工程地质条件是一种有效方法。

以广东曲塘矿区为例：

矿区位于一个轴向北西，向南东倾伏的复式向斜构造盆地的北缘，次一级构造有金星岭背斜等。盆地四周为中、低山环绕，盆地内北西高、南东低，构成向南东开扩的平坦地形。

区内主要河流：一号河流经矿体上部，流量 0.008—2.8 米³/秒；二号河流经矿区南部，于矿区东南部同一号河汇合流出矿区外。

矿体埋藏在当地侵蚀基准面以下，赋存于上泥盆统天子岭组含泥炭质花斑状、条带状石灰岩中。矿体顶板为岩溶化强烈的中、上石炭统壶天群石灰岩、白云质石灰岩，质地较纯，厚度大，分布于二号河以至矿体地段的广大平坦地区。其上部均被第四系覆盖。第四系厚度 10—30 米，由冲洪积、残坡积亚粘土、含砂砾亚粘土、含碎石亚粘土等组成。第四系孔隙含水层富水性不均一，钻孔单位涌水量 0.009—0.95 升/秒·米，矿体底板为天子岭组及中泥盆统东岗岭组泥炭质石灰岩、白云岩、白云质灰岩、粉砂岩等。天子岭组、东岗岭组石灰岩中亦有岩溶分布，但发育程度较弱。矿区北部和西部，由上泥盆统帽子峰组砂岩、天子岭组泥炭质石灰岩和下石炭统大塘阶砂页岩围绕，组成矿区北部、西部呈“Γ”字型的相对隔水边界（图 7—13）。区内主要断裂构造为一系列走向北北东、向南东东倾斜的逆掩断层，属新华夏式构造体系。矿区内 F_4 逆掩断层规模最大，多次活动，且与矿床关系极为密切。该断层切割主矿体，向南部壶天群分布区延伸，已控制长度约 2200 米，平均断距 176 米，最大 340 米。断层破碎带于壶天群可溶岩中的宽度为 0.8--10.3 米。沿 F_4 断层带附近的岩石破碎程度和岩溶发育程度是不均一的，临近矿体的中南端岩石破碎厉害，岩溶发育强烈，富水性强，钻孔最大单位涌水量 6.06 升/秒·米，为区内主要充水断层。矿区内壶天群石灰岩岩溶含水层，对矿坑威胁最大，是主要充水水源。该层岩溶较发育，富水性强，但不均一，具明显的各向异性。一般在－20 米标高以上（地表标高 110 米左右），岩溶发育强烈，岩溶率大于 5%，钻孔能见率大于 60%，溶洞被亚粘土、粘土质砂砾石充填，充填率

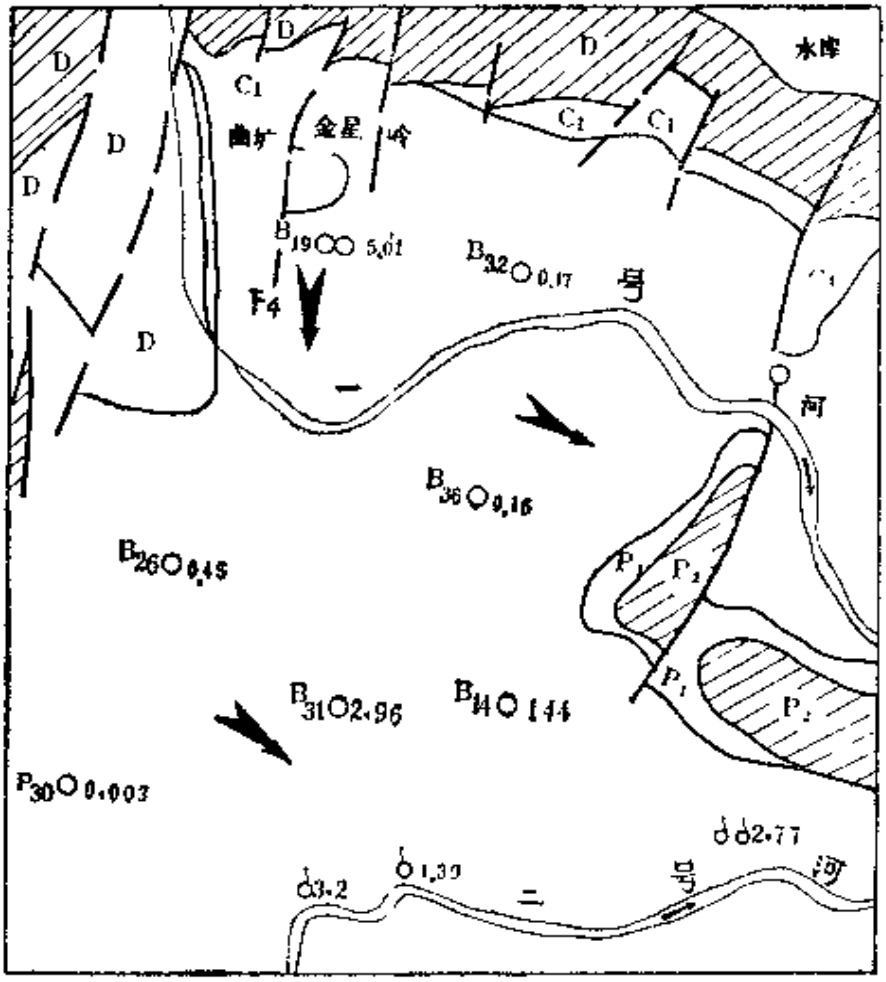


图 7—13　曲塘矿区水文地质简图

1—上二叠统龙潭阶砂页岩；2—下二叠统栖霞阶石灰岩；3—中上石炭统壶天群石灰岩、白云岩；4—下石炭统；5—泥盆系；6—隔水层；7—抽水孔编号及单位涌水量（升/秒米）；8—上升泉及涌水量（升/秒）；9—地下水流向；10—断层及地质界线

65%；含水丰富，为强含水带。含水带平均厚度75米，钻孔单位涌水量0.08—5.1升/秒·米，渗透系数4.1—10.04米/昼夜。－20米标高以下岩溶发育较弱，岩溶率小于1%，富水性弱，为弱含水带.不同地段的钻孔单位涌水量从0.03到6.06升/秒·米，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，

差值在200倍以上。各中段的排水量：50米标高6500—9200米³/日，±0米标高13700—17700米³/日，－40标高26900—45100米³/日，－80米标高3000米³/日，－120米标高小于3000米³/日，以下各中段基本上无水。

区内地下水由北向东南、部分向东流，于排泄区以泉水形式溢出。主孔抽水和开采坑道排水时，主要来水方向为南部和东部。在B_{19}号双主孔抽水时，当水位降低12米，抽水孔附近地面开始出现沉降、开裂和塌陷；水位降低13.48米，于降落漏斗内出现24处塌陷。截止－40米中段坑道排水，中心观测孔水位降低121.28米时，全矿区共发生塌陷1200多个，总体积达51769立方米。开裂、塌陷的影响半径达2600米。

本矿区水文地质勘探研究方法：为研究和了解区域内岩溶发育程度、地下水的补给、径流、排泄条件等，阐明区域水文地质特征以及对矿区水文地质、工程地质条件的影响程度，进行了比例尺1:25000或1:50000，包括区内一个比较完整的水文地质单元的区域水文地质测绘。在水文地质测绘过程中，依据矿区实际情况，配合岩溶电法勘探，使用少量水文地质勘探工程。然后进行1:10000的，包括隔水边界至供水边界和区内主要河流地段的矿区水文地质测绘。在水文地质调查中，除利用地质钻孔进行简易水文地质观测外，主要是在区域水文地质调查的基础上，进行详细水文地质测绘及岩溶电法勘探工作，并结合验证物探异常，在不同地段进行钻孔抽水试验等。以便研究和初步查明岩溶矿区岩溶发育程度、岩溶含水层的富水性及渗透性等水文地质与工程地质特点，为在矿床范围内进行专门性文水地质工程提供依据。最后在地质勘探工作比较详细的地段，进行比例尺1:2000—1:5000矿床水文地质测绘及比较详细的水文地质勘探工作。它是在矿区水文地质调查的基础上，通过地面水文地质测绘、岩溶电法勘探、钻孔简易水文地质观测等，在不同地段选用地质钻孔或专门水文地质钻孔，进行单孔抽水试验，以及岩石物理力学性质试验等工作。然后，依据矿区实际情况，进行大口径群孔抽水试验，