

# 第八篇

## 矿床水文地质

# 第一章 地下水文基础

自然界中的水,存在于大气中、地壳表面和地壳内。大气中的水呈水蒸气及云、雾、雨、雪和冰雹等形态存在于空气中。地壳表面的水分布在河流、湖泊和海洋中,或呈冰雪覆盖于高山顶部。地壳里的水,存在于岩土空隙中,也有气态、液态和固态等三种不同的形态。大气中的水叫做大气水,地壳表面的水叫做地表水,地壳内的水则叫做地下水。专门研究地下水的成因、分类、物理性质、化学成分及其运动规律的科学称为水文地质学。因此,常把与地下水有关的问题称为水文地质问题,把与地下水有关的地质条件称为水文地质条件。

地下水和地表水、大气降水之间存在着密切的联系,构成自然界的水循环:地表水和地下水受到太阳辐射热力的作用,蒸发变成水蒸气上升到大气中,当其遇冷就凝结变成雾、雨、雪、冰雹等,由于地心引力作用,重新降落到地壳表面,其中一部分沿着岩土空隙渗入到地下,形成地下水。地下水除少部分蒸发到大气中外,大部分沿岩土空隙在地下流动,最终也是注入到地表水体里。因此,研究地下水的活动规律,或解决采矿过程中遇到的地下水问题时,不能脱离自然界中的水循环,即不能脱离开大气降水和地表水。

## 第一节 地下水的赋存状态

### 一、岩土的空隙性

岩土中的空隙是地下水存在的环境,环境的好坏,即岩石空隙的大小、多少、联通程

度和分布状况等决定地下水的存在和运动规律。根据岩土空隙的成因和结构的不同,岩土的空隙可分为三种类型:孔隙、裂隙和岩溶溶洞。

1. 孔隙 土(黏土、砂土、砾石等)和碎屑岩等沉积岩,其中的颗粒和颗粒集合体间存在着空隙,这种空隙称为孔隙。

不同岩土孔隙的大小和多少不一样。较粗颗粒组成的岩土具有较大的孔隙,但孔隙的数量较少。常用孔隙度( $n$ )表示孔隙的发育程度,孔隙度为孔隙体积( $V_n$ )与包括孔隙在内的岩石总体积( $V$ )之比,以小数或百分数表示。其表示式如下:

$$n = \frac{V_n}{V} \text{ 或 } n = \frac{V_n}{V} \times 100\% \quad (1-1)$$

岩土孔隙度的大小受很多因素的影响。例如颗粒的排列情况、均匀程度,颗粒形状和颗粒间的胶结情况等。不同岩土的孔隙度相差很大,松散沉积物的孔隙度一般常界于26%~47.6%之间。如果颗粒大小比较均匀,形状越不规则,棱角越大,孔隙度也越大。然而自然界的岩土颗粒大小是不均匀的,当大颗粒间的空隙中充填了较小的颗粒,孔隙度就会降低。因此,颗粒大小越是不均匀的岩土,孔隙度越小。没有完全胶结的沉积岩,胶结程度越差,孔隙度越大,胶结好的岩石则孔隙度小。

2. 裂隙 坚硬岩石由于岩浆的冷凝作用,或地壳运动中构造应力的作用和外力的风化剥蚀作用,在岩石中产生了各式各样的裂缝,称为裂隙。

裂隙在岩石中的分布是不均匀的,大小相差也很悬殊。在裂隙岩层中,往往某些地方裂隙特别发育,另一些地方则发育较差或根本不发育,特别是断裂带的构造裂隙,这种不均匀性更为明显。衡量裂隙发育程度的指标是裂隙度( $K_l$ ),也称为裂隙率。它是裂隙体积( $V_l$ )与包括裂隙在内的岩石总体积( $V$ )之比,用百分数表示。其表示式如下:

$$K_l = \frac{V_l}{V} \times 100\% \quad (1-2)$$

裂隙度的测定多在岩层露头处或矿山坑道中进行。其方法是首先测量一块具有典型意义的岩层露头面积( $F$ ),然后逐一测量该面积上裂隙的长度( $L$ )及平均宽度( $B$ ),按下式计算裂隙度。

$$K_l = \frac{\sum L \cdot B}{F} \times 100\% \quad (1-3)$$

这样测得的裂隙度又称面裂隙度,此外,根据钻孔中所取岩心还可以求得岩石的线裂隙度。

3. 岩溶溶洞 地下水溶蚀了某些可溶性岩石(如石灰岩、石膏、岩盐等),而在岩石中形成的洞穴称岩溶溶洞。岩石中岩溶溶洞的不均匀性较裂隙更甚,大的岩溶溶洞,体积

可达数十万立方米以上。衡量岩溶溶洞发育程度的指标称为溶洞度( $K_k$ ),也叫岩溶率。它等于可溶性岩层中岩溶溶洞的体积( $V_k$ )与包括岩溶溶洞在内的岩石总体积( $V$ )之比,用百分数表示。其表示式如下:

$$K_k = \frac{V_k}{V} \times 100\% \quad (1-4)$$

岩溶溶洞度通常由钻孔中所取得的岩心测量而得。

## 二、水在岩土中存在的形式

根据水在空隙中的物理状态,水与岩土颗粒的相互作用等特征,一般将水在空隙中存在的形式分为六种,即气态水、吸着水、薄膜水、毛细水、重力水和固态水(图 8-1-1)。

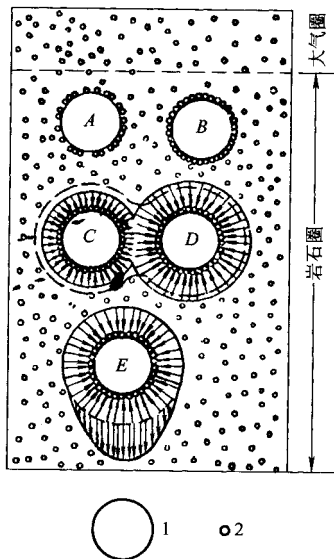


图 8-1-1 水在岩土中的各种形式示意图

1—岩土颗粒 2—气态的水分子

A—带少量吸着水的颗粒;B—布满吸着水的颗粒;

C—薄层薄膜水;D—厚层薄膜水;E—多余的薄膜水(重力水)

1. 气态水 气态水即水蒸气,和空气一起充填在岩土的空隙中。

2. 吸着水 当岩土空隙中的气态水与岩土颗粒表面接触时,即被岩土颗粒表面所吸附,在颗粒周围形成一极薄的水膜,当空气湿度不大,吸附的水分不多时,水膜只有几个水分子直径厚,这一部分水称为吸着水。如图 8-1-1 A、B 所示。

3. 薄膜水 当岩土空隙中空气的相对湿度超过 94% 以后,岩土颗粒吸附的水分子

逐渐加多 ,包围在吸着水外面 ,而使水膜加厚的这部分水分子 ,叫薄膜水。薄膜水的水膜可达几百个水分子直径厚。如图 8-1-1C、D 所示。

吸着水和薄膜水都是受分子力作用而吸附在岩土颗粒表面上 ,其含量则取决于颗粒的总表面积 ,岩土颗粒越细小、总表面积便越大 ,吸着水和薄膜水的含量也越多。例如在粘土中所含的吸着水和薄膜水分别为 18% 和 45% ,而在砂土中其含量不到 0.5% 和 0.2%。对于具有裂隙和溶洞的坚硬岩土来说 ,吸着水和薄膜水的含量更是微不足道。

4. 毛细水 是由毛细力作用而充满在岩土毛细空隙(一般指直径小于 1mm 的孔隙和宽度小于 0.25mm 的裂隙)中的水。毛细水同时受重力和毛细力的作用 ,如毛细力作用超过重力作用则毛细水能上升到达潜水面以上的某一高度 ,而在潜水面以上的岩土空隙中形成一个毛细水带。

5. 重力水 它是充满于非毛细空隙中的液态水。当薄膜水的薄膜更加增大时 ,水与岩土颗粒间的作用力逐渐减小 ,当这种力量不能保持薄膜水时 ,薄膜水即变为液态水滴受重力影响而在岩土空隙中运动(图 8-1-1E)。一般所指的地下水如井水、泉水、矿坑水就是重力水。它能传递静水压力 ,是水文地质研究的主要对象。

6. 固态水 以冰的形式存在于岩土中的水。高寒地区冬季或全年地壳表层冻结 ,其中液态水即变成固态水。它在我国的西北和西藏的高寒山区的永冻层中广泛分布。

上述各种形式的水 ,在地壳中分布是有一定规律的 ,当我们挖井时就可以看到这种分布规律(图 8-1-2) ,如开始挖井时见到土是干的 ,其实里面含有气态水、吸着水和薄膜水 ,再往下挖当见土发湿 ,颜色变暗 ,但井中无水 ,这说明已挖到毛细水带 ,再往下挖时水就开始渗入到井中 ,并逐渐形成一个地下水面 ,这就是重力水。在重力水面以上 ,岩土空隙未被水饱和 ,通常称为包气带。重力水面以下则称为饱水带 ,毛细水带实际上为二者的过渡带。

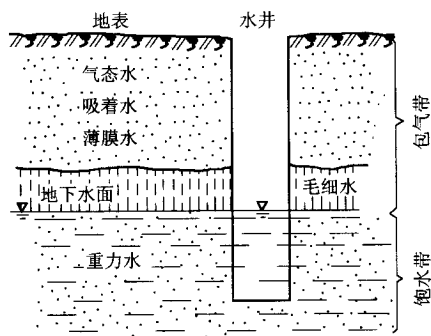


图 8-1-2 各种形式的水在地壳中的分布图

### 三、岩土的水理性质

地下水存在和运动于岩土空隙中,即水与岩土发生关系时,岩土所表现出来的各种性质,称为岩土的水理性质。它主要包括容水性、持水性、给水和透水性。

1. 容水性 岩土空隙所能容纳水的性能叫做容水性。表示它的指标叫容水度,也叫饱和水容度。若以岩土中所能容纳的水的重量与岩土在干燥时重量之比的百分数表示,叫重量容水度,按体积表示时,叫体积容水度,它在数值上等于岩土的孔隙度、裂隙度或岩溶溶洞度。

2. 持水性 在自然条件下,岩土能够保持一定水量的性能叫做持水性。表示它的指标叫持水度,即岩土中由于静电引力所能吸附的薄膜水的重量与岩土在干燥时重量之比的百分数表示,或以体积之比表示,也叫薄膜持水度。

3. 给水性 被水饱和了的岩土在重力作用下,自由排出重力水的性能叫给水性。表示它的指标叫给水度或称给水率( $\mu$ )。在数值上它等于以体积之比或质量之比表示的岩土容水度减去持水度。

不同岩土的给水度是不同的,对松散岩土来说,颗粒越粗,孔隙越大,给水度也大,其数值接近容水度,而细粒岩土尽管孔隙度与容水度均大,但孔隙一般较细小,持水度大,因此给水度反而小。常见的松散岩土的给水度如表 8-1-1。

表 8-1-1 常见松散岩土的给水度

岩石名称	给水度( $\mu$ )	岩石名称	给水度( $\mu$ )
砾石	0.35 ~ 0.30	细砂	0.20 ~ 0.15
粗砂	0.30 ~ 0.25	极细砂	0.15 ~ 0.10
中砂	0.25 ~ 0.20		

对于坚硬的裂隙和岩溶岩石来说,由于持水度近于零,因此给水度、容水度、裂隙度或岩溶溶洞度在数值上几乎是相等的。

4. 透水性 岩土能使水透过本身的一种性能叫做透水性。由于地下水是存在和运动于岩土的孔隙中,因此,岩土孔隙的大小、连通性和多少都会直接影响到岩土的透水性。一般说来,对于松散岩土透水性的好坏,不取决于孔隙度的绝对值,而取决于孔隙的大小。例如粘土的孔隙度很大,但透水性很差,而砂的孔隙度虽然只有 30% 左右,但透水性良好。松散岩土的孔隙大小又取决于组成岩土的颗粒大小、均匀程度及不同大小颗粒的相对含量。因此岩土的颗粒组成情况与透水性有密切的关系,一般颗粒越细、大小越

不均匀 ,透水性越差。对于坚硬的裂隙岩石和岩溶岩土来说 ,透水性的好坏则决定于岩石的裂隙和岩溶溶洞的发育程度。

岩土根据透水性的好坏可分为透水岩土和不透水岩土。一般情况下 ,砂、砾石、裂隙与岩溶比较发育的岩土都是透水的 ,粘土及裂隙不发育的岩土则是不透水的。但是 ,岩石的透水或不透水并不是绝对的 ,例如在普通压力下不透水的岩土 ,在极大的水压力作用下也可能是透水的 ,特别是粘土。此外 ,介于透水和不透水之间的岩土 ,如亚粘土和亚砂土等 ,称为半透水的岩土。

表示岩土透水性能大小的指标 ,称为渗透系数 ,用符号  $K$  表示。

第二节 地下水的物理性质和化学成分

地下水是自然界中水循环的一部分 ,在循环的过程中 ,便携带和溶解了自然界中各种离子、分子、胶体物质、悬浮物、气体和微生物等 ,因此 ,它是含有各种复杂成分的天然溶液。为了利用地下水和防治它的危害 ,必须研究它的物理性质和化学成分。

一、地下水的物理性质

地下水的重要物理性质有温度、颜色、透明度、嗅味和比重等。

1. 温度 地下水的温度与埋藏深度有关。近地表的水 ,温度受气温影响 ,通常在日常温带以上(埋藏深度 3 ~ 5m 以内 )的水温具有周期性日变化 ,年常温带以上(埋藏深度一般在 50m 以内 )的水温则表现为周期性年变化。在年常温带 ,水温的变化很小 ,一般不超过 1℃。年常温带以下 ,地下水温度则随深度加大而逐渐升高 ,其变化规律决定于一个地区的地热增温级。不同地区地下水的温度差异很大 ,例如火山地区的间歇泉水 ,温度可达 100℃ 以上 ,而多年冻土带或高寒山区的地下水 ,温度可达 - 5℃(矿化高的 )。

按照温度的差别 ,地下水可分为极冷的水、冷水、温水、热水、极热的水和沸腾的水 (表 8 - 1 - 2 )。

表 8 - 1 - 2 根据水温不同的地下水分类

水的分类	水的温度/℃	水的分类	水的温度℃
极冷的水	0 ~ 4	热水	37 ~ 42

水的分类	水的温度/℃	水的分类	水的温度℃
冷水	4 ~ 20	极热的水	42 ~ 100
温水	20 ~ 37	沸腾的水	100 以上

2. 颜色 地下水的颜色决定于水中的化学成分及其悬浮杂质。一般情况下 ,地下水 和化学纯水一样是无色的 ,但当含有一定量的某种化学成分或悬浮杂质时 ,地下水就具 有各种不同的颜色。例如含有 FeO 的水呈浅蓝色 ,含 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的水呈褐红色 ,含腐殖质 的水呈暗黄褐色。含悬浮杂质的水的颜色则决定于悬浮物本身的颜色。颜色的深浅则决 定于水中这些化学成分和悬浮物含量的多少。

3. 密度 地下水的密度决定于水中所溶盐分的多少。一般情况下 ,地下水的密度与 化学纯水相同。当水中溶解了较多的盐分时 ,密度可达 1.2 ~ 1.3t/m<sup>3</sup>。

地下水的其他物理性质还有透明度、气味、味道等。

二、地下水的化学成分

循环在岩石中的地下水 ,在各种自然地理和地质因素的影响下 ,富集着各种离子、分 子、胶体物质和气体等。这些物质的总和组成了地下水的化学成分。

1. 地下水的主要化学成分 地下水是一种良好的溶剂 ,它不断地与地壳中的岩石作 用 ,但根据研究证明 ,地下水中所发现的化学元素只有 60 多种 ,通常以下列几种形态存 在 ,即离子状态、化合物分子状态以及游离气体状态。地下水中常见的成分如下 :

离子成分中阳离子有 :H<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 等 ;阴离子有 : OH<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 及 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 等。化合物分子状态存在的 有 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 等。气体成分有 :N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>S 以及镭射气 R<sub>n</sub> 等 等。其中 ,Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 及 Mg<sup>2+</sup> 七种离子在地下水中分布最广泛 , 因此地下水的化学定名和评价就是根据这七种离子进行的。

2. 氢离子浓度(pH) 纯水中氢离子的出现是由于水分子离解所致 ,但这一离解作 用的强度很弱 ,在一千万个水分子中只有一个分子离解为离子而生成一个 H<sup>+</sup> 与一个 OH<sup>-</sup> ,此时水中离子浓度的乘积为 10<sup>-14</sup>。在纯水中 H<sup>+</sup> 与 OH<sup>-</sup> 的浓度是相等的 ,因此水 呈中性反应。

[ H<sup>+</sup> ]=[ OH<sup>-</sup> ]= √10<sup>-14</sup> = 10<sup>-7</sup>

当水中[ H<sup>+</sup> ]>[ OH<sup>-</sup> ]时 ,水呈酸性反应 ,反之则呈碱性反应。水的酸碱度常用“ 氢 离子浓度 ”,即 pH 值来表示。pH 值是指水中氢离子浓度的负对数值。



$$pH = -lg[H^+]$$

因此 ,当 $[H^+] = 10^{-7}$ 时 , $pH = 7$  ,水为中性。当 $[H^+] > 10^{-7}$ 时 , $pH < 7$  ,水呈酸性反应。而当 $[H^+] < 10^{-7}$ 时 , $pH > 7$  ,水为碱性。

根据  $pH$  值 ,可将地下水分为五种 :强酸性水、弱酸性水、中性水、弱碱性水和强碱性水(表 8-1-3)。

表 8-1-3 水按  $pH$  值的分类

水的类别	强酸性水	弱酸性水	中性水	弱碱性水	强碱性水
$pH$ 值	$< 5$	$5 < pH < 7$	$pH = 7$	$7 < pH < 9$	$> 9$

3. 水的硬度 水的硬度取决于水中  $Ca^{2+}$  与  $Mg^{2+}$  的含量。硬度对供水来说很重要 ,例如用硬水烧锅炉 ,会造成水垢 ,使锅炉的导热性变坏 ,甚至引起爆炸。

硬度可分为总硬度、暂时硬度和永久硬度。总硬度是水中  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  离子的总量。它由暂时硬度和永久硬度组成。暂时硬度是水沸腾后 ,由于钙镁重碳酸盐的破坏 ,呈碳酸盐而沉淀出来的  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  的含量。永久硬度是水沸腾后水中残留的  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  的含量。表示硬度的方法很多 ,最常用的是以德国度和毫克当量/升表示。 $1\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的硬度 = 2.8 德国度。此外 ,还有“法国度”(1 度 =  $10\text{mg}/\text{LCaCO}_3$ )和“英国度”(1 度 =  $14\text{mg}/\text{LCaCO}_3$ )等 ,但很少采用。

根据水的总硬度可把天然水分为五类 :极软水、软水、弱硬水、硬水和极硬水(表 8-1-4)。

表 8-1-4 根据水的总硬度的天然水的分类

水的分类	总硬度/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (德国度)	水的分类	总硬度/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (德国度)
极软水	$< 1.5 (< 4.2^\circ)$	硬水	$6.0 \sim 9.0 (16.8^\circ \sim 25.2^\circ)$
软水	$1.5 \sim 3.0 (4.2^\circ \sim 8.4^\circ)$	极硬水	$> 9.0 (> 25.2^\circ)$
弱硬水	$3.0 \sim 6.0 (8.4^\circ \sim 16.8^\circ)$		

4. 总矿化度 单位体积水中所含有的离子、分子和各种化合物(不包括游离状态的气体)的总量称为水的总矿化度 ,以  $\text{g}/\text{L}$  表示。它说明水中所溶解的盐分的多少。其正确的计算方法应该分析水中所有的组分 ,并将这些组分的单位体积含量相加起来 ,所得的和即为总矿化度。为简便起见 ,通常以  $105 \sim 110^\circ\text{C}$  下将水蒸干后所得的干涸残余物含

量来表示 ,但应注意 ,由于部分物质在蒸发时挥发跑掉以及某些含水盐类的生成 ,干涸残余物重量亦不能确切地代表水的总矿化度。一般的地下水总矿化度多在 0.5g/L 以下 ,很少超过 1g/L。按总矿化度大小 ,地下水可分为五种 淡水、弱半咸水、强半咸水、咸水和盐水(表 8-1-5)。

表 8-1-5 按总矿化度的地下水分类

水的分类	淡水	弱半咸水	强半咸水	咸水	盐水
总矿化度/g·L <sup>-1</sup>	< 1	1 ~ 3	3 ~ 10	10 ~ 50	> 50

三、地下水化学成分的表示法及其评价

1. 地下水化学成分表示法 目前在我国普遍采用离子形式表示。元素在水中绝大部分是以离子状态存在 ,所以用离子形式表示最为合适 ,其离子含量以每升水中的毫克或毫克当量表示。任一元素的当量为原子量被原子价除所得的商 ,例如 Ca<sup>2+</sup> 的原子量为 40.08 ,其原子价为 2 ,则它的当量为 20.04。而毫克当量数为毫克数被当量数除所得的商 ,例如 1L 水中含 Ca<sup>2+</sup> 为 20.04mg 时 ,则它的毫克当量为 1 ,如果 1L 水中含 Ca<sup>2+</sup> 为 60.12mL 克时 ,则它的毫克当量为 3。为了对同一种地下水中各种离子所占比例有一概念 ,特别是为了比较、换算、整理和分析 ,常把毫克当量换算成毫克当量百分数 ,其方法如下 :

下 :

某元素离子毫克当量 %

=

$\frac{K}{\sum K} \cdot 100\%$

( 1 - 5 )

式中 K——阳(或阴)离子中某个离子的毫克当量/升 ;

ΣK——阳(或阴)离子的毫克当量/升的总和数。

每一水样化学分析后 ,通过上述一系列的换算后可用表 8-1-6 表示结果(某矿区 4 号钻孔水样)。

表 8-1-6 某矿区 4 号钻孔水样水分析成果表

离子		mg/L	毫克当量/L	毫克当量/%
阳离子	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	235.50	10.24	40.8
	Ca <sup>2+</sup>	167.50	8.36	33.2
	Mg <sup>2+</sup>	79.30	6.52	26.0
总计		482.30	25.12	100%
	Cl <sup>-</sup>	255.63	7.19	28.4

离子		mg/L	毫克当量/L	毫克当量/%
阴离子	SO <sup>2-</sup>	516.10	10.74	42.8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	445.00	7.29	28.8
总计		1216.73	25.22	100%

目前常用的地下水化学成分的表示方法是库尔洛夫表示式。它以数学分式来表示地下水的化学成分,在分子的位置上,按含量的多少顺序排列出水中阴离子及其毫克当量百分数,而在分母上则表示出阳离子及其毫克当量百分数,也按含量多少顺序排列。凡含量少于 10% 的离子一般不列入式中。在分式的前面写出水中所含有的稀有元素、气体成分及水的总矿化度,单位都以 g/L 表示。分式后面表示出水的温度(  $T$ ,℃ )及涌水量(  $Q$ , m<sup>3</sup>/d )。其表示式如下:

稀有元素( g/L )气体( g/L )矿化度( g/L )  
阴离子毫克当量 % > 10% 者按递减顺序排列  
阳离子毫克当量 % > 10% 者按递减顺序排列  
水温( ℃ )涌水量( m<sup>3</sup>/d )

如用 4 号钻孔水样表示时,其库尔洛夫式如下:

$$\text{CO}_{0.0153}^2 \text{M}_{1.699} \frac{\text{SO}_{42.8}^4 \text{HCO}_{28.8}^3 \text{Cl}_{28.4}}{\text{Na}_{40.8} \text{Ca}_{33.2} \text{Mg}_{26.0}} \text{T}_{14}^{\circ} \text{Q}_{1036.8}$$

根据水分析的结果,还要对地下水进行定名,确定其水化学类型。目前我国确定水化学类型是在库尔洛夫公式的基础上进行的,即按阴、阳离子中毫克当量 % 大于 25 % 者列出定名。例如上述某矿区 4 号钻孔的地下水应定为硫酸重碳酸氯化物钠钙镁水( SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl—Na, Ca, Mg 型水 )。

2. 地下水的水质评价 由于不同地下水的化学成分及其所反映的物理性质都不一样,因而不同地下水的用途也不一样,如有的可以饮用,有的可作为工业用水。由于地下水的化学成分含量不同,水则可能对金属或混凝土产生侵蚀作用,等等。

( 1 ) 饮用水的水质评价 地下水存在于自然环境中,如天然状态下,水中存在有害物质或缺乏某些人体所需的物质时,称这类问题为第一环境地质问题;由于人为因素污染了地下水,使水中存在着有害的物质,称这一类问题为第二环境地质问题或次生环境地质问题。随着科学技术的发展,矿山环境水文地质问题逐渐被人们所认识。如饮用水中缺碘,易发生甲状腺肿大病。地下水中矿化度低,尤以钙和硫酸根离子含量普遍偏低时,人们长期食用后易发生大骨节病或克山病。根据目前统计,工农业使用的 12000 种有毒的化合物中,毒性最大的(称为当前危险的污染物)有两类:重金属和难分解的有机物。污染水源的重金属中有汞、镉、铅、铬、钒、钴、钡等,其中汞、镉、六价铬的毒性最大,铅、

钒、钴、钡等亦有一定的毒性,此外砷亦常与以上的重金属一起形成危害。危害性最大的难分解有机物是有机氯化物和多环有机化合物。酚也是一种有毒性化合物,如摄入人体内会慢性中毒。因此选用地下水作为饮用水水源时,一定要严格的按照国家卫生部颁布的生活饮用水卫生规程进行检验,以防地下水中有毒的物质等对人体的危害。

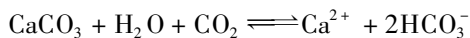
根据国家卫生部颁布的生活饮用水卫生规程规定,饮用水在物理性质方面要求无色、透明、无嗅、无味,温度以低些为宜,最高也不能超过当地的平均气温。在化学成分上,要求各种离子的含量及矿化度都低,即总矿化度不超过  $1000\text{mg/L}$ 。总硬度不超过  $25$  度。 $\text{pH}$  值在  $6.5 \sim 9$  之间。饮用水还严格规定有害成分的极限含量,如铅不超过  $0.1\text{mg/L}$ ,砷不超过  $0.05\text{mg/L}$ ,氟化物不超过  $1.5\text{mg/L}$ ,适宜的浓度为  $0.5 \sim 1.0\text{mg/L}$ ,铜不超过  $3.0\text{mg/L}$ ,锌不超过  $5.0\text{mg/L}$ ,铁总量不超过  $0.3\text{mg/L}$ ,不能含汞、六价的铬及钡等。但在缺水的地区,对水质的要求可适当放宽,只要无毒就可作为饮用水。

(2) 水对金属的侵蚀性评价 矿床开采过程中,坑下各种金属设备,如水泵、金属管道、钢轨、支架、采掘机械等,当它们接触矿坑水时,可能产生化学反应遭受腐蚀,这就是水对金属的侵蚀性。

各种金属设备其周围存在氧和水汽时,则易发生强烈的侵蚀。酸性水,即  $\text{pH} \leq 6.5$  或软水,即硬度小于  $7^\circ$  的矿坑水,对钢铁设备具有侵蚀作用。

(3) 水对混凝土的侵蚀性评价 地下水破坏各种混凝土构筑物的能力称为水对混凝土的侵蚀性。经研究,水的侵蚀性有下面几种:

碳酸侵蚀:当混凝土固结后,在其表面及内部均生成碳酸钙。当含有  $\text{CO}_2$  的地下水与混凝土接触时,就能溶解碳酸钙,使混凝土的结构遭到破坏。所以  $\text{CO}_2$  对混凝土的侵蚀作用,实际上就是碳酸钙的溶解作用。其化学反应式如下:



硫酸盐侵蚀:当硫酸根离子含量高的水渗入混凝土体内时,可形成使混凝土膨胀和破坏的盐类。例如生成  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  时,其体积增大一倍;生成  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  时,其体积增大  $1400\%$ 。因此使混凝土构筑物结构胀松而破坏。

水对混凝土侵蚀性鉴定标准请查阅冶金工业建设工程地质勘察技术规范。

地下水化学成分的分析应用较广,除用于评价外,还可用它来研究矿坑水的来源及水化学找矿等。

第三节 地下水的分类及各类地下水的特征

地下水存在和运动于岩石的空隙中。由于各地区的自然地理因素和地质条件的不同,必然会影响到地下水的化学成分、物理性质、循环条件及其动态变化等。为了便于掌握地下水的各方面的特征,在生产实践中更合理地利用地下水和有效地防治它的危害,对地下水进行分类是很有必要的。近年来我国水文地质工作者,根据我国地下水各方面的特征,采用了按埋藏条件和含水层空隙性质的综合分类(表8-1-7)。

表 8-1-7 按埋藏条件和含水层空隙性质的地下水分类表

按埋藏条件	按含水层空隙性质		
	孔隙水 (疏松沉积层孔隙中的水)	裂隙水 (坚硬基岩裂隙中的水)	岩溶水 (岩溶化岩石中的水)
上层滞水	包气带中局部隔水层上的水,主要是季节性存在	坚硬基岩风化壳中季节性存在的水	垂直渗入带中季节性经常性存在的水
潜 水	坡积、冲积、洪积、湖积、冰碛和冰水沉积层中的水。当经常出露或十分接近地表时,成为沼泽水。沙漠及滨海砂丘中的水	坚硬基岩上部裂隙中的水	裸露岩溶化岩层中的水
承压水 (自流水)	疏松沉积物构成的向斜和盆地—自流盆地中的水。 疏松沉积物构成的单斜和山前平原—自流斜地中的水	构造盆地或向斜中基岩的层状裂隙水。 单斜岩层中层状裂隙水,构造断裂带及不规则裂隙中的深部水	构造盆地或向斜中岩溶化岩层中的水。单斜岩溶化岩层中的水

首先按地下水埋藏条件划分为上层滞水、潜水和承压水(自流水)三类;其次按含水层空隙性质的不同,又分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三类。通过两种分类的不同组合,便可以得出九类不同特征的地下水,如孔隙—上层滞水、裂隙—潜水、岩溶—承压水,等等。

上层滞水、潜水和承压水,无论从水质、水量、运动性质、动态变化、补给排泄条件及其在利用和防治方面来看,都有明显的差别,而产生差别的原因主要是埋藏条件的不同。所以,按照埋藏条件作为地下水分类的标志,无论在实用和理论上来说,都是比较适用

的。

孔隙水主要是存在和运动于松散岩石,即未完全胶结和未胶结的砂、砾石和粘性土的孔隙中;裂隙水存在和运动于坚硬岩石的裂隙中;岩溶水存在和运动于可溶性岩石的溶洞中。这些地下水在我国均有广泛的分布,同时从孔隙水、裂隙水和岩溶水的特征及水质、水量上看,也存在一定的差别。因此将孔隙水、裂隙水和岩溶水单独划分出来也是必要的。

## 一、按埋藏条件分类的各类地下水特征

1. 上层滞水 它是埋藏在离地表不深,包气带中局部隔水层上的重力水(图 8-1-3)。

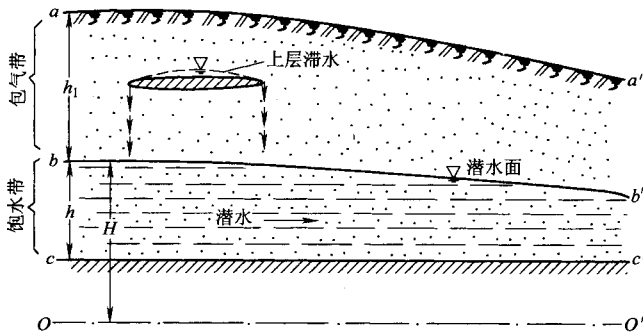


图 8-1-3 上层滞水和潜水示意图

$aa'$ —地面; $bb'q2$ —潜水面; $cc'$ —隔水层面; $oo'$ —基准面;

$h_1$ —潜水埋藏深度; $h$ —含水层厚度; $H$ —潜水位

上层滞水一般分布不广。季节性存在,雨季出现,干旱季节即告消失,其动态变化与气候及水文因素的变化密切相关。由于上层滞水距地表近,直接受降雨补给,补给区与分布区一致。一般只有当包气带厚度较大时,上层滞水才易出现,当其下部隔水层范围较广时,上层滞水存在时间也较长。

上层滞水通常在包气带中的孔隙、裂隙或岩溶溶洞内,具有局部隔水层(粘性土透镜体)上形成,因其范围有限,厚度小,水量少,季节性存在,一般只能作小型或暂时性供水水源,对采矿来说几乎没有影响。

2. 潜水 它是埋藏在地表以下第一个稳定隔水层上具有自由水面的重力水(图 8-1-3)。

(1)潜水的特征 潜水在自然界分布极广,一般埋藏在第四纪松散沉积层的孔隙、坚

硬基岩的裂隙及可溶岩的岩溶溶洞内。潜水的自由表面称为潜水面,潜水面至地表的距离称为潜水埋藏深度,自潜水面至隔水层顶面的距离叫潜水含水层厚度,潜水面上任一点的标高叫该点的潜水位(图 8-1-3)。

潜水面以上一般无隔水层存在,含水层可通过包气带与地表相联通,因此,大气圈和地表的各种气象、水文条件的变化可以直接影响到潜水的动态变化。潜水主要由大气降水、凝结水和地表水补给,在大多数情况下,补给区与分布区一致。由于潜水具有自由水面,不承受静水压力,为无压水,它只能在重力作用下,由潜水位较高处向潜水位较低处流动。

潜水被人们广泛地利用,一般的水井就打在潜水层中,这是因为潜水距地面较近的缘故,另一方面,它却容易受到人为因素的污染。对于采矿来说,潜水是矿坑充水的重要水源之一,必须引起重视。

(2)潜水面的形状 潜水在重力作用下流动的结果,使潜水面具有一定的坡度,形成了不同形状的潜水面。潜水面的坡度变化很大,一般情况下与地形变化一致,但潜水面的坡度一般总小于地面坡度。如果潜水面是倾斜的,潜水就发生流动,称为潜水流(图 8-1-4);当潜水面成水平时,潜水处于静止状态称为潜水湖(图 8-1-5)。

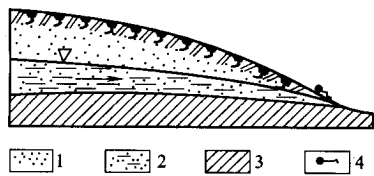


图 8-1-4 潜水流  
1—砂 2—含水砂 3—粘土 4—泉

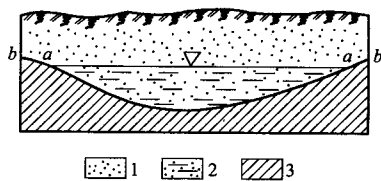


图 8-1-5 潜水湖  
aa—潜水面;bb—隔水层面  
1—砂 2—含水砂 3—粘土

潜水面的形状用潜水等水位线图表示(图 8-1-6)。潜水等水位线图是根据潜水面

上各点的标高编制而成的等值线图。由于潜水面是随时间而变化的,所以在编制潜水等水位线图时,必须利用同一时间测量的水位资料。在一个地区,最好能分别编制潜水高水位时期和低水位时期两张等水位线图。

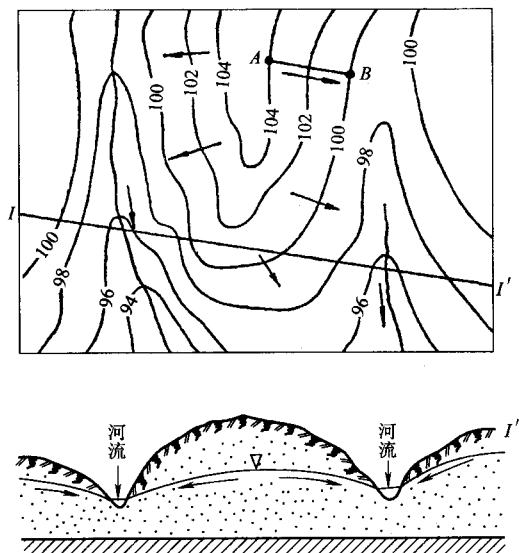


图 8-1-6 潜水等水位线图(比例尺 1:100000)  
及水文地质剖面图(II'剖面线)  
图中箭头表示潜水流向和河水流向

根据等水位线图可解决下列问题:

1) 确定潜水流向:地下水的流向为垂直等水位线的方向,由高水位流向低水位,如图 8-1-6 中箭头所示。

2) 确定潜水的的水力坡度:潜水面的平均水力坡度,是一向量,方向与流向一致,大小等于单位流径长度上的水位下降值。 $A$ 、 $B$  两点间平均水力坡度为  $I = \frac{H_A - H_B}{L}$ 。

必须注意, $AB$  之间的水流所流经的长度并不等于  $AB$  的水平距离,而是  $AB$  的斜距,只有  $AB$  水平距离和斜距夹角无限小时,其水平距离和斜距才能趋于相等。而在自然界潜水面坡度通常很小,故一般可忽略该误差,因此利用水平距离求水力坡度。如图 8-1-6 中, $AB$  段内潜水面的平均水力坡度:

$$I = \frac{104 - 100}{1100} = 0.0036$$

在特殊情况下,如坡度陡峻的山区,则不可忽略。



3)确定潜水与地表水间的关系 :在河流附近编制等水位线图可根据河水和潜水流向确定其补给关系。如图 8-1-7 所示。

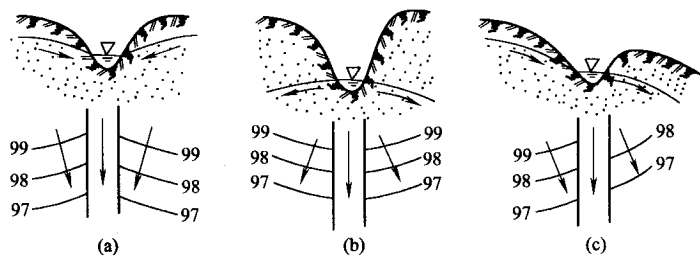


图 8-1-7 地表水(河流)与潜水之间的相互关系

(a)—潜水补给河水 (b)—河水补给潜水 (c)—左岸河水补给潜水 ,右岸潜水补给河水

4)确定潜水埋藏深度 :将地形等高线和等水位线绘于同一张图纸上 ,等水位线与地形等高线相交之点 ,二者高度之差即为该点潜水的埋藏深度。

5)确定引水和排水工程的位置 :如水井应布置在地下水流汇集的地方 ,排水沟(截水沟)应布置在垂直水流的方向上。

(3)潜水的补给、迳流和排泄条件 潜水与大气降水及地表水之间的联系最为密切 ,大多数地区的潜水补给来源是降水和地表水 ,有时承压水也能补给潜水。

一般说来 ,大气降水的渗入是潜水的主要补给来源。当大量降雨或融雪渗入后 ,含水层中水量迅速增加 ,表现为潜水位位的上升。但大气降水补给潜水的数量与降水性质、植物覆盖、地形、包气带厚度及岩石透水性等密切相关。通常当降水时间长 ,强度适中 ;或是植物覆盖层发育、地形坡度较缓 ,即不易形成地表迳流沿地面流走 ,也不致很快蒸发时 ,有利于降水的渗透和潜水的补给 ,反之则不利。同样 ,当大气降水渗入地面后 ,如包气带的厚度不大 ,透水性好时 ,则大部分降水都能补给潜水 ,反之则少。

除大气降水补给潜水之外 ,在某些情况下 ,地表水也是潜水的补给来源之一 ,这种情况多半见于大河的下游地区和河流中、上游的洪水期间 ,如图 8-1-8 所示。地表水补给潜水的水量决定于河水水位与潜水水位的高差、洪水的延续时间、河流的流量及含水层的透水性等。

在较少的情况下 ,承压水也能补给潜水。这种情形多半发生在构造断裂带 ,或是隔水层尖灭而承压水隔水顶板形成“天窗”处。当潜水含水层分布于承压水排泄区之上 ,承压水位高于潜水位时 ,承压水将通过断裂带或“天窗”补给潜水。

潜水总是沿着一定方向由高水位向低水位处流动 ,最后在地形低洼的地区以下降泉形式出露于地表或直接补给地表水 ,从而结束其迳流过程。另外 ,潜水在迳流过程中要

受到不断的蒸发,以致在一些干旱地区,由于蒸发作用强烈,潜水还没有来得及出露地表即全部消耗于蒸发。潜水以泉的形式露出地表,补给地表水及消耗于蒸发,都是潜水排泄的形式。前二者为水平方向排泄,后者为垂直方向的排泄。水平方向排泄由于水分与盐分一起排泄,一般只引起水量的差异,而垂直方向的排泄只排泄水分而不排泄盐分,结果引起潜水的浓缩,矿化度升高。

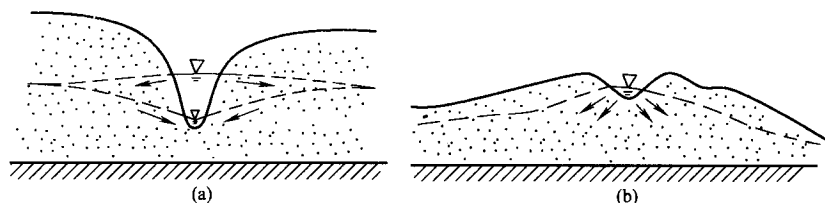


图 8-1-8

河流补给地下水

(a) — 河流中上游地段潜水与地表水相互补给关系(高水位为洪水期水位,低水位为枯水期水位);

(b) — 河流下游地表水补给潜水(箭头代表潜水流向)

影响潜水迳流、排泄条件的主要因素是地形的切割程度、含水层的岩石性质和气候条件。通常地面坡度越大,切割越甚时,迳流条件也就越好,因此山区和河流中、上游地区潜水的迳流条件要比平原和河流下游地区好。山区和河流中、上游地区潜水埋藏较深,不利蒸发,经常补给河流,以水平排泄为主。而在平原和河流下游地区,潜水的迳流条件就比较差,埋藏也较浅,易受蒸发,以垂直排泄为主。

潜水的补给、迳流和排泄的全过程就是潜水的形成发展过程。了解这一过程,对于在采矿时,防治潜水的危害与对它的利用是很重要的。

3. 承压水(自流水) 承压水是充满于两个隔水层间的重力水,又称为自流水。

(1) 承压水的形成和特征 承压水的形成主要决定于地质构造条件。在适当的地质构造条件下,无论孔隙水、裂隙水和岩溶水都可以形成承压水。最适宜形成承压水的构造条件有向斜(或盆地)构造和单斜构造。

在向斜(或盆地)构造中,含水层介于顶、底板隔水层之间,并出露于向斜构造的两翼(图 8-1-9),其中位置较高的一翼(图 8-1-9 中 a)接受大气降水或地表水的渗透补给,这里称为补给区。渗入的水沿着含水层流动,在较低的另一侧(图 8-1-9 中 c)以泉的形式出露于地表,或者补给潜水或地表水,这里称为排泄区。补给区和排泄区之间,地下水充满整个含水层,亦承受静水压力,这里称为承压区(图 8-1-9 中 b)。当钻孔打穿含水层顶板时,承压水便涌入孔内,此点标高称为初见水位。但水位上升到一定高度后

稳定,此时的水位标高称为测压水位或静止水位。当孔口位置低于测压水位时,则承压水可喷出地表,因此又称承压水为自流水。如将钻孔套管接长,则水位仍可在管中稳定,并可测得其测压水位。如果将图 8-1-9 中不同位置的测压水位连线,该线就是承压含水层的测压水位线。从某点测压水位到含水层顶板的垂直距离叫承压水头。含水层顶面与底面的垂直距离称为含水层的厚度,如图 8-1-9 所示。

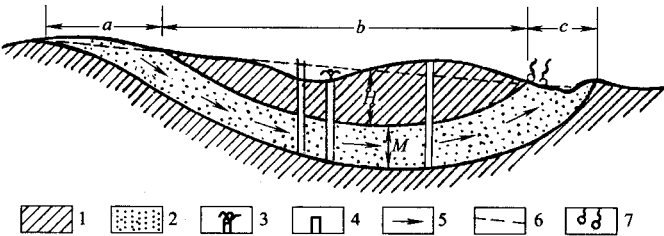


图 8-1-9 自流盆地构造图

a—补给区;b—承压区;c—排泄区

1—隔水层 2—含水层 3—喷水钻孔;

4—不自喷钻孔 5—地下水流向 6—测压水位 7—泉;

H—承压水头;M—含水层厚度

上述形成承压水的向斜或盆地构造在水文地质中称为自流盆地。

适于承压水形成的单斜构造称为自流斜地。自流斜地的形成有两种情况。一种为断块构造,即单斜含水层的上部出露地表,为补给区,下部为断层所切,如断层带是透水的,则各含水层将通过断层发生水力联系或通过断层以泉水的形式排泄于地表,成为承压含水层排泄区。此时承压区介于补给区和排泄区之间(图 8-1-10a),与自流盆地相同。如果断层带是隔水的,则含水层的补给区接受来自地表水或大气降水的补给,当补给量超出含水层可能容纳的水量时,在含水层出露地带的低洼处呈泉水出露于地表,形成排泄区,即承压水含水层的补给区与排泄区是邻近的,位于同一地段(图 8-1-10b),而承压含水层,即承压区位于另一地段。这是自流斜地形成的第一种情况。

另一种情况是含水层岩性发生相变,含水层的上部出露地表,下部在某一深度处尖灭,即变成不透水层(图 8-1-11),则含水层的补给区与排泄区处于同一地段,接受降水与地表水的补给,并排泄含水层中的承压水,而承压区则位于另一地段,形成承压水的分布区。这是自流斜地的第二种情况。

自流盆地和自流斜地在我国分布很广,根据地质时代及岩性的不同可分为两类:一类为第四纪松散沉积层所构成的自流盆地和斜地,广泛分布于山间盆地和山前平原中;

另一类为第四纪以前的坚硬基岩所构成的自流盆地和斜地。无论是那种类型的承压水构造,一般都储存有丰富的地下水,对供水来说,它是极好的水源,而对于采矿来说,特别是岩溶承压水,常常构成严重的威胁。

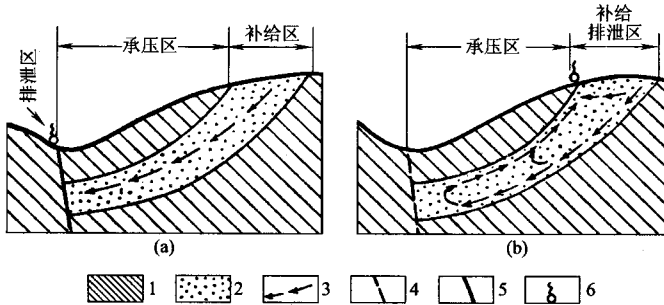


图 8-1-10 断块构造形成的自流斜地

1—隔水层 2—含水层 3—地下水流向;  
4—不导水断层 5—导水断层 6—泉

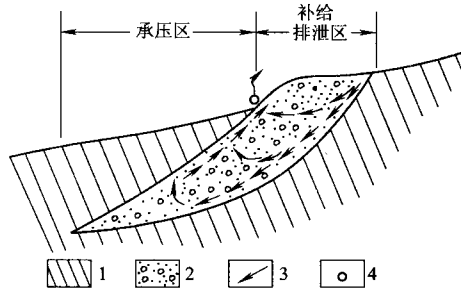


图 8-1-11 岩性变化形成的自流斜地

1—隔水层 2—含水层 3—地下水流向 4—泉水

从上述的形成条件中,可以看出承压水有如下特征:由于承压水含水层与地表之间存在有不透水层相隔,因此承压水受地面气候影响较小,动态变化比较稳定,水质不易受到污染,补给区与分布区不一致;由于承压水充满于两个隔水层之间,承受静水压力,其压力大小由测压水位决定,承压水的运动是由测压水位高的地方流向侧压水位低的地方。

当地下水没有充满两个隔水层之间时,称为无压层间水。其特征除具有自由水面而不承压外,基本上与承压水特征相同。

(2)承压水的补给、迳流和排泄条件 承压水的补给来源一般为大气降水,只有当其补给区位于河床地带或潜水含水层下时,才能接受地表水和潜水的补给。承压水的排泄

可以向潜水排泄,也可在河谷中或沿断层带以泉的形式排泄,有时通过断层使几个含水层互相联通,形成水力联系。承压水在地形合适的条件下,可以形成较好的地下径流。其径流条件与含水层产状、透水性、补给区与排泄区的高差等有关。承压水含水层的涌水量可以有很大差别,其大小与含水层的分布范围、厚度、透水性和水的补给来源等因素有关。一般情况下,如含水层分布面积广、厚度大、透水性好、水的来源充足,水量就丰富,动态亦较稳定。

(3)承压水的等水压线图 承压水等水压线图就是承压水测压水位等值线图(图 8-1-12)。它的编制方法与潜水等水位线图相似。但由于承压水含水层一般埋藏深度较大,要得到含水层在各点的测压水位,较潜水位测定要困难得多,因此等水压线图不像潜水等水位线图应用得那样广,一般只对于主要的含水层才进行编制。

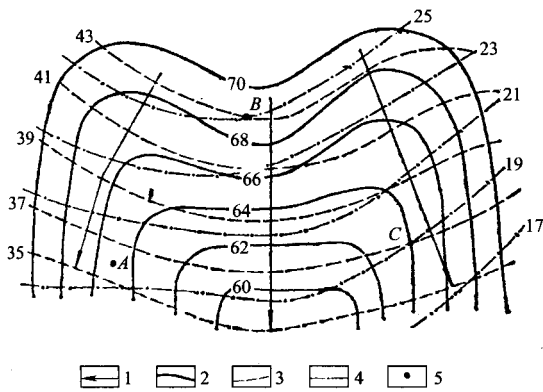


图 8-1-12 承压水等水压线图(比例尺 1:5000)  
1—承压水流向 2—地形等高线 3—等水压线;  
4—含水层顶板等高线 5—钻孔

根据此图可以测定承压水的流向,承压水的水力坡度及每一点的承压水位。除此之外,等水压线图还为矿井设计或矿床疏干提供降低水头的数据。

二、按含水层空隙性质分类的各类地下水特征

1. 孔隙水 孔隙水存在于松散岩层的孔隙中,这些松散岩层包括第四系及部分第三系沉积岩和坚硬基岩的风化壳。孔隙水的存在条件和特征取决于岩土的空隙情况,因为岩土孔隙的大小和多少,不仅关系到岩土透水性的好坏,而且也直接影响到岩土中地下水量的多少,以及地下水在岩土中的运动条件和地下水的水质。一般情况下,颗粒大而均匀,则含水层孔隙也大,透水性好,地下水水量大,运动快,水质好;反之则含水层孔隙

小,透水性差,地下水运动慢,水质差,水量也小。

孔隙水由于埋藏条件的不同,可形成上层滞水、潜水或承压水,即分别称为孔隙—上层滞水、孔隙—潜水和孔隙—承压水。

2. 裂隙水 埋藏在基岩裂隙中的地下水称为裂隙水。它主要分布在山区和第四系松散覆盖层下面的基岩中,裂隙的性质和发育程度决定了裂隙水的存在和富水性,因此在研究裂隙水时,应首先对裂隙水存在的空间—裂隙进行研究。岩石的裂隙按成因可分为风化裂隙、成岩裂隙和构造裂隙三种类型,相应地也将裂隙水分为三种,即风化裂隙水、成岩裂隙水和构造裂隙水。

(1) 风化裂隙水 是赋存在风化裂隙中的水。风化裂隙是由岩石的风化作用形成的,其特点是广泛地分布于出露基岩的表面,延伸短,无一定方向,发育密集而均匀,构成彼此连通的裂隙体系,一般发育深度为几米到几十米,少数也可深达百米以上。风化裂隙水绝大部分为潜水,具有统一的水面,多分布于出露基岩的表层,其下新鲜的基岩为含水层的下限(图 8-1-13)。风化裂隙水的补给来源主要为大气降水,其补给量的大小受气候及地形因素的影响很大,气候潮湿多雨和地形平缓地区,风化裂隙水较丰富,一般可做饮用水。

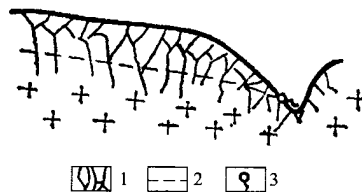


图 8-1-13 风化裂隙中的潜水

1—风化裂隙 2—潜水水位 3—泉水

(2) 成岩裂隙水 成岩裂隙为岩石在形成过程中所产生,一般常见于岩浆岩中。喷出岩类的成岩裂隙尤以玄武岩最为发育,这一类裂隙无论在水平或垂直方向上,都较均匀,亦有固定层位,彼此相互连通。侵入岩体中的成岩裂隙,通常以其与围岩接触的部分最为发育。而赋存在成岩裂隙中的地下水称为成岩裂隙水。

喷出岩中的成岩裂隙常呈层状分布,当其出露地表,接受大气降水补给时,形成层状潜水。它与风化裂隙中的潜水相似。所不同的是分布不广,水量往往较大,裂隙不随深度减弱,而下伏隔水层一般为其他的不透水岩层(图 8-1-14)。

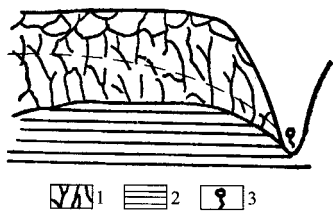


图 8-1-14 玄武岩成岩裂隙中的潜水  
1—玄武岩 2—泥岩 3—泉水

侵入岩中的裂隙 ,特别是在与围岩接触的地方 ,常常由于裂隙发育而形成富水带( 图 8-1-15 )。

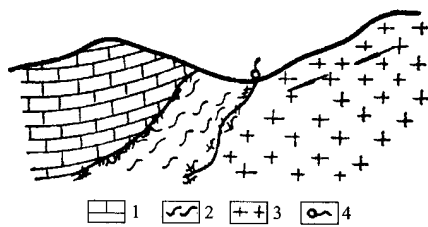


图 8-1-15 侵入岩接触带裂隙水  
1—石灰岩 2—变质岩 3—花岗岩 4—泉水

成岩裂隙中的地下水水量有时可以很大 ,无论在疏干和利用上 ,皆不可忽视 ,特别是在开采金属矿床时 ,更应予以重视。

( 3 )构造裂隙水构造裂隙是由于岩石受构造运动应力作用所形成的 ,而赋存于其中的地下水就称为构造裂隙水。由于构造裂隙较为复杂 ,构造裂隙水的变化也较大 ,一般按储存地下水的裂隙分布的产状 ,又将构造裂隙水分为层状裂隙水和脉状裂隙水两类。

层状裂隙水埋藏于沉积岩、变质岩的节理及片理等裂隙中。由于这类裂隙常发育均匀 ,能形成相互连通的含水层 ,具有统一的水面 ,可视为潜水含水层。当其上部为新的沉积层所覆盖时 ,就可以形成层状裂隙承压水。

脉状裂隙水往往存在于断层破碎带中 ,通常为承压水性质 ,在地形低洼处 ,常沿断层带以泉的形式排泄。其富水性决定于断层性质、两盘岩性及次生充填情况。经研究证明 ,一般情况下 ,压性断层所产生的破碎带不仅规模较小 ,而且两盘的裂隙一般都是闭合的 ,裂隙的富水性较差。当遇到规模较大的张性断层时 ,两盘又是坚硬脆性岩石 ,则不仅破碎带规模大 ,且裂隙的张开性也好 ,富水性强。如河北某铁矿中曾遇到张开性强的断层 ,破碎带宽达 8m 左右 ,其两盘均属震旦系灰岩、石英岩及砂质页岩等脆性岩石。当

坑道掘进到破碎带时,突然涌水,最大涌水量达  $10000\text{m}^3/\text{d}$  以上,并夹带有岩石碎屑。由此可见,断层性质不同,对透水性的影响很大。

在断层破碎带规模大,张开性好,亦有经常性补给水源时,就可能成为涌水量大而稳定的富水带,给矿床开采造成威胁。但如断层连通性不好,又无经常性补给水源时,其水量往往不大,即使在采矿时遇到这类断层,开始时涌水可能较大,但不久就会逐渐减少以至枯竭。因此,研究断层破碎带的富水性对采矿工作具有很大意义。

3. 岩溶水 “岩溶”是发育在可溶性岩石地区的一系列独特的地质作用和现象的总称。也称它为喀斯特。独特的地质作用包括地下水的溶蚀作用和冲蚀作用,而独特的地质现象,就是由这两种作用所造成的各种溶洞和溶蚀地形等。埋藏于溶洞中的重力水称为岩溶水或称喀斯特水。也称溶洞水。

可溶性岩石——主要是石灰岩、大理岩和白云岩等碳酸盐类岩石,其分布遍及全国。在地质时代方面,自前震旦纪到第三纪均有沉积。因此,我国岩溶水的分布相当普遍。对岩溶水的研究,不论是对合理的利用或防治其危害,都具有重要的意义。

根据研究可知,岩溶的发育必须具备如下条件:有可溶性岩层存在,运动于可溶性岩层中的水具有侵蚀性;同时水是不停地流动的。缺少上述任何一项,岩溶都不能产生。如果岩石的溶解度越大,透水性越好,水的侵蚀性越大,水交替越强烈,则岩溶也越发育。

在岩溶化岩层中的地下水,可以是潜水,也可以是承压水。一般说来,在裸露的石灰岩分布区的岩溶水主要是潜水;当岩溶化岩层为其他岩层所覆盖时,岩溶—潜水可能转变为岩溶—承压水。这种情况在某些矿区是存在的,如广东的某铜矿第三个含水层就是中石炭系黄龙大理岩、石灰岩岩溶承压含水层。

岩溶的发育特点也决定了岩溶水的特征。其主要特点是岩溶水水量大、运动快、在垂直和水平方向上都具有分布不均匀的特性。此外,岩溶水,特别是岩溶潜水的动态变化显著。这是因为岩溶溶洞较其他岩石中的孔隙、裂隙要大得多,降水易于渗入,以至在岩溶强烈发育的地区,即使是暴雨也很难形成地表径流,降水几乎全部渗入地下。一般在岩溶比较发育的地区,40%~50%的降水渗入地下是很常见的。岩溶溶洞不仅迅速接受降水渗入,而且岩溶水在溶洞或暗河中运动也很快,动态变化受气候影响显著,水位年变化幅度有时可达数十米之差,这是由于岩溶水径流畅通,由高处向低处迅速排泄的结果。因而岩溶水埋藏很深,在高峻的岩溶山区常缺少地下水露头,甚至连地表水也没有,造成缺水现象。而大量岩溶水都以地下径流的形式流向低处,在谷地或是非岩溶化岩层接触处,以成群的泉水出露地表,水量可达数百升/秒,甚至数米<sup>3</sup>/秒。

岩溶水的化学成分变化也大,在径流强烈、涌水量大的地区多为重碳酸( $\text{HCO}_3^-$ )型



水,在深部迳流微弱的地区则可能出现硫酸( $\text{SO}_4^{2-}$ )型或氯化物硫酸( $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ )型水。

因为岩溶水一般水量大、水质好,可作大型供水水源,另一方面它对采矿来说有着严重的威胁。

### 第四节 矿区(矿床)水文地质图

#### 一、矿区(矿床)水文地质图的概念

根据国家颁布的矿区水文地质工作规范规定,矿区(矿床)水文地质图的比例尺与一般的矿区地质图比例尺相同,为 $1/2000 \sim 1/10000$ 。该图一般应反映下列主要内容:

1)地层(突出矿层、顶底板隔水层和主要含水层)的埋藏及其水文地质特征、含(蓄)水构造(汇水条件)、地下水类型及其补给、迳流和排泄情况。

2)控制矿区地下水形成和运动的各种断裂构造形迹及其透水与富水特征;有关的自然地理和构造地质现象,岩溶发育规律及其含水情况。

3)开采后可能或已发生的与矿床地下水有关的问题(如河水漏失或河道衬砌地段;供水淹没及排水影响范围等);动态观测点的位置及其特征值,坍塌范围的预测。

4)矿坑充水(因素)预测分区。可依据主要充水因素、极限涌水量、可能突水地段及防止改造措施等进行划分。

5)必要的探、防水与疏干措施的建议。如为生产矿区,还要表示出主要坑道的分布,突(涌)水点及出水量、疏干范围、崩落及地表坍塌、水质变化、老窿充水情况等。

6)某些必要的水化学成分资料。

7)一定量的实际资料和地形地物。

从上述编制的内容可以看出,矿区(矿床)水文地质图是一张大比例尺的综合性的图件。如果同时编制有其他一些辅助性图件时,则这张图的内容可以简化,并可编成一套图。其中这些辅助图有地下水等水位(压)线图、长期观测综合曲线图、地下水化学类型或离子分布图、裂隙或溶洞发育规律图、老窿分布图、顶底板等厚线图、坍塌范围图、第四纪地质图及地貌图等等。

矿区水文地质剖面图是矿区水文地质图不可缺少的、附图,它的比例尺按照国家规范规定,一般与地质剖面图的比例尺相同,为 $1/2000 \sim 1/5000$ 。剖面线位置及方向的选

择应能说明全矿区内水文地质条件的主要特征为原则,并尽可能和勘探钻孔控制性测水点结合起来。应表示的主要内容与矿区水文地质图所要表示的主要内容一致。

## 二、矿区水文地质图的阅读

矿区水文地质图的读图步骤与地质图的读图步骤大致相同。读图时首先看图名、比例尺和图例,因为图名反映了图幅的地区和图的类型,比例尺告诉我们缩小的程度和精确程度,而图例是帮助我们了解本图所要表现的全部地层和符号。然后再开始对矿区水文地质图的主要内容进行分析和阅读。其阅读的顺序如下:

- 1) 图内一般内容的阅读:它包括自然地理状况、地层、岩性和地质年代、地质构造等。
- 2) 图内水文地质条件的阅读:它包括地下水的类型,各类地下水的补给、径流和排泄情况等。
- 3) 影响采矿的不良工程地质现象。
- 4) 了解矿床水文地质及工程地质条件的复杂程度。

下面以华岭矿区水文地质图(图 8-1-16)为例,介绍矿区水文地质图的阅读。

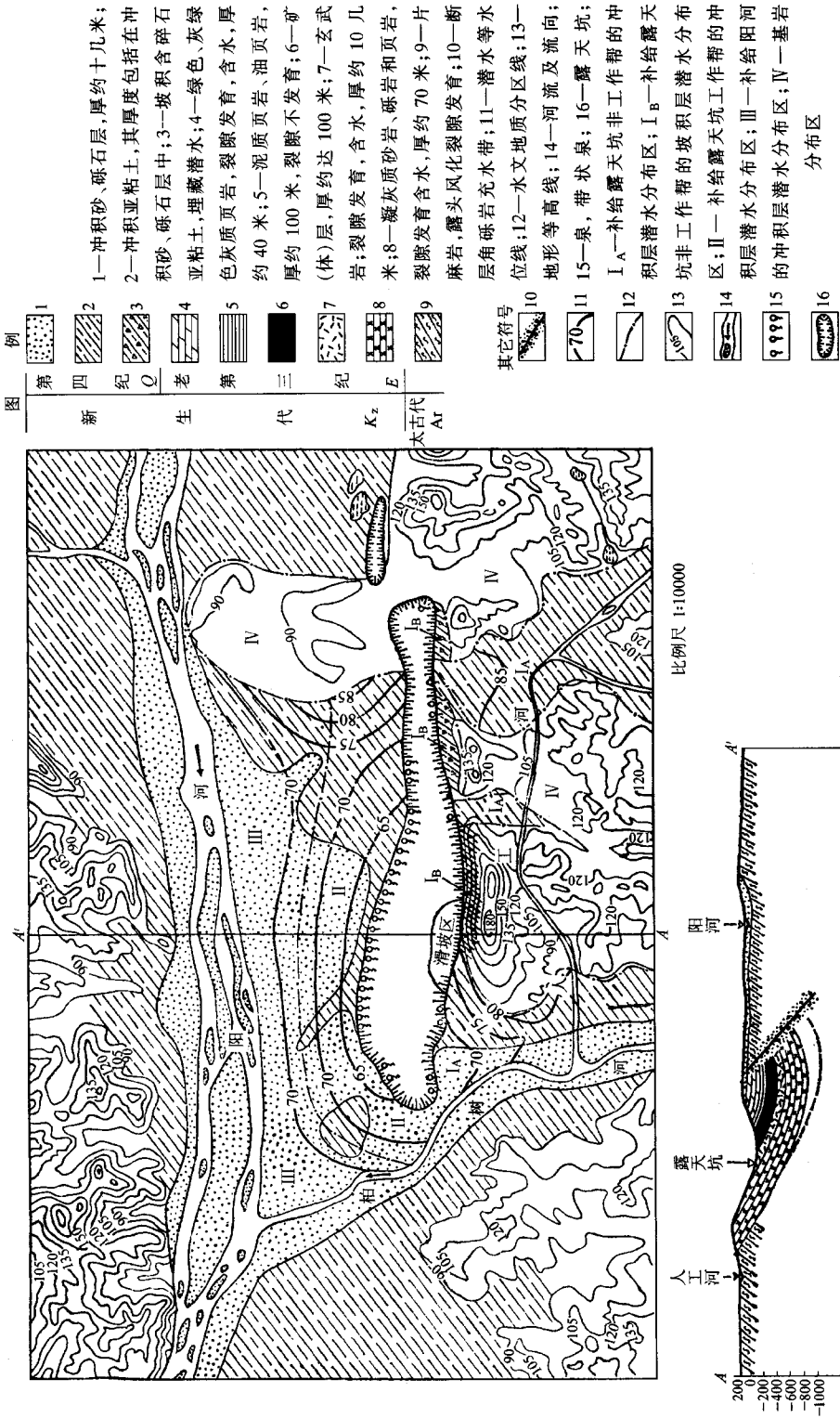
### 1. 图内一般内容的阅读

(1) 自然地理状况 华岭矿区位于阳河的河谷平原中,其海拔绝对标高不超过 90 米。在矿区以南和矿区西北部为丘陵地带,其最高海拔标高为 180m。阳河顺着东西方向由东向西流经矿区北部,为该矿区的侵蚀基准面,矿床全部位于侵蚀基准面以下。在矿区西边,有柏树河注入阳河。矿区南边有人工河由东往西注入柏树河,这条人工河是截断以前流经露天矿坑的几条小河而开挖的。

(2) 地层、岩性和地质年代 从图例、平面和剖面图上看,矿区基底是太古代片麻岩,表面风化裂隙发育。其上为老第三纪地层,它的底部由凝灰质的砂岩、砾岩、页岩及玄武岩组成,露天矿的南帮就是由这些岩石构成的,它们的裂隙发育,含水,厚度约 80m;中部为矿层,厚度达 100m,即为开采矿体,矿体的上部由泥质页岩、油页岩和绿色、灰绿色的灰质页岩组成,其厚度约为 140m,其中泥质页岩、油页岩裂隙不发育,而灰质页岩裂隙发育,含水。分布在阳河流域的冲积层,为第四纪松散的砾石、粗、细粒的砂,以及冲积亚粘土组成,其厚度约十几米。在露天矿南面的丘陵北麓,有坡积含碎石的亚粘土分布,其中含有潜水。

(3) 地质构造条件 从剖面图上看,整个矿区是一个巨大的向斜,其中向斜北翼被逆断层所切,使老第三纪的地层与太古代片麻岩直接接触,断层破碎带含水。而向斜的南翼未受破坏,保持完整,其倾角约为  $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

### 2. 图内水文地质条件的阅读 本矿区地下水的类型有如下几种。



(1) 孔隙潜水 主要分布在阳河、柏树河等河谷平原上的第四纪冲积的砂、砾石层中。潜水的流向可通过等水位线进行分析。在露天矿坑北部,有两条标高 70m 的等水位线,因此证明中间存在有地下水的分水岭,即图中索线表示的位置。索线以北,潜水流向阳河,即潜水补给阳河水;而索线以南,潜水流向露天矿坑,并以带状泉排泄至露天矿坑内。上述现象证明,露天矿坑北部的潜水是由降雨补给的。露天矿坑东部根据潜水等水位线可以看出,柏树河的河水补给潜水,潜水以泉的形式排泄至露天矿坑内。露天矿坑南部的潜水,由降雨补给,也以泉的形式排泄至露天矿坑内。值得说明的是,人工河开挖在太古代片麻岩上,表层有风化裂隙,其下部裂隙不发育,能起隔水作用,所以人工河的河水不会渗入矿坑内。

(2) 裂隙潜水和裂隙承压水 从剖面图上可以看出,矿体上部的绿色、灰绿色灰质页岩裂隙发育,其中含水。它是冲积层潜水及降雨从露头部位渗入补给。而灰质页岩与矿体之间为泥质页岩和油页岩裂隙不发育,是良好的隔水层。因此,灰质页岩中的裂隙水为裂隙潜水,它和冲积层潜水形成统一的潜水面。

矿(体)层以下,凝灰质砂、砾岩和凝灰质页岩及其玄武岩裂隙发育,其中含水,而上覆的矿体和泥质页岩、油页岩又是良好的隔水层,因此在向斜构造中形成自流盆地,地下水为裂隙承压水。

断层破碎带本身含水,因此它是矿层上部的孔隙潜水、裂隙潜水和矿层下部的裂隙承压水的联系通道,它们之间存在着水力联系。

(3) 不良的工程地质条件 该矿为露天开采,从平面图上看,在露天矿南帮有大的滑坡区,因此露天边坡是不稳定的,则工程地质条件是复杂的。

(4) 矿床水文地质工程地质条件的复杂程度 根据华岭矿区水文地质图的分析,华岭矿床位于侵蚀基准面以下,由于矿体上、下的含水层处于向斜构造中,其中又有断层破碎带沟通各个含水层,形成水力联系,因此有利于地下水的富集。华岭矿为露天开采,其南帮又有大的滑坡体在活动。按照矿区水文地质工作规范的划分,该矿应属于水文地质工程地质条件复杂的矿床。

上面分析仅仅是依据图面上的材料而进行的。如果读图时,结合矿区范围内各种勘探和试验的资料,其水文地质工程地质条件才能分析的准确,才能得到正确的结论。

## 第二章 地下水涌水量预测和测量

### 第一节 地下水运动的基本规律

#### 一、地下水运动状态

根据观察和试验,地下水在岩层中的运动有两种基本状态,即层流和紊流。

层流的特点是水质点运动连续不断,流束平行而不混杂(图 8-2-1a)。紊流的特点是水质点运动不连续,流束混杂而不平行(图 8-2-1b)。实验证明,当地下水在孔隙和细小的裂隙岩层中运动时,如水流速度缓慢,多为层流状态;当地下水在大裂隙和溶洞中运动时,如实际速度大于  $1000\text{m/d}$ ,其流动状态多为紊流。由于地下水主要是在岩石的孔隙和裂隙中运动,运动时受到很大阻力,一般流速很慢,所以,在大多数情况下,地下水运动都反映为层流运动状态。

对于层流和紊流来说,地下水的运动符合不同的定律。

1. 层流运动的基本定律——达尔西定律 这一定律是法国水力学家达尔西在 1852 年通过多次实验得出的,它是地下水运动的最基本定律,很多地下水运动的理论都是建立在达尔西定律的基础上的。

达尔西的试验仪器(图 8-2-2)是一个装满砂的金属圆筒 1,由水管 3 把水注入圆筒中,水立即向砂中渗透并从下面的开关 4 中流出来。注入的水量及其水头可用入口开关 5 和出口开关 4 来调节。在达尔西实验仪上还安装了两个水银测压计 6 和 7,以便用来测

量圆筒中渗透途径上的水头损失。根据用水银测压计测量出来的不同的水头差,并测量单位时间从下面开关 4 中流出的水量(流量),不同水头差的砂柱高度,可确定出下列关系式,该式也称为达尔西公式:

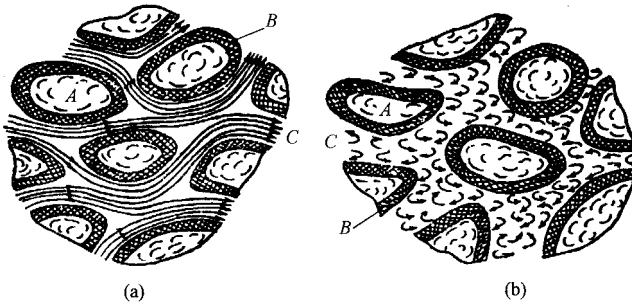


图 8-2-1 地下水在岩层中运动状态

(a)一层流运动 (b)一紊流运动

A—岩石颗粒;B—薄膜水;C—流束

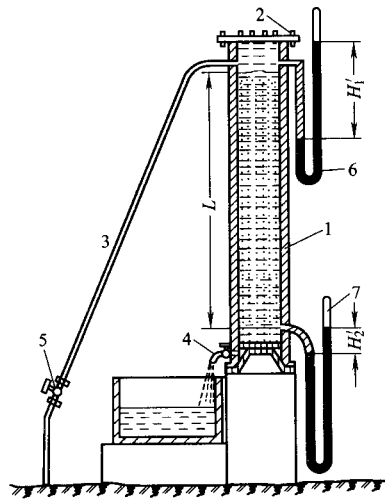


图 8-2-2 达尔西仪

$$Q = K \frac{H_1 - H_2}{L} W = K \frac{H}{L} W = KI W \quad (2-1)$$

式中  $Q$ ——渗透水流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H_1$  和  $H_2$ ——上下两水银测压计中水银柱折算成水柱的高度( $\text{m}$ );

$H$ ——水银测压计所示高度折算成水柱之差值,即水头损失( $\text{m}$ );

$L$ ——渗透砂柱的长度,也就是发生水头损失的渗透距离( m );

$W$ ——圆筒横切面的面积,即过水断面(  $m^2$  );

$I$ ——水头梯度( 或水力坡度 );

$K$ ——表示岩石透水程度的常数,也称渗透系数(  $m/s$  )。

如将达尔西公式的两端用  $W$  除时,则达尔西公式可写成另一种形式:

$$\frac{Q}{W} = KI \quad \text{或} \quad V = KI \quad (2-2)$$

式中  $V$ ——渗透速度(  $m/s$  )。

达尔西公式说明,渗透速度与水流头梯度的一次方成正比。由于公式( 8-2-2 )中  $V-I$  表现为直线关系,因此,达尔西定律又被称为直线渗透定律。

讨论公式( 8-2-2 )可知,水头梯度(  $I$  )是无因次的,当水头梯度  $I=1$  时,渗透系数(  $K$  )在数值上等于渗透流速(  $V$  ),它表示水力坡度为 1 时地下水在介质中的渗透速度。

渗透系数(  $K$  )在水文地质学中是一个非常重要的概念,它是表示岩石的渗透性能强弱的指标,在水文地质计算中,是一个不可缺少的重要参数。该值在室内可以通过达尔西仪或其他种渗透仪经过试验求得,其计算公式用达尔西公式变换而得,即  $K = \frac{Q}{WI}$ 。

2. 紊流运动的基本定律 当地下水流为紊流状态时,其流量与渗透系数、过水断面、水头梯度的关系符合下式:

$$Q = KW\sqrt{I} \quad \text{或} \quad V = K\sqrt{I} \quad (2-3)$$

上式说明渗透速度与水流头梯度的  $1/2$  次方成正比,由于公式中  $V-I$  表现为抛物线关系,因此紊流运动的基本规律又称为非直线渗透定律。

## 二、地下水向井运动的基本规律

垂直地面打的水井或者钻孔,统称为井。也称为垂直的集水建筑物。当它们揭露潜水含水层时,称为潜水井(图 8-2-3);当它们揭露承压水含水层时,称为承压水井(图 8-2-4)。无论是潜水井或是承压水井,如果它们揭露了整个含水层,井一直打到含水层底板隔水层时,称为完整井。如果没有打到含水层底板隔水层时,称为非完整井。

当从潜水完整井中抽水时(图 8-2-3),开始水位剧烈下降,井壁周围的地下水形成水头差,于是井壁周围的水向井流动,在井的周围逐渐形成漏斗状的潜水面,称为降落漏斗。此时消耗的水量,一部分为漏斗内的静储量,另一部分是从周围流来的动储量,如图 8-2-3 所示。在漏斗未稳定前,地下水为非稳定流,随着漏斗的扩大而逐渐趋于稳定,地下水的运动则呈现稳定流状态,所消耗的水量全为周围流来的动储量。假定为层流条

件,含水层为均质的,含水层水平分布无限广阔,其中没有蒸发和渗入,由于抽水,地下水形成径向辐射流,则潜水完整井涌水量计算公式为:

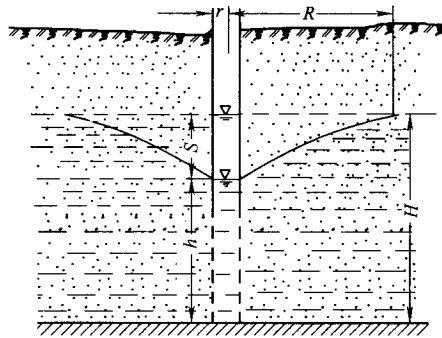


图 8-2-3 潜水完整井

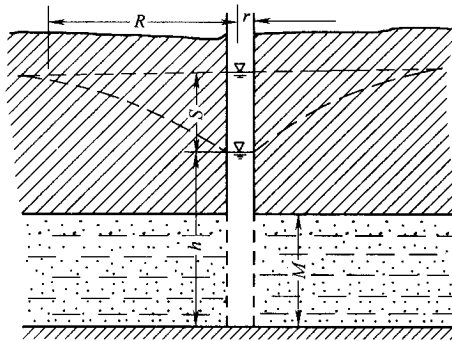


图 8-2-4 承压水完整井

$$Q = 1.366 K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r} \quad (2-4)$$

式中  $Q$ ——井的涌水量(或称排水量),  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$K$ ——潜水含水层的渗透系数,  $\text{m}/\text{d}$ ;

$H$ ——潜水含水层厚度,  $\text{m}$ ;

$S$ ——井中稳定的水位降深,  $\text{m}$ ;

$R$ ——稳定时漏斗半径,也称影响半径,  $\text{m}$ ;

$r$ ——井的半径,  $\text{m}$ 。

当从承压水完整井中抽水时(图 8-2-4),井中水位下降,形成降落漏斗,直至漏斗稳定呈稳定流时,抽出的水量为动储量。假定为层流条件,含水层为均质的,水平分布无限广阔,由于抽水形成径向辐射流,则承压水完整井涌水量公式为:



$$Q = 2.73 K \frac{MS}{\lg R - \lg r} \quad (2-5)$$

式中  $M$ ——承压含水层的厚度, m;

其他符号同潜水完整井公式符号。

当从承压完整井中抽水时, 如果井中水位下降至含水层顶部隔水层以下的含水层中时, 如下降漏斗稳定, 地下水称稳定流, 此时形成潜水—承压水完整井, 假如为层流条件, 它的涌水量计算公式为:

$$Q = 1.366 K \frac{(2HM - M^2 - h^2)}{\lg R - \lg r} \quad (2-6)$$

式中  $h$ ——井中水位值, m;

$H$ ——承压水水头值, m。

其他符号同式(2-5)(2-6)中符号。

上述公式是由法国水力学学家裘布依, 以达尔西定律为基础, 推导出的地下水平面径向稳定流公式, 因此人们也称这些公式为裘布依公式。裘布依公式的出现, 对地下水水力学的发展起了重要作用, 直到今天人们普遍应用。但应该指出: 裘布依公式是以稳定流理论为基础的, 然而地下水的实际运动状态却总是在不断地变化。因此, 裘布依公式的最大缺陷, 在于没有包括时间这个变量。1935年美国人泰斯, 在数学家柳宾的帮助下, 利用热传导理论中现成的公式加以适当的改造, 第一次提出了实用的地下水径向非稳定流公式, 即泰斯公式。有关泰斯公式的详细内容参见水文地质学书籍。

### 三、水文地质参数的确定

水文地质参数是预测矿坑涌水量的重要依据, 一般多在实验室或野外进行各种试验取得。

1. 抽水试验测定渗透系数( $K$ )和导水系数( $T$ ) 抽水试验是野外测定渗透系数的一个比较准确的方法。抽水试验就是使用抽水机械, 如水泵等, 从井中抽出一定量的水。由于抽水井中水位下降, 井周围形成一个下降漏斗, 随抽水时间的延续, 下降漏斗不断扩展, 直至抽出的水量和补给的水量相等, 即井中水位、涌水量和下降漏斗都达到稳定状态时, 用公式(2-4)(2-5)求出含水层的渗透系数( $K$ )值:

$$\text{潜水} \quad K = 0.73 \frac{Q(\lg R - \lg r)}{(2H - S)S} \quad (2-7)$$

$$\text{承压水} \quad K = 0.36 \frac{Q(\lg R - \lg r)}{MS} \quad (2-8)$$

导水系数( $T$ )是指含水层的渗透系数( $K$ )与含水层厚度( $M$ 或 $H$ )的乘积, 即  $T =$

$K \cdot M$  (或  $H$ )。因此利用抽水试验或室内试验求得的渗透系数 ( $K$ ) 值代入公式即可求得。

2. 影响半径 ( $R$ ) 值的测定 测定影响半径 ( $R$ ) 值的方法较多,如根据多孔抽水试验的观测孔或井、泉等观测资料,用图解法作图确定。此外,确定影响半径 ( $R$ ) 值的经验公式也较多,用时请查有关的水文地质手册进行计算。

## 第二节 矿坑涌水量的预测方法简介

准确地预测可能流入矿坑的水量很重要。因为生产上要求预测的矿坑涌水量,应接近开采时的实际矿坑涌水量,如果预测与未来开采时的实际涌水量不相一致,则会给矿山生产带来损失。如预测的涌水量小于实际涌水量,会造成矿坑涌水量超过排水能力,使矿坑积水过多而妨碍正常生产,甚至会出现淹井事故;如预测的涌水量大于实际涌水量,则能导致疏干和排水设备过多的浪费,甚至矿床被误认为水大而不能开采。在很多建筑工程中,如码头、地铁、高楼等建筑物,也有预测涌水量的问题,其方法原理都是一样的。

目前国内外常用的预测方法有 坑道系统的水动力学法(大井法)、水均衡法、水文地质比拟法等。

### 一、坑道系统的水动力学法(大井法)

在预测坑道系统涌水量时,把坑道系统所占面积理想为一个圆形的大井,然后应用地下水向井运动的公式预测坑道系统的涌水量,因此又称此法为大井法。但是坑道系统所占面积比起井来要大得多,所遇到的水文地质条件也较复杂。因此应用大井法要注意以下几个问题:

1) 坑道系统的长度与宽度的比值应小于 10。

2) 坑道系统的引用影响半径  $R_0$ ,在大井法计算中按下列公式计算:  $R_0 = R + r_0$  (图 8-2-5)。

引用半径  $r_0$  的计算:按坑道系统所占范围加以圈定,并使其等于一假想圆面积,此圆的半径即为引用半径,也称大井半径。不同几何形态坑道系统引用半径的计算公式不同,见表 8-2-1。

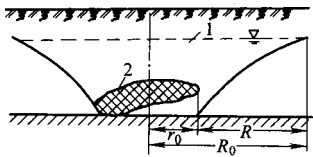
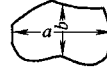
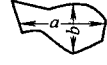




图 8-2-5 引用影响半径示意图

1—地下水静止水位 2—矿体；

$R_0$ —引用影响半径； $R$ —影响半径； $r_0$ —引用半径

表 8-2-1 不同几何形态坑道系统引用半径的计算公式

中段坑道系统形态	图 示	计 算 公 式	符 号 说 明														
不规则圆形 长宽之比大于 2~3		$r_0 \approx \sqrt{\frac{F}{\pi}}$	$r_0$ ——引用半径, m; $F$ ——中段坑道系统面积, m <sup>2</sup> ; $P$ ——中段坑道系统周长, m; $a$ ——坑道系统长度, m; $b$ ——坑道系统宽度, m; $\eta$ ——与 $\frac{b}{a}$ 比值有关的系数如下表:														
不规则多边形 长宽之比大于 2~3		$r_0 = \frac{P}{2\pi}$															
方 形		$r_0 = 0.56a$															
矩 形		$r_0 = \eta \frac{a+b}{4}$															
			<table><tr><td><math>\frac{b}{a}</math></td><td>0</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.8</td><td>1.0</td></tr><tr><td><math>\eta</math></td><td>1.00</td><td>1.12</td><td>1.14</td><td>1.16</td><td>1.18</td><td>1.18</td></tr></table>	$\frac{b}{a}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$\eta$	1.00	1.12	1.14	1.16	1.18	1.18
$\frac{b}{a}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0											
$\eta$	1.00	1.12	1.14	1.16	1.18	1.18											

实例 :某矿矿层埋藏在二迭纪砂岩含水层以下 ,砂岩具有承压水。矿层和地层被断层切割 ,断层透水而富水性不强。坑道系统面积  $1.09\text{km}^2$  ,引用半径  $r_0 = 590\text{m}$  ,影响半径  $R = 910\text{m}$  ,则  $R_0 = R + r_0 = 1500\text{m}$  ,渗透系数为  $0.2\text{m/d}$  ,砂岩含水层厚度  $30\text{m}$  ,地层倾角  $13^\circ$  ,平均水头高度  $H = 100\text{m}$  ,坑道系统布置在隔水层页岩上(图 8-2-6) 。其矿坑涌水量采用潜水—承压水完整井公式计算 ,则

$$Q = 1.366 K \frac{(2H - M)M}{\lg R_0 - \lg r_0} = 1.366 \times 0.2 \frac{(2 \times 100 - 30) \times 30}{\lg 1500 - \lg 590} = 3666\text{m}^3/\text{d}$$

实际开采涌水量为  $3600\text{m}^3/\text{d}$  ,基本上一致。

二、水均衡法

水均衡法是在详细分析矿区地下水来源的基础上 ,分别计算出不同补给来源所决定的矿坑涌水量 ,各部分涌水量的总和将是未来矿坑的可能总涌水量。该法计算起来较为复杂 ,但在计算露天采矿场和不深的地下坑道时 ,能取得较好效果。

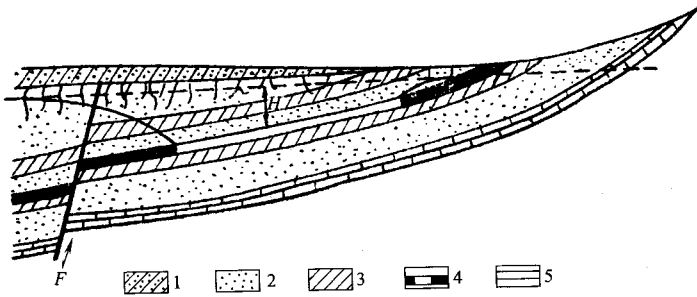


图 8-2-6 某矿剖面示意图

1—冲积层 2—砂岩页岩互层 3—页岩 4—矿层 5—石灰岩；

$H$ —承压水的平均水头

水均衡法的具体计算方法如图 8-2-7 所示。

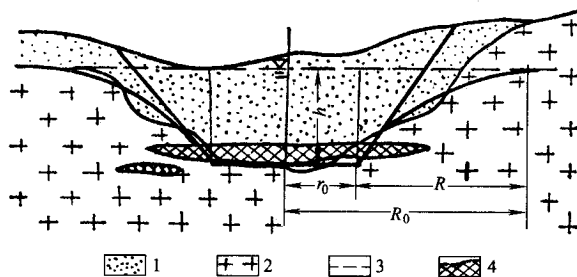


图 8-2-7 某钼矿区示意剖面图

1—砂砾潜水位 2—基岩裂隙潜水位 3—水位 4—矿体

在矿床开采初期,开始流入采矿物不仅有动储量,还有降落漏斗范围内消耗的静储量。所以根据水均衡法测定涌水量时,不仅要测定静储量,更主要的是确定动储量,也就是大气降水和地表水的渗入,以及水流自其他含水层的渗入,而流入矿坑中的水量。

如图 8-2-7 所示,露天采矿场面积上静储量的消耗量为:

$$q_1 = \frac{V \cdot \mu}{t} \quad (2-9)$$

式中  $V$ ——采矿场内疏干岩层的体积；

$\mu$ ——给水度或裂隙度；

$t$ ——疏干时间(一般以一年为一均衡期)。

在  $t$  时间内,由于露天采矿场的疏干,于采矿场周围形成降落漏斗,漏斗范围内的静储量的消耗量为:

$$q_2 = \frac{hR\mu L}{3t} \quad (2-10)$$

式中  $h$ ——含水层平均厚度；  
 $R$ ——采矿场疏干时的影响半径(由采矿场边界算起)；  
 $\mu$ ——给水度或裂隙度；  
 $L$ ——疏干地段的周长。  
 因此，静储量的总消耗量为：

$$Q_1 = q_1 + q_2$$

流入采矿场的动储量也由两部分组成：即直接降落在露天采场内的大气降水，及由采矿场外围降水渗入的水量为：

$$Q_2 = q_3 + q_4$$

$$q_3 = \frac{AF_1}{t} \quad (2-11)$$

$$q_4 = \frac{\varphi AF}{t} \quad (2-12)$$

式中  $q_2$ ——动储量的总消耗量；  
 $q_3$ ——采矿场面积上由降水补给的动储量消耗量；  
 $q_4$ ——矿区集水面积上降水渗入的消耗量；  
 $A$ ——年平均降雨量；  
 $F_1$ ——露天采矿场面积；  
 $t$ ——一年时间；  
 $F$ ——不包括露天采矿场面积在内的矿区集水面积；  
 $\varphi$ ——地下径流系数。

采矿场的总涌水量将等于静储量与动储量消耗量的总和为：

$$Q = Q_1 + Q_2 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

在采矿过程中，随着采矿场岩层的剥离和采矿场的扩大，静储量将逐渐消耗，因此，由静储量消耗而形成的涌水量值将逐渐减小，最后趋于零，而剩下的只有动力储量为主要涌水来源。所以根据上式求得的总涌水量仅代表开采初期的最大涌水量，在开采过程中将会逐渐减小。

根据矿区具体的水文地质条件，矿坑水的补给来源也可能有所补充或减少。因此，参加水均衡法计算的内容也相应的有所增减。所以利用水均衡法确定矿坑涌水量时，必

须对矿区的水文地质条件进行全面了解。

### 三、水文地质比拟法

水文地质比拟法是根据地质、水文地质条件相同或相近似的生产矿坑的排水资料来换算设计矿坑的可能涌水量。根据国内外经验,只要建立的比拟关系式符合于客观规律,用这种方法预测的矿坑涌水量还是比较近似的。

1. 根据单位涌水量换算矿坑涌水量 实际资料证明,矿坑涌水量与矿坑面积或体积的扩大成正比例增加,因此收集现有生产矿坑排水资料、矿坑面积或体积、水位降低值,换算出生产矿坑单位面积或单位体积上的单位涌水量为:

$$q_0 = \frac{Q_0}{F_0 S_0} \quad (2-13)$$

式中  $q_0$ ——生产矿坑单位面积、单位降深的涌水量  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$Q_0$ ——生产矿坑总涌水量  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$F_0$ ——生产矿坑的开采面积  $\text{m}^2$ ;

$S_0$ ——生产矿坑的水位降低值  $\text{m}$ 。

根据生产矿坑单位面积上的单位降深的涌水量,可以计算与其地质、水文地质条件相类似的新设计的矿坑总涌水量为:

$$Q_{\text{设}} = q_0 F_{\text{设}} S_{\text{设}} \quad (2-14)$$

式中  $F_{\text{设}}$ ——新设计的矿坑的设计开采面积  $\text{m}^2$ ;

$S_{\text{设}}$ ——新设计的矿坑的设计平均水位降低值  $\text{m}$ 。

这种方法最适用于已开采的矿坑深部水平和外围地段的涌水量预测,也可适用于合乎条件的新矿坑。

2. 富水系数法 在一定时期从矿坑中排出的水量,与同一时期开采出的矿石重量之比,叫做富水系数( $K_B$ )。其表达式为:

$$K_B = \frac{Q_0}{P_0} \quad (2-15)$$

式中  $Q_0$ ——矿坑排水量  $\text{m}^3/\text{a}$ ;

$P_0$ ——矿坑的矿石开采量  $\text{t/a}$ 。

根据生产矿坑的富水系数换算与其地质、水文地质条件和开采条件相类似的新设计的矿坑总涌水量为:

$$Q_{\text{设}} = K_B P_{\text{设}} \quad (2-16)$$

式中  $P_{\text{设}}$ ——新设计的矿坑的矿石开采量, t/a。

除此之外,其他水文地质比拟方法也在应用,如统计法、矿段含水层厚度和水位降低法等,在此不一一叙述,可查有关文献资料。

### 第三节 矿坑涌水量的测量方法

生产矿山的矿坑涌水量的测量,是矿山在开采时期的一项重要水文地质工作。因为测量矿坑水的水量变化规律,可以验证和校核水文地质勘探时期矿坑充水因素的分析与预测涌水量的准确程度,为预计矿坑突水的可能性,为排水和防探水工作,为矿山扩建预测涌水量等提供可靠的矿坑涌水量资料。

#### 一、根据水沟水流速度测量涌水量

此法是应用坑道中的排水沟测量涌水量。其测量方法一般是在坑下水仓的入口处,选择较为合适的已知过水断面  $F$  的排水沟的地段上,测量排水沟中水流速度  $V$ ,则水沟的水量即为矿坑的涌水量  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )。计算式为:

$$Q = 0.8 F \cdot V \quad (2-17)$$

其中流速  $V$  是用浮标法测得的,即选择水沟平直、断面整齐、水流平稳的沟段上,取距离数米的两个过水断面,测量其距离  $L$ ,然后将浮标放入水沟中,用秒表记录经过  $L$  距离的时间  $t$ ,则水流速度  $V$  ( $\text{m}/\text{s}$ )为:

$$V = \frac{L}{t} \quad (2-18)$$

为了消除误差,一般需要在同一水沟中进行多次测量。此外水沟的水流速度  $V$  还可用流速仪测定。

#### 二、根据水沟安设堰板测量涌水量

在排水沟中,垂直水流方向,设置水流流量堰板,然后测量水流流过堰口的高度,通过公式计算或者查表求得流量,此种方法称为堰测法。根据堰板的堰口形状的不同,可分为三角堰、梯形堰和矩形堰等。三角堰(图 8-2-8a)和梯形堰(图 8-2-8b)的计算:

## 三角堰

$$Q = 0.014 h^2 \sqrt{h} \quad (2-19)$$

式中  $Q$ ——流量( L/s );

$h$ ——测量水流流过堰口水头高度 ,cm。

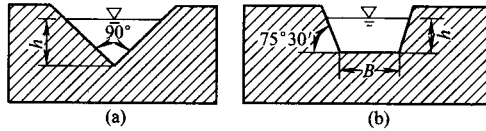


图 8-2-8 堰板

( a )—三角堰 ( b )—梯形堰

## 梯形堰

$$Q = 0.0186 B h \sqrt{h} \quad (2-20)$$

式中  $B$ ——堰口底的宽度 ,cm ;

其余符号同上。

为了计算流量的方便 ,可查三角堰水头高度(  $h$  )与流量(  $Q$  )和梯形堰底宽(  $B$  )水头高度(  $h$  )与流量(  $Q$  )的换算表 ,见水文地质手册。

## 三、根据贮水池内水位上升量测定涌水量

此法是在一定的时间内 ,把要测量的矿坑水引入已知水平截面积的贮水池中 ,根据水位上升的高度 ,即可测出准确的涌水量。为此目的 ,可根据具体情况 ,利用水仓、各种巷道中的沉淀池以及地面上的贮水池等 ,均可进行测量。该法也称容积法。

## 四、根据水仓水泵观测法测定涌水量

此法的步骤是 :首先用水泵抽水 ,将水仓内的原水位降低到一定深度 ,随即停止水泵运转 ,让水仓进水 ,待水位恢复到原来水位时 ,记下所需时间 ,再开动水泵将水排到原来深度 ,并记录所需时间。根据水泵每小时实际的抽水量及抽水时间 ,即可按下列公式计算出该矿坑的总涌水量为 :

$$Q = \frac{Q_0 t_2}{t_1 + t_2} \quad (2-21)$$

式中  $Q$ ——矿坑每小时的总涌水量 , $\text{m}^3/\text{h}$  ;

$Q_0$ ——水泵的实际出水量 , $\text{m}^3/\text{h}$  ;

$t_1$ ——从停泵到水仓水位恢复到原水位所需的时间 ,h ;



$t_2$ ——水泵排水水仓由原水位排到一定深度所需的时间 ,h。

上式为一近似公式 ,所得涌水量的精确程度取决于水泵的排水能力 ,通常水泵的排水能力愈大 ,则所得涌水量值偏大 ,反之则偏小。

根据国内外资料 ,矿坑涌水量的测定正向自动化方面发展 ,有无人管理的水仓和水泵房 ,有自动记录矿坑涌水量的仪器和仪表。

## 第三章 矿井充水条件

在矿井建设和生产过程中,各种类型水源进入采掘空间的过程称为矿井充水,进入到工作面及井巷内的水称为矿井水。矿井充水的形式有渗入、滴入、淋入、流入、涌入和溃入等等,当涌入或溃入井巷的水量大,来势猛时,称为突水。

虽然影响矿井充水的因素很多,但形成矿井充水的主要因素,也就是通常所说的矿井充水条件,主要是指矿井水的来源和其渗透通道。在生产过程中,正确判断矿井水的来源及其充水通道,对于计算涌水量、预测矿井突水的可能性及制定矿井防治水措施等都具有重要意义。

### 第一节 矿井水的来源

矿井充水的水源有四种,即矿体及围岩空隙中的地下水、地表水、老窑积水和大气降水,前三种可称为矿井充水的直接水源,而大气降水往往是间接水源或者是控制因素,即矿井水可归结为一个总根源——大气降水。当然,大气降水渗入有时也可以成为直接水源。

#### 一、矿体及围岩空隙中的地下水

有些矿床矿体本身存在有较大的空隙,其内充满了地下水,这些水在矿体开采时,会直接流入坑道,成为矿坑充水水源。有些矿床本身并不含水,但邻近的围岩往往具有大

小不等、性质不同的空隙,其中常含有地下水,当有通道与采掘空间连通时,也会成为井下充水的水源。根据含水岩石空隙的性质,这些地下水可以是孔隙水、裂隙水或喀斯特水。

### 1. 孔隙水水源

孔隙水存在于松散岩层的孔隙中,当开采松散沉积层中的矿产或开采接近松散沉积层的矿体时,常遇到这种水源。如我国开滦煤矿部分矿井,因受冲积层水的补给,曾发生过水、砂突入矿井的事故。

### 2. 裂隙水水源

往往是在采掘工作面揭露含裂隙水的围岩时,这种地下水涌入工作面,造成矿坑充水。裂隙水水源的一般特点是:水量较小,但水压较大。当裂隙水与其它水源无水力联系时,在多数情况下,涌水量会逐渐减少,甚至干涸;如果裂隙水和其它水源有联系时,涌水量便会增加,甚至造成突水事故。

### 3. 喀斯特水水源

这种水源在我国华北和华南的许多矿区较为常见。如华北石炭二叠纪地层厚度达数百米,假整合于喀斯特比较发育的奥陶系石灰岩强含水层之上。不少矿区发生的重大突水事故,其直接或间接水源绝大多数皆为石灰岩含水层中的喀斯特水。喀斯特水源突水的一般特点是:水压高、水量大、来势猛、涌水量稳定,不易疏干,危害性大。其突水规律受喀斯特发育程度及规律的控制。

总之,地下水往往是矿井充水最直接、最常见的主要水源。涌水量的大小及其变化,则取决于围岩的富水性和补给条件。地下水流入矿井通常包括静储量与动储量两部分。开采初期或水源补给不充沛的情况下,往往是以静储量为主,随着生产的发展及长期排水和采掘范围不断扩大,静储量逐渐被消耗,动储量的比例就相对增大。

## 二、地表水源

地表水体包括江河、湖海、池沼、水库等。当开采位于这些地表水体影响范围内的煤层或其它矿体时,在适当条件下,这些水便会涌入坑道成为矿坑充水水源。

地表水能否进入井下,由一系列的自然因素和人为因素决定,主要取决于巷道距水体的远近、水体与巷道之间的地层及构造条件和所采用的开采方法。一般来说,矿体距地表水体愈近影响愈大,充水愈严重,矿井涌水量也愈大。若矿坑充水水源为常年存在的地表水时,则水体越大,矿坑涌水量越大,且稳定,淹井时不易恢复;而季节性地表水体为充水水源时,对矿坑涌水量的影响程度则随季节性变化。另外,地表水体所处地层的

透水性强弱 ,直接控制矿坑涌水量的大小 ,地层透水性好 ,则矿坑涌水量大 ;反之则小。当有断层带沟通时 ,则易发生灾害性的突水。同样 ,不适当的开采方法 ,也会造成人为的裂隙 ,从而增加沟通地表水渗入井下的通道 ,使矿坑涌水量增加。

由于地表水对采矿的威胁很大 ,所以在勘探和开采过程中 ,必须查清地表水体的大小、距离巷道和采场的远近(垂直、水平) ,以及洪水位淹没的范围等 ,事先采取有效的措施 ,以避免地表水的危害。

### 三、大气降水的渗入

大气降水的渗入是很多矿井充水的经常补给水源之一 ,特别是开采地形低洼且埋藏较浅的煤层时 ,大气降水往往是矿井充水的主要来源 ;当开采高于河谷处地表(特别是分水岭)下的煤层时 ,大气降水往往是唯一的水源。大气降水渗入量的大小 ,与各地区的气候、地形、岩石性质、地质构造等因素有关。当大气降水成为矿井充水水源时 ,有以下规律 :

1. 矿井充水的程度与地区降水量的大小、降水性质和强度及延续时间有关系。降水量大和长时间降水对渗入有利 ,因此矿井涌水量也大。如湖南渣渡矿区利民矿井 ,雨季井下涌水量为枯水季节的 6 ~ 8 倍。一般来说 ,我国南方矿区受降水的影响要大于北方的矿区。

2. 矿井水量变化随气候具有明显的季节性 ,但涌水量出现高峰的时间往往滞后 ,浅部约 1 ~ 2 天 ,随深度的增加滞后时间更长。

3. 大气降水渗入量随开采深度的增加而减少 ,即在同一矿井不同的开采深度 ,降水对矿井涌水量的影响程度具有很大差别。

### 四、老窑及采空区积水

古代和近期的采空区及废弃巷道 ,由于长期停止排水而使地下水聚集。当采掘工作面接近它们时 ,其内积水便会成为矿井充水的水源。这种水源涌水的特点是 :水中含有大量的硫酸根离子 , $\text{pH}$  值在 3 左右 ,有的甚至仅为 1 ,具有强烈腐蚀性 ,对井下设备破坏性很大 ,这种水成为突水水源时 ,来势猛 ,易造成严重事故 ;当与其它水源无联系时 ,易于疏干 ,若与其它水源有联系时 ,则可造成量大而稳定的涌水 ,危害性极大。

上述几种水源是矿井水的主要来源 ,而在某一具体涌水事例中 ,常常是由某种水源起主导作用 ,但也可能是多种水源的混合。

## 第二节 矿井充水通道的分析

水源的存在,只是可能构成矿井充水的一个方面,而矿井充水与否,还取决于另一个重要条件,即充水通道(包括通道的类型及具体位置)。根据矿井充水的通道类型,可把通道分为孔隙、裂隙、溶隙及人工通道等四种。

### 一、岩层的孔隙

这种通道通常存在于疏松未胶结成岩的岩石中,其透水性能取决于孔隙的大小和连通情况。岩石的孔隙大、连通程度好,当巷道穿过时,其涌水量就大,否则涌水量就小。

单纯的孔隙水,只有在煤层围岩是大颗粒的松散岩层并有固定的水源补给,或围岩本身是饱水的流砂层时,才能造成突水或发生流砂冲溃事故。

### 二、岩层的裂隙

岩层的风化裂隙、成岩裂隙、构造裂隙等都能构成矿井充水的通路。其中,风化裂隙及成岩裂隙所含水量一般不大,而对矿井最具有威胁的是构造裂隙(断裂),它包括各种节理、断层和巨大断裂破碎带等,是矿井充水和矿井透水的主要通道。

构造裂隙对矿井充水的影响,一方面表现在其本身的富水性;另一方面又往往是各种水源进入采、掘工作面的天然途径。所以,当采掘工作面和它们相遇或接近时,与它有关的水源则会通过它们涌入井下造成突水。

节理,尤其是张节理是矿井充水的有利通道。在一般情况下,脆性岩石较柔性岩石的节理更为发育,且大多为张节理,其裂隙宽度较大,柔性岩石中的裂隙大多是细小闭合的,其透水性较差,但当多组裂隙互相沟通时,也可形成矿井充水的良好通道。

断层是构造裂隙中最易造成灾害性事故的进水通道。根据断裂带的水文地质特征,可分为隔水断层和透水断层两类。隔水断层主要是压应力及部分扭应力形成的扭性断裂,后经充填胶结而成。由于致密,不仅断裂带本身不含水,而且还可切断某些含水层,使含水层在断层两侧具有不同的水文地质特征。一般来说,这类断层在保持其隔水性能的条件下,对分区疏干可起有利的作用。透水断层,多数是张扭性断层,少数是压扭性断层。当它们与其它水源有联系造成矿井突水时,其水量大且稳定,不易恢复;当它们与其

它水源无联系时,其内水储量有限。透水断层突水时,开始水量大,以后逐渐减少,甚至干涸。

### 三、岩层的溶隙

岩层的溶隙是指可溶性的碳酸盐类岩石被溶蚀而形成的空隙。它可以从细小的溶孔直到巨大的溶洞,彼此可以连通,也可以形成单独的管道或似格架状喀斯特体,其中可赋存大量的水或勾通其它水源,当巷道接近或揭露它们时,易造成灾害性的冲溃。

可溶性岩石在我国分布广泛,因而使喀斯特溶隙成为矿井充水的主要通道。在喀斯特发育地区分析矿井充水通道时,应首先研究喀斯特的发育规律。

#### 1. 喀斯特主要分布在质纯的可溶性岩石地段

可溶性岩石的性质是溶隙发育的内在因素。一般情况下,质纯的厚层灰岩中,喀斯特发育强烈;含杂质多的薄层可溶性岩层,则相对减弱。

#### 2. 溶隙溶洞主要分布在构造裂隙发育的部位

溶隙溶洞是在可溶性岩石原有的裂隙基础上发育起来的,因此可溶岩中各类裂隙发育的部位就是溶隙溶洞发育部位,在断裂集中或交叉地段,溶隙溶洞发育,褶皱剧烈弯曲部位,如背斜轴部裂隙发育,溶洞也发育;较大的向斜轴部存在有较大断裂时,喀斯特较发育,在褶皱轴线弯曲部位及倾没部位,由于张性断裂发育,喀斯特也较发育;可溶性岩石与非可溶性岩石接触部位,当受到构造应力作用时,由于岩石性质的差异,易于产生层间滑动和裂隙,促使地下水在此部位运动,又因水的溶蚀作用使可溶岩的溶洞极为发育。

#### 3. 水循环交替及地壳运动引起喀斯特通道复杂化

当具有溶解性的水与可溶岩接触时,由于水的循环交替,使溶蚀作用不断进行,因此水循环的快慢,对喀斯特的发育有很大的影响。喀斯特地区喀斯特水的运动和溶隙溶洞的发育、分布具有规律性。

(1)垂直循环带 指岩溶地区潜水面以上的岩体部分。由于地表水在垂直方向上沿可溶性岩石裂隙下渗补给潜水,形成垂直发育且互不相通的溶洞,这就是直立喀斯特多分布在含水层的浅部及顶部并随深度增加而逐渐减弱的原因。

(2)季节变动带 指喀斯特潜水随季节变化而升降的范围。在此范围内,枯水季节地下水以垂直运动为主,洪水期以水平运动为主,所以,此带内垂直、水平溶洞都有。

(3)水平循环带 指喀斯特潜水最低水位以下到当地侵蚀基准面以上的范围。此带内饱和的喀斯特水主要以水平方向无压地排向河流,因此本带内主要是水平溶洞,暗河较发育。

(4)深部循环带 位于当地侵蚀基准面以下。由于地下水受地质构造的影响而流向更低的河谷,为区域性的排水循环,该带内的地下水运动迟缓,喀斯特不发育,仅有溶孔存在,越往深处溶孔逐渐减少。

溶隙溶洞的发育,除受上述各种规律控制外,还受地壳运动的控制。当地壳上升时,河流下切,即侵蚀基准面下降,把早期形成的溶洞抬高,变成干涸的溶洞。地下水为适应新的侵蚀基准面,其交替循环又会形成新的溶洞带,而使喀斯特地区具有成层发育溶隙溶洞的特征,即溶洞的多层性。如湖南湘中地区的壶天灰岩中,就可见到2~3层溶洞。当这些溶洞又因地壳下降处于地下深部时,则成为隐伏的喀斯特,这些隐伏喀斯特便是矿井充水的复杂通道,给矿井开采带来极大威胁。如湖南煤炭坝矿区煤层底板为茅口灰岩,其喀斯特承压水为该矿涌水的主要来源,其中一矿井在-22m水平仅开拓了1080m长的巷道,就遇突水点210余个,总涌水量最大达 $3261.7\text{m}^3/\text{h}$ ;另一矿井在-130m水平大巷中遇一突水点,其涌水量达 $9420\text{m}^3/\text{h}$ ,造成淹井。

## 四、人工通道

### 1. 勘探钻孔造成的充水通道

按规定,勘探时施工的各种钻孔,在工作结束后都要按要求进行封闭,如果封孔质量未达到标准要求,钻孔就成了矿层与其顶底板含水层或地表水之间的通道。在开采过程中,遇到或接近它们时,就会引起涌水或造成淹井事故。如东风煤矿因部分勘探钻孔封孔质量不好,将煤层底板强含水层——奥陶灰岩的水引入矿坑,使井下涌水量骤然增加,虽然采取了超前钻孔放水,开凿疏水巷道等措施,但全矿总涌水量仍达 $855\text{m}^3/\text{h}$ ,井下排水5a多,水仍疏不干,直到对个别钻孔启封处理后,井下涌水量才明显减小,当前后启封处理18个封孔质量不好的勘探钻孔后,全矿总涌水量减少了84%左右。

### 2. 采矿活动造成的断裂

根据对岩层移动规律的研究,当煤层开采后,采空区上方的岩层即发生移动,形成三个不同的破坏带(图8-3-1)。

第Ⅰ带——岩层垮落带煤层采出后,顶板岩石的平衡状态遭到破坏而垮落,形成崩落带。其垮落高度取决于顶板岩石的碎胀系数及煤层倾角和采厚。在缓倾斜煤层条件下,垮落高度可用下式计算:

$$h = \frac{m}{(k-1)\cos\alpha} \quad (3-1)$$

式中  $h$ ——垮落带的高度(采空区底界面起算),m;

$k$ ——顶板岩石的碎胀系数,其大小取决于岩性,一般采用1.3;

$m$ ——煤层采厚,  $m$ ;

$\alpha$ ——煤层倾角。

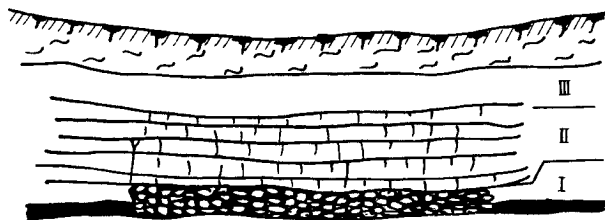


图 8-3-1 顶板岩层移动分带图

I—岩层垮落带 ;II—断裂带 ;III—整体沉降弯曲带

第 II 带——断裂带 :位于第 I 带的上方。由于顶板垮落 ,岩层下沉而产生许多张性裂隙 ,断裂带的高度为垮落带高度的 2~3 倍。

第 III 带——整体沉降弯曲带 :位于第 II 带的上方 ,此带特点是岩层缓慢沉降弯曲 ,但一般不产生裂隙 ,即使有也是封闭、互相不连通的 ,通常起隔水作用。

若地表水体或含水层处于第 I 带或第 II 带内 ,将对矿井构成严重威胁。

此外 ,由于矿山压力或地下的静压力 ,或两者联合作用等的结果 ,也可促使坑道底板形成裂隙 ,这种裂隙可沟通底板下部含水层、含水断层带及溶洞水 ,使矿井涌水量增加或造成突水事故。

### 第三节 影响矿井涌水量大小的因素

矿井充水的水源及充水通道都是控制和影响矿井充水水量大小的因素。此外尚有其它一些因素影响矿井涌水量的大小。

#### 一、覆盖层的透水性及煤层围岩的出露条件

地表水和大气降水能否渗入地下 ,以及渗入地下数量的多少 ,与煤层上覆岩层的透水性及围岩的出露条件有着直接关系。覆盖岩层的透水性能好 ,补给水量和井下涌水量就大。生产实践证明 :矿区内若分布有一定厚度(大于 5m)且稳定的弱透水或隔水的岩层 ,就可有效地阻挡水的下渗 ,如果煤层围岩是透水的 ,其在地表出露的面积愈大 ,则



接受降水和地表水下渗量就愈大,矿井涌水量也就愈大。在地形平缓的情况下,厚度大的缓倾斜透水层最易得到补给,因此流入井巷的水主要为动储量,其涌水将长期稳定在某个数值上,且不易防治;若缺乏补给水源或煤层上覆岩层透水性能弱,则流入井巷的水主要为静储量,这时的涌水特征是水量由大到小,较易防治。

### 二、地形条件的影响

地形直接控制了含水层的出露部位和出露程度,控制着地表水和大气降水的汇集。当矿井的开采深度高于当地侵蚀基准面时,其涌水量通常较小,且易于排除;若矿井开采深度低于当地侵蚀基准面时,一般水文地质条件比较复杂,其涌水量也较大。

### 三、地质构造的影响

在煤层分布范围内,地质构造直接影响着矿井涌水量的大小。

#### 1. 断裂面的力学性质对矿井涌水量的影响

(1)压性断裂面 断裂面紧密,透水性较差,相对起隔水作用,所以压性断裂面通常对矿井涌水量影响较小。

(2)张性断裂面 张裂程度大,充填物内孔隙多而大,且断裂面两侧常伴生有次一级断裂面,所以为地下水的运移、赋存创造了良好的条件,因此张性断裂面对矿井涌水量的影响较大。

(3)扭性断裂面 扭性断裂面延展较远,发育深度大,低序次断裂亦较发育,因此扭裂面及其两侧常具备良好的导水性,对矿井涌水量影响较大。

#### 2. 不同构造部位对矿井充水的影响

(1)对一条断层而言,其尖灭点及其附近不是以位移消失应力,而是以破裂、变形来消失应力,故在断层端点部位及其两侧的岩层裂隙特别发育,是突水较多的部位。

(2)主干断裂与分支断裂的交叉点应力比较集中,各种断裂面均很发育,岩石破裂,充填和胶结程度较差,尤其石灰岩中,喀斯特特别发育。故在断层交叉处附近,其透水性强,导水性能好。

(3)断层密度大的地段,不仅应力集中,且多次受应力作用,因而使岩石破碎,裂隙发育,给地下水的赋存和运移创造了良好条件。如焦作矿区的一些矿井,其突水次数与断层密度成正比关系(表 8-3-1)。

(4)在断层两断盘相对运动过程中,由于受边界条件和重力的作用,一般上盘低序次断裂及裂隙相应较下盘发育,故在断层上盘易发生突水。如焦作矿区有些矿井的突水点

绝大部分是发生在断裂面上盘部位(图 8-3-2)。

表 8-3-1 断层密度与突水次数关系表

矿井名称	演马	王封	米村	焦西	韩王	李封
断层密度(条/km <sup>2</sup> )	0.34	0.38	1.5	3.0	3.1	3.3
突水次数	1	2	4	6	6	9

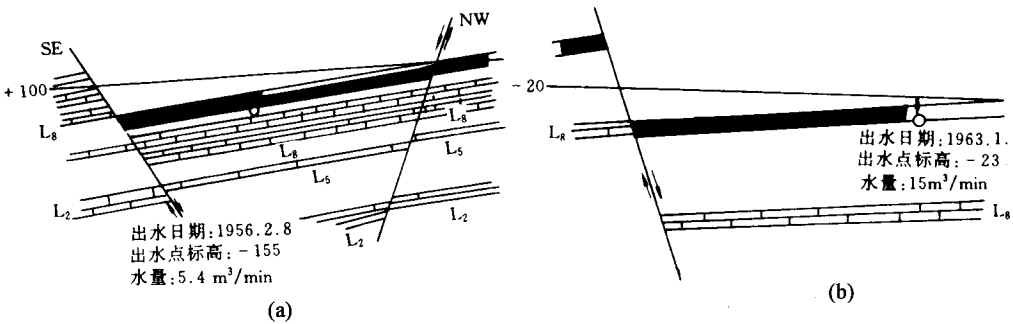


图 8-3-2 断层上盘与突水点的关系图

## 第四章 矿井水文地质观测及水害防治

### 第一节 矿井水文地质观测

矿井水文地质观测是矿井水文地质工作的主要项目,一般包括两部分内容:地面水文地质观测和井下水文地质观测。

#### 一、地面水文地质观测

地面水文地质观测的内容包括:气象观测、地表水观测、地下水观测及采矿后形成的垮落带和导水裂隙带高度的观测等四个方面。

##### 1. 气象观测

主要是观测降水量,并搜集矿区附近气象台站的观测资料或设立矿区(井)气象站。观测内容除降水量外,还应包括蒸发量、气温、相对湿度等,观测时间和要求应与气象站一致。

气象观测资料,应整理成气象要素变化图(图 8-4-1),以说明矿区范围内气象要素变化情况。此外,还应当把气象要素变化同矿井建设和生产的实践结合起来分析研究,如编制降水量与矿井涌水量变化关系曲线图,以帮助分析矿井涌水条件。

##### 2. 地表水观测

地表水主要是指江河、溪流、大水沟、湖泊、水库、大塌陷坑积水等。对分布于矿区(井)范围内的地表水,都应该对其进行定期观测。

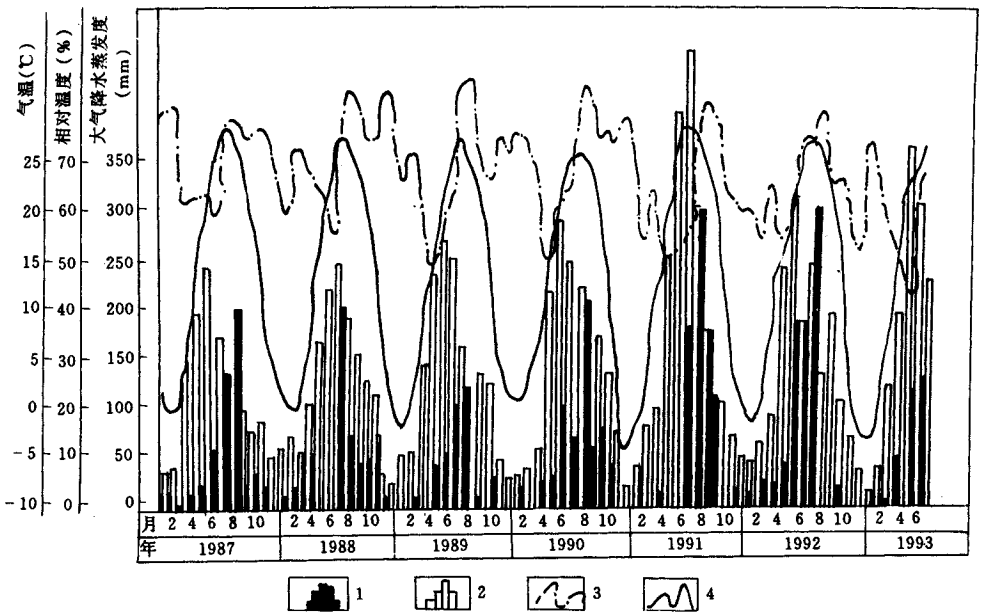


图 8-4-1 气象要素变化图

1—降水量 2—蒸发度 3—相对湿度 4—气温

对通过矿区(井)的江河、溪流、大水沟,一般在其出入矿区(井)或采区、含水层露头区、地表塌陷区及支流汇入的上下端设立观测站,定期测定其流量(雨季最大流量)、水位(雨季最高洪水位),及通过构造断裂带和上述地段的流失量,河流泛滥时洪水淹没区的范围及时间。

对分布于矿区(井)范围内的湖泊、水库、大塌陷坑积水区所建立的观测站,其观测内容主要是积水范围、水深、水量及水位标高等。观测所获资料,应整理成曲线图(如图 8-4-2),以便研究其流量(水量)、水位的变化规律,找出其变化原因,并预测地表水对矿井涌水的影响。此外,还应将河水漏失地段、洪水淹没范围等标在相应的图纸上。

### 3. 地下水观测

地下水观测是研究地下水动态的重要手段,在矿区(井)建设和生产过程中,应选择一些具有代表性的泉、井、钻孔、被淹井巷以及勘探巷道等,作为观测点,与已有的观测点组成观测系统(观测线或观测网)。

进行地下水动态观测的目的在于通过日常观测,了解一个矿区(井)水文地质条件随时间的延续所发生的变化规律。为此,对地下水的观测资料,应及时进行整理和分析。对每一个观测点的资料,应编制出水位变化曲线图、流量变化曲线图等(图 8-4-3、图 8-4-2),以便掌握该点地下水动态。对整个观测系统的资料,应定期整理,编制成综合

图件 ,如等水位线图( 等水压线图 )、水化学剖面图等 ,以便掌握整个矿区( 井 )范围内某一时期的水文地质条件变化情况 ,分析矿井的涌水条件及其变化规律。

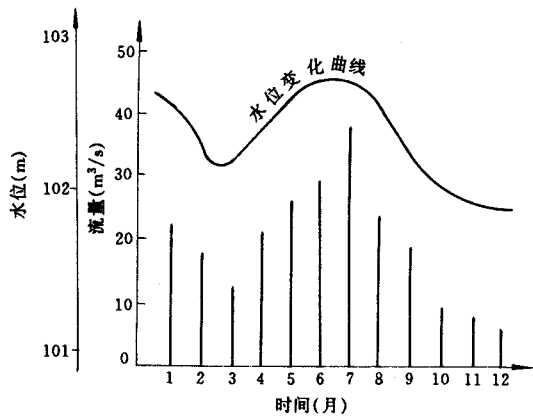


图 8-4-2 河水流量、水位变化曲线图

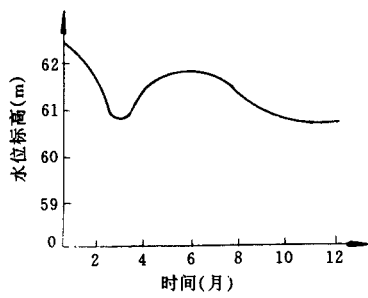


图 8-4-3 钻孔水位历时变化曲线

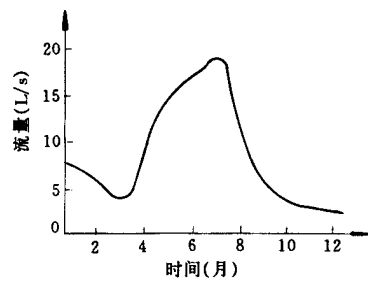


图 8-4-4 泉水流量历时变化曲线

4. 导水断裂带发育高度的观测

主要是观测煤层采空后 ,其上覆岩层失去支撑而发生变形、开裂、移动以至垮落所形

成的能使水流向采空区的垮落带和断裂带的高度。

二、井下水文地质观测

井下水文地质观测工作 ,应与矿井巷道掘进及回采工作同时进行。其主要观测内容如下：

1. 巷道充水性观测

(1)含水层观测 当巷道通过含水层时 ,应详细地记录描述其厚度、岩性、裂隙或岩溶发育情况、揭露点的标高、涌水量、水压及水温等。必要时 取水样进行水质化验。

(2)岩层裂隙发育调查及观测对巷道穿过的含水层 ,应进行裂隙发育情况调查 ,记述裂隙产状要素、长度、宽度、成因类型、张开和充填程度及充填物的成分、地下水活动痕迹及裂隙的消失情况等 ,并选择有代表性的地段、测量其裂隙率。

裂隙率的测定方法一般是在选定的块段内 ,用小钢尺逐条丈量裂隙的长度、宽度 ,然后按公式计算。

(3)断裂构造观测 当巷道揭露断层时 ,首先应确定断层的性质 ,同时测量断层的产状要素、落差、破碎带宽度、充填物质及其透水情况等 ,并作详细记录。

(4)出水点观测 随着矿井巷道掘进或回采工作面的推进 ,如果发现有出水现象 ,应及时到现场逆行观测并分析出水原因及水源。观测的内容包括出水时间、地点、出水层位、岩性、厚度、出水形式、水量、水压、标高、出水点围岩及巷道的破坏变形情况等 ;分析出水原因及水源 ,必要时 ,应采水样进行化学分析。上述内容必须作出详细的记录 ,并编制出水点记录卡片(表 8-4-1)和绘制出水点素描图或剖面图(图 8-4-5)及出水点水量变化曲线图(图 8-4-6)。

表 8-4-1 出水点记录卡片

出水 时间	出水 地点	出水 层位	出水 形式	出水口标 高 m	水压 kg/cm <sup>2</sup>	出水量 m <sup>3</sup> /min	水质 分析	出水 原因	水源 分析	对生产 影响	备注

(5)出水征兆的观测 随着井下巷道的开拓及回采工作面的推进 ,要经常观测工作面是否潮湿、滴水、淋水以及顶、底板和支柱的变形情况 ,如底鼓、顶板陷落、片帮、支柱折断、岩石膨胀、巷道断面缩小等。这些现象都可能是出水的征兆 ,在观测时 ,要作出详细的记录。

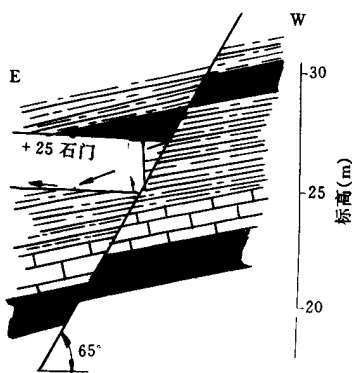


图 8-4-5 某矿 +25 石门突水地点剖面图

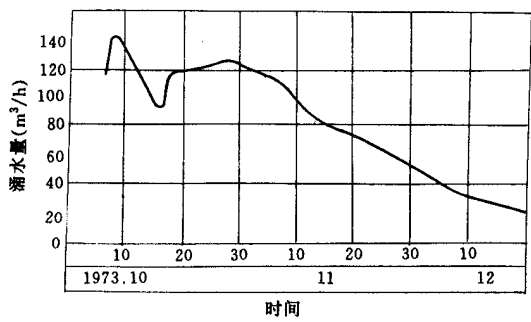


图 8-4-6 某矿 +25 石门突水点水量变化曲线

2. 矿井涌水量观测

1) 矿井涌水量观测要求

观测站一般多布置在各巷道排水沟的出口处、主要巷道排水沟流入水仓处、采区石门排水沟的出口处、井下出水点附近。此外对一些临时出水点,可选择有代表性地点,设置临时观测站。

矿井涌水量一般每旬观测一次,水文地质条件复杂的矿井,每旬应观测 2~3 次,雨季观测次数还应适当增加。当矿井有数个水平,则应分水平测定涌水量。

2) 矿井涌水量的观测方法。

(1) 容积法 用一定容积的量水桶,放在出水点附近,然后将出水点流出的水导入桶内,用秒表记下流满桶所需要的时间,其涌水量则为:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{4-1}$$

式中  $Q$ ——涌水量  $\text{m}^3/\text{h}$  或  $\text{m}^3/\text{min}$  ;

$V$ ——量水桶的容积  $\text{m}^3$  或  $\text{l}$  ;

$t$ ——流满水桶所需的时间  $\text{h}$ 、 $\text{min}$  或  $\text{s}$ 。

在井筒开凿时,常利用迎头的水窝来测涌水量,其方法是:用水泵将井底水窝内的水位降低一部分,然后停泵,测量水头升高到一定位置所需的时间,按下式计算涌水量:

$$Q = \frac{F \cdot H}{t} \quad (4-2)$$

式中  $F$ ——水窝断面积  $\text{m}^2$  ;

$H$ ——水位上升高度  $\text{m}$ 。

容积法测定涌水量一般比较准确,但有局限性,当涌水量过大时,这种方法不宜使用。

(2)浮标法 这种方法是在规则的水沟上下游选定两个断面,并分别测定这两个断面的过水面积,取其平均值  $F$ ,丈量出两断面之间的距离  $L$ ,然后用一个轻的浮标(如木片、树皮、乒乓球等),从水沟上游断面投入水中,记下浮标从上游断面到达下游断面所需的时间  $t$ ,按下式便可算出其涌水量  $Q$  :

$$Q = \frac{F \cdot L}{t} \quad (4-3)$$

这种方法简单易行,特别是水量大时更适用,但精度不太高,一般还需乘上一个经验系数。经验系数的确定,需考虑水沟断面的粗糙程度以及巷道风流方向及大小等,一般取 0.85。

(3)堰测法 这种方法的实质,就是使排水沟的水通过一固定形状的堰口,量测堰口的水头高度,就可以算出流量。堰口的形状不同,计算的公式也不一样,常用的有三种堰形。

A. 三角堰 如图 8-4-7 所示,三角堰适合于流量小于  $0.5\text{m}^3/\text{s}$  的情况,计算公式为:

$$Q = 0.014h^2\sqrt{h} \quad (4-4)$$

式中  $Q$ ——流量  $\text{L/s}$  ;

$h$ ——堰口水头高度  $\text{cm}$ 。

B. 梯形堰 如图 8-4-8 所示,计算公式为:

$$Q = 0.0186Bh\sqrt{h} \quad (4-5)$$

式中  $B$ ——堰口底宽。

C. 矩形堰 如图 8-4-9 所示。



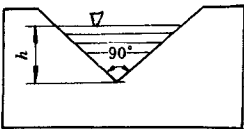


图 8-4-7 三角堰

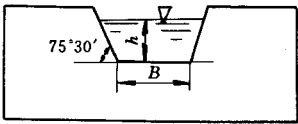


图 8-4-8 梯形堰

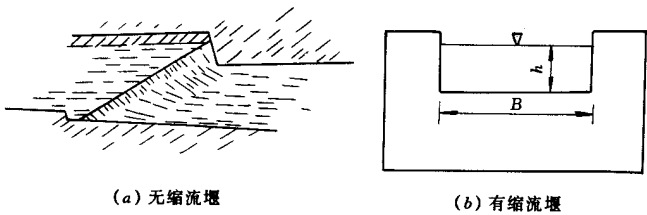


图 8-4-9 矩形堰

有缩流时(即堰口窄于水沟)计算公式为：

$$Q = 0.01838 (B - 0.2h) h \sqrt{h} \tag{4-6}$$

无缩流时(即堰口与水沟一样宽)计算公式为：

$$Q = 0.01838 B h \sqrt{h} \tag{4-7}$$

使用堰测法时, 必须注意堰口的上下游一定要形成水头差(跌水), 如图 8-4-10 所示, 否则, 测量的结果是不准确的。

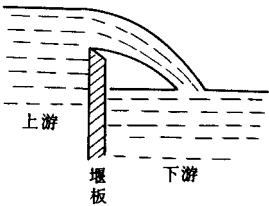


图 8-4-10 堰口水头跌落示意图

(4) 流速仪法 使用流速仪测定矿井涌水量, 一般是在巷道水沟中选定一个断面, 然

后用流速仪测定水沟过水断面中预定测点的平均流速,从而确定该断面的流量。

(5)水仓水位观测法 如图 8-4-11 所示。此法是在水仓断面规则、水仓任何水平切面积  $F$  一定的情况下,根据水仓内水位上升值来计算涌水量的。由标尺读出水仓初始水位  $H_1$ ,经过  $t$  时间后,再由标尺读出水位  $H_2$ ,涌水量  $Q$  便可由下式计算:

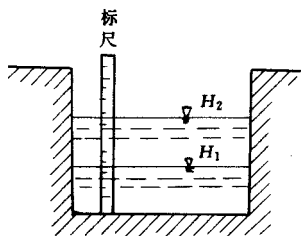


图 8-4-11 水仓内测水位示意图

$$Q = \frac{(H_2 - H_1)F}{t} \quad (4-8)$$

(6)水泵有效功率法 是利用水泵铭牌中的排水量和它的实际效率来换算涌水量。

## 第二节 矿井水的综合治理

### 一、地表防治水

地表防治水是指在地表修筑防排水工程,防止或减少大气降水和地表水渗入矿井。地表防治水主要有五种措施。

#### 1. 合理选择井筒位置

在任何情况下,应保证井口及其它地面设施不致被地表水淹没,因此井口及其它建筑物基础的标高均应高于历年最高洪水位,当受地形限制时,应采取修筑防水堤坝或改变水流方向等补救措施。

#### 2. 河流改道

若河流流入矿区附近或矿区内,并严重影响生产时,可在河流进入矿区的上游选择合适地点修筑水坝,将原河道截断,用人工河道将河水引出矿区范围以外。若地形不允许改道,而河道本身又很弯曲时,可在矿区或井田范围内将河道裁弯取直,以缩短河道流

经矿区的长度 ,减少河流向井下渗透的水量。

3. 铺设人工河床

当流经矿区的河流、冲沟、渠道不能改道时 ,可用粘土、片石及水泥等材料在漏水地段铺设不透水的人工河床 ,或局部填塞裂隙 ,以制止或减少河水漏失。如涟邵矿区利民煤矿 ,通过对两条溪流局部地段人工铺底修理河床后 ,矿井涌水量较原来减少了 80% 左右。

4. 修筑排(截)水沟

山区降水后 ,常以地表水或潜水的形式流入矿区 ,或沿地表塌陷裂隙渗入井下 ,导致矿井涌水量增大。在这种情况下 ,可在井田外缘或漏水区段的上游垂直水流方向修筑排水沟( 图 8-4-12 图 8-4-13 ) ,将水排至影响范围以外。

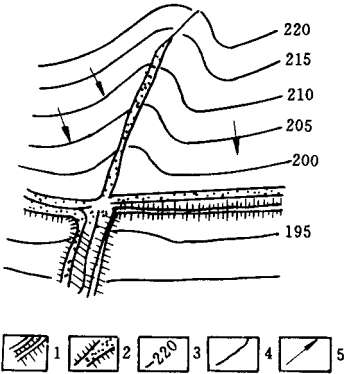


图 8-4-12 在井田上方修拦洪排洪沟

1—拦洪沟及堤防 2—铺底排洪沟及堤防 ;  
3—地形等高线 4—煤层露头 5—水流方向

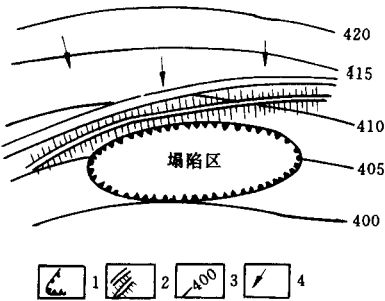


图 8-4-13 在塌陷区上方修排洪沟

1—塌陷区边界 2—排洪沟及堤防 3—地形等高线 4—水流方向

### 5. 堵漏

对矿区地表的裂隙、洞穴及陷坑等漏水地带,用粘土堵塞、夯实,并稍高于地表(图 8-4-14),以防积水渗灌井下。

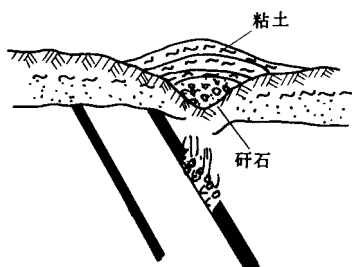


图 8-4-14 塌陷坑填塞方法

## 二、井下防治水

### 1. 探放水

探放水是防止水害发生的重要方法之一,尽管其并不能将所有的水害威胁都探明,如断层的迟到突水,但必须坚持“有疑必探,先探后掘”的原则。通常在下述情况下,需进行超前探水:

- a. 巷道掘进接近小窑老空区;
- b. 巷道接近含水断层;
- c. 巷道接近或需要穿过强含水层;
- d. 上层采空区有积水,在下层进行采掘工作,两层间垂直距离小于采厚的 40 倍或小于掘进巷道高度 10 倍时;
- e. 采掘工作面接近各类防水煤柱时;
- f. 采掘工作面有明显出水征兆时。

#### 1) 小窑老空区积水的探放

(1) 探水起点 由于小窑老空区积水范围是通过调查得出来的,所以其积水的边界不是十分准确,如有条件最好用物探方法查明。根据一些矿区的经验,将调查和勘探获得的小窑老空区分布资料经过分析后,在煤层底板等高线图相应位置上按比例填绘小窑老空区范围及三条界线(图 8-4-15)。

积水边界线是指调查核定的老窑、小窑预定边界线,即其采空区范围,深部界线应根据其最深下山划定。探水线是根据积水范围的可靠程度、积水量、水头压力、煤层厚度及

其强度大小沿积水边界线平行外推 60 ~ 150m 距离的一条线 ,当巷道到达此线就应开始探水。警戒线是沿探水线再平行外推 50 ~ 150m 的一条线 ,当巷道进入此线 ,就应警惕积水的威胁 ,注意迎头的变化 ;当发现有透水征兆时 ,就应提前探水。

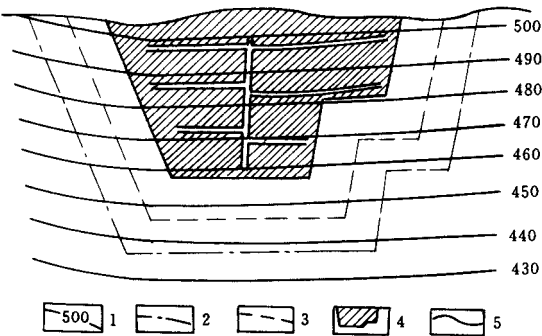


图 8-4-15 小窑老空“三线”示意图

1—煤层底板等高线 2—警戒线 3—探水线 ;  
4—采空区及积水边界线 5—煤层露头线

(2)小窑老空区积水量的估算 小窑老空积水可按下式进行估算 :

$$W_{\text{静}} = \frac{K \cdot M \cdot F}{\cos \alpha} \tag{4-9}$$

式中  $W_{\text{静}}$ ——老空积水的静储量 , $\text{m}^3$  ;

$M$ ——采厚 , $\text{m}$  ;

$F$ ——小窑老空区平面面积 , $\text{m}^2$  ;

$\alpha$ ——煤层倾角 ,度 ;

$K$ ——老空区充水系数 0.3 ~ 0.5。

(3)探、放水钻孔的布置 探水时从探水线向前方打钻探水 ,但一次打透积水的情况很少 ,绝大多数是探水与掘进相结合 ,即探水一掘进一探水循环进行 ,方能找到老窑积水区。因此 ,在考虑探水钻孔布置时 ,必须保证掘进巷道的前方留设一定宽度的保安煤柱。此外 ,老窑内的巷道极不规则 ,在探水掘进过程中 ,如果钻孔密度不够 ,古巷道有可能从两钻孔间通过而未探到(图 8-4-16) ,这种情况很容易发生突水事故。为了防止突水事故的发生 ,探水钻孔一般布置成扇形或半扇形 ,上山巷道常布置成扇形 ,煤层平巷常布置成半扇形。巷道允许掘进距离(经探水后证明无水害威胁 ,可以安全掘进的长度)的终点处 ,探水孔间距最大不得超过 3m(图 8-4-17) ,超前距(允许掘进终点到中心眼终点间的距离)一般采用 20m ,帮距(中心眼与外斜眼终点的距离)一般应等于超前距 ,有时也可

略小于超前距 1 ~ 2m。超前距也可用下式进行估算 ,但最小不得小于 8m。

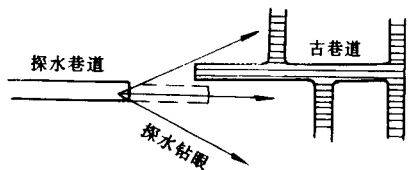


图 8-4-16 古巷道从钻孔间漏过的情况

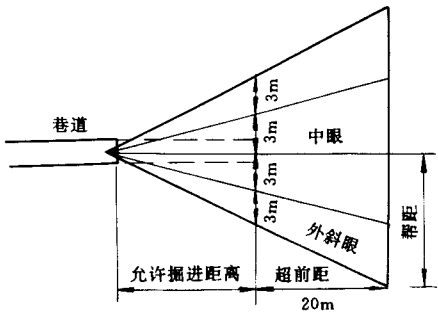


图 8-4-17 探水眼的布置

$$a = 0.5l\sqrt{\frac{3p}{k_p}} \quad (4-10)$$

式中  $a$ ——超前距 ,m ;  
 $l$ ——巷道的跨度(宽或高取其大者) ,m ;  
 $p$ ——水头压力  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ;  
 $k_p$ ——煤柱的抗张强度  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

### 2 )断层水及其它可疑水源探放

探断层水、强含水层及其它可疑水源的方法与探老空区相同 ,但探水钻孔的孔数较探老空区水的要少。

探断层水的钻孔往往与探断层构造孔结合起来 ,在探明断层的位置、产状要素、断层带宽度的同时 ,着重查明断层带的充水情况、与含水层的接触关系和水力连通情况、静水压力及涌水量大小 ,以达到一孔多用的目的。

断层水探明后 ,应根据水的来源、水压和水量采取不同措施。若断层水是来自强含水层 ,则要注浆封闭钻孔 ,按规定留设煤柱 ,已进入煤柱的巷道要加以充填或封闭。若断层含水性不强 ,可考虑放水疏干。

### 2. 煤矿酸性水的防治

煤层及煤系岩层中常会有黄铁矿及有机硫,这些硫化物氧化后形成硫酸,使矿井水呈酸性。酸性水对金属和混凝土有腐蚀作用,危害矿井生产。井下排除酸性水的几项措施如下:

(1)分区排除酸性水 矿井酸性水的涌出常具有区域性,因此可用单独排水系统,将酸性水集中一次排出。

(2)分级排水,降低水泵扬程 由于排水时,扬程越高,水压越大,则酸性水对水泵的磨损和腐蚀的速度就越快。若将单级排水改为多级排水,降低水泵扬程,可减少对水泵的腐蚀速度和磨损程度。

(3)冲淡酸性水 在非酸性水涌水量大,而酸性水涌水量小的矿井中,可将两者按比例引入同一水仓混合,使酸性水冲淡后排出。

(4)中和酸性水 即在酸性水中掺入生石灰  $\text{CaO}$  中和,以降低水的酸性。

(5)改善水泵、水管的耐酸性能。

### 3. 井下防水煤柱的留设

在受水害威胁的地段,预留一定宽度和高度的煤层不采,使工作面和水体保持一定距离,以防止地下水或其它水源溃入工作面,所留的煤层叫防水煤柱。

一般当有下列情况之一时,均应留设防水煤柱:

(1)煤层露头直接为疏松含水层所覆盖或位于地表水体之下(图 8-4-18);

(2)因断层的影响使煤层和富含水层接触(图 8-4-19),或者煤层既和富含水层接触又被部分富含水层掩盖(图 8-4-20);

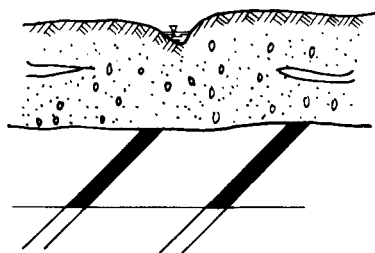


图 8-4-18 煤层露头直接为疏松含水层或地表水体所覆盖

(3)因断层的影响使煤层底板和承压含水层接近,且当煤层采空后承压水有突破底板的危险(图 8-4-21):

(4)煤层与充水断层接触(图 8-4-22);

(5)煤层与充水陷落柱接触;

(6)巷道或工作面接近被淹井巷和积水小窑老空区等。

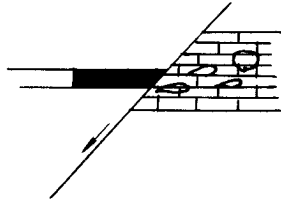


图 8-4-19 煤层和富含水层接触

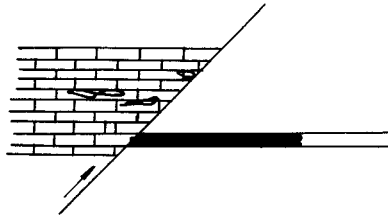


图 8-4-20 煤层和富含水层接触并局部被富含水层所掩盖

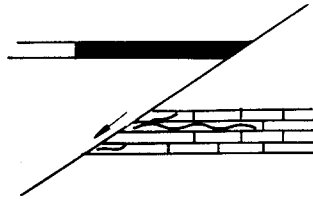


图 8-4-21 煤层底板和富含水层接近

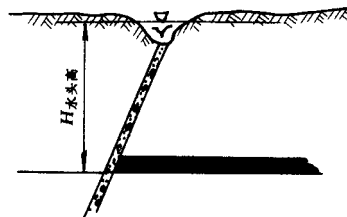


图 8-4-22 煤层和充水断层接触

确定防水煤柱尺寸是一个相当复杂的问题,至今还没有一个比较完善合理的办法,尚有待进一步研究。但在确定防水煤柱尺寸时应着重考虑含水层或其它水体的水量、水压、煤层的机械强度、厚度及其围岩的物理力学性质等因素。

#### 4. 井下截水建筑物的设置



为了使井下局部地区的涌水不致波及其它地区或为了堵截水源,需在适当地点建筑截水建筑物(防水闸),将开采区与水源隔离。防水闸分为防水闸门和防水墙两种。

(1)防水闸门 一般设置在可能发生突水需要堵截而平时仍需运输和行人的巷道内,如井底车场、井下水泵房和变电所的出入口及受水害威胁地段与其它无水害威胁地段的通道处。

防水闸门是由混凝土闸墩、门框及门扇等组成(图 8-4-23),门框的尺寸应能满足运输的需要,在门扇与门框之间夹以厚橡胶皮以防漏水。根据水压的大小,门扇可用铁板或钢板制成。通常门的形式为平面状,但当水压超过  $2.53 \times 10^6 \sim 3.04 \times 10^6 \text{ Pa}$  时,应采用球面形状。

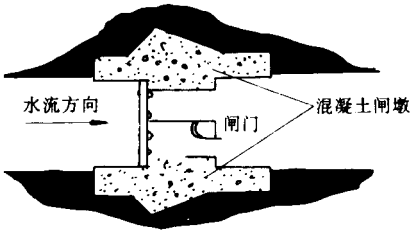


图 8-4-23 水闸门示意图

防水闸门平时是开的,为了便于运输,中间铺设易于拆卸的活动轻便铁轨。当发生水患时,可迅速将活动铁轨拆除,并关闭防水闸门。

(2)防水墙 一般是在某个区段开采结束后,隔绝有继续大量涌水可能而砌筑一种永远封闭的挡水建筑,通常用混凝土或钢筋混凝土修筑。根据抗压能力的大小,防水墙的形状有平面形、圆柱形及球面形等三种。其中,平面形的抗压能力小,但易施工;球面形的抗压能力大,而其施工复杂;圆柱形的防水墙既能承受较大压力且施工较为简单,故多用圆柱形的防水墙。在水压特大的情况下,可用钢筋混凝土修筑多段防水墙(图 8-4-24)。

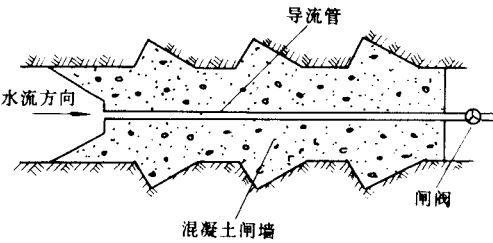


图 8-4-24 永久性多段水闸墙示意图

### 5. 含水层的疏排

含水层的疏排是利用抽水或放水的方法,使含水层疏干或使其水压降低,从根本上消除任何突水的可能。常用的方法有:

(1)巷道疏放 当煤层直接顶板为含水层时,通常是将采区巷道和采面巷道提前准备出来,利用这些巷道预先疏放顶板含水层(图8-4-25)。当含水层位于煤层底部时,可将开拓准备巷道布置在含水层中,利用其直接疏放。如湖南煤炭坝煤矿开采龙潭煤系煤层,底板为茅口灰岩强含水层,原先将运输巷道布置煤层中,由于隔水层很薄,其水大压力也大。后来将运输巷道直接布置在底板茅口灰岩喀斯特发育带中(图8-4-26),既收到了很好疏水效果,也解决了巷道布置在煤层中经常被压垮的问题。

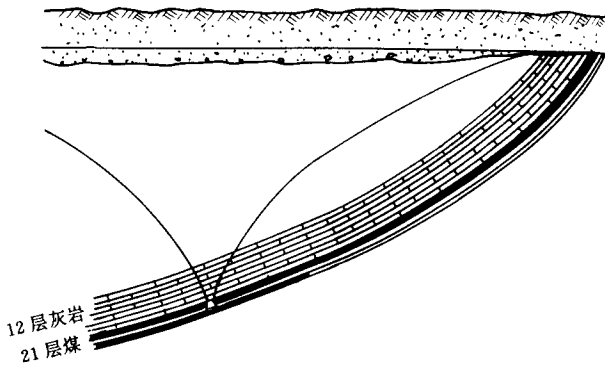


图 8-4-25 利用巷道疏放顶板灰岩含水层

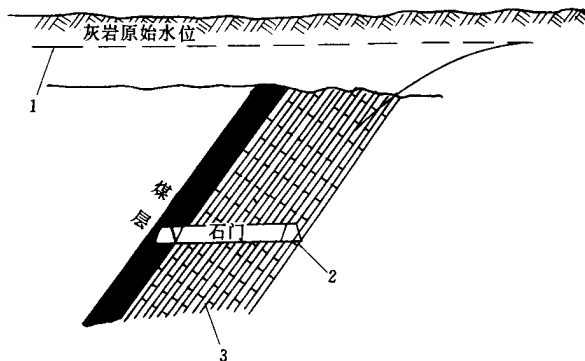


图 8-4-26 直接布置在含水层中的疏放水巷道

1—灰岩原始水位 2—疏放水巷道 3—石灰岩含水层

(2)放水钻孔 当煤层上部含水层离煤层较远,回采准备巷道收不到疏放效果时,可

在巷道中每隔一定距离向含水层打放水钻孔进行预先疏放。

(3)疏放降压钻孔 当煤层下部含水层水压很高,有突水危险时,在计划疏降地段的巷道中每隔一定距离向底部含水层打钻放水,使之形成降落漏斗,逐步将静止水位降至安全水头以下(图8-4-27),如我国华北型煤田很多矿井常常利用这种方法,对太原群灰岩含水层逐层分水平进行疏放降压,使一些煤层从地下水的威胁中解放出来。

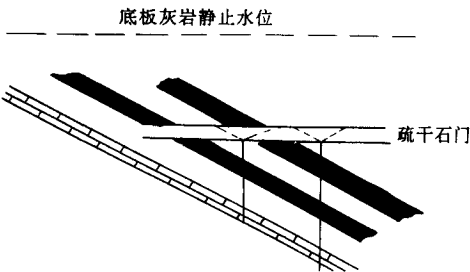


图 8-4-27 利用疏干石门和疏放降压钻孔疏放底板水示意图

(4)吸水钻孔 吸水钻孔是指将煤层上部含水层中的水放入煤层下部含水层中的钻孔(图8-4-28)。

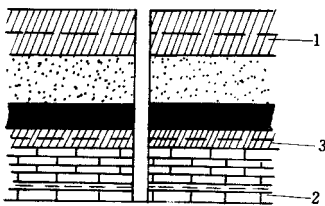


图 8-4-28 吸水钻孔示意图

1—煤层上部砂岩含水层水位；  
2—煤层下部灰岩含水层原始水位 3—灰岩含水层吸水后水位

吸水钻孔疏放不需要任何排水设备,且还不会增大排水量,但使用这种方法所要求的条件极其苛刻,故而使用这种方法的例子并不多见。

### 三、注浆堵水

所谓注浆堵水,就是利用注浆技术将制成的浆液压入地层空隙,使其扩张凝固硬化来加固地层并堵截补给水源的通道。

注浆堵水的工艺和所用设备比较简单,是防治矿井涌水行之有效的措施,许多煤矿经过注浆堵水后,大大减小了涌水量,改善了劳动条件,取得了较好的效果。在煤矿建设

和生产中,井筒地面预注浆、井筒工作面预注浆、井筒井壁注浆、帷幕注浆及注浆恢复被淹矿井等被广泛应用。

### 1. 注浆材料

凡是一种液体,在一定条件下可以变成固体的物质,一般来讲都可以当作注浆材料。目前常用的注浆材料有水泥浆液、水泥—水玻璃浆液和 M—646、木胺、铬木素及塔克斯(TACSS)等化学浆液。

### 2. 注浆工艺

注浆工艺主要包括选择注浆方案、注浆设备、注浆材料,确定注浆方式、注浆深度、及注浆参数,布置注浆孔及其钻进和检查注浆效果等内容。

### 3. 注浆设备

主要包括注浆泵、搅拌机、混合器、止浆塞和配套仪器仪表等。它是制备和输送浆液的系统,是使浆液进入地层裂隙或孔隙的动力源。所以注浆设备的选择,应按设计的供浆量和注浆压力来确定,并且必须满足最大浆量和最大压力的要求,另外还应有备用的设备,以保证注浆工作的连续进行。对化学注浆,还需注意耐腐蚀的问题。