

· 煤矿安全技术丛书 ·

# 矿井水灾防治技术

余德绵 陆春元 编著



国经济出版社

煤矿安全技术丛书

# 矿井水灾防治技术

余德绵 陆春元 编著

中国经济出版社

## 前 言

《煤矿安全技术丛书》(以下简称《丛书》),是根据中华人民共和国煤炭工业部1986年2月颁发、并于1986年7月1日开始执行的《煤矿安全规程》的规定组织编写的。

《煤矿安全规程》第500条明确规定:“直接从事煤矿井下生产建设的职工,都必须进行强制性的安全技术培训,经考核合格并取得《安全资格证书》,才能上岗。否则,干部不能担任领导职务,工人不准上岗。”所以,从事煤矿生产建设的干部和工人都必须学习党和国家有关安全生产的方针、政策;学习和掌握矿山救护、创伤急救的基本知识,能抢救、自救和互救。此外,干部还必须学习安全技术理论知识、井下灾害的发生规律、预防措施和处理方法,能制定职责范围内矿井灾害的预防和处理计划,如遇险情能采取应急措施,正确处理,化险为夷;工人也必须学习矿井安全基础知识,学习与本工种有关的煤矿安全规程的规定,了解与本工种有关事故的发生规律,学习预防措施和处理方法,遇有险情能采取应急措施,学习本工种的操作规程以及有关设备、仪器仪表的安全操作,做到能排除故障安全生产。

为了满足广大煤矿职工安全技术培训的需要,我们组织北京煤炭管理干部学院、煤炭部技术咨询委员会、重庆煤矿安全研究所等单位有关专家和专业人员编写了:《煤矿采掘基础》、《矿井通风》、《煤矿瓦斯防治技术》、《粉尘防治技术》、《矿井防灭火技术》、《矿压及顶板事故处理》、《矿井水灾防治技术》、《矿井爆破安全技术》、《矿井提

升运输安全技术》、《煤矿安全用电》、《煤矿安全监测技术》以及《矿山救护》等分册。这套《丛书》适合于从事煤矿生产建设的职工安全技术培训用，并可作为煤炭院校师生的教学参考用书。干部和工人的各种培训班，可根据本地区、本单位的具体情况，结合培训对象，对《丛书》内容酌情增减。

《丛书》在编写过程中，得到了煤炭部有关司局、煤炭部技术咨询委员会、重庆煤矿安全研究所、山西矿业学院、山东矿业学院、开滦矿务局、阳泉矿务局、大同矿务局、北京矿务局等有关同志的大力支持，并由煤炭部安监局朱美丽高级工程师、山西矿业学院刘吉昌副教授、中国矿业学院徐永圻副教授、通化矿务局张卫国总工程师、北京矿务局田荣林总工程师、煤炭部技术咨询委员会童有德高级工程师、北京煤炭管理干部学院王振铎副编审、《煤炭企业管理》编辑部周培玉副主编等同志进行了审阅，提出了宝贵意见，在此一并致以深切的谢意。

书中不足和错误之处，诚请广大读者批评指正。

《丛书》编写组

1986年9月

# 目 录

|               |      |
|---------------|------|
| 第一章 地下水的埋藏特征  | (1)  |
| 第一节 地下水的贮存条件  | (1)  |
| 一、自然界中的水      | (1)  |
| 二、岩土的空隙性质     | (3)  |
| 三、地下水的存在形式    | (7)  |
| 四、含水层与隔水层     | (10) |
| 第二节 地下水的类型和特征 | (13) |
| 一、地下水概述       | (13) |
| 二、地下水的类型和特征   | (14) |
| 第二章 矿井充水因素    | (31) |
| 第一节 矿井充水程度    | (31) |
| 一、矿井水对煤矿生产的影响 | (31) |
| 二、矿井充水程度及其指标  | (32) |
| 第二节 矿井充水水源    | (33) |
| 一、地下水         | (33) |
| 二、地表水         | (39) |
| 三、大气降水        | (42) |
| 四、老空积水        | (44) |
| 第三节 矿井涌水的通道   | (46) |
| 一、构造断裂带与接触带   | (46) |
| 二、采空区上方冒落裂隙带  | (52) |
| 三、含水层的露头区     | (56) |
| 四、煤层底板岩层突破    | (58) |
| 五、封闭不良的导水钻孔   | (64) |
| 六、导水陷落柱与地面塌陷  | (66) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第三章 矿井涌水量的预测与观测 .....     | (69)  |
| 第一节 矿井涌水量的预测 .....        | (69)  |
| 一、预测意义 .....              | (69)  |
| 二、预测方法 .....              | (70)  |
| (1) 第二节 矿井水动态观测 .....     | (94)  |
| (1) 一、矿井水位动态观测 .....      | (94)  |
| (1) 二、矿井涌水量动态观测 .....     | (97)  |
| (2) 三、矿井采掘动态观测 .....      | (102) |
| (7) 四、矿井水连通试验观测 .....     | (104) |
| (1) 第四章 矿井水灾的防治与处理 .....  | (107) |
| (81) 第一节 概 述 .....        | (107) |
| (81) 第二节 地面防治水 .....      | (108) |
| (81) 一、地面防洪调查 .....       | (109) |
| (12) 二、地表水防治措施 .....      | (110) |
| (18) 第三节 井下防治水 .....      | (117) |
| (12) 一、井下防水 .....         | (118) |
| (26) 二、井下疏干排水 .....       | (125) |
| (22) 三、井下探放水 .....        | (132) |
| (22) 四、井下截水与堵水 .....      | (140) |
| (22) 第四节 透水事故的处理 .....    | (144) |
| (21) 一、透水预兆 .....         | (144) |
| (21) 二、透水时的措施 .....       | (147) |
| (20) 三、被淹井巷的恢复 .....      | (148) |
| (21) 第五节 矿井水灾事故案例 .....   | (149) |
| (21) 案例一 老空积水透水事故 .....   | (150) |
| (20) 案例二 煤层顶板突水事故 .....   | (152) |
| (20) 案例三 井下溶洞透水事故 .....   | (155) |
| (20) 案例四 水闸门突水事故 .....    | (158) |
| (20) 案例五 溶洞中泥石流涌出事故 ..... | (160) |

# 第一章 地下水的埋藏特征

## 第一节 地下水的贮存条件

### 一、自然界中的水

#### (一) 地球上水的分布

从地球表层到内部，水的分布极广。水在大气、地表和地下分别以气态、液态和固态的形式存在，按水的分布空间不同，可分为大气水、地表水和地下水三大类。煤炭生产主要是在地下进行，地下水是直接威胁生产的不安全因素之一，它是采矿工作者的重要研究对象。由于自然界中的三大类水之间，存在着不可分割的内在联系，所以必然也要涉及到大气水与地表水。

地球上的水量究竟有多少，它们的分布状况如何，这是了解地下水贮存与运动规律的基础。大气水是浮动在大气层中的水汽，主要是云和雾，从自然界中水的总量来看，大气水只占0.001%，所占比例很少；地球上江、河、湖、海中的水为地表水，这一部分水量十分可观，它们占据水的总量的95%；而埋藏在地表下面的地下水则约占4%，是自然界中较少的一部分水。可见，这三大类水分布极不均衡（表1-1），在水量和水的性质上差别很大，地表水和地下水占有绝大部分，而大气水为数极少，不过，它却与地表水和地下水有着紧密联系。

#### (二) 自然界中水的循环

表 1-1

地球上三类水量的分布

| 自然界中的水 |              | 水 量<br>( $\text{km}^3$ ) | 淡 水 量<br>( $\text{km}^3$ ) |
|--------|--------------|--------------------------|----------------------------|
| 大 气 水  | 云、雾 等        | 1.4                      | 1.4                        |
| 地 表 水  | 海 洋          | 137,000                  | /                          |
|        | 湖 泊          | 23                       | 12.5                       |
|        | 河 流          | 0.12                     | 0.12                       |
|        | 冰 川          | 2,400                    | 2,400                      |
| 地 下 水  | 土 壤 水        | 8.2                      | 8.2                        |
|        | 潜 水<br>层 间 水 | > 4,400                  | 400                        |
| 总 量    |              | 145,432.7                | 2,822.2                    |

大气水、地表水和地下水并不是各自孤立存在的，在三者之间是一个相互联系、彼此转换的整体，其转换过程称为自然界的水循环（图1-1）。按循环范围不同可分为大循环与小循环。

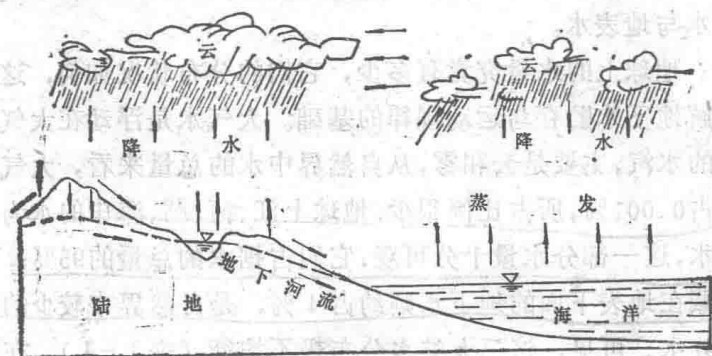


图 1-1 水循环示意图

在太阳光的照射下，水从海面、河湖水面、地球表面及植物叶面不断蒸发，变为水蒸气上升到大气中，随着大气浮



动，在适当条件下，遇冷凝结成液态或固态水，以雨、雪、雹、露、霜等形式降到地面。降落到地面的水，一部分以地表水的形式流入江、河、湖、海；另一部分水则渗入到地下，形成地下水，后者又以地下径流的形式排入地表水体；最后再度蒸发，回到大气中。这样，自然界中的水，在阳光辐射热的影响下，不断往复，即形成了自然界的水循环。

大循环是指在全球范围内海洋与陆地之间水的循环；而小循环则指在陆地或海洋内部水的循环。如海水表面蒸发是构成大陆上大气降水的主要来源，陆地上的河湖表面、地面及植物叶面水分的蒸发则是大陆范围内降水的来源。因此，一个地区降水量的多少，既决定于大循环的频率，也与小循环的次数有关，其频率快，则降水量多。所以在干旱和半干旱地区，兴修水库与大面积植树造林，人为地加快小循环，可以改变当地降水情况。

## 二、岩土的空隙性质

自然界的岩石与土壤（下称岩土），都具有一定空隙（图1-2）。把岩土空隙的大小、多少、形状、连通程度及分布状况等，称为岩土的空隙性质，岩土中的空隙是地下水贮存和运动的场所与通路。了解岩土的空隙性质对于掌握地下水的分布具有实际意义。空隙的大小、多少、连通情况等直接支配着地下水

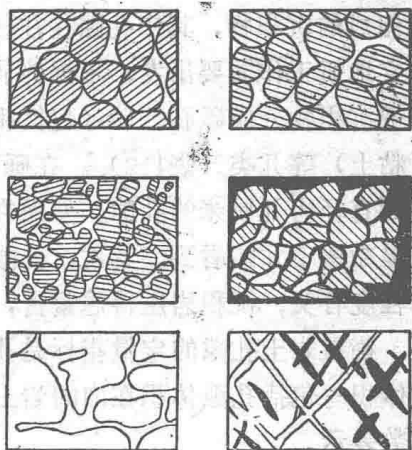


图 1-2 岩土中各种空隙

的埋藏和径流条件。各种岩土中存在的空隙差别较大，根据空隙的成因不同，可分为孔隙、裂隙和溶隙三种。岩土中的空隙往往以其中之一为主，但有的岩土中既有孔隙又有裂隙，或既有裂隙又有溶隙。例如，表土层中的黄土，它是松散沉积物中的一种，其中有一定孔隙，又有垂直节理发育而成的裂隙，故称裂隙——孔隙沉积物。又如，常见的可溶石灰岩，在多数情况下，它含有裂隙，加上水溶液对岩石溶解，而溶隙发育，故称为裂隙——溶隙类型的岩石。显然，这种岩石中的空隙规模比前者要大。

### (一) 孔隙

孔隙是指岩土中颗粒之间的空隙。这种空隙，以松散沉积物（表土）和弱胶结程度的沉积岩为多，其中的孔隙是在岩土沉积过程中所形成的。

松散沉积物中孔隙的大小，与颗粒成分有关。自然界中的沉积物的大小不可能完全等粒，孔隙大小也不相同，由大颗粒组成的沉积物，其中孔隙往往较大，反之则小。因此，从水文地质工作需要出发，根据碎屑颗粒直径的大小不同，将松散沉积物分成砾石、砂（包括粗、中、细砂）、粉砂和泥（粘土）等几类（表1-2）。在砾石为主的沉积物中，常可见到直径为几厘米的孔隙，然而在粘土中的孔隙极小，只有在显微镜下才能看到。其次，孔隙大小还与沉积物压紧及胶结程度有关，沉积岩压得越紧密，胶结越好，则孔隙越小。

衡量岩土孔隙的定量指标是孔隙度（ $n$ ），即岩土中孔隙体积与包括孔隙体积在内的岩土总体积之比，以小数或百分数表示。

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100\%$$

表 1-2 粒级名称及其颗粒直径大小范围

| 粒 级 名 称 |   | 颗粒直径(毫米)  |
|---------|---|-----------|
| 砾 石     |   | >2        |
| 砂       | 粗 | 2.0~0.5   |
|         | 中 | 0.5~0.25  |
|         | 细 | 0.25~0.10 |
| 粉 砂     |   | 0.10~0.01 |
| 泥 (粘土)  |   | <0.01     |

式中  $n$ ——岩土孔隙度；

$V_n$ ——岩土中的孔隙体积；

$V$ ——岩土中的总体积。

孔隙度 ( $n$ ) 的大小取决于沉积物的排列方式、分选性和颗粒形状。测定孔隙度，一般采用注水法，即取一已知体积的容器，将欲测定的岩土装满容器，然后向容器注水使其饱和，此时注入容器中水的体积，就是岩土中全部孔隙的体积，而容器的体积则为岩土的总体积，二者的比值即为孔隙度。自然界中松散沉积物的孔隙度多在26%~48%之间。

### (二) 裂隙

裂隙是坚硬岩石在各种地质作用下产生的裂缝，使岩石具有一定空隙。按其成因不同，主要有成岩裂隙、构造裂隙和风化裂隙等三类。这三类裂隙在岩石中发育情况是不同的，这就决定了岩石含水条件的好坏，此外，裂隙的宽度、长度、数量、张开与闭合、裂面是否平整等，都可使岩石具有不同的含水和导水能力。

衡量岩石裂隙发育程度的指标是裂隙率。它的含意与孔隙度一样，即岩石中裂隙的体积与包括裂隙在内的岩石总体

积的比值。要准确测定出岩石裂隙率是比较困难的，所以在实际工作中常测定岩石的线裂隙率或面裂隙率的数值。

测定裂隙率是在岩层露头处或井下采掘巷道中，选择一块出露良好有代表性的地段，选取 $1 \times 1$ 平方米或 $2 \times 2$ 平方米的方形面积（F），在这一面积范围内，逐一测量裂隙的长度L与宽度b，然后计算出岩石的面裂隙率 $n_T$ ：

$$n_T = \frac{\sum L \cdot b}{F} \times 100\%$$

测定岩石的线裂隙率可在井下巷道内进行，在巷道内选择能代表裂隙发育程度的三条线，然后逐个量出各条线段上所有裂隙的宽度，它们的总宽度为 $\sum d$ ，巷道内线的长度为L，则线裂隙率 $n_T$ 为：

$$n_T = \frac{\sum d}{3L} \times 100\%$$

以上两种方法，均未涉及到裂隙的体积，只是用裂隙的面积、宽度来近似地反映裂隙发育程度，加上实测条件的限制，其测算结果，只是衡量裂隙发育程度的粗略参考数据。

### （三）溶隙

溶隙是指石灰岩、白云岩等可溶性岩石，受地表水或地下水下的长期溶蚀，而形成的大小、形态不同的岩溶空隙。它包括溶蚀裂隙、溶孔、溶洞和地下暗河等，有的甚至成为非常巨大的洞穴。这些溶隙较之孔隙、裂隙有更大的不均匀性，赋存于溶隙中的地下水，统称为岩溶水。

我国可溶性岩层分布广泛，而且与矿区含煤地层密切相关。在华北、西北等地，奥陶系石灰岩是石炭二叠系含煤地层的基底，其中溶隙发育最为强烈，如与上部含煤地层连通时，则对煤层开采有很大威胁；在华南，石炭系、二叠系和三叠系

的石灰岩岩溶最为发育,其中含有大量岩溶水。不同矿区的不同深度,岩溶发育情况往往有较大的变化,这与岩石性质、地质构造和气候条件有密切关系。如石灰岩主要由方解石( $\text{CaCO}_3$ )白云石 $[\text{Ca}\cdot\text{Mg}(\text{CO}_3)_2]$ 等可溶性矿物组成,其次含有粘土质和硅质等不可溶的成分,由于成分上的差别,所以岩溶发育程度亦不同。如果地质构造复杂,断层裂隙多,为地下水流动和溶蚀岩石创造良好条件,则岩溶发育。气候对岩溶发育也有一定影响,在湿热多雨地区,地下水补给充足,水中细菌繁殖快,可分解出较多的二氧化碳,可增强地下水对可溶性岩石的溶解能力,所以,湿热地区溶蚀作用比干寒地区强烈。

衡量溶隙发育程度的指标是溶隙率,又称岩溶率,它是指可溶性岩石中的溶隙体积与包括溶隙在内的岩石总体积之比。因溶隙发育极不均匀,溶隙率的变化往往较大,所以难以测定,而采用线溶隙率或面溶隙率的相似指标,测定方法与裂隙率相同,其变化范围可从1%~70%,这是由于溶隙发育程度不同的缘故。

### 三、地下水的存在方式

自然界中的地下水,主要贮存在岩土的空隙中。水在岩土空隙中的存在形式是各种各样的,在有表土层覆盖的地区,从地表向下常有气态水、吸着水、薄膜水、毛细水、重力水和固态水,它们以不同形式存在(图1-3)。

各种形式的水在岩土中的分布是有一定规律的。当我们在松散沉积物中挖掘水井时,最初土层似乎是干燥的,而实际上在土层中却存在着气态水、薄膜水和吸着水。若是继续往下挖掘,便会发现土层发潮,颜色开始变暗,这是由于土中已存在有毛细水的缘故。随着水井的加深,土色更深,毛细水增多,井壁虽然已经很湿,但井中却没有滴水。再向下

挖，便开始有水渗入井内，并逐渐出现一个地下水面，这就是重力水，这种地下水面称为重力水面。

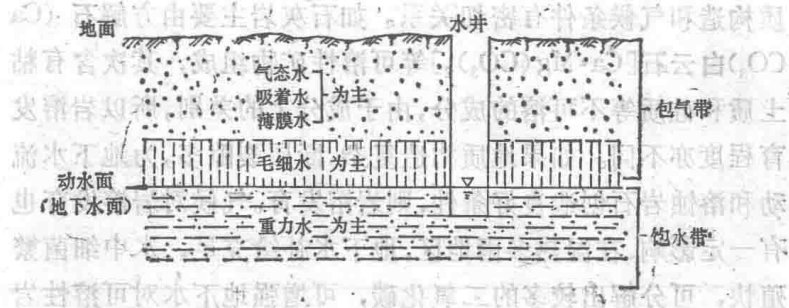


图 1-3 各种形式的水在地壳中的分布

如图1-3所示，重力水面以上至地面，主要存在着气态水、吸着水、薄膜水和一部分毛细水，这一地带称为包气带；从出现重力水面开始，向下都可称为饱水带，饱水带中的岩土空隙全部充满液态水，它主要是重力水。下面简要介绍在包气带和饱水带中各种水的存在形式（图1-4）。

### （一）包气带中的水

#### 1. 气态水

气态水贮存在接近地表的岩土空隙中，是其中的水汽，它与大气中所含水蒸汽一样，并经常同大气中的水蒸汽保持动态平衡，即气态水可以从空气进入岩土空隙，也可以由岩土空隙中的液态水蒸发而形成。气态水对煤矿安全不可能造成危害，也不能

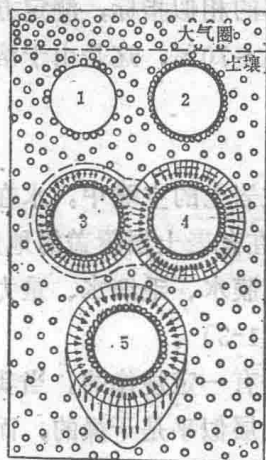


图 1-4 水在岩土中的各种形式  
1—具有不全全吸着水量的土粒；2—具有最大吸着水量的土粒；3、4—具有薄膜水的土粒；5—具有重力水的土粒

直接被利用。

## 2. 吸着水

当岩土空隙中的气态水与岩土颗粒表面接触时，在颗粒周围便形成极薄的水膜，这部分水称为吸着水。它是由于水分子和带有电荷的岩土颗粒相互吸引而形成的，吸着水不受重力的影响而移动，只有受热后，才转变为气态水脱离颗粒表面。

## 3. 薄膜水

岩土颗粒表面因带有电荷而具有静电引力，在吸着水的外面，还能吸引更多的水分子，使水层加厚而形成薄膜水。岩土中薄膜水的数量与颗粒表面吸附能力有关。一般颗粒较粗时吸附能力弱，颗粒越细，则吸附能力越强。如较粗的砂土，只含有2%的薄膜水，但在颗粒极细的粘土中薄膜水可多达45%以上。对于坚硬的岩石来说，薄膜水的含量是微不足道的，所以在煤矿采掘工作中，薄膜水并无重要影响。

## 4. 毛细水

由于毛细管作用，使地下水充满在细微孔隙或裂隙中，这种形式的地下水由于含量较多，也受重力作用的影响，可以由高向低处缓慢流动。

### (二) 饱水带中的水

#### 1. 重力水

在毛细水带下面，由于重力作用在岩土空隙中大量汇集，从而出现能够自由运动的液态水，称为重力水。重力水就是我们常说的地下水，从水井内取得的或由泉中流出的地下水都是重力水，这种水在岩土空隙中连通性较好时，在重力作用下可以流动，并可以传递静水压力，重力水是我们研究的主要对象。



## 2. 固态水

当岩土中水的温度低于冰点时，岩土空隙中的液态水就变成固态的冰，这时就称为饱水带中的固态水。实际上固态水是受季节影响，凝结成冰的重力水。

上述几种形式的水，在自然条件变化的情况下，是可以互相转化的，由包气带中的水，可以转变成饱水带中重力水，这种转化主要是取决于气候和降水条件的变化。

## 四、含水层与隔水层

由于各种沉积岩层或松散沉积物中孔隙、裂隙或溶隙的发育程度不同，因而它们的透水程度也不相同，根据岩土的含水性和透水性不同可分为含水层和隔水层。

### (一) 含水层

#### 1. 含水层的概念

生活在山区的人，大多见过泉水。泉水实际上是从地下岩层中溢流出地面的地下水，有的泉流出的水量很大，有的则是涓涓细流，常年不断。当井下开掘巷道时，打到某些岩层，水就从岩层中湍湍流淌。那么，地下水为什么能在某些岩土层中存在呢？这是因为在一些砂土层或岩层中，存在有很多空隙（如孔隙、裂隙或溶隙），在这些空隙之间又相互联通着，当大气降水或地表水渗入地下时，岩土层中的空隙就成为地下水聚集的场所，这些既含地下水而又透水的岩土层，称为含水层。如在表土层中的含水砂层或砂砾石层和矿区含煤地层中饱含地下水的砾岩、砂岩或石灰岩层等都是含水层。

#### 2. 含水层的构成条件

埋藏在地下的各种岩土层，要成为含水层，必须具备以下条件：

(1) 岩土层中要有贮存地下水的空间。即在岩层内要



有可以容纳地下水的空隙（孔隙、裂隙或溶隙），并具有良好的透水性，这样外部的水才能进入岩土层而成为含水层。显然，岩土层中的空隙越大，数量越多，空隙之间连通性越好，则透水性越强，地下水就越容易渗入和流动，具备了这种条件，就有利于形成含水层。比如，表土内的砂砾石层、基岩中的砂岩和砾岩等往往具备上述条件，就容易构成含水层。但是，那些颗粒微小而又致密的粘土或粘土岩，其中的空隙极小，地下水难以渗入，一般不能成为含水层。可见，岩土中具有空隙是构成含水层的先决条件。

（2）岩土层要有能聚集和贮存地下水的条件。岩土空隙虽然是构成含水层的先决条件，但并不是唯一的条件。还必须具备有利于地下水聚集和贮存的条件。比如，要有有利的地形和良好的透水层与隔水层等，这才能够形成含水层。下面，以表土层中的含水情况为例，说明含水层的形成条件。

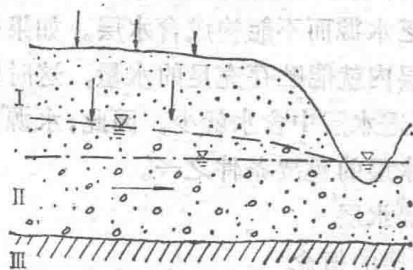


图 1-5 透水层和含水层形成示意图  
I—透水层；II—含水层；III—隔水层

如图 1-5 所示：该区的表土层，自上而下是由砂层、砂砾石层与粘土层组成的，其中砂层和砂砾石层的透水性能良好，而下部的粘土层透水性极差。当大气降水渗入到透水砂层（I）以后，继续下渗，而到达下面的透水砂砾石层（II），由于在其底部伏有粘土隔水层（III），重力水不能继续下