

任务 6 认识地下水

地下水分布极其广泛，它与人类生活和工程活动密切相关。例如，地下水常为农业灌溉、城市供水、工矿企业用水提供良好的水源。但地下水也往往给工程建设带来一定困难和危害，它与岩土体相互作用，会使土体和岩体的强度和稳定性降低，产生各种不良的自然地质现象和工程地质现象，如滑坡、岩溶、潜蚀、地基沉陷、道路冻胀和翻浆等。铁路路基沉陷常和地下水活动有着直接联系；公路工程中地下水位较高时，常会因土的毛细作用而改变路基的干湿类型，引起各种路基病害；基坑及地下洞室开挖过程中的涌水现象；地基工程中，深基坑的开挖基坑降水问题，并因基坑降水引起地下水渗流问题造成基坑边坡移动和基坑周围地面沉陷；土壤盐渍化问题；超量开采地下水引起的地面沉降问题等，给工程的建筑和正常使用造成危害。为了有效地防止和消除地下水的危害、合理开发利用地下水，必须了解和掌握地下水的形成、埋藏条件、分布和运动规律、地下水对工程建设的危害和防治措施等水文地质基础知识和基本技能。

6.1 水在岩土中的赋存形式

自然界岩土孔隙中赋存着各种形式的水，按其存在形态分为液态水、气态水和固态水。

6.1.1 液态水

根据水分子受力状况可分为结合水、重力水、毛细管水。

1. 结合水 受到岩土颗粒表面的吸引力大于其自身重力的那部分水称为结合水。最接近岩土颗粒表面的结合水称为强结合水（又称吸着水），其外层称弱结合水（又称薄膜水）。

（1）强结合水 沸点 105°C ，冰点为 -78°C ，密度可达 $1.5\sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，力学性质类似固体，具有极大的粘滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压力、不能导电，也没有溶解能力。

（2）弱结合水 密度较强结合水小，但仍比普通液态水大；具较高的粘滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压力，也不导电；冰点低于 0°C 。弱结合水也不能在重力作用下运移，但可以从水膜厚的位置向水膜薄的位置移动。

2. 重力水 即常称的地下水，存在于较粗大孔隙（如中粗砂、卵砾石土中的孔隙）中，具有自由活动能力，在重力作用下能自由流动。

3. 毛细管水：由于毛细管支持充填在岩土细小孔隙中的水称为毛细管水，又

称毛细水。它同时受毛细管力和重力的作用，当毛细管力大于水的重力时，毛细管水就上升。因此，地下水面上普遍形成一层毛细管水带。毛细管水能垂直上下运动，能传递静水压力。根据毛细管力作用情况不同可分为支持毛细管水、悬着毛细管水、孔角毛细管水。

毛细管水和重力水有称为自由水，均不能抗剪切，但可传递静水压力，密度在 $1\text{g} / \text{cm}^3$ 左右。

6.1.2 气态水

呈气态和空气一起充填在非饱和的岩土孔隙中的水称为气态水。它可随空气的流动而运移，即使空气不流动，也能由湿度相对大的地方向小的地方移动。在一定温、压力条件下可与液态水相互转化，两者之间保持动态平衡。当岩土空隙水气增多达到饱和，或周围温度降低到露点时，气态水便凝结成液态水。

6.1.3 固态水

指常压下当岩土体温度低于零度时，岩土孔隙中的液态水（甚至气态水）凝结成冰（冰夹层、冰椎、冰晶体等）称为固态水。固态水在土中起到胶结作用，形成冻土，提高其强度。但解冻后土的强度往往低于冻结前的强度。因为岩土孔隙中的液态水转变为固态水时其体积膨胀，使土的孔隙增大，结构变的松散，故解冻后的土压缩性增大，其强度降低。

6.2. 透水层、隔水层、含水层的概念

地下水在重力作用下不停地运动，运动特点决定于岩土的透水性。岩土空隙的大小、多少、均匀程度和连通情况，决定着地下水的埋藏、分布和运动规律。一般情况下，岩土中空隙越多、越大、连通情况越好，水在其中流动所受阻力越小，水流速度越大，岩石透水性越强，这种岩土称为透水层，如砂层及裂隙发育的坚硬岩石。反之，若岩石中空隙极小且少，连通情况又很差，水流因受到很大阻力，流速很小，这种岩层称为相对不透水层或隔水层，如粘性土和新鲜致密的岩层等。岩土的透水性用渗透系数表示，一般认为渗透系数小于 0.001m/d 的岩层属隔水层，大于或等于这一数值者属于透水层。

含水层是指能透水而又饱含重力水的岩层，只有在适宜的条件下，透水层才有可能成为含水层。

含水层的形成应具备一定的条件：首先岩土体应具有容纳水的空隙，为地下

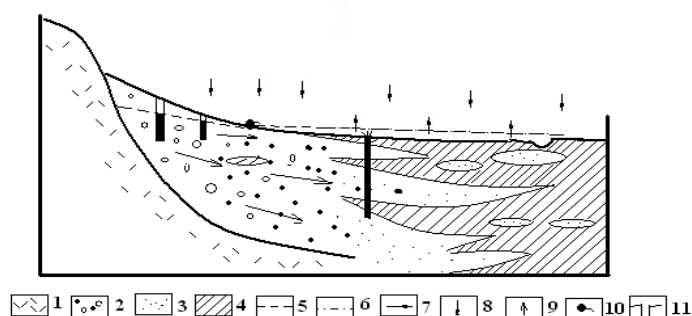
水的存储和运移提供必备的空间，即必须有透水性；其次应具有贮存地下水的地质构造，使地下水能在岩石空隙中聚集和储存而不产生下泄，，即有隔水层和透水层的适当组合。如由透水层和隔水层组成的向斜构造和构造盆地，常是良好的蓄水构造，而处于高阶地上的砂砾石层，虽具有良好的透水性，但由于下部没有隔水层，而使地下水很快流失，不能形成含水层。再次，要有充足的补给来源，如若在枯水期干涸，无水可贮，不能称之为含水层。

6.3 地下水的类型及其特征

不论坚硬的岩石还是松软的土体，其中都或多或少存在有空隙，这些空隙是地下水赋存和运移的场所。根据空隙的形状差异和成因不同，岩土中的空隙可以分为三类：①存在于松散土体中颗粒之间的孔隙；②存在于坚硬岩石中的裂隙；③存在于可溶性岩石中的溶隙。根据含水层的性质不同，可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

6.3.1 孔隙水

赋存于松散沉积物（包括第四系和坚硬基岩的风化壳）孔隙中的地下水称为孔隙水。由于孔隙的相互连通性，孔隙水一般具有①分布连续；②同一含水系统中的水具有水力联系和统一的地下水面；③水量比较均匀等特点。不同成因类型的松散沉积物，如洪积层、河流冲积层、湖积层、三角洲沉积及黄土等，赋存于其中的孔隙水具有不同特征。山前冲洪积扇的砂砾石层，形成巨厚的潜水含水层；自山前向平原与盆地内部，砂砾与粘性土交互成层，构成多个承压含水层，地下水埋深由深变浅，水质由好变差（见图 6-1）。河流漫滩及阶地堆积物常呈二元结构，上部多为细粒土，下部为砂砾石层，地下水主要埋藏于下部砂砾石层中。冲积平原中，游荡的河床构成纵向延伸的多个带状含水层，富水性不强但分布比较均匀。滨岸地带由于沉积物颗粒较粗，可构成良好的含水层；过渡地带，砂砾与粘土互层构成承压含水层，富水性强且不均匀，水体交替较差，水资源不易得到补充。



1-基岩；2-砾石；3-砂；4-粘性土；5-潜水位；6-承压水位；7-地下水流向；
8-降水补给；9-蒸发排泄；10-下降泉；11-井（黑色表示有水）

图 6-1 洪积扇水文地质剖面示意图

黄土高原地区地下水的分布受地形切割程度控制，地形完整的黄土塬、地下水较为丰富，地下水由黄土塬的中心向四周呈辐射状散流，埋深由深变浅，水质由好变差。平原深层孔隙承压水，由于含水层厚度大，富水性好，常被作为重要水源加以开采。

6.3.2 裂隙水

埋藏在基岩裂隙中的地下水叫裂隙水。裂隙水分布很不均匀，水力联系也很复杂。裂隙水的这些特点与裂隙介质的特征有关。根据裂隙水赋存介质的不同，将裂隙水划分为脉状裂隙水和层状裂隙水两种类型。坚硬基岩中的裂隙分布不均匀且具方向性，通常只在岩层中某些局部范围内连通，构成若干互不联系或联系很差的脉状含水系统，赋存脉状裂隙水。松散岩层中，空隙分布连续均匀，构成具有统一水力联系、水量分布均匀的层状孔隙含水系统，赋存层状裂隙水。

按含水介质裂隙的成因，裂隙水可分为风化裂隙水、成岩裂隙水与构造裂隙水。

1. 风化裂隙水：赋存于岩体的风化带中的地下水。风化作用形成的风化壳，通常厚数米至数十米，裂隙分布密集均匀，连通良好的风化裂隙带构成含水层，未风化或风化程度较轻的母岩构成相对隔水层，因此，风化裂隙水一般为潜水。风化裂隙水通常分布比较均匀，水力联系较好。

2. 成岩裂隙水：赋存于各类成岩裂隙中的地下水。一般情况下，成岩裂隙多闭合，不构成含水层，但喷溢的玄武岩六棱柱状裂隙发育且张开，可构成良好含水层。岩脉及侵入岩体与围岩的接触带，冷凝后可形成张开的呈带状分布的裂隙，赋存带状裂隙水。熔岩流在冷凝过程中由于气体的逸出，在岩体中留下的巨

大熔岩孔洞，形成管状含水带，可成为强富水的含水层。

3. 构造裂隙水：赋存于各类构造裂隙中的地下水。构造裂隙水以分布不均匀、水力联系差为其特征。在钻孔、平硐、竖井及各种地下工程中，构造裂隙水的涌水量、水位、水温与水质往往变化很大。这是由于构造裂隙的分布密度、方向性、张开性、延伸性极不均一造成的。一般情况下，层状岩层中，构造裂隙发育较为均匀，在层面裂隙的沟通下，构造裂隙水的水力联系较好；块状岩体中构造裂隙发育极不均匀，通常可分为3个级次的裂隙空间：①细短闭合的小裂隙构成的微裂隙岩体；②张开且延伸较长的中等裂隙构成的导水裂隙网络；③大裂隙与断层构成的局部导水通道。当钻孔或坑道钻入微裂隙岩体时，水量微不足道；遇到裂隙网络时，会出现较大水量；触及大的裂隙导水通道时，水量十分可观。

在裂隙岩体中开采或排除地下水时，要根据裂隙水的特点布置钻孔与坑道。在裂隙岩体中修建地下工程建筑物时，要充分考虑裂隙水的复杂性。渗漏计算、排水孔和灌浆工程的设计，都应充分考虑裂隙水的不均一性，各向异性的特点。

6.3.3 岩溶水

在岩溶孔隙中保存和运动的地下水称为岩溶水，岩溶水不仅是一种具有特殊性质的地下水，而且也是一种活跃的地质营力，在它的运动过程中，不断与岩石作用，改造自身的赋存环境，形成独特的分布和运动特征。

1. 岩溶水的分布、运动特征：由于岩溶空隙发育的不均匀，宽度大小不一，连通程度各不相同，岩溶水往往呈现层流与紊流并存的现象。在一些细小的溶隙中，水流因阻力大而流动缓慢，流态为层流；而在一些连通性和张开性好的溶隙中，水流阻力小，流速大且水量集中，多呈紊流状态。如石灰岩其原生孔隙很小，透水性能差，但经溶蚀后形成不同形状的溶隙、溶蚀漏斗、溶洞等，不同空隙空间的大小和透水性可以相差几个数量级，一些巨大的地下管道和溶洞，可成为地下暗河，加上岩溶发育在空间上的差异性，造成岩溶水的分布极不均匀。同时，岩溶空间主要是在裂隙空间的基础上发展形成的，裂隙空间的方向性和其透水性能各向异性的特点在岩溶介质中得到继承和发展，因此，透水性能各向异性是岩溶介质的另一个显著特点。有时在同一水力系统的不同过水断面上，渗透系数、水力坡度、渗透流速都各不相同，层流与紊流并存。另外岩溶水的水位与流量呈现强烈的季节变化，其水位变幅可达几十米，流量变幅达几十倍。

2. 岩溶水的富水特征：岩溶含水层的水量往往比较丰富，其富水程度与岩溶发育程度密切相关。一般情况下岩石可溶性好、地下水径流通畅，交替强烈的地段，岩溶发育良好的地段，也是岩溶水富集的地段。在这些地段往往富存丰富的岩溶水：厚层纯石灰岩分布区；可溶性岩石的构造破碎部位；可溶性岩石与非可溶性岩石或可溶性极强与可溶性弱的岩层交界面附近；硫化矿床氧化带；地表水体附近及其他岩溶水排泄部位。

水量丰富而集中的岩溶水，是理想的供水水源。但是水量大而分布极不均匀的岩溶水，常造成矿坑及地下工程的涌水或坍塌事故，成为各种工程地质勘察的重要研究课题。

根据地下水的埋藏条件，地下水可分为包气带水、潜水和承压水三大主要类型。

6.3.4 包气带水

埋藏在地面以下包气带（见图 6-2）中的水称为包气带水。包气带水可分为非重力水和重力水。非重力水主要是指吸着水、薄膜水和毛细管水，又称土壤水。重力水则指包气带中局部隔水层上的水，又称上层滞水。

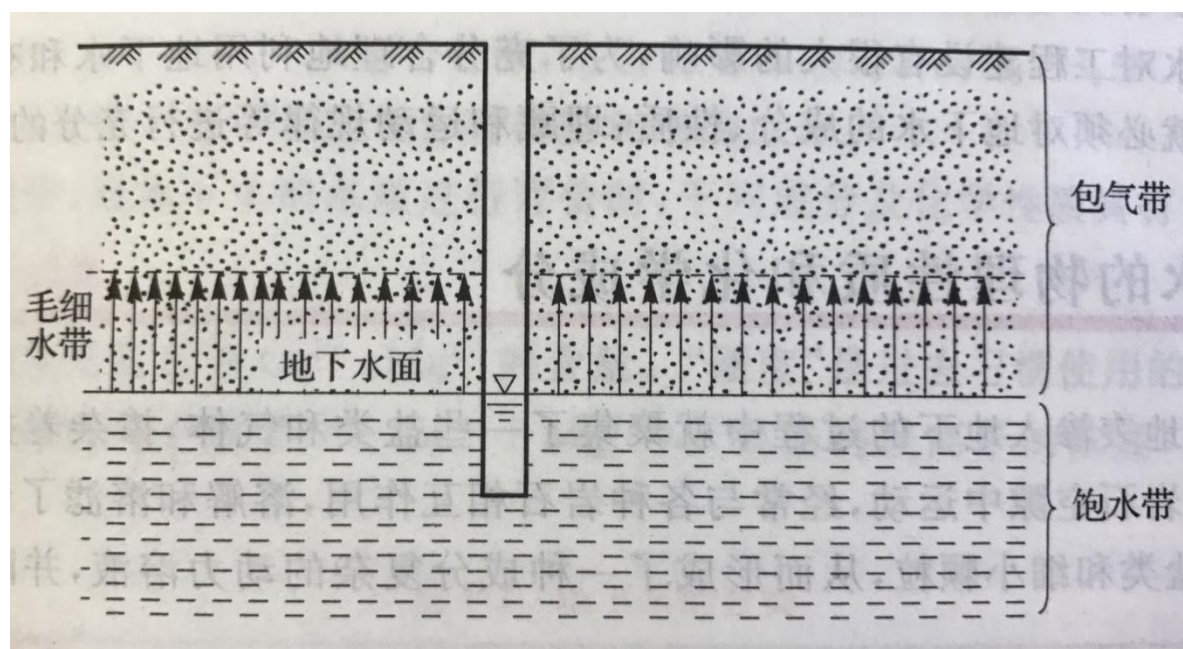


图 6-2 地下水的垂直分带

1. 土壤水

土壤水是埋藏在包气带土层中的水，主要以结合水和毛管水形式存在，靠大气降水的渗入，水汽的凝结及潜水由下而上的毛细作用补给。大气降水或灌溉水想下

渗入时必须通过土壤层，这是渗入水的一部分保持在土壤层中，称为所谓的田间持水量，其余部分则以重力水形式下渗补给潜水。土壤水主要消耗于蒸发过程，水分变化相当剧烈，并受大气田间的自己约。当土层透水性很差，气候又潮湿多雨或地下水位接近地表时，易形成沼泽，称为沼泽水。当地下水面埋藏不深，毛细水带可达到地表时，由于土壤水分的抢楼列蒸发，盐分不断积累与土壤表层，会在陈土壤盐渍。

2. 上层滞水

当包气带存在局部隔水层时，在局部隔水层之上积累具有自由水面的重力水，称为上层滞水。

上层滞水的特征是:分布于接近地表的包气带内，与大气圈关系密切；这类水是季节性的，主要靠大气降水和地表水下渗补给，故分布区与不给区一致，以蒸发或逐渐向下渗透到潜水中的方式排泄；雨季水量增加，干旱季节减少甚至重力上层滞水会完全消失；土壤水虽不能直接被人们取出应用，但对农作物和植物起着重要作用；上层滞水分布面积小，水量也小，季节变化大，容易受到污染，只能用做小型或暂时性供水苑，从巩水角度看意义不大，从工程地质角度看从，上层滞水却常常是引起土质边坡滑塌、黄土路基沉陷、路基冻胀等病害的重要因素。

6.3.5 潜水

潜水是埋藏在地表以下，第一个连续稳定隔水层以上具有自由水面的重力水。潜水的自由水面称潜水面。地面到潜水面的铅直距离称为潜水位埋藏深度（T）。潜水面到下伏隔水层之间的岩层称为含水层，潜水面上任一点至隔水底板的距离称为潜水含水层厚度（M）。潜水面到零基准面的铅直距离称潜水位（H），见图 6-3。

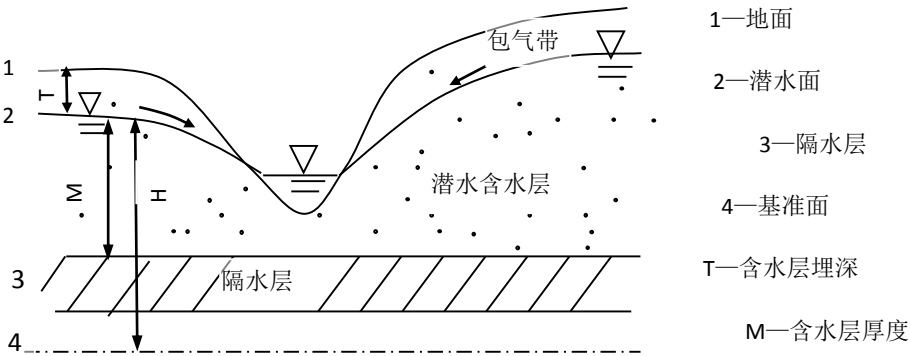


图 6—3 潜水埋藏示意图

1. 潜水的特征：根据潜水的分布、埋藏和循环条件，潜水具有以下特征：

(1) 潜水具有自由水面，为无压水。

(2) 潜水的分布区和补给区基本上是一致的。潜水含水层的分布范围称为潜水分布区。由于潜水含水层的上部没有连续隔水层，大气降水和地表水可通过包气带直接补给潜水，因此潜水易受污染。潜水接受补给的地区称为补给区。大气降水是潜水的主要补给来源，大气降水补给量的多少取决于降水性质、地面坡度、植被覆盖程度及包气带透水性和厚度等。地表水是潜水的重要补给来源，地表水补给量的多少取决于地表水与潜水水位差、河流沿岸岩层透水性及潜水与河水有联系地段分布范围。干旱地区凝结水也是潜水的重要补给来源。当承压水位高于潜水位、承压含水层与潜水之间存在局部透水层时，承压水也可补给潜水，称为越流补给。

(3) 在重力作用下，潜水可以沿水平方向由水位高处向水位低处渗流，形成潜水径流。潜水的径流速度与含水层岩性、地形、气候条件等因素有关。当含水层透水性好，地形高差大，大气降水补给充沛时，地下水径流通畅、循环交替快。

(4) 潜水排泄是潜水失去水量的过程，其主要方式有两种，平原地区主要以蒸发形式排泄，蒸发过程中含水层失去水分，使水中盐份积聚，矿化度增高。高山丘陵地区则以泉、渗流形式排泄于地表或地表水体。

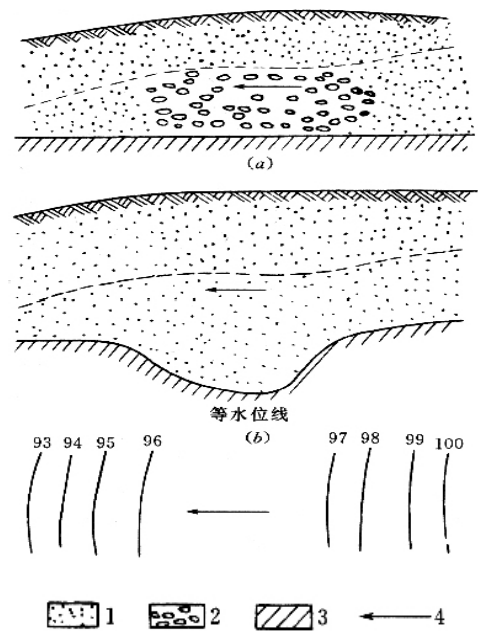
(5) 潜水的动态（如水位、水温、水质、水量等随时间的变化）随季节变化明显，雨季降水量多，补给充沛，潜水面上升，含水层厚度增大，水量增加，埋藏深度变浅，水的矿化度降低；枯水季节则相反。

2. 潜水面的形状及其表示方法

潜水面的形状与地形、含水层的透水性和厚度、气象水文因素、人工抽水和排水等有关。一般情况下，潜水面是呈向排泄区（如相邻冲沟、河流、湖泊等）倾斜的曲面；当大面积不透水的隔水底板向下凹陷，而潜水水量较小，潜水几乎静止不动时，就形成潜水湖，此时潜水面是水平的。当不透水底板倾斜或起伏不平时，潜水面有一定坡度，潜水处于流动状态，此时就形成潜水流。

潜水面的形状与地形有一定程度的一致性，但比地形更为平缓一些，如图

3-11 所示。含水层的透水性或厚度沿渗流方向变化时，潜水面形状会发生改变，当含水层透水性或厚度增大时，潜水面形状趋于平缓，反之变陡，如图 6-4 所示。潜水面的形状还受气象、水文、地表水体水位变化和人为因素的影响。如大气降水和蒸发会使潜水面上升或下降。降水丰富，含水层中的水量增加，潜水面就随之上升；降水量少时，地下水大量蒸发，潜水面就随之下降。河、湖水面常常高于附近的潜水面，因此，河水、湖水常常补给沿岸的潜水，黄河下游及洪泽湖沿岸即是一例。潜水与河流水面间往往形成互相补给的关系，这种现象称为河流与地下水的水力联系（见实 3-3）；人工抽水和排水也会使潜水面形态发生改变。



(a) 含水层透水性沿程变化；(b) 含水层厚度沿程变化
1—含水砂层；2—含水砾石层；3—隔水底板；4—流向

图 6-4 潜水面形状与含水层透水性及厚度关系

3. 潜水面的表示方法

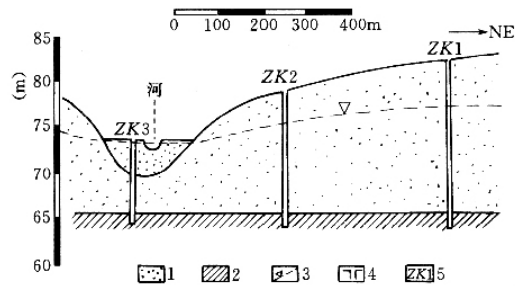
潜水面反映了潜水与地形、岩性和气象水文等之间的关系，同时能表现出潜水的埋藏、运动和变化的基本特点，为能清晰地表示潜水面的形态，通常采用水文地质剖面图和等水位线图两种图示方法表示潜水面，并相互配合使用。

技能训练：潜水等水位线图的绘制与应用

在公路设计和施工中，为了了解潜水的分布情况，常需要绘制水文地质剖面图和潜水等水位线图。

1. 水文地质剖面图（又称剖面图）：按一定比例尺，选择有代表性的剖面

方向，首先绘制地形剖面，然后根据钻孔、试坑或井、泉的地层柱状图资料绘制地质剖面图，然后标出剖面图上各井、孔的潜水位、连出潜水面，即绘成潜水剖面图，如实图 3-1 所示。



1—砂土；2—粘性土；3—潜水面；4—钻孔；5—钻孔编号

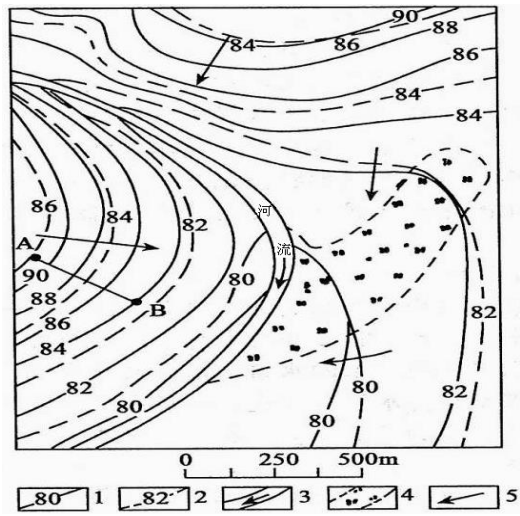
实图 3-1 水文地质剖面图

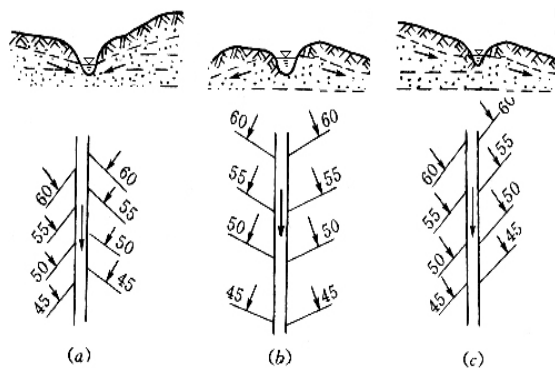
2. 潜水等水位线图：等水位线图是反映潜水面形状的一种平面图，绘制方法与地形等高线图绘制方法基本相同。以地形图为地图，根据工程要求的精度，把大致相同的时间内测得的潜水面各点（如井、泉、钻孔、试坑等）的水位资料，标在同一地形图上，用内插法将水位标高相同的各点连接起来，便绘成一幅潜水面等高线图，即潜水等水位线图，如实图 3-2 所示。

因潜水面随季节变化明显，所以等水位线图必须注明水位的测定日期。通过不同时期等水位线图的对比，可以了解潜水的动态。

3. 潜水等水位线图的应用

1) 确定潜水的流向及水力坡度 垂直等水位线从高水位指向低水位的方向，





1—地形等高线；2—等水位线；3—河流；

4—沼泽；5—潜水流向

实图 3-3 水与河水的相互关系

图 3-2 潜水等水位线图

即为潜水的流向，常用箭头表示，如实图 3-2 中箭头指向。在流动方向上，任意两点的水位差 (ΔH) 除以该两点间的实际水平距离 (L)，即为此两点间的平均水力坡度 ($j = \Delta H / L$)。一般潜水的水力坡度很小，常为千分之几至百分之几。

2) 确定潜水与河水的补排关系 在近河等水位线图上可以判定潜水与河水的补排关系，一般情况下潜水与河水的补排关系有以下三种：

河水排泄潜水 如实图 3-3 (a) 所示，潜水位高于河水位，潜水面倾向河流，多见于河流的中上游山区。

河水补给潜水 如实图 3-3 (b) 所示，潜水位低于河水位，潜水面背向河流，多见于河流下游地区（如黄河下游地区）。

河水一岸补给潜水，一岸排泄潜水 如实图 3-3 (c) 所示，即一岸潜水位高于河水位，潜水面倾向河流，一岸潜水位低于河水位，潜水面背向河流，这种情况一般出现在山前地区的河流。

3) 确定潜水的埋藏深度 某点地面标高减去该点潜水位即为此点潜水埋藏深度。根据各点的埋藏深度，可进一步作出潜水埋藏深度图。

4) 确定含水层厚度 若在等水位线图上有隔水底板等高线时，某点含水层厚度等于该点潜水面与隔水底板标高之差。

5) 分析推断含水层透水性及厚度变化 若等水位线由密变疏，说明潜水面坡度由陡变缓，可以推断含水层透水性由弱变强或含水层厚度由薄变厚。反之则可能是含水层透水性变弱或厚度变薄，见图 3-11 所示。

另外，根据等水位线图还可以合理布置给水或排水建筑物位置，一般应在平行等水位线和地下水汇流处开挖截水渠或打井。

6.3.6 承压水

充满于两个稳定隔水层之间的含水层中承受静水压力的地下水称承压水，如图 6-12 示。承压含水层上的隔水层底面称为隔水顶板，承压含水层下的隔水层顶面称为隔水底板，顶、底板之间的垂直距离称为承压含水层厚度（M）。在承压含水层地区打井，揭穿隔水顶板后才能见到承压水，此时的水面高程称为初见水位。由于承压水含水层承受静水压力，随后水位会不断上升，达到一定高度便稳定下来，这时的水位称为稳定水位，即该点处承压含水层的承压水位。承压水位与初见水位的差值称为承压水头。当承压水位高出水面时地下水便可以溢出或喷出地表，形成自流水。当两个隔水层之间的含水层未被水充满时，称为层间无压水。

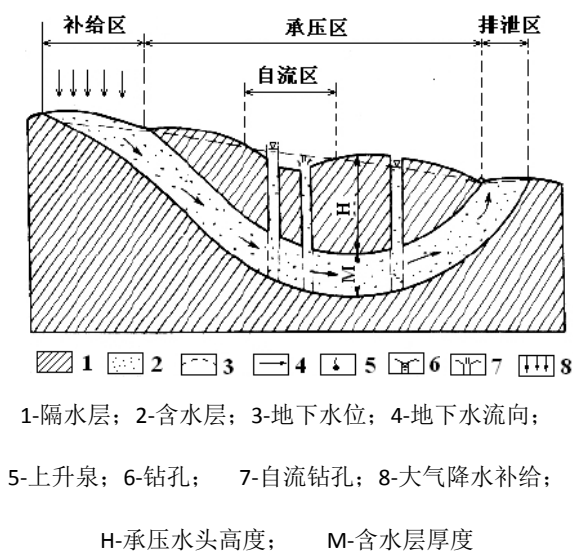


图 6-12 承压水剖面示意图

基岩地区承压水的埋藏类型，主要决定于地质构造，即在适宜的地质构造条件下，孔隙水、裂隙水和岩溶水均可形成承压水。最适宜于形成承压水的地质构造有向斜构造和单斜构造两类。向斜储水构造又称承压盆地，它由明显的补给区、承压区和排泄区组成，如图 3-12 所示。在盆地、洼地或向斜构造中，出露于地表的含水层，海拔较高部分称为地下水的补给区，海拔较低部分就称为排泄区，承受静水压力的地段称为承压区。承压盆地可能与地形一致也可能不一致，如图 3-13 所示。

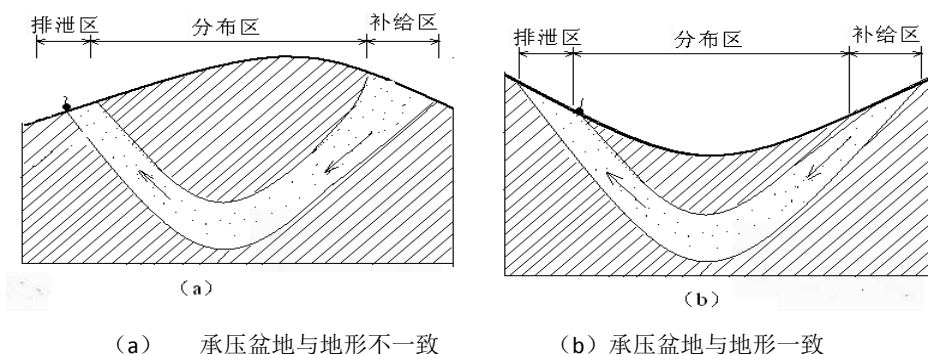
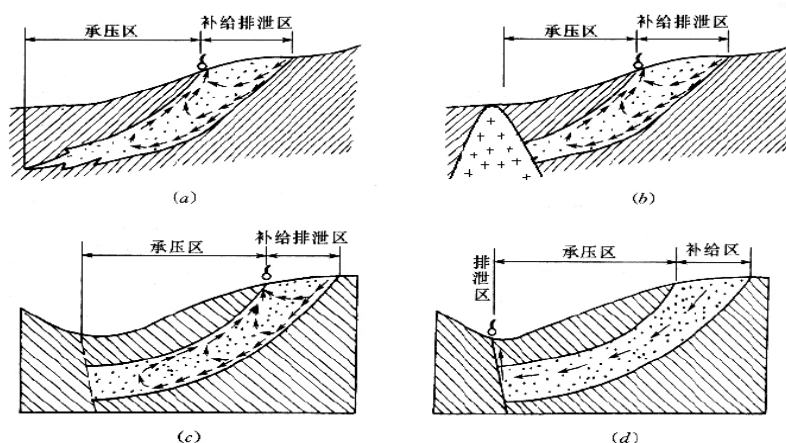


图 6-13 承压盆地

单斜储水构造又称承压斜地，它可以由含水层岩性发生相变或尖灭形成，如图 3-14(a)所示，也可以由侵入岩体阻截形成，如图 3-14(b)所示，也可以是含水层被断层所切形成，如图 3-14(c、d)所示。



(a)岩性变化形成的承压斜地

(b) 岩脉阻截形成的承压斜地 (c) (d) 断层构造形成的承压斜地

图 3-14 承压斜地剖面示意图

当含水层一端出露于地表，另一端在某一深度处尖灭、被阻水断层切割、被岩脉阻断而不导水时，一旦补给量超过含水层的容水量，水就从含水层出露带的较低部分外溢，其余部分则成为承压区（图 3-14 a、b、c）。当单斜含水层的一侧出露地表成为补给区，另一侧被导水断层切割时，此时承压区介于补给区与排泄区之间，情况与构造盆地相似（图 3-14d）。

2. 承压水的特征：

根据承压水的分布、埋藏和循环条件，承压水具有下列特征：

(1) 承压水承受静水压力，为有压水流，其顶面为非自由水面。

(2) 承压水的分布区和补给区不一致,如图 3-12、13、14 所示。承压水的补给区一般位于承压盆地或承压斜地地势较高处,此处含水层出露地表,可直接接受大气降水和地面水的入渗补给;当承压水位低于潜水位时,也可以通过断裂带或弱透水层等通道得到潜水补给。承压水的分布区也即是承压区,也可以称为承压水的径流区。补给区是非承压区,具有潜水的特征。由于承压水上部有连续稳定的隔水层,因此承压水不易受到污染。

(3) 承压水在静水压力作用下,可以由高水压处向低水压处渗流,形成承压水的径流。承压水的径流条件取决于含水层的透水性、补给区到排泄区的距离和含水层的挠曲程度。含水层透水性越强,补给区到排泄区距离越近,水头差越大,含水层挠曲程度越小,承压水的径流条件越畅通,水交替越强烈。反之,径流越缓慢,水交替越微弱。承压水的径流条件对承压水的水质影响很大。

(4) 承压水的排泄区位于承压斜地或承压盆地边缘低洼地区。当地表水文网切割至含水层时,承压水可以泉的形式排泄;承压水还可通过导水断层以断层泉的形式排泄于地表;如果排泄区有潜水时可直接排入潜水。

(5) 承压水动态(承压水位、水温、水质、水量)受气象、水文因素的季节性变化影响不显著。承压水厚度稳定不变,不受季节变化影响。

3. 承压水等水压线图

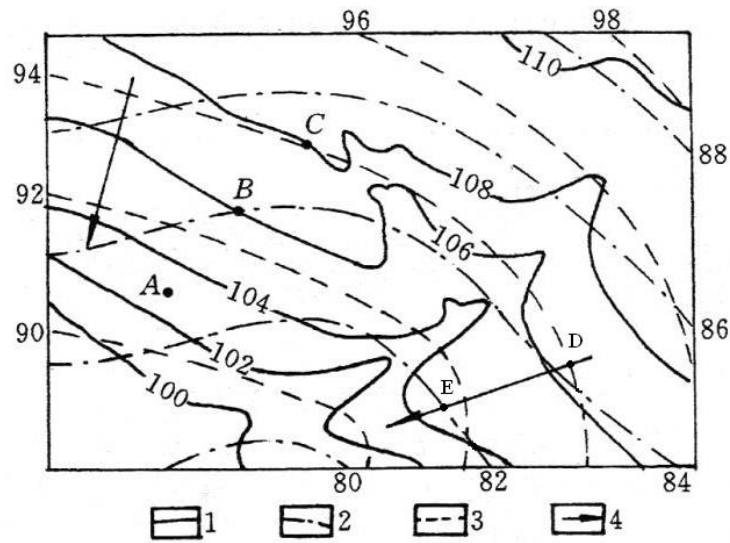
承压水等水压线图就是承压水位等高线图。等水压线图可以反映承压水(位)面的起伏情况。承压水(位)面与潜水面不同,潜水面是一个实际存在的地下水水面,而承压水面是一个势面,这个面实际上是假想的而不存在的,只有当钻孔揭穿上覆隔水层至含水层顶面时才可测出承压水位,它可以与地形不吻合,甚至高出地面,此时形成自流井。承压水等水压线图绘制见实训项目二。

技能训练: 承压水等水压线图绘制与应用

1. 承压水等水压线图绘制

承压水等水压线图与潜水等水位线图的绘制方法相似。在承压含水层分布区,将各观测点(钻孔、井、泉等)的初见水位(即含水层顶板高程)和稳定水位(即承压水位)等资料,绘在一定比例尺的地形图上,用内插法将承压水位相

等高程的点连接起来，即得等水压线图，如实图 3-4 所示。



1-地形等高线；2-含水层顶板等高线；3-等水位线；4-地下水流向

实图 3-4 承压水等水压线图（比例尺 1：100）

2. 等水压线图的应用

（1）确定承压水流向并计算某两点间的水力坡度：垂直于等水压线，由高水位指向低水位的方向即为承压水流向，一般用箭线表示，如实图 3-4 所示。在承压水流向方向上，任意两点间的水压差与该两点间的实际水平距离之比值，即为此两点间的平均水力坡度， $j=\Delta H/L$ 。

（2）确定承压含水层的埋藏深度：某点地面高程减去该点含水层顶板高程即为此点承压含水层埋藏深度。据此可以确定供水井、孔的开挖深度。

（3）确定承压水位的埋藏深度：某点地面高程减去该点承压水位即得该点承压水位的埋藏深度，此值可以是正值也可以是负值，正值表示承压水位有一定埋藏深度，负值表示在此处打井或钻孔，一旦揭露上部隔水层，水会自溢于地表，形成自流井（孔）。承压水位埋藏深度越小，开采利用越方便，可据此选择开采承压水的地点。

（4）确定承压水头值：某点承压水位与该点含水层顶板的差值，即为此点的承压水头值。据此可以预测开挖基坑和洞室时的水压力。

（5）可以为合理布置给水与排水建筑物的位置提供依据：如在含水层埋藏较浅、承压水头较高，汇水条件好的地方，打出涌水量大的自流井。

承压水水质良好，水量丰富，是良好的供水水源。

【例 3-1】根据实图 3-4，确定 A、B、C 三点的水文地质参数。

【解】A、B、C 三点的水文地质参数用下表表示

	A	B	C
1、地面高程 (m)	103	106	108
2、承压水位 (m)	91	92.5	94
3、含水层顶板高程 (m)	83	84	85
4、含水层埋藏深度 (m)	20	22	23
5、承压水位埋藏深度 (m)	12	13.5	14
6、水头 (m)	8	8.5	9

6.4 地下水的物理性质和化学成分

地下水储存运移在岩土体中，介质相互作用、溶解岩土中可溶物质，使地下水不是化学意义上的纯水而是一种复杂的溶液。因此，研究地下水的物理性质和化学成分，对于了解地下水的成因与动态，确定地下水对混凝土等的侵蚀性等，都有着实际的意义。

6.4.1 地下水的物理性质

地下水的物理性质包括温度、颜色、透明度、气味、味道、密度、导电性及放射性等。

1. 温度 地下水的温度因自然条件不同而变化的。地下水温度的差异，主要受各地区的地温条件所控制，通常随埋藏深度不同而异，埋藏越深，水温越高。温带和亚热带平原区的浅层地下水，年平均温度比所在地区年平均气温高 1—2℃。极地、高纬度和山区的地下水温度很低，地壳深处和火山活动区的地下水温度很高。水温低于 20℃的地下水，称冷水，20~50℃者称温水，高于 50℃者称热水。一般用温度计测定地下水的温度。

2. 颜色 地下水一般是无色透明的，当水中含有某种化学物质时，可显示一定的颜色。例如含亚铁离子或硫化氢气体的水为浅蓝绿色，含有高价铁的水为褐红色，含腐殖质或有机物时呈浅黄色，含黑色矿物质或碳质悬浮物时为灰色，含粘土颗粒或浅色矿物质悬浮物时为土色。

3. 透明度 常见的地下水为无色透明的，地下水的透明度决定于水中所含盐

类、悬浮物、有机质和胶体的数量。透明度分为透明、微混浊、混浊和极混浊四级。水深 60 厘米时能看见容器底部 3 毫米粗的线者为透明；30~60 厘米深度能看见者为微混浊；30 厘米深度以内能看见者为混浊；水很浅也看不见者为极混浊。

4. 比重 一般情况下，地下淡水的比重接近或等于 1，地下水比重大小与水的温度和水中溶解的盐类多少有关。溶解的盐分愈多，比重就愈大，盐分多时可以达到 1.2~1.3。

5. 导电性 地下水导电性与水中所含电解质的数量与性质有关。离子含量愈多，离子价愈高，水的导电性愈强。此外，温度对导电性也有影响。

6. 放射性 因为岩土体中都含有一定量的放射性物质，所以在其中渗流的地下水也都有放射性。一般情况下，地下水的放射性极其微弱，不会对人体造成伤害。但个别地区因水中放射性元素含量高、放射性强可能对人体造成伤害。

7. 嗅感和味感 地下水一般是无嗅、无味的。当地下水中含有某种气体成分和有机物时，便具有特殊的嗅感。如水中含硫化氢，具臭鸡蛋味；含亚铁盐时，有铁腥味或墨水味；含腐殖质多时有沼泽气味。嗅感也与温度有关系，在低温时气味不易辨别，40℃以上时气味最显著。地下水的味感取决于它的化学成分，例如含氯化钠的水有咸味，含硫酸钠的水有涩味，含氯化镁或硫酸镁的水有苦味，含氧化亚铁的水有墨水味，含大量有机质的水有甜味，含较多二氧化碳的水清凉可口。地下水的味感也与温度高低有关系，水温低时味感不明显。

6.4.2 地下水的化学性质

1. 地下水的化学成分

(1) 气体 地下水中气体状态的物质主要有 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 CH_4 、 H_2S ，还有少量的惰性气体和 H_2 、 CO 、 NH_3 等。

氧气和二氧化碳是地下水中两种主要气体。氧气由大气进入水中，以溶解分子形式存在。氧气的含量随地下水埋深增加而减少，在一定深度以下，即不存在溶解氧。氧气的存在形成了氧化环境，能使很多物质被氧化，从而引起一系列物理-化学作用，对地下水化学成分和元素迁移带来巨大的影响。几乎所有的天然水中都有二氧化碳，它在水中主要以溶解的分子形式存在，只有约 1% 与水作用形成碳酸，在通常情况下，其含量约为 15—40 毫克/升。二氧化碳对水的溶解能

力，尤其是溶解碳酸钙的能力影响很大。

(2) 离子成分 地下水中离子状态的元素主要有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 HO^- 、 SiO_3^- 、 H^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 。其中最常见有 H^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。地下水中的离子成分含量多少直接和地下水的总矿化度有关。如高矿化度水和卤水以 Cl^- 为主，中矿化度水以 SO_4^{2-} 为主，低矿化水和淡水以 HCO_3^- 为主。

2. 地下水的酸碱度 水的酸碱度取决于水中氢离子浓度。氢离子浓度用 pH 值表示： $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ 。自然界中大多数地下水的 pH 值在 6.5~8.5 之间，呈中性。

表 6-2 按酸碱度不同的地下水分类表

天然水的类型	极酸性水	酸性水	中性水	碱性水	强碱性水
PH	<5	5~7	7	7~9	>9

3. 总矿化度 水的总矿化度是指单位体积地下水中所含金属离子、化合物以及其他微粒的总量，以每升水中所含各种化学成分总克数(g / L)表示，取一定量有代表性的水样放于坩埚或蒸发皿中加热至 105~110℃，将水蒸干后所得固体残渣的质量与水样体积的比值即得总矿化度。

表 6-3 根据总矿化度的大小、天然水的分类表

天然水的类型	淡水	微咸水	咸水	盐水	卤水
总矿化度(克/升)	<1	1~3	3~10	10~50	>50

高矿化水能降低混凝土的强度，腐蚀钢筋，促使混凝土分解，故拌和混凝土时不允许用高矿化水。高矿化水中的混凝土建筑亦应注意采取防护措施。

4.地下水的硬度 水中钙、镁离子的总量称为地下水的总硬度。水煮沸后，水中一部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 作用生成碳酸钙(CaCO_3)和碳酸镁(MgCO_3)沉淀，致使水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量减少，呈碳酸盐沉淀的这部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的总量称为暂时硬度。总硬度减去暂时硬度即为永久硬度，相当于煮沸时未发生碳酸盐沉淀的那部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量。我国采用的表示水的硬度的方法有两种：一是德国度，以 1 升水中含 10 毫克 CaO 或 7.2 毫克的 MgO 为 1 度；一是用 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的毫克当量/升来表示，1 毫克当量硬度等于德国度 2.8°。

表 6-4 根据水的总硬度天然水的分类表

天然水的类型	极软水	软水	微硬水	硬水	极硬水
毫克当量/升	<1.5	1.5~3.0	3.0~6.0	6.0~9.0	>9.0
德国度/°	<4.2	4.2~8.4	8.4~16.8	16.8~25.2	>25.2

6.5 地下水对工程的不良影响

地下水的存在对工程建设有着不可忽视的影响。

6.5.1. 地下水位的变化

如地下水位上升，则可引起浅基础地基承载力降低，在有地震砂土液化的地区会引起液化的加剧，同时引起建筑物震陷加剧，岩土体产生变形、滑移、崩塌失稳等不良地质作用。另外，在寒冷地区会有地下水的冻胀影响。

就建筑物本身而言，若地下水位在基础底面以下的压缩层内发生上升变化，水浸湿和软化岩土，会造成地基土的强度降低，压缩性增大，建筑物会产生过大沉降，导致严重变形。尤其是对结构不稳定的土（如湿陷性黄土、膨胀土等）这种现象更为严重，对设有地下室的建筑的防潮和防湿也均不利。

地下水位的下降往往会引起地表塌陷、地面沉降等。对建筑物本身而言，当地下水位在基础底面以下的压缩层内下降时，岩土的自重压力将增加，可能引起地基基础的附加沉降。如果土质不均匀或地下水位突然下降，也可能使建筑物产生变形破坏。

通常地下水位的变化往往是由于施工中抽水和排水引起的，局部的抽水和排水会使基础底面下的地下水位突然下降，建筑物（如邻近建筑物）发生变形，因此，施工场地应注意抽水和排水对地下水位的影响。另外，在软土地区，大面积的抽水也可能引起地面下沉。此外，如果抽水井滤网和砂滤层的设计不合理或施工质量差，抽水时会将土层中的黏粒、粉粒，甚至细砂等细小土颗粒随同地下水一起带出地面，使周围地面的土层很快产生不均匀沉降，造成地面建筑物和地下管线不同程度的损坏。

若在城市大面积抽取地下水，将会造成大规模的地面沉降。例如，1966-1985 年天津市由于抽水使地面最大沉降率达到 80-100mm/a。

6.5.2. 地下水的渗透产生流沙和潜蚀

1) 流沙

流沙是砂土在渗透水流作用下产生的流动现象。这种情况的发生常是由于在地下水位以下开挖基坑、埋设地下管道、打井等工程活动而引起的，所以流沙是一种不良的工程地质现象，易产生在细砂、粉砂、粉质粘土等。形成流沙的原因有：一是水力坡度大，流速大，冲

动细颗粒是指悬浮而成；二是由于土粒周围附着亲水胶体颗粒，饱水时胶体颗粒膨胀，在渗透水作用下悬浮流动。

流沙在工程施工中能造成大量土体的流动，致使地表塌陷或建筑物的地基被破坏，会给施工带来很大困难，或直接影响工程建筑及附近建筑物的稳定，因此必须进行防治。

2) 潜蚀

潜蚀是指渗透水流冲刷地基岩土层，并将细颗粒物沿空隙迁移（机械潜蚀）或将土中可溶成分溶解（化学潜蚀）的现象。潜蚀通常分为机械潜蚀和化学潜蚀。这两种作用一般是同时进行的。在地基土层内如具有地下水的潜蚀作用，将会破坏地基土的强度，形成空洞，产生地表塌陷，影响建筑工程的稳定。对潜蚀的处理可以采用堵截地表水流入土层、阻止地下水在土层中流动、设置反滤层、改造土的性质、减小地下水流速及水利坡度等措施。这些措施应根据当地地质条件分别或综合采用。

6.5.3. 地下水的侵蚀性

地下水的侵蚀性主要体现为含有侵蚀性 CO_2 或含有 SO_4^{2-} 的地下水，会对混凝土、可溶性石材、管道以及金属材料进行侵蚀。

在公路工程建设中，桥梁基础、地下洞室衬砌和边坡支挡建筑物等，都要长期与地下水相接触，地下水中各种化学成分与建筑物中的混凝土产生的化学反应，使混凝土中某些物质被溶蚀，强度降低，结构遭到破坏，或者在混凝土中生成某些新的化合物，这些新化合物生成时体积膨胀，造成混凝土开裂。

地下水对混凝土的侵蚀主要有结晶型侵蚀、分解型侵蚀等类型。

1) 结晶型侵蚀

当地下水中 SO_4^{2-} 的含量大于 250mg/L 时， SO_4^{2-} 与建筑物基础混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成含水石膏晶体，含水石膏继而再与水化铝酸钙反应生成水化铝酸钙，由于水化硫铝酸钙中含有大量结晶水，体积随之膨胀，内应力增大，最终导致混凝土开裂。

2) 分解型侵蚀

地下水含有 CO_2 有时会对建筑物基础混凝土产生侵蚀（腐蚀）作用。当地下水中 CO_2 的含量较高时，水中的 CO_2 与混凝土中的微量成分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 完全反应后剩余的 CO_2 就会与混凝土成分中的 CaCO_3 发生反应生成重碳酸钙 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，使混凝土遭到腐蚀。

6.5.4. 基坑涌水现象

当工程基坑设计在承压含水层的顶板上部时，开挖基坑必然会减少承压水顶板隔水层的厚度，当隔水层变薄到一定程度经受不住承压水头的压力作用时，承压水的水头压力将会顶

裂、冲毁基坑底板向上突涌，从而出现基坑突涌现象。

基坑突涌不仅破坏了地基强度，给施工带来困难，而且给拟建工程留下安全隐患。

6.5.5. 地下水的浮托作用

在地下水静水位的作用下，建筑物基础的底面所受的均布向上的静水压力，被称为地下水的浮托力。地下水上升产生的浮托力对地下室的防潮、防水及稳定性会产生较大的影响。

为了平衡地下水的浮托力，避免地下室或地下构筑物上浮，目前国内常采用抗拔桩或抗拔锚杆等抗浮设计，即先在基坑底面设置深孔抗拔桩的端嵌入建筑物基础底板以拉阻基础上浮。

6.5.6 路基翻浆

路基翻浆主要发生在季节性冰冻地区的春融时节，以及盐渍、沼泽等地区。因为地下水位高、排水不畅、路基土质不良、含水过多，经行车反复作用，路基会出现弹簧、裂缝、冒泥浆等现象。

根据导致路基翻浆的水类来源的不同，可将翻浆分为表 5-4 中所列类型。根据翻浆高峰期路基、路面的变形破坏程度，又可将翻浆分为三个等级，见表 5-5。

表 6-4 翻浆分类

翻浆类型	导致翻浆的水类来源
地下水类型	受地下水影响，土基经常发生潮湿，导致翻浆。地下水包括上层滞水、潜水、层间水、裂隙水、泉水、管道漏水等。潜水多见于平原区，层间水、裂隙水、泉水多见于山区
地表水类型	受地表水的影响，土基经常发生潮湿。地表水主要指季节性积水，也包括因路面排水不良而造成的路旁积水和路面渗水
土体水类	因施工遇雨或用过湿的土填筑路堤，造成土基原始积水量过大，在负温度作用下使上部含水量显著增加导致翻浆
气态水类	在冬季强烈的温差作用下，土水中主要以气态形式向上运动，聚积于土基顶部和路面结构层内，导致翻浆
混合水类	受地下水、地表水、土体水或气态水等两种以上水类综合作用产生的翻浆。此类翻浆需要根据水源主次定名

表 5-5 翻浆分级

翻浆等级	路面变形破坏程度
轻型	路面龟裂、湿润，车辆行驶时有轻微弹簧现象
中型	大片裂纹、路面松散、局部鼓包、车辙较浅
重型	严重变形、翻浆冒泥、车辙很深

思考题

1. 地下水的物理性质包括哪些内容？地下水的化学成分有哪些？
2. 什么是矿化度、水的硬度？
3. 地下水按埋藏条件可以分为哪几种类型？
4. 什么是含水层、隔水层、泉？
5. 什么是潜水？简述潜水的特征。简述潜水等水位线的用途。
6. 什么是承压水？简述承压水的特征。简述承压水等水压线的用途。
7. 潜水和承压水有什么区别？
8. 从工程角度研究地下水引起的环境问题主要有哪些？
9. 地下水对混凝土的侵蚀类型有哪些？