

发电工程设计项目经理（设总）培训课题

第二部分：专业设计基础知识

## 第二十二章：水文地质基础知识

华北电力设计院工程有限公司

2012 年 8 月 北京

编写：朱福才

校审：李彦利 张国杰

# 目 录

1 概述 .....	1
2 地下水的一般概念 .....	1
3 地下水的形成、分布、运动、储量的一般概念 .....	3
4 地下水对工程建设的影响 .....	5
4.1 地下水对工程场地稳定性影响 .....	5
4.2 地下水对工程的影响 .....	6
5 工程施工降水 .....	7
6 环境水文地质问题 .....	8
7 火力发电厂建设勘测设计各阶段水文地质工作要点 .....	8
8 关注 .....	9



## 1 概述

水文地质泛指与地下水的各种变化和运动现象有关的一门地质学科。

它主要是研究地下水的形成、状态、分布、运动、物理性质、化学成分以及地下水的资源量、合理开发利用，地下水的危害、对工程建设和矿山开采影响以及防治等相关水文和工程问题。

在电力工程建设中水文地质工作主要包括两方面的工作：

一是供水。包括电厂、变电站的生产用水、生活用水。其中发电厂生产用水量较大。除补充水外，早期建设的一些电厂甚至采用地下水作为循环冷却水，如下花园电厂、高井电厂、承德电厂、娘子关电厂、神头电厂、阳城电厂、沙岭子电厂等；变电站用水量相对较少，主要是消防及生活用水。

二是地下水对工程场地稳定性的影响、工程设计的影响、施工的影响和应对处理。

现阶段国家规定在北方缺水地区建设火力发电厂禁用地下水，因此电力工程建设中有关水文地质工作第一项职能已被大大削弱，但在一些采用规划或在建煤矿井田疏干水作为电厂供水水源的厂址，对于使用矿井疏干水的可靠性同样要进行水文地质勘察分析研究。井下疏干水也是地下水，但它是煤炭生产过程中渗出形成的必须排除的地下水，否则将影响井下煤炭的正常生产。鉴于此项工作在煤炭精查、井田设计中已有相关部门做过勘察分析论证工作，对煤炭开采而言，为确保井下生产安全，一般对煤炭开采过程中地下水涌出量计算参数的选取偏高、水量偏大。煤矿疏干水作为电厂供水水源时，应由电力设计部门水文地质工程师会同相关部门水文地质工程师对疏干水的保证率共同进一步论证，对已生产运行的矿井疏干水水量则要有一定运行期的观测资料，以确保电厂供水的安全可靠。

在应对地下水对施工影响方面，地下水埋藏较浅水量较丰富地区的深基坑开挖，施工降水成为水文地质工作的一项重要内容。

当前根据环境保护的要求，在电力建设工作中对地下水水质等方面产生的影响，也有一定的严格要求，环境水文地质工作也成为目前水文地质工作的一项不可或缺的工作。特别是核电厂建设中，对核事故释放的放射性物质可能进入地下污染地下水，并渗流到附近的取水点的可能性而进行的水文地质工作成为我们当前的全新工作。

## 2 地下水的一般概念

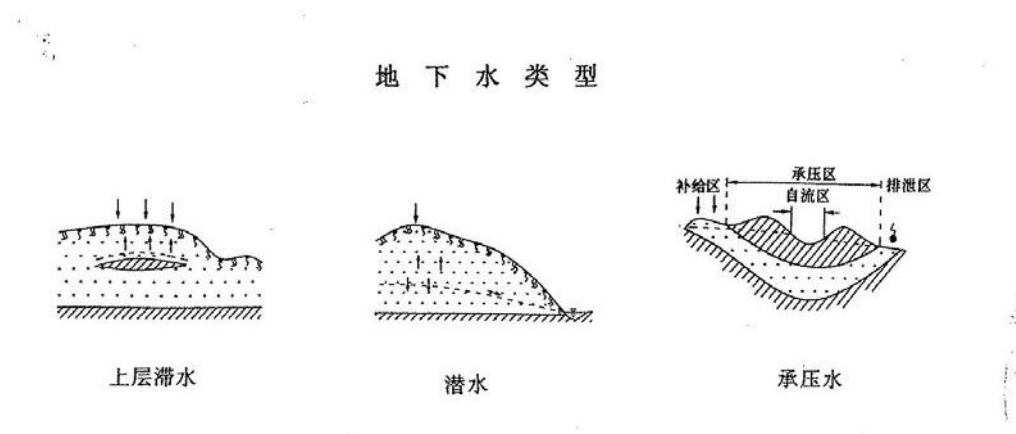
**地下水：**通常指赋存于地面以下，具有一定的自由水面（或承压水面）的重力水。根据其埋藏条件地下水可分为包气带水、潜水和承压水。

**包气带水：**亦称非饱和带水，包气带指地下岩土中未为水分所饱和的地带，其中局部存在的地下水被称为包气带水。包气带水种类很多，有工程意义的是流经的重力渗入水或凝结水在局部隔水层上呈层（片）状、脉状、带状等局部分布的上层滞水，其特点是水量不大，随季节性存在和变化，是一种不稳定存在的地下水。

**潜水：**主要为大气降水或地表水体的渗入，局部由凝结水而构成的。赋存于第四系松散地层、基岩风化带、构造裂隙带以及碳酸岩溶蚀区中；含水层底部具有稳定的或相对稳定的隔水层；一般呈层状（局部有带状、脉状）大面积分布，有较稳定的自由水面；受当地气象因素影响季节性变化较大。含水层厚度随隔水层底板的起伏而变化。

**承压水：**顾名思义是具有一定水头压力的地下水，它往往是赋存于有稳定的或相对稳定的隔水层底板和顶板之间含水层中封存的地下水。当隔水层顶板被揭穿时，地下水位将高于被揭穿时的水位，而呈现出一定的承压性；当压力较大时，地下水可涌出地表而被称为自流水。承压水含水层可为松散地层、基岩风化层和构造裂隙及岩溶裂隙溶洞等。承压水一般水量较大且稳定。

承压水的形成有一定的地质构造条件。首先是含水层需要有稳定的或相对稳定的隔水层底板，同时还要有一个隔水层顶板，在含水层的上游地区有范围较大的地下水补给区，其地形标高较承压区高。承压水通常赋存在基岩区构造盆地、向斜、单斜岩层或松散岩层构成的自流盆地、单斜和山前平原自流斜地中。

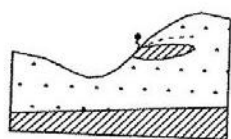


当地下水自然的涌出地表即构成所谓的泉。根据泉水的补给来源和形成原因，可分为两大类：下降泉和上升泉。

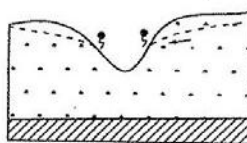
下降泉一般是由于上层滞水或潜水含水层受到自然界外力的切割作用、河流冲刷等而使含水层局部出露，地下水受重力作用外溢所形成。这种泉的流量、水温、水质

等一般随季节而变化，且多与气象要素变化相一致。

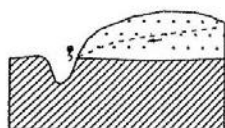
### 下降泉



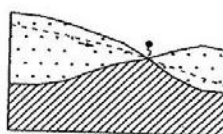
悬挂泉



侵蚀泉



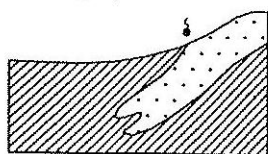
接触泉



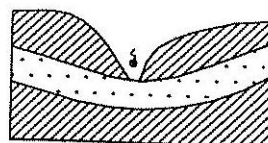
溢出泉

上升泉是由于承压水含水层被河流、断层切割或其含水层在泄水区自然出露形成的具有一定压力的出露的地下水。

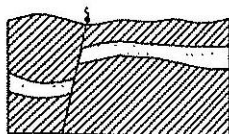
### 上升泉



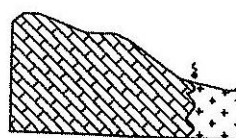
自流斜地泉



自流盆地泉



断层泉



接触上升泉

## 3 地下水的形成、分布、运动、储量的一般概念

地下水是自然界水的组成和循环的一个组成部分。海洋蒸发的水分中在大气中凝结，降落到陆地，再以地面径流（河流）或渗入地下以地下径流（地下水）等形式返回海洋。

地下水形成的第一要素是有补给水源（即大气中降水），第二要素是有合适的地质环境。因此丰富的地下水一般多分布在降水丰沛或有良好补给水源并具有合适的地下含水地层和蓄水构造地区。

第四系松散地层以颗粒粗大的卵砾石层蓄水条件最好，粗中砂次之，细颗粒粉细砂较差。

粉质粘土、粘性土虽然也有地下水的存在，但从供水角度基本属于非含水层，粘土一般属于隔水层。

前第四系基岩地层最有供水意义的当属奥陶系石灰岩中的溶洞裂隙水（俗称奥灰水），水量大、质量好，一般具承压性；其它石灰岩、砂岩等裂隙发育，孔隙率较高的基岩中往往也有地下水的分布。

地下水在地下是呈运动（渗透或流动）状态存在的，其运动规律符合一般流体力学规律。运动速度主要取决含水层性质（渗透系数）和地下水水力坡度。据此可以计算在一个过水断面地下水的流量。

$$Q=k \cdot i \cdot \omega$$

Q：渗透流量

k：地层渗透系数

i：地下水水力坡度

$\omega$ ：过水断面面积

但基岩中的地下水流量计算不能完全根据上述公式计算，需根据具体水文地质条件考虑。

地下水是一种可再生的资源，它具有流动、不断接受补给和可重新恢复、与气象水文因素密切相关等特性。但再生的过程比较缓慢，当被利用的资源大于再生过程时，就会出现地下水位下降，资源量减少甚至造成短期内的地下水资源枯竭，而引起地面下沉，塌陷等地质灾害。地下水储量通常分为动储量（补给量）和静储量（储存量）和可开采量。

动储量（补给量）：指在一个地下水蓄水（供水）区内，一定时间内（通常以年为单位）周边地区可流入以及本地大气降水、地表水可渗透补给的总水量。这部分水量是论证地下水资源开采保证性的重要依据，通常要计算多年平均、丰水年、枯水年的补给量。开采动用这部分地下水资源量可以得到有效的补充是有保证的。

静储量（储存量）：是指水位变动带以下的重力水的储存量，该部分水量是稳定不变的，相当水库的死库容的概念，一般不宜开采动用，动用了静储量在得不到有效补给的情况下，将会造成地下水位的总体下降。在经过充分分析论证在一定条件下（如通过丰水年的调节）静储量可以得到补给恢复时，可以有条件的适量开采动用静储量。



可开采量：指在一定的技术、经济条件下，采用合理的开采方案和合理的开采动态所允许开采的最大水量（包括动储量和允许开采的静储量），开采量短期内可大于年补给量，但长期开采量不能大于多年平均补给量，否则将会造成区域内地下水位下降，资源逐渐枯竭。

对于地下水储量的勘察研究深度分为普查、初勘和详勘阶段，随各阶段对地下水研究深度和程度的不同，对地下水可开采储量分为 A、B、C 级储量。其中 A 级储量精度最高，可满足工业及城市供水保证率的要求；C 级储量精度最低，不能作为一般工业和城市用水的可靠设计、开采依据，只能作为规划阶段采用。

地下水的开采通常是通过机械打井（或人工开挖大井、地下集水管等）来实现的。水井的布置是根据水源地的面积、经水文地质勘察确定的储量和可开采量、用户的需水量以及勘察试验确定的含水层渗透系数，可打井深度、合适的井径、抽取地下水时所形成的影响半径等，计算后合理的加以布置。

为保证水井长期安全使用，根据需要，井内需放置钢管、铸铁管、水泥管、塑料管等不同材质的井管。井管在地下含水层部位设置滤水管，其孔隙率一般随材质而不同，普通钢质井管孔隙率在 30% 左右，水泥砾石管孔隙率相对较小一般可达 20% 左右。滤水管外还要包缠过滤网，井管与井径之间投放砾料，以使在水井抽水后在井壁外围形成过滤层，防止泥沙进入井内。最后封闭井管与井径间之间空隙，防止人为活动对地下水造成的污染。

#### 4 地下水对工程建设的影响

地下水既是宝贵的资源，往往又与地质灾害密切相关。

##### 4.1 地下水对工程场地稳定性影响

一般情况下山区的山体滑坡大都与地下水有关，尤其是分布在岩层中顺层斜坡中的地下水，会造成岩层间摩擦力的降低，从而加大岩土滑动的几率，同时动水压力也加大山体产生滑动的外力。山体自然边坡和人工边坡的稳定性也与地下水有关。

碳酸岩分布区（石灰岩、白云质灰岩等）通常称为岩溶地区，在漫长的地质历史过程中，受地下水长期溶蚀作用形成地下溶洞、潜蚀造成的土洞等，在地面外力作用下易造成地面塌陷并对工程造成危害。

平原地区 15~20m 以内有粉土、粉、细砂地层分布，且有地下水存在，在 7 度以上地震时有造成粉土、粉细砂地层产生液化的可能，地震造成地下孔隙水压力瞬间升高，若冲破上层土压力，则会造成地下水夹带泥沙涌出地表，形成喷砂冒水现象，地

基土承载力会瞬间失效，而造成地基失稳给建筑物造成破坏。

平原地区大面积长期抽取地下水，造成含水层在上部地层自重压力或其他外力作用下的压缩变形，而孔隙减小形成大面积的地面下沉或局部的下沉形成不均匀下沉，给城市已有建筑、道路交通、管网等造成危害。

滨海地区地下水位较浅，易造成沼泽湿地，软土地基工程条件较差。

因地下水有关原因造成的与建筑工程场地稳定性有关的地质灾害还有很多，不限于此。

## **4.2 地下水对工程的影响**

### **4.2.1 流土、流砂、管涌：**

流土是指地下水存在渗流作用下，渗透力大于土体的有效重度时，就能使土颗粒呈悬浮状态，在有一定的空间时会形成悬浮土颗粒的流动，形成流土。流砂依然，当地下水渗流作用渗透力大于粉细砂颗粒有效重度会造成流砂。若存在向上渗流作用则会产生局部土体隆起或表层土被顶穿而形成土体的流失现象。在建筑基坑开挖时，有地下水的向下渗流作用也会引起流土和流砂现象。

管涌是指在渗流作用下土体中的细颗粒在粗颗粒形成的孔隙孔道中发生移动并被带出，逐渐形成管型通道，从而掏空地基或堤坝。管涌通常是由于工程活动而引起的，但在有地下水出露的斜坡、岸边或有地下水溢出的地带也有发生。

### **4.2.2 基坑突涌：**

当施工基坑下地层有承压水存在，开挖基坑减少了含水层上覆不透水层的厚度，在厚度减少到一定程度时，承压水的水头压力能顶裂或冲破基坑底板土层，而造成突涌现象，从而破坏地基，并给施工带来很大的困难。基坑突涌在基底有时出现裂缝、流土、流砂现象，喷砂冒水，造成基坑积水，地基土扰动，承载力降低，甚至出现地基悬浮和边坡失稳等现象。

### **4.2.3 地下水压力对挡土墙和支护结构的影响**

挡土墙和支护结构的设计除计算作用在结构上的土压力外必须考虑计算支护结构和墙后的水压力。墙后饱和土体存在静水压力、渗流和超静孔隙水压力的影响，因此挡土墙必需设计有排水孔，以释放水压力。

地下水对支护体系中整体稳定的影响还表现在：地下水对岩土体的软化作用，降低土体抗剪强度指标；地下水可能引起锚杆或土钉与周围土体之间握裹力的降低而降低抗拔力；地下水的存在造成施工困难造成支护结构嵌固深度不足；地下水控制不当

造成土体流失等。

#### 4.2.4 地下水对结构的上浮及对结构的腐蚀作用

建（构）筑物基础或地下结构处于地下水位以下时应按阿基米德原理计算浮力。基础或地下结构应考虑最不利组合情况下地下水对结构的上浮作用；地下室在稳定的地下水位作用下所受的浮力应按静水压力计算。抗浮设计水位应按建筑物在使用期间的最高水位确定。最高水位一般应通过长期观测、收集资料、调查访问结合现场水文地质条件综合确定。

地下水水质化学成分随地质环境、地下水动力条件等而变化。其中含有的无机酸、有机酸、碱和各种盐在一定的气象、地质条件下，含量达到一定数量时，会对建筑结构、基础产生一定的腐蚀性。因此在设计中要根据地下水的腐蚀性采取防腐措施。

要提起注意的是工业建筑防腐蚀设计规范中明确规定，地下水具硫酸盐强腐蚀性地区不应采用预应力混凝土管桩和混凝土灌注桩。

工业用水、饮用水对地下水都有一定的物理、化学成分的要求，在水文地质勘测中均需查清，不满足要求的水质需在使用中进行物理和化学处理。

### 5 工程施工降水

发电厂主要建（构）筑物基础埋深都比较大，600MW 机组主厂房区一般都超过 6.0m，卸煤沟翻车机室等基底埋深更大。当厂区地下水位埋深浅，处于基础底面以上时，在基坑开挖基础施工时则要考虑降、排水措施。

工程降水技术方法要根据地下水含水层岩性、渗透性和降水深度来确定。降水技术方法有明排法、井点法（真空点井、喷射点井、电渗点井）、管井法、大口井法、潜埋井法等。

地层渗透性小，不易产生流土、流砂等现象的地层，地下水位超出基础底板不大于 2m 的可采用明排法。

地层渗透性较小，降水面积不很大的基坑采用井点降水效果较好。

管井降水对地层渗透系数适应性大，特别是地层渗透性大，含水层较厚的地区适宜采用管井降水。电厂主厂区施工基坑开挖面积很大，2×600MW 机组基坑底面积约有  $1.8 \times 10^4 \text{m}^2$  左右，降水量也大，通常采取管井降水法较多。

管井降水首先要进行降水方案设计。根据施工基坑面积、降水深度、含水层厚度、渗透系数等参数计算出基坑的排水量和单个降水井的出水量，布置施工降水井，降水深度一般要求达到基坑底部 1.0m，降水时间直至基础施工完毕，基坑回填完成以确

保施工。

## 6 环境水文地质问题

火力发电厂工程建设涉及环境水文地质问题主要是贮灰场方面的问题。建在山谷的水力除灰湿灰场，灰水的渗透会污染地下水，同时会局部抬高附近地下水水位，特殊情况下甚至造成灾害。

如陡河发电厂李家峪灰场，灰水的坝下和库底渗透造成下游居民饮用水的污染。在雨季地下水水位明显升高的情况下，进一步加剧了水位的抬升，而影响了居民的正常生活。

干灰场的选择根据国家标准《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》规定，应避开地下水补给区和饮用水源含水层，灰场天然地基层距地下水位的距离不得小于 1.5m。天然地基层的渗透系数要大于  $10 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，一般地层满足不了上述要求，因此构筑防渗层或采取防渗措施是无法避免的。同时注意在选择山谷灰场时要避开山前有泉水出露的山沟。

## 7 火力发电厂建设勘测设计各阶段水文地质工作要点

水文地质工作在火力发电厂建设勘测设计各阶段任务差别很大，因此在勘测设计各阶段其工作内容不尽相同。在不采用地下水作为电厂供水水源的前提下，水文地质工作可不作为专项勘测任务来进行，而将一般水文地质条件下的勘测纳入工程地质（岩土）勘测任务中一并进行。

初步可行性研究阶段以收集资料现场踏勘，初步了解掌握拟选各厂址及附近地区的地下水类型、分布规律及对拟选厂址的影响，作为厂址比选的因素之一。

可行性研究阶段则应结合该阶段岩土工程勘测工作，进行与之相适应的有针对性的水文地质工作，初步查明厂址区地下水类型、埋藏深度、水位变化幅度、地下水的腐蚀性以及对基础工程设计、施工的影响。

初步设计阶段应进一步查清上述水文地质条件，在地下水对施工有影响，需进行降、排水措施时，则要进行专门水文地质勘测，详细了解地下含水层特性，确定施工降排水方法，为施工降水设计提供可靠的资料。

输变电工程水文地质工作主要是变电所、换流站等生活、消防用水，用水量不大。在采用地下水作为水源时，应在可研至初设阶段通过收集资料，现场调查分析等方法，掌握站址附近水文地质资料，确定采取地下水的可行性。

核电厂应按核电选址的要求进行专门的水文地质勘测。

特殊情况下在采用地下水作为电厂供水水源时，也要按照专门的水文地质勘测规程要求进行。

水文地质工作的开展需设计部门提出任务，特别是供水方面的要求，对需水量、水质等应明确。若采用煤田矿井疏干水，一般要对矿井的规模、排水量等情况提供基础资料；选址阶段应由业主提供上述资料，在此基础上由水文地质工作人员进一步开展工作。

## 8 关注

1) 深层地下水一般具有水温相对较高且稳定变化不大的特点，因此利用地下水温夏季低于气温而冬季高于气温的特点性，根据热能交换的原理，夏季采用低水温来降低室内环境温度，反之冬季采用相对高温来提高室内环境温度的地（水）源热泵技术已被推广应用，成为新的清洁热源之一，在城市热源规划中得到重视和推广。

2) 在工业化进程的同时，人类对生存环境恶化的担忧和改善环境的迫切愿望，同时随着科学技术的不断进步，对地下水利用的研究在环境改善方面也显现出巨大作用。在低碳经济时代，CO<sub>2</sub>的捕集贮存成为研究、利用的实践课题。根据地下岩层的孔隙吸附 CO<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 与地下咸水的化学反应结晶而贮存地下的原理，提出的在地下深层咸含水中埋藏 CO<sub>2</sub> 的课题，现在欧洲已有实践先例，我国也在进行研究。我公司勘测工程部也与国内有关高等院校及科研单位协作进行相关课题的研究和试验工作。

因此在上述方面的水文地质工作将是一种新的挑战。