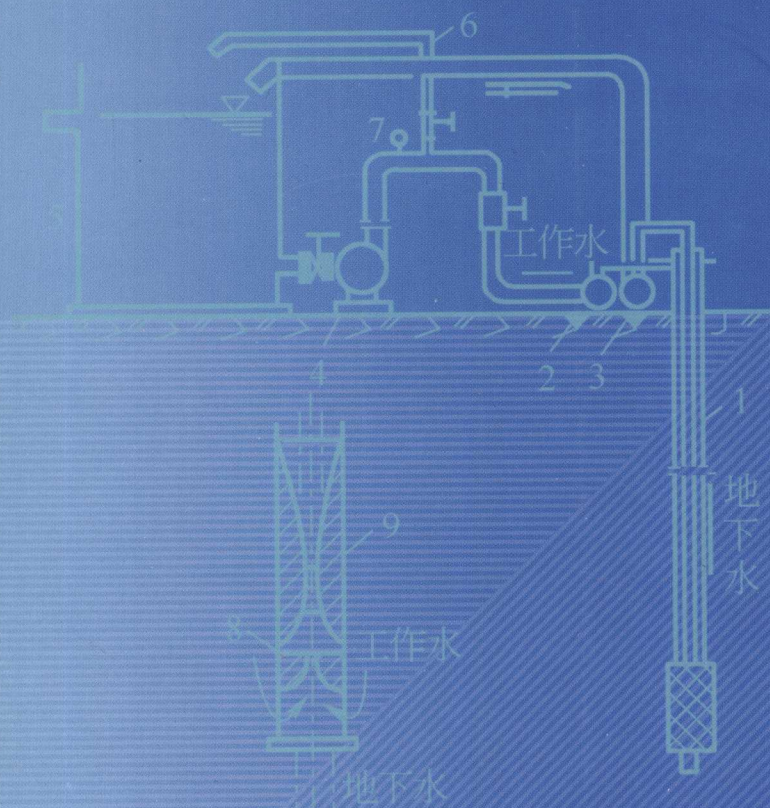


Prevention and Remedy of Damages Caused by

Underground Water in Geotechnical Engineering

岩土工程中地下水危害防治

郭志业 等编著



人民交通出版社
China Communications Press

Prevention and Remedy of Damages Caused by Underground
Water in Geotechnical Engineering

岩土工程中地下水危害防治

郭志业 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容分为两篇,第一篇叙述了地下水的基本知识及其工程危害;第二篇叙述了岩土工程中地下水危害的防治。本书重点介绍各种封阻法(止、防帷幕)的设计、施工;自渗井和辐射井、降水管井的设计、施工,以及为减少和避免降水对周边环境的影响,采取回灌井回灌的降灌结合法来保护环境和地下水资源。

本书可供从事岩土工程设计、施工和管理工作的工程师使用,也可作为注册土木(岩土)工程师继续教育参考用书,以及大专院校岩土工程相关专业师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程中地下水危害防治/郭志业等编著. —北京:人民交通出版社,2009.7

ISBN 978-7-114-07828-6

I. 岩… II. 郭… III. 岩土工程-地下水水文学 IV. P641 TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 097247 号

书 名:岩土工程中地下水危害防治

著 作 者:郭志业

责任编辑:曲 乐

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:21

字 数:499 千

版 次:2009 年 8 月 第 1 版

印 次:2009 年 8 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07828-6

印 数:0001—2500 册

定 价:36.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

我和郭志业先生相识在 1963 年,当时我们都在莫斯科地质勘探学院水文地质工程地质系留学,他早我两年,于 1964 年毕业,获副博士学位,他是我师兄,他攻读学位时的刻苦求实精神给我留下了深刻的印象。回国后,他被分配在我国南方工作,我回西北高校任教,我们一南一北,见面机会虽少,但心心相印,常常惦念着。郭先生主要从事供水水文地质与岩土工程,我侧重于地下水及其开发利用。我们虽都从事同一类专业领域的工作,但研究解决的问题却有所不同,我研发辐射井、轻型井用于灌溉,作者用它们排降水;我们用灌浆帷幕修建地下水库,郭先生用它截渗防水……但都以水文地质与工程地质学为基础。

郭先生长期从事供水水文地质勘察和凿井的实践与研究,20 世纪 80 年代以后,侧重地基加固、基坑围护的设计与施工工作,积累了丰富的成功经验和成果。其专著《岩土工程中地下水危害防治》即将出版问世,服务社会,我感到十分高兴。

高兴的第二个原因是因为 20 世纪 80 年代以来,我国工程建设飞速发展,规模日益增大,特别是城市建设尤为突出,不仅高层建筑大量兴建,而且地铁、隧道、地下设施等地下空间的大量开发,更使深基坑和地下防渗工程大量出现,从而引发了一系列深大基坑的排降水和防渗问题,需要有经验、有理论、能解决实际问题的专著问世,以供广大工程技术人员参阅使用。郭志业先生的大作出版,正好适应了形势的需要。

我要为编著者感到高兴的第三个原因,是该书的另一特色——在本书的第一篇中针对岩土工程的需要,简要而系统地讲述了地下水知识,这对未能有机会学习过水文地质的工程技术人员是十分有益的,不仅可以作为学习材料,而且可当作手册使用,因为水文地质知识实际上可看作岩土工程的基础。

书中还论述了利用自渗井、辐射井、降水井以及水泥搅拌桩帷幕、灌(注)浆帷幕和冻土墙帷幕等十多种防治地下水危害的技术方法。在讲述这些方法的同时,作者还从保护生态环境出发,论述了在防止地下水危害过程中努力减少和避免降水对周边环境的不利影响,介绍了配套采用回灌井回灌保护环境和地下水资源的具体措施,思想新颖、方法有效。

本书既有理论深度,又有较强的实用性,在每种方法之后,都列举了两个以上的工程实例,是一本内容丰富,治水方法比较系统、全面的好书。

我为这本书的出版甚感高兴,为师兄老骥伏枥,至今矢志于事业,甚表钦佩,并祝郭先生健康快乐!

中国工程院院士

2009 年 3 月 23 日 于长安大学



前 言

改革开放以来,我国的城市建设以前所未有的速度发展。随着城市建设的飞速发展,建设用地日益紧张,为解决这一矛盾,城市建设向高空和地下双向发展是一种必然趋势。各类高层建筑物如雨后春笋,在各城市拔地而起。高层建筑由于结构及人防的需要,要埋入地下一定深度,另外一些附属设施(水、电管线,设备,车库等)需要设置于地下,因此,高层建筑均设计有深度不一的地下室,而要进行基坑开挖。

特别是近 20 年来,市政建设及地下空间利用工程,如大型地下商场、地下停车场、地下娱乐场所、地下市政管线、综合管廊、地下道路、过街地道以及地下立交、地下变电设施、地下水库、地下储藏库、地铁和隧道等地下工程日益增多,规模及深度不断扩大加深,深基坑不断出现,有些深基坑已超过 40m。

地下工程和深基坑开挖会遇到地下水,水的作用会给工程带来危害。如产生边坡失稳,引发管涌、流沙、突涌、潜蚀等一些岩土工程问题。为防止这些问题的产生,保证基坑开挖顺利进行,并避免水下作业(土方开挖和基础施工)及环境保护,就要对地下水的危害进行防治。

正如我国勘察大师张在明院士指出^[2],“……地下水是岩土工程的组成部分,又是工程环境的重要组成部分,地下水的赋存状态与渗流特性将对工程……施加影响。所以地下水是岩土工程或基础工程这个舞台上的一个主角。”

鉴于目前从事岩土工程的技术人员中专业背景比较复杂,其中有的对地下水(水文地质学)了解不深或不甚了解,所以本书的第一部分简介了地下水的基本知识:地下水的形成、分类;地下水运动,有关参数的测定以及它对工程的危害等。第二部分介绍岩土工程中地下水危害防治。目前的防治措施主要是对地下水的排降和阻隔两种类型,各种类型又有数种方法^{[103]、[104]}。

地下水排降是指疏排和降水,即利用专用机具在基坑周边内外设置管、沟、井等设施,再利用抽水设备把地下水排到基坑以外,并将地下水位降至基坑底面以下,以保证基坑开挖和基础施工能在无水的环境下正常进行。

地下水阻隔是指利用某些地基处理或边坡支护方法在基坑四周或五个面形成封闭的止水帷幕,将地下水阻隔在基坑之外,保证基坑开挖和基础施工能在无水的环境下顺利进行^[103]。

由于井点降水(轻型井点、喷射井点、电渗井)已有专著介绍,本书对此只略加阐述,以求地下水危害防治方法的系统性、完整性。本书侧重介绍封阻法的各种防、止水帷幕的设计、施工,以及自渗井、辐射井和降水管井及回灌井的设计、施工。

这些方法中值得指出的是:降水法中自渗井可不用抽水设备,不用电、不抽排地下水,只靠自渗就能达到降低地下水位的目的。它可边施工边渗水而不影响其他工种施工,可缩短基坑开挖周期。该方法既能保证基坑中无水作业,又有利于地下建筑工程相当长时间的防水防潮目的;这是一种最经济,又实用的降水方法。

辐射井降水是近十几年来用于工程降水的新技术,它的主要特点是适用于各类含水层,可在任意高程含水层打入辐射管。它影响范围宽,控制降水面大,水位降落快,降深大,而利用降水设备较少,是一种较经济的方法。它与其他工序无干扰,而且占地面积小,管理方便,具有独特工效,是传统的降水法所不能及的。它与自渗井还能解决水泵不能随时动态匹配,含水层不易疏干的症结。

过滤器是管井的重要组成部分,是管井的核心和心脏。书中推出的光滤管过滤器及双层填砾过滤器具有结构新颖,透水性好,适应性宽广,可在各类含水层中使用;出水量大,是通常缠丝包网过滤器的1~2.6倍,这正是降水井、疏干井、回灌井所要求(出水量大)的。

封阻法中的水泥搅拌桩防水帷幕和灌(注)浆防水帷幕分别总结归纳出八种和六种帷幕类型,并指出了其中的最佳类型。这对帷幕选择很有借鉴价值和实用意义。

冻结法在城建工程中应用时间虽不长,但已显示出它的广阔前景,并初步总结出可应用的五个方面(形式)以及冻结帷幕的几种类型。这对促进在城建工程中推广应用冻结帷幕将起到一定的指导作用。

为了减免降水对周围环境的破坏影响,在应受保护的建(构)筑物一侧,设置回灌井回灌,可使建(构)筑物控制在允许沉降范围内得到保护。不仅如此,因回灌还节省了地下水资源。

在承压水分布区,通过合理选择基础埋深、增加承压含水层顶板厚度(水平隔渗封底)以及永久性抗浮(拔)锚桩,完全可以解决承压水头的顶托问题。

本书在每种治水法之后,都列举了两个以上的工程实例,既有一定的理论深度,又有较强的实用性,它可为人们直接学习引用,也可把它作为手册使用。

编者根据自身与所在单位的工程实践并汇集了各地有关降水工程的理论研究成果和工程实践经验编写成本书。

本书共分为十章,第一、二、三章郭志业编写,姚天强审阅;第四、五章第一、二、三、四节由谢仲屏编写,郭志业审阅;第五章第五节伍军编写,郭志业审阅;第五章第六节、第六章第一、二、三、四节郭志业编写,姚天强审阅;第六章第五节成中海编写,郭志业审阅;第七、八、九、十章郭志业编写,姚天强审阅。

本书在编写过程中得到浙江省建筑行业协会地下工程分会会长、老友史佩栋教授以及同济大学高大钊教授、吴林高教授等的热情帮助和指导,特此深表谢意。书中引用了许多单位和个人的技术资料,谨向有关的作者表示衷心感谢。本书虽经自审、互审及多次统审,但限于编著者水平,书中仍有缺点、错误和不足之处,敬请读者批评指正!

作者

2008年12月

目 录

第一篇 地下水的基本知识及其工程危害

第一章 地下水的基本知识	3
第一节 水的循环与地下水形成	3
第二节 地下水的分类	6
第三节 地下水运动	9
第二章 水文地质有关参数及其测定	12
第一节 水文地质有关参数及分类	12
第二节 水文地质参数测定	15
第三节 抽水试验	23
第四节 利用抽水试验资料计算含水层参数	39
第三章 地下水在岩土工程中的几种不良作用	51
第一节 不良作用的表现形式	51
第二节 工程破坏的主要形式	52

第二篇 岩土工程中地下水危害防治

第四章 疏排水	63
第一节 渗排水	63
第二节 盲沟排水	64
第三节 隧道、坑道排水	65
第四节 地下工程中突发性涌水涌泥问题	68
第五节 地下水的控水构造	71
第六节 地下水排水系统(暗沟、暗管)工程实例	72
第五章 降水	76
第一节 轻型井点降水	78
第二节 喷射井点降水	93
第三节 电渗井点降水	101
第四节 自渗井(自渗)降水	110
第五节 辐射井	128
第六节 管井	146
第六章 封阻、隔渗(止、防水帷幕)	170
第一节 水泥搅拌桩帷幕、SMW 帷幕	170
第二节 灌(注)浆帷幕	190

第三节	地下连续墙帷幕·····	212
第四节	沉井法·····	221
第五节	冻结法(冻土墙帷幕)·····	233
第七章	回灌·····	260
第一节	回灌简史及回灌井结构·····	260
第二节	管井回灌的管路、灌量及回灌方法·····	263
第三节	回扬·····	267
第八章	综合法防水治理·····	277
第一节	回灌与降水结合·····	277
第二节	自渗井与降水井结合·····	277
第三节	防(隔)水帷幕与降水结合·····	280
第四节	截、降结合技术·····	284
第九章	承压水危害的防治措施·····	290
第一节	突涌判别式·····	290
第二节	合理选择基础埋深及地下室设置·····	294
第三节	降低承压水头与水平隔渗封底·····	295
第四节	永久性抗浮(拔)锚桩·····	300
第十章	基坑围护中地下水危害事故处理技术·····	303
第一节	围护方案选择时的技术论证·····	303
第二节	设计与土的强度指标选择·····	304
第三节	基坑开挖中的水文地质(地下水)问题·····	305
第四节	施工与管理·····	308
第五节	经验与教训·····	309

附 录

附录 I	$W(u)$ Theis 井函数·····	313
附录 II	$W(u, r/B)$ Hantush 越流井函数·····	315
附录 III	Hantush 函数表·····	318
参考文献	·····	321

第一篇 地下水的基本知识及其工程危害

第一章 地下水的基本知识

地下水,就是埋藏在地表面以下的水,它以气态、液态、固态三种状态储存在松散岩层孔隙、基岩裂隙和岩溶中。

一般讲,固态水仅在岩土中的水温低于冰点时才存在,而气态水则充满饱气带的岩土空间,液态水在重力和毛细管压力作用下,储存、运动在岩土的空间中。各种状态的水,均能在一定条件下相互转化。

第一节 水的循环与地下水形成

一、水的循环^{[1][3]}

地下水主要来自大气降水和空气中的水汽。那么大气层中的水又是从哪里来的呢?自然界的水循环如图 1-1 所示。

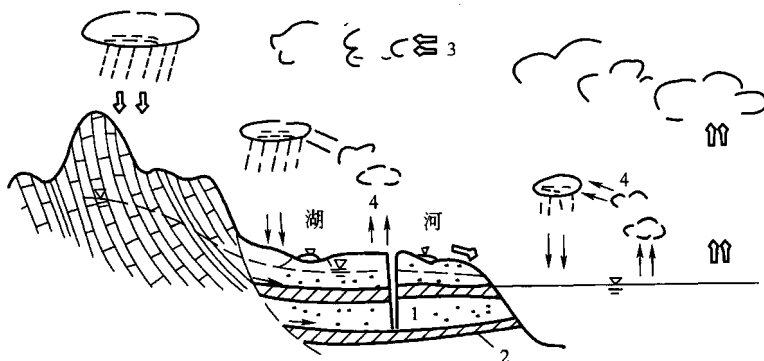


图 1-1 自然界中的水的循环

1-含水层;2-隔水层;3-大循环;4-小循环

太阳辐射热作用下,水从海面、江河湖水面、土壤及岩石表面,以及植物叶面不断地蒸发,变成水蒸气上升到大气层中。在适当的条件下,这些水蒸气又凝结成液态或固态水(雨、雪)降落到地面上来。落下来的水一部分就地蒸发返回大气层,另一部分形成地表水,沿地面流入江河、湖泊、海洋,其余则渗入地下,积蓄在含水层中成为地下水。

在自然界中,大气降水,冰雪融水以及地表江河、湖泊及水库中的水,都可以通过岩土孔隙和裂隙渗透到地下形成地下水,这种由渗透形成的地下水称渗透水,它是地下水的主要来源,地下深处的地下水,其补给来源主要也是依赖于大气降水的渗透。

这种从海洋或陆地蒸发的水分又降落到海洋或陆地称为内循环(小循环)。从海洋蒸发的水凝结降落到地面后,再经过径流或蒸发形式返回海洋,称外循环(大循环)。

除上述大气降水渗入和空气中水蒸气凝结形成地下水外,还有岩浆的水蒸气冷凝和古代

海水残存等成因的地下水。

地下水接受大气降水渗入补给后,经过地下径流,流入地势较低的地方进行排泄。地下水的补给和排泄与邻近的江、河、湖、海有密切的水力联系,随着季节(旱季或雨季)和水位高低变化,而互为补、排关系。

二、地下水的储存形式^[3]

地下水在地表以下不是到处都有,它富集在含水层的地方。含水层就是能透过和给出相当水量的岩层,也就是有地下水储存的透水层。如,在砂、砾石、卵石的孔隙和有裂隙岩石的空隙中,有水蓄存和运动时,就叫含水层。水能透过的这些岩层叫透水层,而水不易透过的岩层,如黏土、页岩等叫不透水层或隔水层。自然界绝对不透水的岩层是不存在的,只有透水强弱、透水性能大小之分。岩土透水性能大小,取决于岩石本身孔隙、裂隙大小与多少,以及连通情况。衡量岩土透水性的指标是渗透系数。据此,可将岩土层分为强透水层、透水层和弱透水层等,详见表 1-1^[7],地下水就储存和运动在这些透水层的孔隙或裂隙的空隙中。

岩土透水性能分类 表 1-1

渗透性类别	强 透 水 层	中等透水层	弱透水层	极弱透水层	不 透 水 层
渗透系数(cm/s)	$>10^{-1}$	$10^{-3} \sim 10^{-1}$	$10^{-5} \sim 10^{-3}$	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	$<10^{-7}$

地下水虽都储存在岩土的孔隙间,但其储存形式是多种多样的。除人们所熟悉的液态水(亦称重力水)、固态水和气态水外,尚有一些特殊形式的水,即吸着水、薄膜水(它们又称结合水)、毛细水和矿物水。各种形态水的物理性质差别很大,不过它们都可成为补给液态水的源泉。

(1)气态水。呈水蒸气状态储存和运动于未饱和的岩土空隙之中,它可以是地表大气中的水汽移入的,也可以是岩土中其他水分蒸发而成的。岩土中的气态水和大气中所含的水汽一样,可随空气的流动而运动,即便是空气不运动时,气态水本身亦可发生迁移,由绝对湿度大的地方向绝对湿度小的地方迁移。当岩土空隙内水汽增多到饱和时,或是周围湿度降低到露点时,它开始凝结成液态水而补给地下水。由于气态水的凝结不一定在蒸发地点进行,因此它也会影响地下水的分布,但它本身不能直接采用,也不能被植物吸收。

(2)吸着水。由于分子引力及静电引力的作用,水分子被牢固地吸附在颗粒表面,并在颗粒周围形成极薄的一层水膜,称为吸着水。这种水在颗粒表面结合得非常紧密,吸附力相当大,可达一万个大气压,因此,亦称它为强结合水。它的特征是:不受重力支配,只有当它变为水汽时才能移动;冰点降至 -78°C 以下;不能溶解盐类、无导电性、不能传递静水压力;具有极大的黏滞性和弹性;密度很大,平均为 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。水量很小,不能取出,也不能被植物吸收。

(3)薄膜水。在吸着水外面,还有很多水分子也受到颗粒静电引力的影响,吸附着第二层水膜,这个水膜就称为薄膜水。随着吸附水膜的加厚,水分子距颗粒表面渐远,加之水分子间存在排斥力,使吸引力大大减弱,因此薄膜水又称弱结合水。这种水可在空气相对湿度达到饱和状态时形成,也可在滴状液态水退去以后形成。它的特点是:薄膜水可以由薄膜相对厚的地方向薄处转移,这是由引力不等而产生;不受重力影响;不能传递静水压力;黏滞性较大,抗剪强度较小;有较低的溶解盐的能力,因蒸发,薄膜水可由土中转移出地表;也可被植物根部

吸收。

吸着水与薄膜水统称为结合水,都是受颗粒表面的静电引力作用而被吸附在颗粒表面,它们的含量主要取决于岩土颗粒的表面积大小,岩土颗粒越细,表面积就越大,结合水的含量也越多;颗粒粗时则相反。所以黏性土的一系列物理力学性质都与它有关。

(4)毛细管水。由于毛细管力支持充填在岩土细小孔隙中的水称为毛细管水。它同时受毛细管力和重力作用,当毛细管力大于水的重力时,毛细管水就上升。当两力作用达到平衡时便按一定高度停留在毛细管孔隙中。由于毛细管水上升,在地下水面上普遍形成一层毛细管水带。毛细管水面会随着地下水面的升降和蒸发作用而发生变化,但其毛细管上升高度在同一土层中都是不变的。毛细管水能上下垂直运动,能传递静水压力。

(5)重力水。如前所述,在薄膜水的厚度不断增大时,颗粒静电引力逐渐减弱,当引力不能支持水的重力时,液态水在重力作用下就会向下运动。在饱气带的非毛细管孔隙中形成的能自由向下流动的水叫重力水;换言之,当岩土的全部空隙为水饱和时,其中能在重力作用下自由运动的都是重力水。通常人们所称的地下水实际是指重力水。从井中抽取和泉中流出的地下水均属重力水。它不受分子力影响,可传递静水压力,有冲刷、侵蚀作用,能溶解岩石。

(6)固态水。固态水指常压下当岩(土)体温度低于水的冰点(零度)时,岩土孔隙中的液态水凝结成冰,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。但解冻后土体强度往往低于冻结前的强度。

除上述储存在岩土空隙的水之外,尚有存在于组成岩土的矿物之中的水,这种水本身就是矿物的组成部分,如沸石水、结晶水、结构水,这些水统称为矿物水。

三、岩土的孔隙和水理性质^{[1][4]}

1. 岩土的孔隙性

自然界的岩土,无论是松散的还是坚硬的都具有形状不一、大小、多少不等的孔隙,没有孔隙的岩土极为少见,但随着岩土性质和受力作用的不同,孔隙的形状、多少、大小、连通程度以及分布状况等特征都有很大的差别。通常把岩土的这些特征统称为岩土的孔隙性。它是通过岩土的孔隙率、裂隙率、岩溶率、容水度、含水率、持水度和渗透系数等水文参数来表征。

(1)孔隙率(度)。孔隙体积与岩土总体积(包括孔隙体积)的百分比。孔隙比则为孔隙体积与岩土颗粒体积之比。孔隙的大小和数量多少取决于岩土颗粒大小,均匀与分选程度、颗粒形状、排列方式、胶结程度、充填物性质等。

(2)裂隙率。裂隙的体积与岩土总体积比值。它可分为线裂隙率和面裂隙率。线裂隙率为测线通过的裂隙宽度之和与测定时所取测线长度的比值;面裂隙率为单位面积(一般为 $1\sim 2\text{m}^2$)内,裂隙所占面积与测定时所取岩层面积的比值。裂隙大小、数量、闭张性质、分布规律与裂隙成因、岩石所处构造部位和裂隙形成过程中各种自然因素(气候、地形、地下水等)影响有关。具有明显的不均匀性。如:同一种岩石不同部位裂隙率可能由小于百分之一到大于百分之几十的差别。

(3)溶隙(岩溶)率。它是可熔岩中的各种裂隙。被水流溶蚀扩大为溶隙,它的大小相差悬殊,形态各异,表现为溶孔、溶洞、落水洞、暗河等分布极不均匀,这种现象又称为岩溶。可熔岩的孔隙性在数量上常用岩溶率来表示,即溶隙的体积与可熔岩的体积百分比。它有线岩溶率、

面积岩溶率和体积岩溶率之分。线岩溶率为钻孔所遇溶洞、溶隙的厚度之和与钻孔穿过可熔岩的长度之比。面积岩溶率为地面漏斗、落水洞、溶洞面积之和与地面面积之比。体积岩溶率为山体内洞的体积与山体体积之比。

(4)含水率。松散岩土孔隙中所含水的质量与干燥岩土质量(或体积)的比值,分别称为质量(体积)含水率。它的多少受孔隙率、裂隙率、岩溶率和饱水程度影响。

2. 岩土的水理性质

岩土的孔隙性为地下水的储存和运动仅提供了空间条件,但水能否自由地进入这些空间,以及进入这些空间的地下水能否自由地运动和被取出,这将是进一步研究的问题。为此,必须讨论岩土与水相互作用(接触)时岩土显示出来的各种性质,如:容水性、持水性、给水性、透水性及毛细性等,岩土控制水活动的这些性质称为岩土的水理性质。

(1)容水性。它是指常压下岩土孔隙中能容纳一定水量的性能,以容水度表示。其数值等于所容纳的水体积与岩土总体积之比。当岩土的孔隙被水饱和时,水的体积即等于孔隙体积。因此,容水度在数量上与岩土孔隙度相等。它主要受孔隙率、裂隙率、溶隙率及黏土的膨胀性影响。

(2)持水性。饱水岩土在重力作用下释水后,仍能保持一定水量的性能称持水性,以持水度表示。其值为始终保持的水体积与岩土体积之比。它有毛细持水度和分子持水度之分。

毛细持水度是毛细管孔隙被水充满时,岩土所保持的水量与岩土体积之比。

分子持水度是指岩土所能保持的最大结合水量与岩土体积之比。

结合水是因颗粒表面的吸引力而保持的。因此,颗粒的总表面积愈大,结合水量便愈大。可见分子持水度受岩土颗粒大小的影响。岩土颗粒愈细小,分子持水度就愈大。

(3)给水性。给水性是指水能从岩土中自由流出的性能。它以给水度表示。其数值等于流出的水体积与岩土体积之比。或者说,地下水下降单位深度时,单位水平面积的岩土柱体在重力作用下释放的水体积。它受孔隙多少、大小,水位埋深及水位下降速率影响。以百分数或小数表示。

(4)毛细性。松散岩土中能产生毛细上升现象的性能称为毛细性。通常以毛细管水上升高度、上升速度和毛细管水压力表示。

(5)透水性。透水性是指在水的重力作用下,岩土容许水通过的性能。通常以渗透系数表示。它的物理意义:单位水力梯度下,水的渗透流速,它受孔隙性质、液体的黏滞性影响,以 m/d 或 cm/s 表示。

第二节 地下水的分类

一、按地下水的埋藏条件及水力性质分类

按地下水的埋藏条件及水力性质可分为饱气带水、潜水和承压水。

(1)饱气带水。它位于地下水面以上的饱气带中,包括:土壤水;沼泽水;上层滞水;沙漠及滨海沙堆、沙丘中的水。其中上层滞水对城建工程意义较大。

上层滞水(图 1-2)。上层滞水就是大气降水和地表水下渗途中,遇到局部隔水层而停留

聚积在局部隔水层上面的水。这类地下水分布面积不大,而季节性变化显著,干旱季节可能消失。地下水面具有随局部隔水层的起伏面变化的特征。它距地表较近,分布区与补给区一致。补给来源为大气降水和地表水渗入;以蒸发、下渗或向周围流散方式排泄;易被污染;含有机质多,含矿物质少。由于上述特点,上层滞水仅对人口稀少而分散的农村或海岛,作季节性供水时才有一定的开采价值。

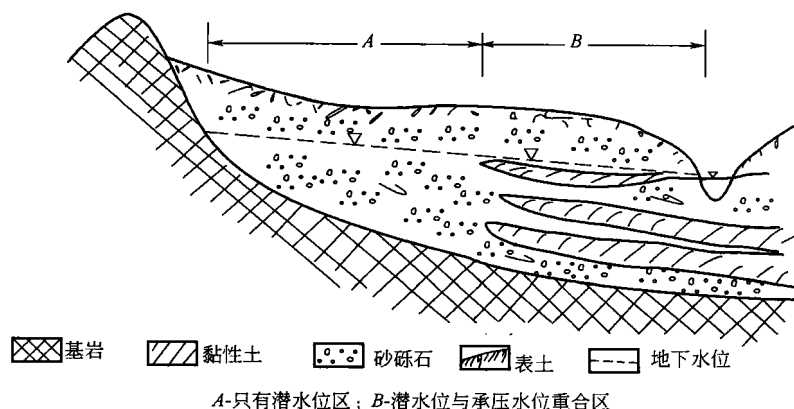


图 1-2 上层滞水和潜水示意图

(2)潜水(图 1-2)。潜水就是埋藏在地面以下第一个隔水层之上,具有自由水面的无压地下水。它没有隔水层顶板,直接受大气降水或地表水的渗入补给,有的还受相邻含水层中的地下水补给,潜水可不完全充满透水层。一般情况下补给区与分布区一致,潜流方向与地形、地势大体吻合。潜水面形状随相对隔水层的出现、含水层厚度及隔水底板的起伏而变化。潜水的动态受季节影响,变化较大,往往与地表水有密切的水力联系。当潜水水位高于附近地表水体水位时,潜水补给地表水;反之,地表水位高时,地表水补给潜水。潜水排泄主要靠蒸发,或以泉的形式出露地表。

潜水主要分布在冲积、坡积、洪积、湖积和冰碛层中的孔隙中,基岩裂隙与岩溶裂隙溶洞中,呈层状或脉状分布。

由于潜水分布普遍,埋藏浅,水量也较丰富,因此,它是常见的小型分散的饮用水源,也是工农业用水的重要水源。

(3)承压水(图 1-3)。承压水存在于两个隔水层之间的含水层中,是具有一定水头压力的地下水。两个隔水层分别为隔水层顶板和隔水层底板,两者之间的距离为承压含水层的厚度。它的补给区、径流区和排泄区都不一致,补给区可能距离较远。隔水层顶板以上的水位高度叫地下水的水头。水头压力的大小取决于补给区的距离,以及它们的相对高差,而与含水层的富水性无关;在水头压力较大,地形相对低洼地段,可形成自流区。当承压水头高出地面时便可产生自流,称自流水。承压水主要分布在松散层构成的自流盆地,单斜和山前平原自流斜地中,以及构造盆地或向斜、单斜岩层的层间。含水层在地表出露地段,直接受大气降水或其他地表水体的渗入补给,这一区段叫含水层的补给区。当地表切割承压含水层时,则形成上升泉。承压地下水在地表的露头区,而高程又低于补给区,这一区段叫含水层的排泄区。承压水在排泄区通过潜水含水层或上升泉的形式排泄。

由于承压水动态稳定,卫生条件好,是重要的供水水源。

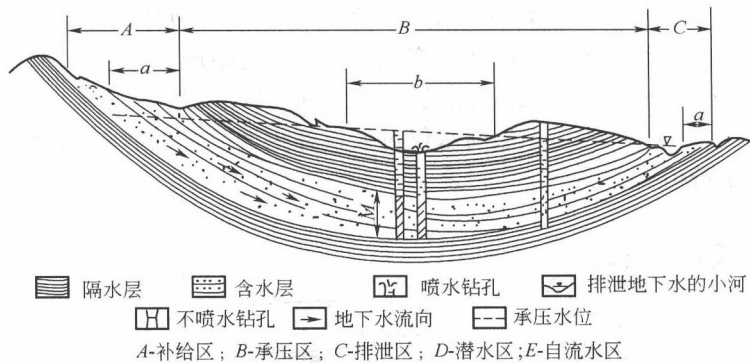


图 1-3 承压水

二、根据含水层的特征分类

根据含水层特征,地下水可分为孔隙水、裂隙水、岩溶水。

(1)孔隙水。孔隙水是赋存于未胶结或胶结疏松的碎屑岩(砂、砾石、卵石)和一些具有气孔构造的喷出岩(玄武岩)的孔隙中,它呈层状分布。孔隙水主要分布在山前、河谷、山间、冲积和滨海平原区^{[3]、[5]}。山前洪积,冲、洪积平原的水文地质特征是由山麓至低地,可分为潜水补给~径流带、潜水溢出带、潜水蒸发带。洪积物颗粒由粗变细,冲积物发育者,冲积砂与洪积物相互叠置,使岩性复杂化。含水层由单层潜水过渡为多层承压水,一般富水性强、水质好。

河谷平原的水文地质特征,狭窄河谷多为山区季节性流水侵蚀后堆积的粗粒物质,分造性差。河谷内的潜水由降水、地表水和基岩水补给,富水性与汇水条件和围岩的岩性有关。潜水与河水关系密切,流向与河水一致,一般纵坡较大,水质较好,可开采利用。

宽阔的河谷内,发育有河谷盆地,那里沉积着很厚的,甚至可达数百米厚的第四系地层,上部为冲积层,下部为湖积层,山前带往往有洪积层,常年有河流通过,常有多级阶地发育。以基岩为隔水底板,形成良好的储水构造,分布着潜水和层间承压水。地下水资源丰富,沿岸开采时可由河水获得补充资源,开采利用价值较大。

由断陷和侵蚀造成的盆地,一般四周环山,常有河流通过,盆地常沿河流成串珠分布,盆地内由河湖相堆积物,有流水沉积与静水沉积交错发育;有的上部以冲积物为主,下部为湖积物为主。潜水、层间承压水均有分布。补给条件与汇水条件有关,有时有自流水,水质良好。

冲积、淤积平原地下水,多为冲积砂层,常呈条带状分布,颗粒较细。古河道与河间带相间分布,与湖积物共存时含水层发育较差,地下水径流迟缓,水位埋藏较浅,常有咸水存在。古河道水量丰富,水质较好。

滨海平原区,海陆交互沉积的广阔平原。地下水呈多层状,淡水含水层主要为颗粒较细的陆相沉积物。以层间承压水为主,常有咸水存在。深部常为较好淡水,可开采利用。以海相堆积的狭窄平原地下水,一般分布面积不大(如较大海岛的海积平原),厚度一般不超过数十米,以潜水为主,淡水呈透镜体存在,可作分散供水水源。

(2)裂隙水。裂隙水是赋存于各种坚硬岩石(火成岩、沉积岩和变质岩)裂隙中的水。按裂隙成因,可分为成岩裂隙、风化裂隙、构造裂隙三种。因此,裂隙水也可相应分成风化裂隙水、成岩裂隙水和构造裂隙水。成岩裂隙是岩石在成岩过程中受温度和压力作用而产生的裂隙,

这类裂隙的透水性较差,并取决于岩性,其中以泥质、塑性的岩石最弱。成岩裂隙水常呈层状存在于喷出岩分布区。当这种含水层出露于地表时,它可接受大气降水补给,裂隙水是潜水特性。如果它的上下都有隔水层,裂隙水就具有层间水特征。

风化裂隙是裸露或近地表的岩石。长期经受物理、化学、生物等地质外力作用而形成。这类裂隙分布在岩石表层,一般不超过几十米。它具有分布广、无定向、沟通性好的特点。近地表岩石已风化成土状的为全风化带,再下为块状,呈半风化带。一般半风化带的透水性比全风化带强。再往深部超过 30~50m 风化裂隙就不发育了。所以风化带中风化裂隙水,最厚也就是 30~50m,呈层状分布,属裂隙潜水,富水性与岩性、风化程度和深度及地形条件等有关。风化裂隙水直接受大气降水或地表水补给,一般水量不大。

由构造应力作用所形成的裂隙为构造裂隙,它的发育往往较深,由几米到几百米,分布也极不均一。由于构造性质的不同以及岩石的性质差异,它的导水性和富水程度差别很大。脆性岩石的构造破碎带中,裂隙发育,赋存有丰富的构造裂隙水,呈带状、脉状分布,具有一定的方向性。含水层的富水性与断裂带的性质、规模、补给条件有关。它的补给可来自风化裂隙水、大气降水或地表水。若构造裂隙深埋地下,并有较厚的不透水层覆盖时,构造裂隙水的补给可来自深部或侧向地下水,并具承压水性质。若脉状裂隙水出现在断层破碎带以及脉状隔水地段,也具有承压性。

(3)岩溶水。岩溶水是储存于可溶性岩石(石灰岩、白云岩、石膏等)中的溶蚀裂隙、溶洞中的水,它的分布受岩溶发育程度和分布规律的控制,具有不均一性。它与大气降水有极密切关系,因此它的补给来源主要是大气降水、地表水和其他地层中的地下水。岩溶水可以是无压的,也可以是有压的。当岩溶水的补给源位置较高,而上覆层又为隔水层时,则具有承压水性质。如不具备上述条件时,则属潜水性。若岩溶水在地形低洼处出入时,则相应于上述水力性质,以上升或下降泉形式排泄。

岩溶水储存在构造破碎带,或岩溶与非可熔岩地层接触带附近,以及条带状灰岩中,岩溶裂隙水呈脉状分布。如果岩溶与非可熔岩地层互层,赋存在层间岩溶地层中,岩溶裂隙水具有承压水性质。

第三节 地下水运动^{[3][5]}

地下水在重力作用下,沿着岩土孔隙进行运动(渗透),由于岩土的孔隙形状大小、连通性差异,如松散岩土大孔隙直径大于 0.5mm,而小的孔隙直径小于 0.002mm,大小相差 2500 倍。地下水是在不均匀空隙中运动,其变化状态十分复杂。很难直观地如实表达出来。因此,不去直接研究个别质点的运动规律,但可去研究岩土中流体的平均运动的运动规律,实质上是设想把流体充满整个含水层的假想体来代替,只在岩土空隙中流动的真实水流,这一假想水流称为渗流,所以地下水运动一般又称渗流。为了描述渗流的特征,采用了一些物理量,如,流量、流速、水头、水力坡度等来说明它。

一、渗透速度与实际流速

渗流在过水断面上的平均流速称为渗透速度(渗流速度),垂直于渗流方向空隙中充满