

基坑降水设计

JIKENG JIANGSHUI SHEJI

刘朝安 张勇 编著

地质出版社

基坑降水设计

刘朝安 张勇 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书内容分为八章：前三章主要阐述水文地质学和地下水动力学基本知识、水文地质现场抽水试验及相关水文地质参数的计算，第四章、第五章重点论述了基坑降水设计基本方法及步骤、基坑降水引起的地面沉降的分析及计算，第六章着重阐明《基坑降水分析计算系统》软件的开发及使用方法，最后两章介绍了基坑降水施工、管理、监理等相关内容。附录中列举了基坑降水设计、施工及管理常用的表格、工艺标准等。

本书可供从事岩土工程设计、施工和管理工作的技术人员使用，也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

基坑降水设计 / 刘朝安, 张勇编著. -- 北京: 地质出版社, 2011.12

ISBN 978-7-116-07550-4

I . ①基 … II . ①刘 … ②张 … III . ①基坑排水—设计 IV . ①TV551.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 001821 号

JIKENG JIANGSHUI SHEJI

责任编辑: 刘亚军 赵宗举

责任校对: 李玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324578 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 12

字 数: 300 千字

印 数: 1—300 册

版 次: 2011 年 12 月北京第 1 版

印 次: 2011 年 12 月北京第 1 次印刷

定 价: 80.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-07550-4

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

近十几年来,我国工业与民用基础设施建设步入高速发展时期,国家城市化进程逐渐加快。随着大量的市政工程、高层建筑及地铁的兴建,基坑的开挖深度越来越深、规模也越来越大,基坑的隔水、降水问题十分突出。通过多年的理论与工程实践的结合运用,基坑降水技术也日渐成熟,在实际应用中得到了很大的提高。

全书理论与实践相结合,阐述了与基坑降水设计有关的水文地质学、地下水动力学基本理论、水文地质现场抽水试验及水文地质参数计算方法,论述了基坑降水采用的基本方法、设计理论及施工要点等,阐明了基坑降水的施工、管理、监理的基本方法。附录中列举了基坑降水设计、施工及管理常用的表格、工艺标准等。

地下水对于施工中的基坑(特别是对一些水文及工程地质条件复杂的深基坑)稳定性有很大的影响。基坑降水方法不当会引起基坑内积水,严重的会出现基坑塌方、周边建筑开裂、基坑突涌事故;降水施工操作不当会导致管涌、流砂等现象的发生。因此,基坑降水方案的选择、设计及施工直接关系到人员、基坑及周边建筑物的安全。

在总结多年国内外基坑降水经验的基础上,利用基坑降水设计的基本原理和方法,本书作者开发出了《基坑降水分析计算系统》软件;结合渗流理论、土力学一维固结理论,建立了由基坑降水引起的地面沉降分析计算的耦合模型并编入计算系统中。该分析计算系统的特点是可进行基坑降水动态分析预测,使得基坑降水设计更加快捷、便利。

本书体现了地下水渗流理论、土力学一维固结理论等与工程实践的结合,显示了它的新颖性和创造性。可以相信,本书的出版将会对基坑降水设计、施工理论的探讨和应用起到一定的促进作用。

本书有助于工程技术人员、高校师生理解相关专业的知识和技术,实用性较强。

中国工程院院士
国际工程地质与环境学会主席



2011年10月18日

前 言

近十几年来,我国市政、电力、水利建设均进入高速发展时期,大型地下商场、人防工程、地铁、地下广场及市政管线的施工等地下工程日益增多,开挖的基坑深度越来越深、规模越来越大。武汉阳逻长江公路大桥南锚碇基础工程直径达73m,基坑深达46m,是目前国内最大的圆形深基坑。橘子洲站是长沙地铁2号线最深的车站,车站为地下四层结构,基坑开挖深度达到32m。天津滨海新区于家堡综合交通枢纽Z₁线的隧道基坑长110m、宽29m、深31m。

地下工程深基坑的开挖及如何有效的控制地下水,是确保基坑施工安全的主要任务。基坑施工期间,不仅要考虑到地下水的疏排,同时要注意是否存在流砂、管涌以及承压水可能造成的基坑底板突涌、大型基坑降水引起周边建筑物不均匀沉降等一系列工程地质问题。

多年的工程实践证明,最有效、经济的方法是采用井点降水来控制深基坑地下水位。井点降水系统的设计内容包括基坑涌水量的计算、井点布置、管路系统的设计及抽水设备的选择等。目前,国内常用的井点降水方法有轻型(真空)井点法、喷射井点法、电渗井点法、管井及深井点降水法、自渗井点降水法等。对于具体工程而言,可依据场地地基土层的物理力学性质、渗透性、地下水类型、基坑要求的水位降深及工程特点等,选用可靠经济的基坑降水方案。

本书作者几十年来致力于电力工业与民用建筑的岩土工程与水文地质的勘察设计、研究与教学工作,在总结多年工作经验的基础上,利用地下水动力学渗流理论,结合土力学基本原理,编制了《基坑降水分析计算系统》软件,虽然不太成熟,但希望与读者进行交流。

全书分为八章:第一章介绍水文地质学与工程地质学基本知识,包括地下水的分类及工程降水中的不良地质现象、岩土水理性质等;第二章主要介绍地下水运动基本规律、地下水向完整井和非完整井的运动特征以及地下水向边界附近运动的基本形式、主要的稳定井流和非稳定井流计算公式等;第三章介绍了基坑降水设计采用的水文地质参数及确定这些参数的现场水文地质试验方法及经验值;第四章介绍了基坑降水所采用的基本方法、基坑降水系统的设计计算、降水井点的布置及施工工艺等;第五章介绍了土力学的有效应力原理及一维固结理论、基坑降水所引起的地面沉降的计算方法等;第六章介绍了《基坑降水分析计算系统》软件基本概况及使用方法;第七章介绍了基坑降水的部分实例;第八章介绍了基坑降水的施工与管理的基本方法。附录中给出了一些常用施工

工艺标准、计算数据及工程施工常用表格。

本书由中国电力工程顾问集团华北电力设计院工程有限公司刘朝安、河北工程大学张勇编著。第一章、第三章、第八章由刘朝安编写，第二章、第四章由张勇、赵云云编写，第五章、第六章、第七章由刘朝安、张勇编写，最后由刘朝安、张勇统稿定稿。

本书编写过程中，龙胤慧、赵云云编绘了大量图件。书中引用了一些单位及个人的部分研究成果，在此表示衷心感谢！

作者

2011年9月

目 录

第一章 水文与工程地质学基本知识	1
第一节 水在岩石土壤中的存在形式	1
一、空隙的概念	1
二、水在岩石、土壤中的存在形式	2
第二节 岩土的水理性质	3
一、容水性	3
二、持水性	3
三、给水性	3
四、透水性	4
五、含水率	4
第三节 地下水的分类	4
一、透水层、含水层、隔水层	4
二、地下水的分类	4
第四节 工程中地下水的不良地质作用	6
一、流砂	6
二、管涌	7
三、突涌	8
第二章 地下水运动基本规律	10
第一节 渗流基本概念	10
一、水在岩石、土壤空隙中的渗流	10
二、地下水的水头和水力梯度	11
三、贮水率和贮水系数	12
四、稳定流与非稳定流	12
第二节 渗流基本定律	12
一、达西定律及其适用范围	12
二、渗透系数和导水系数	13
三、达西定律的适用条件	14
第三节 完整井与非完整井	15
一、完整井	15
二、不完整井	15
第四节 地下水向完整井的稳定运动	16
一、地下水稳定运动基本条件及假设条件	16
二、地下水向承压井的稳定运动	17

三、地下水向潜水井的稳定运动	18
四、地下水向承压-潜水井的稳定运动	19
第五节 地下水向干扰井群的稳定运动	20
第六节 地下水向完整井的非稳定运动	21
一、承压含水层完整井流	21
二、潜水含水层完整井流	23
第七节 地下水向边界附近井的运动	25
一、镜像法原理	25
二、直线边界附近的井流	26
三、扇形含水层中的井流	29
四、象限含水层	29
第八节 地下水向不完整井的运动	30
一、地下水向不完整井运动的特征	31
二、地下水向不完整井的稳定运动	31
第三章 水文地质参数及水文地质试验	35
第一节 基坑降水设计所需水文地质参数的确定	35
一、常用水文地质参数的类型	35
二、部分水文地质参数经验值	36
第二节 现场抽水试验及资料整理	38
一、抽水试验的目的	38
二、抽水试验的分类	39
三、抽水孔的布置要求	40
四、观测孔的布置要求	40
五、抽水试验技术要求	41
六、抽水试验资料的整理	42
第三节 根据抽水试验确定水文地质参数	44
一、根据稳定流抽水试验确定渗透系数 K	44
二、根据稳定流抽水试验确定影响半径 R	48
三、根据非稳定流抽水试验确定水文地质参数	49
第四章 基坑降水设计	52
第一节 基坑降水主要方法及设备	52
一、明沟排水	52
二、轻型井点降水	52
三、喷射井点降水	54
四、电渗井点	55
五、管井及深井降水	55

六、自渗井点	56
第二节 基坑降水设计基本步骤	56
一、基本步骤	56
二、基坑降水方案的选择	57
第三节 降水系统的设计	58
一、水文地质参数的选择	58
二、井点系统影响半径及基坑等效半径 r_0	58
三、基坑降水涌水量 Q	59
四、单井出水量 q	62
五、井点数量及井点间距的确定	63
六、基坑周围水位降深的计算	64
七、确定井点管埋设深度	65
八、井点管的设计选用	66
九、集水总管的设计选用	66
十、电渗井点的设计	67
第四节 降水井点平立面布置	68
一、轻型井点的平立面布置	68
二、喷射井点的布置	70
三、电渗井点的布置	70
四、管井、深井井点的布置	70
第五节 降水井点的施工工艺	71
一、轻型井点施工工艺	71
二、喷射井点施工工艺	75
三、电渗井点施工工艺	76
四、管井井点施工工艺	76
第五章 基坑降水引起地面沉降的计算	78
第一节 有效应力原理	78
一、有效应力与孔隙水压力	78
二、有效应力原理	78
三、饱和土体中的有效应力与孔隙水压力	79
四、附加应力作用下孔隙水压力和有效应力	79
第二节 一维固结理论	80
一、一维固结理论偏微分方程及其解	81
二、固结度	81
第三节 沉降计算分层总和法	83
一、基本假定及计算原理	83
二、计算方法与步骤	85

第四节	基坑降水引起地面沉降的计算	85
一、	基坑降水引起地面沉降的机理分析	85
二、	基坑降水引起地面沉降的计算方法	86
三、	回灌井点设计应用	87
第六章	基坑降水分析计算系统	89
第一节	概述	89
一、	系统基本功能	89
二、	系统开发基础平台	89
三、	系统结构	90
四、	软件的安装启动	91
第二节	系统应用操作流程——数据输入	91
一、	基本条件选择	91
二、	计算参数输入	92
三、	基坑坐标信息	93
四、	基坑周边建筑物坐标信息	95
五、	边界条件的输入	96
六、	选择降水井点类型	97
第三节	系统应用操作流程——计算演示	98
一、	降水井点自动布置	98
二、	基坑剖面、基坑俯视图、计算结果按钮的使用	100
三、	基坑降水结果显示	101
四、	基坑降水动态演示	103
五、	地面沉降计算	104
六、	菜单和快捷工具栏的使用	105
七、	生成计算书	107
第七章	基坑降水设计实例分析	108
第一节	轻型井点降水设计实例分析	108
第二节	管井、深井井点基坑降水实例	110
一、	实例 1	110
二、	实例 2	113
第三节	喷射井点基坑降水实例	116
第四节	电渗井点基坑降水实例	118
第八章	基坑井点降水施工与管理	121
第一节	施工组织设计的编写	121
第二节	基坑降水施工组织	124

一、施工前技术交底	124
二、施工前材料的准备	124
三、主要机具	125
四、作业条件	125
五、材料和质量要求	125
六、施工工艺	126
七、质量标准	130
八、成品保护	130
九、安全环保措施	130
十、质量记录	131
第三节 井点降水运行管理	131
一、轻型井点降水系统运行管理	131
二、喷射井点降水系统运行管理	132
三、电渗井点降水系统运行管理	133
四、管井及深井降水系统运行管理	133
第四节 基坑降水工程监理实施细则	134
一、总则	134
二、确定基坑降水施工方案的工艺流程	134
三、施工准备阶段质量控制措施	135
四、施工阶段质量控制措施	135
五、降水系统的安装工序质量控制措施要点	138
六、降水运行期间监理主要工作要点	138
七、降水工程结束工序质量控制措施要点	139
八、基坑降水工程验收	139
附录 1 $W(u)$ 数值表	140
附录 2 $W(u_a, y, r/D)$ 数值表	141
附录 3 $e^x, K(x), e^x K(x), -E_i(-x)$ 和 $-E_i(-x)e^x$ 的数值表	142
附录 4 井点布置常用数据表	145
附录 5 常用 PVC-U 过滤管规格及成井深度表	145
附录 6 常见水泥砾石井管过滤器规格表	145
附录 7 水泥砾石井管规格及配比表	146
附录 8 给水用 PVC-U 管材规格表 (6m 直管)	146
附录 9 轻型井点降水施工工艺标准	147
附录 10 喷射井点降水施工工艺标准	151
附录 11 电渗井点降水施工工艺标准	155
附录 12 管井井点降水施工工艺标准	159
附录 13 深井井点降水施工工艺标准	163

附录 14	轻型井点降水技术交底记录表	167
附录 15	深井井点降水技术交底记录表	171
附录 16	轻型井点降水记录表	173
附录 17	喷射井点降水记录表	173
附录 18	管井井点降水记录表	174
附录 19	深井井点降水记录表	174
附录 20	电渗井点降水记录表	175
附录 21	降水与排水工程检验批质量验收记录表	176
参考文献	177

第一章 水文与工程地质学基本知识

第一节 水在岩石土壤中的存在形式

地球上的水不仅存在于水圈中，也存在于大气圈、生物圈和岩石圈中。水通过蒸发和植物蒸腾、凝结降水、入渗和径流等环节，在各类水体之间进行着不断的循环交替运动。

地球上水的总储量中，海水占 97.3%，淡水只占 2.7%。淡水资源中冰山、冰川水占 77.2%，地下水和土壤中水占 22.4%，湖泊、沼泽水及河水占 0.36%，大气中水占 0.04%。可见人类使用的淡水资源极少，而且大部分位于冰川中。

广泛埋藏于地表以下的各种状态的水，统称为地下水。由于地质构造、岩土条件复杂多变，难以对地下水储量做出精确估算。从地面以下至深达 2km 的地壳内，地下水总储量约为 $2.34 \times 10^7 \text{km}^3$ 。

一、空隙的概念

地壳表层的岩土层由于受到各种地质作用的影响及本身的结构特点，通常存在大量的空隙。岩土中的空隙及其性质对地下水的赋存、运移及分布特征有很大影响。

岩土中的空隙根据其形成特点可分为孔隙、裂隙和溶隙三种类型。

1. 孔隙

孔隙主要分布于第四系松散沉积物之中，可用孔隙率来衡量其指标：

$$n = \frac{v_n}{v} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中： n ——孔隙率（%）；

v_n ——孔隙体积（ m^3 ）；

v ——岩土总体积（ m^3 ）。

2. 裂隙

裂隙是坚硬岩石形成时或形成后由于各种地质作用，使岩体遭受破坏而形成的空隙。裂隙的形成原因是内部应力（岩浆岩的冷凝收缩、沉积岩的固结干缩）、外部应力（构造作用、风化作用）作用的结果。裂隙由构造裂隙、原生裂隙和次生裂隙构成，构造裂隙具有一定的形态和分布规律，次生裂隙产状无序、杂乱无章。可用裂隙率来衡量其指标：

$$n_f = \frac{v_f}{v} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中： n_f ——裂隙率（%）；

v_f ——裂隙体积（ m^3 ）；

v ——岩石总体积（ m^3 ）。

3. 溶隙

溶隙主要分布于可溶性岩石之中，由可溶性岩石在原有空隙的基础上，经过地下水长时间化学风化、差异性溶蚀作用形成的空隙，可用溶隙率来衡量其指标：

$$n_k = \frac{v_k}{v} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中： n_k ——溶隙率（%）；
 v_k ——溶隙体积（ m^3 ）；
 v ——岩石总体积（ m^3 ）。

二、水在岩石、土壤中的存在形式

水在岩石、土壤中的赋存形式有气态水、结合水、毛细水、矿物水和重力水。对工程降水有影响的主要是重力水、毛细水和结合水。

1. 气态水、固态水及矿物中的水

气态水是指赋存于岩石土壤空隙中的水蒸气。气态水可随空气流动或从水气压力高的地方向压力低的地方迁移。当温度低于 0° 时，空隙中的液态水转变为固态水。另外还有存在于矿物晶体内部及晶体间的结晶水或结构水。

2. 结合水

土粒表面带有负电荷，可在土粒周围形成电场，由于水分子是极性分子，一端带正电荷，另一端为负电荷，在土粒电场范围内的水分子和阳离子一起吸附在土粒表面而定向排列形成一层薄的水膜，这层水就称为结合水。结合水可分为强结合水和弱结合水（图 1-1）。

(1) 强结合水

由颗粒电场吸引，紧紧吸附于颗粒周围的结合水称为强结合水，厚度几个水分子厚。

特征：没有溶解能力，不能传递静水压力，性质近于固体，密度 $1.2 \sim 1.4g/cm^3$ ，难于蒸发，难于结冰（ $-78^\circ C$ ），具很大黏滞性、弹性和抗剪强度。

(2) 弱结合水

弱结合水是强结合水外围的结合水膜，厚度 $< 200\text{\AA}$ 。

特征：弱结合水不能传递静水压力，可向邻近水膜移动，冰点 $-0.5 \sim -30^\circ C$ ，弱结合水厚度大时，粘性土为可塑状。

结合水的存在对水在粘性土中的渗流有很大影响，它增加了水的渗流阻力，阻碍了水在孔隙中的流动，使得粘性土由于结合水的存而出现渗流速度变慢、排水固结时间加长、

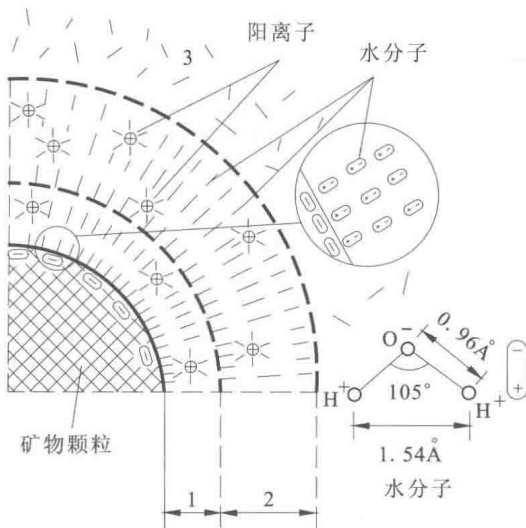


图 1-1 结合水示意图

1—固定层（结合水）；2—扩散层（弱结合水）；3—自由水

作为地基土受力后土层沉降压缩时间缓慢等现象。

3. 毛细水

毛细水存在于岩石的毛细孔隙及窄缝之中，靠表面张力支持。根据存在的状态及与饱水带中重力水的联系情况，毛细水又分为悬挂状毛细水、接触毛细水和一般毛细水。

4. 重力水

重力水是指存在于岩石、土壤颗粒之间、结合水层之外，不受颗粒静电引力的影响，可在重力作用下自由运动的水。我们所讲的地下水如井水、泉水、基坑涌水等都是重力水，它具有液态水的一般特征。重力水能产生浮托力，可传递静水压力、孔隙水压力；流动的重力水在运动过程中会产生动水压力；重力水具有溶解能力，对可溶性岩石产生化学潜蚀，导致岩石的成分及结构产生破坏。它是水文地质学研究的主要对象。

第二节 岩土的水理性质

一、容水性

岩土能容纳一定水量的性质称为岩土的容水性，可用容水度表示。容水度指岩土空隙完全被水充满时的含水量，即岩土中被水完全饱和时所容纳的最大的水体积与岩土体积之比。容水度在数值上与孔隙度、裂隙率或岩溶率相等。但是，对于具有膨胀性的粘土来说，其充水后岩土体积扩大，容水度可以大于孔隙度。

$$C = \frac{W}{v} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中： C ——岩土容水度（%）；

W ——岩土中所容纳水的体积（ m^3 ）；

v ——岩土总体积（ m^3 ）。

二、持水性

岩土在重力作用下能在其孔隙中保持一定水量的性能称为持水性，在重力作用影响下一部分水从空隙中流出，另一部分水仍保持于空隙之中，可用空隙中所保持水的体积与岩土总体积之比（即持水度）来表示。

$$S_r = \frac{W_r}{v} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中： S_r ——岩土持水度（%）；

W_r ——重力作用下岩土空隙中所保持水的体积（ m^3 ）；

v ——岩土总体积（ m^3 ）。

三、给水性

岩土在重力作用下，能自由排出一定水量的能力，称为岩土的给水性。可用饱和岩土

流出水的体积与岩土总体积之比（即给水度）来表示。

给水度在数值上等于容水度减去持水度。

$$\mu = \frac{W_y}{v} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中： μ ——岩土给水度（%）；

W_y ——重力作用下的饱水岩土排出水的体积（ m^3 ）；

v ——岩土总体积（ m^3 ）。

四、透水性

岩土能透过水的能力称为岩土的透水性，常用渗透系数 K 表示。渗透系数 K 可用野外现场抽水试验或室内渗透试验来测定。后面的章节将介绍该部分内容。

五、含水率

土的含水率是土所含水的质量和干土质量的百分比值。土在天然状态下的含水率为土的天然含水率 w ，即：

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中： w ——岩土含水率（%）；

m_w ——岩土中所含水的质量（g）；

m_s ——烘干后岩土颗粒的质量（g）。

第三节 地下水的分类

在进行地下水分类以前，我们还需要了解一些相关的基本概念。

一、透水层、含水层、隔水层

地下水的运动和聚集，必须具有一定的岩性和构造条件。空隙多而大的岩土层能使水流通过，称为透水层。储存有地下水的透水岩土层，称为含水层。空隙少而小的致密岩土层是相对的不透水岩层（渗透系数 $K < 0.001m/d$ ），称为隔水层。含水层和隔水层的不同组合，构成不同类型的地下水。

二、地下水的分类

根据透水层、含水层和隔水层的不同组合形式，地下水按埋藏条件可分为三大类：即包气带水、潜水、承压水；其中，包气带水中含有土壤水、上层滞水等。根据含水层的空隙性质，地下水可分为孔隙水、裂隙水、岩溶水。通过这两种分类的组合，可得出几类具

有不同特点、类型的地下水。

1. 包气带水

它指处于地表面以下潜水位以上的包气带岩土层中的地下水，主要包括土壤水、上层滞水（图 1-2）。

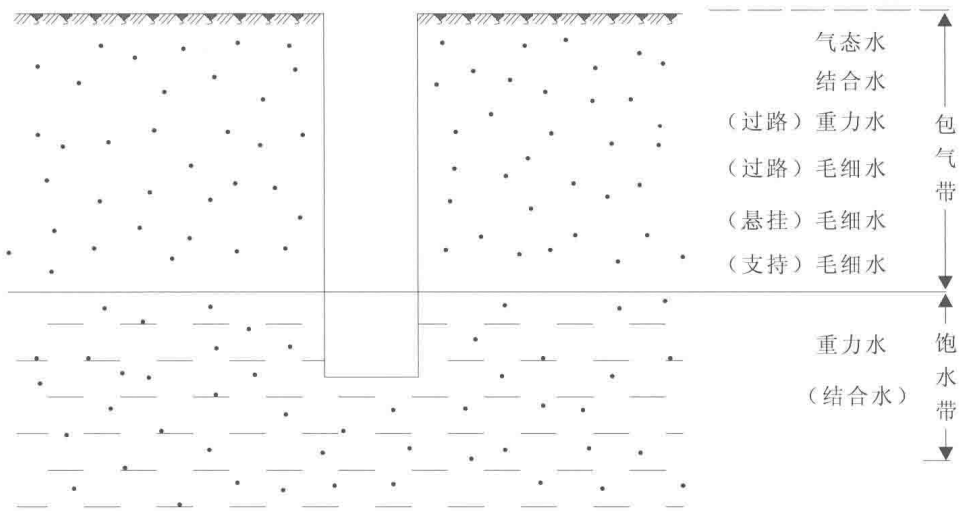


图 1-2 包气带及饱水带示意图

(1) 土壤水

它指埋藏于包气带土层中的水，主要靠大气降水及毛细水补给，过量的降水补给可垂直入渗到潜水含水层直接转化为潜水等。

(2) 上层滞水

它指位于包气带中局部隔水层之上的重力水，主要接受大气降水补给，受季节及气候影响较大，水量一般较小（图 1-3a）。

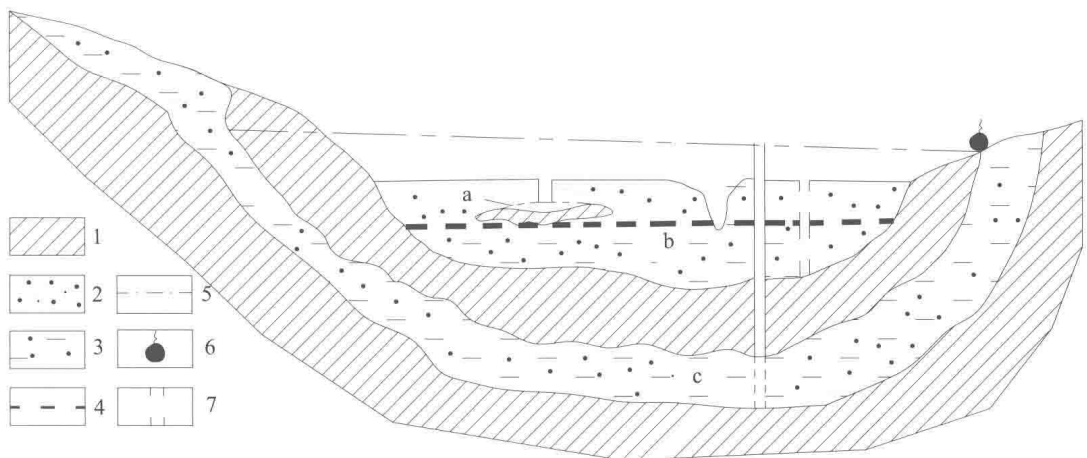


图 1-3 潜水、承压水及上层滞水示意图

1—隔水层；2—透水层；3—含水层；4—潜水位；5—承压水测压水位；6—泉（上升泉）；7—水井；
a—上层滞水；b—潜水；c—承压水