

# 土力学与地基基础



类目：建筑类

书名：土力学与地基基础

主编：左奇丽 刘宝顺 徐新明

出版社：电子科技大学出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5770-1745-7

使用层次：通用

出版时间：2025 年 8 月

定价：48.00 元

印刷方式：双色

是否有资源：有

# 土力学与地基基础

土力学与地基基础

主编 © 左奇丽 刘宝顺 徐新明

电子科技大学出版社

# 土力学与地基基础

主编 © 左奇丽 刘宝顺 徐新明

策划编辑: 万晓桐  
责任编辑: 万晓桐  
封面设计: 旗语书装



电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press



建筑类创新教材  
教育改革新理念教材

# 土力学与地基基础

主 编 ◎ 左奇丽 刘宝顺 徐新明  
副主编 ◎ 王胜群 吴昕锴 刘 帅  
罗福宜 洪波罗 魏国敏  
王珍松

 电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 / 左奇丽, 刘宝顺, 徐新明主编.  
成都: 成都电子科大出版社, 2025. 8. --ISBN 978-7-  
5770-1745-7

I. TU4

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025S5633M 号

土力学与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

左奇丽 刘宝顺 徐新明 主编

策划编辑 万晓桐

责任编辑 万晓桐

责任校对 李燕芬

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 涿州汇美亿浓印刷有限公司

成品尺寸 210 mm×285 mm

印 张 14

字 数 433 千字

版 次 2025 年 8 月第 1 版

印 次 2025 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-1745-7

定 价 48.00 元

版权所有，侵权必究



# 前言

## PREFACE

本书涵盖工程地质、土壤力学、岩土工程勘察和基础工程等方面的内容，主体可分为土力学和基础工程两部分。土力学属于力学原理和方法知识领域，它以地基土为研究对象，讨论应力和变形及强度、稳定等方面的问题，理论性较强；基础工程属于结构基本原理和方法知识领域，涉及地基基础设计、地基处理等方面的理论和技术，具有明确的专业性、实践性。有一些学校将土力学和基础工程作为两门课程分别开设，也有一些学校作为一门课程讲授。本教材对这两门课程都具有适用性，可作为高等学校土木工程专业建筑工程方向或工民建方向、工程管理专业、工程造价专业等的教学用书，也可供广大工程技术人员参考。

本书内容主要包括：绪论、工程地质概述、土的物理性质、地基应力计算、地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力与土坡稳定、地基承载力、浅基础设计、桩基础设计、区域性地基。本书系统地介绍了土力学的基本概念、基本原理以及基础工程设计原理和方法，兼具知识体系的系统性和实用性。

土力学既是经典学科，又在不断发展中，基础工程也随着科学技术的进步而前进，但编者的学识和眼界都十分有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2025年6月







# 目 录

## CONTENTS

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 土和土力学 .....	2
第二节 地基与基础 .....	3
第三节 地基基础的重要性 .....	4
第四节 本学科的发展简况 .....	5
复习题 .....	7
<b>第二章 工程地质概述</b> .....	9
第一节 地质作用与地质构造 .....	10
第二节 岩石的成因类型 .....	15
第三节 土的成因类型 .....	19
第四节 不良地质条件 .....	21
第五节 地下水与土的渗透性 .....	23
复习题 .....	26
<b>第三章 土的物理性质</b> .....	27
第一节 土的三相组成 .....	28
第二节 土的结构和构造 .....	32
第三节 土的物理性质指标 .....	34
第四节 土的物理性质 .....	39
第五节 土的压实原理 .....	42
复习题 .....	44
<b>第四章 地基应力计算</b> .....	45
第一节 土的自重应力 .....	46
第二节 基底压力 .....	47
第三节 地基附加应力 .....	50
第四节 有效应力原理 .....	66
复习题 .....	67

<b>第五章 地基沉降计算</b> .....	69
第一节 土的压缩性 .....	70
第二节 地基最终沉降量计算 .....	74
第三节 应力历史对地基沉降的影响 .....	84
第四节 地基沉降与时间的关系 .....	85
复习题 .....	91
<b>第六章 土的抗剪强度</b> .....	93
第一节 土的抗剪强度 .....	94
第二节 抗剪强度的测定方法 .....	97
第三节 孔隙压力系数 .....	102
第四节 土的抗剪强度指标 .....	104
复习题 .....	108
<b>第七章 土压力与土坡稳定</b> .....	109
第一节 土压力概述 .....	110
第二节 土压力计算 .....	111
第三节 挡土墙设计 .....	120
第四节 土坡稳定分析 .....	124
复习题 .....	129
<b>第八章 地基承载力</b> .....	131
第一节 地基破坏形式及地基承载力 .....	132
第二节 浅基础地基极限承载力 .....	135
第三节 地基承载力的确定方法 .....	137
复习题 .....	142
<b>第九章 浅基础设计</b> .....	143
第一节 地基基础的基本设计原则 .....	144
第二节 浅基础的类型 .....	147
第三节 基础埋深的选择 .....	151
第四节 基础底面尺寸的确定 .....	156
第五节 地基变形验算 .....	160
第六节 无筋扩展基础的设计 .....	162
第七节 墙下钢筋混凝土条形基础设计 .....	165
第八节 柱下钢筋混凝土独立基础设计 .....	169
第九节 减轻不均匀沉降的措施 .....	173
复习题 .....	176

<b>第十章 桩基础设计</b> .....	178
第一节 概述 .....	179
第二节 桩的分类 .....	181
第三节 单桩在竖向荷载下的性状 .....	185
第四节 单桩竖向承载力 .....	187
第五节 群桩基础 .....	194
第六节 桩基础的设计 .....	199
复习题 .....	202
<b>第十一章 区域性地基</b> .....	203
第一节 概述 .....	204
第二节 湿陷性黄土地基 .....	204
第三节 膨胀土地基 .....	207
第四节 红黏土地基 .....	211
第五节 山区地基 .....	212
复习题 .....	214
<b>参考文献</b> .....	215





# 第一章 绪论

第一节 土和土力学

第二节 地基与基础

第三节 地基基础的重要性

第四节 本学科的发展简况

## 第一节 土和土力学

### 一、土的概念

地球表面上的岩石经物理风化和化学风化,在暴雨、洪水等外力作用下发生剥蚀、搬运,在流速缓慢的地方沉积下来而形成的混合物,工程上称为土。有的土是岩石风化后未经剥蚀、搬运而留在原地的,还有一些土是通过风力搬运飘落地表沉积而成的。土中的固体矿物颗粒,形成骨架。颗粒之间的空间,形成孔隙。孔隙是相互连通的,其中充满水和气体。因此,土是由固体颗粒、水和气体所组成的三相(三种物态)物质,三者的成分及比例均对土的性质产生影响。

与其他建筑材料相比,土具有强度低、变形大、透水性大等特性。

土的强度指抗剪强度,由摩擦力或摩擦力和黏聚力组成。土的强度值为千帕(kPa)数量级,而建筑材料中的钢材、混凝土、砖石、木材等的强度值则是兆帕(MPa)数量级,相差很悬殊,所以土的强度比其他建筑材料的强度低得多。因为土颗粒之间联结很弱或无联结,在荷载作用下土颗粒很容易发生相对位移,土中的水和气体从孔隙排出而使孔隙体积减小,所以土的变形较大。几种材料的弹性模量分别为:HRB 400 级热轧带肋钢筋  $200 \times 10^3$  MPa, C30 混凝土  $30 \times 10^3$  MPa, 普通土小于 20 MPa。由此可知,压应力与材料厚度相同时,土的压缩量比 C30 混凝土大千倍,比钢材大万倍。并且,土的变形并不是在加荷瞬间就完成的,而是需经历一定时间才能完成(排水固结),除了弹性变形外,还有部分不可恢复的塑性变形存在。

土颗粒之间具有无数连通的孔隙,水可以通过孔隙流动。砂、石的孔隙大,透水性很大;黏性土的孔隙小,透水性较小。无论如何,与混凝土等材料相比,土的透水性大。

土可以作为建筑材料直接利用,比如修筑土石坝、路基时,砂、碎石可作为混凝土的集料。在广大农村地区,还有一些村民居住在干打垒房屋内或土坯房内。这种房屋,以土坯或夯筑的土墙作为房屋结构的承重墙[图 1-1(a)]。21 世纪以来,不少地方都在积极改造土坯房,以改善居住环境;也有利用片石作为屋面材料之一[图 1-1(b)],这在贵州的山区民居中较常见。土也是建筑材料中砖、瓦的直接材料,从秦砖汉瓦算起,已有二千多年的历史。土的另一个作用,就是作为建筑物或构筑物的地基,承受其上的所有荷载。



(a) 土墙房屋

(b) 片石屋面

图 1-1 岩土在建筑上的直接应用

### 二、土力学

土力学就是利用力学原理,研究土的应力、应变、强度、稳定和渗透性等特性及其随时间变化的规律的

学科。它是以太为研究对象的力学,是力学的一个分支,更是地基基础设计的理论基础。

虽然土体有别于一般建筑材料,力学性能差异较大,不能完全照搬材料力学(或工程力学)、弹性力学的结果,但是研究方法和手段却是相似的。一是理论探寻,土力学的研究在于寻找其力学行为的一般规律,这是理论工作者的追求;二是试验测定,通过试验可以验证理论公式的正确与否,还可以测定一些力学参数,监测建筑物的沉降与倾斜;三是计算机仿真分析,将土体离散为有限单元,进行各种数值计算,弥补理论求解中的不足,为建立理论提供帮助,为工程决策、设计提供依据。

## 第二节 地基与基础

### 一、建筑地基

支承基础的土体或岩体,称为地基。任何建筑物或构筑物都是建造在地层上的,地基是地层的一部分。基础上的压力通过一定深度和宽度的土体(或岩体)来支承,这部分土体(或岩体)就是地基。直接和基础底面接触的土层,称为基础的持力层,简称“持力层”。土层、地基和基础之间的关系,如图 1-2 所示。

地基包括岩石地基和土层地基两类。凡是未经人工处理就能满足设计要求的地基,称为天然地基;如果地基软弱,则需要经过人工加固处理,才能满足设计要求,这样的地基,称为人工地基。很明显,人工地基的施工成本高于天然地基。为了保证建筑物的安全,地基需要满足以下两个基本条件。

① 稳定且具有一定的承载能力。在建筑物使用期间,地基不应发生开裂、滑移和塌陷等有害地质现象;并要求作用于地基上的荷载不超过地基的承载能力,防止发生剪切破坏。

② 变形不超过允许值。地基变形导致建筑物产生的沉降、沉降差、倾斜和局部倾斜等量值不超过允许值,从而保证建筑物不因地基变形而发生开裂、损坏等而影响正常使用。

### 二、建筑基础

将房屋上部结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分,称为基础。基础是建筑结构的最下面部分,通常位于地面以下,所以又称“下部结构”。基础的作用是承上启下,即承担上部荷载,并将上部荷载和自身重量(重力)传递给地基。基础底面直接和地基接触,单位面积上的接触压力(地基和基础之间的作用与反作用),称为基底压力。因为地基的承载能力较低,所以基础底面尺寸要加以扩大,以减小基底压力,满足地基承载力和变形要求。同时,基础自身还应满足安全性、适用性和耐久性方面的功能要求。

基础底面到地面的距离,称为基础的埋置深度。根据埋置深度的不同,可将基础分为浅基础和深基础两类。通常把埋置深度  $d$  小于、等于 5 m 或  $d$  小于、等于基底宽度  $b$  的基础,称为浅基础,如柱下单独基础[图 1-3(a)]、墙下条形基础、筏形基础、箱形基础等;而对于浅层土质不良,需要利用深处良好地层的承载能力,采用专门施工方法和机具建造的基础,称为深基础,如桩基础[图 1-3(b)]、沉井基础、沉箱基础和地下连续墙等。

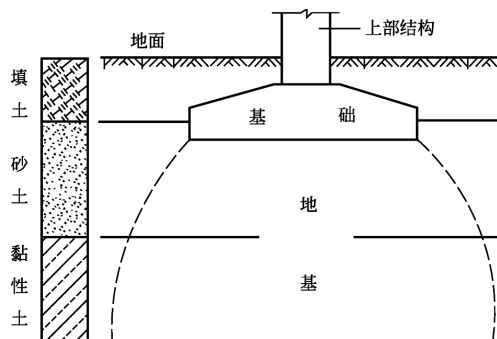


图 1-2 土层、地基和基础之间的关系

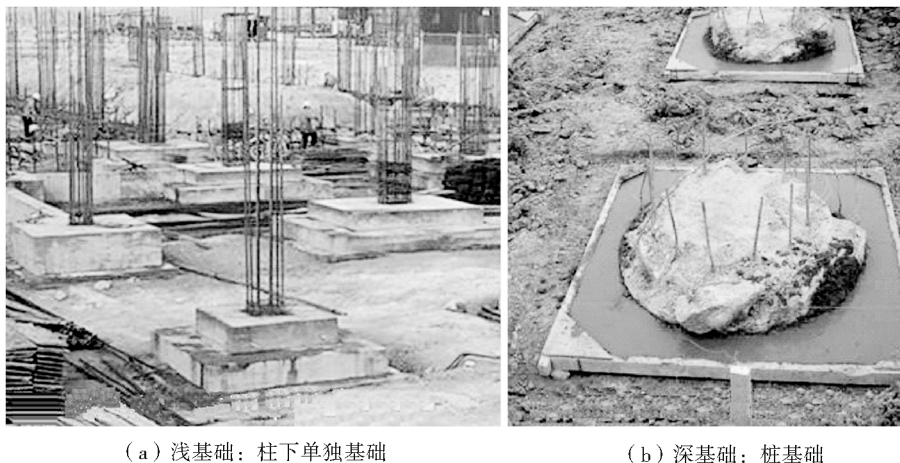


图 1-3 典型的基础型式

基础的设计和施工,不仅要考虑上部结构的具体情况和要求,还要注意建筑场地土层的具体条件。基础和地基相互关联,不能忽视地基情况孤立考虑基础的设计和施工。虽然建筑物的地基、基础和上部结构的功能不同,研究方法各异,但是在荷载作用下,它们是彼此联系、相互制约的一个整体。设计、施工一定要有整体思想、全局观念,全面地加以考虑,才能收到理想的效果。

## 第三节 地基基础的重要性

万丈高楼从地起,地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分,是房屋的根基,非常重要。地基基础的重要性体现在以下两个方面。

### 一、占用相当的造价和工期

基础工程位于地下或水下,施工难度较大,造价、工期和劳动力消耗量在整个工程中所占的比重也较大。一般来说,我国多层建筑基础造价超过总造价的 25%,工期占总工期的 25%~30%。如果是人工地基或深基础,造价比重更大。高层和超高层建筑,还要增加基坑开挖和支护费用。

### 二、属于隐蔽工程

当基坑回填后,基础埋于地下,属于隐蔽工程。其是施工管理或监理的重点工作之一,通常被确定为质量控制点。一旦发生地基事故,因在建筑物下方,整改不易且后果严重。所以,地基基础的勘察、设计和施工质量,直接关系到建筑物的安危。一般来说,在工程事故中,以地基基础事故为最多。

由于地基基础的重要性,所以设计时必须坚持因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则;根据岩土工程勘察资料,综合考虑结构类型、材料情况与施工条件等因素,区分不同设计等级,精心设计。

根据地形复杂程度、建筑物规模和功能特征,以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)将地基基础设计分为甲级、乙级和丙级三个设计等级,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)将桩基设计也分为甲级、乙级、丙级三个等级。

各类建筑物的地基计算均应满足承载力计算的要求;设计等级为甲级、乙级的建筑物还应按地基变形

条件设计,以防止因地基过度变形而致上部结构的破坏和裂缝。在满足承载力计算的前提下,应按控制地基变形的正常使用极限状态设计。设计等级为丙级的建筑物,一部分需要考虑地基变形,另一部分可不考虑地基变形。

## 第四节 本学科的发展简况

土力学与地基基础这门学科的发展经历了漫长的历史过程,是人类在长期的生产实践中的知识和经验积累。它既是一门古老的工程技术,又是一门新兴的应用学科。

### 一、古代经验积累

早在几千年以前,人类就已经懂得利用土进行建筑,如西安半坡村遗址,就发现了土台和石础存在,这是古代的地基基础。陕西考古工作者近年对西安附近的阿房宫遗址进行了考古发掘,发现了大型的夯土台基。夯土台基是人工夯筑的、高于周围地面的土台,房屋修建在该夯土台基上,一方面显示了建筑物的高大、雄伟,另一方面有利于及时排除雨水。夯土台基作为建筑物的地基,属于人工地基。古代宫殿和庙宇建筑大多采用夯土台基这种人工地基,如北京故宫的太和殿、乾清宫等都是坐落于高大的台基之上的。如图 1-4 所示为四川平武县报恩寺大殿,它同样坐落于高台上。

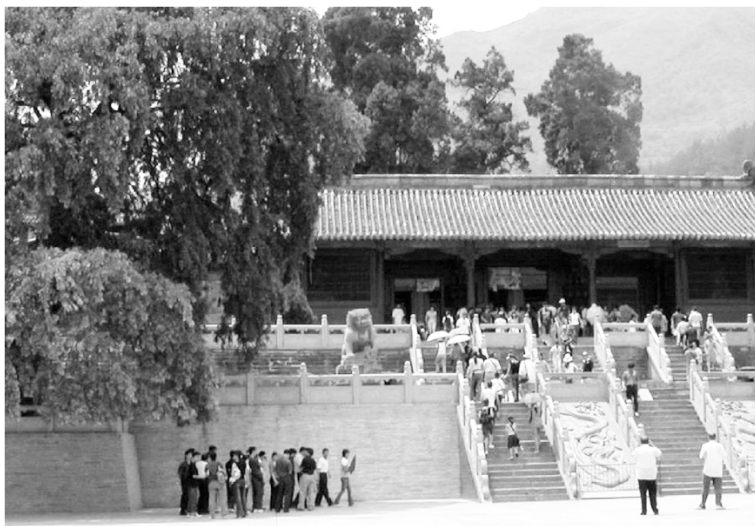


图 1-4 四川平武县报恩寺大殿

古代建筑一般以木结构为主,与现代的钢筋混凝土结构不同,不能将承重柱埋于地面以下。木柱若埋于土中或与土直接接触,会因为潮气作用而腐朽,影响耐久性。因此,在地基和木柱之间通常都要设置露出地面的石础(或石礮、础石、礮墩)。《鲁班经》曰:“……使过步梁、眉梁、眉枋,或使斗礮者,皆在地盘上停当。”“石礮切须安得正,地盘先要镇中心。”石础或石礮,又称“垫基石”或“垫脚石”,它是柱的基础,如图 1-5 所示。石础承受屋柱压力,并将压力传给地基。凡是木架结构的房屋,可谓是柱柱皆有础,缺一不可。石础的另一作用是使柱脚与地坪隔离,起到防腐作用,提高结构的耐久性。

石础用作一般木结构的基础,现代仍然采用。对于大型的宫殿或寺庙建筑,每柱传递的力相当大,需要扩大基础的底面积,减小基底压力。为此,古人发明了须弥座,代替石础。须弥座,又称“金刚座”,一般用砖或石砌成(实际上形成砖石砌体),上有凹凸线脚和纹饰,具有一定的艺术性,如图 1-6 所示。金刚座作为古代的建筑基础,类似于现代的无筋扩展基础;它还可以作为佛像的底座(基础),在寺庙中都能见到。佛像底座(基础)也可以做成莲花状,通常称为“莲花座”。更大规模的建筑一般需要采用几个须弥座相叠形成的基础,如北京故宫三大殿,山东曲阜孔庙大成殿,等。



图 1-5 柱下石础(础石)

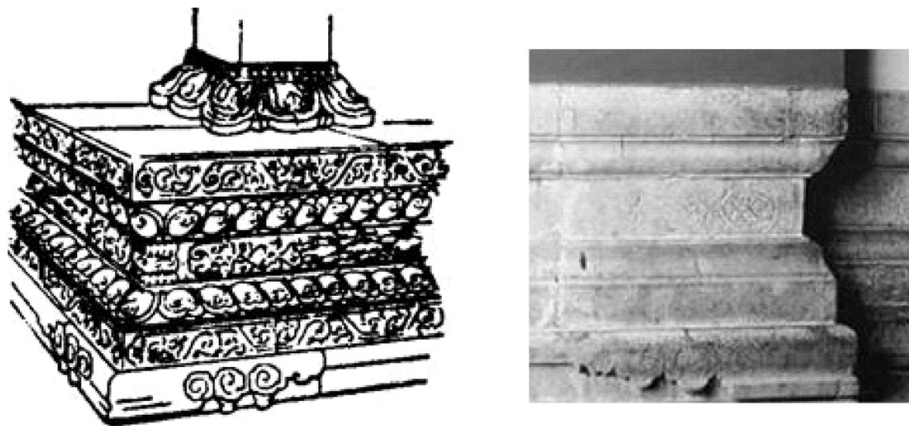


图 1-6 须弥座

两周开始修建的万里长城(秦长城),隋唐时期修建的京杭大运河、赵州桥,以及古埃及金字塔,古罗马罗托桥等著名工程,都有坚固的地基与基础,历经地震、强风考验,留存至今。四川自贡等地的先民采用泥浆护壁钻孔法打盐井,西北地区在黄土中修建窑洞,以及在建筑中采用料石垫基、木桩、石灰桩、灰土地基等做法,证明古代劳动人民在长期的实践中,积累了有关土力学与地基基础方面的宝贵知识和经验,取得了相当高的土木工程成就。为后来的总结提高,上升为科学理论奠定了基础。

## 二、西方科学研究

18 世纪欧洲工业革命开始以后,加快了铁路、水利设施、市政工程的建设步伐,出现了许多与地基土有

关的问题,需要人们解决。土力学研究成为当时的课题之一,并涌现出一批土力学研究的先驱。

1773年,法国学者库仑(Coulomb)根据对土的试验研究,创立了著名的土的抗剪强度公式,同时还提出了挡土墙的滑楔理论,建立了土压力计算公式。1857年,英国人朗肯(Rankine)研究了半无限体的极限平衡,通过与库仑不同的假定,提出了另一种土压力理论。这对后来土体强度理论的发展起到了很大的促进作用。此外,1856年,法国工程师达西(Darcy)研究了砂土的渗透性,根据试验结果,提出了达西定律,用来分析土中渗流问题。1885年,法国人布辛奈斯克(Boussinesq)求得半无限弹性体在垂直集中力作用下,物体内任意一点的应力和位移的理论解答,这既是弹性力学的研究成果,又是地基附加应力计算和地基沉降计算的理论基础。以上这些理论和研究成果,对土力学的发展起到了很大的推动作用。

20世纪初,土力学的研究取得了较快发展。1920年,德国学者普朗特(Prandtl)根据塑性极限平衡理论,得到地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。1922年,瑞典工程师费兰纽斯(Fellenius)为解决铁路坍方问题,研究出土坡稳定分析方法。1924年,雷斯诺(Reissner)对普朗特极限承载力公式进行了修正。随后,太沙基也在普朗特研究的基础上提出了新的假定,得到地基土的极限承载力公式。正是因为卡尔·太沙基(Karl Terzaghi),才使土力学从力学中分离出来成为一门独立的学科。

### 三、当今独立学科

卡尔·太沙基,美籍奥地利人,现代土力学的创始人,哈佛大学教授。在总结前人成果的基础上,他于1925年用德文撰写了第一本土力学专著《建立在土的物理学基础上的土力学》,使土力学正式成为一门独立学科,并培育了一批学术骨干。1936年召开第一届国际土力学与基础工程会议——Soil Mechanics & Foundation Engineering。在其会议中提交了大量的论文、研究报告和技术资料。此后,每隔4年左右就会召开一次土力学与基础工程国际盛会,学术氛围空前活跃,学科逐步走向成熟。20世纪70年代以后,国际会议将Soil Mechanics & Foundation Engineering改为Geotechnique(土工学)。

中华人民共和国于1962年召开全国第一届土力学与基础工程学术会议,此后,广大土力学工作者,在这一学科领域内辛勤耕耘。每隔几年就有一次关于土力学与基础工程全国性的学术交流、讨论,这对促进国内土力学与地基基础的教学、科研起到了积极的作用。半个多世纪以来,广大学者和工程技术人员在该领域取得了令人瞩目的研究成果,不少人成为该领域的专家和学科带头人。

随着试验仪器设备的现代化,土工测试手段有了长足的发展;计算机技术,给土力学的发展带来新的机遇,也使基础工程不论在设计环节,还是在施工技术方面都得到了迅速发展。人们已不满足于将地基、基础、上部结构三者各自脱离,分开计算的传统做法。对于复杂的建筑结构,人们将上部结构—地基—基础之间的共同作用统一考虑并进行计算,使内力、变形计算更切合实际。新的基础设计理论与施工技术也得到了迅速发展,比如出现了补偿性基础、桩—筏基础、桩—箱基础、巨型沉井基础等新的基础型式;在地基加固处理方面,诸如强夯法、沙井预压法、振冲法、深层搅拌法、压力注浆等方法,都得到了发展与完善。

虽然土力学与基础工程的理论、试验方法和施工技术都得到了迅猛的发展,达到了一定的高度,但工程实践中仍然会不断出现新的问题,等待人们去研究、去探索。实际工程问题既解决了经济效益和社会效益,同时又推动技术的进步和学科的发展。展望未来,土力学与基础工程的理论与实践将以更快的速度向前发展,并为人类的未来做出更大的贡献。



### 复 习 题

1. 什么是工程上所说的“土”?
2. 何谓地基? 其如何分类? 它起什么作用?

3. 建筑物对地基有什么要求？
4. 什么是基础？它与地基之间有什么联系？
5. 地基基础的重要性如何体现？
6. 地基失效和基础失效的主要原因有哪些？它们各有什么危害？
7. 古代的柱础石、须弥座为什么不直接埋入地下？



## 第二章 工程地质概述

第一节 地质作用与地质构造

第二节 岩石的成因类型

第三节 土的成因类型

第四节 不良地质条件

第五节 地下水与土的渗透性

## 第一节 地质作用与地质构造

因为各类建筑物和构筑物无不建造于地球表面上,所以它们安全与否和工程地质关系密切。地球自形成起至今约 50 亿年的历史,在漫长的地质年代里,经历了一系列的演变过程,形成了各种类型的地质构造和地形地貌,以及复杂多样的岩石和土。

### 一、地球的组成介绍

地球是太阳系的八大行星之一,形状像扁球体,平均半径约 6 400 km。从外至内分为地壳、地幔和地核三个层圈。

地壳为地球层圈的最外层,是由岩石组成的硬壳。其底层为莫霍洛维奇界面。大陆上地壳平均厚度为 35 km,海底地壳平均厚度为 6 km。根据成分不同,地壳可分为上、下两层:上层为花岗岩层,富含硅和铝,又称“硅铝层”;下层为玄武岩层,富含硅和镁,又称“硅镁层”。表面层因受大气、水、生物的作用,形成土壤层、风化壳和沉积层,建筑上的土就位于这一层。

地幔为地球内部构造的一个层圈,位于地壳以下,地核以上,又称“中间层”。地幔的下界在 2 900 km 深处,其组成物质具有固态特征。

地核为地球内部构造的中心层圈,位于地幔以下到地球中心的部分。地震波在该处的传播速度与在高压状态下铁的传播速度相等,据此推测地核可能是由高压状态下的铁、镍成分的物质所组成的,因横波不能通过,故疑为液态。

### 二、地质作用的概念

建筑物场地的地形、地貌和组成物质的成分、分布、厚度及特性取决于地质作用。所谓地质作用是指改变地球表面地貌形态,改变组成地壳的物质(岩石)成分与构造,破坏原来的岩石以及形成新的岩石等的自然作用。根据能量来源的不同,地质作用可分为内力地质作用和外力地质作用。

#### 1. 内力地质作用

内力地质作用一般认为是由于地球自转产生的旋转能和放射性元素蜕变产生的热能等引起地壳物质成分、内部构造,以及地表形态发生变化的地质作用,如岩浆活动、地壳运动(构造运动)、变质作用等。

##### (1) 岩浆活动。

岩浆是存在于地壳以下深处,由在高温(800~1 200 °C)、高压下的复杂硅酸盐熔融体、金属硫化物、硫化物和富含挥发性成分组成的物质。岩浆活动可使岩浆沿着地壳薄弱地带上升侵入地壳或喷出地表。岩浆冷凝后生成的岩石,称为岩浆岩。

##### (2) 地壳运动。

地壳运动是指由地球内力引起的地壳内部物质缓慢变化的机械运动。它使地球表面海陆发生上拱和下拗,形成大型的构造隆起和凹陷,并使岩层发生各种形态的褶皱和断裂。地壳运动按照运动方式可以分为水平运动和升降运动。水平运动是指组成地壳的物质沿平行于地球表面方向的运动,这种运动使地壳受到挤压、拉伸或平移,甚至旋转,如相邻块体分离、剪切、错开,它使岩层产生褶皱、断裂,形成峡谷、盆地等地质现象。升降运动是指组成地壳的物质沿垂直于地球表面方向的运动,主要表现为地壳上升或下降,如海洋和陆地的变化,地势高、低的改变。

### (3) 变质作用。

在岩浆活动和地壳运动过程中,原岩(原来生成的各种岩石)处在特定的地质环境中(高温、高压及渗入挥发性物质如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  等),由于物理和化学条件的改变,使其在固态下改变了矿物成分、结构和构造,从而生成另一种新类型岩石的过程,称为变质作用。经过变质作用形成新的岩石称为变质岩。简言之,变质作用就是岩石在风化带以下,受温度、压力和流体物质的影响,在固态下转变成新的岩石的作用。

## 2. 外力地质作用

外力地质作用是由于太阳辐射能和地球重力位能引起的地质作用。它是指地壳的表层在气温变化、雨雪、山洪、河流、湖泊、海洋、冰川、风、生物等的作用下,使地壳不断地被风化、剥蚀,将高处物质搬运到低洼处沉积下来的过程。外力地质作用的方式可以分为:风化作用、搬运作用和沉积作用等。

### (1) 风化作用。

外力(包括大气、水、温度、生物等)对原岩发生机械破碎和化学变化的作用,统称为风化作用。例如,昼夜和季节的气温变化,可使地表各种原岩不断发生热胀脱离、冷缩开裂等机械破碎;水和水溶液的存在,可使原岩不断发生水化、氧化、碳酸盐化、溶解以及裂隙水冻胀引起崩裂等化学变化和机械破碎;动植物和微生物的活动,也可使原岩不断发生机械破碎和化学变化。

### (2) 搬运作用。

地表风化和剥蚀作用的产物包括碎屑物质和溶解物质,它们除了少量残留在原地外,大部分都被运动介质搬运走了。自然界中的风化、剥蚀产物被运动介质从一个地方转移到另一个地方的过程称为搬运作用。搬运方式分为机械搬运和化学搬运两种。机械搬运主要是推移、跃移和载移等方式,化学搬运主要是胶体溶液和真溶液等方式。

### (3) 沉积作用。

原岩风化产生的屑物质,在雨雪水流、山洪急流、河流、湖浪、海浪、冰川或风等外力作用下,被剥蚀、搬运到大陆低洼处或海洋底部沉积下来,在漫长的地质年代里,沉积的物质逐渐加厚,在覆盖压力和含有碳酸钙、二氧化硅、氧化铁等胶结物的作用下,使起初沉积的松软碎屑物质逐渐压密、脱水、胶结、硬化,生成新的岩石的过程称为沉积作用。沉积过程中形成的岩石称为沉积岩。未经成岩作用所生成的沉积物,就是通常所说的土(图 2-1)。



图 2-1 沉积物和沉积作用

外力地质作用过程中的风化、剥蚀、搬运及沉积,是彼此密切联系的。风化作用为剥蚀作用创造了条件,而风化、剥蚀、搬运又为沉积作用提供了物质的来源。剥蚀作用与沉积作用在一定时间和空间范围内,以某一方面的作用为主导,例如,河流上游地区以剥蚀为主,下游地区以沉积为主;山地以剥蚀占优势,平原以沉积占优势。

内力地质作用与外力地质作用彼此独立而又相互依存,但对地壳的发展而言,内力地质作用一般占主导地位。它引起地壳的升降,形成地表的隆起和凹陷,从而改变了外力地质作用的过程。一般来说,地壳上升与剥蚀作用相互联系,而地壳下降则与沉积作用相互联系。因此,地壳的升降运动造成了地表起伏的基

本轮廓,而剥蚀与沉积又力图破坏起伏不平的地表形态,将其削平补齐。

在地质作用下,地壳形成了各种类型的地形,称为地貌。地表形态可按其不同的成因划分为各种相应的地貌单元,如山地、丘陵、高原、平原、盆地等。地貌单元下部原来生成的、具有一定连续性的岩石称为基岩,而覆盖在基岩上的各种成因的沉积物称为覆盖土。山区覆盖的土层较薄,基岩常露出地表,而平原地区覆盖的土层则往往很厚。

### 三、地质年代分类

岩石与土的性质与其生成的地质年代有关。一般来说,生成年代越久远,岩土的性质越好。所谓地质年代就是指地壳上不同年代的岩石在形成过程中的时间和顺序。其又分绝对地质年代和相对地质年代两种。绝对地质年代由放射性物质测定,它是根据岩层中放射性同位素蜕变产物的含量加以测定的,可明确说明岩石生成距今的年数;相对地质年代主要依据古生物学方法加以划分,说明岩石在生成时间上的新老顺序。

相对地质年代分为隐生宙和显生宙,宙共分为五大代,每代分若干纪,每纪又细分为若干世,每世再分若干期。隐生宙细分为太古代和元古代,显生宙细分为古生代、中生代和新生代。

①太古代。距今 24 亿~45 亿年。晚期有菌类和低等蓝藻存在,但可靠的化石记录不多。

②元古代。距今 5.7 亿~24 亿年。蓝藻和菌类开始繁盛。至末期,无脊椎动物出现。

③古生代。距今 2.3 亿~5.7 亿年

a. 寒武纪。距今 5.0 亿~5.7 亿年。红藻、绿藻等开始繁盛。

b. 奥陶纪。距今 4.4 亿~5.0 亿年。藻类广泛发育,海生无脊椎动物非常繁盛。

c. 志留纪。距今 4.0 亿~4.4 亿年。至晚期,原始鱼类出现。

d. 泥盆纪。距今 3.5 亿~4.0 亿年。昆虫和原始两栖类动物出现,鱼类发展。

e. 石炭纪。距今 2.85 亿~3.5 亿年。蕨类大量繁荣,两栖类动物进一步发展,爬行类动物出现。

f. 二叠纪。距今 2.3 亿~2.85 亿年。裸子植物开始发展。

④中生代。距今 6 700 万~2.3 亿年

a. 三叠纪。距今 1.95 亿~2.3 亿年。裸子植物进一步发展,哺乳类动物出现。

b. 侏罗纪。距今 1.37 亿~1.95 亿年。苏铁、银杏、松柏繁荣,巨大爬行类(恐龙)动物发展,鸟类出现。

c. 白垩纪。距今 6 700 万~1.37 亿年。被子植物大量被发现。

⑤新生代。距今 <6 700 万年

a. 早第三纪。距今 2 500 万~6 700 万年。它分为古新世、始新世、渐新世。植物和动物逐渐接近现代。

b. 晚第三纪。距今 100 万~2 500 万年。它分为中新世和上新世。至晚期,人类出现。

c. 第四纪 Q。距今 100 万年以内。

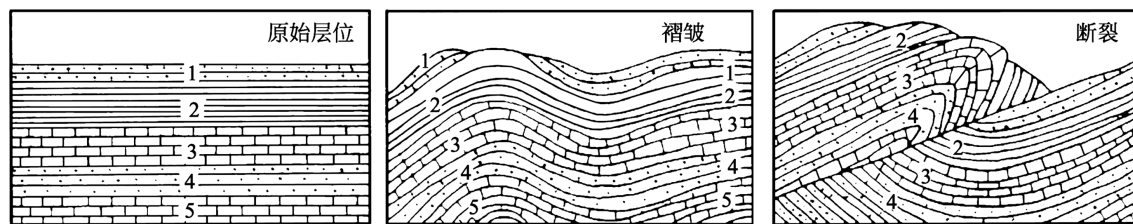
在每一个地质年代中,都划分有相应的地层。对应于地质年代单位,地层单位分为界、系、统和阶(层)。在新生代中,距今最近的一个纪为第四纪。在岩土勘察报告中会提到地基土的地质年代或地层单位,其对应关系见表 2-1 所列。

表 2-1 第四纪地质年代(地层单位)细分表

纪(系)	世(统)		距今年代/万年
第四纪(第四系)Q	全新世(全新统)Q <sub>h</sub> 或 Q <sub>1</sub>		<2.5
	更新世(更新统)Q <sub>p</sub>	晚更新世(上更新统)Q <sub>3</sub>	2.5~15.0
		中更新世(中更新统)Q <sub>2</sub>	15.0~50.0
		早更新世(下更新统)Q <sub>1</sub>	50.0~100.0

## 四、地质构造类型

地壳中的岩体由于受到地壳运动的作用而发生的连续或不连续的永久性变形所形成的种种构造形态，统称为地质构造。地质构造与建筑场地的稳定性密切相关。常见的地质构造有褶皱和断裂两种基本类型，如图 2-2 所示。



1, 4—砂岩; 2—页岩; 3, 5—石灰岩。

图 2-2 地质构造类型

### 1. 褶皱构造

褶皱构造，也叫“褶曲构造”，是成层岩石受力作用水平形状遭受破坏而发生波状弯曲，但连续性没有受到破坏的一种构造变形，如图 2-3 所示。

褶皱构造的基本单元是褶曲，它是褶皱中的一个弯曲，如图 2-4 所示。向上隆起的部分叫背斜褶皱，向下弯曲的部分叫向斜褶皱。弯曲的中心部分叫核部，两侧部分叫翼。背斜褶皱的核部由较老的岩层组成，而且新岩层对称重复出现在老岩层的两侧，它在横剖面上的形态呈向上凸起状；向斜褶皱的核部由新岩层组成，翼部由老岩层组成，且对称重复出现在新岩层的两侧，它在横剖面上的形态呈向下凹曲状。



图 2-3 褶皱构造

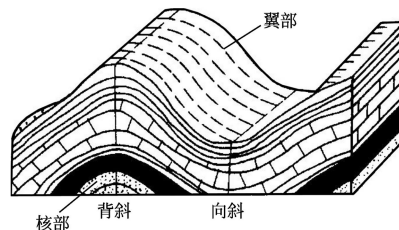


图 2-4 褶曲

在褶曲山区，岩层遭受的构造变动常较大，故节理发育，地形起伏不平，坡度也较大。坡面倾斜方向与岩层倾斜方向相同的山坡称为顺向坡，其稳定性一般与岩层性质、倾角大小和有软弱结构面有关；坡面倾斜方向与岩层倾斜方向相反的山坡称为逆向坡，其稳定性较好，如图 2-5 所示。对于顺向坡，如果施工开挖切去斜坡或坡脚，则上部岩体可能沿岩层层面发生滑动，此时应该修建挡土结构（挡土墙）或做护坡工程。如果在逆向坡的 A 处修建房屋或构筑物，则无滑坡隐患存在。

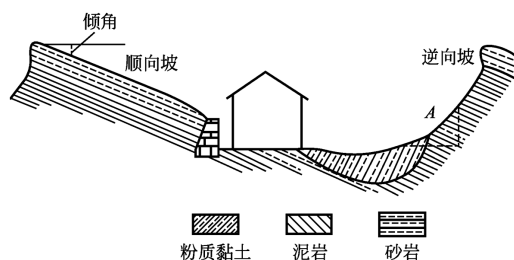


图 2-5 顺向坡与逆向坡

## 2. 断裂构造

在地壳运动的作用下,岩层丧失了原有的连续完整性,在其内部产生了许多断裂面,统称为断裂构造,如图 2-6 所示。根据断裂面两侧岩层(岩体)有无显著相对位移,断裂构造可分为节理和断层两种类型。

### (1) 节理。

沿断裂面两侧的岩体未发生位移或仅有微小错动的断裂构造称为节理,如图 2-7 所示。节理多半成群出现,大小不一,有的相互平行,有的纵横交错。它是矿液和地下水的良好通道和沉淀场所,也是岩石容易风化的地带。



图 2-6 断裂构造



图 2-7 节理

### (2) 断层。

沿断裂面两侧的岩体发生了显著位移的一种断裂构造称为断层。断裂面又称“断层面”,断层面两侧的岩块称为“盘”。如果断层面是倾斜的,则断层面以上的一盘称为上盘,断层面以下的一盘称为下盘。根据断层两盘的相对移动的性质,断层可以分为正断层、逆断层和平移断层三类,如图 2-8 所示。上盘相对下降,下盘相对上升的断层为正断层;上盘相对上升、下盘相对下降的断层为逆断层;断层面竖直,两盘直立,在水平方向发生相对错动,称为平移断层。

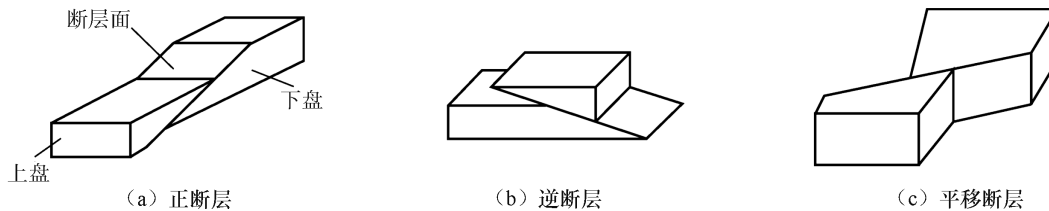


图 2-8 断层分类

地壳中的断层活动,往往不是局限在一个断层面上进行,而是沿着断裂面运动的。因此,断层不是一个单纯的面,而是具有一定宽度的带。断层规模越大,这个带就越宽,破坏程度也越严重。断层规模大小不一,小的几米,大的几百公里,甚至数千公里。断层活动,往往会导致地震,因此不宜在断层上建造永久性建筑物或构筑物。

## 第二节 岩石的成因类型

组成地壳的岩石,都是在一定的地质条件下,由一种或几种矿物自然组合而成的矿物集合体。集合体中的这些矿物称为造岩矿,其成分、性质及其在各种因素下的变化,都会对岩石的强度和稳定性产生影响。

### 一、岩石的矿物成分

矿物是组成岩石的细胞,是地壳中具有一定化学成分和物理性质的自然元素和化合物。地壳上已发现的矿物有 3 000 多种,但常见的造岩矿物仅 30 多种,按生成条件可分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物一般由岩浆冷凝而成,如石英、长石、辉石、角闪石、云母等。石英的化学成分为二氧化硅( $\text{SiO}_2$ ),三方晶系,晶体呈六方柱状,颜色不一。例如,无色透明的晶体称为“水晶”。长石为长石族矿物的总称,为钾、钠、钙以及钡的铝硅酸盐;长石族矿物是分布最广的构造矿物,见于各种岩石中。辉石为辉石族矿物的总称,是镁、铁、钙、钠等的硅酸盐或铝硅酸盐。角闪石为角闪石族矿物的总称,是镁、铁、钙、钠等的硅酸盐或铝硅酸盐,在成分上以含(OH)区别于辉石族。云母为云母族矿物的总称,为钾、镁、锂、铝等的铝硅酸盐,单斜晶系,集合体为鳞片状,商业上多称“千层纸”。

次生矿物通常由原生矿物风化产生或由水溶液中析出产生。例如,由长石风化形成高岭石,由辉石或角闪石风化形成绿泥石,从水溶液中析出方解石和石膏。高岭石因最初在我国江西景德镇附近的高岭地方发现而得名,常成致密块状集合体,又称“高岭土”或“瓷土”;绿泥石为绿泥石族矿物的总称,化学成分( $\text{Mg, Al, Fe}_6[(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ );方解石的化学成分为  $\text{CaCO}_3$ ;石膏的化学成分为  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

### 二、岩石的成因类型

自然界中的岩石种类繁多,按其形成原因(成因)可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三类。

#### 1. 岩浆岩

岩浆岩,又称“火成岩”,是由地球内部的岩浆侵入地壳或喷出地面冷凝后形成的岩石。岩浆在地表以下冷凝形成的岩浆岩称为侵入岩,岩浆喷出地表后冷凝形成的岩浆岩称为喷出岩。

岩浆岩的矿物成分有两类:一类是石英、正长石、斜长石、云母等含铝硅酸盐的矿物,为浅色矿物;另一类是角闪石、辉石、黑云母、橄榄石等含铁镁硅酸盐的矿物,为深色矿物。岩浆岩的结构,根据矿物的结晶程度、颗粒大小和均匀程度,分为显晶质、隐晶质、玻璃质和斑状四种结构。显晶质结构是岩石中的矿物以肉眼可见的结晶颗粒为主所组成的结构,为侵入岩所特有;隐晶质、玻璃质和斑状结构是岩浆喷出地表后迅速冷凝而成的,为喷出岩所特有。

岩浆岩可根据二氧化硅的含量进行分类:第一类,超基性岩( $\text{SiO}_2$  含量  $< 45\%$ );第二类,基性岩( $\text{SiO}_2$  含量  $45\% \sim 52\%$ );第三类,中性岩( $\text{SiO}_2$  含量  $52\% \sim 66\%$ );第四类,酸性岩( $\text{SiO}_2$  含量  $> 66\%$ )。

常见的岩浆岩有花岗岩、花岗斑岩、正长岩、闪长岩、安山岩、辉长岩、玄武岩等。

花岗岩,也称“花岗石”,俗称“麻石”,是分布最广的侵入岩。其构造致密、强度高、密度大、吸水率极低、质地坚硬、耐磨,属酸性硬石材。因其不易风化,外观色泽可保持百年以上,所以广泛应用于室内外的地面、墙面,也应用于纪念性雕像(图 2-9)。

玄武岩是分布最广的基性喷出岩。在我国西南诸省有二叠纪玄武岩,东部有第三纪及第四纪玄武岩。如图 2-10 所示为峨眉山金顶附近的二叠纪玄武岩,其色深、质硬。玄武岩除本身可用作优良耐磨、耐酸的铸石原料外,其气孔中往往充填有铜、钴、冰洲石等有用矿产。其中,冰洲石的化学成分为  $\text{CaCO}_3$ ,无色透

明且具有显著的双折射现象,是光学仪器中的一种重要材料。



图 2-9 花岗岩雕像



图 2-10 峨眉山二叠纪玄武岩

## 2. 沉积岩

沉积岩是在地表条件下,由原岩(岩浆岩、变质岩和早期的沉积岩)先经风化剥蚀作用形成的岩石碎屑、溶液析出物或有机质等,然后经流水、风、冰川等搬运到陆地低洼处或海洋中沉积,再经成岩作用(压紧或化学作用硬结)而形成的岩石。沉积岩分布广,约占地球表面积的 3/4。

沉积岩的成分包括矿物和胶结物。矿物中既有石英、长石、云母等原生矿物,也有方解石、白云石、石膏、黏土矿物等次生矿物。其中,黏土矿物、方解石、白云石是沉积岩所特有的,是区别于岩浆岩的一个重要特征。胶结物按其硬度与抗风化力的大小,有硅质( $\text{SiO}_2$ )、钙质( $\text{CaCO}_3$ )、铁质( $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )和泥质四种。沉积岩的结构,按成因和组成物质不同,分为碎屑结构、泥质结构、化学结构和生物结构四种。

沉积岩的构造最显著的特征是具有层理。这是它区别于其他岩类最明显的特征之一。所谓层理,就是在垂直于沉积岩层的方向上,由于沉积过程中沉积环境的变化,而使沉积物质成分、颗粒大小、形状或颜色的不同而显示出的成层现象。如图 2-11 所示为典型层理构造,层与层之间的接触面叫层面,上、下层面之间的垂直距离叫岩层的厚度。



图 2-11 层理构造

常见的沉积岩有砾岩、砂岩、石灰岩、凝灰岩、泥岩、泥灰岩、页岩等。

砂岩是颗粒直径为 0.1~2 mm 的砂粒经胶结而成的碎屑沉积岩,分布很广。如图 2-12 所示为唐代在砂岩上开凿的大佛石像——乐山大佛,该处砂岩为红色,较易风化。

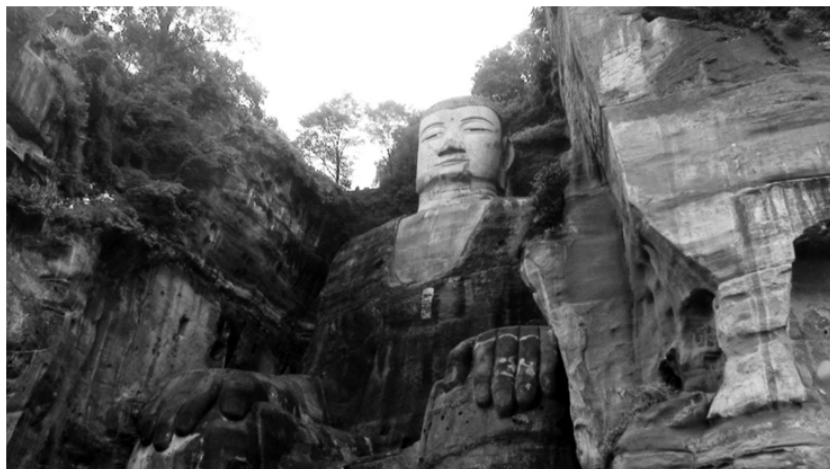


图 2-12 砂岩大佛石像——乐山大佛

石灰岩,俗称“青石”,是一种在海、湖盆地生成的灰色或灰白色沉积岩,如图 2-13(a)所示。它是烧制石灰的主要原料,在冶金、水泥、玻璃等工业及建筑行业中有广泛的用途。石灰石经过水溶蚀后,形成多孔且玲珑剔透的结构,太湖石是其代表,如图 2-13(b)所示。太湖石用于庭院或园林,可叠成假山,在江南园林艺术中占有重要地位。



(a) 石灰岩



(b) 太湖石

图 2-13 石灰岩与太湖石

页岩是由各种黏土经压紧而成的黏土岩,是沉积岩中分布最广的一种岩石,页岩层理明显,沿层理易剥成薄片。页岩颜色不定,一般为灰色、褐色或黑色。其常见类型有钙质页岩、硅质页岩和碳质页岩等。页岩砖(图 2-14)已替代黏土砖,广泛用作墙体材料。

### 3. 变质岩

组成地壳的岩石因地壳运动和岩浆活动,在高温、高压和化学性活泼的物质作用下,使其发生矿物成分、结构构造改变,从而形成的新岩石,称为变质岩。

变质岩的矿物成分有两种:一种是与岩浆岩或沉积岩共有的矿物,如石英、长石、云母、角闪石和方解石等;另一种是变质岩独有的矿物,如滑石、硅线石、红柱石、蛇纹石和绿泥石等。

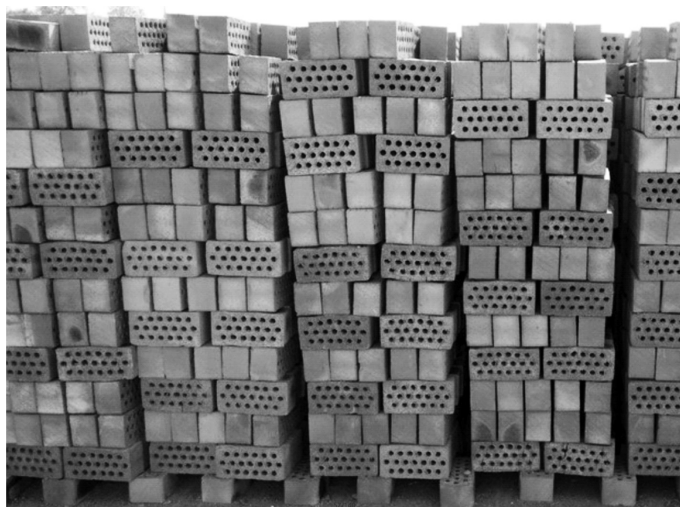


图 2-14 烧结页岩砖

变质岩的结构,多为结晶结构,与岩浆岩相似,通常加“变晶”二字以示区别。变质岩的结构有变晶结构(等粒、斑粒、鳞片)和变余结构两种。变质岩的构造分块状构造、板状构造、片状构造、片麻状构造和千枚状构造。

常见的变质岩有片麻岩、云母片岩、绿泥石片岩、大理岩、石英岩等。

如图 2-15 所示为片麻岩,是区域变质的产物。变质程度较深,因此结晶较粗。其具片麻状构造,并具花岗变晶结构和斑状变晶结构,矿物成分大致与花岗岩相近,主要是石英、长石和深色矿物(黑云母或角闪石)。由岩浆岩变质而成的称为“正片麻岩”,由沉积岩变质而成的称为“副片麻岩”。东岳泰山,又称“岱山”,是由片麻岩构成的断块山地。从松山谷底至岱顶南天门的一段盘路,俗称“十八盘”,全程 1 公里多,磴道全部采用泰山片麻岩修砌而成。



图 2-15 片麻岩

大理岩因盛产于云南大理而得名,如图 2-16 所示。它是石灰岩或白云岩受接触或区域变质作用而重结晶的产物。矿物成分主要为方解石,遇盐酸发生气泡。其具等粒的或不等粒的变晶结构,颗粒粗细不一。大理岩磨光后非常美观,既可作建筑材料,也可供艺术雕刻和装饰品之用。汉白玉是大理岩的一种,颜色洁白、细粒,质地坚硬,是上等的建筑材料。北京许多建筑(如故宫、颐和园、天安门前的华表所用的白色石材)

都用的是汉白玉。

石英岩乃区域变质岩之一,由砂岩或化学硅质岩重结晶而成。其主要矿物为石英,一般为浅色或白色,质密坚硬,但其颗粒常结成致密块状,肉眼不易区分。石英岩为很好的建筑石料,并可作耐火材料和玻璃的原料。

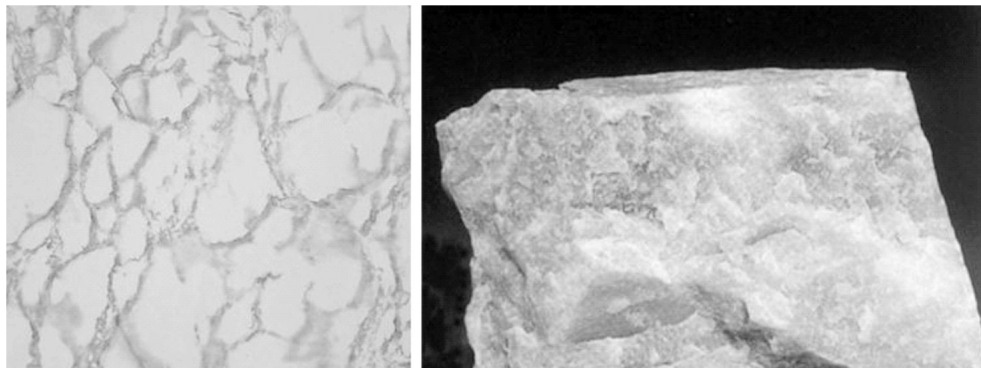


图 2-16 大理岩

### 三、三大岩类的互相转化

沉积岩、岩浆岩和变质岩是组成地球岩石圈的三大岩石,它们都是在各种地质作用下的产物,都是母岩由于所处环境不同而转化为其他类型的岩石(图 2-17)。

出露地表的岩浆岩、变质岩与沉积岩在大气圈、水圈和生物圈的共同作用下,经过风化、剥蚀、搬运作用而成为沉积物,沉积物埋藏地下浅处胶结而变成沉积岩。埋藏到地下的沉积岩或岩浆岩在温度不太高的条件下可以在基本保持固态的情况下发生变质,变成变质岩。沉积岩或变质岩一旦进入高温状态,岩石都将逐渐熔融成岩浆。岩浆在上升过程中冷却(在地下冷凝或喷出地表冷凝),从而形成岩浆岩。综上所述,三大岩石是完全可以相互转化的,它们之间不断运动、变化,完全是岩石圈自身动力作用以及岩石圈与大气圈、水圈、生物圈相互作用的结果。

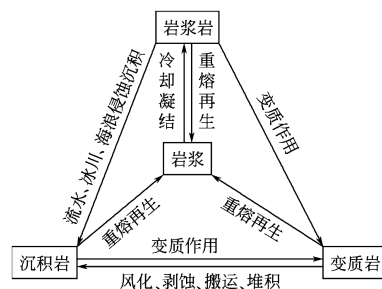


图 2-17 三大岩石的互相转化

## 第三节 土的成因类型

土是在第四纪由岩石风化、剥蚀、搬运、沉积而形成的沉积物,在地表分布极广,成因类型也很复杂。不同成因类型的土,各具有一定的分布规律、地形形态及工程性质。根据成因不同,可以将土体划分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土等类型。

### 一、残积土

岩石经风化、剥蚀,未被搬运而残留于原地的那一部分碎屑物称为残积土。而另一部分较细的碎屑已被雨水和风带走。

残积土主要分布在岩石出露的地表,经受强烈风化作用的山区、丘陵地带与剥蚀平原。其有以下几个基本特征。①残积土处于风化壳上部,向下依次为半风化、半坚硬层。②粒度成分上部较细,随深度增加而变粗。③气候条件和基岩的岩性影响其成分,在干旱地区,以物理风化为主,主要是粗碎屑物和砂,而潮湿地区则以化学风化和生物风化为主,黏粒较多。结晶类岩石风化作用下主要变为黏粒,细砂岩风化成细砂,也就是说残积土的矿物成分与下卧基岩一致。④残积土的厚度一般不超过 10 m,且不均匀,变化较大。⑤表层孔隙大、强度低、压缩性高,下层为夹碎石、砂的黏性土,强度较高。⑥残积土通常发育于宽广的分水岭地带、缓坡地带。

残积土裂隙多、无层次、不均匀,若作为建筑物地基,应当注意不均匀沉降和土坡稳定问题。

## 二、坡积土

一部分残积土,由于雨水或雪水的搬运,或由于重力的作用,沉积在较平缓的山坡或山麓处,逐渐堆积形成坡积土。它一般分布在山腰或坡脚,上部与残积土相接。

坡积土搬运距离不远,随斜坡自上而下逐渐变缓,呈现由粗而细的分选作用,矿物成分与下卧基岩没有直接关系。

坡积土厚薄不均,土质不均,孔隙大,压缩性高,如作为建筑物地基,应注意不均匀沉降和稳定性。

## 三、洪积土

洪积土是由暴雨或大量融雪形成山洪急流,冲刷搬运大量碎屑物,流至山谷出口或山前倾斜平原所形成的堆积物。

因为山洪流出谷口后,流速骤减,所以洪积土在谷口附近颗粒较粗,多为块石、碎石、砾石和粗砂,而离谷口较远的地方颗粒变细。其地貌特征表现为,靠谷口处窄而陡,离谷口后逐渐变得宽而缓,形如扇状,称为洪积扇。

洪积土离山区由近而远颗粒呈现由粗到细的分布特点,碎屑颗粒的磨圆度由于搬运距离短而仍然不佳。由于山洪的发生是周期性的,每次山洪的大小也不相同,故堆积物也随之不同。有鉴于此,洪积土常为不规则的层理构造,往往有黏性土夹层、尖灭和透镜体等存在。所谓尖灭,就是沉积土层厚度逐渐变薄而消灭的现象;透镜体则是指土层形成中间厚边缘薄或中间薄边缘厚的凸透镜或凹透镜形状的现象。

洪积土作为建筑物地基,一般认为是较理想的,但应当注意尖灭和透镜体引起的不均匀沉降。

## 四、冲积土

河流两岸基岩及其上部覆盖的松散物质被河流流水剥蚀后搬运、沉积在河床较平缓地带形成的沉积物称为冲积土。冲积土的特点是:具有明显的层理构造。由于搬运作用显著,所以碎屑颗粒磨圆度好。随着河流的流速从上游到下游逐渐减小,冲积土有明显的分选现象。上游沉积物多为磨圆粗大颗粒,中、下游沉积物大多由砂粒逐渐过渡到粉粒和黏粒。

河流冲积土在地表分布很广,主要类型有平原河谷冲积土、山区河谷冲积土、三角洲冲积土和其他沉积土等。

### 1. 平原河谷冲积土

平原河谷大多数有河床、河漫滩及阶地等单元,如图 2-18 所示。平原河流河谷不深而宽度很大,两岸形成许多阶地。冲积土比较复杂,包括河床沉积土、河漫滩沉积土、河流阶地沉积土、古河道沉积土等。

①河床沉积土。上游颗粒粗,下游颗粒细,具有一定的磨圆度。河床沉积土大多为中密砂砾,是良好的天然地基。

②河漫滩沉积土。常为上、下两层结构。下层为砂砾、卵石等粗颗粒物质,上层则为河水泛滥时沉积的

较细颗粒的土,局部夹有淤泥和泥炭层。故上层不宜作为持力层,下层是良好地基。

③河流阶地沉积土。河谷阶地是在地壳升降运动与河流侵蚀、沉积等作用相互配合下形成的。由河漫滩向上,依次为一级阶地、二级阶地等。阶地越高,形成年代越早,土质越好。

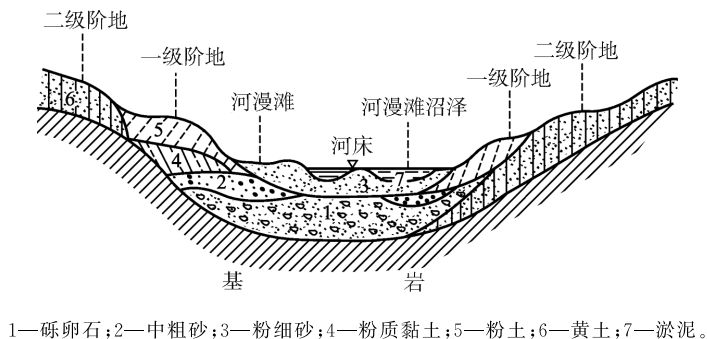


图 2-18 平原河谷横断面示例(垂直比例尺放大)

④古河道沉积土。在弯曲的河道,河水冲刷凹岸,冲蚀下来的物质带到凸岸沉积下来,河道的弯曲逐渐发展,在洪水期水流截弯取直,原来弯曲部逐渐淤塞形成古河道沉积土。这种沉积土通常存在较厚的淤泥、泥炭土,压缩性高,强度低,为不良地基。

### 2. 山区河谷冲积土

山区河谷两岸一般比较陡峭,大多仅有河谷阶地,而没有河漫滩,如图 2-19 所示。河流流速大,故沉积土颗粒较粗,多为砂粒所填充的漂石、卵石与圆砾。山区河谷冲积土的厚度通常不超过 10~15 m。山间盆地和宽谷中有河漫滩冲积土,主要为含泥的砾石,分选性较差,具有透镜体和倾斜层理构造。高阶地,往往有岩石或坚硬土层,是良好地基。

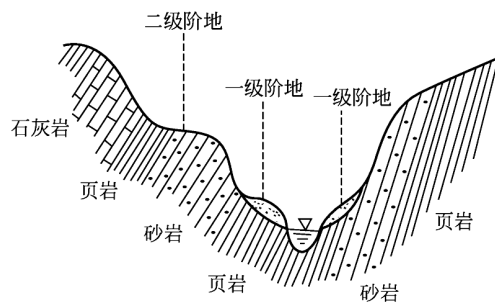


图 2-19 山区河谷横断面示例

### 3. 三角洲冲积土

河流搬运的大量物质在河流入海、入湖的地方沉积成为三角洲冲积土,厚度可达数百米以上,分布范围很广,水系密布,地下水位较高。

三角洲冲积土的颗粒较细,含水量大,多呈饱和状态,有较厚的淤泥或淤泥质土层分布,承载力较低。其最上层,由于经过长期的干燥和压实,形成一个“硬壳”层,承载力较下面土层高些,应善加利用。

### 4. 其他沉积土

除前述四种成因类型的沉积土以外,还有海洋沉积土、湖泊沉积土、冰川沉积土和风积土等类型。由于这些类型在特定地质环境中分布有限,故此处不作展开说明。

## 第四节 不良地质条件

良好地质条件对建筑工程有利,不良地质条件对建筑工程不利,甚至有可能导致建筑地基基础事故,应特别加以注意。常见的不良地质条件有节理发育、断层,滑坡、泥石流,河岸冲淤、岸坡失稳,沟渠侧移等。

## 一、节理发育、断层

相互平行的两个节理,称为一组节理。若岩层具有三组以上的节理,则称为节理发育。在节理发育的地区,节理的间距多数小于 0.4 m,它将岩体切割成小块状,破坏了岩层的整体性,增强了岩体的透水性,加速了岩体的风化速度,从而使岩体的强度和稳定性下降。节理发育的场地,一般不宜作为建筑物的地基。

形成年代越近的断层,活动的可能性越大。大的断层形成断裂带,断裂带处断层活动往往会导致地震发生。如龙门山断裂带长达数百公里,2008年5月12日发生8.0级地震;起于营口终于庐江的大断裂带,长度超过2000 km,1969年渤海7.4级地震,1975年海城7.3级地震,都与断裂带的活动有关。长度在几米至数千米的中、小断层数量较多,断层错动也会导致上方建筑物的破坏。

在断层附近建房,应按规定进行抗震设防。永久性建筑应避免横跨在断层上。

## 二、滑坡、泥石流

斜坡上有大量的岩土体,在一定的自然条件及其重力的作用下,使部分岩土体失去稳定性,沿斜坡内部一个或几个滑动面(带)整体地向下滑动的现象,称之为滑坡。滑坡可分为三个阶段,即蠕动变形阶段、滑动破坏阶段、渐趋稳定阶段。

天然山坡经历漫长的地质年代,已趋稳定。但由于人类的活动和自然环境的因素,会使原本稳定的山坡失稳而滑动,形成地质灾害,对坡上建筑和坡下建筑带来危害。

含有大量泥砂、石块等固体物质,突然爆发的、具有很大破坏力的特殊洪流,称之为泥石流。形成泥石流的条件有,地形条件(泥石流形成区、泥石流流通区、泥石流堆积区)、地质条件(松散固体物质)、水文气象条件(大量的流水)。

2010年8月7日深夜至8日凌晨,甘肃省南部地区特大暴雨,舟曲县境内山体滑坡与山洪一起形成泥石流,顺白龙江而下,舟曲县城关镇及其附近村子被冲毁。这次特大山洪泥石流冲毁房屋5000余间,造成1000多人死亡,数百人失踪,损失巨大。这为建筑选址和防灾减灾提出了值得进一步思索的问题。

## 三、河岸冲淤、岸坡失稳

平原河道往往有弯曲,凹岸受水流的冲刷坍岸,危及岸上建筑物安全。凸岸水流的流速慢,产生淤积。冲淤平衡的河道,河道稳定;冲淤不平衡的河道,河流自然改道。所谓“三十年河东,三十年河西”,因此形成如黄河故道、海河故道等废弃河道。河岸的冲淤多在砂河,尤其以黄河的干支流为甚。当含有大量泥砂的河流冲淤不平衡时,人为不让其改道,就应不断加高、加宽堤防,形成所谓的地上悬河,黄河开封段便是这种情况。

河岸、湖岸、海岸在天然条件下是稳定的,但如果在岸边建造房屋,由于建筑物的自重作用于岸边,则可能发生岸坡失稳,产生滑动,危及建筑物的安全。如果地基土质软弱,则还应考虑到在地震作用下,土的抗剪强度降低,岸坡可能产生滑动这一不利因素。

## 四、沟渠侧移

排水沟、输水渠等排灌通道中,干渠、支渠(干沟、支沟)的深度、宽度仅几米或几十米,往往不为人们所重视。但若靠近沟渠修房造屋,当地基土为含水量高、密度低的黏性土时,则建筑物地基可能向沟渠方向侧向位移,导致房屋倾斜或墙体开裂等事故。

某些大、中城市的河流、沟渠和防洪通道两侧,规划部门通常要求在50~100 m不得修建房屋。

## 第五节 地下水与土的渗透性

### 一、地下水

以各种形式存在于地壳岩石或土壤孔隙、裂隙、溶洞中的水,称为地下水。地下水的存在,会给地基基础的设计和施工带来不便,比如基坑渗水、地下室渗水等的腐蚀性对结构的不利影响。

#### 1. 地下水按埋藏条件分类

人们将透水的地层称为透水层,而相对不透水的地层称为隔水层。地下水按埋藏条件可分为上层滞水、潜水和承压水三种类型,如图 2-20 所示。

##### (1) 上层滞水。

地表水下渗,积聚在局部透水性小的黏土隔水层上的水,称为上层滞水。这种水具有自由水面,靠雨水补给,具有季节性,存在于雨季,旱季可能干涸。

##### (2) 潜水。

埋藏在地表以下第一个连续分布的稳定隔水层以上,具有自由水面的重力水,称为潜水。

潜水的分布很广,一般埋藏在第四纪松散沉积层和基岩风化层中,由雨水和河水补给,同时,因蒸发或流入河流而排泄。潜水受气候条件影响,埋藏深度各地不一,南方一些地区不足 1 m,西北黄土高原可深达 100~200 m。

##### (3) 承压水。

埋藏在两个连续分布的隔水层之间,完全充满的有压地下水,称为承压水。在地面打井至承压水层时,水便在井中上升,有时甚至喷出地表,形成自流井。由于承压水的上面存在隔水顶板的作用,它的埋藏区与地表补给区不一致,所以承压水的动态变化,受局部气候因素影响不明显。

地下水的表面称为地下水面,潜水面指自由水面,承压水面则是指承压水揭露后的稳定水面。地下水相对于基准面的高程,称为地下水位。通常以绝对高程计算,潜水面的高程称为潜水位,承压水面的高程称为承压水位。打井或钻探时,开始发现地下水的高程称为“初见水位”,经过一定时间后,水位稳定在某一高度,称为“静止水位”。

#### 2. 地下水的水质

地下水的水质和所含矿物成分或化学元素有关,可能是洁净的饮用水和工业用水,也可能是具有侵蚀性的水,从而影响结构的耐久性。

##### (1) 矿化度。

矿化度是地下水中各种元素的离子、分子和化合物的总称。通常根据一定体积的水在 105~110 ℃ 的温度下蒸干后所得残渣的质量来判定,常用单位为 g/L。根据矿化度的大小,可把地下水分为五类:①淡水,矿化度小于 1 g/L;②微咸水(弱矿化水),矿化度 1~3 g/L;③咸水(中等矿化水),矿化度 3~10 g/L;④盐水(强矿化水),矿化度 10~50 g/L;⑤卤水,矿化度大于 50 g/L。

矿泉水,又称“矿水”,是具有医疗意义或保健作用的地下水。由于水中含有一定数量的特殊化学成分、有机质和气体,或者具有较高的温度(超过 20 ℃,温泉),故能影响人体的生理作用。

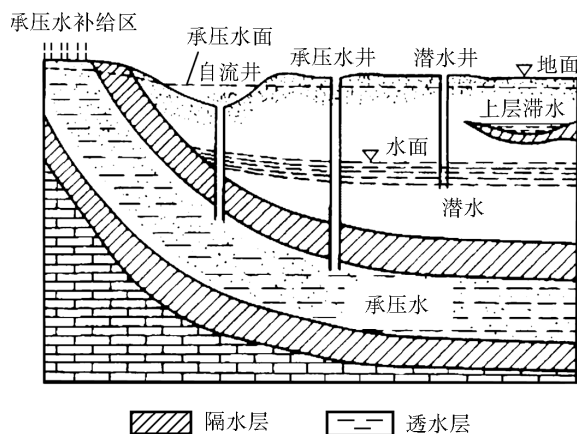


图 2-20 地下水埋藏示意

## (2) 侵蚀性。

在含有化学物质的工业废水渗入地区、硫化矿及煤矿等矿水渗入地区、盐湖与海水渗入地区等,地下水对混凝土、可溶性岩石及钢材可能有侵蚀的危害。地下水对混凝土的侵蚀性可分为结晶性侵蚀和分解性侵蚀两种基本类型。

结晶性侵蚀是指地下水含硫酸离子( $\text{SO}_4^{2-}$ )过多,渗入混凝土中与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起作用生成石膏结晶( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ),体积增大。硫酸钙还能与混凝土中的铝酸盐生成铝与钙复硫酸盐,由于生成物的体积比化合前膨胀 2.5 倍,故可致混凝土破坏。

分解性侵蚀主要是指地下水中氢离子浓度(pH 值)和侵蚀性二氧化碳含量过多时,对混凝土的破坏作用。地下水中氢离子浓度用 pH 值表示,浓度愈高,pH 值愈小。当水中 pH 值 $<7$ 时,呈酸性,地下水对混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 $\text{CaCO}_3$ 起溶解破坏作用;地下水含游离 $\text{CO}_2$ 时,能与混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起作用而生成一层 $\text{CaCO}_3$ 硬壳,但含有过多的 $\text{CO}_2$ 时,其中一些 $\text{CO}_2$ 又与碳酸钙作用生成溶解度较大的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,引起所谓的碳酸腐蚀作用。这种过多的能与碳酸钙起作用的那一部分游离二氧化碳叫作侵蚀性二氧化碳。

## 二、土的渗透性

土中水在各种势能的作用下,通过土中的孔隙,从势能高的位置向势能低的位置流动,这种现象称为土的渗流。土被水渗流通过的性能,称为渗透性。

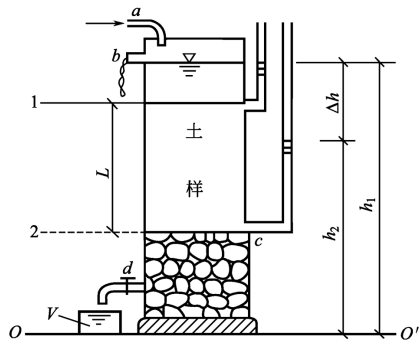


图 2-21 达西渗透性(常水头)试验装置

### 1. 达西定律

1856 年,法国学者达西(Darcy)进行了水的渗透性试验,其常水头试验装置如图 2-21 所示。该试验装置包括一个直立的开口圆筒、筒的侧壁安有测压管,上部设有溢流装置,下部设有泄水管。在圆筒底部为碎石,上覆多孔滤板。粗颗粒土试样置于滤板之上,断面面积为 $A$ ,试样长度为 $L$ ,两个测压管分别位于试样的顶部 1 和底部 2。试验时,保持上部水位不变,以 $O-O'$ 线为基准面,分别测定测压管的水头(高度) $h_1$ 和 $h_2$ ,同时测定时间段 $t$ 内通过试样渗流的水量 $V$ 。

达西通过大量试验,发现砂土的渗透规律,被人们称为达西定律:

$$v = ki \quad (2-1)$$

式中: $v$ ——水在土中的渗流速度(mm/s),它不是地下水在孔隙中流动的实际速度,而是单位时间内流过土的单位面积的水量;

$i$ ——水头梯度(或水力坡降), $i = \Delta h / L$ , $\Delta h$ 为水头差或水头损失, $L$ 为渗流途径(距离);

$k$ ——土的渗透系数(mm/s)。

对于黏性土,达西定律的公式如下:

$$v = k(i - i_0) \quad (2-2)$$

式中: $i_0$ ——起始水头梯度。

### 2. 渗透系数

渗透系数的测定可以分为现场试验和室内试验两大类。一般地讲,现场试验比室内试验得到的成果要准确可靠一些。因此,对于重要工程常需进行现场测定。现场试验常用野外井点抽水试验。各种土的渗透系数变化范围可参见表 2-2 所列。

表 2-2 土的渗透系数参考值

土的名称	渗透系数 $k$ /(mm/s)	土的名称	渗透系数 $k$ /(mm/s)
致密黏土	$10^{-6} \sim 10^{-10}$	粉砂、细砂	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
粉质黏土	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	中砂	$1.0 \sim 10^{-2}$
粉土、裂隙黏土	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	粗砂、砾石	$1.0 \sim 10^3$

(1) 实验室测定。

室内试验测定土的渗透系数的仪器和方法较多,但就原理来说可分为常水头试验和变水头试验两种。对于常水头试验,已知土样长度  $L$ , 截面面积  $A$ , 测定水头差  $\Delta h$ , 历时  $t$  的渗流量  $V$ 。因为

$$V = Qt = vAt = kiAt = kAt \frac{\Delta h}{L}$$

式中:  $Q$ ——水的流量。

所以渗透系数为

$$k = \frac{VL}{At\Delta h} \quad (2-3)$$

(2) 抽水试验

在现场钻一口抽水井,贯穿要测试  $k$  值的土层,并在该井附近设置两个观测孔,它们与抽水井的水平距离分别为  $r_1$  和  $r_2$ ,如图 2-22 所示。用水泵在井内连续均匀排水,记录抽水量,同时观测旁边观测孔内的水位变化。设  $q$  为单位时间内的抽水量( $\text{mm}^3/\text{s}$ ),  $h_1$  和  $h_2$  为观测孔水位高度,则渗透系数  $k$  的计算公式为

$$k = \frac{2.3q \lg(r_2/r_1)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \quad (2-4)$$

**【例 2-1】** 一粉砂试样长 100 mm, 截面面积 500  $\text{mm}^2$ , 试验水头差 200 mm, 10 分钟内测得渗流量为 6 000  $\text{mm}^3$ , 求该土样的渗透系数。

**【解】**

由式(2-3), 得

$$k = \frac{VL}{At\Delta h} = \frac{6\,000 \times 100}{500 \times (10 \times 60) \times 200} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ (mm/s)}$$

### 三、动水力和流砂

水在土中渗流,受到土骨架的阻力,同时也对土骨架施加推力。地下水的渗流对土单位体积内的骨架产生的力称为动水力或渗流力,用  $G_D$  表示。

如图 2-23 所示为动水力分析简图,设土样的截面面积为  $A$ , 进水口(B-B 面)与出水口(A-A 面)两测压管的水位高差为  $h$ , 它表示从进水口流过厚度为  $l$  的土样到达出水口时,必须克服整个土样内土颗粒对水流的阻力所引起的水头损失。因此,土颗粒对水流的阻力  $F_R = \gamma_w h A$ 。作用于土样总动水力  $F_D$  和土体中土颗粒对水流的阻力  $F_R$  为作用力与反作用力的关系,其大小相等,即  $F_D = F_R =$

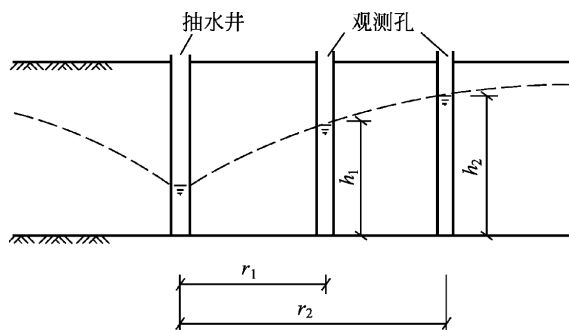


图 2-22 抽水试验

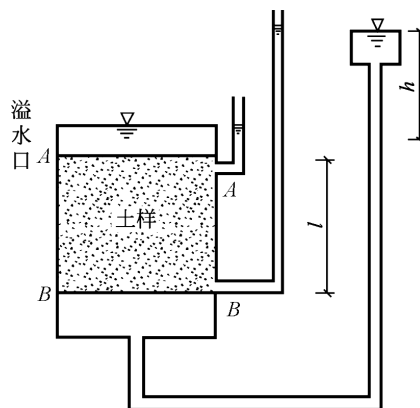


图 2-23 动水力分析简图

$\gamma_w h A$ 。渗流力或动水力为

$$G_D = \frac{F_D}{Al} = \frac{\gamma_w h A}{Al} = \gamma_w \frac{h}{l} = \gamma_w i \quad (2-5)$$

动水力是一种体积力,量纲与  $\gamma_w$  相同,常用单位为  $\text{kN/m}^3$ 。动水力的大小与水头梯度成正比,方向与渗流方向一致。 $\gamma_w$  为单位体积水的重力,或水的重度, $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ ,工程上为方便计算,通常近似地取  $\gamma_w \approx 10 \text{ kN/m}^3$ 。

当渗流方向与土的重力方向一致时(自上而下流动),动水力加大土颗粒间的压力,对土骨架起压密作用,对工程有利;当渗流方向与土的重力方向相反时(从下往上流动),动水力减小土颗粒间的压力,对土体起浮托作用,对土体的稳定不利。当地下水从下往上流动且动水力的大小等于或大于土的有效重度  $\gamma'$ (扣除浮力的重度)时,土体随水流动,这种现象称为流土或流砂。

流土或流砂产生的条件为

$$G_D = \gamma_w i \geq \gamma' \quad \text{或} \quad i \geq \gamma' / \gamma_w$$

令

$$i_{cr} = \gamma' / \gamma_w \quad (2-6)$$

称其为临界水头梯度(临界水力坡降),则流砂(流土)产生的条件成为

$$i \geq i_{cr} \quad (2-7)$$

在地下水位以下开挖基坑时,如果从基坑中直接抽水,将导致地下水从下向上流动而产生向上的动水力。当水头梯度等于或大于临界水头梯度时,就会出现流土或流砂。这种现象在细砂、粉砂、粉土中较常发生,给施工带来困难,严重时还会危及邻近建筑物的安全。

当渗流的水头梯度  $i$  很大时,会引起水流紊乱,水流会把土体粗颗粒孔隙中充填的细粒土带走,破坏土的结构,这种现象称为潜蚀。长时间的潜蚀,会在土层中形成管状空洞,故又称“管涌”。管涌可造成地表塌陷,影响建筑物、堤坝等结构的安全。



## 复习题

1. 什么是地质作用和地质构造? 地质构造有哪些基本类型?
2. 相对地质年代如何划分?
3. 对应于第四纪的地层单位是什么? 如何再向下细分?
4. 何谓节理和节理发育? 断层如何分类?
5. 岩石的成因类型有哪些? 试举例说明各类岩石的代表性岩石及其应用。
6. 土的成因类型有哪几种?
7. 什么是地下水? 其按埋藏条件划分有哪些类型?
8. 什么是土的渗透性?
9. 何谓动水力? 流砂和管涌是如何产生的?
10. 实验室进行砂土的渗透试验,已知土样直径为  $75 \text{ mm}$ ,长为  $200 \text{ mm}$ ,测得水头损失  $80 \text{ mm}$ ,在  $1$  分钟内的渗流量为  $72\,000 \text{ mm}^3$ ,试求土的渗透系数  $k$ 。
11. 某工程的基坑中,由于抽水引起水流由下往上流动,水头差为  $60 \text{ cm}$ ,水流途径  $80 \text{ cm}$ ,土的有效重度  $9.5 \text{ kN/m}^3$ 。问该基坑是否会产生流砂?



# 第三章 土的物理性质

- 第一节 土的三相组成
- 第二节 土的结构和构造
- 第三节 土的物理性质指标
- 第四节 土的物理性质
- 第五节 土的压实原理

## 第一节 土的三相组成

土是由岩石风化生成的松散沉积物,其物质成分包括构成土骨架的矿物颗粒及填充在孔隙中的水和气体,形成所谓的三相体系,即固相(颗粒)、液相(水)和气相(空气)。在特殊情况下,土由两相组成:干土由颗粒和气体组成,没有水;饱和土由颗粒和水组成,没有气体。土的三相组成物质的性质,相对含量以及土的构造,都会对土的物理力学性质产生影响。

### 一、土的固相颗粒(固相)

固体颗粒(固相)构成土的骨架,土粒大小与其颗粒形状、矿物成分及其组成情况对土物理力学性质影响很大。

#### 1. 土的矿物成分

土的矿物成分主要取决于母岩的矿物成分及其所经受的风化作用。不同的矿物成分对土的性质有着不同的影响,通常,粗大土粒的矿物成分是保持母岩未风化的原生矿物,而细小土粒主要是次生矿物等无机物质以及土生成过程中混入的有机质。因此,细粒土的矿物成分更为重要。

土的矿物成分可分为原生矿物和次生矿物。原生矿物是由岩浆在冷凝过程中形成的矿物,其矿物成分与母岩相同,常见的如石英、长石、云母等。一般为较粗颗粒的漂石、卵石、圆砾等,都是由原生矿物组成的。由于其颗粒大,比表面积小(单位体积内颗粒的总表面积),与水的作用能力弱,其抗水性和抗风化作用都强,故工程性质比较稳定。其组成的土具有无黏性、强度高、压缩性较低的特征。

次生矿物是原生矿物经化学风化作用后形成的新矿物(例如黏土矿物)。它们颗粒细小,呈片状,是黏性土固相的主要成分,其矿物成分与母岩不相同。例如,黏土矿物的蒙脱石、伊利石、高岭石等。由于其粒径非常小(小于 $2\mu\text{m}$ ),具有很大的比表面积,与水的作用能力很强,能发生一系列复杂的物理、化学变化。上述三种黏土矿物的亲水性和膨胀性依次减弱。

#### 2. 土粒粒组

自然界中的土都是由大小不同的土粒组成的,大的有几十厘米,小的只有千分之几毫米;形状也不一样,粗大土粒往往是岩石经物理风化作用形成的原岩碎屑,是物理化学性质比较稳定的原生矿物颗粒,其形状呈块状或粒状。细小土粒主要是化学风化作用形成的次生矿物颗粒和生成过程中介入的有机物质,其形状主要呈片状。这与土的矿物成分有关,也与土粒所经历的风化、搬运过程有关。

土粒的大小称为粒度,通常以粒径表示。工程上一般将大小相近、性质相似的土粒合并为组,这种按土粒粒径大小和工程性质归并、划分的组别称为粒组。而划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。对于粒组的划分方法,目前各个国家、各个部门并不统一。表 3-1 为一种常用的土粒粒组的划分方法。表中根据《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007),按规定的界限粒径 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm,将土粒粒组先粗分为巨粒、粗粒和细粒三个统称,再细分为六个粒组:漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒和黏粒。

表 3-1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称	粒径范围/mm	一般特征
巨粒	漂石或块石颗粒	>200	透水性很大,无黏性,无毛细水
	卵石或碎石颗粒	60~200	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	
		细	
	砂粒	粗	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中	
		细	
细粒	粉粒	0.005~0.075	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时收缩显著;毛细水上升高度较大、较快,极易出现冻胀现象
	黏粒	<0.005	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢

注:(1)漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆状(圆形或亚圆形),块石、碎石和角砾颗粒均呈棱角状;

(2)粉粒可称为粉土粒,粉粒的粒径上限为 0.075 mm,相当于 200 号筛的孔径;

(3)黏粒可称为黏土粒,黏粒的粒径上限也有采用 0.002 mm 为标准的。

### 3. 土的颗粒级配

土中颗粒的大小及其组成情况,通常用颗粒级配来表示。所谓颗粒级配,就是土中各个粒组的相对含量,即各粒径的质量占总质量的百分数。确定土中各个粒组相对含量的方法称为土的颗粒分析试验,其有筛分法和沉降分析法两种。筛分法适用于粒径小于或等于 60 mm、大于 0.075 mm 的粗粒土。对于粒径小于 0.075 mm 的细粒土,则可用沉降分析法(水分法)。通常需将上述两种方法联合使用。

#### (1)筛分法。

用一套标准筛子[如孔径(mm)分别为 60、40、20、10、5、2、1、0.5、0.25、0.1、0.075],按从上至下筛孔逐渐减小放置,先将风干且分散了的有代表性的试样倒入标准筛内摇振,然后分别称出留在各筛子上的土重,并计算出各粒组的相对含量,即得土的颗粒级配。

#### (2)沉降分析法。

沉降分析法有密度计法和移液管法(也称“吸管法”)两种。这两种方法的理论基础都是依据斯托克斯(Stokes)定律,即球状的细颗粒在水中的下沉速度与颗粒直径的平方成正比,用公式表示为

$$d = 1.126 \sqrt{v} \quad (3-1)$$

注:直径  $d$  以毫米计。实际上土粒并不是圆球形颗粒,因此用斯托克斯公式求得的粒径并不是实际土粒的尺寸,而是与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径,称为水力直径。

具体的试验过程是:将过了筛的风干试样盛入 1 000 mL 的量筒中,注入蒸馏水搅拌制成一定体积的均匀浓度的悬浮液,如图 3-1 所示。停止搅拌静置一段时间  $t$  后,根据式(3-1),在液面以下深度  $L_i$  以上的溶液中就不会有大于  $d_i$  的颗粒(图 3-1),如在  $L_i$  处考虑一小区段  $m \sim n$ ,则  $m \sim n$  内的悬浮液中只有等于及小于  $d_i$  的颗粒,而且等于及小于  $d_i$  颗粒的浓度与开始时均匀悬浮液中等于及小于  $d_i$  颗粒浓度相等。其效果如同土样在孔径为  $d_i$  的筛子里一样。这样,任一时刻在任一  $L_i$  处悬浮液中  $d_i$  颗粒浓度可用密度计法或移液管法测定。

密度计的外形如图 3-2 所示,它的读数既表示浮泡中心处的悬浮液密度  $\rho_i$ ,又表示从悬浮液表面到浮泡中心处的沉降距离  $L_i$ 。速度  $v_i = L_i/t_i$ ;  $d_i = 1.126\sqrt{L_i/t_i}$ 。则在深度  $L_i$  处等于及小于  $d_i$  粒径的土粒质量  $m_{si}$  为

$$m_{si} = 1\,000 \frac{\rho_i - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \rho_s \quad (3-2)$$

式中: $\rho_s$ ——土粒的密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_w$ ——水的密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

那么,相应  $d_i$  (mm)的土粒质量  $m_{si}$  占土粒总质量  $m_s$  的累计百分比  $P_i$  (以%表示)为

$$P_i = \frac{m_{si}}{m_s} \quad (3-3)$$

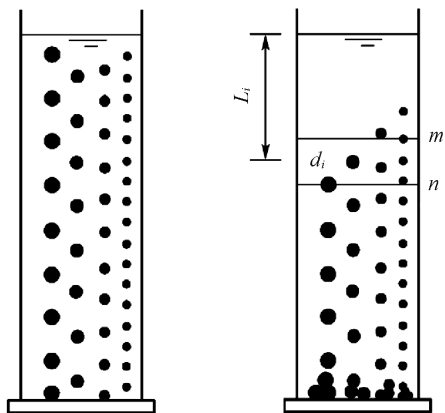


图 3-1 土粒在悬浮液中的沉降

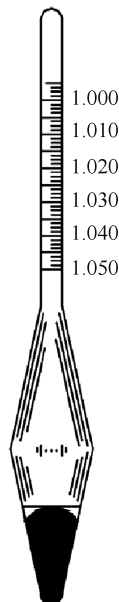


图 3-2 密度计

因此,在具体试验时,只要将悬液搅拌均匀后,放入密度计,隔不同的时间  $t_i$  (min) (1、2、5、15、30、60、240、1440),测读密度计读数  $\rho_i$  及  $L_i$ ,就能求出相应于不同时间  $t_i$  的一系列  $d_i$  和  $P_i$  值。移液管法是先按规定时间把土样吸出(通常在 100 mm 深度处吸出 10 mL 左右),然后烘干土样,记录留下来的土颗粒质量。

表 3-2 土的颗粒级配

土样编号	土粒组成粒径/mm								
	2~10	0.05~2	0.005~0.05	<0.005	$d_{60}$	$d_{10}$	$d_{30}$	$C_u$	$C_c$
A/%	0	99	1	0	0.165	0.11	0.15	1.5	1.24
B/%	0	66	30	4	0.115	0.012	0.044	9.6	1.40
C/%	44	56	0	0	3.00	0.15	0.25	20	0.14

根据颗粒分析试验结果(见表 3-2),常采用累计曲线表示土的级配。如果曲线较陡(图 3-3 曲线 A、C),表示粒径大小相差不多,土粒较均匀,级配不良;反之,曲线平缓(图 3-3 曲线 B),则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,即级配良好。为了定量说明问题,工程中常用不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  来反映土颗粒级配的不均匀程度,其计算公式为

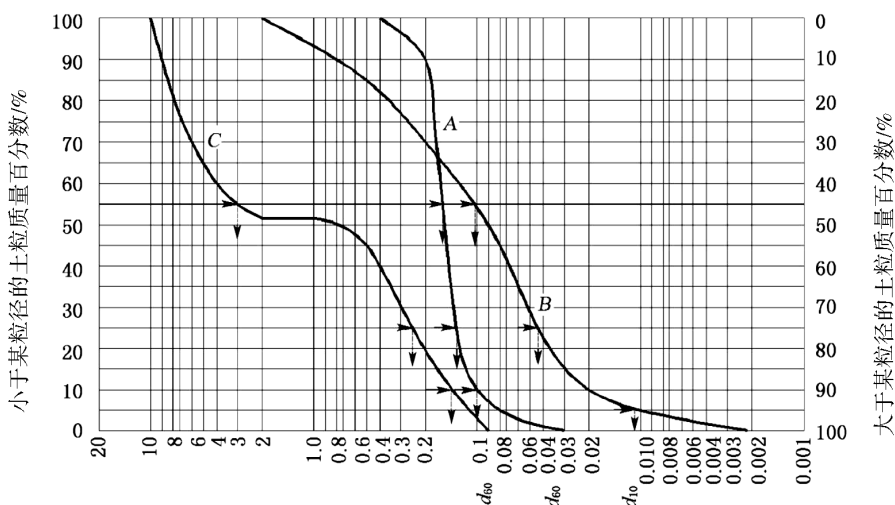


图 3-3 土的颗粒级配曲线

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3-4)$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (3-5)$$

式中： $d_{60}$ ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 60% 的粒径，称为限定粒径；

$d_{10}$ ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 10% 的粒径，称为有效粒径；

$d_{30}$ ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 30% 的粒径，称为中值粒径。

可见，不均匀系数  $C_u$  反映了大小不同粒组的分布情况，即土粒大小或粒度的均匀程度。 $C_u$  越大表示粒度的分布范围越大，土粒越不均匀，其级配越良好。曲率系数  $C_c$  描述了级配曲线分布的整体形态，表示是否有某粒组缺失的情况。

工程上对土的级配是否良好可按如下规定判断：

① 对于级配连续的土， $C_u > 5$ ，级配良好； $C_u < 5$ ，级配不良。

② 对于级配不连续的土，级配曲线上呈台阶状（图 3-3 曲线 C），采用单一指标  $C_u$  难以全面有效地判断土的级配好坏，需同时满足  $C_u > 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件时才为级配良好，反之则级配不良。一般认为：砾类土或砂类土同时满足  $C_u > 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件时，则定名为良好级配砾或良好级配砂。

工程中对于级配良好的土，较细颗粒填充粗颗粒之间的孔隙，密实度较好。作为建筑地基，承载力较高，稳定性较好，透水性和压缩性也较小；而作为填筑工程的建筑材料，则比较容易夯实，是堤坝、路基及其他土方工程中良好的填方用土。

## 二、土中水(液相)

土中水有液态水、固态水 and 气态水三种存在形态，而水在土中不同的存在形态对土的性质影响很大。固态水又称“矿物内部结晶水”或“内部结合水”，是指存在于土粒矿物的晶体格架内部或是参与矿物构造的水。根据其对土的工程性质的影响，可把矿物内部结合水当作土体矿物颗粒的一部分，这种水只有在比较高的温度下（80~680℃），才能化为气态水而与颗粒分离。气态水是土中气的一部分。液态水是人们日常生活中不可缺少的物质，通常分为自来水、井水、河水与海水等。土孔隙中的水，按其所呈现的状态和性质以及对土的影响，分为结合水和自由水两种类型。

### 1. 结合水

结合水是指受电分子吸引力作用吸附于土粒表面成薄膜状的水。这种电分子吸引力高达几千到几万

个大气压,使水分子和土粒表面牢固地黏结在一起。它又可细分为强结合水和弱结合水两种。

## (1)强结合水。

强结合水紧靠土粒表面,受到电分子引力强,水分子与水化离子排列得非常紧密,密度为  $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ ,冰点为  $-78 \text{ }^\circ\text{C}$ ,有过冷现象,即温度降到零度以下不发生冻结现象。而黏土只有在含强结合水时,呈固体状态,磨碎后呈粉末状态;砂土的强结合水很少,仅含强结合水时呈散粒状。

## (2)弱结合水。

距土粒表面较远地方的结合水称为弱结合水。仍受颗粒表面电荷所吸引而定向排列于颗粒四周,但水分子的排列不如强结合水紧密,密度为  $1.1 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ,冰点为  $-30 \sim -20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。受力时可以由水膜较厚处缓慢转移到水膜较薄处,也可以因电场引力从一个土粒的周围移到另一个颗粒的周围。也就是说,弱结合水膜能发生变形,不能传递静水压力,也不因重力作用而流动。弱结合水的存在是使黏性土具有可塑性的原因,也影响土的冻胀,一般认为弱结合水对黏性土的影响最大。

## 2.自由水

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的土中水。它的性质与普通水一样,能够传递静水压力,冰点为  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,有溶解盐类的能力。自由水按所受作用力的不同,又可分为“重力水”和“毛细水”两种。

### (1)重力水。

重力水是存在于地下水位以下透水土层中的地下水,因为在本身重力作用下运动,故称为重力水。在重力或压力差作用下能在土中渗流,对于土粒和结构物水下部分都有浮力作用,在土力学计算中,应考虑这样的渗流及浮力的影响。

### (2)毛细水。

毛细水是受到水与空气界面处表面张力的作用、存在于地下水位以上的透水层中的自由水。毛细水不仅受到重力作用,还受到表面张力的支配,能沿着土的细毛孔从潜水面上升到一定的高度,毛细水的上升高度与土粒的粒度和成分有关。这种毛细水上升对于公路路基土的干湿状态及建筑物的防潮有重要影响,在工程中需高度重视。

## 三、土中气体(气相)

土的气相是指孔隙中未被水所占据的部位,分自由气体和封闭气泡两类。

土壤孔隙中的气体与大气相连通的部分为自由气体。在粗颗粒的沉积物中常见到与大气相连通的空气,当土受外荷载作用时易被挤出土体外,对土的工程性质影响不大。

细颗粒中则存在与大气隔绝的封闭气泡,在受到外力作用时不能逸出。随着压力的增大,气泡可能压缩或溶解于水中,当压力减小时,气泡会恢复原状或重新游离出来,使土的弹性增加,延长土体受力后变形达到稳定的时间,降低透水性。可见,封闭气体对土的工程性质影响较大。

含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已成为土力学的一个新的分支。

## 第二节 土的结构和构造

土的结构是组成土的固体矿物颗粒的形态和组合特征,包括颗粒大小、形状和表面特征,颗粒的排列组合情况和数量关系,以及颗粒的联结特征和孔隙特征。土的结构对土的工程性质影响很大,试验资料表明,