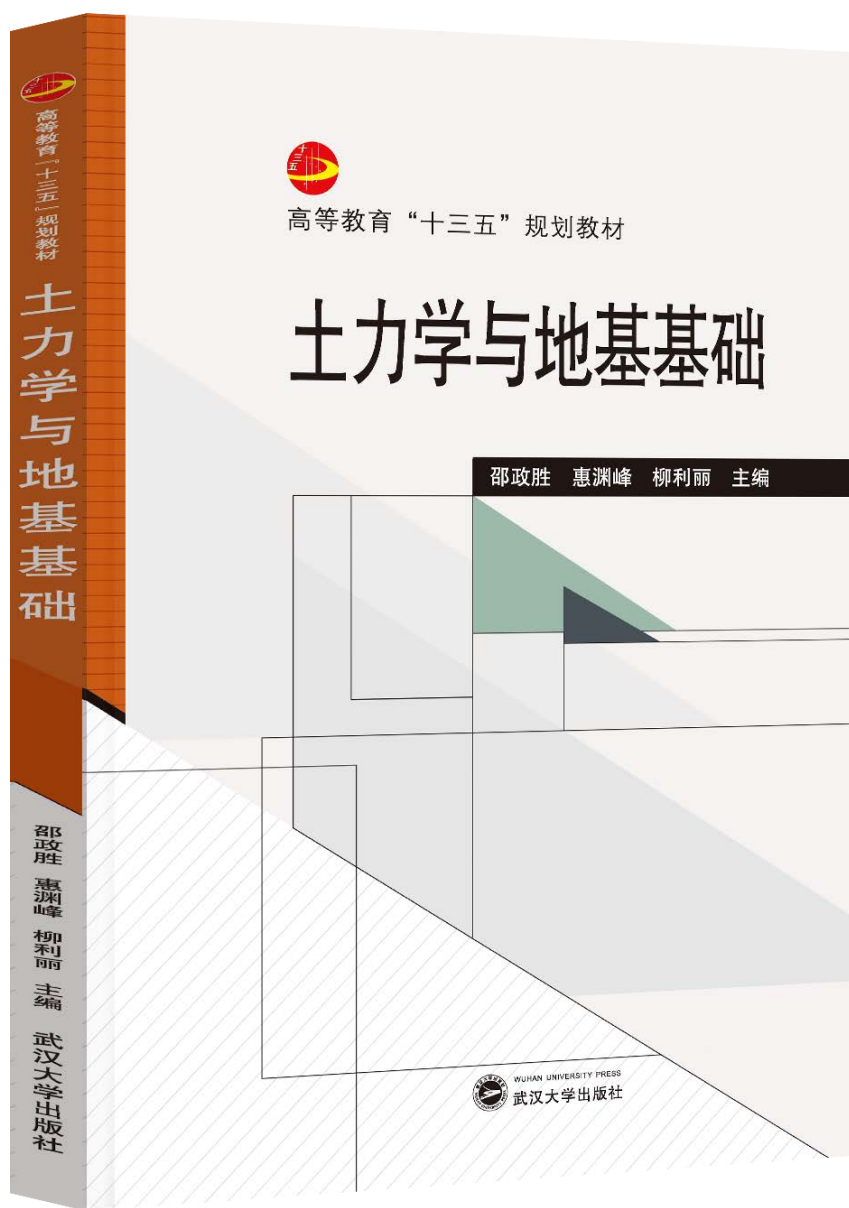




书名：土力学与地基基础

ISBN：978-7-307-18487-9

作者：邵政胜 惠渊峰 柳利丽

出版社：武汉大学出版社

定价：39.80元

前言

PREFACE

本书根据高等院校土建学科专业教学的基本要求及其人才培养目标,结合建筑工程的实际发展情况,参照国家颁布和实行的新规范新标准编写。

本书共分9个学习情境,主要介绍土的物理性质、特征,岩土的工程分类,土中的应力,建筑物的沉降,地基土的强度,土的承载能力和土压力,浅基础和桩基础的设计,地基处理等知识内容。本书注重理论与实践结合,本着“理论与实践并行、理论为实践服务”的方针,以理论引导实践,再以实践来丰富理论,强调学习的针对性和实践性。同时加强项目教学法的应用,通过典型工程案例分析,培养学生的认知能力和职业认同感,按照学习过程系统化的原则构建学习领域的课程模式。

由于时间仓促和作者水平有限,缺点和不当之处在所难免,恳请读者批评指正,不胜感谢。

编 者

目

录

CONTENTS

学习情境 0	绪 论	1
--------	-----	---

学习情境 1 土的物理性质与工程分类

◆ 任务 1	土的组成	6
◆ 任务 2	土的物理性质指标	10
◆ 任务 3	土的物理状态指标	14
◆ 任务 4	岩土的工程分类	16
◆ 综合实训		19

学习情境 2 土中的应力

◆ 任务 1	土的自重应力	21
◆ 任务 2	基底压力的简化计算	23
◆ 任务 3	土中附加应力	27
◆ 综合实训		34

学习情境 3 地基沉降计算

◆ 任务 1	土的压缩	38
◆ 任务 2	地基的最终变形计算	41
◆ 任务 3	地基变形与时间的关系	47
◆ 任务 4	建筑物沉降观测与地基允许变形值	50
◆ 综合实训		53

学习情境 4 土的抗剪强度和地基承载力

◆ 任务 1	土的抗剪强度	56
◆ 任务 2	土的极限平衡理论	58
◆ 任务 3	土抗剪强度的测定	61
◆ 任务 4	地基的破坏形式与承载力确定	65
◆ 综合实训		75

学习情境 5 土压力与挡土墙设计

◆ 任务 1 土压力的种类	77
◆ 任务 2 朗肯土压力理论	80
◆ 任务 3 库仑土压力理论	83
◆ 任务 4 几种特殊情况下的土压力计算	87
◆ 任务 5 挡土墙设计	91
◆ 任务 6 基坑支护结构简介	97
◆ 任务 7 土坡稳定性分析	101
◆ 综合实训	104

学习情境 6 天然地基上的浅基础

◆ 任务 1 基础的划分及地基基础设计原则	106
◆ 任务 2 浅基础的类型	109
◆ 任务 3 基础埋置深度的确定	114
◆ 任务 4 浅基础的设计与计算	117
◆ 任务 5 柱下钢筋混凝土独立基础	122
◆ 任务 6 减轻建筑物不均匀沉降的措施	126
◆ 综合实训	129

学习情境 7 桩基础

◆ 任务 1 桩基础的类型及适用条件	131
◆ 任务 2 单桩竖向承载力的确定	136
◆ 任务 3 群桩承载力的确定	143
◆ 任务 4 承台的设计	146
◆ 任务 5 桩基础的设计与计算	148
◆ 任务 6 其他深基础简介	155
◆ 综合实训	157

学习情境 8 软弱地基处理

◆ 任务 1 概述	159
◆ 任务 2 换填垫层法	161
◆ 任务 3 机械压实法	163
◆ 任务 4 预压法	166
◆ 任务 5 深层挤密法	169
◆ 任务 6 化学加固	176
◆ 综合实训	179

学习情境 9 土工试验

◆ 任务 1 土的基本物理指标测定	180
-------------------------	-----

◆ 任务 2	砂粒级配曲线试验	183
◆ 任务 3	土的压缩(固结)试验	185
◆ 任务 4	直接剪切试验	187
参考文献		189

学习目标和要求

- ◆1.掌握土力学、地基、基础的含义；
- ◆2.掌握地基与基础设计的要求；
- ◆3.理解地基与基础在工程中的作用及其要求；
- ◆4.了解本学科的发展简况和学习方法。

一、土力学、地基与基础的概念

任何建（构）筑物都与土层发生联系。研究土的性质与其受力，是本学科的主要任务之一。土力学就是利用力学的一般原理，研究土中的应力、应变、强度、稳定性和渗透性及其随时间变化规律的学科。它是力学的一个分支，是为解决建筑物的地基基础、地下结构等工程问题服务的。

而支承基础的土体或岩体是地基。地基是有一定深度范围的，基础下的土层称为持力层；在地基的范围内持力层以下的土层称为下卧层。对承载力低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分是基础，如图 0-1 所示。能满足工程要求的地层称为天然地基。地基的性能无法满足工程要求，经过处理而达到设计要求的地基称为人工地基。建筑物宜建造在良好的天然地基上，但为了节约用地，也要充分利用工程性质较差而经过处理的人工地基。

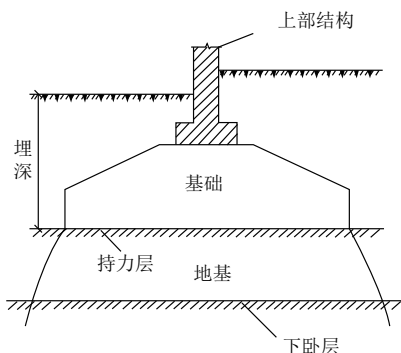


图 0-1 地基与基础示意图

二、地基基础设计的基本要求

在设计建筑物之前，必须进行建筑场地的地基勘察，充分了解、研究地基岩土层的成因、构造、性质、地下水情况以及是否存在影响场地稳定性的不良地质现象（如滑坡、岩溶、地震等），从而对场地作出正确的评价。建筑物地基应满足下列要求：



(1) 应有足够的强度和刚度, 在建筑物荷载作用下, 地基不发生剪切破坏或失稳, 不产生过大的沉降和不均匀沉降, 以保证建筑物的正常使用。

(2) 应具有足够的强度和刚度, 在地基反作用力下不产生破坏, 并具有改善沉降与不均匀沉降的能力。

因此, 地基与基础的设计要综合考虑地基、基础和上部结构三者的相互关系, 通过技术比较、经济分析, 选择一个安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的方案。

三、地基与基础在工程中的地位及重要性

地基基础是建筑物的根基, 它的勘察、设计和施工质量直接关系着建筑物的安全、经济和正常使用。而且, 地基基础是隐蔽工程, 一旦发生地基基础质量事故, 处理起来非常困难, 有时甚至无法补救。从工程经济看, 地基基础工程占整个建设工期和费用的比例相当大, 有些建筑物的地基基础工程造价高达总造价的 30% 以上。

1. 建筑物倾斜

在众多工程事故中, 很多与地基基础问题有关。如意大利比萨斜塔, 该塔 1173 年动工兴建, 建至第三层时, 发现塔体开始倾斜。目前, 塔北侧沉降约 1 m, 南侧下沉近 3 m (如图 0-2 所示), 倾斜已达极危险状态。比萨斜塔出现倾斜的主要原因是土层强度差、塔基的基础深度不够 (只有 3 m 深), 再加上采用大理石砌筑的塔身非常重, 因而造成塔身不平衡下沉所致。



图 0-2 意大利比萨斜塔

2. 地基滑动

加拿大特朗斯康谷仓由 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为钢筋混凝土筏基, 厚 61 cm, 基础埋深 3.66 m。谷仓于 1911 年动工, 1913 年秋完工。谷仓自重 20000 t。1913 年 9 月起往谷仓装谷物, 当谷仓装了 31822 m^3 谷物时, 发现 1 小时内垂直沉降达 30.5 cm, 结构向西倾斜, 倾斜度离垂线达 $26^\circ 53'$ 。谷仓西端下沉 7.32 m, 东端上抬 1.52 m, 如图 0-3 所示。经勘察试验与计算, 谷仓地基实际承载压力为 193.8~276.6 kPa, 远小于谷仓破坏时



发生的压力 329.4 kPa，因此，谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。事后在仓底下面做了 70 个支撑于基岩上的混凝土墩，使用 388 个 50 t 千斤顶以及支撑系统，才将仓体逐渐纠正过来，但其标高比原来降低了 4 m。此次事故的主要原因就是因为谷仓设计前未勘察到基础下有厚达 16 m 的软黏土层，盲目进行建设，建筑物荷载远超过地基土的承载压力，导致谷仓发生地基整体滑动破坏。

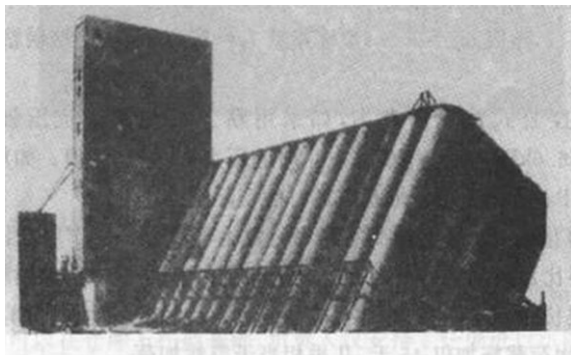


图 0-3 加拿大特朗斯康谷仓

2009 年 6 月 27 日，上海闵行区莲花南路一幢 13 层在建商品楼发生倒塌事故（如图 0-4 所示）。楼体倾倒的主要原因是，紧贴事故楼的北侧，在短期内堆土过高，最高处达 10 m 左右；与此同时，紧邻大楼南侧的地下车库基坑正在开挖，开挖深度 4.6 m，大楼两侧的压力差使土体产生水平位移，过大的水平力超过了桩基的抗倾能力，导致建筑物整体倾倒。



图 0-4 上海一幢高楼整体倒覆

四、本课程的发展、内容与学习方法

在建筑工程领域，“土力学与基础工程”是一门重要的学科。我国隋朝修建的赵州桥为世界最早最长的石拱桥（如图 0-5 所示）。该桥造型美观、结构合理，全桥净跨 37.02 m。桥宽 8.4 m。桥台位于粉土天然地基上，基底压力达 500~600 kPa，至今 1400 多年来沉降甚微，安然无恙。

近几年来，在我国一些巨型项目的兴建中，成功地处理了许多复杂的基础工程。如上海中心大厦项目，建筑主体为 118 层，面积 433954 m²，总高为 632 m。外形有两个玻璃正面，



一内一外，主体形状内为圆形外为三角形。两玻璃面之间的空间在 90 cm 到 10 m 之间为空中大厅，同时充当一个隔热层，降低整栋大楼的能源消耗也有利于保护环境，如图 0-6 所示。上海中心大厦建造在一个土质松软，含有大量黏土的冲积层上。采用深度达 86 m 的 980 基桩，浇筑 60881 m³ 的混凝土，形成一个厚 6 m 的基础底板（如图 0-7 所示）。这也为土力学和基础工程的实践积累了丰富的经验。同时，不断研制成功的各种工程勘察、试验与地基处理设备的问世，也为土力学理论研究和地基基础工程的发展提供了良好的条件。



图 0-5 赵州石拱桥

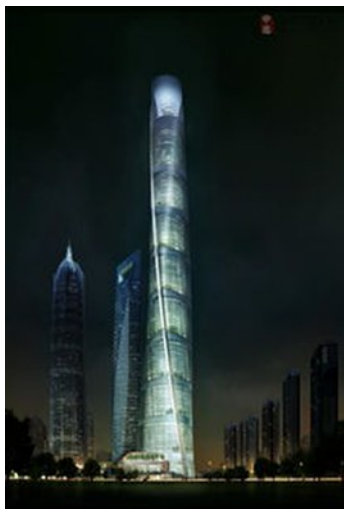


图 0-6 上海中心大厦

本课程是一门理论与实践相结合的专业课，涉及内容广泛、综合性强，与建筑材料、建筑力学、建筑结构、建筑施工等课程联系密切。本课程包括土力学与地基基础两大部分，主要有四大任务：任务一是建筑物的沉降，所涉及内容有土的性质、特点、分类、土中的应力和土的压缩性质；任务二是地基土的承载能力和土压力，从土的剪切实验入手了解承载力的确定方法、土的极限平衡条件，掌握土压力的计算方法及分布规律；任务三是浅基础和桩基础的设计步骤，以设计来加强理论知识的理解从而带动实践能力的培养；任务四是对特殊地基土的确认与处理。本课程始终抓住一条主线，即基底压力，它贯穿于整个学习过程之中。

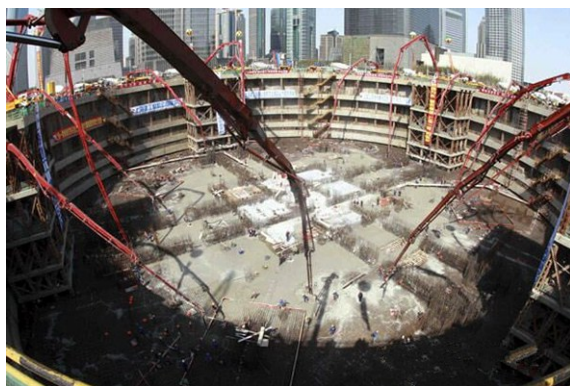


图 0-7 上海中心大厦基础工程

在学习过程中，要正确理解基本概念，掌握基本原理，要把重点放在工程的应用上，注重理论与实践结合，强调理论的具体运用和项目教学。

学习情境 1

土的物理性质与工程分类

学习目标和要求

- ◆1.掌握土的三相组成与结构；
- ◆2.掌握土的物理指标；
- ◆3.熟悉无黏性土、黏性土的工程特征及分类；
- ◆4.理解岩土的工程分类方法。

任务1 土的组成

任何建（构）筑物的地基都是由土层组成。在设计建筑物时必须把地基、基础和上部结构三者有机地联系起来统一考虑，从而得出最合理的设计方案。土的物理性质指标在一定程度上决定了土的工程性质，在工程中必须掌握土的物理性质指标及测定方法，方可对地基土进行工程分类。

土是自然界的产物，它是地壳表层的岩石经长期风化作用，以及各种地质作用所生成的各类沉积物。岩石的风化作用可分为物理风化、化学风化和生物风化三大类。上述三种风化作用并不是孤立进行的，物理风化使岩石逐渐破碎，为化学风化创造条件，而化学风化使岩石疏松，又促进物理风化的进行。地质作用是由自然动力引起使地壳组成物质、地壳构造、地表形态等不断地变化和形成的作用。

一、土的组成

土一般是由矿物颗粒（固相）、水（液相）和空气（气相）组成，故称三相体系。土的矿物颗粒是土的三相组成中的主体和骨架，是决定土工程性质的主要成分。水和空气填充孔隙之中。孔隙完全被水所充满时为饱和土，孔隙完全被空气充满时为干土。

1. 矿物成分

土粒的矿物成分可分为两大类。一类是原生矿物，指在内生条件下的造岩作用和成矿作用过程中，同所形成的岩石或矿石同时期形成的矿物，其原有的化学组成和结晶构造均未改变。它们是土壤中各种化学元素的最初来源。如岩浆结晶过程中所形成的橄榄岩中的橄榄石；花岗岩中的石英、长石；热液成矿过程中所形成的方铅矿等，均是原生矿物。另一类是次生矿物，是岩石经过化学风化作用而形成的新矿物，颗粒较细，多呈片状，性质活泼，具有塑性。常见的次生矿物有高岭石、伊利石和蒙脱石。

2. 粒组的划分与颗粒级配

土颗粒的大小常以粒径来表示，土的粒径大小不同，其主要物理和力学性质也相应发



生变化。例如，土的粒径从大到小，可塑性、黏性从无到有，透水性从大到小。将物理力学性质较为接近的粒径划分为同一粒组，即某一级粒径的变化范围。工程上划分为六大粒组，即漂石（块石）颗粒、卵石（碎石）颗粒、圆砾（角砾）颗粒、砂粒、粉粒和黏粒。目前土的粒组划分方法并不完全一致，表 1-1 提供了以《土的工程分类标准》（GB/T 50145—2007）为代表的土粒粒组划分标准。

表 1-1 土粒的粒组划分

粒组	颗粒名称		粒径 d 的范围 (mm)	一般特性
巨粒	漂石（块石）		$d > 200$	透水性很大，无黏性，无毛细水
	卵石（碎石）		$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
		中砾	$5 < d \leq 20$	
		细砾	$2 < d \leq 5$	
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$	易透水，无黏性，遇水不膨胀，干时稍有收缩，毛细水上升高度较大，易膨胀
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$	
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$	
细粒	粉粒		$0.005 < d \leq 0.075$	透水性小，湿时稍有黏性，遇水膨胀小，干时稍有收缩，毛细水上升高度较大，易冻胀
	黏粒		$d \leq 0.005$	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，但速度慢

注：（1）漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状（圆形或亚圆形），块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角；
（2）黏粒或称黏土粒、粉粒或称粉土粒；
（3）黏粒的粒径上限也有采用 0.002 mm。

自然界中的土，绝大多数都是由大小不同的粒组所组成的。土中各粒组相对含量的百分比（各粒组占土粒总质量的百分数）称为土的颗粒级配，颗粒级配能反映土粒的大小及各种不同粒径的分布情况。土的颗粒级配可通过颗粒分析试验测定。不同类型的土采用不同的分析方法，粗粒土采用筛分法，细粒土采用静水沉降分析法。

筛分法：对于粒径大于 0.075 mm 的粗粒土用筛分法。筛分法是取在实验室风干松散具有代表性的土样，通过一套孔径不同的标准筛（20、10、5、2、1、0.5、0.25、0.075，单位：mm），称出留在各个筛上土重，即可算出各粒组的相对含量。

根据颗粒分析结果，绘制颗粒级配曲线。颗粒级配曲线的横坐标表示粒径，由于粒径范围很大，可用对数坐标表示（mm）；纵坐标表示小于某颗粒的土质量占总质量的百分比（%）。图 1-1 所示颗粒级配曲线是根据表 1-2 颗粒分析结果所绘。

根据颗粒级配曲线的陡缓程度可分析颗粒级配：曲线平缓，表示粒径不均匀，级配良好；曲线很陡，表示粒径均匀，级配不好。工程中需要级配良好的天然土层做地基土。

在工程中常用不均匀系数 C_u 来表示颗粒级配的不均匀程度，即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

式中： d_{60} ——小于某粒径的土质量占总质量 60% 时的粒径，该粒径称为限定粒径；
 d_{10} ——小于某粒径的土质量占总质量 10% 时的粒径，该粒径称为有效粒径。

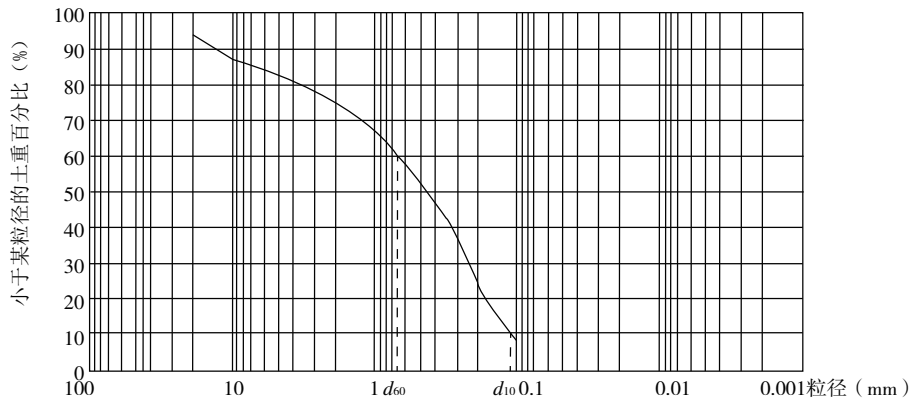


图 1-1 颗粒级配曲线示意图

表 1-2 土样的颗粒分析表

筛孔直径 (mm)	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.1	0.075	总计
留筛土质量 (%)	176	198	153	185	226	366	708	652	170	2834
占全部土质量的百分比 (%)	6	7	5	7	8	13	25	23	6	
大于某筛孔直径的土质量的百分比 (%)	6	13	18	25	33	46	71	94	100	
小于某筛孔直径的土质量的百分比 (%)	94	87	82	75	67	54	29	6	0	

颗粒级配曲线越陡，则粒径愈均匀，不均匀系数 C_u 越小，级配越不好。工程上，把 $C_u < 5$ 的土称为均匀的；把 $C_u > 10$ 土视为不均匀的。其级配良好的土可作为填方或垫层材料，易获得良好的压实效果。由表 1-2 颗粒分析结果，其不均匀系数为： $C_u = d_{60}/d_{10} = 0.67/0.12 = 5.58$ ，级配尚好。

在工程中还可结合曲率系数 C_c 来描述级配曲线分布的整体形态，表示是否有缺失粒组的情况，它反映了限定粒径与有效粒径之间各粒组含量的分布情况。对于级配不连续的土应采用 C_u 和 C_c 相结合来评定。如砂类土同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 5$ 两个指标时，为级配良好。

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \tag{1-2}$$

式中： d_{30} ——小于某粒径的土质量占总质量 30% 时的粒径。

粒径小于 0.075 mm 的粉粒和黏粒，由于粒径小，难以筛分，一般可根据土粒在水中匀速下沉时的速度与粒径理论之间的关系，用比重计法或移液管法测得颗粒级配。

二、土中的水

土中的水是土的液体相组成部分。水在土中存在的形式有液态水、气态水和固态水三种形态。气态水对土的性质影响不大；固态水对土的冻胀与融陷有很大影响，土冻结时强度增加，而解冻后土的强度迅速降低并低于原来的强度。这种反复冻融对建筑物基础影响很大，在设计时一定要特别注意。液态水有结合水与自由水两种存在形态，且对土的性质影响很大。

1. 结合水

结合水是土粒表面自由电子引力吸附土中的水，而形成的结合水膜，不传递静水压力，



不能任意流动。矿物颗粒表面大多数带有负电荷，并在颗粒周围形成一处电场，在电场的作用下，能吸引水中的阳离子，从而形成颗粒周围的结合水膜（如图 1-2 所示）。靠近土粒部分吸附牢固，称为强结合水，也称吸着水。随着距离的增加，吸附力减弱，活动性增大，称为弱结合水，也称薄膜水。因此，结合水可分为强结合水和弱结合水。弱结合水对黏性土的物理力学性质影响很大，对无黏性土而言可认为不含弱结合水。

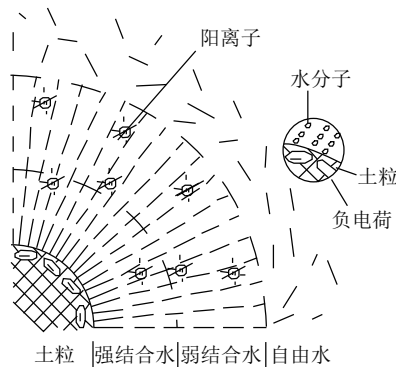


图 1-2 土中水的形态

2. 自由水

不受颗粒电场影响的水，称为自由水。它受重力的作用，能传递静水压力，在 0°C 温度下结冰。自由水可分为毛细水和重力水两类。重力水存在于地下水位以下土的孔隙中，它能在重力或压力差作用下流动，对土粒有浮力作用，可使土中应力发生变化。因此，在基础施工中应注意重力水的影响，做好基础工程的防水工作。毛细水存在于地下水位以上透水土层的孔隙中，由于表面张力的作用，地下水沿着土的孔隙上升，形成毛细水上升带。其上升高度视土颗粒的大小而定。由于土中存在毛细水，故在工程中要注意建筑物的防潮措施以及地基土的浸湿和冻胀等影响。

三、土中气体

土中气体有与大气连通或封闭的气泡形式，存在于未被水占据土的孔隙中，前者在受压力作用时能够从孔隙中挤出，对土的性质影响不大；后者在受压力作用时被压缩或溶解于水中，压力减小时又能有所复原，对土的性质影响较大，如透水性减小，延长变形稳定时间等。

四、土的结构

土的结构主要是指土体中土粒的大小、形状、排列与连接的表面特征。土的结构有单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

单粒结构是无黏性土的基本结构形式。因其粒径较大，土粒的结合水很少，颗粒间没有黏聚力。土粒的排列有疏松状态和密实状态。土粒排列密实时，土的强度较大，是良好的天然地基，如图 1-3 (a) 所示。

蜂窝结构是由粉粒（粒径为 $0.005\sim 0.075\text{ mm}$ ）在水中下沉时形成的。由于颗粒之间的引力大于自重力，下沉的颗粒遇到已沉积的颗粒时，就停留在最初的接触点上不再下沉，形成具有较大空隙的蜂窝结构，如图 1-3 (b) 所示。



绒絮结构是由黏粒（粒径小于等于 0.005 mm）集合体组成。这些颗粒不因自重而下沉，长期悬浮在水中，但在水中运动时形成小链环状的土集粒而下沉，碰到另一链环而被吸引，便形成绒絮结构，如图 1-3（c）所示。

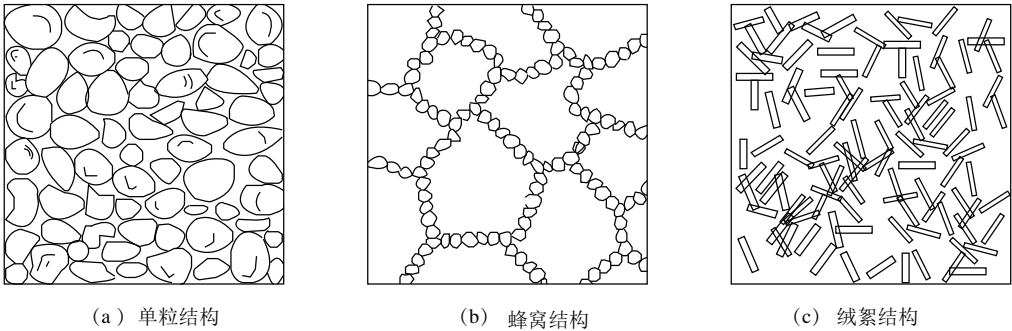


图 1-3 土的结构

蜂窝结构和绒絮结构的土中存在大量的孔隙，压缩性强，抗剪强度低。

任务 2 土的物理性质指标

自然界的土体由固体颗粒、水和气体三相组成，土的物理性质指标就是表示土的三相组成在体积和重力之间的比例关系，作为评定土工程性质的定量指标。

一、土的三相简图

为了方便研究和计算，将三相体系中分散的各部分集中在一起，用体积和重力来表示，即土的三相简图（如图 1-4 所示）。

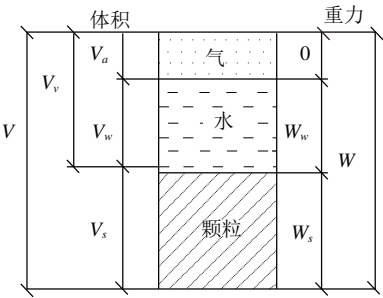


图 1-4 土的三相简图

设总体积 V 、颗粒体积 V_s 、水体积 V_w 、气体体积 V_a 、孔隙体积 V_v ，总重力 W 、颗粒重力 W_s 、水重力 W_w 、气体重力忽略不计，则

总体积
总重力

$$V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_v$$
$$W = W_s + W_w$$



二、土的基本物理指标

1. 土的天然重度 γ

土在天然状态下单位体积的重力称为土的天然重度，简称重度。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s + \gamma_w V_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-3)$$

$\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ 为水的重度，在本学科中可取 10 kN/m^3 。一般土的重度为 $16 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 。

土在天然状态下单位体积的质量称为土的天然密度。

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{t/m}^3 \text{ 或 } \text{g/cm}^3) \quad (1-4)$$

土的重度 γ 与密度 ρ 的关系为

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-5)$$

即土的重度 γ 等于密度 ρ 与重力加速度 g 乘积。 g 可取 10 m/s^2 。

土的重度一般用“环刀法”测定，用一个圆环刀放在削平的原状土样上，削去环刀外圈的土，边削边压，使保持天然状态的土样压满环刀内，称取环刀内土样的质量，它与环刀体积之比即为土样密度。

2. 土粒的相对密度 d_s

土粒的密度与同体积 4°C 时纯水密度之比，称为土粒相对密度（又称比重）。

$$d_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\frac{m_s}{V_s}}{\rho_w} = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-6)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (\text{t/m}^3) \quad (1-7)$$

式中： ρ_s ——土粒的密度；

ρ_w ——水的密度，一般取 $\rho_w = 1 \text{ t/m}^3$ ；

d_s 取决于土的矿物成分和有机质含量，一般在 $2.6 \sim 2.8$ 之间。

3. 土的天然含水量 ω

土中水的质量与土粒质量之比。用百分数表示，记为 ω 。

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-8)$$

上述指标 γ 、 d_s 、 ω 均可由实验室测定，为土的基本物理指标，又称室内土工实验指标。

三、土的其他物理指标

1. 饱和土的重度 γ_{sat}

饱和土重度是指土中孔隙完全被水充满时，单位体积的重力。

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-9)$$

2. 干土的重度 γ_d

土中孔隙无水时，单位体积的重力称为干土的重度。

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-10)$$



3.土的有效重度（浮重度） γ'

地下水位以下的土，由于受到水的浮力作用，使土的重力减轻，单位体积土中，土颗粒所受的重力扣除水的浮力后的重度称为有效重度，又称浮重度。

$$\gamma' = \frac{W_s + V_v \gamma_w - V \gamma_w}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (\text{kN/m}^3) \tag{1-11}$$

4.土的孔隙率 n

土中孔隙体积与土的总体积之比称为孔隙率，用百分率表示。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \tag{1-12}$$

5.土的孔隙比 e

土中孔隙体积与土颗粒体积之比称为孔隙比。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \tag{1-13}$$

n 、 e 均为反映土密实程度的重要指标，通常 n 或 e 愈大，土愈疏松。一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土， $e > 0.8$ 的土是疏松的高压缩性土。

6.土的饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比称为饱和度，用百分率表示。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \tag{1-14}$$

土的饱和度 S_r 反映土的潮湿程度，当 $S_r = 100\%$ 时，土中孔隙完全充满水，土为完全饱和状态。 $S_r > 80\%$ ，为饱和状态。 $S_r = 0$ 时，土为完全干燥状态。通常根据饱和度的大小将细砂、粉砂等土划分为稍湿、很湿和饱和三种状态，见表 1-3。

表 1-3 砂土湿度状态的划分

湿度	稍湿	很湿	饱和
饱和度（%）	$S_r \leq 50$	$50 < S_r \leq 80$	$S_r > 80$

综上所述，土的物理指标可归纳为：与重力有关的指标有五个，分别是土的天然重度 γ 、饱和土的重度 γ_{sat} 、干土的重度 γ_d 、土的有效重度 γ' 、土粒的相对密度 d_s ；与水有关的指标有两个，分别是土的天然含水量 w 、土的饱和度 S_r ；与孔隙有关的指标有两个，分别为土的孔隙率 n 、土的孔隙比 e 。

四、其他物理指标与基本物理指标的关系

在上述指标中，只有土的重度、土粒相对密度和土的含水量这三个基本指标可以通过土工试验测得，其他指标可以通过这 3 个指标换算得到。在研究这些量的相对比例关系时，总是取某一定数量的土体来分析。若假设 $V=1$ 或 $V_s=1$ ，并以此推导出孔隙比、干密度等指标的计算公式。为了便于应用，现将换算关系列于表 1-4 中。

【例 1-1】 某原状土样由室内试验测得土的天然重度 $\gamma=18.62 \text{ kN/m}^3$ ，土粒比重 $d_s=2.69$ ，天然含水量 $w=29\%$ ，试求土的孔隙比 e 、孔隙率 n 、饱和度 S_r 、饱和土重度 γ_{sat} 、干土重度 γ_d 、有效重度 γ' 。

【解】 孔隙比 $e = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.69 \times 10 \times (1+0.29)}{18.62} - 1 = 0.86$



$$\text{孔隙率 } n = \frac{e}{1+e} \times 100\% = \frac{0.86}{1+0.86} \times 100\% = 46.24\%$$

$$\text{饱和度 } S_r = \frac{d_s w}{e} \times 100\% = \frac{2.69 \times 0.29}{0.86} \times 100\% = 90.71\%$$

$$\text{饱和土重度 } \gamma_{sat} = \frac{d_s + e}{1+e} \gamma_w = \frac{2.69 + 0.86}{1+0.86} \times 10 = 19.09 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\text{干土重度 } \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{18.26}{1+0.29} = 14.43 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\text{有效重度 } \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 19.09 - 10 = 9.09 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

表 1-4

土的三相比例指标换算公式

名称	符号	三相比例表达式	换算公式	单位	常见数值
重力密度	γ	$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g$	$\gamma = \frac{d_s (1+w)}{1+e} \gamma_w$	kN/m ³	16~20 kN/m ³
密度	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho = \frac{\gamma}{g}$	t/m ³	1.6~2.0 t/m ³
相对密度	d_s	$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$	$d_s = \frac{S_r e}{w}$		2.60~2.80
含水量	w	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	$w = \frac{S_r e}{d_s}$		20%~60%
干土重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ $\gamma_d = \frac{\gamma_w d_s}{1+e}$	kN/m ³	13~18 kN/m ³
饱和土重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (d_s + e)}{1+e}$	kN/m ³	18~23 kN/m ³
浮土重 (有效重度)	γ'	$\gamma' = \frac{W_s + V_v \gamma_w - V \gamma_w}{V}$	$\gamma' = \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1+e}$ $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	kN/m ³	8~13 kN/m ³
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{d_s (1+w)}{\gamma} \gamma_w - 1$		0.4~0.9
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = \frac{e}{1+e}$		30%~60%
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v}$	$S_r = \frac{w d_s}{e}$		0~100%

【例 1-2】 用环刀切取一土样，测得该土样体积为 60 cm³，质量为 114 g。土样烘干后测得其质量为 100 g。若土粒比重 $d_s = 2.7$ ，试求土的重度、含水量和孔隙比。

【解】

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \frac{114 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-6}} = 19 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{114 - 100}{100} \times 100\% = 14\%$$

$$e = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.7 \times 10 \times (1+0.14)}{19} - 1 = 0.62$$



任务3 土的物理状态指标

一、无黏性土的密实度

无黏性土一般是指具有单粒结构的碎石土与砂土，土粒之间无黏结力，呈松散状态。

它们的工程性质与其密实程度有关，当无黏性土处于密实状态时，结构稳定，强度较高，压缩性小，可作为良好的天然地基；反之，当呈疏松状态时，则是不良地基。因此工程上把密实度作为评定无黏性土工程性质的依据。

孔隙比 e 是表示砂土的密实度的指标之一。对于同一种土，当孔隙比小于某一限度时，处于密实状态。孔隙比愈大，则土越松散。一般把孔隙比 $e < 0.6$ 的土为密实的，孔隙比 $e > 0.95$ 的土为松散的。

采用天然孔隙比的大小来判别砂土的密实度，是一种较简捷的方法。但不足之处最主要就是它没有考虑到土粒颗粒级配这一重要因素的影响，不同级配的砂土，即使孔隙比较相同，所处的松密状态并不会相同。实践表明，有时较疏松的级配良好的砂土孔隙比，比之较密实的颗粒均匀的砂土孔隙比还要小。为了克服指标孔隙比 e 对级配不同的砂土难以准确判断其密实程度的缺陷，工程上引用相对密实度 D_r 这一指标。对于砂土，采用相对密实度 D_r 来表示无黏性土的密实度：

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \tag{1-15}$$

式中： $e_{\max}$ ——土的最大孔隙比，即土在疏松状态下的孔隙比；

$e_{\min}$ ——土的最小孔隙比，即土最密实状态下的孔隙比；

e ——土的天然孔隙比。

根据砂土的相对密实度 D_r 值可将砂土密实状态划分为密实、中密和松散三类。

密实： $1 \geq D_r > 0.67$ ；

中密： $0.67 \geq D_r > 0.33$ ；

松散： $0.33 \geq D_r > 0$ 。

同时《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2011）用标准贯入试验的锤击数 $N_{63.5}$ 来划分砂土的密实度。标准贯入试验的锤击数是用质量为 635 kN 的锤，在落距为 760 mm 处自由下落，将贯入器竖入土 300 mm 所需的锤击数。表 1-5 为砂土的密实度。

表 1-5 砂土的密实度

密实度	密实	中密	稍密	松散
标准贯入实验锤击数 N	$N > 30$	$30 \geq N > 15$	$15 \geq N > 10$	$N \leq 10$

碎石土的密实度。碎石土颗粒较粗，不易获得原状土样，也难于进行标准贯入试验。对这类土可在现场进行观察，根据其骨架颗粒含量、排列、可挖性和可钻性来鉴别。据此可将碎石土分为密实、中密和稍密三种。如表 1-6 所示。



表 1-6

碎石类土密实度野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量	可挖性	可钻性
密实	骨架颗粒含量大于总重的 70%，呈交错排列，连续接触	锹、镐挖掘困难，用撬棍方能松动；井壁一般较稳定	钻进困难，冲击钻探时，钻杆跳动剧烈，孔壁较稳定
中密	骨架颗粒含量等于总重的 60%~70%，呈交错排列，大部分接触。	锹、镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持颗粒凹面形状	钻进困难，冲击钻探时，钻杆跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒含量小于总重的 60%，排列混乱，大部分不接触	锹、镐可挖掘，井壁易坍落，从井壁取出大颗粒后，砂土立即坍落	钻进较容易，冲击钻探时，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌

【例题 1-3】在某天然土层中取得的试样通过试验测得其含水量 $w=8.6\%$ ，天然重度 $\gamma=17.6\text{kN/m}^3$ ，相对密度为 $d_s=2.66$ ，最小孔隙比为 $e_{\min}=0.462$ ，最大孔隙比为 $e_{\max}=0.71$ ，试判断该砂土的密实程度。

【解】

$$e = \frac{d_s \gamma (1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.66 \times 10 \times (1+0.086)}{17.6} - 1 = 0.64$$

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{0.71 - 0.64}{0.71 - 0.462} = 0.282$$

由于 $0 < D_r < 0.33$ ，所以该砂土层处于松散状态。

二、黏性土的含水量

黏性土的含水量对土的性质影响很大，随着含水量的增加，土由固态经过半固态、可塑状态变成流动状态，土的强度也随之减小。黏性土由一种状态转入另一种状态时的分界含水量，称为界限含水量。它对黏性土的分类及工程性质的评价有重要的意义。

土由半固态转为固态的界限含水量称为缩限 ω_s ，土由可塑状态转为半固态的界限含水量称为塑限 ω_p ，土由流动状态转为可塑状态的界限含水量称为液限 ω_L ，如图 1-5 所示。

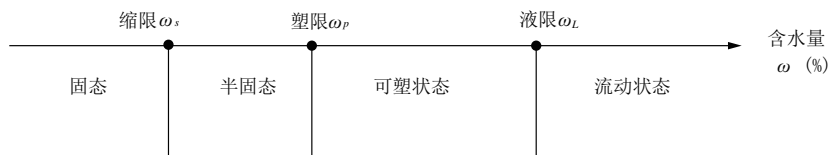


图 1-5 土的物理状态与含水量的关系

三、塑性指数与液性指数

1. 塑性指数

塑性指数是液限与塑限差值，用 I_p 去掉百分号表示，即土处在可塑状态时的含水量的变化范围。

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (1-16)$$

塑性指数在一定程度上反映了黏性土的黏粒含量的多少及黏粒的矿物成分，即反映土粒表面吸附结合水能力的强弱。因此，塑性指数 I_p 可作为黏性土分类的依据。塑性指数愈



高表示土中细粒含量越多，含水量范围增大，土的黏性与可塑性愈好。塑性指数 $I_p > 10$ 的土称为黏性土，其中：

$$\begin{aligned} 10 < I_p &\leq 17 && \text{(粉质黏土)} \\ I_p &> 17 && \text{(黏土)} \end{aligned}$$

2.液性指数

液性指数是土的天然含水量与塑限之差除以塑性指数，用符号 I_L 表示。

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} \tag{1-17}$$

液性指数是判别黏性土软硬程度的指标，又称稠度。当 $I_L \leq 0$ 时， $\omega \leq \omega_p$ ，土体处于坚硬状态。当 $I_L > 1$ 时， $\omega > \omega_L$ ，土体处于流塑状态。《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011) 将黏性土按液性指数 I_L 划分为五种状态，见表 1-7。

表 1-7 黏性土软硬状态的划分

液性指数 I_L	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
状态	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

任务 4 岩土的工程分类

岩土的分类是考虑到土天然结构联结的性质、地质成因和强度。《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011) 将作为建筑地基的岩土可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土六大类。

一、岩石

岩石应为颗粒间牢固联结呈整体或具有节理裂隙的岩体。按地质成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩浆岩是由地球内部高温熔融的岩浆，逐渐冷却结晶而成，如花岗岩。沉积岩是由早期形成的岩石，经风化破坏后，再搬运、沉积并固结而成的层状岩石，如砂岩。变质岩是岩浆岩、沉积岩形成后，在长期高温、高压作用下，矿物成分、结构和构造发生变化后形成的岩石，如大理岩等。作为建筑物地基，除应确定岩石的地质名称外，还需按其坚硬程度和风化程度划分。岩石的坚硬程度应根据岩块的饱和单轴抗压强度 f_{rk} 分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩，见表 1-8。

表 1-8 岩石坚硬程度的划分

坚硬程度类别	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk} (MPa)	$f_{rk} > 60$	$60 \geq f_{rk} > 30$	$30 \geq f_{rk} > 15$	$15 \geq f_{rk} > 5$	$f_{rk} \leq 5$

岩石的风化程度可分为未风化、微风化、中等风化、强风化、全风化和残积土，见表 1-9。



表 1-9

岩石按风化程度分类

风化等级	野外特征
未风化	岩质新鲜, 偶见风化痕迹
微风化	结构基本未变, 仅节理面有渲染或略有变色, 有少量风化痕迹
中等风化	结构部分破坏, 沿节理面有次生矿物, 风化裂隙发育, 岩体被切割成岩块。用镐难挖, 岩芯钻方可钻进
强风化	结构大部分破坏, 矿物成分显著变化, 风化裂隙很发育, 岩体破碎, 用镐可挖, 干钻不易钻进
全风化	结构基本破坏, 但尚可辨认, 有残余结构强度, 可用镐挖, 干钻可钻进
残积土	组织结构全部破坏, 已风化成土堆, 锹镐易挖掘, 干钻易钻进, 具可塑性

二、碎石土

碎石土是指粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。碎石土根据颗粒形状及粒组含量。碎石可分为漂石或块石、卵石或碎石、圆砾或角砾, 见表 1-10。

表 1-10

碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	粒组组含量
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200 mm 的颗粒含量超过全重 50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 20 mm 的颗粒含量超过全重 50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重 50%

注: 分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

三、砂土

砂土是指粒径大于 2 mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。砂土根据粒组含量可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂, 见表 1-11。

表 1-11

砂土的分类

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2 mm 的颗粒含量占全重 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒含量超过全重 50%
中砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒含量超过全重 50%
细砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重 85%
粉砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重 50%

注: 分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。



四、粉土

粉土是指粒径大于 0.75 mm 的颗粒含量不超过全重 50%、塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土。其性质介于砂土及黏性土之间。粉土的密实度与天然孔隙比 e 有关,强度与天然含水量有关,一般随着含水量的增加其强度随之降低。从液化特征看,粉土易液化,在工程中难以压实,不宜用石灰加固,在桩基工程中不适宜采用压入法沉桩。

五、黏性土

塑性指数 $I_p > 10$ 的土为黏性土,分布面积广,是一种常见的土。其性质与土的成因、生成年代关系密切。工程上,根据沉积年代不同分为老黏性土、一般黏性土及新沉积的黏性土。老黏性土沉积年代久,工程性质较好,一般具有较高的强度和较低的压缩性。一般黏性土在静水或缓慢的流水环境中沉积,并经生物化学作用形成。当天然含水量大于液限,天然孔隙比大于或等于 1.5 的黏性土称为淤泥;当天然孔隙比满足 $1.0 \leq e < 1.5$ 时,称为淤泥质土。淤泥和淤泥质土的强度低、压缩性高、透水性差、压实所需的时间长。

六、人工填土

人工填土是指由于人类活动而堆填的土。人工填土成分复杂、均匀性差、堆积时间不同,故用作地基时应慎重对待。人工填土根据其组成和成因不同可分为素填土、杂填土和冲填土。素填土是由碎石土、砂土、粉土、黏性土等组成的填土,杂填土是由含建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土。冲填土应由水力冲填泥砂形成的填土。

地基土定名时,对于碎石土、砂土应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

【例 1-4】 已知某土样不同粒组的重量占全重的百分比如下,粒径 2~5 mm 占 3.1%, 1~2 mm 占 6%, 0.5~1 mm 占 14.4%, 0.25~0.5 mm 占 41.5%, 0.25~0.1 mm 占 26%, 0.075~0.1 mm 占 9%, 全重为 100%, 试确定土的名称。

【解】 粒径大于 2 mm 的占全重的 3.1%;

粒径大于 0.5 mm 的占全重的 23.5% ($14.4\% + 6\% + 3.1\%$) $< 50\%$, 不属于粗砂;

粒径大于 0.25 mm 的占全重的 65% ($41.5\% + 14.4\% + 6\% + 3.1\%$) $> 50\%$ 。

故该土定名为中砂。

【例 1-5】 某土样的天然含水量 $\omega = 46.2\%$, 天然重度 $\gamma = 17.15 \text{ kN/m}^3$, 相对密度 $d_s = 2.74$, 液限 $\omega_L = 42.4\%$, 塑限 $\omega_p = 22.9\%$ 。试确定该土样的名称。

【解】 塑性指数 $I_p = \omega_L - \omega_p = 42.4 - 22.9 = 19.5$

$$\text{液性指数 } I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} = \frac{46.2 - 22.9}{42.4 - 22.9} = 19.5$$

$$\text{孔隙比 } e = \frac{d_s \gamma_w (1 + \omega)}{\gamma} - 1 = \frac{2.74 \times 10 (1 + 0.462)}{17.15} - 1 = 1.34$$

因 $I_p > 17$, $I_L > 1$ 为黏土处于流塑状态, 又 $\omega > \omega_L$, $1.5 > e > 1$, 故该土定名为淤泥质黏土。



综合实训

一、填空题

1. 根据土的颗粒级配曲线, 当颗粒级配曲线较 () 时表示土的级配良好。
2. 土的天然含水量是土中 () 与 () 之比。
3. 液性指数是用来衡量黏性土的 () 状态。
4. 反映无黏性土的工程性质主要指标是 (), 工程上常用 ()、() 结合 () 来衡量。
5. 土由可塑状态转到流动状态的界限含水量叫作 (), 可由 () 测得。
6. 不均匀系数 C_u 表示颗粒级配的不均匀程度, C_u 值越小表示级配 ()。
7. 无黏性土的主要工程特征是 (); 黏性土的 () 对土的性质影响很大。
8. 某同一类土样, 他们的含水量相同, 但饱和度不同, 饱和度越大的土, 其压缩性 ()。
9. 岩石按地质成因可分为 ()、() 和 ()。

二、选择题

1. 土的物理指标中可由试验直接测定的有 ()。
 A. 含水量、孔隙比、饱和度 B. 重度、含水量、孔隙比
 C. 相对密度、孔隙比、重度 D. 重度、含水量、相对密度
2. 一般情况下, 同一种土各种重度之间的关系是 ()。
 A. $\gamma_{sat} > \gamma_d > \gamma > \gamma'$ B. $\gamma > \gamma_{sat} > \gamma_d > \gamma'$
 C. $\gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d > \gamma'$ D. $\gamma_d > \gamma_{sat} > \gamma > \gamma'$
3. 黏性土的塑性指数 I_p 越大, 则表示土的 ()。
 A. 含水量越大 B. 黏粒含量越多
 C. 粉粒含量越多 D. 塑性越高
4. 对黏性土进行分类定名的主要依据是 ()。
 A. 液限 B. 塑限
 C. 液性指数 D. 塑性指数
5. 对土颗粒产生浮力作用的水是 ()。
 A. 结合水 B. 自由水
 C. 重力水 D. 毛细水
6. 标准贯入试验的锤击数越大, 则土的孔隙比 ()。
 A. 越大 B. 越小
 C. 不变 D. 不能确定
7. () 对黏性土的物理力学性质影响很大, 对无黏性土而言, 可认为不含 ()。
 A. 结合水 B. 自由水
 C. 强结合水 D. 弱结合水
8. 土的结构一般分为三种基本类型: ()。
 A. 单粒结构、解理结构、絮状结构 B. 单粒结构、蜂窝结构、絮状结构
 C. 单粒结构、解理结构、层状结构 D. 解理结构、蜂窝结构、絮状结构



三、简述题

- 1.为什么要对地基土进行粒组划分？
- 2.无黏性土的工程性质取决于什么指标？具体如何评价？
- 3.什么是黏性土的界限含水量？常用的界限含水量有哪些？
- 4.建筑物的地基分为哪几类？其中对砂土和黏性土各根据什么进行分类？

四、计算题

- 1.某原状土体积为 72 cm^3 ，其湿土质量为 0.13 kg ，干土质量为 0.12 kg ，土粒的相对密度为 2.71 ，试求该土样的含水量、天然重力密度、干土重力密度、饱和土重力密度、浮重力密度、孔隙比、孔隙率和饱和度。
- 2.已知某饱和土的含水量 $\omega=35\%$ ，天然重力密度 $\gamma=18.9\text{ kN/m}^3$ ，试求该土的孔隙比 e 、土粒的相对密度 d_s 和干土重力密度 γ_d 。
- 3.某砂土的天然重力密度为 17.7 kN/m^3 ，天然含水量为 9.8% ，土的相对密度为 2.67 ，烘干后测定最小孔隙比为 0.461 ，最大孔隙比为 0.943 ，试求天然孔隙比 e 和相对密实度 D_r ，并判断该砂土的密实度。
- 4.已知某土样的天然含水量 $\omega=42.7\%$ ，天然重度 $\gamma=18.05\text{ kN/m}^3$ ，土粒相对密度 $d_s=2.72$ ，液限 $\omega_L=39.5\%$ ，塑性 $\omega_p=22\%$ ，试确定土的名称。
- 5.已知 A、B 两土样的物理性能见下表，试判断下列结论是否正确：

A、B 两土样物理性能

土样	$\omega_L\ (\%)$	$\omega_p\ (\%)$	$\omega\ (\%)$	d_s	S_r
A	30	12	45	2.72	1.0
B	29	16	26	2.68	1.0

- ①A 比 B 具有更多的黏粒；
- ②A 比 B 具有更大的密度；
- ③A 比 B 具有更大的干土密度；
- ④A 比 B 具有更大的孔隙比。

6.甲、乙两土样的液限、塑限都相同，为 $\omega_L=40\%$ ， $\omega_p=25\%$ 但甲的天然含水量 $\omega=45\%$ ，而乙的天然含水量 $\omega=20\%$ 。问：甲、乙两土样的液性指数各是多少？该土的名称是什么？哪个土样的土适宜为天然地基？