



高职高专土建类工学结合“十二五”规划教材
GAOZHIGAOZHUAN TUJIANLEI GONGXUEJIEHE "SHIERWU" GUIHUA JIAOCAI

地基与基础 项目化教程

PROJECT TUTORIAL
OF FOUNDATION

主 编◎陈剑波



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高职高专土建类工学结合“十二五”规划教材

地基与基础项目化教程

主 审 刘凤翰

主 编 陈剑波

副主编 吴 添 张洪尧 李华磊

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

本书是根据项目化教学要求进行编写的建筑工程技术专业系列教材之一。全书共分为土的性质及土方开挖方案识读,土中应力和地基变形的计算,土抗剪强度与地基承载力的计算,浅基础的施工图识读、设计及施工,桩基础的施工图识读,设计及施工,地基处理,工程地质勘察报告的阅读,挡土墙的施工图识读与设计,土工试验等9个学习项目,并附有相关的设计实例与实际施工图纸。为方便读者学习,本书的每个项目还有学习目标及精选的项目训练题。

本书可作为高等专科学校、高等职业技术学院、成人高校等土建类专业的教学用书,也可作为土建类工程技术人员、施工管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地基与基础项目化教程/陈剑波 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5609-9220-4

I. 地… II. 陈… III. 地基-基础(工程)-高等职业教育-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 159348 号

地基与基础项目化教程

陈剑波 主编

责任编辑:金 紫

封面设计:李 嫚

责任校对:周 娟

责任监印:张贵君

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:850mm×1065mm 1/16

印 张:10.5

字 数:184千字

版 次:2013年9月第1版第1次印刷

定 价:26.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

地基与基础是建筑工程技术专业及其他相关专业的一门重要的专业课或专业基础课。随着城市建设的快速发展以及高层建筑、大型公共建筑、重型设备基础、城市地铁、过江过海隧道等工程的大量兴建,土力学理论与地基基础技术显得越来越重要。据统计,国内外发生的工程事故中,以地基基础领域的事故为最多,对社会的不良影响越来越大,事故的处理的成本与难度也在不断增加,因此,土建类专业的学生及相关工程技术人员应重视本学科知识的学习。

编者根据课程的定位和培养目标,以工作为导向进行课程内容重构,立足于实际能力的培养,对课程内容的选择标准作了根本性改革,打破了以知识传授为主要特征的传统学科课程模式,转变为以工作任务为中心、基于“工学结合”的要求来组织课程内容和课程教学,让学生在完成具体项目的过程中来构建相关理论知识,并发展职业能力。经过行业专家与建筑工程专业教师多次深入、细致、系统的专题讨论和分析,本课程最终确定了9个学习项目。

教学内容围绕实训项目组织,技能培养以工学结合为切入点;实训项目会同企业进行开发和研究,符合工作要求,有针对性,能大力提高学生对图形的理解与识读能力;理论知识作为能力培养的补充,努力打造理论实践一体化的教学课堂;进一步激发学生的学习热情,优化教学过程,提高学生的动手能力,充分发挥学生的主观能动性;最终更增强了学生的上岗就业的竞争能力,为零距离上岗就业提供了有力保障。本书在编写过程中力求内容精选、推导简化,做到“以应用为目的”、“以必需、够用为原则”,努力体现高职高专教育的特色,并注重反映地基基础领域的新规范、新规程及推广应用的新技术、新工艺。本书采用的规范、规程有《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2009)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)等。

本书由南京交通职业技术学院陈剑波任主编,宁夏建设职业技术学院吴添、沙洲职业工学院张洪尧、新乡职业技术学院李华磊任副主编,南京交通职业技术学院刘凤翰教授担任主审。全书由陈剑波统稿。本书在编写过程中得到了许多院校领导和老师的帮助,刘凤翰副教授在本书成稿后认真审阅了全书,并提出了宝贵修改意见,在此一并表示感谢。

由于时间和编者水平有限,书中不妥之处敬请读者批评指正。

编 者
2013年9月

目 录

项目 1 土的性质及土方开挖方案识读	(1)
1.1 土与地基	(1)
1.2 土的成因和组成	(2)
1.3 土的物理性质指标和物理状态指标	(4)
1.4 地基岩土的工程分类	(10)
1.5 案例——某公司车间实验楼土方开挖施工方案	(12)
项目 1 训练题	(16)
项目 2 土中应力和地基变形的计算	(17)
2.1 土中应力和变形、自重应力和附加应力的概念	(17)
2.2 土中自重应力	(17)
2.3 基底压力、基底附加应力和土中附加应力	(20)
2.4 土的压缩性和土的压缩性指标	(26)
2.5 地基最终沉降量计算	(27)
2.6 地基沉降与时间的关系	(31)
2.7 地基变形特征与建筑物沉降观测	(31)
项目 2 训练题	(34)
项目 3 土抗剪强度与地基承载力的计算	(36)
3.1 土的抗剪强度	(36)
3.2 抗剪强度库仑定律	(36)
3.3 抗剪强度指标的测定方法	(37)
3.4 地基承载力的理论计算和地基承载力特征值的确定	(38)
项目 3 训练题	(45)
项目 4 浅基础的施工图识读、设计及施工	(47)
4.1 浅基础的类型	(47)
4.2 基础设计的要求与步骤	(51)
4.3 基础埋置深度的确定	(52)
4.4 基础底面尺寸的确定	(54)
4.5 基础施工图识读	(58)
4.6 无筋扩展基础设计	(58)
4.7 墙下钢筋混凝土条形基础	(61)
4.8 墙下钢筋混凝土条形基础设计实例	(64)
4.9 案例——独立基础施工方案	(65)
项目 4 训练题	(73)

项目 5 桩基础的施工图识读、设计及施工	(75)
5.1 桩基础	(75)
5.2 桩的承载力	(76)
5.3 桩基础设计	(78)
5.4 桩承台设计	(80)
5.5 桩身结构设计	(81)
5.6 桩基础施工图识读	(81)
5.7 桩基础长度设计实例	(81)
5.8 案例——人工挖孔桩基础施工方案	(81)
项目 5 训练题	(87)
项目 6 地基处理	(89)
6.1 地基处理	(89)
6.2 地基处理的分类	(90)
6.3 案例——某建筑地基处理方案	(96)
项目 7 工程地质勘察报告的识读	(100)
7.1 工程地质概述	(100)
7.2 工程地质勘察的目的和任务	(102)
7.3 工程地质勘探方法	(103)
7.4 工程地质勘察报告	(105)
7.5 案例——工程地质勘察报告实例	(107)
项目 7 训练题	(121)
项目 8 重力式挡土墙施工图识读与设计	(122)
8.1 土压力概述	(122)
8.2 土压力计算	(123)
8.3 挡土墙设计	(130)
8.4 重力式挡土墙施工图识读	(133)
8.5 挡土墙设计实例	(133)
8.6 土坡稳定分析	(134)
8.7 基坑支护工程	(134)
8.8 案例——地基坑支护结构选型实例	(138)
项目 8 训练题	(142)
项目 9 土工试验	(144)
9.1 土的含水量试验	(144)
9.2 土的密度试验	(145)
9.3 土粒比重试验	(146)
9.4 塑限、液限联合测定试验	(148)
9.5 标准固结(压缩)试验	(151)
9.6 直接剪切试验	(156)
参考文献	(160)

项目 1 土的性质及土方开挖方案识读

【学习要求】

- 能够识别土的各种性质以及与其相对应的性质指标；
- 熟悉规范对地基土的工程分类方法。

1.1 土与地基

自然界中的土是地壳表层的岩石经过风化、剥蚀、破碎、搬运、沉积等过程后在不同条件下形成的自然历史的产物。土由固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)三者组成的(见图 1-1、图 1-2)。

我们一般将支承上部建筑和基础荷载的土层称为地基。

从某种意义上而言,有时候可以认为:“地基就是土层”。



图 1-1 岩层



图 1-2 土层

1.1.1 上部建筑、基础与地基

上部建筑的荷载传给基础,基础承受上部荷载并传递给地基,三者相互作用、互相联系(见图1-3)。

地基与基础是两个完全不同的概念。

通常将埋入土层一定深度的建筑物下部的承重结构称为基础;而将支承基础的土层或岩层称为地基。

位于基础底面下第一层土称为持力层;而在持力层以下的土层称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。

因此,必须选择承载力较高的土层作为建筑物的地基,来承受上部荷载(见图 1-4、图 1-5)。

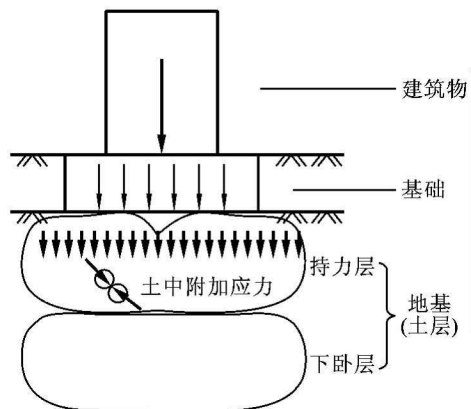


图 1-3 上部建筑、基础与地基关系

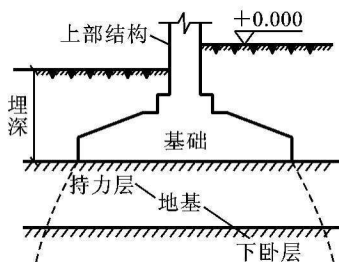


图 1-4 持力层和下卧层



图 1-5 上部建筑、基础与地基

1.1.2 建筑物安全的保证条件

建筑物安全的保证条件如下。

- (1) 建筑物本身是安全的。
- (2) 基础本身满足强度、刚度和耐久性的要求。
- (3) 地基满足以下条件。

- ① 地基的强度条件。要求建筑物的地基应有足够的承载力,在荷载作用下,不发生剪切破坏或失稳。
- ② 地基的变形条件。要求建筑物的地基不产生过大的变形(包括沉降、沉降差、倾斜和局部倾斜),保证建筑物正常使用。

1.2 土的成因和组成

要选择承载力较高的土层作为建筑物的地基,就必须了解何种土层具备良好的承载力,这就要求首先要了解土的成因、组成、各种指标和它们的工程分类。

1.2.1 土的成因

地壳表层的岩石长期暴露在大气中,经受气候的变化,会逐渐崩解,破碎成大小和形状不同的一些碎块,这个过程称为物理风化。物理风化后形成的碎块与水、氧气、二氧化碳等物质接触,使岩石碎屑发生化学变化,这个过程称为化学风化。化学风化改变了原来组成矿物的成分,产生了与母岩矿物成分不同的次生矿物,如黏土矿物、铝铁氧化物和氢氧化物等。动植物和人类活动对岩石的破坏,称为生物风化。如植物的根对岩石的破坏、人类开山等,其矿物成分未发生变化。

1.2.2 土的组成

在天然状态下,自然界中的土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。

为了便于说明和计算,通常用土的三相组成图来表示它们之间的数量关系,如图 1-6 所示。三相图的右侧表示三相组成的体积关系,左侧表示三相组成的质量关系。

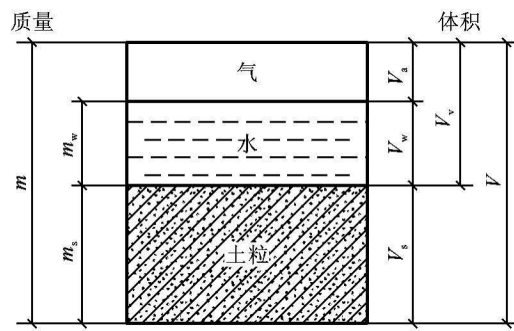


图 1-6 土的三相关系

V —土的总体积; V_v —土的孔隙体积; V_s —土粒的体积; V_w —水的体积;
 V_g —气体的体积; m —土的总质量; m_s —土粒的质量; m_w —水的质量

1. 土的固体颗粒

自然界中的土都是由大小不同的土颗粒组成,土颗粒的大小与土的性质密切相关。

如土颗粒由粗变细,则土的性质由无黏性变为黏性。粒径大小在一定范围内的土,其矿物成分及性质也比较相近。

划分粒组的分界尺寸称为界限粒径,我国习惯采用表 1-1 划分粒组。

表 1-1 粒组划分标准

粒 组 统 称	粒 组 名 称		粒组粒径 d 的范围/mm
巨 粒	漂石(块石)粒		$d>200$
	卵石(碎石)粒		$200\geq d>60$
粗 粒	砾 粒	粗 砾	$60\geq d>20$
		细 砾	$20\geq d>2$
	砂 粒		$2\geq d>0.075$
细 粒	粉 粒		$0.075\geq d>0.005$
	黏 粒		$0.005\geq d$

土的颗粒级配是指土中各个粒组占土粒总量的百分数,常用来表示土粒的大小及组成情况。土的级配一般用颗粒级配曲线表示,一般用横坐标表示粒径,纵坐标用来表示小于某粒径的土重含量(或累计百分含量)。图 1-7 中曲线 a 平缓,则表示粒径大小相差较大,土粒不均匀,即为级配良好;反之,曲线 b 较陡,则表示粒径的大小相差不大,土粒较均匀,即为级配不良。

工程上常采用不均匀系数 C_u 来定量反映土颗粒的组成特征。我国《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)规定:对于砂类或砾类土,当 $C_u\geq 5$ 且 $C_c=1\sim 3$ 时,为级配良好的砂或砾;不能同时满足上述条件时,为级配是不良的砂或砾。级配良好的土,其强度和稳定性较好,透水性和压缩性较小,是填方工程的良好用料。

2. 土中水

自然状态下土中都含有水,土中水与土颗粒之间的相互作用对土的性质影响很大,而且土颗粒越

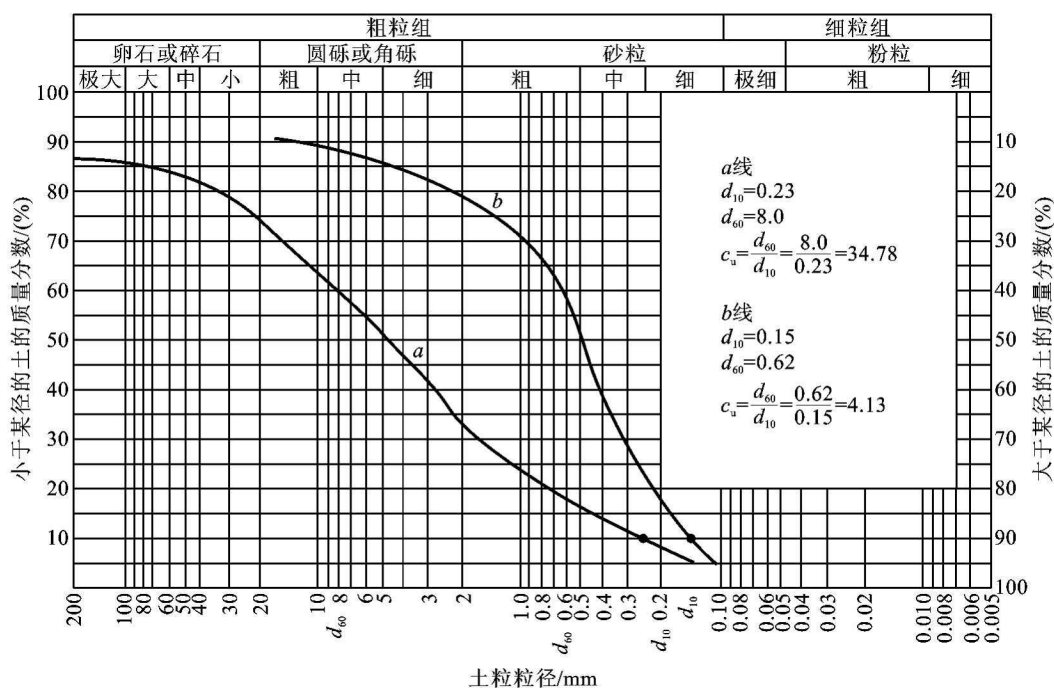


图 1-7 颗粒级配曲线

细影响越大。土中液态水主要有结合水和自由水两大类。

(1) 结合水

结合水是指由土粒表面电分子吸引力吸附的土中水,根据其离土粒表面的距离又可以分为强结合水和弱结合水。

(2) 自由水

自由水是指存在于土粒电场范围以外的水,自由水又可分为毛细水和重力水。

毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。毛细水位于地下水位以上的透水层中,容易湿润地基造成地陷,特别在寒冷地区要注意因毛细水上升产生冻胀现象,地下室要采取防潮措施。

重力水是存在于地下水位以下透水层中的地下水,它是在重力或压力差作用下而运动的自由水。在地下水位以下的土,受重力水的浮力作用,土中的应力状态会发生改变。施工时,重力水对于基坑开挖、排水等方面会产生较大影响。

3. 土中气体

土中气体存在于土孔隙中未被水占据的部位。

1.3 土的物理性质指标和物理状态指标

土的物理性质指标主要描述的是土的三项比例关系的指标,它在一定程度上体现出了土的力学性质,如土的承载力;描述土的三相物质在体积和质量上的比例关系的有关指标,称为土的三相比例指标(见图 1-8)。

土的物理性质指标可分为两种,一种是基本指标(可由土工试验直接测定),另一种是换算指标

(可由基本指标经过换算求得)。

而土的物理状态指标是更为形象直观的描述了土当前所处的一种状态。所谓土的物理状态,对于无黏性土是指土的密实度;对于黏性土是指土的软硬程度或称黏性土的稠度。

各种土层的性质与承载力都可以通过它们相对应的指标进行区分,因此,更好地了解土的各种指标,我们就更能科学的选出承载力较好的土层作为我们建筑物的地基。

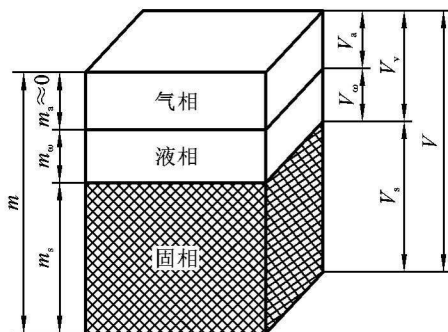


图 1-8 土的三相关系图

1.3.1 土的物理性质指标

1.3.1.1 土的物理性质指标中的基本指标

土的含水量、密度、土粒比重 3 个三相比例指标可由土工试验直接测定,称为基本指标,亦称为试验指标。

1. 土的含水量 w

土中水的质量与土粒质量之比(用百分数表示),称为土的含水量,亦称为土的含水率。即

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

同一类土,含水量越高,则土越湿,一般来说也就越软,强度越低。

2. 土的密度 ρ 和重度 γ

单位体积内土的质量称为土的密度 ρ ,单位体积内土的重量称为土的重度 γ 。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \quad (1-2)$$

$$\gamma = \rho g \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-3)$$

式中: g ——重力加速度,约等于 9.807 m/s^2 ,一般在工程计算中近似取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

3. 土粒比重 G_s

土粒质量与同体积的 4°C 时纯水的质量之比,称为土粒比重(无量纲),亦称为土的相对密度。即

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-4)$$

式中: ρ_s ——土粒的密度, g/cm^3 ;

ρ_w —— 4°C 时纯水的密度,一般取 $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ 。

1.3.1.2 土的物理性质指标中的换算指标

在测定上述 3 个基本指标之后,经过换算求得下列 6 个指标,称为换算指标。

1. 干密度 ρ_d 和干重度 γ_d

单位体积内土颗粒的质量称为土的干密度 ρ_d ;单位体积内土颗粒的重量称为土的干重度 γ_d ,其计算公式为

$$\rho_d = m_s / V \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \quad (1-5)$$

$$\gamma_d = \rho_d g \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-6)$$

在工程上常把干密度作为检测人工填土密实程度的指标,以控制施工质量。

2. 土的饱和密度 ρ_{sat} 和饱和重度 γ_{sat}

饱和密度是指土中孔隙完全充满水时,单位体积土的质量;饱和重度是指土中孔隙完全充满水时,单位体积内土的重量,即

$$\rho_{\text{sat}} = (m_s + V_v \rho_w) / V \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \tag{1-7}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g \quad (\text{kN/m}^3) \tag{1-8}$$

3. 土的有效密度 ρ' 和有效重度 γ'

土的有效密度是指在地下水位以下,单位土体积中土粒的质量扣除土体排开同体积水的质量;土的有效重度是指在地下水位以下,单位土体积中土粒所受的重力扣除水的浮力,即

$$\rho' = (m_s - V_s \rho_w) / V \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \tag{1-9}$$

$$\gamma' = \rho' g \quad (\text{kN/m}^3) \tag{1-10}$$

4. 土的孔隙比 e

孔隙比为土中孔隙体积与土粒体积之比,用小数表示。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \tag{1-11}$$

孔隙比是评价土的密实程度的重要指标。一般孔隙比小于 0.6 的土是低压缩性的土,孔隙比大于 1.0 的是高压缩性的土。

5. 土的孔隙率 n

孔隙率为土中孔隙体积与土的总体积之比,以百分数表示。

$$n = (V_v / V) \times 100 \% \tag{1-12}$$

土的孔隙率也可用来表示土的密实程度。

6. 土的饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比,称为土的饱和度,以百分率表示。即

$$S_r = (V_w / V_v) \times 100 \% \tag{1-13}$$

饱和度用作描述土体中孔隙被水充满的程度。干土的饱和度 $S_r=0$,当土处于完全饱和状态时 $S_r=100\%$ 。根据饱和度,土可划分为稍湿、很湿和饱和三种湿润状态,即

$S_r \leq 50\%$,稍湿;

$50\% < S_r \leq 80\%$,很湿;

$S_r > 80\%$,饱和。

1.3.1.3 三相比比例指标之间的换算关系

在土的三相比比例指标中,土的含水量、土的密度和土粒比重 3 个基本指标是通过试验测定的,其他相应各项指标可以通过土的三相比比例关系换算求得。各项指标之间的换算公式见表 1-2。

表 1-2 土的三相比比例指标之间的换算公式

名称	符号	三相比比例指标	常用换算公式	单位	常见的数值范围
土粒比重	G_s	$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$	$G_s = \frac{S_r e}{w}$		黏性土:2.72~2.75 粉土:2.70~2.71 砂类土:2.65~2.69

续表

名称	符号	三相比例指标	常用换算公式	单位	常见的数值范围
含水量	w	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	$w = \frac{S_r e}{G_s} = \frac{\rho}{\rho_d} - 1$		20%~60%
密度	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho = \rho_d(1+w)$ $\rho = \frac{G_s(1+w)}{1+e} \rho_w$	g/cm ³	1.6~2.0
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \rho/(1+w)$ $\rho_d = \frac{G_s}{1+e} \rho_w$	g/cm ³	1.3~1.8
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	$\rho_{\text{sat}} = \rho' + \rho_w$ $\rho_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1+e} \rho_w$	g/cm ³	1.8~2.3
有效密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V}$	$\rho' = \rho_{\text{sat}} - \rho_w$ $\rho' = \frac{G_s - 1}{1+e} \rho_w$	g/cm ³	0.8~1.3
重度	γ	$\gamma = \frac{m}{V} g$	$\gamma = \frac{G_s(1+w)}{1+e} \gamma_w$	kN/m ³	16~20
干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{m_s}{V} g$	$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w$	kN/m ³	13~18
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} g$	$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w$	kN/m ³	18~23
有效重度	γ'	$\gamma' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} g$	$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w$	kN/m ³	8~13
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s(1+w)}{\rho} \rho_w - 1$		黏性土和粉土:0.40~1.20 砂类土:0.30~0.90
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = \frac{e}{1+e}$		黏性土和粉土:30%~60% 砂类土:25%~60%
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{G_s w}{e}$ $S_r = \frac{w \rho_d}{n \rho_w}$		0~100%

【例 1-1】 某土样经试验测得体积为 100 cm³,质量为 187 g,烘干后测得质量为 167 g。已知土粒相对密度 $d_s=2.66$,试求该土样的含水量 w 、密度 ρ 、重度 γ 、干重度 γ_d 、孔隙比 e 、饱和度 S_r 、饱和重度 γ_{sat} 和有效重度 γ' 。

【解】

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{187 - 167}{167} = 11.98\%$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{187}{100} = 1.87 \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\begin{aligned}\gamma &= \rho g = 1.87 \times 10 = 18.7 \quad (\text{kN/m}^3) \\ \gamma_d &= \rho_d g = \frac{167}{100} \times 10 = 16.7 \quad (\text{kN/m}^3) \\ e &= \frac{G_s(1+\omega)\rho_w}{\rho} - 1 = \frac{2.66(1+0.1198)}{1.87} - 1 = 0.593 \\ S_r &= \frac{\omega G_s}{e} = \frac{0.1198 \times 2.66}{0.593} = 53.7\% \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{2.66 + 0.593}{1 + 0.593} \times 10 = 20.4 \quad (\text{kN/m}^3) \\ \gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 20.4 - 10 = 10.4 \quad (\text{kN/m}^3)\end{aligned}$$

1.3.2 土的物理状态指标

1.3.2.1 无黏性土的密实度

土的密实度是指单位体积中固体颗粒充满的程度。无黏性土颗粒排列紧密,呈密实状态时,强度较高,压缩性较小,可作为良好的天然地基;呈松散状态时,强度较低,压缩性较大,为不良地基。判别砂土密实状态的指标通常有下列三种。

1. 孔隙比 e

采用天然孔隙比的大小来判断砂土的密实度,是一种较简便的方法。一般当 $e < 0.6$ 时,属密实的砂土,是良好的天然地基;当 $e > 0.95$ 时,为松散状态,不宜作天然地基。

2. 相对密度 D_r

当砂土处于最密实状态时,其孔隙比称为最小孔隙比 $e_{\min}$;而当砂土处于最疏松状态时的孔隙比则称为最大孔隙比 $e_{\max}$;砂土在天然状态下的孔隙比用 e 表示,相对密度 D_r 用下式表示,即

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \tag{1-14}$$

当砂土的天然孔隙比接近于最大孔隙比时,其相对密度接近于 0,则表明砂土处于最松散的状态;而当砂土的天然孔隙比接近于最小孔隙比时,其相对密度接近于 1,表明砂土处于最紧密的状态。用相对密度 D_r 判定砂土密实度的标准如下:

$$\begin{aligned}0 < D_r \leq 0.33, & \text{松散;} \\ 0.33 < D_r \leq 0.67, & \text{中密;} \\ 0.67 < D_r \leq 1, & \text{密实。}\end{aligned}$$

3. 标准贯入锤击数 N

在实际工程中,天然砂土的密实度可根据标准贯入试验的锤击数 N 进行评定,表 1-3 给出了《建筑地基基础设计规范》(GB 2007—2002)的判别标准。

表 1-3 按锤击数 N 划分砂土密实度

密实度	松散	稍密	中密	密实
标准贯入试验锤击数 N	$N \leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$N > 30$

1.3.2.2 黏性土的物理状态指标

黏性土的物理状态可以用稠度表示,黏性土由于其含水量的不同,而分别处于固态、半固态、可塑

状态及流动状态。

1. 黏性土的界限含水量

黏性土从一种状态过渡到另一种状态的分界含水量称为界限含水量。黏性土由可塑状态转到流动状态的界限含水量称为液限 w_L ；由半固态转到可塑状态的界限含水量称为塑限 w_P ；由固态转到半固态的界限含水量称为缩限 w_s ，如图 1-9 所示。当黏性土在某一含水量范围内时，可用外力将土塑成任何形状而不发生裂纹，即使外力移去后仍能保持既得的形状，土的这种性能称为土的可塑性。

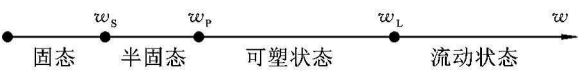


图 1-9 黏性土的状态与含水量关系

2. 黏性土的塑性指数和液性指数

(1) 塑性指数。

塑性指数是指液限 w_L 和塑限 w_P 的差值，即黏性土处在可塑状态的含水量的变化范围，用 I_P 表示。即

$$I_P = w_L - w_P \tag{1-15}$$

式中： w_L 、 w_P ——黏性土的液限和塑限，用百分数表示，计算塑性指数 I_P 时去掉百分符号。《建筑地基基础设计规范》(GB 2007—2002)规定，塑性指数 $I_P > 10$ 的土为黏性土，其中 $10 < I_P \leq 17$ 为粉质黏土， $I_P > 17$ 为黏土。

(2) 液性指数。

液性指数是指土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数 I_P 之比，用 I_L 表示。即

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \tag{1-16}$$

液性指数是表示黏性土软硬程度(稠度)的物理指标。

《建筑地基基础设计规范》(GB 2007—2002)根据液性指数 I_L 将黏性土划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑 5 种状态(见表 1-4)。

表 1-4 黏性土状态的划分

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

3. 黏性土的灵敏度和触变形

天然状态下的黏性土通常具有相对较高的强度。

当土体受到扰动时，土的结构破坏，因此强度降低。这种影响一般用土的灵敏度 S_t 来表示。

$$S_t = \frac{q_u}{q_0} \tag{1-17}$$

式中： q_u ——原状土的强度；

q_0 ——土样受扰动后的强度。

工程中可根据灵敏度的大小，可将饱和黏性土分为三类：

低灵敏土， $1 < S_t \leq 2$ ；

中灵敏土， $2 < S_t \leq 4$ ；

高灵敏土, $S_t > 4$ 。

土的灵敏度愈高,受扰动后土的强度降低就愈多,这对工程建设是不利的,如在基坑开挖过程中,因施工可能造成土的扰动而会使地基强度降低。

黏性土受扰动以后强度降低,但静置一段时间以后强度逐渐恢复的现象,称为土的触变性。如采用深层挤密类方法进行地基处理时,处理以后的地基常静置一段时间再进行上部结构的修建。

1.4 地基岩土的工程分类

岩土的分类方法很多,用途不同所采用的分类方法不同。

《建筑地基基础设计规范》(GB 2007—2002)把作为建筑地基的岩土,分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土和特殊土 7 类。此外,按土的软硬程度可分为八类土。

1.4.1 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。

岩石的坚硬程度按表 1-5 划分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩。

表 1-5 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	$f_{rk} > 60$	$60 \geq f_{rk} > 30$	$30 \geq f_{rk} > 15$	$15 \geq f_{rk} > 5$	$f_{rk} \leq 5$

1.4.2 碎石土

碎石土为粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土,可分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾,如表 1-6 所示。

表 1-6 碎石土的分类

土 的 名 称	颗 粒 形 状	粒 组 含 量
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200 mm 的颗粒超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20 mm 的颗粒超过总质量的 50%
砾石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2 mm 的颗粒超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

注:分类时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

1.4.3 砂土

砂土为粒径大于 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,可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂,如表 1-7 所示。

表 1-7 砂土的分类

土 的 名 称	粒 组 含 量
砾砂	粒径大于 2 mm 的颗粒占总质量的 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒占总质量的 50%
中砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒占总质量的 50%
细砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒占总质量的 85%
粉砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒占总质量的 50%

注:分类时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

1.4.4 粉土

粉土为介于砂土与黏性土之间,塑性指数 $I_p \leq 10$ 且粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的土,同时具有砂土和黏性土的某些特征。

1.4.5 黏性土

黏性土为塑性指数 I_p 大于 10 的土,可分为黏土和粉质黏土,如表 1-8 所示。

表 1-8 黏性土的分类

土 的 名 称	塑性指数 I_p
黏土	$I_p > 17$
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$

1.4.6 人工填土

由于人类活动堆填的土称为人工填土。人工填土根据其组成和成因,可分为素填土、压实填土、杂填土、冲填土。

(1) 素填土是由碎石、砂土、粉土、黏性土等一种或几种材料组成的填土,其中不含杂质或杂质很少。

(2) 压实填土是经过压实或夯实的素填土。

(3) 杂填土是由建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物组成的填土。

(4) 冲填土是由水力冲填泥砂形成的填土。

人工填土的物质成分复杂,均匀性较差,作为地基应注意其不均匀性。

1.4.7 特殊土

除上述 6 种土类之外,还有一些特殊土,如软土、红黏土、湿陷性黄土、膨胀土等,它们在特定的地理环境、气候等条件下形成,具有特殊的工程性质。