

TULIXUE YU DIJI JICHU

土力学与地基基础

主编 © 李东侠 徐光华

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

土力学与地基基础

主 编 李东侠 徐光华
副主编 刘玉欣 赵纪平 刘 琪
参 编 侯春奇



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书根据最新的相关国家标准和行业标准编写而成,系统地介绍了土力学与地基基础的基本知识。项目1至项目6为土力学部分,内容包括:土的物理性质与工程分类、土体中的应力、土的压缩性与地基变形计算、土的抗剪强度、天然地基容许承载力、土压力;项目7至项目12为地基基础部分,内容包括:地基与基础、天然地基上的浅基础、桩基础、沉井基础、地基处理、土工试验。每项目后附有复习思考题,以便学生理解基本理论及复习所学内容。

本书可作为高等院校铁道工程、高速铁道、桥梁与隧道、城轨工程等专业的教学用书,也可作为各类成人教育铁道类专业的教材,同时还可供铁路职工参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/李东侠,徐光华主编. —北京:北京理工大学出版社,2013.1
ISBN 978-7-5640-7409-8

I. ①土… II. ①李… ②徐… III. ①土力学—高等学校—教材 ②地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第026451号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京紫瑞利印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/20

字 数/487千字

版 次/2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

印 数/1~1500册

定 价/52.00元

责任编辑/张慧峰

责任校对/杨 露

责任印制/边心超

图书如出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface

本教材系统地介绍了土力学的基本知识和原理,以及地基基础的基本知识,适当加强了对地基基础部分的设计和计算的讲解,特别注重对明挖、沉井和桩基这三部分的施工工艺、施工方法及地基处理技术的介绍,同时还加强了基本技能方面的训练,适用性强。为了便于学生理解和掌握教学内容,编写了部分算例,并且在每个项目后都附有复习思考题。

本教材编写的主要依据为:《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)、《铁路工程岩土分类标准》(TB 10077—2001)、《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)、《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)等。

本书由李东侠、徐光华任主编,刘玉欣、赵纪平和刘琪任副主编。项目1、项目5、项目8、项目10、项目11由李东侠编写;项目2、项目3、项目12由刘玉欣编写;项目4、项目9由赵纪平编写;项目7由徐光华编写;项目6由侯春奇编写;绪论由刘琪编写。

本书编写过程中，编者参考了大量优秀的相关教材、文章等，在此向相关作者表示感谢。限于编者水平，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目录

Contents

▶ 绪论 / 1

1 ▶ 项目1 土的物理性质与工程分类 / 4

- 1.1 土的三相组成 / 5
- 1.2 土的物理性质指标 / 8
- 1.3 土的物理状态指标 / 14
- 1.4 土的结构与构造 / 18
- 1.5 土的击实性 / 20
- 1.6 土的渗透性 / 24
- 1.7 土的工程分类及野外鉴别方法 / 30

2 ▶ 项目2 土体中的应力 / 40

- 2.1 土的自重应力计算 / 40
- 2.2 基底应力的分布与计算 / 43
- 2.3 地基附加应力计算 / 48

3 ▶ 项目3 土的压缩性与地基变形计算 / 65

- 3.1 土的压缩性 / 65
- 3.2 地基沉降计算 / 70
- 3.3 地基沉降随时间变化的计算 / 77
- 3.4 地基容许沉降量与减小沉降危害的措施 / 84

4 ▶ 项目4 土的抗剪强度 / 87

- 4.1 土的抗剪强度与极限平衡条件 / 87
- 4.2 土的抗剪强度试验 / 94
- 4.3 不同排水条件的强度指标及测定方法 / 98
- 4.4 砂类土的振动液化 / 100

5 ▶ 项目5 天然地基容许承载力 / 104

- 5.1 地基的破坏形态 / 104
- 5.2 地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载 / 106
- 5.3 按《规范》确定地基容许承载力 / 112
- 5.4 触探法确定地基容许承载力 / 121

6 ▶ 项目6 土压力 / 127

- 6.1 土压力基本知识 / 127
- 6.2 静止土压力计算 / 129
- 6.3 朗金土压力理论 / 130

- 6.4 库仑土压力理论 / 135
- 6.5 常见情况下土压力的计算 / 138
- 6.6 土坡稳定分析 / 142

7

项目7 地基与基础 / 147

- 7.1 地基与基础概述 / 147
- 7.2 基础的设计原则 / 151
- 7.3 基础上的荷载 / 153
- 7.4 基础的埋置深度 / 158

8

项目8 天然地基上的浅基础 / 163

- 8.1 浅基础的类型和尺寸拟定 / 163
- 8.2 刚性扩大基础的验算 / 167
- 8.3 刚性扩大基础设计算例 / 171
- 8.4 刚性扩大基础的施工 / 176

9

项目9 桩基础 / 193

- 9.1 桩和桩基础的主要类型和构造 / 193
- 9.2 单桩轴向容许承载力 / 199
- 9.3 桩基础的设计与计算 / 205
- 9.4 群桩计算 / 208
- 9.5 钻(挖)孔桩施工 / 210

10

项目10 沉井基础 / 222

- 10.1 沉井基础概述 / 222
- 10.2 一般沉井的设计和计算 / 226
- 10.3 沉井施工的方法 / 233
- 10.4 沉井施工的其他方法 / 250

11

项目11 地基处理 / 255

- 11.1 地基与地基处理分类 / 255
- 11.2 换填垫层法 / 256
- 11.3 强夯法及强夯置换法 / 259
- 11.4 预压法 / 264
- 11.5 挤密桩法 / 267
- 11.6 化学加固法 / 272
- 11.7 CFG桩 / 281

12

项目12 土工试验 / 288

- 12.1 土的密度试验 / 288
- 12.2 土的含水率试验 / 294
- 12.3 土的颗粒分析试验 / 296
- 12.4 土的液限和塑限试验 / 299
- 12.5 土的击实试验 / 302
- 12.6 土的侧限压缩试验 / 305
- 12.7 直接剪切试验 / 310

参考文献 / 314

绪 论

一、土力学与地基基础的相关概念

1. 土与土力学

土是自然界岩石经过物理、生物和化学风化等作用所形成的产物，是多种大小不同矿物颗粒的集合体。它是由固体土颗粒、水和空气三相物质组成的三相体系，其主要特点是散粒性和多孔性，以及由于自然条件和地理环境的不同所形成的明显区域性等。

研究土的特性及土体在各种荷载作用下性状的学科称为土力学。它是力学的一个分支，是运用力学的基本原理和土工测试技术，主要研究土的物理力学性质，如土的渗透性、压缩性、固结、抗剪强度、土压力、地基承载力和土坡稳定性等内容的一门科学。

2. 地基与基础

建筑物建造在地层上，使地层中应力状态发生改变。承受建筑物荷载而应力状态发生改变的那一部分地层称为地基，建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。地基和基础是两个不同的概念，地基属于地层，是支承建筑物的那一部分地层；基础则属于建筑物，是建筑物的一部分。上部结构、地基与基础的相互关系如图 0-1 所示。把地基中直接与基础接触的土层称为持力层；持力层下受建筑物荷载影响范围内的土层称为下卧层。

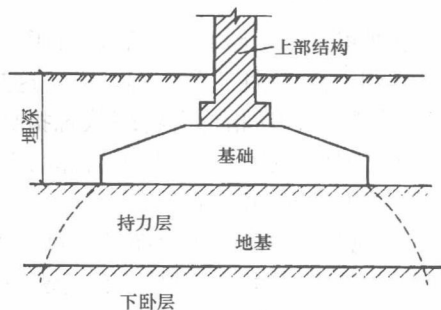


图 0-1 上部结构、地基与基础的相互关系

基础的结构形式很多，按埋置深度和施工方法不同，可分为浅基础和深基础两大类。通常把埋置深度不大(≤ 5 m)、可采用一般方法与设备施工的

基础称为浅基础，如条形基础、单独基础、筏板基础等。把埋置深度超过一定值、需借助于特殊的施工方法和机械设备施工的基础称为深基础，如桩基础、地下连续墙、沉井基础等。良好的地基一般应具有较高的承载力与较低的压缩性，如果地基土较软弱，工程性质较差，需对地基进行人工加固处理后才能作为建筑物地基的，称为人工地基；未经加固处理直接利用天然土层作为地基的，称为天然地基。

建筑物的地基、基础和上部结构三部分各自的功能及研究方法不同，但对同一建筑物来说，在荷载作用下，三者是相互联系、相互制约的整体。目前，把三部分完全统一起来进行设计计算还有一定困难，现阶段采用的常规设计方法是建筑物的地基、基础和上部结构三部分分开，按照静力平衡原则，采用不同的假定进行分析计算，同时考虑三者的相互共同作用。

二、土力学与地基基础的研究对象

地基在整个建筑中起着关键作用，它的变形或破坏直接影响到整个结构的安全和使用，

所以在建筑设计中最重要的工作之一是地基基础的设计和计算,而它的主要内容就是计算地基土的变形和强度(或承载力)。

不难看出,地基在受力后所引起的一切变化,都取决于土的性质。为了进行地基设计计算,必须先把土的基本特性搞清楚,然后才能研究地基土的计算方法,看它在外力作用下是否会产生破坏,或产生多大的沉降变形。只有掌握了这些土力学基本知识,才能比较科学地解决基础工程中所提出的一些实际问题,即如何根据不同地质条件合理地设计不同类型的基础。土力学与地基基础的研究对象主要有:

(1)土的物理、化学和力学性质——与地基基础设计有关的土的物理、化学及基本力学性质。

(2)地基变形——研究地基在受到荷载作用后的变形规律,用以预测建筑物在修建和使用阶段其基础的沉降、沉降差和倾斜等情况,保证建筑物不损坏或不影响正常使用。

(3)地基的稳定(强度)——研究地基在外力作用下是否会发生破坏或丧失稳定,是否满足一定的安全系数要求。

(4)其他力学问题,如土中水的渗流而产生的力学作用、挡土结构的土压力计算,以及软土地基的人工加固原理等。

三、本课程的主要内容和学习要求

本课程将学习路基和桥涵建筑所必需的土力学与地基基础的基础知识,具体内容包括:

(1)土的物理性质和工程分类。这是土力学的基础知识,主要论述与工程设计及施工有关的土的物理性质指标和物理状态指标,要求理解这些指标的物理意义;熟练掌握由已知若干个物理性质指标换算其他指标的方法;了解土的击实性与渗透性,掌握土分类的依据,掌握各类土的准确定名。

(2)地基土中的应力分布及计算。主要介绍土的自重应力、基底应力和附加应力的分布和计算。要求掌握这三种应力的计算方法。

(3)土的压缩性和地基沉降计算。主要介绍土的压缩性和计算地基沉降量的方法。要求在理解土的压缩原理的基础上掌握用分层总和法计算地基最终沉降量的方法。

(4)土的抗剪强度。主要介绍土的抗剪强度理论。要求掌握土的极限平衡的概念和条件;了解抗剪强度测定的几种方法。

(5)天然地基承载力。主要介绍地基承载力的概念和按《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)(以下简称《规范》)确定天然地基容许承载力。掌握地基容许承载力的定义;学会按《规范》确定一般桥涵的地基容许承载力;了解利用触探原理确定地基容许承载力的方法。

(6)土压力。主要介绍三种土压力的定义及产生的条件。要求掌握各种边界条件下主动和被动土压力的计算方法。

(7)桥涵基础。主要介绍桥涵基础的类型选择、设计计算和施工工艺。要求学会明挖基础和桩基础的设计计算方法及施工工艺;对沉井基础的设计和施工有一般的了解。

(8)地基处理。主要介绍地基处理的定义、几种常用的地基加固方法和在特殊地基上设计基础的特点。要求了解几种地基加固方法的适用条件和效果;了解在特殊地基上设计基础的特点。

(9) 土工试验。主要介绍土的密度试验、土的含水率试验、土的颗粒分析试验、土的液限和塑限试验、土的压缩试验及土的剪切试验等。要求掌握以上土工试验的原理及方法。

本课程涉及的自然科学范围很广，学习中要注意联系工程力学、地质学和桥涵设计的一些概念和知识，还要注意从土的特性出发去理解地基基础的设计计算，理论联系实际，抓住重点，掌握原理，搞清概念。

本书在论述有关桥涵地基基础的内容和要求时，都以《规范》为依据。为便于读者学习，书中采用的符号力求与《规范》所用相一致。

项目 1 土的物理性质与工程分类

项目描述

土是岩石经风化的产物，是由各种大小不同的土颗粒按一定比例组成的松散集合体。一般来说，土是由固体颗粒、水和气体所组成的三相体系。土的物理性质主要取决于固体颗粒的矿物成分、三相组成比例、结构及所处的物理状态。土的物理性质在一定程度上影响着土的力学性质，是最基本的工程特性。本项目主要阐述土的组成、土的物理性质指标、土的物理状态指标、土的结构与构造、土的击实性、土的渗透性，以及土的工程分类。

学习目标

- 了解土的三相组成；
- 掌握土的三相图、土的各种物理性质指标的定义及计算方法；
- 掌握土的物理状态指标的计算及土的物理状态的判别方法；
- 了解土的结构与构造特征；
- 熟悉土的击实性的特性及影响因素；
- 熟悉土的渗透定律、渗透系数的测定方法及土的渗透变形；
- 掌握土的工程分类标准及特征、土的野外鉴别方法。

地球表面 30~80 km 厚的范围是地壳。地壳中原来整体坚硬的岩石，经风化、剥蚀搬运、沉积，形成的固体矿物、水和气体的集合体称为土。不同的风化作用，形成不同性质的土。风化作用有物理风化、化学风化和生物风化三种。

地壳表层的岩石长期暴露在大气中，经受气候的变化，使岩石逐渐崩解，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。物理风化只改变颗粒的大小和形状，不改变颗粒的成分。物理风化后所形成的碎块与水、氧气、二氧化碳和某些由生物分泌出的有机酸溶液等接触，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。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。

物理风化不改变土的矿物成分，产生了碎石和砂等颗粒较粗的土，这类土的颗粒之间没有黏结作用，呈松散状态，称为无黏性土。化学风化产生颗粒很细的土，这类土的颗粒之间因为有黏结力而相互黏结，干时结成硬块，湿时有黏性，称为黏性土。这两类土由于成因不同，物理性质和工程特性也不一样。

风化作用生成的土，如果没有经过搬运，堆积在原来的地方，称为残积土。残积土一般分布在山坡或山顶。土受到各种自然力（如重力、水流、风力、冰川等）的作用，搬运到别的地方再沉积下来，称为沉积土。沉积土是一种最常见的土。

实践经验表明,土的工程特性一方面取决于其原始堆积条件,使组成土的结构构造、矿物成分、粒度成分、孔隙中水溶液的性质不同;另一方面取决于堆积以后的经历。

1.1 土的三相组成

学习任务

通过对土的三相组成的学习,能够认识土的三相体系构成,明确土的矿物成分、颗粒分组及颗粒级配,理解土中水、气体的形态及特性。

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。固体部分一般由矿物质组成,有时含有有机质(半腐烂和全腐烂的植物体和动物残骸等),这一部分构成土的骨架,称为土骨架。土骨架间布满相互贯通的孔隙,这些孔隙有时完全被水充满,称为饱和土;有时一部分被水占据,另一部分被气体占据,称为非饱和土;有时也可能完全充满气体,称为干土。水和溶解于水的物质构成土的液体部分。空气及其他一些气体构成土的气体部分。这三部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定着土的物理、力学性质。因此,研究土的性质,首先必须研究土的三相组成。

一、土的固体颗粒

土的固体颗粒即为固相。土粒的大小、形状、矿物成分及大小搭配情况对土的物理、力学性质有明显的影响。

1. 土的矿物成分

土的矿物成分主要取决于原岩的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。土的矿物成分可分为两类:

(1)原生矿物,指岩石经物理风化所产生的粗颗粒矿物,它们具有原来岩石的矿物成分。常见的有长石、石英、角闪石和云母等,它们的性质较稳定。砾石和砂主要由原生矿物组成。

(2)次生矿物,指岩石经化学风化后所产生的矿物,如颗粒极细的黏土矿物。常见的有高岭土、蒙脱土等。次生矿物成分对黏性土的性质影响很大,如黏性土中含有大量蒙脱土时,就具有强烈的膨胀性,它的收缩性和压缩性也大。

2. 土的颗粒分组

颗粒的大小及其含量直接影响着土的工程性质。例如,颗粒较粗的卵石、砾石和砂粒等,其透水性较大,无黏性和可塑性;而颗粒很小的黏粒则透水性较小,黏性和可塑性较大。土颗粒的大小常以粒径来表示。通常将粒径相近的土颗粒划分为一组,称为粒组。粒组的划分应能反映粒径大小变化引起土的物理性质变化这一客观规律。一般来说,同一粒组的土,其物理性质大致相同;不同粒组的土,其物理性质则有较大差别。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)采用的粒组划分标准见表 1-1。

表 1-1 土粒粒组的划分

粒组名称		粒径 d/mm	一般特性
漂石(浑圆或圆棱)或块石(尖棱)	大	$d > 800$	无黏性, 孔隙大, 透水性大, 毛细上升高度极微, 不能保持水分, 强度大, 能承受很大静压, 压缩性小
	中	$400 < d \leq 800$	
	小	$200 < d \leq 400$	
卵石(浑圆或圆棱)或碎石(尖棱)	大	$100 < d \leq 200$	
	小	$60 < d \leq 100$	
粗圆砾(浑圆或圆棱)或粗角砾(尖棱)	大	$40 < d \leq 60$	
	小	$20 < d \leq 40$	
细圆砾(浑圆或圆棱)或细角砾	大	$10 < d \leq 20$	
	中	$5 < d \leq 10$	
	小	$2 < d \leq 5$	
砂粒	粗	$0.5 < d \leq 2$	无黏性, 易透水, 毛细上升高度不大, 近水不膨胀, 干燥时不收缩且松散, 不呈现可塑性, 能承受较大静压, 压缩性较小
	中	$0.25 < d \leq 0.5$	
	细	$0.075 < d \leq 0.25$	
粉粒		$0.005 < d \leq 0.075$	湿润时出现轻微黏性, 透水性小, 遇水膨胀或干缩都不显著, 毛细上升较快, 上升高度较大
黏粒		$d < 0.005$	黏性大, 几乎不透水, 湿润时呈可塑性, 遇水膨胀或干缩都较显著, 压缩性大

3. 土的颗粒级配

天然土是粒径大小不同的土粒的混合物, 它包含着若干粒组的土粒。各粒组的质量占干土土样总质量的百分数, 称为颗粒级配。颗粒大小分析的目的, 就是确定土的颗粒级配, 也就是确定土中各粒组颗粒的相对含量。

根据《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)的规定, 颗粒分析可采用筛析法、密度计法和移液管法。筛析法适用于粒径为 0.075~200 mm 的土的颗粒分析, 密度计法和移液管法适用于粒径小于 0.075 mm 的土的颗粒分析。

用筛析法作土的颗粒大小分析, 其主要设备是一套分析筛。这套筛子中的各筛按筛孔孔径大小的不同由上至下排列。分析筛有粗筛和细筛两种。粗筛的孔径(圆孔)为 200 mm、150 mm、100 mm、75 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm, 细筛的孔径为 2 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm。试验时, 将风干的均匀土样放入一套孔径不同的标准筛, 经筛析机振动将土粒分开, 称出留在每个筛上的土粒质量, 即可求出各粒组土粒的相对含量。密度计法是将一定质量的风干土样倒入盛纯水的 1 000 mL 玻璃量筒中, 经过搅拌将其拌成均匀的悬液状, 土粒会在悬液中下沉, 土粒的大小不同在水中沉降的速度也不同, 在土粒下沉过程中, 用密度计测出悬液中不同时间所对应的不同溶液的密度, 就可以根据有关公式计算出不同土粒的粒径及小于该粒径的质量百分数。当土中含有的粒径大于和小于 0.075 mm 的颗粒各超过总质量的 10% 时, 应联合使用上述两种方法。

根据颗粒大小分析试验结果, 可以绘制颗粒级配曲线, 如图 1-1 所示。其横坐标表示土粒粒径; 纵坐标则表示小于(或大于)某粒径土的质量百分数。根据曲线的坡度和曲率可以

大致判断土的级配状况。如颗粒级配曲线平缓,表示土中各种粒径的土粒都有,颗粒不均匀,级配良好;反之,曲线陡峻,则表示土粒较均匀,级配不良。图 1-1 中的曲线 3 是根据密度计法的试验结果绘制的,曲线 2 是根据筛析法和密度计法联合试验的结果绘制的,其中 AB 段用筛析法,BC 段用密度计法,两段应连成一条光滑的曲线。

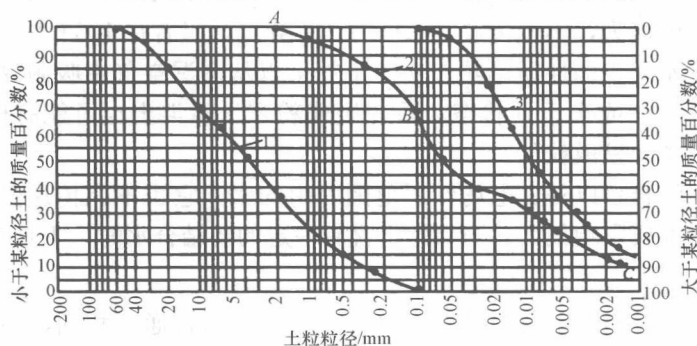


图 1-1 颗粒级配曲线

工程上,为了定量反映土的级配特征,常用以下两个指标:

不均匀系数
$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

曲率系数
$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-2)$$

式中 d_{60} 、 d_{30} 、 d_{10} ——颗粒级配曲线上纵坐标为 60%、30%、10%时所对应的粒径, d_{10} 称为有效粒径, d_{60} 称为限定粒径。

不均匀系数 C_u 越大,表示级配曲线越平缓,级配越好。曲率系数 C_c 则反映级配曲线的整体形状。一般 $C_u < 5$ 的土称为级配不良的土; $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 的土称为级配良好的土。

二、土中水

在天然土的孔隙中通常含有一定量的水,它可以处于各种不同的状态。土中的细颗粒越多,土的分散度越大,因而水对土的性质影响也越大。例如,含水量很大的黏性土比较干的黏性土软得多。土中水按其存在形态可分为固态水、液态水 and 气态水三种。

(一) 固态水

固态水是指土中水在温度降至 0°C 以下时结成的冰。水结冰后体积会增大,使土体产生冻胀,破坏土的结构。但冻土融化后,强度急剧降低,对地基不利,因此,寒冷地区基础的埋置深度要考虑冻胀问题。

(二) 液态水

液态水包括结晶水、结合水和自由水三类。

1. 结晶水

结晶水存在于矿物颗粒内部,只有在比较高的温度下才能化为气态水而与土粒分离。从土的工程性质看,可以把结晶水看作矿物颗粒的一部分。

2. 结合水

结合水是指受分子吸引力而吸附于土粒表面的水,可形成一定厚度的水膜,分**强结合水**和**弱结合水**两类。

强结合水是紧靠土粒表面的结合水,所受电场的作用力很大,丧失液体的特性而接近于固体。它没有溶解能力,不能传递静水压力,不导电,只有在 105°C 以上的温度烘烤时才能全部蒸发。这种水对土的性质影响较小。土粒可以从潮湿空气中吸附这种水。仅含**强结合水**的黏土呈干硬状态或半干硬状态,碾碎则成粉末。砂类土也可能有极少量**强结合水**,仅含**强结合水**的砂类土呈散粒状。

弱结合水是**强结合水**以外、电场作用范围以内的水,它也不能传递静水压力,呈黏滞状态,对黏性土的性质影响很大。当黏性土含有一定的弱结合水时,土具有一定的可塑性。

3. 自由水

自由水是指土中在结合水膜以外的液态水,其性质与普通水相同,服从重力定律,能传递静水压力,有溶解能力,按其移动所受作用力不同可分为**重力水**和**毛细水**两种。

重力水是指受重力或压力差作用而移动的自由水,存在于地下水位以下的透水层中。**重力水**在土中能产生和传递静水压力,对土产生浮力。在开挖基坑和修筑地下结构物时,由于**重力水**的存在,应采取排水、防水措施,土中应力的大小与**重力水**也有关系。

毛细水是指受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水,一般存在于地下水位以上的透水层中。由于表面张力作用,地下水沿着不规则的毛细孔上升,形成**毛细水**上升带。**毛细水**上升高度视孔隙大小而定,粒径大于 2 mm 的颗粒,土孔隙较大,一般无毛细现象。**毛细水**上升,会使地基湿润、强度降低、变形增加,在寒冷地区还会加剧地基的冻胀作用,故在建筑工程中要注意防潮。

(三) 气态水

土中气态水赋存于近地表土层,对土的力学性质影响不大。

三、土中气体

土中未被水占据的孔隙都充满气体。土中气体分为两类:与大气相连通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体(气泡)。自由气体一般不影响土的性质,封闭气体的存在会增加土的弹性、减小土的透水性。目前还未发现土中气体对土的性质有值得重视的影响,因此,在工程上一般都不予考虑。

1.2 土的物理性质指标

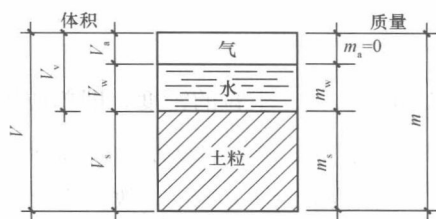
学习任务

通过对土的物理性质指标的学习,能够识别土的三相草图,明确土的三个基本物理性质指标与九个换算指标的定义、计算方法,能利用基本公式及换算公式计算土的各种物理性质指标。

土是由固体颗粒和孔隙及存在于孔隙中的水与气体组成的松散集合体。土中三相物质本身的特性及它们之间的相互作用，对土的物理性质有着本质的影响，土的物理性质不仅取决于其三相组成中各相的性质，而且三相之间量的相对比例关系也是一个非常重要的影响因素。例如，对于无黏性土，密实时强度高，松散时强度低；而对于细粒土，含水少时硬，含水多时则软。把土体三相之间量的比例关系称为土的物理性质指标，工程中常把土的物理性质指标作为评价土体工程性质优劣的基本指标。

一、土的三相草图

为了便于研究土中三相之间量的比例关系，常常理想地把土中实际交错混杂在一起的三相以图 1-2 的形式表示出来，称为土的三相草图。三相草图的左侧表示了三相组成的体积，三相草图的右侧则表示了三相组成的质量。



图中符号的意义如下：

V ——土的总体积；

V_v ——土的孔隙部分体积；

V_s ——土的固体颗粒实体的体积；

V_w ——水的体积；

V_a ——空气的体积；

m ——土的总质量；

m_w ——水的质量；

m_s ——固体颗粒的质量。

二、土的物理性质指标

土的物理性质指标包括实测指标和换算指标两大类。实测指标必须通过试验测定，通常做四个基本物理性质试验：土的密度试验、土的重度试验、土粒相对密度试验和土的含水率试验。有关试验方法参见《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)或相关试验指示书。换算指标是根据其定义和三个实测指标换算得出的，故称为换算指标，包括孔隙率和孔隙比、饱和度、干密度和干重度、浮密度和浮重度等。

(一) 实测指标

1. 土的密度 ρ

土的密度是指土在天然状态下单位体积的质量，单位为 g/cm^3 ，用下式表示：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V} \quad (1-3)$$

一般土的密度为 $1.6 \sim 2.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。土的密度常用环刀法测定。

2. 土的重度 γ

在天然状态下，单位体积土所受的重力称为土的天然重度 γ ，简称重度，单位为 kN/m^3 ，用下式表示：

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \frac{(m_s + m_w)g}{V} \quad (1-4)$$

式中 g ——重力加速度, $g=9.81 \text{ m/s}^2$, 工程上有时为了计算方便, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$ 。

应该明确, 重度并不是实测指标。通常是由实测土的密度 ρ 再算出重度 γ 。土的密度和重度的关系式为

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-5)$$

3. 土粒相对密度 d_s

土粒相对密度是指土粒的质量与同体积纯蒸馏水在 4°C 时的质量之比, 即

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

式中 ρ_s ——土粒的密度, 即单位体积土粒的质量, $\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$;

ρ_w —— 4°C 时纯蒸馏水的密度 (g/cm^3)。

因为 $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$, 故实用中土粒相对密度在数值上即等于土粒的密度, 即 $d_s = \rho_s$, 是量纲为 1 的数。

土粒相对密度一般在 $2.60 \sim 2.80$ 之间, 但当土中含有较多的有机质时, 土粒相对密度会明显减小, 甚至达到 2.40 以下。工程实践中, 由于各类土的相对密度变化不大, 除重大建筑物及特殊情况外, 可按经验数值选用。一般土粒相对密度见表 1-2。

表 1-2 土粒相对密度的一般数值

土名	砂土	砂质粉土	黏质粉土	粉质黏土	黏土
土粒相对密度	2.65~2.69	2.70	2.71	2.72~2.73	2.74~2.76

4. 土的含水率 w

土的含水率是指土中水的质量与土粒质量之比, 以百分数表示, 即

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

土的含水率常用烘干法测定。土的天然含水率变化很大。一般砂土的含水率为 $0\% \sim 40\%$; 黏性土的含水率为 $15\% \sim 60\%$; 淤泥或泥炭的含水率可高达 $100\% \sim 300\%$ 。同一种土, 随土的含水率增高, 土会变湿、变软, 强度会降低, 压缩性也会增大。所以, 黏性土的含水率常是控制土压实质量、确定地基承载力特征值和换算其他物理性质指标的重要指标。

(二) 换算指标

1. 孔隙率 n

孔隙率 n 指土的孔隙体积与土体总体积之比, 用百分数表示, 即

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

2. 孔隙比 e

孔隙比 e 指土中孔隙体积与固体颗粒实体体积之比, 表示为

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-9)$$