

| 土建类 |  
高职高专创新型  
规划教材

# 土力学

# 与地基基础

主编 · 刘颖 副主编 · 徐玉芬 李红霞

Tulixue

Yudiji

Jichu

东南大学出版社



土建类高职高专创新型规划教材

# 土力学与地基基础

主 编 刘 颖

副主编 徐玉芬 李红霞

参 编 (以拼音为序)

柯浩明 王莹喻 夏正兵

赵 慧 张国平 张国生

东南大学出版社

·南京·

## 内 容 提 要

本书根据高职高专院校土木工程类教学要求,并按国家颁布的有关设计新规范、新标准编写而成。

全书共分十四章,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土中应力分布及计算、土的压缩性及地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、岩土工程勘察、天然地基上浅基础的设计、桩基础、沉井基础、特殊性土及地基处理。

本书可作为高职高专土木类建筑工程技术、工程造价、工程监理及相关专业教学用书,也可作为土木类工程技术人员参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/刘颖主编. —南京:东南大学出版社,2010.1

(高职高专土建专业系列教材)

ISBN 978-7-5641-2060-3

I. 土… II. 刘… III. ①土力学—高等学校:技术学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校:技术学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 022713 号

### 土力学与地基基础

出版发行:东南大学出版社出版发行

社 址:南京四牌楼2号 邮编:210096

出版人:江汉

责任编辑:史建农 戴坚敏

网 址:<http://press.seu.edu.cn>

电子邮件:[press@seu.edu.cn](mailto:press@seu.edu.cn)

经 销:全国各地新华书店

印 刷:南京京新印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18

字 数:438千字

版 次:2010年1月第1版

印 次:2010年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-2060-3

印 数:1—4000册

定 价:35.00元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

## 高职高专土建系列规划教材编审委员会

顾 问 陈万年  
主 任 成 虎  
副主任 (以拼音为序)  
方达宪 胡朝斌 庞金昌 史建农  
汤 鸿 余培明 张珂峰  
秘书长 戴坚敏  
委 员 (以拼音为序)  
陈杏祥 党玲博 董丽君 付立彬  
顾玉萍 李红霞 李 芸 刘 颖  
马 贻 漆玲玲 王风波 王宏俊  
王 辉 吴冰琪 吴志红 夏正兵  
项 林 徐士云 徐玉芬 于 丽  
张先平 张小娜 张晓岩 朱祥亮  
朱学佳 左 杰

# 序

东南大学出版社以国家 2010 年要制定、颁布和启动实施教育规划纲要为契机,联合国内部分高职高专院校于 2009 年 5 月在东南大学召开了高职高专土建类系列规划教材编写会议,并推荐产生教材编写委员会人员。会上,大家达成共识,认为高职高专教育最核心的使命是提高人才培养质量,而提高人才培养质量要从教师的质量和教材的质量两个角度着手。在教材建设上,大会认为高职高专的教材要与实际相结合,要把实践做好,把握好过程,不能通用性太强,专业性不够;要对人才的培养有清晰的认识;要弄清高职院校服务经济社会发展的特色类型与标准。这是我们这次会议讨论教材建设的逻辑起点。同时,对于高职高专院校而言,教材建设的目标定位就是要凸显技能,摒弃纯理论化,使高职高专培养的学生更加符合社会的需要。紧接着在 10 月份,编写委员会召开第二次会议,并规划出第一套突出实践性和技能性的实用型优质教材;在这次会议上大家对要编写的高职高专教材的要求达成了如下共识:

## 一、教材编写应突出“高职、高专”特色

高职高专培养的学生是应用型人才,因而教材的编写一定要注重培养学生的实践能力,对基础理论贯彻“实用为主,必需和够用为度”的教学原则,对基本知识采用广而不深、点到为止的教学方法,将基本技能贯穿教学的始终。在教材的编写中,文字叙述要力求简明扼要、通俗易懂,形式和文字等方面要符合高职教育教和学的需要。要针对高职高专学生抽象思维能力弱的特点,突出表现形式上的直观性和多样性,做到图文并茂,以激发学生的学习兴趣。

## 二、教材应具有前瞻性

教材中要以介绍成熟稳定的、在实践中广泛应用的技术和以国家标准为主,同时介绍新技术、新设备,并适当介绍科技发展的趋势,使学生能够适应未来技术进步的需要。要经常与对口企业保持联系,了解生产一线的第一手资料,随时更新教材中已经过时的内容,增加市场迫切需求的新知识,使学生在毕业时能够适合企业的要求。坚决防止出现脱离实际和知识陈旧的问题。在内容安排上,要考虑高职教育的特点。理论的阐述要限于学生掌握技能的需要,不要囿于理论上的推导,要运用形象化的语言使抽象的理论易于为学生认识和掌握。对于实践性内容,要突出操作步骤,要满足学生自学和参考的需要。在内容的选择上,要注意反映生产与社会实践中的实际问题,做到有前瞻性、针对性和科学性。

## 三、理论讲解要简单实用

将理论讲解简单化,注重讲解理论的来源、出处以及用处,以最通俗的语言告诉学生所学的理论从哪里来用到哪里去,而不是采用烦琐的推导。参与教材编写的人员都具有丰富的课堂教学经验和一定的现场实践经验,能够开展广泛的社会调查,能够做到理论联系实

际,并且强化案例教学。

#### 四、教材重视实践与职业挂钩

教材的编写紧密结合职业要求,且站在专业的最前沿,紧密地与生产实际相连,与相关专业的市场接轨,同时,渗透职业素质的培养。在内容上注意与专业理论课衔接和照应,把握两者之间的内在联系,突出各自的侧重点。学完理论课后,辅助一定的实习实训,训练学生实践技能,并且教材的编写内容与职业技能证书考试所要求的有关知识配套,与劳动部门颁发的技能鉴定标准衔接。这样,在学校通过课程教学的同时,可以通过职业技能考试拿到相应专业的技能证书,为就业做准备,使学生的课程学习与技能证书的获得紧密相连,相互融合,学习更具目的性。

在教材编写过程中,由于编著者的水平和知识局限,可能存在一些缺陷,恳请各位读者给予批评斧正,以便我们教材编写委员会重新审定,再版的时候进一步提升教材质量。

本套教材适用于高职高专院校土建类专业,以及各院校成人教育和网络教育,也可作为行业自学的系列教材及相关专业用书。

高职高专土建系列规划教材编审委员会  
2010年1月于南京

# 前 言

随着高等教育事业的蓬勃发展,民办学院、高职高专越来越成为高等教育中不可忽视的一支力量,能否编写出适合这类学校的教材成为能否培养出技能型、应用型人才的重要因素。在这种思想的指导下,东南大学出版社邀请各相关院校参加了此次教材的编写工作。

《土力学与地基基础》适合土木类各相关专业的专科生使用,也可供工程技术人员参考,在章节的编写上以建筑工程为主,兼顾道路、桥梁等专业的要求选择教材内容,为此增加了流网、桩基础、沉井基础等内容;同时,考虑到今后考证的需要,本书在章节、习题的选择上参考了“全国注册土木工程师(岩土)”的要求设置,各高校可根据自身专业特点选用有关章节。

本书的编写原则是:基本原理和方法的选用以够用为原则,兼顾发展和反映国内外的研究;理论部分的阐明要求深入浅出,讲清基本概念和原理;应用部分结合现有规范,以现有的工程实例为主,有利于培养学生实际工作的能力。内容与次序的安排有利于自学,并编入一定的例题、习题、思考题以供学生学习和练习使用。

本书由主编刘颖拟订大纲和统稿。

本书在编写过程中参考了国内同类教材及相关资料,在此向原作者表示感谢!同时,对为本书付出辛勤劳动的编辑同志表示衷心的感谢!由于编者水平和能力有限,书中定有不当之处,恳请读者不吝指正。

编者  
2010年1月

## 目 录

<b>1 土的物理性质及工程分类</b> .....	(1)
1.1 土的成因和三相组成 .....	(1)
1.2 土的结构和构造 .....	(6)
1.3 土的物理性质指标 .....	(8)
1.4 土的物理状态指标 .....	(11)
1.5 土的工程分类 .....	(13)
<b>2 土的渗透性</b> .....	(21)
2.1 概述 .....	(21)
2.2 达西渗透定律 .....	(23)
2.3 渗透系数的测定 .....	(24)
2.4 流网及其工程应用 .....	(26)
<b>3 土中应力分布及计算</b> .....	(31)
3.1 概述 .....	(31)
3.2 土中自重应力 .....	(31)
3.3 基础底面压力计算及分布 .....	(33)
3.4 地基土中附加应力 .....	(37)
<b>4 土的压缩性及地基沉降计算</b> .....	(49)
4.1 概述 .....	(49)
4.2 土的压缩性指标 .....	(49)
4.3 地基沉降计算 .....	(56)
4.4 应力历史对土变形的影响 .....	(64)
4.5 沉降与时间的关系 .....	(65)
<b>5 土的抗剪强度</b> .....	(76)
5.1 概述 .....	(76)
5.2 土的抗剪强度规律与极限平衡条件 .....	(77)
5.3 土的抗剪强度的试验及其指标 .....	(82)
5.4 关于土的抗剪强度指标的讨论 .....	(88)
<b>6 土压力计算</b> .....	(93)
6.1 概述 .....	(93)
6.2 静止土压力计算 .....	(95)
6.3 朗肯土压力计算 .....	(97)
6.4 库仑土压力计算 .....	(103)
6.5 挡土墙设计 .....	(109)
<b>7 土坡稳定分析</b> .....	(118)
7.1 概述 .....	(118)
7.2 无黏性土坡的稳定分析 .....	(119)
7.3 黏性土坡的稳定分析 .....	(120)



7.4	土坡稳定分析的几个问题	(124)
<b>8</b>	<b>地基承载力</b>	(126)
8.1	概述	(126)
8.2	临塑荷载与临界荷载	(127)
8.3	极限承载力	(130)
8.4	地基承载力设计值	(133)
8.5	影响地基承载力因素	(135)
<b>9</b>	<b>岩土工程勘察</b>	(137)
9.1	岩土工程勘察分级	(137)
9.2	岩土工程勘察阶段、内容及要求	(138)
9.3	岩土工程勘察方法	(140)
9.4	岩土工程分析评价和成果报告	(146)
9.5	验槽	(151)
<b>10</b>	<b>天然地基上浅基础的设计</b>	(154)
10.1	地基基础的设计原则	(154)
10.2	浅基础的类型	(157)
10.3	基础埋深的确定	(161)
10.4	基础底面尺寸的确定	(165)
10.5	无筋扩展基础设计	(171)
10.6	钢筋混凝土基础设计	(175)
<b>11</b>	<b>桩基础</b>	(195)
11.1	概述	(195)
11.2	单桩基础设计	(199)
11.3	群桩承载力	(205)
11.4	桩基础设计	(211)
<b>12</b>	<b>沉井基础</b>	(224)
12.1	概述	(224)
12.2	沉井的施工	(228)
12.3	沉井的设计与计算	(233)
12.4	沉井基础算例	(242)
<b>13</b>	<b>特殊性土</b>	(253)
13.1	湿陷性黄土	(253)
13.2	膨胀土	(258)
13.3	红黏土	(261)
13.4	其他特殊土	(262)
<b>14</b>	<b>地基处理</b>	(267)
14.1	概述	(267)
14.2	换填垫层法	(269)
14.3	重锤夯实法与强夯法	(272)
14.4	桩土复合地基法	(274)
	<b>参考文献</b>	(277)

# 1 土的物理性质及工程分类

**本章概要:** 了解土的形成和特性,土的结构与构造;正确理解土的三相组成、土的颗粒级配等基本概念;掌握土的物理性质指标及换算关系,土的物理状态指标及其测定方法;初步掌握岩土的工程分类。

**本章重点:** 土的物理性质指标及换算关系,土的物理状态指标及黏性土的液限和塑限测定方法。

## 1.1 土的成因和三相组成

### 1.1.1 土的成因

“土”在不同的学科领域有不同的含义。就土木工程领域而言,土是指覆盖在地表没有胶结和弱胶结的颗粒堆积物。这种颗粒堆积物基本都形成于第四纪时期,第四纪是距今最近的地质年代,其沉积的历史相对较短,通常称为“第四纪沉积物”。

在自然界,土的形成过程十分复杂。根据它们的来源,可分为有机土和无机土两大类。有机土是指植物完全或部分分解的堆积物;无机土是指由地表岩石在漫长的地质年代经风化、搬运、堆积作用形成的堆积物。从工程角度看,无机土更适合作为建筑物的地基或建筑材料。因此,工程上所说的土多为无机土。

坚硬岩石经过风化、搬运、剥蚀等外力作用,破碎成大小不等的岩石碎块或矿物颗粒(其中部分矿物可转化为次生矿物),这些岩石碎屑物质在斜坡重力作用、流水作用、风力作用、冰川作用及其他外力作用下被搬运到别处,在适当的条件下沉积成各种类型的土体。实际上在土粒被搬运的过程中,颗粒大小、形状及矿物成分仍在进一步变化,并在沉积过程中常因分选作用而使土在成分、结构、构造和性质上表现出有规律的变化。按成因类型,工程上的土可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖泊沉积土、海洋沉积土、风积土及冰川沉积土等。

#### 1) 残积土

残积土是指岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑物质,它处于岩石风化壳的上部,向下则逐渐变为半风化的半坚硬岩石,与新鲜岩石之间没有明显的界限,是渐变的过渡关系。

#### 2) 坡积土

雨水或雪水将高处的风化碎屑物冲洗,顺坡向下搬运,堆积在较平缓的山坡或坡脚处形成坡积土。坡积土的物质成分与高处残积土有直接的关系,坡积土的粒度成分有明显的分选性,从斜坡至坡脚,由上至下颗粒由粗变细。在垂直剖面上,下部与基岩接触处往往是碎石土、角砾土,其中填充有黏性土或砂土,上部较细,多为黏性土。

### 3) 洪积土

由暴雨或融雪水形成的暂时性山洪急流带来的碎屑物质在山沟的出口处或山前倾斜平原堆积而形成的扇形沉积物,简称洪积扇。离山口近处堆积了分选性差的粗碎屑物质,离山口远处,因水流速度减小,沉积物逐渐变细,由粗碎屑土(如块石、砾石、粗砂土)逐渐过渡到分选性较好的砂类土、黏性土。

### 4) 冲积土

冲积土是由河流的流水作用将碎屑物质搬运到河谷中坡降平缓的地段堆积而成的,它发育于河谷内及山区外的冲积平原中,可分为山区河谷冲积土和平原河谷冲积土等类型。其特点是呈现明显的层理构造,磨圆度和分选性均较好。

### 5) 湖泊沉积土

湖泊沉积土可分为湖边沉积土和湖心沉积土。湖边沉积土是湖浪冲蚀湖岸形成的碎屑物质在湖边沉积而形成的,其中近岸沉积的多是粗颗粒的卵石、圆砾和砂土,承载力相对较高,远岸沉积的则是细颗粒的砂土和黏性土。湖心沉积土是由河流和湖流挟带的细小悬浮颗粒到达湖心后沉积形成的,主要是黏土和淤泥,常夹有细沙、粉砂薄层,土的压缩性高,强度很低。

### 6) 海洋沉积土

按海水深度及海底地形,海洋可分为滨海区、浅海区、陆坡区和深海区,相应的四种海相沉积物性质也各不相同。滨海相沉积物主要由卵石、圆砾和砂等组成,具有基本水平或缓倾的层理构造,其承载力较高,但透水性较大;浅海相沉积物主要由细颗粒砂土、黏性土、淤泥和生物化学沉积物组成,较滨海相沉积物疏松、含水量高、压缩性大而强度低;陆坡相和深海相沉积物主要是有机质软泥,成分均一。

### 7) 风积土

风积土是在干旱的气候条件下,岩石的风化碎屑物被风吹扬,搬运一段距离后,在有利的条件下堆积起来的一类土,最常见的是风成砂及风成黄土,黄土具有湿陷性。

### 8) 冰川沉积土

由冰川剥落、搬运形成的堆积物称为冰川堆积物。其中,几乎未经流水搬运直接从冰层中搁置下来的称为冰渍土;由冰川融化水搬运,堆积在冰层外围的冲积土称为冰水冲积土,具有与河流冲积土类似的性质,通常由砾、砂和粉砂组成,是优良的透水材料和混凝土骨料。

总之,土的成因决定了土的类别。

## 1.1.2 土的三相组成

土作为岩石风化产物沉积而成的松散堆积物是一种集合体,是由各种大小不同的土粒、水和气体按某一比例组合而成。土颗粒之间贯穿着孔隙,孔隙间存在水和空气。当土是由土粒、空气和水组成时,土体为固相、气相和液相组成的三相体系。土的三相组成比例会随着环境条件的变化而改变,例如天气的晴雨、地下水的升降和建筑物荷载的施加等。当土的三相组成比例发生变化时,土的状态和工程性质也发生变化,如下雨时土含水量增加,黏土会变软,而晒干的黏土则会很硬。因此,要研究土的性质首先要研究构成土的三相体本身的性质,以及它们的含量和相互作用对土性质的影响。

1) 土的固体颗粒

(1) 土粒的矿物成分

固体土颗粒是土的三相组成中决定土工程性质的主要成分。其组成包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土骨架的基本物质;土中的无机矿物成分可为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等。次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物,如黏土矿物和碳酸盐矿物等。次生矿物按其与水的作用可分为易溶的、难溶的和不可溶的,次生矿物的水溶性对土的性质有重要的影响。黏土矿物是对土的性质影响最大的一类矿物,主要有蒙脱石、伊利石和高岭石三种。由于其亲水性不同,当其含量不同时土的工程性质也就不同。蒙脱石亲水性很强,所以当土中蒙脱石含量较大时,会具有较大的吸水膨胀和脱水收缩的特性;伊利石亲水性不如蒙脱石,其吸水膨胀性和脱水收缩性也较蒙脱石小;高岭石的亲水性、膨胀性、收缩性比伊利石还小,属于较稳定的黏土矿物。

土中的有机质对土的性质也有影响。有机质含量高的土通常具有较大的压缩性。在工程应用中,规定有机质含量大于5%的土不宜用作填筑材料。

(2) 土颗粒的大小

天然土是由大小不同的颗粒组成的。土粒的大小称为粒度。土颗粒的大小相差悬殊,有大于200 mm的漂石,也有小于0.005 mm的黏粒,两者相差几万倍。颗粒大小不同的土,其工程性质也各异。天然土的粒径一般是连续变化的。为了描述方便,工程上常把大小相近的土粒合并为组,称为粒组。表1-1给出了《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)对土粒组的划分。

表 1-1 土的粒组划分

粒组统称	巨 粒		粒 组						细 粒	
	漂石或块石	卵石或碎石	圆砾或角砾			砂 粒			粉粒	黏粒
			粗	中	细	粗	中	细		
粒径范围 (mm)	>200	60~200	20~60	5~20	2~5	0.5~2	0.25~0.5	0.075~0.25	0.005~0.075	<0.005

(3) 粒度成分及其表示方法

工程上常用土中各种不同粒组的相对含量(以干土质量的百分比表示)来描述土颗粒的组成情况,这种指标称为土的颗粒级配或粒度成分,它可用于描述土中不同粒径土粒的分布特征。

常用的粒度成分表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

① 表格法:是以列表形式直接表达各粒组的百分含量。它用于粒度成分的分类是十分方便的。如表1-2所示。

表 1-2 土的粒组成分表

粒组(mm)	土样 A	土样 B
10~5	—	25.0
5~2	3.1	20.0
2~1	6.0	12.3
1~0.5	16.4	8.0
0.5~0.25	41.5	6.2
0.25~0.10	26.0	4.9

② 累计曲线法：是一种图示方法。通常用半对数纸绘制，横坐标表示粒径，纵坐标为小于某一粒径土粒的累计百分含量，如图 1-1 所示。从累计曲线的坡度可以大致判断土粒的均匀程度或级配是否良好。如曲线较陡(曲线 C)，表示粒径大小相差不多，土粒较均匀，为级配不良；反之，曲线平缓(曲线 B)，则表示粒径大小相差悬殊，级配良好。如果在累计曲线上出现平台段，在平台段内，只有横坐标粒径的变化，而没有纵坐标的增加，表示平台段内粒径含量为 0，存在不连续粒径，级配不良(如曲线 A)。

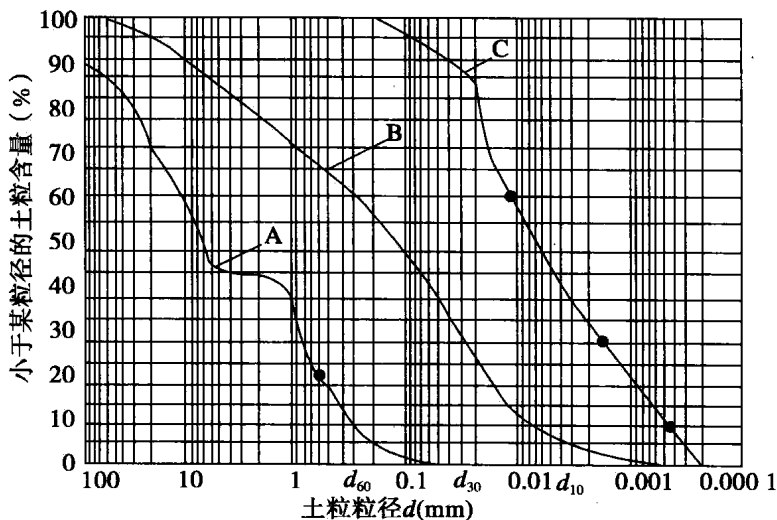


图 1-1 土的累计曲线

在累计曲线上，可以确定土粒级配的两个指标：

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

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

式中： $d_{60}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{10}$ ——分别相当于累积曲线上小于某粒径土的百分含量为 60%、30%、10% 的土粒所对应的粒径(mm)；

$d_{60}$ ——限制粒径；

$d_{10}$ ——有效粒径。

不均匀系数  $C_u$  反映大小不同粒组的分布情况,  $C_u < 5$  的土称为匀粒土, 级配不良;  $C_u$  越大, 表示粒组分布范围越广, 但如果  $C_u$  过大, 表示可能缺失中间粒径, 属不连续级配, 故需同时用曲率系数来评价。工程上, 将同时满足  $C_u \geq 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件的土, 称为级配良好的土。

③ 三角坐标法: 也是一种图示法, 是利用等边三角形内任意一点至三个边平行距离总和等于三角形边长的原理来表示组成土的三个粒组的相对含量。三角坐标法只适用于划分三个粒组的情况。例如, 当黏性土划分为砂土、粉粒和黏粒组时, 就可以用图 1-2 所示的三角坐标。

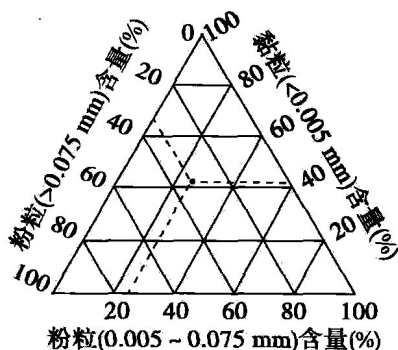


图 1-2 三角坐标法

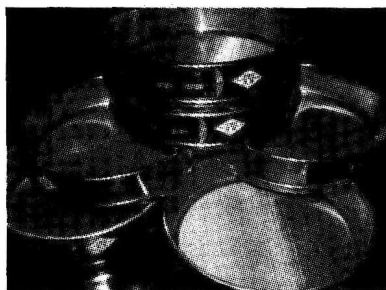


图 1-3 标准筛图

#### (4) 粒度成分分析方法

常用的粒度成分分析方法有两种, 对粒径大于 0.075 mm 的土粒常用筛分析的方法, 而对于小于 0.075 mm 的土粒则用沉降分析的方法。

筛分法是用一套不同孔径的标准筛(如 200 mm、20 mm、2 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm), 把风干、分散的代表性土样中的各种粒组分离出来。这和建筑材料的粒径级配筛分试验是类似的。对于很细的粒组难以用筛分法分离出来, 这就需要用沉降分析法。将筛分法和沉降分析法的结果综合在一起就可以得到完整的以累计百分含量表示的粒度成分。

沉降分析法有密度计法(比重计法)和移液管法, 其理论是土粒在水中的沉降原理, 如图 1-4 所示。将定量的土样与水混合倾注于量筒中。悬液经过搅拌, 在刚停止搅拌的瞬间, 各种粒径的土粒在悬液中是均匀分布的, 此时单位体积悬液内含有的土粒质量即悬液浓度在上下不同深度处是相等的。但静置一段时间后, 土粒在悬液中下沉, 较粗的颗粒沉降较快, 图中在深度  $L_i$  处只含有不大于  $d_i$  粒径的土粒, 悬液浓度降低了。如在  $L_i$  深度处考虑一小段  $m \sim n$ , 通过  $m \sim n$  段悬液的浓度与开始浓度之比, 可求得 不大于  $d_i$  的累计百分含量。

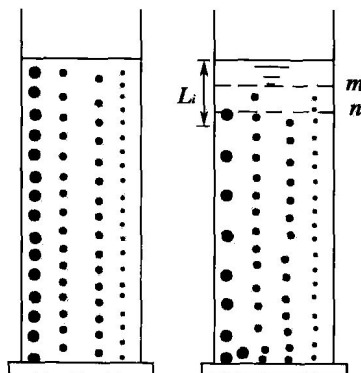


图 1-4 土粒在溶液中下沉

## 2) 土中的水

在自然条件下,土中总是含水的。土中水可处于液态、固态或气态。存在于土中的液态水,按照水与土相互作用程度的强弱,可分为结合水和自由水两大类。

结合水是指受电分子吸引力吸附在土粒表面的土中水(图 1-5)。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。它又可分为强结合水和弱结合水两种。强结合水紧靠土粒表面,其性质接近于固体,密度约为  $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ ,冰点为  $-78^\circ\text{C}$ ,不能传递静水压力,具有极大的黏滞度、弹性和抗剪强度。在强结合水外围的结合水膜称为弱结合水,它不能传递静水压力,但水膜较厚的弱结合水会向邻近较薄的水膜缓慢移动,因弱结合水使黏性土具有可塑性,冻结温度  $-0.5^\circ\text{C} \sim -30^\circ\text{C}$ 。

自由水是离土粒较远,存在于土粒表面电场作用以外的水。水分子自由排列,能够传递静水压力,可在土的孔隙中流动,冰点为  $0^\circ\text{C}$ ,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。重力水是土体孔隙中受重力作用而运动,并能产生浮力的水。当存在水头差时,它将产生流动。重力水对土中的应力状态和开挖基槽、基坑以及修筑地下构筑物时所应采取的排水、防水措施有重要的影响。毛细水不仅受到重力作用,还受到表面张力的支配,能沿着土中细小的孔隙从潜水层上升到一定高度。在工程中,毛细水的上升对于建筑物地下部分的防潮措施和地基土的浸湿、冻胀等有重要影响。此外,在干旱地区,地下水中的可溶盐随毛细水上升后不断蒸发,盐分使靠近地表处形成盐渍土。

## 3) 土中的气体

土中的气体存在于土孔隙中未被水所占据的部位。与大气相连通的气体对土的力学性质影响不大。而与大气隔绝的封闭气泡对土的工程性质影响很大,使土在外力作用下的弹性变形增加,进水性减小。

含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已形成土力学的一个新分支。

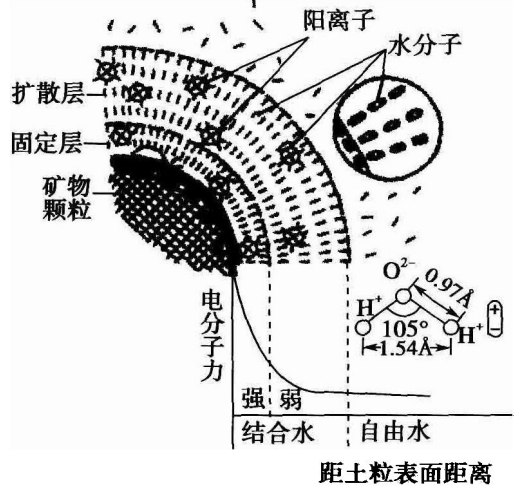


图 1-5 土粒和水分子间相互作用示意图

## 1.2 土的结构和构造

## 1.2.1 土的结构

土的结构是指土粒之间的相互排列及其联结形式,土的结构与组成土的颗粒大小、颗粒形状、矿物成分和沉积条件有关。一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

单粒结构是在沉积过程中由重力堆积而形成的结构,如图 1-6(a)、(b)所示。单粒结构为砂土和碎石土的主要结构形式,其特点是土粒间存在点与点的接触。根据形成条件的不

同,可分为疏松状态和密实状态。疏松的单粒结构稳定性能差,当受到震动及其他外力作用时,土粒易发生移动,土中孔隙减小,引起土的较大变形。密实的单粒结构则较稳定,力学性能好,是良好的天然地基。

蜂窝结构是主要由粉粒(0.075~0.005 mm)组成的土的结构形式,粒径在0.075~0.005 mm左右的土粒在水中沉积时,基本上以单个土粒下沉。当碰上已沉积的土粒时,由于它们之间的相互引力大于其重力,因此土粒就停留在最初的接触点上不再下沉,形成具有很大孔隙的蜂窝状结构,见图1-6(c)所示。由于蜂窝结构的土具有一定程度的粒间连接,可承担一定的水平静荷载,但当承受较大水平荷载或动力荷载时其结构将破坏,引起土的很大变形,地基发生破坏。

絮状结构是由黏粒( $<0.005$  mm)集合体组成的结构形式。黏粒能够在水中长期悬浮,不因自重而下沉。当这些悬浮在水中的黏粒被带到电解质浓度较大的环境中(如海水),黏粒凝聚成絮状的集粒(黏粒集合体)而下沉,并相继和已沉积的絮状集粒接触,形成类似蜂窝而孔隙很大的絮状结构,见图1-6(d)所示。絮状结构的土工程性质往往很差,如因扰动破坏了土的天然结构,则土强度明显降低、压缩性增大,不宜做天然地基。

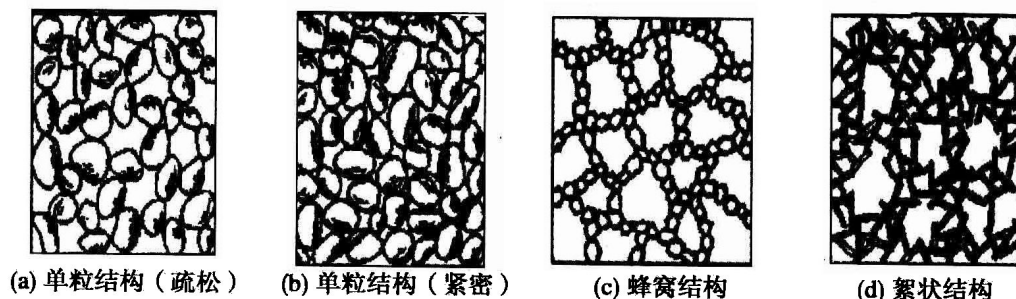


图1-6 土的结构

### 1.2.2 土的构造

土中的物质成分和颗粒大小等都相近的各部分土层之间的相互关系的特征称为土的构造。土的构造最主要特征就是成层性,即层理构造。它是在土的形成过程中,由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同,而沿竖向呈现的成层特征,常见的有水平层理构造和带有夹层、尖灭和透镜体等交错层理构造,见图1-7所示。土的构造的另一特征是土的裂隙性,裂隙的存在大大降低土体的强度和稳定性,增大透水性,对工程不利。此外,还应注意土中无腐殖质、贝壳、结核体等包裹物以及天然或人为孔洞存在。这些构造特征都造成土的不均匀性。

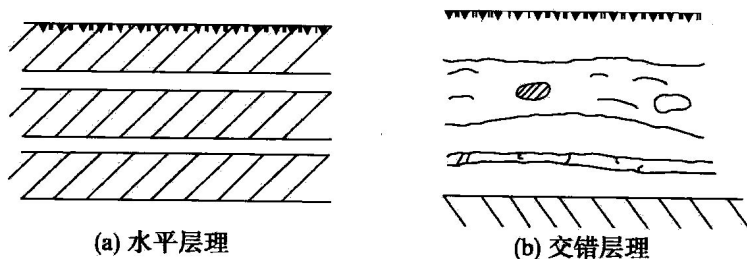


图1-7 土的层理构造



### 1.3 土的物理性质指标

土是固、液、气三相的分散体系,这三者在数量上的比例关系不仅可以描述土的物理性质和它所处的状态,而且在一定程度上还可以用来反映土的力学性质。所谓土的物理性质指标就是指表示图中三相比例关系的一些物理量。

#### 1.3.1 土的三相图

把自然界中土的三相混合分布的情况分别集中起来,固体集中于下部,液体居于中间,气体集中于上部,图左边标出各相的质量,图右边标明各相的体积。这样形成的图称为土的三相图,如图 1-8 所示。

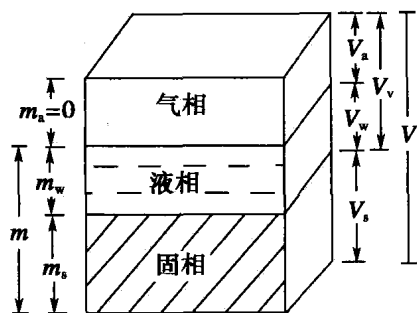


图 1-8 土的三相图

#### 1.3.2 土的物理性质(三相比例)指标

土的物理性质指标共有 9 个,可分为两大类:一类是必须通过试验测定的,称为试验指标,共有 3 个——土的密度、土粒密度、含水量;另一类是可以根据试验测定的指标换算的,称为换算指标,这类指标有 6 个——干密度、饱和密度、浮密度、孔隙比、孔隙率、饱和度。

##### 1) 试验指标

(1) 土的密度  $\rho$ : 土的密度是单位体积土的质量,由下式表示:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_w + m_s}{V_a + V_w + V_s} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-3)$$

天然状态下土的密度变化范围较大。一般黏性土为  $1.8 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ ,砂土为  $1.6 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ 。

当土的密度采用国际单位制计算重力  $G$  时,由土的质量产生的单位体积的重力称为重力密度,简称重度  $\gamma$ ,重力等于质量乘以重力加速度,则重度由密度乘以重力加速度,其单位是  $\text{kN/m}^3$ ,工程上为简化计算常将重力加速度取为  $10 \text{ m/s}^2$ 。

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g = 10\rho \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-4)$$

(2) 土粒密度  $\rho_s$ : 土粒密度是指干土粒的质量  $m_s$  与其体积  $V_s$  之比,由下式表示:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-5)$$

土粒相对密度  $d_s$  是指土的质量与  $4^\circ\text{C}$  时同体积水的质量之比,其值与土粒密度相同,但没有单位,在土的三相指标计算时必须乘以水的密度值才能平衡量纲。

与土粒密度相对应的土粒重度  $\gamma_s$  为土粒密度与重力加速度的乘积,公式为

$$\gamma_s = \rho_s g = 10\rho_s \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-6)$$