

199

T614-43  
D38

新世纪高职高专土建类系列教材

# 土力学与地基基础

邓庆阳 主 编

刘晓立 刘福臣

张力庭 刘 彭 副主编

田云阁



A0952776

科学出版社

2001

## 内 容 简 介

本书为《新世纪高职高专土建类系列教材》之一。全书共十二章,分别介绍了:土的物理性质及工程分类;地基的应力和变形;土的抗剪强度和地基承载力;土压力与土坡稳定;天然地基上浅基础和桩基础的勘察、设计、施工;人工地基以及软土、湿陷性黄土、膨胀土、冻土等区域性地基。

本书内容简明扼要、实用性强,便于自学,学后能应用于实际,适合高职高专工业与民用建筑、建筑施工与管理、房屋建筑工程以及乡镇建设等土建类专业使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/邓庆阳主编. —北京:科学出版社,2001  
(新世纪高职高专土建类系列教材)  
ISBN 7-03-009503-0

I. 土… II. 邓… 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(2001)第 047882 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源 海 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2001年8月第一版 开本:720×1000 B5  
2001年8月第一次印刷 印张:21 1/2  
印数:1—4 000 字数:403 000

**定价:24.00元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

# 前 言

《土力学与地基基础》是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,主要内容包  
括土的物理性质与工程分类、地基土中应力、地基变形、土的抗剪强度和地基承载  
力、土压力及土坡稳定、地基的勘察、验槽与局部处理、浅基础设计、桩基础。全书采  
用了国家(部)最新规范、规程和标准,结合高职高专的特点,强调适用性和实用性。  
在编写过程中注重理论联系实际,以应用为重点,结合工程实例,做了深入浅出的  
说明,同时编入了较多的新技术和新方法。另外,由于我国地域辽阔、幅员广大、土  
质各异、地区性强,编写中为了照顾各地区特点,对软土地基、湿陷性黄土地基、膨  
胀土地基、冻土地基、山区地基以及人工地基也做了必要的介绍,授课时可结合本  
地区特点,因地制宜地取舍。本书按 76 学时编写。

参加本书编写的有阳泉煤炭专科学校邓庆阳(第一、二、八章)、华北航天工业  
学院刘晓立(第六、十章)、山东农业大学土木工程学院刘福臣(第九、十二章)、河北  
工程技术高等专科学校张力庭(第七、十一章)、华北矿业高等专科学校刘彭(第三、  
四章)、邢台职业技术学院田云阁(第五章)。

全书由太原理工大学梁仁旺教授主审,在编写过程中还得到了山西省建筑科  
学研究院宋大为高级工程师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限,教材中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

# 第一章 绪 论

土力学与地基基础是理论性和实践性都很强的一门新兴学科,它涉及到土力学、基础工程学、工程地质学以及结构与施工技术等方面的内容,知识面广而综合性强。为了帮助大家全面了解本课程的内容,本章分三个方面进行介绍,即土力学地基基础的概念,本课程的内容、特点和学习要求,本学科的发展简介。

## 1.1 土力学地基基础的概念

### 1.1.1 地基基础的概念

地基与基础是两个不同的概念。基础是建筑物向地基传递荷载的下部承重结构,是建筑物的重要组成部分。它位于上部结构与地基之间,通常被埋置在地下,属于地下隐蔽工程。建筑物的全部荷载通过基础传到它下面的地层上,在地层中产生附加的应力和变形,再通过土粒之间的接触与传递,向四周土中扩散并逐渐减弱。我们把地层由于承受建筑物的荷载而产生的附加应力和变形

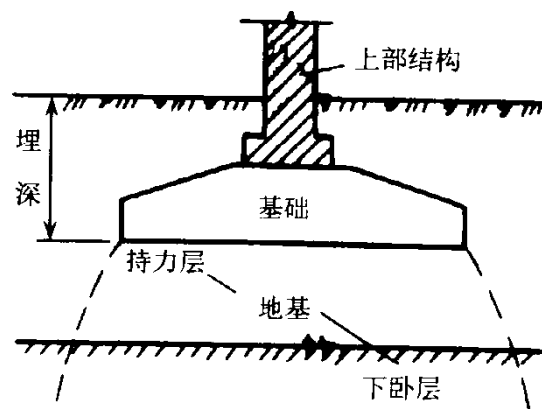


图 1.1 地基基础示意

所不能忽略的那部分土层(或岩层)称为地基(图 1.1)。所以从工程观点说,地基是有一定深度与范围的。同一地基上建造不同的建筑物,或同一建筑物建造在不同的地层上,它们的地基范围都是不同的。地基一般包括持力层与下卧层:基础以下的土层称为持力层;在地基范围内持力层以下的土层称为下卧层,如果有低于持力层强度的下卧层,则称为软弱下卧层。

建筑物在全部荷载作用下,对地基有两个基本要求:

- 1)地基土不能被挤出,不致使建筑物倾倒,这是地基稳定问题。
- 2)地基不能产生过大的变形,不致使建筑物的沉降超过正常使用要求的范围,这是地基变形的问题。

为了满足上述要求,从基础设计角度,通常将基础底面适当扩大,以满足地基承载力、变形和稳定性的要求。从地基设计角度,尽量选择承载力高、压缩性低的良好地基;若受场地条件限制,遇到软弱地基,则需要考虑地基处理。经过人工处理而

达到设计要求的地基称为人工地基。地基处理方法很多,将在第十一章详细介绍。对基础本身来说,要有足够的强度、刚度和耐久性。不言而喻,无论是基础还是地基,一旦发生事故,既无法事先警觉,也很难事后补救,因此设计中均要给予高度的重视,以保证它具有足够的可靠性。鉴于此,在设计地基基础前,要充分进行调查研究,掌握必要的设计资料。一方面,通过地面勘探和验槽查清地基土类别及其分布情况,有无软土层、暗塘、古井、古墓与地下人防工程等异常部位,以及地下水高低及其对基础材料有无浸蚀作用;另一方面,弄清建筑物使用要求、荷载大小、有无振动设备及其振动频率与振幅大小等。根据这两方面情况,按照安全可靠、经济合理、技术先进和便于施工的原则,考虑上部结构与地基的共同作用,全面分析,权衡利弊,最后拟出地基基础的设计方案,做出正确的设计。

### 1.1.2 土力学的概念

土力学是研究土的应力、应变、强度和稳定性等力学问题的科学,是地基基础设计的理论依据。它的主要内容包括渗透理论、变形理论和强度理论。

土的渗透理论是揭示水在土中的渗流速度与水力坡度的关系。最主要的实际应用之一,就是计算建筑物沉降和时间的关系。

土的变形理论是揭示土中压力与孔隙比变化的关系。这对估计建筑的沉降具有重要意义。

土的强度理论是揭示土中正应力与土的抗剪强度的关系。这对验算建筑物地基的承载力和稳定性等问题,具有重要意义,也是计算作用在挡土墙上的土压力时所必须知道的关系。

## 1.2 本课程的内容、特点和学习要求

### 1.2.1 内容

《土力学与地基基础》是高等院校土建类专业的一门重要课程,全书共十二章,由三部分组成。除第一章绪论外,第二章为工程地质学、土质学与土力学三门学科的基础知识;第三、四、五、六章为土力学的专门课题;第七、八、九章为一般基础工程的勘察、设计和施工方面的内容;第十、十一章对软土、湿陷性黄土、季节性冻土、膨胀土、山区地基以及地基的人工处理做了概要的讲述;第十二章为案例,针对我国近20年来出现的地基基础事故做了典型分析。

### 1.2.2 特点

1) 本书编写采用了国家最新设计规范和试验标准,即《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)、《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》(JGJ6-99)、《岩石工程勘察规范》(GB50021-94)、《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)、《建筑地基处理技术规范》

(征求意见稿)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)、《土工试验规程》(SL237-1999)。

2) 本书首次引入案例教学。案例反映了典型事故经验和教训,是活的教材,有助于在学习过程中,通过生动的事实,更好地掌握理论知识。案例放在最后一章,在教学中可穿插在有关章节中介绍。

3) 本教材是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,在编写中兼顾了各课程之间的先后衔接关系,对部分内容进行了整合,避免重复。

4) 本教材突出体现了适用性、实用性,对基础理论部分以讲清基本原理和基本概念为主,避免繁琐的公式推导;对基础工程部分重在体现对规范的学习掌握和运用规范进行工程设计能力的培养。为了帮助学生掌握,本教材设置了较多的例题,每章后附有一定的思考题和习题。

### 1.2.3 学习要求

本课程学习中应重点掌握地基土的物理性质及土力学的基本知识,能阅读和使用工程地质勘察资料,能结合建筑结构和施工技术 etc 知识进行一般房屋的地基基础设计和施工,初步掌握地基的常用处理方法。

## 1.3 本学科的发展简介

地基基础工程技术远在我国史前就已应用于建筑工程中。新石器时代,人类在劳动中发明了简易工具,开始用土、石材料改善居住条件,创造了夯土技术,开始了土工技术和基础工程。

砖、石灰的发明促进了建筑业的发展,基础工程跨入了新的时代,这个时代延续了 2500 年。其中有两类基础最具代表性,一类是广泛用于民居的砖砌大放脚独立基础和条形基础,属于刚性基础的范畴,至今仍广泛采用;另一类为砖台、木筏或木筏-木桩基础,用于宫殿、城楼等重大型建筑,著名的天安门、前门箭楼就位于这类基础之上,负荷达  $500\text{kN/m}^2$ ,历经 500 余年仍完好无损。现代高层建筑钢筋混凝土厚筏、厚筏-桩体系的设计思想基础实源于此。

18 世纪下半叶开始了产业革命,手工施工机具为机械所代替,钢筋混凝土的出现,使基础工程发生了深刻变化。与此相应,材料力学、弹性力学等科学也有了较快的发展。由于工程的需要,土力学、地质学、基础施工逐渐形成新的学科。如 1773 年法国库仑创立了土的抗剪强度定律和库仑土压力理论;1857 年英国朗肯提出朗肯土压力理论;1885 年法国布辛奈斯克求得半无限弹性体在竖向集中作用下的应力和变形的理论解;1922 年瑞典费伦纽斯研究出土坡稳定分析法。这些经典的理论与方法,至今仍在广泛应用,1925 年美国土力学专家太沙基发表土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。

建国 50 年来,我国科技工作者在土力学与地基基础工程中进行了卓有成效的

研究,其中特殊土研究的成就,在国际土力学和基础工程界占有重要的地位。高层建筑深基础工程与国际水平相当,有的处于领先水平。

目前土力学界所关注的尚未完全解决的问题之一是地基、基础和上部结构的共同作用,问题之二是深基坑开挖实践反映出来的土压力理论误差较大。这些都有待于我们运用现代设备和手段进行进一步的研究和完善。

### 思 考 题

- 1.1 何谓建筑物的地基? 在地基基础设计中,对地基有哪两方面的要求?
- 1.2 何谓建筑物的基础? 基础与地基有什么不同?
- 1.3 何谓土力学? 土力学包括哪些主要内容?
- 1.4 本课程包括哪些内容? 哪些章节属于技术基础课的范畴? 哪些属于专业课范畴?

## 第二章 土的物理性质及工程分类

大多数建筑物都是直接建造在地基土上的,因此,土的物理性质及其工程分类,是进行土力学计算、地基基础设计和地基处理等必备的知识。本章主要介绍土的成因、土的组成、土的三相比例指标、无粘性土的密实度、粘性土的物理特性以及土的工程分类。

### 2.1 土的成因

#### 2.1.1 土的概念

工程上所称的土,通常是指地球岩石圈经风化形成的散粒堆积物,包括岩石经物理风化崩解而成的碎块以及经化学风化后形成的细粒物质,粗至巨砾,细至粘粒,统称为土。土虽然是岩石风化后的产物,但具有一种区别于岩石的特性——散粒性。正是由于土的这一基本特性,决定了土与其他工程材料相比具有压缩性大、强度低、渗透性大的特点。

#### 2.1.2 土的成因

土的形成要经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用过程。风化使岩石破碎,剥蚀将风化产物剥脱开来,通过不同的搬运方式将剥落物搬运和迁移,被搬运的物质在搬运过程中遇到不同的环境,从搬运的介质中分离而沉积下来。由于成土的过程错综复杂,形成了各种成因的土。根据地质成因的条件不同有以下几类土。

##### 1. 残积土(图 2.1)

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分岩石风化剥蚀后的碎屑堆积物,其成分与母岩相同,一般没有层理构造,均质性很差,孔隙度较大,作为建筑物地基容易引起不均匀沉降(图 2.1)。

##### 2. 坡积土(图 2.2)

坡积土是高处风化碎屑物在雨、雪水或本身的重力作用下搬运而成的山坡堆积物。它一般分布在坡腰或坡脚下,其上部与残积土相接。厚度变化较大,在斜坡陡处厚度较薄,坡脚处较厚。在坡积土上进行工程建设时要考虑坡积土本身的稳定性和施工开挖后边坡的稳定。另外,新近堆积的坡积土具有较高的压缩性。



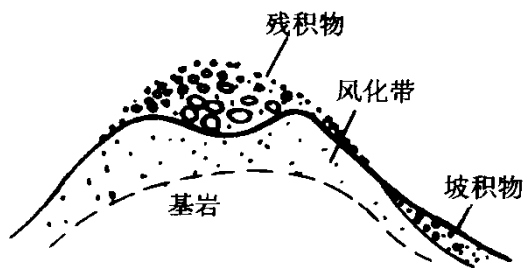


图 2.1 残积土

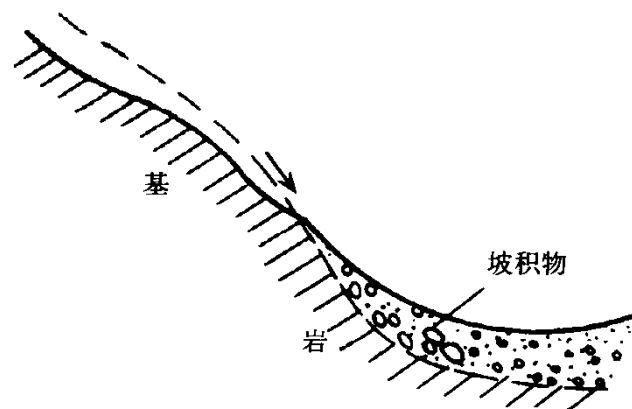


图 2.2 坡积土

### 3. 洪积土(图 2.3)

洪积土是指在山区或高地由暂时性水流(山洪急流)作用将大量的残积物、坡积物搬运堆积在山谷中或山前平原上的堆积物。洪积物质随近山到远山呈现由粗

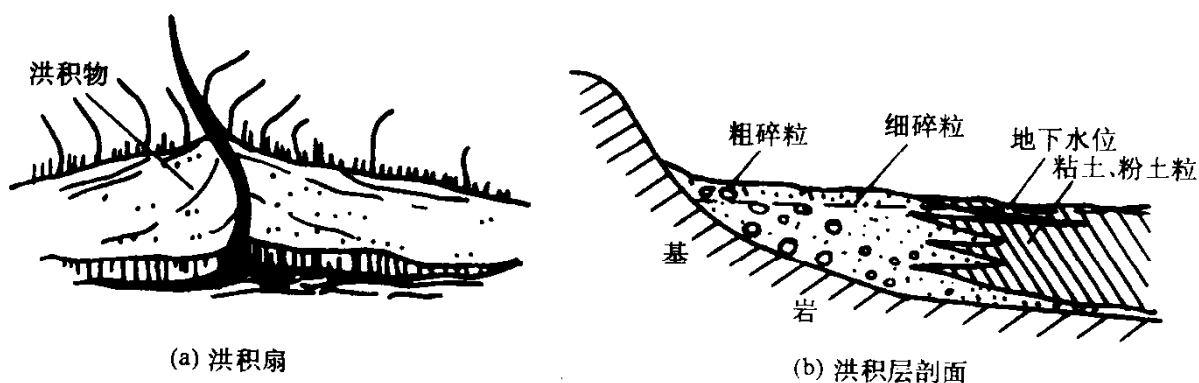


图 2.3 洪积土

到细的分选作用,但由于每次洪流的搬运能力不同,使洪积土具有不规则交错层理。

### 4. 冲积土(图 2.4)

冲积土是由河流流水的地质作用,将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。颗粒在河流上游较粗,向下游逐渐变细,分选性和磨圆度均好,呈现明显的层理构造。

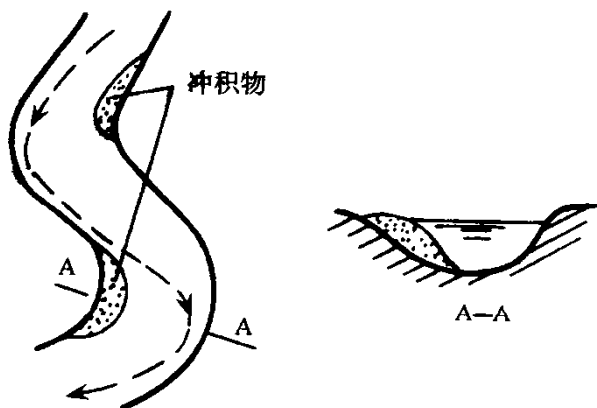


图 2.4 冲积土

除了以上 4 种土的成因类型外,还有湖泊堆积土、沼泽堆积土、滨海堆积土、冰川堆积土和风力堆积土等,这里不再一一介绍。

上述各种堆积或沉积土,一般是在第四纪(Q)地质年代内形成的,而建筑工程中所遇到的地基土,基本上都是第四纪堆积土。了解土的成因对工程设计是十分重

要的。

## 2.2 土的组成、结构与构造

### 2.2.1 土的三相组成

在一般情况下,土是由三相物质组成的三相体系。固相——矿物颗粒和有机质;液相——水溶液;气相——空气。矿物颗粒构成土的骨架,空气和水则填充孔隙。当孔隙完全被水充满时称为饱和土;当孔隙完全被气体充满时称为干土。饱和土和干土均属于二相体系。

#### 1. 矿物颗粒

矿物颗粒是岩石经风化作用后形成的碎粒,粗大的土粒呈块状或粒状,细小的土粒呈片状或粉状。土粒的大小、形状和矿物的成分及其组成,对土的物理力学性质有较大的影响。例如土的颗粒由粗变细,可使土从无粘性变化到有粘性。因此将各种不同粒径的土粒,按适当的粒径范围,分为若干粒组,使每个粒组范围内的土具有相似的工程性质,不同粒组之间具有不同的特性。这种划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

#### (1) 粒组的划分

按《土的分类标准》(GBJ145-90)的规定,把土划分为6个粒组,如表2.1所示,即漂石(块石)组、卵石(碎石)组、砾粒组(包括粗砾、中砾、细砾)、砂粒组(包括粗砂、中砂、细砂)、粉粒组、粘粒组。各组的界限粒径分别是200mm、60mm、2mm、0.075mm、0.005mm。

表 2.1 土粒粒组划分

粒组统称	粒组划分	粒径( $d$ )的范围 /mm	
巨粒组	漂石(块石)组	$d > 200$	
	卵石(碎石)组	$200 \geq d > 60$	
粗粒组	砾粒(角砾)组	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂粒组	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉粒组	$0.075 \geq d > 0.005$	
	粘粒组	$d \leq 0.005$	

#### (2) 土的颗粒级配

土粒的大小及其组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(各粒组占土粒总量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配。

土的颗粒级配是通过土的颗粒分析试验测定的,《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)中规定:对于粒径小于或等于 60mm、大于 0.075mm 的土,可用筛析法测定;对于粒径小于 0.075mm 的土,可用密度计法或移液管法测定。

1) 土的颗粒级配测定。这里只介绍筛析法,密度计法和移液管法详见《土工试验方法标准》。

① 仪器设备。分析筛:粗筛孔径为 60mm、40mm、20mm、5mm、2mm;细筛孔径为 2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。

天平:称量 5000g,最小分度值 1g;称量 1000g,最小分度值 0.1g;称量 200g,最小分度值 0.01g。

② 筛析法颗粒分析试验步骤。

a. 按规定称取试样质量  $m$ (g)。

b. 将试样过 2mm 筛,称筛上和筛下的试样质量。当筛下的试样质量小于试样总质量的 10%时,不做细筛分析;筛上的试样质量小于试样总质量的 10%时,不做粗筛分析。

c. 取筛上试样倒入依次叠好的粗筛中,筛下的试样倒入依次叠好的细筛中进行筛析。细筛宜置于震筛机上震筛,震筛时间宜为 10~5min。再按由上而下的顺序将各筛取下,称各级筛上及底盘内试样的质量,应准确至 0.1g。

d. 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比,应按下式计算:

$$X = \frac{m_A}{m_B} d_x \quad (2.1)$$

式中:  $X$ ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比(%);

$m_A$ ——小于某粒径的试样质量(g);

$m_B$ ——细筛分析时为所取的试样质量,粗筛分析时为试样总质量(g);

$d_x$ ——粒径小于 2mm 的试样质量占试样总质量的百分比(%).

2) 颗粒级配表达方式。

① 表格法。表格表达方式常见于土工试验报告书,这对于根据粒度成分确定土的分类名称是很方便的。

② 颗粒级配曲线。以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比为纵坐标,以粒径的对数作横坐标,在单对数坐标上绘制的反映颗粒大小分布的曲线(图 2.5),曲线  $a$ 、 $b$  分别表示两种土样的颗粒级配曲线。

颗粒级配曲线能表示土的粒径范围和各粒组的含量。若级配曲线平缓,表示土中各种粒径的土粒都有,颗粒不均匀,级配良好;曲线陡峻,则表示土粒均匀,级配不好。级配良好的土较密实,级配不好的土密实性差。图 2.5 中曲线  $b$  较平缓,故土样  $b$  的级配要比土样  $a$  为好。

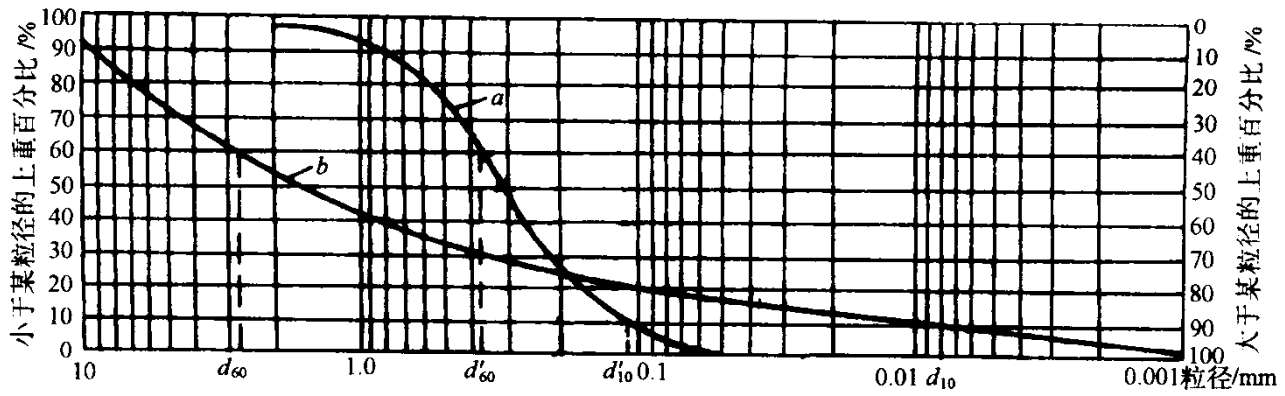


图 2.5 颗粒级配曲线

### 3) 级配指标。

① 不均匀系数。不均匀系数按下式计算：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.2)$$

式中： $C_u$ ——不均匀系数；

$d_{60}$ ——限制粒径，颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 60%；

$d_{10}$ ——有效粒径，颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 10%。

不均匀系数  $C_u$  越大，曲线越平缓，土粒大小越不均匀。工程上把  $C_u < 5$  的土视为均匀的； $C_u > 10$  的土视为不均匀的，即级配良好，这种土作为填方或垫层材料时，易于获得较大的密实度。

② 曲率系数。曲率系数按下式计算：

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (2.3)$$

式中： $C_c$ ——曲率系数；

$d_{30}$ ——颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 30%。

曲率系数  $C_c$  描写的是累积曲线的分布范围，反映曲线的整体形状。一般地， $C_u \geq 5$ ，且  $C_c = 1 \sim 3$  的土称为级配良好的土。

### (3) 土的矿物组成

漂石、卵石、圆砾等较粗大土粒的矿物成分与原生矿物相同。砂粒大部分是原生矿物的单矿物颗粒，如石英、长石、云母。粉粒的矿物成分是多样的，主要是石英和  $MgCO_3$ 、 $CaCO_3$  等难溶解的颗粒。粘粒几乎都是次生矿物及腐殖质，包括粘土矿物、氧化物和各种难溶盐。其中粘土矿物又分为高岭土、伊利土和蒙脱土 3 种。高岭土是在酸性介质条件下形成的次生粘土矿物，遇水后膨胀性与可塑性较小。蒙脱土遇水后具有极大的膨胀性与可塑性。伊利土的性质介于高岭土与蒙脱土之间，比较接近蒙脱土。

### 2. 土中水

水在土中的存在状态有液态水、气态水和固态水，水在土中的不同形式，对土

的性质影响很大。

### (1) 液态水

液态水包括结合水和自由水。

1) 结合水。结合水是指受电分子吸引力而吸附在土颗粒表面的水,随电场强度的变化,分为强结合水和弱结合水(图 2.6)。

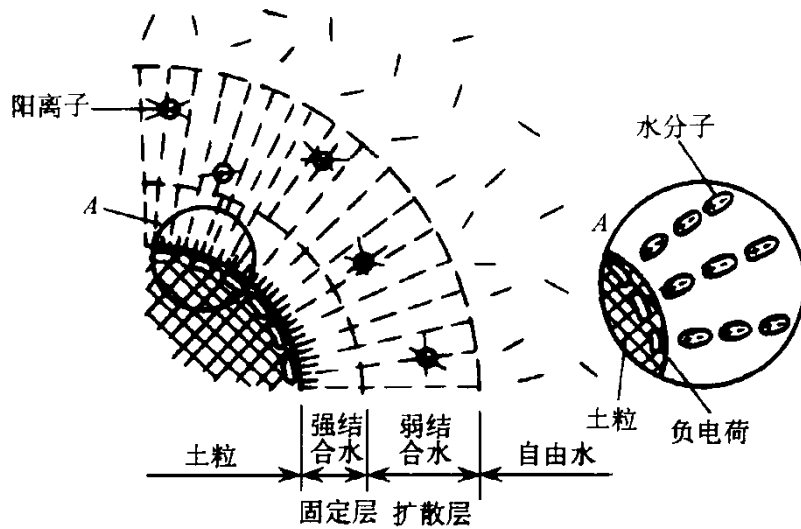


图 2.6 土粒与水分子的相互作用示意

①强结合水。矿物颗粒表面一般带负电荷,能吸引水分子及水溶液中的游离阳离子(如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等)于土粒表面,从而形成土粒周围的结合水膜。结合水膜分两层,内层为固定层,外层为扩散层。在固定层中的水因直接靠近土粒表面,受到的吸力极大,称为强结合水。强结合水的性质接近于固体,不能流动,不传递静水压力,具有很大的粘滞性、弹性和抗剪强度。在  $105\sim 200^\circ\text{C}$  温度下才能蒸发。粘土中只含有强结合水时呈固体状态;砂土仅有较少的强结合水时呈散粒状态。

②弱结合水。在扩散层中的水,因受到土粒的吸力较小,故称为弱结合水。其性质呈粘滞体状态,在外界压力下可以挤压变形。它不能传递静水压力。弱结合水对粘性土的物理力学性质影响最大。砂土可认为不含弱结合水。

2) 自由水。自由水就是结合水膜之外的水,其性质和普通水相同。自由水按其移动所受作用力的不同,可分为重力水和毛细水。重力水存在于地下水位以下的土孔隙中,只受重力作用而移动,能传递水压力和产生浮力作用。毛细水存在于地下水位以上的土孔隙中,在表面张力作用下,地下水沿着毛细管上升,上升高度与土的性质有关,一般粘土约  $5\sim 6\text{m}$ ,砂土约  $2\text{m}$  以下,故在工程中要注意地基土的润湿、冻胀及基础的防潮。但在碎石土及粒径大于  $2\text{mm}$  的土中无此毛细现象。

### (2) 气态水

气态水即土中出现的水蒸气,一般对土的性质影响不大。

### (3) 固态水

固态水是土中水当温度低于  $0^\circ\text{C}$  时冻结成冰,形成冻土。由于固态水在土中起

着胶结作用,所以土的强度增强。但解冻时,土的强度迅速降低,而且往往低于原来的强度。

### 3. 土中气体

土中气体可分为自由气体和封闭气泡。

#### (1) 自由气体

土的孔隙中的气体与大气连通的部分为自由气体。粗粒土中的气体常与大气相通,在土受力变形时很快逸出,对工程不产生影响。

#### (2) 封闭气泡

细粒土中的气体常与大气隔绝而成封闭气泡。在受压时气体体积缩小,卸荷后体积恢复,故土的弹性变形增加而透水性减小。含有机质的土,在土中分解出如甲烷、硫化氢等可燃气体,使土层在自重作用下长期得不到压密,形成高压缩性软土层。

## 2.2.2 土的结构与构造

### 1. 土的结构

土颗粒之间的相互排列和联结形式称为土的结构。土的结构可分为单粒结构、蜂窝结构、絮状结构 3 大类。

#### (1) 单粒结构[图 2.7(a)]

单粒结构是由较粗大土粒在水或空气中自重下落沉积而成的。具有单粒结构的土由砂粒及更粗土粒组成,土粒之间只有微弱的毛细水联结,土强度主要来自土粒间的内摩擦力。当土粒排列密实时,土强度较大,当土粒疏松时,结构不稳定,易变形。

#### (2) 蜂窝结构[图 2.7(b)]

当粉粒(0.075~0.005mm)在水中下沉碰到已经沉积的土粒时,由于它们之间的吸引力大于其自重,因而土粒停留在接触面上不再下沉,形成了具有很大孔隙的蜂窝结构。

#### (3) 絮状结构[图 2.7(c)]

长期悬浮在水中的粘粒( $<0.005\text{mm}$ ),遇到电解质较大的环境时,粘粒凝聚

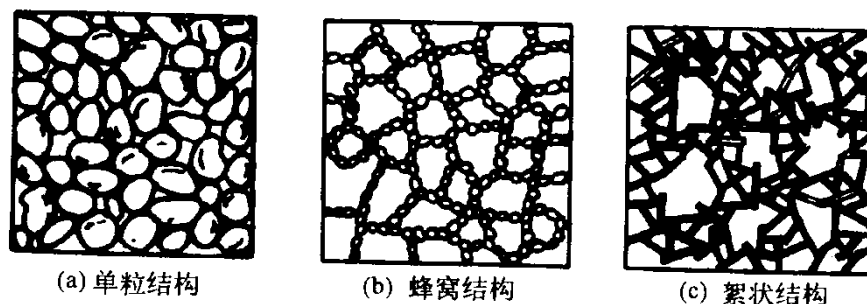


图 2.7 土的结构

成絮状集合体下沉,形成孔隙更大的絮状结构。

具有蜂窝结构或絮状结构的土,土中的孔隙较多,有较大的压缩性,结构破坏后强度降低很大,是工程性质极差的土。

## 2. 土的构造

在同一土层中的物质成分和颗粒大小等相近的各部分之间相互关系的特征称为土的构造,常见的有下列几种。

### (1) 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。

### (2) 分散构造

土粒分布均匀,性质相近的土层,如砂、砾石、卵石层,都属于分散构造。

### (3) 裂隙构造

土体为许多不连续的小裂隙所分割,裂隙中往往充填盐类沉淀,不少坚硬与硬塑状态的粘土具有此种构造。

## 2.3 土的物理性质指标

如前所述,土是由固体颗粒、水和空气三部分组成的。组成土的这三部分之间的不同比例,反映土的各种不同状态,它对评价土的物理、力学性质有着重要意义。要研究土的物理性质,就必须掌握土的三个组成部分的比例关系。表示这三部分之间关系的指标,就称为土的物理指标。

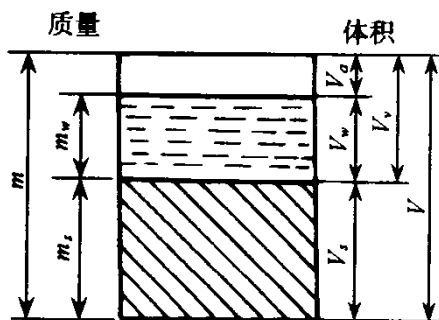


图 2.8 土的三相简图

为了便于说明和计算,用图 2.8 表示土的三个组成部分。设总体积为  $V$ ,颗粒体积为  $V_s$ ,水体积为  $V_w$ ,气体体积为  $V_a$ ,总质量为  $m$ ,颗粒质量为  $m_s$ ,水的质量为  $m_w$ 。因空气质量较其他两部分质量小得多,故略去不计。土的总体积与总质量分别为

$$V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_v$$

$$m = m_s + m_w$$

式中

$$V_v = V_w + V_a$$

### 2.3.1 土的基本指标

#### 1. 土的质量密度和重力密度

单位体积土的质量称为土的质量密度,简称土的密度,用符号  $\rho$  表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2.4)$$

土的密度一般为  $1.6 \sim 2.0 \text{t/m}^3$ 。

单位体积土所受的重力称为土的重力密度,简称土的重度,用符号  $\gamma$  表示。

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.5)$$

## 2. 土的含水量

土中水的质量与颗粒质量之比称为土的含水量,用百分比表示,其符号为  $W$ 。

$$W = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (2.6)$$

## 3. 土粒比重(土粒相对密度)

土粒在  $105 \sim 110^\circ\text{C}$  温度下烘至恒量时的质量与同体积  $4^\circ\text{C}$  时纯水质量的比值,称为土粒比重或土粒相对密度,用符号  $G_s^{1)}$  表示。

$$G_s = d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (2.7)$$

土粒比重没有单位,一般为  $2.65 \sim 2.75$ 。

以上指标直接由试验测定,也称实验指标。

### 2.3.2 土的其他物理指标

工程上除上述三项基本指标外,还常用下列指标表示土的物理性质。

#### 1. 土的干密度和干重度

土的单位体积内颗粒的质量,称为土的干密度,用符号  $\rho_d$  表示。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2.8)$$

土的单位体积内颗粒的重力,称为土的干重度,用符号  $\gamma_d$  表示。

$$\gamma_d = \frac{m_s g}{V} = \rho_d g \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.9)$$

干密度在一定程度上反映了土粒排列的紧密程度,因此常用它作为人工填土压实质量的控制指标。一般  $\rho_d$  达到  $1.50 \sim 1.65 \text{t/m}^3$  以上,土就比较密实。

#### 2. 土的饱和密度和饱和重度

土中孔隙完全被水充满时土的密度称为土的饱和密度,用符号  $\rho_{\text{sat}}$  表示。

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2.10)$$

土中孔隙完全被水充满时土的重度称为土的饱和重度,用符号  $\gamma_{\text{sat}}$  表示。

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{m_s g + V_v \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.11)$$

1)《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)中土粒比重用符号  $G_s$  表示。《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)中土粒比重用符号  $d_s$  表示。



### 3. 土的有效重度(浮重度)

在地下水位以下,土体受到水的浮力作用时土的重度称为土的有效重度,用符号  $\gamma'$  表示。

$$\gamma' = \frac{m_s g + V_v \gamma_w - V \gamma_w}{V} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (2.12)$$

### 4. 土的孔隙比和孔隙率

土中孔隙体积与土粒体积之比称为孔隙比,用符号  $e$  表示。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.13)$$

土中孔隙体积与土的总体积的比值称为孔隙率,用符号  $n$  表示。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (2.14)$$

孔隙比和孔隙率均反映土的密实程度,是评价地基土工程性质的一个重要的物理指标,尤其对无粘性土,往往决定其工程性质的好坏。一般天然状态的土,若  $e < 0.6$ ,可作为建筑物的良好地基;若  $e > 1$ ,说明土中孔隙体积比土粒所占的体积还多,因而这种土的工程性质就很差。

### 5. 饱和度

土中水的体积与孔隙体积之比称为饱和度,用符号  $S_r$  表示。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.15)$$

饱和度说明土的潮湿程度,如  $S_r = 100\%$ ,说明土孔隙全部充水,土是完全饱和的, $S_r = 0$  时,土是完全干燥的。

粉、细砂的饱和程度,对其工程性质具有一定的影响。例如:稍湿的粉、细砂表现出微弱的粘聚性,而饱和的粉、细砂则呈散粒状态,并且容易发生流砂现象。因此在评价粉、细砂工程性质时,除了确定其密度外,还得考虑其饱和度。

## 2.3.3 基本指标和其他指标的关系

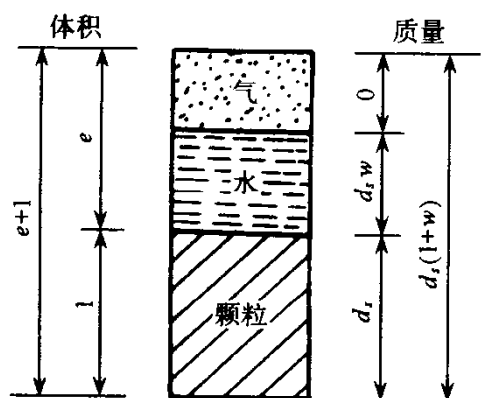


图 2.9 土的三相物理指标换算图

土的密度、含水量和土粒相对密度是直接由实验方法测定的,所以在工程技术中把它们称为基本指标;其他的指标都可由这三个基本指标导出,故称为导出指标。

土的  $\gamma_{\text{sat}}$ 、 $\gamma_d$ 、 $\gamma'$ 、 $n$ 、 $e$ 、 $S_r$  等指标均可由基本指标求得。为此可先对三相简图中的各符号进行变换。

假设土粒体积  $V_s = 1$ ,  $\rho_w = 1 \text{ t/m}^3$ , 则其他符号表示如下(见图 2.9):

土粒质量

$$m_s = d_s V_s \rho_w = d_s$$