

# 土力学基础

张书俭 编著

TULIXUE JICHU



黄河水利出版社

# 土力学基础

张书俭 编著

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书共7章,主要阐述与土力学有关的基础知识,包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土体中的应力、地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力等方面的内容,并扼要介绍了一些地基处理方法。书后附有常用土工试验方法。

本书可供水利水电工程建筑、水利工程、工业与民用建筑等专业技术人员学习参考,也可作为高职高专、成人高校、电大等相关专业土力学课程的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学基础/张书俭编著. —郑州:黄河水利出版社,  
2008.7

ISBN 978 - 7 - 80734 - 465 - 0

I. 土… II. 张… III. 土力学 IV. TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第105930号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsllchs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:8.5

字数:200千字

印数:1—2 100

版次:2008年7月第1版

印次:2008年7月第1次印刷

---

定价:18.00

# 前 言

为了帮助工程技术人员更好地掌握与使用土力学相关知识,结合作者长期的教学实践经验,编著了土力学基础一书。在编著过程中注重两点:一是易读性,对一些知识点尽量阐述明了,比如在讲土粒级配内容时对判断方法进行了较详细的分析;二是实用性,比如固结与时间关系一部分,摒弃了繁琐的理论推导,只介绍了解决两类问题的方法和步骤。另外,在地基处理的内容中,还列举了工程实例。

本书共7章,包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土体中的应力、地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力、地基处理等内容,书后附有常用土工试验方法。

本书由山西水利职业技术学院张书俭编著,在编著过程中,得到本院冯宏禄老师的很多指导,张茹老师也提了许多宝贵意见,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者和同行专家批评指正。

作 者

2008年5月

# 目 录

## 前 言

绪 论 .....	(1)
第一章 土的物理性质及工程分类 .....	(4)
第一节 土的三相组成 .....	(4)
第二节 土的结构和构造 .....	(12)
第三节 土的物理性质指标 .....	(13)
第四节 土的物理状态指标 .....	(19)
第五节 土的击实性 .....	(21)
第六节 土的工程分类 .....	(25)
小 结 .....	(29)
练习题 .....	(29)
第二章 土的渗透性 .....	(32)
第一节 达西定律 .....	(32)
第二节 渗透系数的测定 .....	(33)
第三节 渗透力与渗透变形 .....	(36)
小 结 .....	(38)
练习题 .....	(38)
第三章 土体中的应力 .....	(39)
第一节 土的自重应力 .....	(39)
第二节 基底压力 .....	(40)
第三节 地基中的附加应力 .....	(44)
小 结 .....	(52)
练习题 .....	(53)
第四章 地基变形计算 .....	(54)
第一节 土的压缩性 .....	(54)
第二节 地基最终沉降量的计算 .....	(56)
第三节 地基变形与时间的关系 .....	(64)
第四节 建筑物沉降观测与地基允许变形值 .....	(67)
小 结 .....	(69)
练习题 .....	(69)
第五章 土的抗剪强度与地基承载力 .....	(71)
第一节 库仑定律 .....	(71)

---

第二节	土的极限平衡条件	(72)
第三节	土的抗剪强度指标的试验方法	(75)
第四节	地基承载力	(78)
小 结		(83)
练习题		(83)
第六章	土压力	(84)
第一节	土压力类型及静止土压力计算	(84)
第二节	朗肯土压力理论	(86)
第三节	库仑土压力理论	(92)
小 结		(95)
练习题		(96)
第七章	地基处理	(97)
第一节	软弱土地基处理	(97)
第二节	特殊土地基及其处理	(103)
小 结		(106)
练习题		(106)
附 录	常用土工试验方法	(107)
试验一	密度试验(环刀法)	(107)
试验二	含水率试验	(108)
试验三	比重试验(比重瓶法)	(110)
试验四	界限含水率试验(液限、塑限联合测定法)	(111)
试验五	击实试验	(114)
试验六	渗透试验	(118)
试验七	固结试验	(124)
试验八	直接剪切试验	(126)
参考文献		(130)

# 绪 论

## 一、土与土力学

土是由地壳表层的岩石经过长期的风化、搬运和沉积作用而形成的松散堆积物,是地壳表的最新沉积物,未经固结成岩,松散软弱,其组成物质和性质极为复杂,土颗粒(矿物颗粒、岩屑)之间有许多孔隙,通常被水和气体充填。土的主要特征为散体性、多孔性、易变性。

土力学是利用力学知识和土工试验技术来研究土的强度、变形、渗透等规律的一门应用科学。一般认为,土力学是力学的一个分支,但由于它研究的对象是土,其力学性质与刚体、弹性体及流体等都不同。因此,一般的力学规律,在土力学中应结合土的特征加以应用。

## 二、地基与基础

任何建筑物都是建造在地层(岩层或土层)上的,建在地层上的建筑物荷载将使地层一定范围内的应力发生变化。承受建筑物荷载而引起应力变化的那部分地层,称为地基;与地基接触的建筑物下部结构称为基础。如图 0-1 所示。基础位于上部结构和地基之间,通常被埋置在地下,其作用是将建筑物荷载传递到地基中去。基础下的第一层土称为持力层,持力层以下各层土称为下卧层。

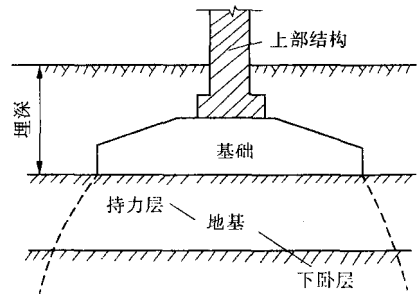


图 0-1 地基与基础示意

## 三、土力学在工程建设中的重要性

土体在工程中的作用有三种:作为建筑物地基、作为一种建筑材料、作为周围介质。土作为建筑物地基,高楼大厦建在其上;土作为建筑材料,用于修建土坝、填筑路基等;土作为周围介质,一些重要的兵工厂、地下铁道、防空洞建在其中。

如果不注意研究土的物理、力学性质和工程性状,有时将会产生严重的后果,这方面的教训在世界各国是不乏先例的。

例如,加拿大特朗康大谷仓高 31 m,平面尺寸为 60 m × 23 m,钢筋混凝土结构,由于设计时不了解地基下部有软弱土层,致使该谷仓建成后,首次装料时,就因地基失去了稳定而发生严重倾斜,谷仓一侧陷入土中 8.8 m,仓身倾斜达 27°之多,以致完全不能使用。再如,巴西某座 11 层大厦,平面尺寸 29 m × 12 m,支承在 99 根 21 m 长的钢筋混凝土桩上,1955 年开始施工,1958 年建成,尚未使用即倒塌。在施工中曾发现地基土有明显变形,但误认为是正常情况,未加注意。后来虽发现明显下沉,准备进行加固,但为时已晚。

1月30日,大厦的沉降速度已达每小时4 mm,晚8时,大厦在20 s内倒塌,平躺地上。事后查明,那里的地基是沼泽土,邻近建筑物用的是26 m长的桩,该大厦的桩长只有21 m,桩长不够。桩未能打入较好土层,仍然悬浮于软土层中,因承载力不足而产生如此严重的后果。还有,山西省水文县文峪河水库,土坝高60 m,长100多 m,1958年开始修建,在1959年秋后坝下游发生滑坡,土方量达几十万立方米,正在坝下游施工的民工,全被埋在土内,伤亡几十人。1961年,坝上游又从高40 m处开始下滑,给国家造成重大损失,严重影响了水库的效益发挥。

由上述可见,在工程建设中,对土的物理、力学性质研究的是否深入,直接关系到建筑物的质量和安全问题。为了保证各建筑物既安全又经济,使用正常,不发生工程事故,我们必须十分重视土力学问题。

#### 四、本书的主要内容

第一章为土的物理性质及工程分类。该章是全书的基础,重点内容是土的物理性质。应掌握土的物理性质指标和物理状态指标的测定方法,了解地基土的分类方法并准确定名。

第二章为土的渗透性。该章的重点内容是达西定律、渗透力与渗透变形。应掌握渗透系数的测定方法,学会渗流量、渗透力的计算。

第三章为土体中的应力。该章的重点内容是附加应力的计算。应掌握自重应力、基底压力和附加应力的计算方法。

第四章为地基变形计算。该章的重点内容是压缩性指标、分层总和法计算地基变形量。应掌握压缩性指标的测定方法,会用分层总和法计算地基变形量,了解饱和土的单向固结理论和地基变形与时间的关系。

第五章为土的抗剪强度与地基承载力。该章的重点内容是库仑定律、极限平衡条件式和抗剪强度指标。应掌握抗剪强度指标的测定方法以及地基承载力的确定方法。

第六章为土压力。该章的重点内容是朗肯、库仑土压力理论。应掌握静止土压力、主动土压力和被动土压力的产生条件、计算方法和工程应用。

第七章为地基处理。该章的重点内容是软弱土地基及特殊土地基的常用处理方法。

#### 五、土力学的发展概况

土力学是一门既古老又新兴的学科。我国劳动人民利用土进行工程建设有着悠久的历史。例如,秦代修建的万里长城,隋代修建的南北大运河,明、清修建的故宫及天坛等,均是雄伟壮丽、闻名于世的建筑。虽然它们经历了千百年的历史,但至今仍完好无缺。这充分说明我国劳动人民在古代积累了丰富的土力学知识。但是,由于当时科学知识的限制,使其只停留在感性认识阶段,而未上升到理论高度。

随着工业和生产的发展,从18世纪开始土力学的理论才逐渐产生和发展起来。1776年,法国库仑根据试验创立了土的抗剪强度和土压力理论;1857年,英国朗肯又从另一途径建立了土压力理论;1885年,法国布辛涅斯克求得半无限弹性体在铅直集中力作用下的土中应力和变形的理论解;1992年,瑞典费伦纽斯为解决铁路滑坡,完善了土坡稳定分



析圆弧法。1925年,美国太沙基发表第一部《土力学》专著,使土力学成为一门独立的学科。

从1925年至今,时间虽短,但土力学的发展速度是惊人的。目前,土力学又发展了许多分支,特别是近些年来,世界各国在超高土坝(坝高超过200 m)、超高层建筑与核电站等巨型工程的设计和兴建中,运用计算机技术,进一步发展、完善了土力学理论,使土力学理论和实际工程的结合又产生了新的飞跃,使土力学的发展又向前推动了一步。

# 第一章 土的物理性质及工程分类

土的物理性质是指反映土的组成、土的疏密及干湿等情况的一些基本性质,根据这些性质的不同,将自然界的土进行分类定名,以便工程技术人员相互交流。

## 第一节 土的三相组成

天然土一般由固相(土颗粒)、液相(主要为水)、气相(主要为空气)三种不同形态的物质组成,称为土的三相组成(见图 1-1)。土的三相物质的本身特征以及它们之间数量上的比例关系,决定了土的物理状态的不同,对土的工程性质影响很大。

若土中只有固相和气相,则为干土;只有固相和液相,则为饱和土。干土和饱和土为二相土。

### 一、土的固相

土的固相构成了土的基本骨架,其矿物组成、大小和形状及级配情况是决定土的工程性质的重要因素。

#### (一) 土的矿物成分和有机质

##### 1. 土的矿物成分

土的矿物成分取决于成土母岩的成分以及所经受的风化作用,主要有原生矿物和次生矿物两大类:

(1)原生矿物。指岩石经物理风化后形成的矿物颗粒。常见的有:石英、长石和云母等。

(2)次生矿物。指岩石经化学风化形成的新矿物颗粒,主要是颗粒细小的黏土矿物。常见的有:蒙脱石、伊利石和高岭石。

一般来说,无黏性土的主要矿物组成是石英、长石等原生矿物;黏土矿物则是组成黏性土的主要成分。另外,需要注意的是,若黏性土中含有水溶盐时,遇水溶解后会被渗透水流带走,导致地基或坝体产生集中渗流,引起不均匀沉降以致降低强度。所以,通常规定筑坝土料的水溶盐含量不得超过 8%。

##### 2. 有机质

在岩石风化及风化产物的搬运、沉积过程中,若有动、植物的残骸及其分解物的参与,在土中便会形成有机质。有机质易分解,强度低,压缩性大。有机质含量为 5% ~ 10% 的土称为有机质土(有机质含量需用烧失量试验确定),这类土不能作为堤坝的填筑材料。

#### (二) 土的粒组划分

自然界中的土颗粒大小相差悬殊,既有粒径大于 200 mm 的,也有粒径小于 0.005 mm 的。颗粒大小不同的土,其工程性质也各异。为了研究方便,工程上常将大小接近,工程

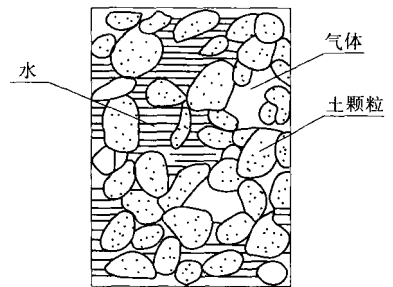


图 1-1 土的三相组成示意

性质相同或相近的土粒划分为一组,称为粒组。相邻粒组之间的分界尺寸称为界限粒径。不过,粒组的划分标准,不同国家甚至同一个国家的不同部门也有不同的规定。水利部门的《土工试验规程》(SL 237—1999)的规定见表 1-1;建设部门的《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)的规定见表 1-2。

表 1-1 水利部门规定的粒组划分

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)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂粒	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		$0.075 \geq d > 0.005$
	黏粒		$d \leq 0.005$

表 1-2 建设部门规定的粒组划分

粒组名称	漂石(块石)	卵石(碎石)	砾石	砂粒	粉粒	黏粒
粒径范围(mm)	>200	200 ~ 20	20 ~ 2	2 ~ 0.075	0.075 ~ 0.005	<0.005

一般来说,粗粒土的压缩性低、强度高、渗透性大;细粒土则正好相反。至于颗粒的形状,有的土粒带棱角、表面粗糙、不易滑动,因而其抗剪强度比表面光滑的高。

### (三) 土的颗粒级配

#### 1. 颗粒大小分析试验

自然界的天然土,很少是单一粒组的土,往往由多个粒组混合而成,而土的工程性质取决于不同粒组的相对含量。土中各粒组的相对含量用各粒组质量占土粒总质量的百分数表示,称为土的颗粒级配。颗粒级配需通过颗粒大小分析试验来测得。颗粒大小分析试验有筛分法和密度计法。

##### 1) 筛分法

筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的土。它是用一套从上到下孔径依次由大到小的标准筛(见图 1-2),将事先称过质量的干土样倒入筛的顶部,盖严上盖,置于筛分机上振筛 10 ~ 15 min,分别称出留在各筛上的土的质量,然后计算出这些土粒占总土粒质

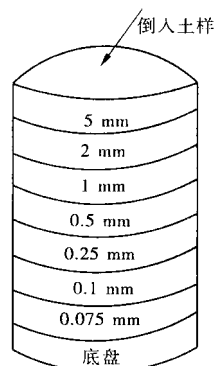


图 1-2 标准筛示意

量的百分数和小于某一孔径(粒径)的土质量占总土粒质量的百分数(简称为小于某粒径的质量百分数)。

## 2) 密度计法

密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。将密度计放入土和水混合的悬浊溶液中,测记 1 min、2 min、5 min、10 min、15 min、30 min、60 min、120 min 和 1 440 min 的密度计读数,根据不同大小土粒在水中沉降的速度不同的道理,通过有关公式计算出不同粒径的土粒质量百分数。

如果土中粒径小于 0.075 mm 的土粒质量超过总质量的 10% 时,则需联合使用上述两种方法。

**【例 1-1】** 从干砂样中称取质量为 1 000 g 的试样,放入标准筛中,经充分振动后,称得各级筛上留存的土粒质量,见表 1-3,试求土中各粒组的土粒含量百分数及小于各级筛孔径的土粒含量百分数。

**【解】** 留在孔径 2.0 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于该孔径的土粒含量为  $(1\ 000 - 100)/1\ 000 \times 100\% = 90\%$ ;留在孔径 1.0 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于该孔径的土粒含量为  $(1\ 000 - 100 - 100)/1\ 000 \times 100\% = 80\%$ ;同样可算得小于其他孔径的土粒含量。

因  $0.5\text{ mm} \geq d > 0.25\text{ mm}$  的土粒含量为 300 g,则粒径范围  $0.5\text{ mm} \geq d > 0.25\text{ mm}$  (中砂)的含量为  $300/1\ 000 \times 100\% = 30\%$ ;同样可算得其他粒组的土粒含量,所以该土样各粒组含量分别为:砾 10%,砂 80% (其中:粗砂 35%,中砂 30%,细砂 15%),细粒(包括粉粒和黏粒)10%。

表 1-3 筛分试验结果

筛孔径(mm)	2.0	1.0	0.5	0.25	0.1	0.075	底盘
各级筛上的土粒质量(g)	100	100	250	300	100	50	100
小于各级筛孔径的土粒含量(%)	90	80	55	25	15	10	
粒径的范围(mm)	$d > 2.0$	$2.0 \geq d > 0.5$	$0.5 \geq d > 0.25$	$0.25 \geq d > 0.075$	$d \leq 0.075$		
各粒组的土粒含量(%)	10	35	30	15	10		

## 2. 土的级配曲线

颗粒大小分析试验的成果,常用颗粒级配累计曲线表示,如图 1-3 所示。

图中横坐标表示粒径(用对数尺度表示),纵坐标表示小于某粒径的土粒质量占总质量的百分数。

## 3. 颗粒级配指标

常用的判别土的颗粒级配是否良好的指标有两个:

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

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

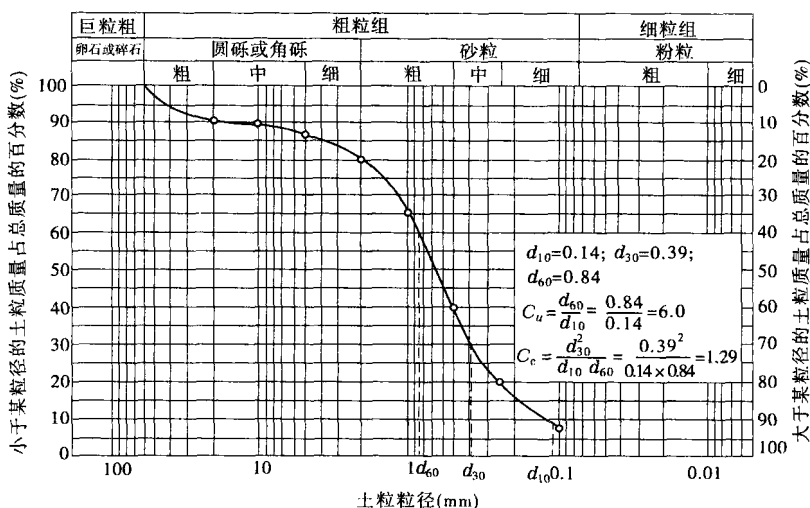


图 1-3 颗粒级配累计曲线

式中  $d_{10}$ ——小于某粒径的含量为 10% 时所对应的粒径值,即有效粒径;

$d_{30}$ ——小于某粒径的含量为 30% 时所对应的粒径值;

$d_{60}$ ——小于某粒径的含量为 60% 时所对应的粒径值,即控制粒径。

不均匀系数  $C_u$  是反映土颗粒大小不均匀程度的指标。 $C_u$  愈大,表明土颗粒愈不均匀,级配愈好(颗粒级配曲线愈平缓);反之, $C_u$  愈小,表明土颗粒愈均匀,级配愈不好(颗粒级配曲线愈陡)。

曲率系数  $C_c$  是反映级配曲线分布的的形状的指标,表明是否有某粒组缺失。 $C_c = 1 \sim 3$  时,表明土粒大小的连续性较好; $C_c$  值小于 1 或大于 3 时,颗粒级配曲线有明显弯曲而呈阶梯状(见图 1-4 中的 C 曲线),表明颗粒级配不连续,缺乏中间粒径。

在水利部门和交通部门的规范中规定:级配良好的土必须同时满足两个条件,即  $C_u \geq 5$  且  $C_c = 1 \sim 3$ ;若不能同时满足这两个条件,则称为级配不良的土。

级配良好的土,粗细颗粒搭配较好,粗颗粒间的孔隙被细颗粒填充,易于压实。所以,在工程中常用级配良好的土作为堤、坝的填筑材料。

【例 1-2】 如图 1-4 所示,曲线 A、B、C 表示三种不同的土,试求三种土中各粒组的百分含量、各土的不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$ ,并对各土的颗粒级配情况进行评价。

【解】 (1) 以 A 曲线为例,由曲线 A 查得各粒组的含量百分数为:

砂粒(0.075 ~ 2 mm):  $100\% - 5\% = 95\%$

粉粒(0.005 ~ 0.075 mm):  $5\% - 0\% = 5\%$

查曲线 A 得知: $d_{60} = 0.165$  mm,  $d_{10} = 0.11$  mm,  $d_{30} = 0.15$  mm, 则:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.165}{0.11} = 1.5 < 5 \quad (\text{土粒均匀})$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}} = \frac{0.15^2}{0.165 \times 0.11} = 1.24 \quad (\text{介于 } 1 \sim 3 \text{ 之间})$$

虽然  $C_c$  在 1 ~ 3 之间,但  $C_u < 5$ ,故 A 土级配不良。

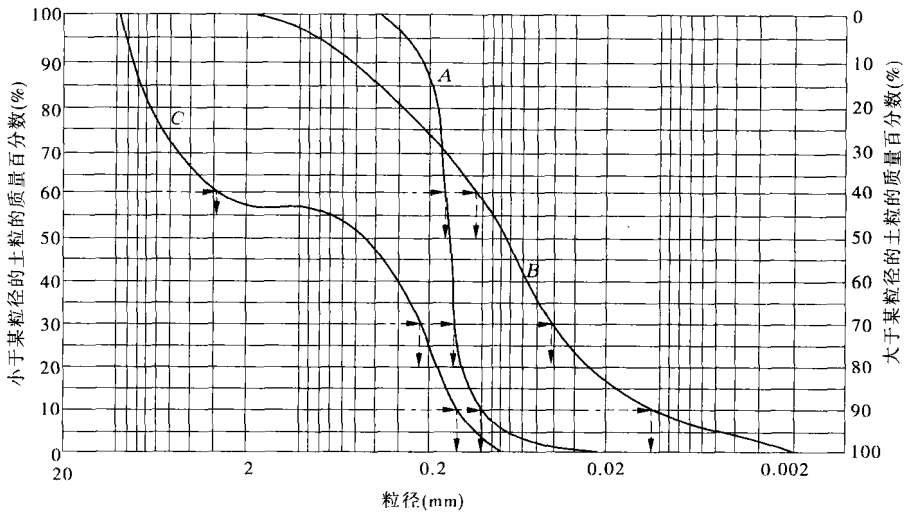


图 1-4 三种土的颗粒级配曲线

(2) 曲线 B 和 C 中各粒组的百分含量及  $C_u$ 、 $C_c$  的计算结果见表 1-4。可以看出, B 土级配良好, C 土级配不良。

表 1-4 A、B、C 三种土的计算结果

土样 编号	下列粒径(mm)范围土粒组成(%)				$d_{60}$ (mm)	$d_{10}$ (mm)	$d_{30}$ (mm)	$C_u$	$C_c$
	10~2	2~0.075	0.075~0.005	<0.005					
A	0	95	5	0	0.165	0.11	0.15	1.5	1.24
B	0	52	44	4	0.115	0.012	0.044	9.6	1.40
C	43	57	0	0	3.00	0.15	0.25	20.0	0.14

## 二、土中的水

土中的水按存在方式的不同,可分为如图 1-5 所示的几种类型。

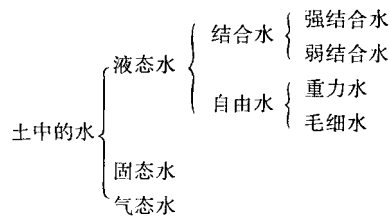


图 1-5 土中水的类型

### (一) 液态水

液态水分为结合水和自由水。

#### 1. 结合水

结合水是指附着于土粒表面成薄膜状的水,结合水在土粒表面形成结合水膜(见图 1-6)。结合水可分为强结合水和弱结合水。

## 1) 强结合水

强结合水是由土粒表面的高电荷力牢固地吸引的水分子,紧靠土粒表面。其特征为厚度极小,密度大,不能移动,不能传递静水压力,力学性质与固体相似。

## 2) 弱结合水

弱结合水是指在强结合水外围,吸附力稍低的一层结合水。其特征为厚度稍大,不能自由移动,只能以水膜的形式由厚处向薄处缓慢移动,不能传递静水压力,有很大的黏滞性和一定的抗剪强度。

由于结合水的存在,细颗粒(特别是黏粒)之间将形成公共水膜(见图 1-7)。从而使土粒间产生一定的联结,这种联结随土的湿度而变。当土的湿度减小时,水膜变薄,相邻土粒彼此吸引力增强;反之,当湿度增大时,水膜增厚,颗粒将被挤开,以致不存在公共水膜而失去联结。这种水膜的联结,是导致黏性土具有黏性、可塑性和抗剪强度的主要原因。

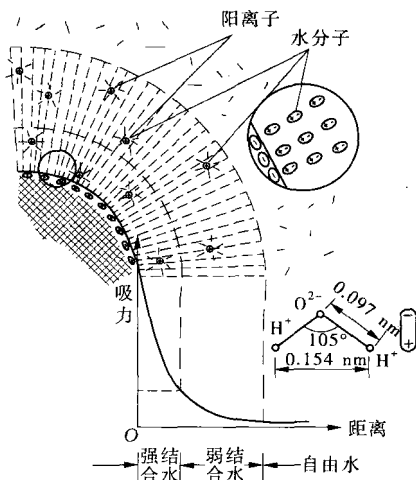


图 1-6 土粒与水分子相互作用的模拟图

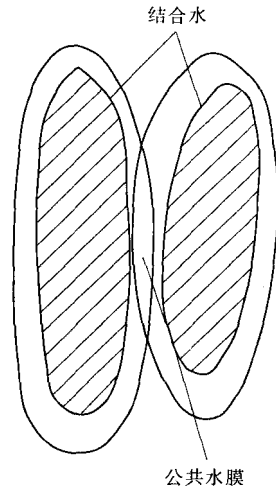


图 1-7 公共水膜

## 2. 自由水

自由水是指土孔隙中位于结合水以外的水,可在孔隙中自由移动。按其运动时所受的作用力不同,可分为重力水和毛细水。

## 1) 重力水

重力水是在重力作用下运动的水。这种水位于地下水位以下,具有浮力作用,从水头高处向水头低处流动,能引起土的渗透变形。

## 2) 毛细水

毛细水是由于水分子与土粒表面之间的附着力和水表面张力的作用而存在并运动于毛细孔隙中的水。这种水位于地下水位以上,受毛细作用而上升,上升高度视土粒大小、孔隙大小及形状而定:一般来说,卵石中接近零,砂土中较小,可从几厘米到几十厘米,黏性土中可达几米。

## (二) 固态水

当气温降至 $0^{\circ}\text{C}$ 以下时,液态的自由水结冰成为固态水。水在冻结后会膨胀,使基础冻胀,所以基础应有足够的埋置深度。

## (三) 气态水

气态水即水汽,对土的性质影响不大。

## 三、土中的气体

土中的气体是指土的固体颗粒之间孔隙中未被水所占据的部分。土中的气体有两类:自由气体和封闭气体。

### (一) 自由气体

自由气体是指土中与大气相通的气体。受外力作用时,易被挤出,故对土的工程性质影响不大。

### (二) 封闭气体

封闭气体是指与大气隔绝的一些封闭气泡,多存在于黏性土中。受外力作用时,封闭气泡缩小,卸荷时又膨胀,使土体具有弹性,称为橡皮土,难被压缩。若土中封闭气泡较多时,将使土的渗透性降低。

## 四、对土粒级配优劣判断方法的再认识

土粒级配是影响土的工程性质的一个重要因素,工程上在土料选择中常需对土粒级配进行分析。那么,如何判断土粒级配的优劣呢?

### (一) 明确土粒级配概念,认识土粒级配好坏

#### 1. 土粒级配的概念

土粒级配是指土中各粒组(根据土粒大小划分的组别)的相对含量,以各粒组占土粒总质量的百分数来表示,它反映了土中土粒大小的搭配情况。

#### 2. 土粒级配的好坏

不同的土粒级配,有着不同的工程性质。因此,土粒级配是有好坏之分的。级配的好坏可以用以下模拟情况来说明:图 1-8 表示了两种不同级配的土样,其中图 1-8(a)代表的土样是由大小接近的颗粒组成(粒径范围小);图 1-8(b)代表的土样颗粒有大有小(粒径范围大)。与图 1-8(a)相比,图 1-8(b)土样小颗粒可填充大颗粒间的孔隙,其密实度高、孔隙率小、透水性小,具有较好的工程性质。所以,颗粒有大有小的级配优于颗粒大小接近的级配。

### (二) 利用级配曲线,直观判断级配好坏

为了直观地反映土粒级配情况,用一坐标系中的曲线来表示土粒级配,这一曲线就称为级配曲线,如图 1-9 所示。横坐标表示土的粒径(从左到右,粒径由大到小),纵坐标表示小于某粒径的土粒质量占总土质量的百分数。为便于理解,把土粒假想地由大到小、从左到右沿横坐标轴排列在相应的位置处。若把整个土样看做 100 份,则曲线上某点的纵坐标值就表示该点以右的土粒的份数。由此可见,级配曲线能够反映出土粒级配情况。级配曲线有陡缓之分,如图 1-10(a)所示;有曲直之别,如图 1-10(b)所示。在图 1-10(a)



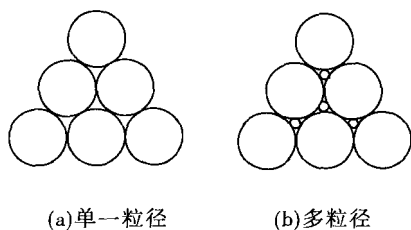


图 1-8 级配情况模拟

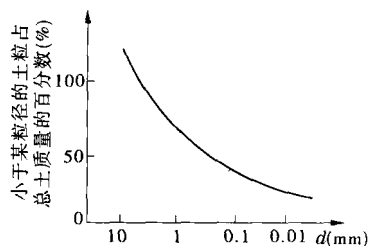


图 1-9 土粒级配曲线

中,曲线①平缓,说明其代表的土的土粒大小变化范围大,级配较好;曲线②陡,说明其所代表的土的土粒大小变化范围小(大小接近),级配较差。图 1-10 (b) 中曲线①直,说明不同粒径颗粒含量逐渐变化,级配较好。曲线②、③弯曲,在接近水平的区段对应粒径缺少,级配较差。可见,通过观察曲线的陡缓、曲直可大致判断出级配的好坏。

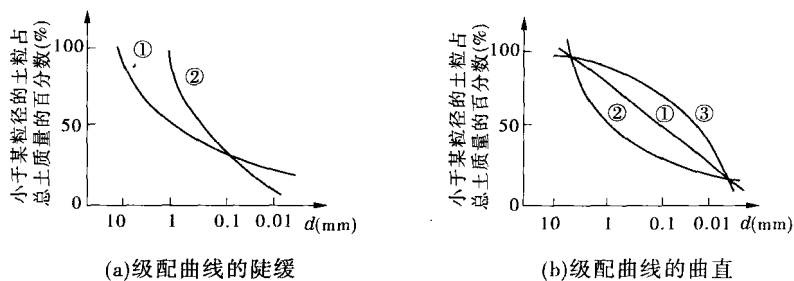


图 1-10 级配曲线类型

### (三) 使用定量指标,准确判断土粒级配好坏

通过观察级配曲线的陡缓、曲直,只能定性判断级配的好坏。要想准确判断土粒级配的好坏,就得给出定量指标。

判断土粒级配好坏的定量指标有两个:不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$ 。

#### 1. 定量指标定义

不均匀系数:  $C_u = d_{60}/d_{10}$ ; 曲率系数:  $C_c = d_{30}^2/(d_{10} \times d_{60})$ 。式中  $d_{10}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{60}$  均表示粒径,各数字表示小于该粒径的颗粒含量百分数,比如  $d_{10}$  表示小于该粒径的颗粒含量为 10%。三个粒径在数值上分别为土粒级配曲线上纵坐标为 10、30、60 对应的横坐标值。

#### 2. 指标大小与级配好坏的关系

不均匀系数  $C_u$  与级配的关系:因为  $C_u = d_{60}/d_{10}$ ,对照图 1-11 (a),假设  $d_{10}$  不变,若求得某土的  $C_u$  值大,则  $d_{60}$  就大,如图 1-11 (a) 中曲线①,  $d_{60}$  距  $d_{10}$  远,从而曲线平缓,级配较好;相反若求得  $C_u$  值小,则  $d_{60}$  就小,如图 1-11 (a) 中曲线②,  $d_{60}$  距  $d_{10}$  近,曲线陡,级配较差。由此可知,  $C_u$  值大时级配好,  $C_u$  值小时级配不好。那么,  $C_u$  值大到多少为好呢? 经验表明,  $C_u \geq 5$  时级配良好;反之,级配不好。

曲率系数  $C_c$  与级配的关系:因为  $C_c = d_{30}^2/(d_{10} \times d_{60})$ ,对照图 1-11 (b),假设  $d_{10}$ 、 $d_{60}$  不变,当求得  $C_c$  值大时,说明  $d_{30}$  大,如图 1-11 (b) 中曲线②向下凸,级配较差;当  $C_c$  值小时,说明  $d_{30}$  小,如图 1-11 (b) 中曲线③向上凸,级配也较差。由此可知,  $C_c$  值大或小级配