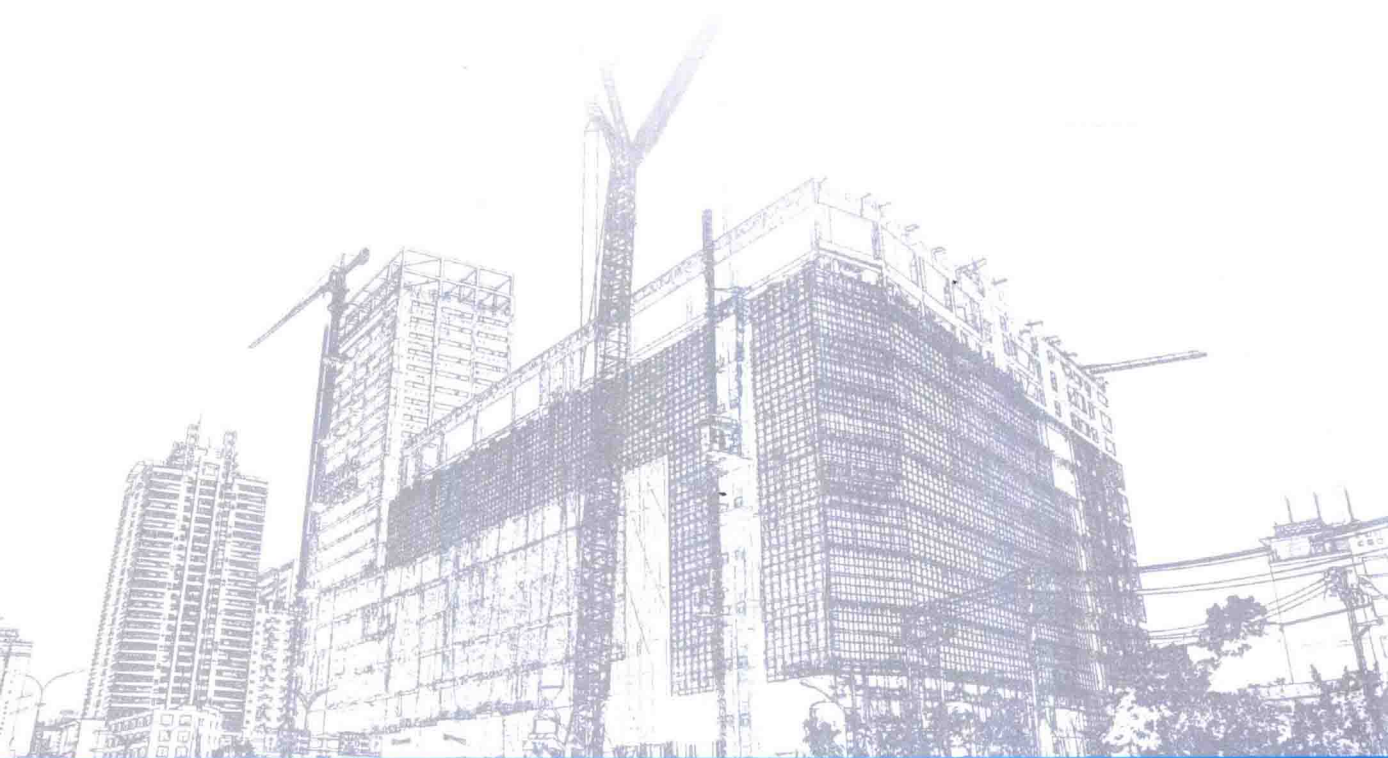




普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

土力学

主编 李栋伟 崔树琴
主审 李喜安



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

土 力 学

主 编 李栋伟 崔树琴
副主编 曹广勇 黎春林 陈海明
魏善斌 黄 剑
主 审 李喜安



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学/李栋伟,崔树琴主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.2
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
ISBN 978-7-307-14778-2

I. 土… II. ①李… ②崔… III. 土力学—高等学校—教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 257594 号

责任编辑:邓 瑶 责任校对:黄孝莉 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:12 字数:330 千字

版次:2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14778-2 定价:26.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问:干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员:丁克伟 徐颖 高飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙强 杨智良 陆峰 胡晓军

殷和平 黄伟

委员:马芹永 王睿 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣

白立华 刘运林 关群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张洵 张速 张广锋 陈燕 邵艳 林雨

周安 赵青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 www.stmpress.cn 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013 年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一,同时被评为 2013 年度省级规划教材。

土力学(soil mechanics)是研究土体在外力作用下应力-应变-时间关系的学科,是工程力学的一个分支,是土木工程专业的一门专业基础课程。同时,土力学也广泛应用于公路桥梁、水利水电、港口航道、铁道隧道、国防、矿山建设等行业中。编者根据普通高等院校土木工程专业教学大纲,依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)和《岩土工程勘察规范(2009 年版)》(GB 50021—2001)等国家和行业规范和标准,适应普通高等教育要求,并结合本课程教学改革与探索的实践经验,按土力学学科发展和培养土木工程卓越工程师的要求编写本书。

本书力图展现学科发展的最新成果,结合现有行业和国家新规范和标准,及时反映土力学的最新成果与观点。本书概念清晰易懂、层次分明、重难点突出。为适应培养土木工程卓越工程师的要求,本书突出了实用性和工程实践性,淡化了公式推导。本书注重理论和概念的准确性和完整性,以及内容的充实性和新颖性,着重阐述基本理论、基本原理及新概念、新方法,重视对案例和工程问题的介绍,以提高学生对工程实践问题的理解和分析能力。

本书共 8 章,主要内容包括土的物理性质与工程分类、土体渗透性与流量计算、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降、土的抗剪强度、地基承载力的确定、土压力理论、土坡稳定性分析。

为使学生明确学习目标和重点,本书每章设有内容提要和能力要求;为了方便学生自学与复习,加深对知识的理解和掌握,本书每章安排有大量的思考题和习题。

本书由安徽理工大学李栋伟、铜陵学院崔树琴担任主编;安徽建筑大学曹广勇、铜陵学院黎春林,安徽理工大学陈海明、魏善斌,黄山学院黄剑担任副主编;安徽新华学院任岚、皖西学院姜蕾担任参编。

具体编写分工如下:

安徽理工大学,李栋伟(前言);

安徽新华学院,任岚(第 1 章);

铜陵学院,崔树琴(第 2 章、第 3 章);

黄山学院,黄剑(第 2 章、第 3 章);

铜陵学院,黎春林(第 4 章);

安徽建筑大学,曹广勇(第 5 章、第 8 章);

安徽理工大学,陈海明、魏善斌(第 6 章);

皖西学院,姜蕾(第 7 章)。

全书由李栋伟统稿,由长安大学李喜安教授担任主审。

本书引用了编写老师长期积累的科研和教学成果,同时还参考了部分规范、教材,在此一并表示衷心感谢。限于时间和编者水平,书中难免有不足和疏漏之处,欢迎广大教师和学生批评指正。若发现本书有错误和不当之处,请发至邮箱:dwli@aust.edu.cn。

编 者

2014 年 11 月

目录

1 土的物理性质与工程分类	(1)
1.1 概述	(2)
1.2 土的三相组成	(4)
1.3 土的结构	(10)
1.4 土的物理性质指标	(11)
1.5 土的物理状态指标	(16)
1.6 土的压实特性	(19)
1.7 地基土的工程分类	(21)
知识归纳	(26)
思考题	(26)
习题	(27)
参考文献	(28)
2 土体渗透性与流量计算	(29)
2.1 概述	(30)
2.2 土体中水的渗透规律	(30)
2.3 流网及其应用	(35)
2.4 渗透力与渗透稳定性	(37)
知识归纳	(40)
思考题	(40)
习题	(40)
参考文献	(41)
3 地基中的应力计算	(42)
3.1 土的自重应力计算	(43)
3.2 渗流情况下的孔隙水压力 and 有效应力计算	(45)
3.3 基底压力分布及简化计算	(47)
3.4 地基中的附加应力——空间问题的解及其应用	(51)
3.5 地基中的附加应力——平面问题的解及其应用	(60)
3.6 非均质和各向异性地基中的附加应力	(64)
知识归纳	(65)
思考题	(65)
习题	(65)
参考文献	(66)

4 土的压缩性与地基沉降	(67)
4.1 概述.....	(68)
4.2 土的压缩性.....	(69)
4.3 地基最终沉降量计算.....	(73)
4.4 地基沉降与时间的关系.....	(84)
4.5 地基沉降组成及计算.....	(89)
知识归纳	(91)
思考题	(91)
习题	(91)
参考文献	(93)
5 土的抗剪强度	(94)
5.1 土的莫尔-库仑强度理论	(95)
5.2 地基土极限平衡条件.....	(96)
5.3 抗剪强度指标及测定方法.....	(98)
5.4 土体抗剪强度的影响因素及参数选择	(108)
5.5 三轴压缩试验中土的孔隙压力系数	(110)
5.6 土的应力路径	(112)
知识归纳.....	(113)
思考题.....	(113)
习题.....	(113)
参考文献.....	(113)
6 地基承载力的确定	(115)
6.1 地基破坏模式	(116)
6.2 浅基础的临塑荷载和临界荷载	(118)
6.3 地基极限承载力的计算	(122)
6.4 地基承载力公式的适用性	(129)
知识归纳.....	(132)
思考题.....	(132)
习题.....	(132)
参考文献.....	(132)
7 土压力理论	(133)
7.1 概述	(134)
7.2 挡土墙上的土压力	(134)
7.3 朗肯土压力理论	(137)
7.4 库仑土压力理论	(144)
7.5 常见情况下的土压力计算	(148)
7.6 关于土压力的几个问题	(162)
知识归纳.....	(164)
思考题.....	(164)

习题.....	(165)
参考文献.....	(165)
8 土坡稳定性分析	(166)
8.1 概述	(167)
8.2 土质边坡稳定性分析	(168)
8.3 基岩上覆盖土层稳定性分析	(179)
知识归纳.....	(181)
思考题.....	(182)
习题.....	(182)
参考文献.....	(182)

土的物理性质与工程分类

课前导读

▽ 内容提要

本章主要包括土的形成与特性,土的三相组成,土的固体颗粒与级配,土的物理性质指标及其换算关系,土的物理状态指标及其测定方法,土的压实特性,土的工程分类。本章的教学重点为土的固体颗粒与级配,土的物理性质指标及其换算关系,土的物理状态指标及黏性土的液限和塑限测定方法;教学难点为黏性土的物理状态指标,土的压实特性,土的工程分类。

▽ 能力要求

通过本章的学习,学生应掌握土的三相组成、土的物理性质指标、土的物理状态指标,能够进行土的工程分类。

1.1 概 述

1.1.1 土的形成

覆盖在地球表面上的土,是岩石风化的产物,另外,还包括植物腐败后堆积形成的有机质土。

岩石的风化过程可以分为物理风化和化学风化。物理风化是由温度应力或冰的形成等引起的物理力使母岩碎裂的过程。岩体的冷却,或地表附近日常的气温变化所产生的温度应力导致岩体开裂产生裂隙。如果有水渗入这些裂隙,然后冻结,那么由此而引起的膨胀将使裂隙进一步张开,直至岩块最后从岩体上剥落。通过同样的过程,这些岩块又可碎裂成越来越小的岩屑。在干旱地区,大风携带的砂粒撞击也可使岩面迅速剥蚀。

物理风化只改变岩石颗粒的大小和形状,不改变岩石的矿物成分。化学风化是岩石矿物与水或氧气,或溶解于土中水的碱类、酸类起化学反应的结果。空气中的二氧化碳和地表土中的有机质都是这种溶解酸的来源。化学风化不仅改变了岩石颗粒的大小,还改变了母岩矿物的成分。

在自然界,物理风化和化学风化是同时或交替进行的。风化后的土料可被带入江河,并沿着河道沉积,或沉积在湖、海里。流水所能携带颗粒的大小,主要取决于水流流速。因此,不同大小的颗粒可随河流流速的改变而沉积在不同的地方。这就引起颗粒的某些分选,以致在任一沉积层中发现的颗粒大小会以某种尺寸占优势。在水流搬运过程中,颗粒有较大磨损,从而碎裂成较小的尺寸,其表面往往较光滑且多呈圆形。

冰川和流动冰层也可搬运土粒,但其效果与河道中流水的搬运颇不相同。一方面,巨大的漂石可从岩面拔起,被带到很远的地方;另一方面,在极端情况下,流动冰层底部挟带的石块通过与途中的岩石研磨,将产生颗粒极细的石粉。冰融化时,所挟带的土就沉积下来,形成冰川堆石。

岩石风化后仍留在原地未经搬运的堆积物称为残积土。残积土的厚度和风化程度主要取决于气候条件和暴露时间。在湿热地带,风化速度快,残积土的厚度可达几米至几十米,这里的残积土主要由黏粒组成;反之,在严寒地带,残积土的厚度不大,且主要由岩块和砂组成。由于残积土未经搬运的磨损作用,在土层中所含的石块均带尖棱角。

1.1.2 土的成分及其特性

(1) 土的成分

任何一个土样都是由下列几种(或全部)成分所组成的。

① 固相,包括原生矿物、次生矿物、粒间胶结物、有机质。

② 液相,包括水和溶解盐类。

③ 气相,包括空气和水蒸气。

以上这些土的组成部分,都在不同程度上影响着土的工程性质。

(2) 原生矿物

原生矿物是由母岩碎裂而成的岩屑。它们一般较粗,直径很少小于 0.002 mm(虽然有些冰积土可含有颗粒极细的石粉)。颗粒一般呈圆形或带棱角。

当这种颗粒组成土的主要矿物成分(如在砾和砂中)时,土的工程性质主要取决于级配(即粒径的变化)和填实程度。这两个因素在某种程度上是互相关联的。因为如果颗粒都具有大致相同的尺寸,那么要把它们填得很实是不可能的。如果颗粒粒径由大到小有良好的级配,就能使较小的颗

粒充填较大颗粒之间的孔隙。这种填得很密的土料,由于颗粒之间的咬合作用,压缩性低,抗剪强度高。颗粒的形状和纹理对土的工程性质亦有一些影响,但与矿物成分无关。

(3) 次生矿物

次生矿物主要是岩石经化学风化的产物。次生矿物主要是指黏土矿物,其颗粒极细,主要尺寸很少超过 0.002 mm 。它们一般呈片状(也可能为针状、管状或棒状),在某些情况下只有几个分子厚。因此,它们有很大的表面积。其性质较不稳定,有较强的吸附水能力(尤其是由蒙脱石构成的土粒),含水率的变化易引起体积胀缩,具有塑性。

(4) 粒间胶结物

在有些土中,土粒表面沉积着大量的胶结物(如方解石、氧化铁或硅石)。这种胶结物可能来源于地下水从别处带来的溶解盐类,也可能为由溶滤而引起的土矿物分解的残留物。无论属于哪一种情况,因为矿物在颗粒之间形成一种胶结物,所以土的抗剪强度增加,压缩性降低。

(5) 有机质

土中的有机质来源于动、植物遗体,一般集中在土的顶层 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ 范围内,但在透水土中,渗透作用可进一步把它带得很深。

对工程建筑物而言,这些有机物都有极不良的性质。现概述如下:

① 有机质将吸收大量的水(重量高达有机质自重的 5 倍)。施加荷载于有机质上,将因水的排出而引起巨大的体积变化。因此,在相当适中的荷载下,3 m 厚的泥炭层可沉降 0.5 m。如果卸去荷载,泥炭层也会有相当大的膨胀。排水降低地下水位也可引起土的体积减小和地面的普遍下沉。

② 有机质的抗剪强度很低,当土中含有大量有机质时,将对它的强度产生有害影响。

③ 有机质有很强的盐基交换能力。

④ 有机质的存在妨碍水泥的凝固。有机质含量高的土不能用水泥加固。

有机质的许可含量取决于它的性质和土的用途。一般而言,有机质含量小于 0.5% 是不会影响水泥凝固的,当其含量达 2%~3% 可严重地改变土的强度和压缩性。

(6) 水

土的含水量改变是其工程性质发生变化最重要的起因。抗剪强度、压缩性和渗透性都直接或间接地与土的含水量有关。

必须记住的是,水是与固体颗粒一样重要的土的组成部分。它虽不能承担剪应力,但能承担正应力,且正应力是土所承担的应力的重要部分。施加于土上的总应力增加一般既能引起粒间接触压力的改变,又能引起孔隙流体压力的改变(除非土能自由排水)。当讨论土中应力时,两者的影响都应加以考虑。

在非饱和土中孔隙内的水-气界面上存在着表面张力。孔隙气压力和孔隙水压力一般是不相等的。

(7) 溶解盐类

凡是土内有水渗过的地方,都有水输送的溶解盐类。按工程观点,盐类中最重要的是硫酸盐,因为它们对混凝土有破坏性影响。土中水许可的硫酸盐浓度取决于将同它们接触的混凝土建筑物的性质。

(8) 空气

不是所有的土都是完全饱和的(即土粒之间的孔隙不是完全充满水的)。倘若土中空气体积的比例很小(不到孔隙体积的 5% 左右),空气多半是以极小的气泡形式在表面张力引起的高压力下束缚在固定位置上。这些气泡不容易被排除或压缩,对土的压缩性影响较小。稍高的空气体积比

例(达孔隙体积的 15%)将导致在低压力下形成较大的气穴,这些气穴对由外加荷载改变引起的体积变化和孔隙压力变化有重大影响。

若孔隙含有较高比例的空气,则在整个土体内空气多半是连通的,可比较容易被排出。这种排气可以由土的压实来完成。这能引起地面巨大的沉降。或者,空气可通过水流入孔隙而被排出,这会使土的抗剪强度降低(特别是在黏性土的情况下)。

(9) 水蒸气

在非饱和土中,孔隙内空气的相对湿度高。由于温差或其他原因,蒸汽压力可能处处不同。如果土的饱和度低,以致气孔隙多半是连通的,水可能以水蒸气的形式发生大量转移。

1.2 土的三相组成

如前所述,土是由固相(矿物质、粒间胶结物和有机质)、液相(水和溶解盐类)、气相(空气和水蒸气)三部分所组成的三相体系。土的固相构成土的骨架,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,称为非饱和土;有时也可能完全充满气体,就称为干土。这三种组成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了土的物理力学性质。因此,需要更进一步探讨土的三相组成。

1.2.1 土的固相

在土的三相组成中,土的固体颗粒构成土的骨架,其矿物成分及其组成、大小和形状是决定土的物理力学性质的重要因素。

(1) 土粒的大小和土的级配

土是自然界的产物,是由无数大小不同的土粒组成的,要逐个研究它们的大小是不可能的,也没有这种必要。工程上通常把工程性质相近的一定范围的土粒划分为一组,称为粒组,并给以常用的名称。工程上广泛采用的粒组有漂石组、卵石组、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒。

对粒组的划分,各个国家,甚至一个国家中的各个部门都有不同的规定。表 1-1 为我国水利部发布的《土工试验规程》(SL237—1999)中规定的粒组划分情况。

表 1-1 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		$d \leq 0.005$

土中各粒组的相对含量就称为土的级配。土的级配好坏将直接影响土的工程性质。级配良好的土,压实时能达到较高的密实度,因而,该土的透水性弱、强度高、压缩性低。反之,级配不良的土,其压实密度小、强度低、透水性强而稳定性差。

(2) 颗粒大小分析试验

测定土中各粒组颗粒质量所占该土总质量的百分数,确定粒径分布范围的试验称为土的颗粒大小分析试验。该试验用以了解土的颗粒级配,供土的工程分类及判别土的工程性质和建材选料之用。常用的试验方法有筛分法和密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的土,密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。当土内兼有大于和小于 0.075 mm 的土粒时,两种分析方法可联合应用。

① 筛分法。

筛分法是利用一套孔径由大到小的筛子,如图 1-1 所示,将按规定方法取得的一定质量的干试样放入依次叠好的最上面一层筛中,再置于振筛机上充分振摇后,称出留在各级筛上的土粒的质量,按式(1-1)算出小于某粒径的土粒的质量百分数 $X(\%)$ 。

$$X = \frac{m_i}{m} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 m_i, m ——小于某粒径的土粒质量及试样总质量, g。

【例 1-1】 从干砂样中称取质量为 1000 g 的试样,放入图 1-1 所示的标准筛中,经充分振摇后,称得各级筛上留存的土粒质量,见表 1-2 中的第二行数据,试求土内各粒组的土粒含量。

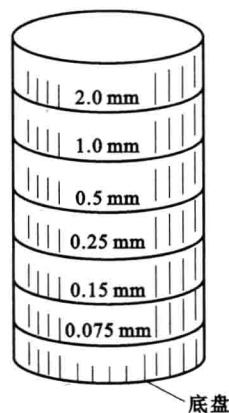


图 1-1 筛子示意图

表 1-2

筛分试验结果

筛孔径/mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.15	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	
各粒组的土粒含量/%	10	25	30	10	5	10	

【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 $900/1000 = 90\%$ 。同样可算得小于其他孔径的土粒含量,见表 1-2 中的第三行数据。由小于 2.0 mm 和 1.0 mm 孔径的土粒含量分别为 90% 和 80%,可得到粒径 2.0 mm 到 1.0 mm 粒组的土粒含量为 10%。同样可算得其他粒组的土粒含量,见表 1-2 中的第四行数据。

② 密度计法。

密度计法是利用不同大小的土粒在水中的沉降速度不同,来确定小于某粒径的土粒的含量的方法。具体方法步骤参见《土工试验规程》(SL237—1999)。

③ 土的级配曲线。

根据颗粒大小分析试验,可以得到以下两种表示形式的曲线。

a. 粒径分布曲线:以土粒粒径为横坐标(对数比例尺),小于某粒径土粒质量占试样总质量的百分数为纵坐标绘制而成的曲线。由于土中土粒的粒径相差很大,因此横坐标用对数坐标表示,以突出显示细小颗粒粒径。

b. 粒组频率曲线:以各粒组的平均粒径为横坐标(对数比例尺),以各粒组的土粒含量为纵坐标绘制而成的曲线。

图 1-2 为例 1-1 筛分试验成果图。图中实线为粒径分布曲线,虚线为粒组频率曲线。

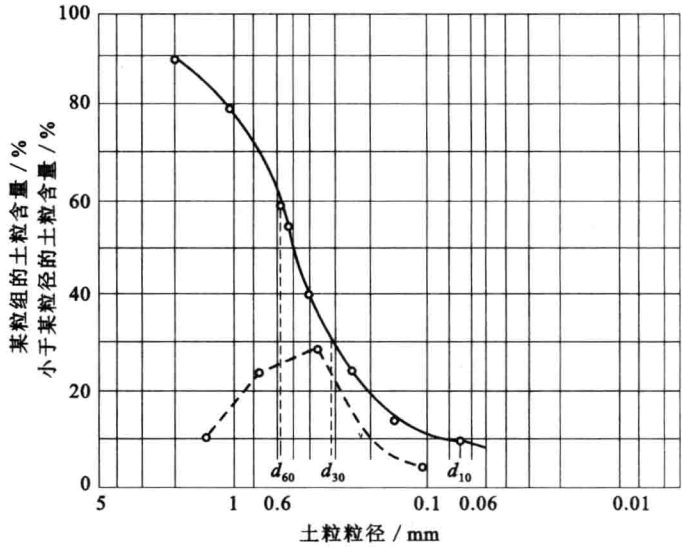


图 1-2 颗粒大小分析试验曲线

必须指出的是,实际土粒的形状是各式各样的,很少呈球形,这里所说的土粒粒径是名义粒径,在筛分法中是以筛孔径代表的,而在密度计法中是以与实际土粒在水中沉降速度相同的同样物质的球的直径代表的。

(3) 颗粒大小分析试验曲线的主要用途

土的粒径分布曲线是土工上最常用的曲线,由此曲线可以直接了解土的粗细、粒径分布的均匀程度和级配的优劣情况。

根据某些特征粒径,可得到两个有用的指标,即不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c ,它们的定义为:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-2)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} d_{60}} \quad (1-3)$$

其中, d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} 为粒径分布曲线上小于某粒径的土粒含量分别为 10%、30% 和 60% 时所对应的粒径,如图 1-2 所示。通常称 d_{10} 为有效粒径,称 d_{60} 为限制粒径。

一般来说,不仅可以根据土的粒径分布曲线确定粒组的相对含量,还可以根据曲线的坡度陡缓判断土的级配好坏。如图 1-3 所示,曲线 A 的坡度缓,表示土的粒径分布范围宽, d_{10} 和 d_{60} 相距远,土的不均匀系数大,土粒不均匀。大颗粒形成的孔隙有足够的小颗粒充填,土体易于密实,故在工程上认为不均匀的土是级配良好的土。相反,曲线 B 的坡度陡,表示土的粒径分布范围窄, d_{10} 与 d_{60} 相接近,土的不均匀系数小,土粒较均匀。因此,不均匀系数的大小可用来衡量土中土粒的均匀程度。一般来说,土的不均匀系数大,土中就有足够的细土粒去充填粗土粒形成的孔隙,当它被压实时就能得到较高的密实度。但是,某些级配不连续的土,例如,缺乏中间粒径的土,粒径分布曲线呈台阶形,如图 1-3 中的曲线 C,尽管其不均匀系数较大,但由于缺乏中间粒径的土,一般孔隙体积较大,当有水流动时,易将小颗粒带走,渗透稳定性差,易于产生管涌。因此,土的不均匀系数大,未必表明土中粗细粒的搭配就一定好。粒径分布曲线的形状可用曲率系数来反映,曲率系数也是描述级配好坏的重要参数。

综上所述,土的级配的好坏可由土中的土粒均匀程度和粒径分布曲线的形状来决定,而土粒的

均匀程度和粒径分布曲线的形状又可用不均匀系数和曲率系数来衡量。从工程观点看,级配不均匀($C_u \geq 5$),且级配曲线连续($C_c = 1 \sim 3$)的土,称为级配良好的土;不能同时满足上述条件时,土的级配是不良的。

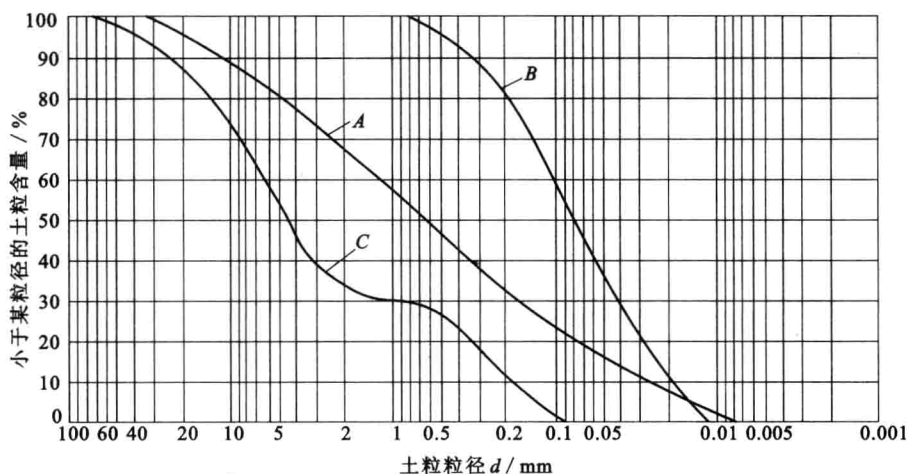


图 1-3 三种不同土的粒径分布曲线

(4) 黏土颗粒与黏土矿物

如前所述,按粒径大小进行粒组划分时,粒径 $d \leq 0.005$ mm 的土颗粒称为黏土颗粒(或称黏粒)。黏粒中含有化学活性高的结晶性颗粒的黏土矿物和化学活性不高的石英、长石等非黏土矿物。一般黏土质的土中含有 20%~30% 的黏土矿物,但是也有像景德镇陶瓷所用的黏土原料那样,含有 80%~90% 的黏土矿物。

岩石中的主要化学元素硅(Si)和铝(Al)溶解度低,在岩石中保存下来,形成 SiO_2 和氢氧化铝 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 。它们相互连接形成硅氧离子层(用梯形符号“ $\triangle$ ”表示)和铝氢氧离子层(用长方形符号“ $\square$ ”表示)。黏土矿物根据化学风化过程中温度及压力条件不同产生了不同种类的结晶,代表性的有高岭土矿物群(含有高岭石)、蒙脱石矿物群(含有蒙脱石)、云母黏土矿物群(含有伊利石)、绿泥石群四种。高岭石的结构如图 1-4(a)所示,硅氧离子层($\triangle$)和铝氢氧离子层($\square$)上下重叠为一个晶胞,几个晶胞上下相连形成一个高岭土黏土颗粒。各层间结合力相当强,层数多,所以形成的黏土颗粒大。而且由这种结构形成的纯高岭土多呈六角形板状。蒙脱石的结构如图 1-4(b)所示,一个晶胞是由两个硅氧离子层($\triangle$)中间夹一个铝氢氧离子层($\square$)组成的,称为三层结构。这样的晶胞数层相连,晶胞与晶胞之间结合了数个水分子,容易吸水膨胀。因此,蒙脱石是具有很大膨胀性的黏土矿物。伊利石的结构如图 1-4(c)所示,在三层结构的晶胞之间结合了数个钾离子(K^+),所以与蒙脱石相比其结合力较强,结构较稳定。

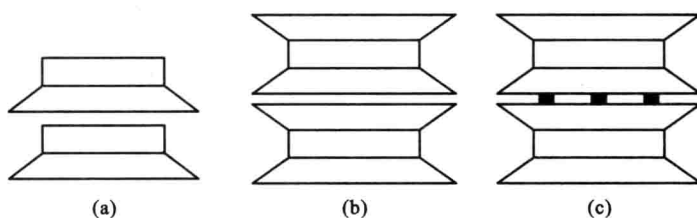


图 1-4 黏土矿物的结晶结构

(a) 高岭石;(b) 蒙脱石;(c) 伊利石