



高等学校土木建筑工程类系列教材

土力学 (第二版)

■ 侍倩 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等学校土木建筑工程类系列教材

土 力 学 (第二版)

■ 侍 倩 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学/侍倩主编. —2 版. —武汉:武汉大学出版社,2010.9
高等学校土木建筑工程类系列教材
ISBN 978-7-307-08156-7

I. 土… II. 侍… III. 土力学—高等学校—教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 170936 号

责任编辑:李汉保 责任校对:刘 欣 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:424 千字 插页:1

版次:2004 年 10 月第 1 版 2010 年 9 月第 2 版

2010 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-08156-7/TU·91 定价:28.00 元

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

高等学校土木建筑工程类系列教材

编 委 会

- | | | |
|-------|-----------|------------------------------|
| 主 任 | 何亚伯 | 武汉大学土木建筑工程学院, 教授、博士生导师, 副院长 |
| 副 主 任 | 吴贤国 | 华中科技大学土木工程与力学学院, 教授、博士生导师 |
| | 吴 瑾 | 南京航空航天大学土木系, 教授, 副系主任 |
| | 夏广政 | 湖北工业大学土木建筑工程学院, 教授 |
| | 陆小华 | 汕头大学工学院, 副教授, 副处长 |
| 编 委 | (按姓氏笔画为序) | |
| | 王海霞 | 南通大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 刘红梅 | 南通大学建筑工程学院, 副教授, 副院长 |
| | 宋军伟 | 江西蓝天学院土木建筑工程系, 副教授, 系主任 |
| | 杜国锋 | 长江大学城市建设学院, 副教授, 副院长 |
| | 肖胜文 | 江西理工大学建筑工程系, 副教授 |
| | 徐思东 | 江西理工大学建筑工程系, 讲师 |
| | 欧阳小琴 | 江西农业大学工学院土木系, 讲师, 系主任 |
| | 张海涛 | 江汉大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 张国栋 | 三峡大学土木建筑工程学院, 副教授 |
| | 陈友华 | 孝感学院教务处, 讲师 |
| | 姚金星 | 长江大学城市建设学院, 副教授 |
| | 梅国雄 | 南昌航空大学土木建筑学院, 教授, 院长 |
| | 程赫明 | 昆明理工大学土木建筑工程学院, 教授, 院长 |
| | 曾芳金 | 江西理工大学建筑与测绘学院土木工程教研室, 教授, 主任 |
| 执行编委 | 李汉保 | 武汉大学出版社, 副编审 |
| | 谢文涛 | 武汉大学出版社, 编辑 |

内 容 简 介

本书系统地阐述了土的基本特性、土力学的基本原理、土体变形及稳定的主要分析方法,以及土力学理论在工程实践中的应用。

全书共分9章,包括土的物理性质及土的工程分类、地基渗流及渗透稳定、土中应力计算、土的压缩特性和地基沉降计算、土的抗剪强度、挡土墙上的土压力、地基稳定性、土坡的稳定性分析、地基设计、桩基础与地基处理等方面内容。书内每章末均附有习题。

本书可以作为高等院校水利水电工程建筑、水利水电工程施工、农田水利工程、河流泥沙工程、土木建筑工程专业和其他多学时专业的教材,也可以作为大专院校有关专业的教学参考书以及相关专业技术人员的技术参考书。

序

建筑业是国民经济的支柱产业,就业容量大,产业关联度高,全社会 50% 以上固定资产投资要通过建筑业才能形成新的生产能力或使用价值,建筑业增加值占国内生产总值较高比率。土木建筑工程专业人才的培养质量直接影响建筑业的可持续发展,乃至影响国民经济的发展。高等学校是培养高新科学技术人才的摇篮,同时也是培养土木建筑工程专业高级人才的重要基地,土木建筑工程类教材建设始终应是一项不容忽视的重要工作。

为了提高高等学校土木建筑工程类课程教材建设水平,由武汉大学土木建筑工程学院与武汉大学出版社联合倡议、策划,组建高等学校土木建筑工程类课程系列教材编委会,在一定范围内,联合多所高校合作编写土木建筑工程类课程系列教材,为高等学校从事土木建筑工程类教学和科研的教师,特别是长期从事土木建筑工程类教学且具有丰富教学经验的广大教师搭建一个交流和编写土木建筑工程类教材的平台。通过该平台,联合编写教材,交流教学经验,确保教材的编写质量,同时提高教材的编写与出版速度,有利于教材的不断更新,极力打造精品教材。

本着上述指导思想,我们组织编撰出版了这套高等学校土木建筑工程类课程系列教材,旨在提高高等学校土木建筑工程类课程的教育质量和教材建设水平。

参加高等学校土木建筑工程类系列教材编委会的高校有:武汉大学、华中科技大学、南京航空航天大学、南昌航空大学、湖北工业大学、汕头大学、南通大学、江汉大学、三峡大学、孝感学院、长江大学、昆明理工大学、江西理工大学、江西农业大学、江西蓝天学院 15 所院校。

高等学校土木建筑工程类系列教材涵盖土木工程专业的力学、建筑、结构、施工组织与管理等教学领域。本系列教材的定位,编委会全体成员在充分讨论、商榷的基础上,一致认为在遵循高等学校土木建筑工程类人才培养规律,满足土木建筑工程类人才培养方案的前提下,突出以实用为主,切实达到培养和提高学生的实际工作目标。本教材编委会明确了近 30 门专业主干课程作为今后一个时期的编撰,出版工作计划。我们深切期望这套系列教材能对我国土木建筑事业的发展 and 人才培养有所贡献。

武汉大学出版社是中共中央宣传部与国家新闻出版署联合授予的全国优秀出版社之一,在国内有较高的知名度和社会影响力。武汉大学出版社愿尽其所能为国内高校的教学与科研服务。我们愿与各位朋友真诚合作,力争使该系列教材打造成为国内同类教材中的精品教材,为高等教育的发展贡献力量!

高等学校土木建筑工程类系列教材编委会

2008 年 8 月

前 言

土是地壳表层母岩经受强烈风化(包括物理风化、化学风化和生物风化作用)的产物,是各种矿物颗粒(土粒)的集合体。颗粒之间的联结强度远比颗粒本身的强度小,甚至没有联结。在一般情况下,土颗粒之间有大量孔隙,而孔隙中通常有水和空气。因此,土与其他连续固体介质相区别的最主要特征,就是土体的多孔性和散体性。由于土体在变形、强度等力学性质上都与连续固体介质有根本的不同,所以,仅靠“材料力学”、“弹性力学”和“塑性力学”尚不能描述土体在受力后所表现的性状及由此所引起的工程问题。而“土力学”正是利用上述力学的基本知识辅之以土工试验技术来研究土的强度和变形及其规律的一门科学。

土在地壳表面分布极广,土与各种工程建筑的关系十分密切。特别在水工建设工程中,土更是被广泛地利用。如在土层上修建堤坝、涵闸、渡槽、桥梁、码头等建(构)筑物时,土就被用作地基(称为基土);如修筑土质堤坝、路基和其他土工建(构)筑物时,土就被用作建筑材料(称为土料);如修建运河、渠道、隧洞、地下厂房以及地下管道等,则常会遇到将土用作建筑物周围的介质或护层的情况。土的性质对于工程建筑物的质量、性状,具有直接且重大的影响。因此,对土的研究直接关系到工程的经济合理和安全使用的问题。

土力学是利用力学的知识和土工试验的技术来研究土的强度、变形及其发展变化规律的一门科学。一般认为,土力学是力学的一个分支,但由于土力学的研究对象——土,是以矿物颗粒组成骨架的松散颗粒集合体,其力学性质与一般刚性固体或弹性固体以及流体等都有所不同。因此,一般连续体力学的规律,在土力学中应结合土的特殊情况作具体应用。此外,还要用专门的土工试验技术来研究土的物理特性、化学特性以及土的强度、变形和渗透等特殊的力学性质。

土力学是一门既古老又新兴的学科。由于生产的发展和生活上的需要,人类很早就懂得广泛利用土进行工程建设。如我国公元前两世纪开始兴建的万里长城和公元六世纪开通的南北大运河等宏伟工程,以及外国古代所修造的不少历史性的巨型建筑物,都证实了人类在工程实践中积累了丰富的土力学知识,但由于受到当时生产实践规模和知识水平的限制,直到18世纪中叶,人们对土在工程建设方面的特性,尚停留在感性认识的阶段。

18世纪产业革命以后,水利、道路、城市建设工程快速发展,提出了大量与土力学有关的问题,虽然取得了不少成功的经验,但是也有不少失败的实例,特别是一些工程事故的教训,迫切要求人们去寻求理论的解释,并要求用经过实践检验的理论来指导以后的工程实践。从18世纪中叶到19世纪末,人们对土的强度、变形性能以及渗流三大问题作了某些个别理论的探讨,并作了某些基础工程问题的研究。但由于当时生产力和科学水平的限制,土力学还停留在半经验分析的阶段。

20世纪以后,随着生产建设的深度与广度的不断扩大,遇到的工程地质条件也更复杂,迫使人们开始全面、系统地对土的力学性质做理论和实践的研究。地基勘探和土工试验技

术的发展、现场观测资料的不断丰富、其他学科的研究成果以及许多专门性研究机构的成立,均使得土力学有了飞速的进步。至20世纪20年代,著名土力学家太沙基的《土力学》专著问世,土力学方成为一门独立的、较系统的、较完整的学科。

近数十年来,由于尖端科学、生产(包括军工)发展的需要,电子计算机技术的不断提高,测量和测试技术的不断改进,土力学的研究领域又有了明显的扩大。如土动力学、冻土力学、海洋土力学、月球土力学等都是新兴的土力学分支,岩石力学也已与土力学分离而单独成为一门学科。超高型的土坝和土石坝、巨型的土中洞库和管道、连续浇筑地下连续墙、软土层上高层建筑物下的巨型基础、海洋石油钻井平台下的巨型基础工程建设等也方兴未艾。计算机仿真分析、大型有限元计算的应用与不断改进、数字化技术的发展、信息化施工技术的应用与推广等,都推动着土力学向更高、更深的水平发展。

本书共分9章,包括土的物理性质及土的工程分类、土的渗透性及渗透稳定等工程问题、土中应力的计算、土的变形性质和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力、地基稳定性、土坡的稳定性分析、地基设计、桩基础与地基处理等方面的内容。书中第1章§1.1~§1.6、第3章由侍倩编写;第1章§1.7~§1.8、第2章由邹勇编写;第4章由杨金鑫、刘芙蓉编写;第5章由傅旭东编写;第6章~第7章由雷卫民编写;第8章由崔红军编写;第9章由崔红军、刘芙蓉编写。

本书由武汉大学冯国栋教授、刘祖德教授、陆士强教授、刘一亮教授、俞季民教授共同审阅。他们的审阅,对提高本书的质量起到了极为重要的作用,在此表示衷心的感谢!此外,武汉大学岩土与道桥系的其他教师也给予了许多支持和帮助。在此也向他们表示衷心的感谢!

限于作者的水平,书中定有欠妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2010年8月2日于武汉大学

目 录

第 1 章 土的物理性质	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 土的组成	1
§ 1.3 土的三相比例指标	12
§ 1.4 无粘性土的密实度	19
§ 1.5 粘性土的物理状态	21
§ 1.6 土的结构	26
§ 1.7 土的击实性	30
§ 1.8 土的工程分类	35
§ 1.9 粘性土的物理化学性质	39
习题 1	43
第 2 章 土的渗透及工程问题	46
§ 2.1 概述	46
§ 2.2 达西定律及其适用范围	46
§ 2.3 渗透系数及其确定方法	47
§ 2.4 渗流作用下土的应力状态	52
§ 2.5 渗透变形	55
习题 2	59
第 3 章 土中的应力	60
§ 3.1 概述	60
§ 3.2 土体中的自重应力	60
§ 3.3 基底压力(接触压力)	63
§ 3.4 地基中的附加应力	68
§ 3.5 非均质和各向异性地基中的附加应力	94
习题 3	98
第 4 章 土的变形性质和地基沉降计算	101
§ 4.1 概述	101
§ 4.2 土的压缩性	101

§ 4.3	地基最终沉降量的计算	108
§ 4.4	饱和土的渗透固结理论	120
习题 4		131
第 5 章	土的抗剪强度	133
§ 5.1	概述	133
§ 5.2	土的抗剪强度规律和极限平衡条件	134
§ 5.3	土的剪切试验	137
§ 5.4	总应力强度指标与有效应力强度指标	145
§ 5.5	土在剪切过程中的性状	150
§ 5.6	三轴试验中试样的应力路径	160
习题 5		166
第 6 章	土压力	168
§ 6.1	产生土压力的条件	168
§ 6.2	朗肯土压力理论	170
§ 6.3	库仑土压力理论	176
§ 6.4	影响土压力计算值的因素及减小主动土压力的措施	183
§ 6.5	挡土墙稳定性验算及新型挡土结构	186
习题 6		191
第 7 章	地基稳定性	194
§ 7.1	概述	194
§ 7.2	按极限荷载确定地基承载力	198
§ 7.3	按极限平衡区发展范围确定地基承载力	208
§ 7.4	用原位测试成果确定地基承载力	213
§ 7.5	按工程规范确定地基承载力	217
习题 7		219
第 8 章	土坡的稳定性分析	220
§ 8.1	概述	220
§ 8.2	无粘性土土坡的稳定性分析	221
§ 8.3	粘性土土坡的稳定性分析	223
§ 8.4	任意滑面的不平衡推力传递法及圆弧滑面的泰勒图表法	228
§ 8.5	影响土坡稳定的因素	231
§ 8.6	土坡稳定有关问题的讨论	236
习题 8		239

第 9 章 地基设计、桩基础与地基处理	241
§ 9.1 地基基础设计概述和程序	241
§ 9.2 基础设计	242
§ 9.3 桩基础概述	247
§ 9.4 地基处理	256
参考文献	271

第1章 土的物理性质

§ 1.1 概 述

土是各种矿物颗粒的集合体,在天然状态下,一般为三相系,即土是由固体颗粒、水和空气三相所组成。三者之间的相互作用以及它们之间的比例关系,反映出土的物理性质与物理状态,可以用来对土进行分类和鉴定。同时,这些指标又都与土的力学性质有关。

地壳表层的岩石长期受自然界的风化作用,因而大块岩体不断地破碎与分解,再经搬运、堆积而成为大小、形状和成分都不相同的松散颗粒集合体——土。

物理风化只能引起岩块的机械破碎,其产物基本上保持与母岩相同的成分,称为原生矿物,如石英、长石和云母等;砂、砾石和其他粗粒的土,主要是物理风化的产物。化学风化则使岩石发生质变,改变其原有的岩石矿物成分,形成了次生矿物;各种组成粘性土的粘土矿物(蒙脱石、伊利石和高岭石等)都属次生矿物。生物风化则系动物和植物的活动对岩石的破坏。这三种风化作用往往是同时或相互交替地进行的。在自然界中,土是从岩体经过长期风化作用而逐渐形成的自然产物。因此,对土的工程性质评价时,必须重视土的形成历史、环境及存在条件对土性的影响。

大部分的土都是岩石风化的产物,通常称为无机土。但在自然界中常有动植物残骸的有机质混入土中,由于有机质易于分解变质,故土中含有过量的有机质时,对土的物理力学性质将产生不利影响。因而在实际工程中,常对所用土料的有机质含量提出一定的限制。

§ 1.2 土的组成

1.2.1 土的三相组成

土是由固相、液相和气相三相组成的松散颗粒集合体。固相部分即为土粒,由矿物颗粒或有机质组成,构成土的骨架。骨架之间有许多孔隙,而孔隙可以被液体或气体或二者共同填充;水及其溶解物为土中的液相;空气及其他一些气体为土中的气相。如果土中的孔隙全部被水所充满时,称为饱和土;如果孔隙全部被气体所充满时,称为干土;如果孔隙中同时存在水和空气时,称为湿土。饱和土和干土都是二相系。湿土为三相系。这些组成部分的相互作用和它们在数量上的比例关系,将决定土的物理力学性质。

1.2.2 土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,它们组成了土的骨架。土的组成成分对土

的物理力学性质起着决定性的作用。研究固体颗粒就要分析粒径的大小及其在土中所占的百分比,称为土的颗粒级配。另外,还要研究固体颗粒的矿物成分及颗粒的形状。而这三者又是密切相关的。

1. 矿物成分

土中的矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是指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,如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其在水中的溶解程度可以分为易溶的、难溶的和不可溶的,次生矿物的水溶性对土的性质有极其重要的影响。粘土矿物的主要代表性矿物为高岭石、伊利石和蒙脱石,由于其亲水性不同,当其含量不同时土就显示出不同的工程性质。

在以物理风化为主的风化过程中,岩石破碎而并不改变其成分,岩石中的原生矿物得以保存下来;但在化学风化的过程中,易风化的矿物如长石、云母等就分解成次生的粘土矿物,石英等难风化的矿物得以保存下来。粘土矿物是很细小的扁平颗粒,表面具有极强的和水相互作用的能力。颗粒愈细,比表面积愈大,这种亲水的能力就愈强,对土的工程性质的影响也愈大。

风化过程中,在微生物作用下,土中产生复杂的腐殖质矿物,此外还会有动、植物残骸等有机物,如泥炭等。有机质颗粒紧紧地吸附在矿物颗粒的表面形成了颗粒之间的连接,但是这种连接的稳定性较差。

从外表上看到的土的颜色,在很大程度上反映了土的固相的不同成分和不同含量。红色、黄色和棕色一般表示土中含有较多的三氧化二铁,并说明氧化程度较高;黑色表示土中含有较多的有机质或锰的化合物;灰蓝色和灰绿色的土一般含有亚铁化合物,是在缺氧条件下形成的;白色或灰白色则表示土中有机质较少,主要含石英或高岭土等粘土矿物。当然,湿度也会影响土的颜色深浅,风干的土颜色较浅,但是一般描述的是土在潮湿状态下的颜色。

2. 土的粒度成分

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,从大于几十厘米的漂石到小于几微米的胶粒。由于土粒的形状往往是不规则的,很难直接测量其大小,只能用间接的方法来测量土粒的大小及各种颗粒的相对含量。常用的方法有两种,对粒径大于 0.075 mm 的粗土粒常用筛分析的方法,而对小于 0.075 mm 的细土粒则用沉降分析的方法。实际工程中常用不同粒径颗粒的相对含量来描述土的颗粒组成情况,这种指标称为颗粒级配。

(1) 土粒粒组划分。

颗粒大小和矿物成分的不同,可以使土具有不同的性质。例如颗粒粗大的卵石、砾石和砂,大多数为浑圆或棱角状的石英颗粒,具有较大的透水性,不具粘性。颗粒细小的粘粒,则是针状或片状的粘土矿物,具有粘性且透水性较低。

为了描述方便,也为了实际工程应用中更加科学和简便,常常把土粒在性质上表现出明显差异的分界粒径作为划分粒组的依据。所谓粒组是指相邻两分界粒径之间性质相近的土粒。可以说粒组之间的分界粒径的确定常有人为划定的性质,划分时应力求使粒组界限与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减。

对粒组的划分,各个国家、甚至某个国家的各个部门有不同的规定。我国习惯采用的粒组划分标准如表 1-2-1 所示。每个粒组具有相近的特性。

表 1-2-1 我国习惯采用的粒组划分标准

粒组名称	粒组范围/(mm)
漂石(块石)粒组	>200
卵石(碎石)粒组	20~200
砾石粒组	2~20
砂粒粒组	0.075~2
粉粒粒组	0.005~0.075
粘粒粒组	<0.005

过去的粒组划分标准中,砂粒与粉粒的划分界限是 0.05mm,这一粒径需要用沉降分析方法(比重计法)测定,试验不太方便,从 20 世纪 70 年代末到 80 年代末这 10 年中,我国的粒组划分标准有了一些变化。《建筑地基基础设计规范》(GBJT—89)和《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)在编制和修订过程中经充分论证,将砂粒粒组与粉粒粒组之间的界限从0.05mm改为 0.075mm。这一粒径和欧美一些国家的 200 号筛是一致的,便于与国际的交流和接轨,同时我国也生产出筛孔直径为 0.075mm 的筛,可以用筛分法测定,比沉降分析方法方便。《土的工程分类标准》(GBJ145—1990)和《土工试验规程》(SL237—1999)在砂粒粒组与粉粒粒组的界限上取与上述规范相同的标准,但将卵石粒组与砾石粒组的界限改为 60mm,其粒组划分标准如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 土粒粒组的划分

粒 组 名 称		粒径范围 /(mm)	一 般 特 征
漂石或块石颗粒		>200	透水性很大,无粘性,无毛细水
卵石或碎石颗粒		200~60	
圆砾或角砾颗粒	粗	60~20	透水性大,无粘性,毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	20~5	
	细	5~2	
砂 粒	粗	2~0.5	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无粘性;遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.075	
粉 粒	粗	0.075~0.01	透水性小;湿时稍有粘性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘 粒		<0.005	透水性很小,湿时有粘性、可塑性;遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢

注:1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形);块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。
2. 粘粒或称粘土粒;粉粒或称粉土粒。
3. 粘粒的粒径上限也有采用 0.002mm 的。
4. 粉粒的粒径上限也有直接以 200 号筛的孔径 0.074mm 为准的。

(2) 颗粒分析试验方法。

实际上土体常常是多种不同粒组的混合物。较笼统地说,以砾石和砂粒为主要成分的土称为粗粒土,也称为无粘性土。以粉粒、粘粒和胶粒为主的土,称为细粒土,也称为粘性土。显然,土的性质取决于各不同粒组的相对含量。为了确定各粒组的相对含量,必须用试验的方法将各粒组区分开来,这种试验方法统称为颗粒分析试验。颗粒分析试验法分为筛分法和沉降分析法(或称为比重计法),粗粒土应采用筛分法,而细粒土则应当用沉降分析法。粗粒土和细粒土的分界粒径为 0.075mm。

① 筛分法。

筛分法适用于粒径大于 0.075mm 的土。该方法是用一套不同孔径的标准筛,从上到下,筛孔逐渐减小,将事先称过重量的干土样过筛,称出留存在各筛子上的土粒的重量,然后标出这些土粒重量占总重量的百分数。

筛分法和建筑材料的粒径级配筛分试验是一样的。但很细的粒组却无法用筛分法分离出来,这是因为很细的土粒互相联结在一起的缘故。按我国原有的标准,最小孔径的筛是 0.1mm,但是新的筛孔标准已改为 0.075mm(即现行的粗、细粒土的分界粒径),这相当于美国 ASTM 标准的 200 号筛(即在 1 平方英寸面积上有 200 个孔)。这是在国际上比较通用的标准,因此我国也采用了这一标准。在采用最小孔径的筛作筛分试验时应采用水筛的方法,用水冲方法把联结在一起的细颗粒分开,才能正确地测定细颗粒的含量。

② 比重计法。

比重计法是将少量细粒土放入水中,大小不同的土粒在水中下沉的速度各不相同,大粒下沉快而小粒下沉慢,根据土粒在水和土粒混合悬液中沉降的速度与粒径的平方成正比的关系来确定各粒组相对含量。

设有一个球形颗粒在无限大的、不可压缩的粘滞性液体中,在重力作用下产生沉降,其沉降速度可以用司托克斯(Stokes)公式计算

$$v = \frac{2}{g} \cdot r^2 \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\eta} \quad (1-2-1)$$

式中: v ——球形颗粒在液体中的稳定沉降速度, cm/s;

g ——重力加速度, cm/s²;

r ——球形颗粒的半径, cm;

ρ_s 、 ρ_w ——分别为颗粒和液体的密度, g/cm³;

η ——液体粘滞度, Pa。

实际上,土粒并不是球形颗粒,因此公式(1-2-1)计算中所用的并不是实际的土粒的尺寸,而是与实际土粒有相同沉降速度的理想球体等效直径,称为水力直径。

在进行土粒粒度分析时,把一定质量的干土加水制成一定体积的悬液,搅拌均匀后静置,悬液中不同粒径的颗粒以不同速度下沉,在不同的深度处悬液的密度就不同。经过时间 t ,在深度 L 处,最大的粒径为 d ,则三者的关系式为

$$d = \sqrt{\frac{18\eta \cdot L}{(\rho_s - \rho_w) \cdot t}} \quad (1-2-2)$$

公式(1-2-2)表明,粒径为 d 的土粒经历时间 t 正好从悬液表面沉到深度 L 处。由于假定土粒在悬液中匀速下沉,因此在深度 L 范围内已经没有粒径大于 d 的土粒了,或者说粒

径大于 d 的土粒已经沉到 L 深度以下了。在深度 L 附近一个小范围内粒径等于及小于 d 的土粒分布密度与开始时均匀悬液中粒径等于及小于 d 的土粒分布密度是一样的。这个密度可以表达为

$$\rho = \frac{1}{1000} \left[M_s + \left(1000 - \frac{M_s}{\rho_s} \right) \rho_w \right] \quad (1-2-3)$$

式中: ρ ——深度 L 处的悬液密度, g/cm^3 ;

M_s ——土样中粒径等于及小于 d 的土粒质量, g ;

其余符号意义同前。

只要能测得深度 L 处的悬液密度 ρ , 便可以按式(1-2-3)求得 M_s , 并可以按下式计算土样中粒径等于及小于 d 的土粒质量占总质量的百分比

$$x = \frac{M_s}{M} \times 100\% \quad (1-2-4)$$

式中: M ——土总重量, g 。

(3) 土的颗粒级配。

土中各种粒组的相对含量, 用土粒总重的百分比表示, 称为土的颗粒级配。颗粒级配的表达式可以用三种方式, 即表格法、曲线法、三角法。下面简要介绍表格法和曲线法。

① 颗粒级配表格法。

表格法是以列表的形式直接表达各个粒组的相对含量的方法。该方法用于粒度成分的分类十分方便, 如表 1-2-3 所示就给出了 3 种土样的颗粒级配, 根据第 2 章的方法可以进行土的分类和定名。

表 1-2-3

颗粒级配的表格法

粒径/(mm)	土样 A		土样 B		土样 C	
	粒组含量/(%)	累计含量/(%)	粒组含量/(%)	累计含量/(%)	粒组含量/(%)	累计含量/(%)
10~5	0		0		29	100
5~2	0		0		14	71
2~0.5	0		12	100	7	57
0.5~0.25	8	100	13	88	20	50
0.25~0.075	88	92	27	75	30	30
0.075~0.005	4	4	44	48	0	0
<0.005	0	0	4	4	0	0
d_{60}	0.165		0.115		3.00	
d_{10}	0.11		0.012		0.15	
d_{30}	0.15		0.044		0.25	
C_u	1.5		9.6		20.0	
C_c	1.24		1.40		0.14	

② 颗粒级配曲线法。

用表格法可以表达土的颗粒级配, 但不够直观, 为了更好地表达土粒的级配, 我们采用

图示的方法。通常用半对数纸绘制,横坐标(按对数比例尺)表示土的粒径,纵坐标表示小于某一粒径的土粒质量累计百分含量,采用这种横坐标可以把粒径相差数千倍的粗、细粒含量都表示出来,尤其能把占总重量小,但对土的性质可能有重要影响的微小土粒部分清楚地表达出来。土的颗粒级配曲线是土工工程中最常用的曲线,从这种曲线上可以直接了解土粒的粗细、粒径分布的均匀程度和级配的优劣。

表 1-2-3 中的三种土的颗粒级配曲线示于图 1-2-1 中,三种土的粒度成分不同,粒径曲线的形态不同。为了定量地描述颗粒级配曲线,需要引入能反映曲线特征的指标。

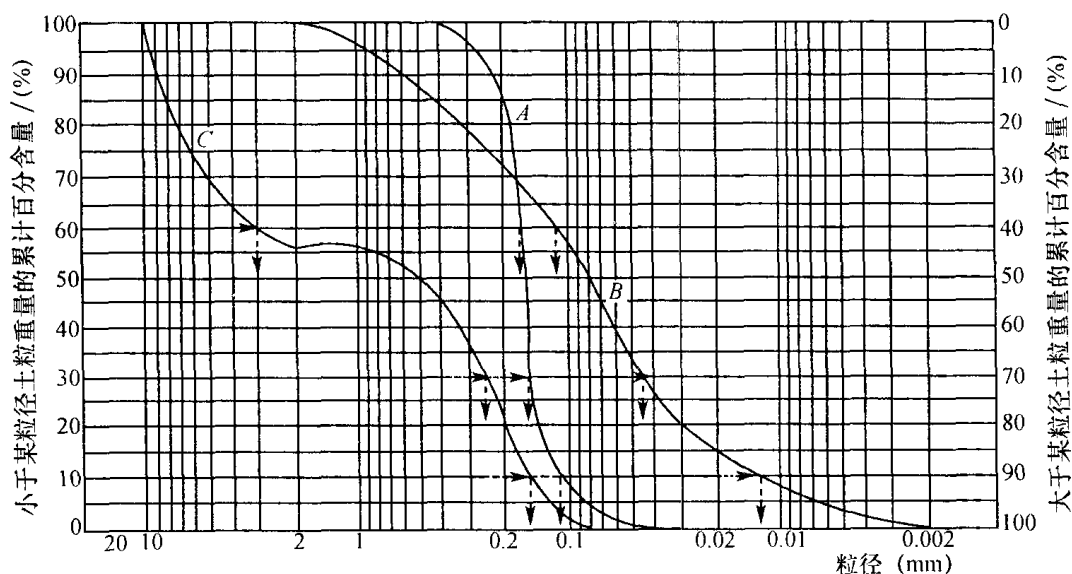


图 1-2-1 土的颗粒级配曲线

图 1-2-1 中曲线 A 及曲线 B 所代表的两种土的颗粒大小分布都是连续的,曲线坡度是渐变的,这样的级配称为连续级配或正常级配。曲线 C 所代表的土则缺乏某些粒径的土粒,曲线出现水平段,这样的级配不连续。与曲线 A 相比较,曲线 B 形状平缓,土粒大小分布范围广。表示土粒大小不均匀,因而各级粒组均有,级配良好。曲线 A 形状较陡,土粒大小分布范围窄,表示土粒均匀,级配不良。这样,在颗粒级配曲线上,可以确定两个描述土的级配的指标:不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-2-5)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} \quad (1-2-6)$$

式中: d_{60} , d_{10} , d_{30} ——分别为颗粒级配曲线纵坐标上小于某粒径的累计含量为 60%、10%、30% 时所对应的粒径; d_{10} 称为有效粒径; d_{60} 称为控制粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况。 C_u 越大表示土粒大小的分布范围越广,其级配越良好,作为填方工程的土料时,则比较容易获得较大的密实度。曲率系数 C_c 描述的是颗粒级配曲线的分布范围,反映曲线的整体形状。

在一般情况下,实际工程中把 $C_u < 5$ 的土看做是匀粒土,属级配不良; $C_u > 10$ 的土,属