



人民交通出版社“十二五”
高职高专土建类专业规划教材

土力学及地基基础

主 编 王雪浪
副主编 李 斌 周美川



人民交通出版社
China Communications Press



人民交通出版社“十二五”
高职高专土建类专业规划教材

土力学及地基基础

主 编 王雪浪
副主编 李 斌 周美川



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等相关国家新规范、新标准编写的,简要介绍土的物理性质及工程分类、地基应力计算、土的压缩性和地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与支挡结构、基坑工程、岩土工程勘察、天然地基上浅基础设计、桩基础、软弱地基处理、区域性地基等内容。本书概念清楚、层次分明、内容覆盖面广、重点突出、实用性强。

本书适宜作为高等职业技术院校、高等专科院校应用型土木工程专业、建筑工程专业及相近专业的教材,也可作为大中专学校相关专业的教学参考书,也可供从事土木工程设计、施工、监理等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学及地基基础 / 王雪浪主编. — 北京: 人民交通出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-114-11353-6

I. ①土… II. ①王… III. ①土力学②地基—基础(工程) IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 068231 号

书 名: 土力学及地基基础

著 者: 王雪浪

责任编辑: 温鹏飞

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.5

字 数: 412 千

版 次: 2014 年 4 月 第 1 版

印 次: 2014 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11353-6

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

高职高专土建类专业规划教材编审委员会

主任委员

吴 泽(四川建筑职业技术学院)

副主任委员

赵 研(黑龙江建筑职业技术学院) 危道军(湖北城市建设职业技术学院) 袁建新(四川建筑职业技术学院)
王世新(山西建筑职业技术学院) 申培轩(济南工程职业技术学院) 王 强(北京工业职业技术学院)
许 元(浙江广厦建设职业技术学院) 韩 敏(人民交通出版社)

土建施工类分专业委员会主任委员

赵 研(黑龙江建筑职业技术学院)

工程管理类分专业委员会主任委员

袁建新(四川建筑职业技术学院)

委员 (以姓氏笔画为序)

丁春静(辽宁建筑职业学院)	马守才(兰州工业学院)	毛燕红(九州职业技术学院)
王 安(山东水利职业学院)	王延该(湖北城市建设职业技术学院)	王社欣(江西工业工程职业技术学院)
邓宗国(湖南城建职业技术学院)	田恒久(山西建筑职业技术学院)	边亚东(中原工学院)
刘志宏(江西城市学院)	刘良军(石家庄铁道职业技术学院)	刘晓敏(黄冈职业技术学院)
吕宏德(广州城市职业学院)	朱玉春(河北建材职业技术学院)	张学钢(陕西铁路工程职业技术学院)
李中秋(河北交通职业技术学院)	李春亭(北京农业职业学院)	杨大生(山西建筑职业技术学院)
肖伦斌(绵阳职业技术学院)	邹德奎(哈尔滨铁道职业技术学院)	陈年和(江苏建筑职业技术学院)
侯洪涛(济南工程职业技术学院)	钟汉华(湖北水利水电职业技术学院)	涂群岚(江西建设职业技术学院)
郭起剑(江苏建筑职业技术学院)	郭朝英(甘肃工业职业技术学院)	温风军(济南工程职业技术学院)
蒋晓燕(浙江广厦建设职业技术学院)	韩家宝(哈尔滨职业技术学院)	蔡 东(广东建设职业技术学院)
谭 平(北京京北职业技术学院)		

顾问

杨嗣信(北京双圆工程咨询监理有限公司) 尹敏达(中国建筑金属结构协会)
杨军霞(北京城建集团) 李永涛(北京广联达软件股份有限公司)

秘书处

邵 江(人民交通出版社) 温鹏飞(人民交通出版社)



高职高专土建类专业规划教材出版说明

近年来我国职业教育蓬勃发展,教育教学改革不断深化,国家对职业教育的重视达到前所未有的高度。为了贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》的精神,提高我国土建领域的职业教育水平,培养出适应新时期职业要求的高素质人才,人民交通出版社深入调研,周密组织,在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的热情鼓励和悉心指导下,发起并组织了全国四十余所院校一大批骨干教师,编写出版本系列教材。

本套教材以《高等职业教育土建类专业教育标准和培养方案》为纲,结合专业建设、课程建设和教育教学改革成果,在广泛调查和研讨的基础上进行规划和展开编写工作,重点突出企业参与和实践能力、职业技能的培养,推进教材立体化开发,鼓励教材创新,教材组委会、编审委员会、编写与审稿人员全力以赴,为打造特色鲜明的优质教材做出了不懈努力,希望以此能够推动高职土建类专业的教材建设。

本系列教材先期推出建筑工程技术、工程监理和工程造价三个土建类专业共计四十余种主辅教材,随后在2~3年内全面推出土建大类中7类方向的全部专业教材,最终出版一套体系完整、特色鲜明的优秀高职高专土建类专业教材。

本系列教材适用于高职高专院校、成人高校及二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的土建类各专业使用,也可作为相关从业人员的培训教材。

人民交通出版社

2011年7月



前 言

QIANYAN

土力学及地基基础是土建类相关专业必修的专业课之一,是一门具有很强理论性和实践性的学科,是土建工程技术人员必须具有知识体系中的重要内容。

随着我国社会主义建设事业的快速发展,将会对土力学及基础工程提出更多新的挑战。为了解决这些问题,则要求高等院校培养出大量的技术应用型人才。然而与此相适应的教育配套教材较少。因此,依据全国高等职业院校土建类专业教学目标、人才培养方案和本课程教学大纲的要求,特编写本书。

本书是作者根据多年积累的教学实践经验,以及理论与工程实际的联系,突出针对性、实用性、实践性,促使学生能够更好地掌握所学知识,体现了高等职业教育的特点。本书每章开头都设有内容提要,以便学生了解学习目标重点。结尾设有小知识模块,本章小结,思考题和综合练习题,以便学生掌握和应用所学知识,有利于学生轻松快速地巩固所学的知识内容。

全书内容共分为十一章(不包括绪论),由甘肃职业技术学院王雪浪副教授担任主编,李斌、周美川担任副主编。其中绪论、第六章、第八章、第九章、第十章、第十一章由王雪浪编写;第一章、第二章、第七章由周美川编写;第三章、第四章、第五章由李斌编写;全书由王雪浪副教授统稿。

本书在编写过程中参考和引用了一些专家、学者在教学、科研、施工中的书籍文献和资料,谨向各位专家、学者表示感谢。

限于编者水平和时间的仓促,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者及时指正,以便修改。

编 者

2014年2月

目 录

MULU

绪论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	6
第一节 土的成因及组成	6
第二节 土的结构与构造	10
第三节 土的物理性质指标	11
第四节 土的物理状态指标	16
第五节 地基土的工程分类	20
第二章 地基应力计算	26
第一节 概述	26
第二节 自重应力的计算	27
第三节 基底压力的计算	30
第四节 地基附加压力的计算	33
第三章 土的压缩性和地基变形计算	53
第一节 土的压缩性	53
第二节 土的固结理论	57
第三节 地基变形计算	59
第四节 建筑物沉降观测与地基变形允许值	71
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	78
第一节 概述	78
第二节 土的抗剪强度	79
第三节 土的极限平衡条件	80
第四节 抗剪强度的测定方法	85
第五节 地基承载力	90
第五章 土压力与支挡结构	99
第一节 概述	99
第二节 土压力类型及影响因素	100
第三节 静止土压力计算	101
第四节 朗肯土压力理论	102
第五节 库伦土压力理论	109
第六节 挡土墙	115
第七节 边坡稳定性评价与分析	121
第六章 基坑工程	128
第一节 基坑工程简介	128

第二节	支护结构的类型	129
第三节	基坑开挖与支护	133
第七章	岩土工程勘察	137
第一节	岩土工程勘察简介	137
第二节	岩土工程勘察报告及其应用	144
第八章	天然地基上浅基础设计	147
第一节	概述	147
第二节	浅基础类型	151
第三节	基础埋置深度的确定	152
第四节	基础底面尺寸的确定	158
第五节	无筋扩展基础设计	164
第六节	扩展基础设计	168
第七节	梁板式基础简介	179
第八节	减少基础不均匀沉降的措施	186
第九章	桩基础	193
第一节	概述	193
第二节	桩基础构造与规定	198
第三节	桩基础的设计	203
第四节	桩基础设计实例	214
第十章	软弱地基处理	223
第一节	概述	223
第二节	换填法	225
第三节	压实法	229
第四节	强夯法	232
第五节	排水固结法	235
第六节	振冲法和挤密法	238
第七节	化学加固法	243
第十一章	区域性地基	248
第一节	概述	248
第二节	湿陷性黄土地基	249
第三节	膨胀土地基	253
第四节	红黏土地基	257
第五节	冻土地基	258
第六节	地震区地基	260
	综合练习题答案	266
	参考文献	268

绪 论

土力学及地基基础是土建类相关专业必修的专业课之一,是一门具有很强理论性和实践性的学科。是高职高专院校土建类专业学生以及从事工程设计、生产第一线的技术、质量管理和工程监理等岗位所必备的知识。通过本课程的学习应了解地基土的物理性质和工程性质;掌握地基土的应力、变形计算和地基承载力验算;掌握土压力计算和挡土结构设计基本知识。能阅读和使用工程地质勘察资料,进行一般房屋基础设计;并具有识读和绘制一般房屋基础施工图的能力;具有应用本专业基本知识分析和处理基础工程中一般问题的能力。

在绪论中主要介绍土力学与地基基础的基本概念及其研究的内容,列举了一些国内外典型的倒塌工程案例说明地基与基础的重要性。通过绪论的学习使学者对全书主要内容有初步了解,明确地基与基础、持力层与下卧层等基本概念。结合倒塌工程案例,对地基基础的作用和重要性、本课程的任务与特点有正确认识,从而更加重视土力学及地基基础课程在本专业中的地位。

基础工程属于地下隐蔽工程,它的勘察、设计、施工质量直接影响建筑物的安全和正常使用。加之各地的工程地质条件截然不同,因此,要因地制宜地合理选择地基基础设计与施工方案,特别是在处理地基基础问题时,要考虑岩土工程的区域性。针对建筑场地的工程地质条件及周围环境,正确、灵活地运用本课程的基本知识,对具体情况进行具体分析,寻求经济合理的解决方案,切忌生搬硬套。

一 土力学及地基基础的概念

土是地壳表面岩石在长期地质应力作用下风化的产物,是由固相(土粒)、液相(水)和气相(空气)组成的三相体系。由于土形成的自然条件和沉积环境不同,使得土的种类繁多,性质各不相同。土具有一定的散粒性,土粒之间的联结强度很弱,远低于颗粒本身的强度。同时,土还具有压缩性、渗透性和明显的区域性等。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术研究土各种性能的一门科学。土力学需解决工程中的三大问题:①土体强度问题,研究土体的强度和应力;②土体变形问题,建筑物的荷载通过基础传到地基上,使地基中的各点产生竖向变形和侧向变形,地基表面的竖向变形,称为基础沉降;③水的渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决这些问题则需要研究土的各种性能,主要包括土的物理特性、应力与变形、土的压缩性、抗剪强度、土压力及边坡稳定性等。由

于土的工程性质复杂,因此,要解决基础工程中的实际问题,不仅需要本课程及相关学科的基本知识和技术,还要依赖于娴熟的现场实践经验和试验测试技术。

地基基础是实用性很强的一门学科。所有建筑物都要建造在地层上,建筑物荷载都是通过基础向地基土中传播扩散。因此,当地层承受建筑物荷载后,使地层在一定范围内改变原有的应力状态,产生附加应力和变形。我们将承受建筑物荷载并受其影响的部分地层称为地基。并将直接与基础底面接触的土层称为持力层,在地基范围内持力层以下的土层统称为下卧层,如图 0-1 所示。

一般建筑物由两部分组成:地面以上的结构称为建筑物的上部结构;地面以下的部分结构称为建筑物的下部结构。工程中通常将建筑物的下部结构称为基础,它位于建筑物上部结构与地基之间。基础的作用是承受建筑物荷载将其荷载合理地传给地基。

基础都有一定的埋置深度,如图 0-1 所示。图中 d 表示基础底面至设计地面的竖向距离,称为基础埋置深度。基础根据埋置深度不同,可分为两类:一般将埋置深度 $d \leq 5\text{m}$ 且采用一般

方法与设备施工的基础,称为浅基础,如条形基础、独立基础、筏板基础等;如果基础埋置深度 $d > 5\text{m}$ 并需用特殊的施工方法和机械设备建造的基础,称为深基础,如桩基础、墩基础、沉井和地下连续墙基础等。

为了保证建筑物的安全和正常使用,地基应满足两项基本要求:

(1) 承载力要求:即作用在基础底面的压力不得超过地基承载力特征值,以保证地基不至于因承载力不足而失去稳定破坏;

(2) 变形要求:即地基的变形(地基沉降量)不得超过

建筑物的允许变形值,以保证建筑物不因地基变形过大而产生开裂、损坏而影响正常使用。

此外,要求基础结构本身应具有足够的强度和刚度,在地基反力作用下不会发生强度破坏,并且对地基变形具有一定的调整能力。

良好的地基应该具有较高的承载力及较低的压缩性。如果地基土软弱,工程性质较差,而且建筑物荷载较大,地基承载力和变形都不能满足上述两项要求时,需对地基进行人工加固处理后才能作为建筑地基,称为人工地基。而未经过加固处理,直接建筑基础的地基,称为天然地基。由于人工地基施工时间长、造价高,基础工程的费用一般约占建筑总费用的 10% ~ 30%,因此,建筑物应尽量采用天然地基,以减少基础工程造价。

一 地基与基础的重要性

基础是建筑物的重要组成部分,基础工程属于隐蔽工程。若地基基础设计和施工不当,将影响建筑物的安全和正常使用。轻则上部结构开裂、倾斜;重则建筑物倒塌。而且进行补强修复、加固处理极其困难。实践证明,许多建筑事故都与地基基础有关系。下面列举一些国内外典型的因地基基础破坏而引起建筑物倾斜或倒塌的案例。

【案例一】 加拿大特朗斯康谷仓,因地基承载力不足而发生严重的整体倾斜。谷仓建筑

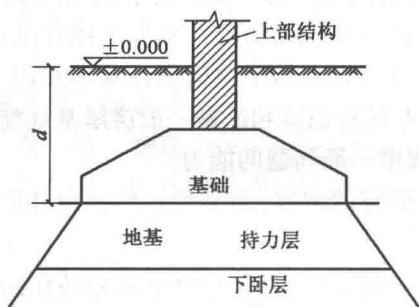


图 0-1 地基与基础示意图

面积 $59.4 \times 23\text{m}^2$, 高 31m , 自重 $2 \times 10^5\text{kN}$, 谷仓由 65 个钢筋混凝土圆形筒仓组成, 基础采用 2m 厚筏形基础、埋置深度 3.6m 。首次装载后 1h 谷仓下沉达 30.5cm , 装载 24h 后倾倒, 西端下沉 8.8m , 东端抬高 1.5m , 整体倾斜 $26^\circ 05' 3''$, 如图 0-2 所示。事故发生后经勘察发现, 地表 3m 以下埋藏约 15m 厚的高塑性淤泥质软黏土, 加载后谷仓基底压力达 330kPa , 而实际地基极限承载力为 277kPa 。显然事故的原因, 是由于地基软弱下卧层承载力不足而造成整体失稳倾倒, 地基强度虽破坏但钢筋混凝土筒体却安然无恙。后用 388 个 50t 千斤顶、70 多个混凝土墩支承在 16m 深的基岩上, 纠正修复后继续使用, 但谷仓的位置较原来下降了 4m , 如图 0-2 右下方示意图所示。



图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓倾斜

【案例二】 意大利比萨斜塔, 如图 0-3 所示是比萨大教堂的一座钟楼, 于 1173 年动工至 1370 年竣工, 前后经历了三个时期近 200 年, 这期间停工了两次。全塔共八层, 总高 55m 。斜塔由大理石砌筑, 总荷重 145MN , 塔基平均压力约为 500kPa ; 地基持力层为粉砂, 下面为黏土层。由于地基的不均匀下沉使塔身向南倾斜, 南北两端沉降差为 1.8m , 塔顶偏离中心线已达 5.27m 、倾斜 5.5° , 成为危险建筑。



图 0-3 意大利比萨斜塔

【案例三】 如图 0-4 所示的上海展览中心 (Shanghai Exhibition Center) 亦称为上海展览馆, 位于上海市中心静安区延安西路 1000 号。基础为高压缩性淤泥质软土, 中央大厅为框架结构, 箱型基础; 两翼为框架结构条形基础。箱形基础两层 7.27m , 箱型顶面至中央大厅塔尖总高为 96.63m 。展览馆 1954 年 5 月开工, 到当年年底实测地基平均沉降量就已达到 60cm , 1955 年完工。到

1957 年 6 月, 中央大厅四周的沉降量最大达到 146.55cm , 最小为 122.8cm 。1979 年 9 月中央大厅累计平均沉降量 160cm 。沉降也趋向稳定, 适用良好, 但是由于地基严重下沉, 使散水倒坡, 管道断裂, 付出了相当大的代价。

【案例四】 地基除满足承载力要求外, 还要求地基不能发生过大的变形。如图 0-5 所示为墨西哥城的一幢建筑, 可清晰地看见因地基的不均匀沉降而引起上部结构产生较明显的挠



曲变形。墨西哥城因四面环山,古代是大湖泊,由火山灰沉积而成。该地基为深厚的湖相沉积层,其天然含水量极高,并具有极高的压缩性。

【案例五】 广东省海康大旅店,坐落在湛江市通往海南岛的公路旁,是当地一座层数(前

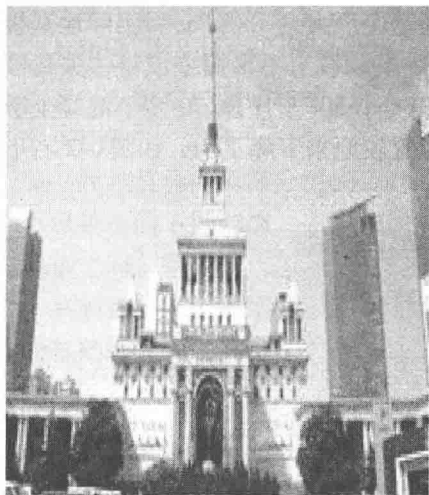


图 0-4 上海展览中心

七层后六层)最高、建筑标准最好的一栋大楼。建筑面积 4190m²,总高度 24.4m。1980 年 5 月正式开工,1981 年 8 月七层主体结构完工。1981 年 6 月 28 日已发现地梁开裂,并测得有不均匀沉降,53 根柱子基础最大沉降量为 10.5cm;同年 11 月 25 日测得最大沉降量 41cm,倾斜 33cm。同年 12 月 30 日县建委主持全面检查,发现一至六层楼部分梁、柱、墙出现裂缝 31 处之多,最大裂缝宽度达 0.3cm,最长的裂缝长 480cm。1982 年 1 月 31 日测定最大沉降量达 44cm。大楼于 1982 年 5 月 3 日下午 6 时 30 分,在无风无雨情况下突然全部倒塌,一塌到底,伤亡 7 人,直接经济损失六十多万元,是我国建筑史上罕见的倒塌事故。倒塌原因多方面,地基不均匀沉降、结构计算有误、工程质量失控、施工管理松弛等。

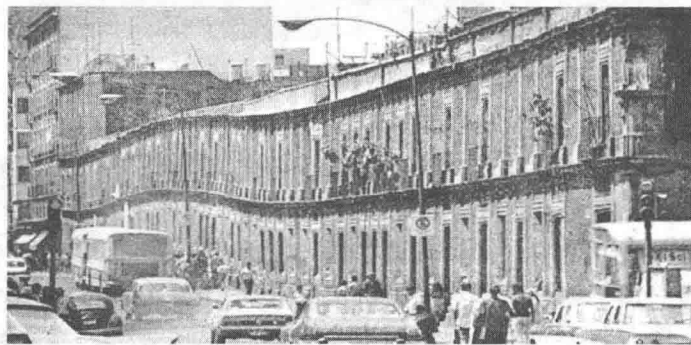


图 0-5 墨西哥城一幢建筑的不均匀沉降

【案例六】 南美洲巴西十一层框架结构大楼,建筑面积为 $29 \times 12\text{m}^2$,支承在 99 根 21m 长的钢筋混凝土桩上。施工中发现明显沉降但没有引起重视,当发现沉降速度快再采取加固措施为时已晚,竣工后约 20min 后大楼彻底倒塌。事故后经调查:地基中有 16m 厚的软土,周围建筑物也采用桩基,但桩长 26m,显然是由于桩长不够,未打入较好土层而悬浮在软土中,最终也是因软土承载力不足而导致大楼倾倒。

以上工程事故案例,足以说明地基基础的重要性。建筑物倒塌多数是与地基基础有关,不仅要因地制宜合理地进行地基基础勘察、设计、施工,还要严格遵守建设法规、行业规范和标准,以免发生工程事故。

【案例七】 如图 0-6 所示,1972 年 6 月 16~18 日,暴雨倾盆,18 日 13:10,香港东九龙秀茂坪一近 40m 高的逐层碾压风化花岗岩填土边坡迅速下滑淹没了位于坡脚下的安置区,造成 71 人死亡,60 人受伤;同日下午 9:00,港岛宝珊道上方一陡峭斜坡破坏,摧毁了一栋 4 层楼房和一朵 15 层综合楼,致使 67 人丧生。在这次暴雨中,由于滑坡泥石流灾害造成的伤亡总数达

250 人,成为香港历史上滑坡泥石流灾害最惨痛的一页。



图 0-6 香港东九龙秀茂坪山体滑坡

以上工程事故案例,足以说明地基基础的重要性。建筑物倒塌多数是与地基基础有关,不仅要因地制宜合理地进行地基基础勘察、设计、施工,还要严格遵守建设法规、行业规范和标准,以免发生工程事故。

三 本课程的内容和特点

《土力学及地基基础》全书共分十一章(未包括绪论),第一章是土力学基础知识,主要介绍土的物理性质、物理特征及土的工程分类。第二章~第四章是土力学基本理论部分,主要介绍土的力学及工程性质,要求掌握土中应力计算和分布;掌握土的压缩性、抗剪强度指标的测试方法及地基沉降量、地基强度计算。第五章土压力与支挡结构,主要掌握主动土压力与挡土墙设计要点以及支护结构的类型。第六章~第十一章是基础工程部分,主要介绍建筑基坑工程和场地的工程地质勘察和报告的阅读与使用;天然地基浅基础、桩基础设计与计算;地基处理方法和区域性地基等方面的知识。

由于本课程内容具有较强的理论性和实践性,因此,要求在学习的过程中,应注意本课程与其他课程的联系,如与高等数学、建筑力学、建筑制图与构造、建筑结构、建筑材料、建筑施工技术、工程地质等相关知识有密切关系。本课学习过程中应注重理论与试验相结合、理论与工程实践相结合,以提高分析问题与解决问题的能力。

本课程内容面向土木工程专业学生和设计人员以及生产第一线的技术、质量管理、工程监理、项目管理者等。



第一章

土的物理性质及工程分类

【内容提要】

本章主要讲解了土的成因及组成;土的结构与构造;土的物理性质指标;土的物理状态指标和地基土的工程分类。

通过本章的学习,要求学生能够掌握土的成因和三相组成;掌握土的物理性质指标的基本概念、各项指标之间的换算关系、计算方法及其实际应用;熟悉土的物理性理状态指标的应用;掌握土的含水量、塑限、液限;了解岩土的工程分类依据及其方法,能够准确分类、定名。这些知识是学习土力学基本原理、评价土的工程性质、分析和解决土的工程技术问题的基础,也是为国家有关注册工程师考试、职业资格证书考试提供必需的基础知识。

第一节 土的成因及组成

一 土的成因

土是地壳表层岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积等过程形成的各种松散沉积物。不同的风化作用形成不同性质的土。其风化作用有下列三种:

(一) 物理风化

岩石经受自然条件(风、霜、雪、雨的侵蚀,温度、湿度的变化),发生不均匀膨胀与收缩,逐渐破碎崩解为大小不一碎块,这种风化作用仅改变颗粒的大小与形状,不改变原来的矿物成分,称为物理风化。由物理风化生成的土颗粒较大,为粗粒土,如块碎石、砾石和砂土等,总称为无黏性土。

(二) 化学风化

岩石的碎屑与空气、水和各种水溶液相接触,发生化学作用,改变了原来的矿物成分,形成新的矿物——次生矿物,称为化学风化。经化学风化生成的土为细粒土,具有黏结力,如黏土与粉质黏土,总称为黏性土。

(三) 生物风化

动物、植物和人类活动对岩体的破坏称生物风化。如长在岩石缝隙中的树根伸展使岩石缝隙扩展开裂,人类开采矿山、修铁路、打隧道等活动形成的土,其矿物成分没有变化。

二 土的组成

土是由固体矿物颗粒、水和气体,即由固相、液相和气相三部分组成的三相体系,如图 1-1 所示。

土的三相组成之间的比例关系并不是固定不变的,而是随着环境的改变而相应变化。一般情况下,孔隙中充填着水和空气,为湿土;当孔隙中全部被水充满时(气体=0),为饱和土;当孔隙中只有空气时(液体=0),为干土。饱和土和干土均属二相体系。

由此可见,土的三相比例不同,其状态和性质也不同。要研究土的各项工程性质,首先要从最基本的、组成土的三相开始研究。

(一) 土中固相

土的固相(固体矿物颗粒和有机质)构成了土的骨架,是土的三相组成中的主体,是决定土的工程性质的主要因素。

1. 粒组的划分

自然界中土一般都是由大小不等的土颗粒混合组成的,通常将颗粒直径称为粒径,单位为 mm。土的粒径大小不同,工程性质也不同。当土的粒径从大到小变化时,其可塑性从无到有,黏性从无到有,透水性由强变弱。如黏性土与碎石土相比,颗粒的大小相差悬殊,其物理性质和特征截然不同。为便于研究,根据《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)将不同粒径的土粒,按某一粒径范围(物理性质及特征接近)划分为若干粒组,见表 1-1。粒组与粒组之间的分界粒径称为界限粒径。

土粒粒组的划分 (GB/T 50145—2007)

表 1-1

粒组名称	粒径范围(mm)	一般特征
漂石(块石)粒	$d > 200$	透水性很大,无黏性,无毛细水
卵石(碎石)粒	$60 < d \leq 200$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
圆砾(角砾)	$2 < d \leq 60$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
砂粒	$0.075 < d \leq 2$	易透水,当混入云母等杂物时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,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
粉粒	$0.005 < d \leq 0.075$	透水性小;湿时稍有黏性,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
黏粒	$d \leq 0.005$	透水性很小;湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,且速度较慢

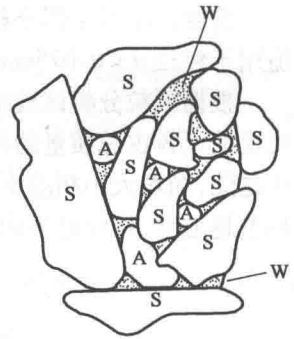
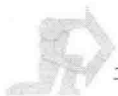


图 1-1 土的组成示意图

S-固相;W-液相;A-气相



2. 土的颗粒级配

土的颗粒级配是根据土中各个粒组的相对含量(即各粒组占土粒总质量的百分数)来确定。土中各个粒组的相对含量可通过颗粒分析试验测定。颗粒分析的方法有筛分法和密度计法。

筛分法是将代表性土样倒入标准筛中(筛孔直径与土中各粒组界限值相等,由上而下筛孔逐渐减小放置),经过筛分机振动过筛后,称出留在各筛盘上的土粒质量,即可求得各粒组的相对含量。此法适用于粒径在 0.075 ~ 60mm 的土。目前我国采用的标准筛的最小孔径为 0.075mm。

密度计法是根据土粒粒径不同,在水中沉降的速度不同的特性,把土颗粒进行分组。此法适用于粒径 $d < 0.075\text{mm}$ 的土。

根据颗粒分析试验结果绘制出土的颗粒级配曲线,如图 1-2 所示,图中纵坐标表示小于某粒径的土粒占总质量的百分数;横坐标表示土粒粒径,用对数尺度表示。从图中可以看出:曲线越陡,颗粒大小相差不大,颗粒较均匀,土的级配不良;曲线越缓,粒径分布的范围越广,粒径相差越悬殊,颗粒越不均匀,较大颗粒间的孔隙被较小的颗粒所填充,土粒级配良好。

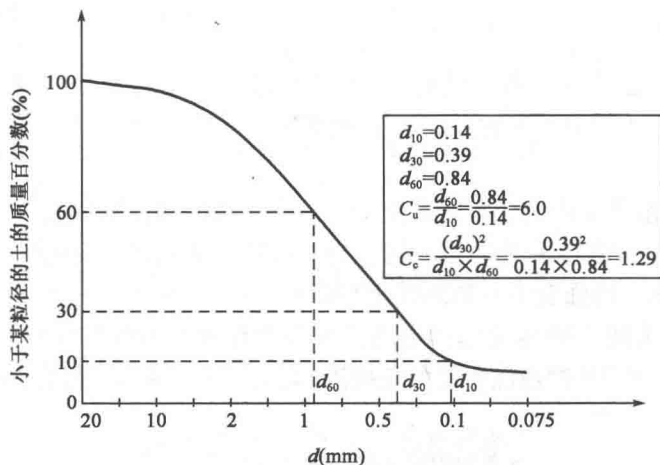


图 1-2 颗粒级配曲线示例

工程上常用两个指标来定量描述土的级配特征:

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

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

式中: d_{60} ——限定粒径,小于某粒径的土粒质量占总质量的 60% 时相应的粒径;

d_{30} ——小于某粒径的土粒质量占总质量的 30% 时相应的粒径;

d_{10} ——有效粒径,小于某粒径的土粒质量占总质量的 10% 时相应的粒径。

不均匀系数反映颗粒级配的不均匀程度。 C_u 值越大,曲线越平缓,土粒分布范围越大,土粒愈不均匀,土的级配良好。 C_u 值越小,曲线越陡,土粒愈均匀,土的级配不良。工程实际中,

一般将 $C_u < 5$ 的土视为级配不良的均粒土,而 $C_u > 10$ 的土称为级配良好的非均粒土。

曲率系数 C_c 反映级配曲线的整体形状。级配曲线斜率很大,即急倾斜状,表明某一粒组含量过于集中,其他粒组含量相对较少。对砾石和砂土,当 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 时级配良好;级配不能同时满足 C_u 与 C_c 两个要求,则为级配不良。

3. 土粒的矿物成分

土的固相是由各种矿物颗粒或矿物集合体组成的,不同矿物成分的性质是有差别的,因此由不同矿物组成的土粒的性质也是不同的。土粒的矿物成分可分为原生矿物和次生矿物两大类:原生矿物是由岩石经物理风化而成的矿物碎屑,其成分与母岩相同。如石英、长石、云母等;次生矿物是原生矿物经化学风化,使其进一步分解,改变等了原来的化学成分而形成的一些颗粒更细小的新矿物。如蒙脱石、伊利石和高岭石三种。

黏粒组除了上述矿物外,还有少量有机质,也称腐殖质,是动植物分解后的残骸。如果土中有机质含量多,将使土的压缩性增大。对有机质含量超过 3% ~ 5% 的土应予注明,不宜作为填筑材料。

(二) 土的液相

土中液相主要是水(溶解有少量的可溶盐类)。其含量对土的性质影响很大。液态水可分为结合水和自由水。

(1) 结合水是受土粒表面电场吸引而吸附于土粒表面的水,分为强结合水和弱结合水。

①强结合水:由于黏土颗粒表面的电场吸引,使水分子紧靠在土粒表面。这种强结合水的性质接近固体,不传递静水压力,略高于 100℃ 时才蒸发,具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。当黏土只含有强结合水时呈坚硬状态。

②弱结合水:存在于强结合水外侧,也受电场的吸引,但电场的作用力随着与土粒距离增大而减弱。弱结合水也不传递静水压力,呈黏滞状态,此部分水对黏性土的影响很大,是黏性土在一定含水量范围内具有可塑性的原因。

(2) 自由水是在土粒表面电场范围以外的水,不受电场的吸引。其性质与普通水一样,能传递静水压力,有重力水和毛细水两种。

①重力水:位于地下水位以下的土孔隙中。能在重力或压力差的作用下流动,具有浮力的作用。

②毛细水:位于地下水位以上的土孔隙中。由于水与空气交界面处的表面张力作用,使土中自由水通过毛细管(土粒间的孔隙贯通,形成无数不规则的毛细管)逐渐上升,形成毛细水,并且毛细管越细,毛细水的上升高度越高,如粉土中孔隙小,毛细水上升高。在工程中,毛细水的上升对基础防潮和地基土的湿润、冻胀有重要影响。

(三) 土的气相

土的孔隙中没有被水填充的部分都是气体,主要是空气、水蒸气,有时还有沼气等。土中气体分两种:

(1) 自由气体:与大气相连通,当土受压时能从孔隙中逸出,故对土的性质影响不大。

(2) 封闭气体:与大气隔绝,不易逸出,常存在于细粒土中。当土受压时封闭气泡被压缩,