



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

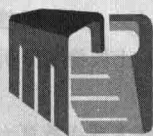
土质学与土力学

第二版

刘国华 主编 梁仁旺 主审



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

土质学与土力学

第二版

刘国华 主编

陈东佐 张丹青 万鑫 李凯文 刘飞 副主编

梁仁旺 主审



化学工业出版社

·北京·

本书根据高等职业教育的要求,以现行工程技术标准为依据,结合多年教学实践编写而成。本书主要介绍了土的成因、物质组成和结构构造,土的工程性质和工程分类,特殊土,土的渗透性,土中应力,土的压缩性和土体变形,土的抗剪强度与地基承载力,土压力与挡土墙,土坡稳定分析及土的动力特性和土的压实性等。

本书可作为高职高专道路桥梁工程技术专业及其他土建专业的教材,也可作为成人教育土建类及相关专业的教材,还可供从事土木工程勘察、设计、施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学/刘国华主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2014. 11

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-21918-3

I. ①土… II. ①刘… III. ①土质学-高等职业教育-教材
②土力学-高等职业教育-教材 IV. ①P642.1②TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 225542 号

责任编辑:李仙华 卓 丽 王文峡
责任校对:陶燕华

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 342 千字 2015 年 5 月北京第 2 版第 1 次印刷

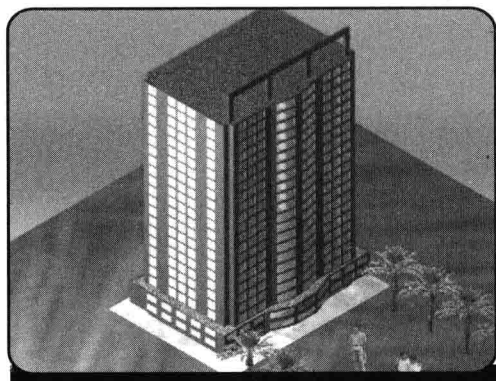
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究



高职高专土建类专业教材编审委员会

主任委员 陈安生 毛桂平

副主任委员 汪 绯 蒋红焰 陈东佐 李 达 金 文

委 员 (按姓名汉语拼音排序)

蔡红新	常保光	陈安生	陈东佐	窦嘉纲
冯 斌	冯秀军	龚小兰	顾期斌	何慧荣
洪军明	胡建琴	黄利涛	黄敏敏	蒋红焰
金 文	李春燕	李 达	李棕京	李 伟
李小敏	李自林	刘昌云	刘冬梅	刘国华
刘玉清	刘志红	毛桂平	孟胜国	潘炳玉
邵英秀	石云志	史 华	宋小壮	汤玉文
唐 新	汪 绯	汪 葵	汪 洋	王 波
王崇革	王 刚	王庆春	吴继峰	夏占国
肖凯成	谢延友	徐广舒	徐秀香	杨国立
杨建华	余 斌	曾学礼	张苏俊	张宪江
张小平	张宜松	张轶群	赵 磊	赵建军
赵中极	郑惠虹	郑建华	钟汉华	

前言

本教材第一版自 2009 年出版以来,许多院校在教学中使用它,并提出了许多建设性的意见,笔者在此深表谢意。近几年来,随着国家颁布的《建筑地基基础设计规范》等规范和相关法律法规的更新,以及新材料、新技术、新工艺和新设备的使用,教材中部分内容已不能满足规范、相关法律法规的要求和工程实际的需要。为了使教材内容符合要求,且更加贴近工程实际,更好地满足高职高专课程教学的需要,笔者根据社会发展和当前建筑市场的需要,结合近年来的教学工作和工程实践经验,并依据新规范、新规程,对原教材的部分内容进行了调整和完善,积极推行工学结合,融“教、学、做”为一体,强化学生职业能力的培养。2014 年本教材入选“十二五”职业教育国家规划教材。

本教材第二版的编写,力求内容翔实、精练,概念清楚,文字叙述简明,注意由浅入深、循序渐进,注重理论联系实际。全书共分十章,主要内容包括土的成因、物质组成和结构构造,土的工程性质和工程分类,特殊土,土的渗透性,土中应力,土的压缩性和土体变形,土的抗剪强度与地基承载力,土压力与挡土墙,土坡稳定分析,土的动力特性和土的压实性等。为了便于读者掌握重点内容,各章均附有知识目标、能力目标、小结、思考题与习题。

参与本教材第二版编写的人员有的来自高职高专教学一线的教师,也有来自生产现场的工程技术人员,其中有江苏无锡城市职业技术学院刘国华副教授;山西运城职业技术学院陈东佐教授;山西水利职业技术学院张丹青副教授;江苏无锡市汽车工程学校杨正俊副教授;江苏无锡市振华建设工程质量检测有限公司翁卫东高级工程师;江苏无锡环境科学与工程研究中心李凯文研究员级高级工程师;江苏无锡城市职业技术学院王波、刘飞、万鑫。全书由刘国华任主编并统稿,陈东佐、张丹青、万鑫、李凯文、刘飞任副主编,由太原理工大学梁仁旺教授主审。

本书在编写中参考了相关著作,并得到了有关专家的帮助,江苏无锡市计量检定测试中心阚小妹对书稿文字的审核等做了大量工作,在此一并表示感谢。

本书提供有 PPT 电子课件、电子教案,可登录 www.cipedu.com.cn 免费获取。

由于笔者水平有限,书中疏漏之处难免,我们将在实践中不断加以改进和完善,对书中不足之处恳请读者给予批评指正。

编者

2014 年 8 月

第一版前言

土质学与土力学是道路与桥梁专业的主要职业技术课程之一。本书是根据高等职业院校土建类专业土质学与土力学课程教学基本要求,并结合本课程教学改革与探索的实践经验,适应高等职业教育的需要而编写的。

本教材以准确反映高职高专土建类教育为基础,以突出实用性和实践性为原则,以职业核心能力和创新能力的培养为目标,构建有利于学生综合素质的形成和科学思想方法的养成的教材内容体系。本教材在借鉴同类教材成功经验的基础上,既保持了经典理论又突出了工程应用能力的培养,在理论体系上追求必要性,内容上有较强的针对性。全书共分八章,包括土质学和土力学两大部分。土质学部分主要介绍土的物理性质及工程分类,考虑工程实践和高职高专教材的特点,介绍了土的水理性质和力学性质、特殊土及土的渗透性。土力学部分着重介绍土中应力计算、基础沉降计算、地基承载力计算、土压力计算和土坡稳定分析的基本方法。在每章后都安排了适量的思考题和习题,正文中有计算时都相应地安排了适量的例题。本书同时提供有配套电子教案,可发信到 cipedu@163.com 邮箱免费获取。

本教材以现行工程技术规范为依据,对不同行业技术规范进行归纳分类,使学生能灵活应用不同行业的规范,达到培养高职高专学生适应工程实践能力的目的。本教材不仅适用于高职高专的教学,也可以作为专业工程技术人员的参考书。

参与本教材编写的人员都是来自高职高专教学一线的教师。其中江苏无锡城市职业技术学院刘国华编写绪论、第二章第四节、第四章、第五章和第八章;太原大学陈东佐教授编写第一章;河南工程学院皇民编写第二章第一节、第二节和第三节及第三章;山西建筑职业技术学院孙晋编写第六章;江苏无锡城市职业技术学院姚燕雅编写第七章。全书由刘国华统稿。

全书由太原理工大学博士生导师梁仁旺教授主审,提出了许多中肯的意见;在编写统稿过程中,南京师范大学刘晶雯协助主编做了大量的图文录入工作,编者在此一并致谢。

限于时间仓促和编者水平,书中不足和疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2009年5月

目 录

绪论	1
一、土质学与土力学的概念	1
二、本课程在道路、桥梁工程中的重要性	2
三、本学科的发展概况	2
四、本课程的特点与学习方法	3
第一章 土的成因、物质组成和结构构造	5
第一节 土的成因类型与工程特性	5
一、土的生成	5
二、土的成因类型	6
三、土的工程特性	9
第二节 土的三相组成	10
一、土的固体颗粒	10
二、土中水	12
三、土中气体	14
第三节 土的结构和构造	14
一、土的结构	14
二、土的构造	15
小结	15
思考题	16
第二章 土的工程性质和工程分类	17
第一节 土的物理性质	17
一、土的基本物理性质指标及其测定	18
二、土的其他物理性质指标	19
三、土的物理性质指标的换算	20
第二节 土的水理性质	23
一、土的毛细性、冻胀性	23
二、黏性土的稠度和可塑性	27
第三节 土的力学性质	30
一、土的压缩性、抗剪性和压实性	30
二、黏性土的灵敏度和触变性	33
三、影响土的力学性质的因素	33
第四节 土的工程分类	34
一、建筑工程中地基土的分类法	34
二、公路桥涵地基土的分类法	37
三、公路路基土的分类法	38
小结	43
思考题	44
习题	44
第三章 特殊土	46
第一节 软土	46
一、软土的物理力学性质	46
二、软土的工程处理措施	47
第二节 黄土	48
一、湿陷性黄土的物理性质	49
二、湿陷性黄土的力学性质	49
三、湿陷性黄土的工程处理措施	51
第三节 红黏土	52
一、红黏土的一般物理力学特征	52
二、红黏土的物理力学性质变化范围及其规律性	52
三、裂隙对红黏土强度和稳定性的影响	52
第四节 膨胀土	53
一、膨胀土的现场工程地质特征	53
二、膨胀土的物理、力学指标	53
三、膨胀土的判别	53
第五节 其他特殊土	54
一、盐渍土	54
二、冻土	55
三、填土	55
四、污染土	56
五、混合土	58
小结	59
思考题	60

第四章 土的渗透性	61
第一节 土的渗透性	61
一、土的渗透性定义	61
二、渗透试验与达西定律	62
三、土的渗透性	63
第二节 土的渗透变形	68
一、渗透力的计算	68
二、流土与管涌	69
第三节 黏性土的抗水性	71
一、黏性土的收缩性	71
二、黏性土的膨胀性	73
三、黏性土的崩解性	74
四、影响黏性土抗水性的因素	74
小结	74
思考题	75
习题	75
第五章 土中应力	76
第一节 土中的自重应力	76
一、均质土中的自重应力	76
二、成层土中的自重应力	77
三、有地下水时土层中的自重应力	78
第二节 基底压力	79
一、基础底面的压力分布	79
二、中心荷载作用下的基底压力	81
三、偏心荷载作用下的基底压力	81
四、基底附加压力	82
第三节 土中的附加应力	84
一、垂直集中力作用下地基土中的附加应力	84
二、矩形面积上各种分布荷载作用下地基土中的附加应力	86
三、圆形面积上均布荷载作用下的地基附加应力	92
四、条形面积上各种分布荷载作用下地基土中的附加应力	93
小结	96
思考题	97
习题	97
第六章 土的压缩性和土体变形	99
第一节 土的压缩试验和指标	99
一、土的侧限压缩试验及 $e-p$ 曲线	100
二、土的压缩性指标	101
第二节 分层总和法计算地基最终沉降量	104
一、基本假定	104
二、计算公式	104
三、计算步骤	106
第三节 规范法计算地基最终沉降量	109
一、特点	109
二、计算公式	109
三、计算步骤	112
四、应力历史对地基沉降的影响	114
第四节 地基沉降与时间的关系	116
一、有效应力原理	117
二、土的单向渗透固结理论	117
第五节 地基容许沉降量与减小沉降危害的措施	121
一、地基容许沉降量	121
二、减小沉降危害的措施	123
小结	124
思考题	124
习题	125
第七章 土的抗剪强度与地基承载力	126
第一节 土的抗剪强度理论	126
一、库仑强度理论	126
二、莫尔-库仑强度理论及极限平衡条件	128
第二节 土的剪切试验	131
一、直接剪切试验	132
二、三轴剪切试验	133
三、无侧限抗压试验	137
四、十字板剪切试验	138
第三节 地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载	140
一、地基破坏的类型	140
二、地基的临塑荷载和临界荷载	142
三、地基的极限荷载——太沙基公式	144

第四节 地基承载力的确定	147	小结	154
一、按地基载荷试验确定承载力	147	思考题	154
二、按规范确定地基承载力	148	习题	155
三、其他确定地基承载力的方法	151		
第八章 土压力与挡土墙	156		
第一节 土压力理论	157	一、填土中有地下水时的土压力计算	169
一、土压力的类型	157	二、成层土条件下的土压力计算	169
二、静止土压力	158	三、填土面有均布荷载条件下的土	
第二节 朗肯土压力理论	159	压力计算	171
一、基本假定及适用条件	159	四、车辆荷载引起的土压力计算	173
二、朗肯主动土压力计算	160	第五节 挡土墙	177
三、朗肯被动土压力计算	161	一、挡土墙的类型	177
第三节 库仑土压力理论	163	二、重力式挡土墙的计算	178
一、基本假定及适用条件	163	三、重力式挡土墙的构造	181
二、库仑主动土压力计算	163	小结	182
三、库仑被动土压力计算	167	思考题	183
第四节 几种特殊情况下的土压力计算	169	习题	183
第九章 土坡稳定分析	185		
第一节 无黏性土坡的稳定分析	186	第三节 滑坡的稳定分析与防治	191
一、无渗流作用时的无黏性土坡	186	一、滑坡的类型与特征	191
二、有渗流作用时的无黏性土坡	187	二、滑坡产生的原因及造成的地质灾害	192
第二节 黏性土坡的稳定分析	188	三、滑坡的防治	193
一、黏性土坡滑动面的形式	188	小结	195
二、整体圆弧滑动法黏性土坡稳定分析		思考题	195
(瑞典圆弧法)	188	习题	196
三、条分法黏性土坡稳定分析	189		
第十章 土的动力特性和土的压实性	197		
第一节 动荷载类型	197	三、砂土地基液化可能性的判别	207
一、周期荷载	197	四、防止土体液化的工程措施简介	207
二、冲击荷载	198	第四节 土的压实性	208
三、不规则荷载	198	一、概述	208
第二节 土的动力特性	199	二、土的压实原理	208
一、土的动力特性试验	199	三、击实试验	209
二、动荷载下土的应力-应变关系及动力		四、影响击实效果的因素	210
特性参数	202	五、压实特性的工程应用以及压实度的	
三、土在动荷载下的强度特性	205	检测与控制	210
第三节 土的振动液化	205	小结	212
一、液化的机理	206	思考题	212
二、影响砂土液化的主要因素	206		
参考文献	214		

绪 论

土质学与土力学是一门实用性很强的学科，其研究的内容涉及土质学、土力学、基础工程学、结构设计、施工技术以及与工程建设相关的各种技术问题。随着我国国民经济的飞速发展，国家兴建了许多特大规模的基础工程，例如三峡工程、青藏铁路工程、西气东输工程、南水北调工程、神舟飞船上天工程等。土质学与土力学的相关理论和方法在这些工程建设中得到了应用和验证，同时也促进了它们的发展。

一、土质学与土力学的概念

所谓土就是地球表面一层松散矿物颗粒堆积体，它是地壳岩体经过强烈的自然界风化、剥蚀、搬运、沉积作用后形成的。在土木工程中，土可以作为建筑地基和环境，也可以把土作为建筑材料，用于路堤、土坝等工程。然而，由于土的生成年代、生成环境以及矿物成分不同，所以其性质也是复杂多样的。例如，沿海地区的软土，西北、华北地区的黄土，以及分布在全国各地区的黏土、膨胀土和杂填土等，都具有不同的性质。特别是在承载能力、抵抗变形方面，土与其他建筑材料有着较大的差异。因此，研究土的力学性质对于保证工程安全运行是非常重要的，直接关系到工程的经济合理和安全使用。土质学与土力学是一门专门研究土的学科，主要解决工程中有关土的问题。

土质学是地质科学的一个分科，是研究土的组成、化学-物理-力学性质，以及它们之间的相互关系，并进一步探讨在自然或人为的因素下，土的成分与性质的变化趋势以及如何利用这种趋势。土质学可分为普通土质学、区域地质学和土质改良学三个分支，其中普通土质学研究广泛分布的各种典型土类的成因、成分、结构、构造及其工程性质的形成规律，也是整个土质学的理论基础。本教材主要介绍普通土质学的内容。

土力学是利用力学的一般原理和土工试验技术来研究土的特性及其受力后强度和体积形状变化规律的一门学科。换句话说，它是以力学为基础，研究土的应力应变、强度和渗流等特性及其随时间变化的学科。一般认为土力学是力学的一个分支，但是由于土力学研究的对象——土，是由矿物颗粒组成的松散体，具有特殊的力学特性，与一般的弹性体、塑性体、弹塑性体、流体有较大区别，因此把一般连续介质力学的规律运用到土力学时，还要结合土体本身的特殊性，运用专门的土工试验技术来研究土的物理力学性质，以及土的强度、变形和渗透等特殊的力学特性。在与生产实践的结合过程中，土力学又产生了许多不同的分支，如冻土力学、环境土力学、海洋土力学、土动力学等；对区域性土和特殊类土（如湿陷性黄土、红黏土、膨胀土、盐渍土、填土等）的研究也不断地深入。

土质学与土力学是两门关系非常密切的学科，一方面它们都是学习“基础工程”、“地基处理”等专业课程的理论基础；另一方面准确划分土类，评价与改善土的性状是两门学科的共同任务。现代土木工程的发展对土质学与土力学不断提出新的要求，并促使其理论的发展和完善，使其研究方法和手段更精确先进；而土木工程实践又是检验这些理论方法正确性的唯一标准。在发展过程中，两门学科互相渗透，互相结合，相互推动，土质学的研究成果为

土力学研究土的物理力学性质提供了解释和指导,土力学研究中的现代测试技术和方法又推动了土质学的发展。从工程的要求出发,将土质学和土力学紧密结合起来学习,将更有助于学生从总体上把握土的工程性质和土工问题的分析计算方法,有利于定性分析和定量计算的结合,从而更全面地理解和掌握土的工程特点。

二、本课程在道路、桥梁工程中的重要性

在道路和桥梁建设与养护工程中,施工技术人员都会遇到许多与土有关的工程技术问题。

在道路工程中,路堤一般是用土填筑而成。土作为构筑材料,同时它又是支承路堤的地基,为了满足路面上荷载的要求,保证路堤与地基的强度及稳定性,必须进行压实。因此,需要研究土的压实性,包括土的压实机理、压实方法和压缩指标;路堤的临界高度和边坡的取值都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关;挡土墙设计中取用的水平土压力,需借助土压力理论计算。21世纪以来,我国建设了大量的高速公路,对路基沉降的计算与控制提出了严格的技术要求,而解决沉降问题需要对土的压缩特性进行深入的研究。

在路面工程中,我国北方地区道路常常发生冻胀及翻浆冒泥现象,防治冻害的有效措施也是以土质学的原理为基础的。道路在车辆的反复荷载作用下会变得凹凸不平,因此就需要研究土在反复荷载作用下的变形特性。

在桥梁工程中,桥梁墩台基础设计时,需要确定地基容许承载力,以及计算基础的沉降量,这些都需要应用土力学的方法进行计算。

综上所述,土质学与土力学这门课程与道路及桥梁工程有着非常密切的关系,学习本课程是为了更好地学习其他相关专业课程,也是为了更好地解决有关的工程技术问题打下良好的基础。

三、本学科的发展概况

我国是一个有着悠久历史的文明古国,在工程技术上有着辉煌的成就,如秦朝所修筑的万里长城和隋唐时期修通的南北大运河,穿越了各种复杂的地质条件,成为亘古奇观。又例如,隋朝石匠李春修建的赵州石桥闻名世界,它不仅在建筑和结构设计方面十分精巧,在地基基础处理上也堪称完美。其桥台砌置于密实粗砂层上,1300多年以来其沉降量仅有几厘米,桥台的基底压力为 $500\sim 600\text{kPa}$,与现代土力学理论给出的该土层的承载力非常接近。

土质学与土力学作为一门工程技术,有着悠久的历史。但作为一门学科,其发展历史远不如其他经典力学学科。它的主要发展特点是伴随生产实践的发展而发展,其发展水平与社会生产力和科技发展水平相适应。

18世纪西方掀起了工业革命热潮,在大规模的城市建设和水利、铁路的兴建中,遇到了大量与土有关的工程技术问题,积累了许多经验教训,促使人们寻找理论上的解释。下面几个古典理论奠定了土力学的基础。

1773年,法国的库仑(Coulomb)根据试验提出了砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑动土楔原理。

1855年,法国的达西(Darcy)创立了土层的层流渗透定律。

1857年,英国的朗肯(Rankine)提出了建立在土体的极限平衡条件分析基础上的土压力理论。

1885年,法国的布辛奈斯克(Boussinesq)提出了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖直集中力和线荷载作用下的位移和应力分布理论。

20 世纪 20 年代后,土力学的研究有了较快的发展,其重要理论如下。

1915 年,由瑞典的彼得森(Petterson)首先提出,后由费兰纽斯(Fellenius)等人进一步发展的土坡整体稳定分析的圆弧滑动面法。

1920 年,法国普朗德(Prandtl)提出地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式等。

1925 年,奥裔美国学者太沙基(Terzaghi)出版了第一部土力学专著《土力学》,比较系统地阐述了土的工程性质和有关的土工试验结果,其提出的饱和土有效应力原理和一维固结理论将土的应力、变形、强度、时间等因素有机联系起来,有效地解决了许多有关土的工程技术问题。太沙基的《土力学》的问世,标志着土力学成为一门独立的学科,也标志着近代土力学的开端。

20 世纪中叶,太沙基的《理论土力学》以及太沙基和派克(Peck)合著的《工程实用土力学》对土力学作了全面的总结。

1936 年,在美国召开了第一届国际土力学及基础工程会议,之后陆续召开了 16 届。

1949 年,我国的土力学研究进入发展阶段。1957 年,陈宗基教授提出的土流变学和黏土结构模式,已被电子显微镜证实;同年,黄文熙教授提出非均质地基考虑侧向变形影响的沉降计算方法和砂土液化理论。1962 年开始定期召开全国性土力学与地基基础工程学术会议,交流和总结科研人员在该学科取得的新进展和科研成果。

土质学作为一门独立学科,始于 20 世纪。早期土质学的著作如 Приклонский 的《土质学》和 Денисов 的《黏性土的工程性质》,系统地论述了土质学的基本原理。对我国有很大的影响,近代的著作如黄文熙的《土的工程性质》和 Mitchell 的“Fundamentals of Soil Behavior”代表了从两个不同角度深入研究土的工程性质所达到的新水平。

将土质学和土力学结合在一起的教材,有 20 世纪 50 年代 Бабков 的“Основы грунто ведения и механики”与 60 年代俞调梅的《土质学及土力学》。在土力学的教材中,强调对土的基本性质的认识和土工试验的重要性,并将黏性土的物理化学性质的内容列入教材,从而形成了土力学的教学与土质学的教学紧密结合的教材体系。

随着现代科技成就向土力学基础工程领域的逐步渗透,试验技术和计算手段有了长足的进步,由此推动了该学科的发展。然而,由于土的性质较为复杂,到目前为止,土质学与土力学的理论虽然有了很大的发展,但仍然很不完善,在假定条件下的理论,应用于实际工程中时带有近似性,有待人们开展实践和研究,以取得新的进展。

四、本课程的特点与学习方法

土质学与土力学是一门实践性与理论性很强的学科。因其研究对象的复杂多变性,研究内容的广泛性,研究方法的特殊性,学习时应抓住重点,兼顾全面。从道路与桥梁专业的要求出发,必须牢固掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学的基本概念和原理。

我国土地幅员辽阔,由于自然环境不同,分布着多种不同的土类。天然土层的性质和分布,不但因地而异,即使在较小的范围内,也可能有很大的变化。因此,每一建筑场地都必须进行地基勘察,采取原状试样进行土工试验,以试验结果作为地基基础设计的依据。

本课程的另一特点是知识的更新周期越来越短,随着科学技术的发展,一些大而复杂工程的兴建,如青藏铁路、三峡工程等,使土质学与土力学不断面临新的问题,从而导致新技术、新设计方法的不断涌现,而且往往是实践领先于理论,并促使理论不断臻于完善。

根据上述特点,土质学与土力学的学习内容包括理论、试验和经验,学习中既要重点掌

握理论公式的意义和应用条件，明确理论的假定条件，掌握理论的使用范围，又要重点掌握基本的土工试验技术，尽可能多动手操作，从实践中获取知识、积累经验，并把重点落实到如何学会结合工程实际加以应用。

本课程与水力学、建筑力学、弹性力学、工程地质、建筑材料、施工技术等学科有着较为密切的联系，又涉及高等数学、物理、化学等方面的知识。因此，要学好土质学与土力学课程，还应熟练掌握上述相关课程的知识。除此之外，还必须认真学习国家颁发的相关工程技术规范，如《公路桥涵地基与基础设计规范》、《公路土工试验规程》等。这些规范是国家的技术标准，是我国土工技术和经验的结晶，也是全国土工技术人员应共同遵守的准则。

第一章

土的成因、物质组成和结构构造

【知识目标】

- 了解土的概念，熟悉土的生成条件，掌握土的主要成因类型。
- 掌握土的三相组成。
- 了解土的粒度、粒组、粒度成分的概念。掌握粒度成分的分析与表示方法。
- 掌握土中水的类型和性质；掌握土中气的类型和性质。
- 掌握土的结构类型，熟悉土的构造，掌握土的特点。

【能力目标】

- 能够绘制土的三相草图。
- 能够绘制土的颗粒级配曲线，并利用土的颗粒级配曲线计算土的不均匀系数，判定土的级配优劣。

土是岩石经风化、搬运、沉积形成的产物。不同的土其矿物成分和颗粒大小存在着很大差异，土颗粒、土中水和土中气的相对比例也各不相同。所以，要研究土体所具有的工程性质，就必须了解土的三相组成以及在自然界中土的结构和构造等特征。

土体的物理性质，如轻重、软硬、干湿、松密等在一定程度上决定了土的力学性质，它是土的最基本的特征。土的物理性质由三相物质、相对含量以及土的结构构造等因素决定。在工程设计中，需要掌握这些物理性质的测定方法和指标间存在的换算关系，熟悉按有关特征及指标对地基土进行工程分类及初步判定土体的工程性质。

第一节 土的成因类型与工程特性

一、土的生成

构成天然地基的物质是地壳外表的土和岩石。地壳厚度一般为 30~80km，地壳以下存在着高温、高压的硅酸盐熔融体，即通常所说的岩浆。岩浆活动可使岩浆沿着地壳薄弱地带侵入地壳或喷出地表，岩浆冷凝后生成的岩石称为岩浆岩。

在地壳运动和岩浆活动的过程中，原来生成的各种岩石在高温、高压及挥发性物质的变质作用下，生成另外一种新的岩石，称为变质岩。原来岩石受气温变化，风雪、山洪、河流、湖泊、海浪、冰川、生物等的作用，产生风化，风化后的岩石不断剥蚀，产生新的产物——碎屑。这些风化产物在山洪、河流、海浪、冰川或风力作用下，被搬运到大陆低洼处或海洋底部沉积下来。在漫长的地质年代中，沉积物越来越厚。在上覆压力和胶结物质的共同作用下，最初沉积下来的松散碎屑逐渐被压密、脱水、胶结、硬化生成一种新的岩石，称

为沉积岩。而上述过程中，没有经过成岩过程的沉积物，即通常所说的土。

风化作用与气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等（也称为外力地质作用）密切相关，一般分为物理风化、化学风化和生物风化三种。

（1）物理风化 长期暴露在大气中的岩石，受到温度、湿度变化的影响，体积经常在膨胀、收缩，从而逐渐崩解、破裂为大小和形状各异的碎块，这个过程叫物理风化。物理风化的过程仅限于体积大小和形状改变，而不改变颗粒的矿物成分。其产物保留了原来岩石的性质和成分，称为原生矿物，自然界中粗颗粒土即无黏性土就是物理风化的产物。

（2）化学风化 如果原生矿物与周围的氧气、二氧化碳、水等接触，并受到有机物、微生物的作用，发生化学变化，产生出与原来岩石矿物成分不同的次生矿物，这个过程叫作化学风化。化学风化所形成的细粒土，颗粒之间具有黏结能力，通常称为黏性土。自然界中这两种风化过程是同时或交替进行的，所以，原生矿物与次生矿物是堆积在一起的，这就是人们所见到的性质复杂的土。

（3）生物风化 由于动、植物的生长使岩石破碎属于生物风化，这种风化具有物理风化和化学风化的双重作用。

二、土的成因类型

土由于成因不同而具有不同的工程地质特征，下面介绍土的几种主要成因类型。

在地质学中，把地质年代划分为五大代（太古代、元古代、古生代、中生代和新生代），代又分若干纪，纪又分若干世。上述“沉积土”基本是在离人们最近的新生代第四纪（Q）形成的，因此也把土称为第四纪沉积物。由于沉积的历史不长（表 1-1），尚未胶结岩化，通常是松散软弱的多孔体，与岩石的性质有很大的差别。第四纪沉积物在地表分布极广，成因类型也很复杂。不同成因类型的沉积土，各具有一定的分布规律、地形形态及工程性质。根据地质成因类型，可将第四纪沉积物的土体划分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、海积土、风积土、冰积土等。

表 1-1 第四纪地质年代

纪	世		距今年代/万年
第四纪 Q	全新世 Q ₁		2.5
	更新世	晚更新世 Q ₃	15
		中更新世 Q ₂	50
		早更新世 Q ₁	100

1. 残积土

残积土是指由岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑物质所组成的土体，如图 1-1 所示，它处于岩石风化壳的上部，向下则逐渐变为强风化或中等风化的半坚硬岩石，与新鲜

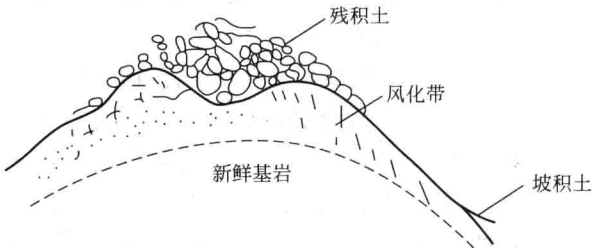


图 1-1 残积土示意图

岩石之间没有明显的界限，是渐变的过渡关系。残积土的分布受地形控制。在宽广的分水岭上，由于地表水流速度很小，风化产物能够留在原地，形成一定的厚度。在平缓的山坡或低洼地带也常有残积土分布。

残积土中残留碎屑的矿物成分，在很大程度上与下卧母岩一致，这是它区别于其他沉积土的主要特征。例如，砂岩风化剥蚀后生成的残积土多为砂岩碎块。由于残积土未经搬运，其颗粒大小未经分选和磨圆，颗粒大小混杂，没有层理构造，均质性差，土的物理力学性质各处不一，且其厚度变化大。同时多为棱角状的粗颗粒土，孔隙度较大，作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。因此，在进行工程建设时，要注意残积土地基的不均匀性。我国南部地区的某些残积层，还具有一些特殊的工程性质。如由石灰岩风化而成的残积红黏土，虽然孔隙比较大，含水量高，但因结构性较强故而承载力高。又如，由花岗岩风化而成的残积土，虽然室内测定的压缩模量较低，孔隙也比较大，但是其承载力并不低。

2. 坡积土

坡积土是雨雪水流将高处的岩石风化产物，顺坡向下搬运，或由于重力的作用而沉积在较平缓的山坡或坡角处的土，如图 1-2 所示。它一般分布在坡腰或坡脚，其上部与残积土相接。

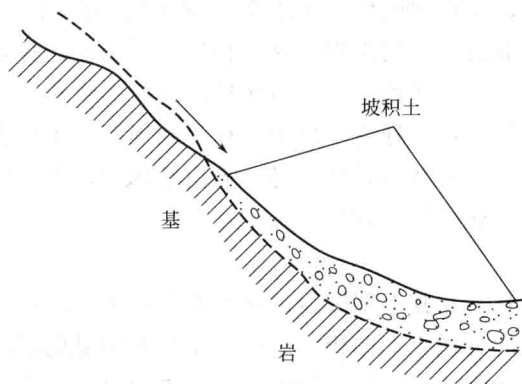


图 1-2 坡积土示意图

坡积土随斜坡自上而下逐渐变缓，呈现由粗而细的分选作用，但层理不明显。其矿物成分与下卧基岩没有直接关系，这是它与残积土明显区别之处。

坡积土底部的倾斜度取决于下卧基岩面的倾斜程度，而其表面倾斜度则与生成的时间有关。时间越长，搬运、沉积在山坡下部的物质越厚，表面倾斜度也越小。坡积土的厚度变化较大，在斜坡较陡地段的厚度通常较薄，而在坡脚地段则较厚。坡积物中一般见不到层理，但有时也具有局部的不清晰的层理。

新近堆积的坡积物经常具有垂直的孔隙，结构比较疏松，一般具有较高的压缩性。由于坡积土形成于山坡，故较易沿下卧基岩倾斜面发生滑动。因此，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性。

3. 洪积土

洪积土是由暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流，将大量的基岩风化产物或将基岩剥蚀、搬运、堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成的堆积物，如图 1-3 所示。由于山洪流出沟谷口后，流速骤减，被搬运的粗碎屑物质先堆积下来，离山渐远，颗粒随之变细，其分布范围也逐渐扩大。洪积土地貌特征，离山近处窄而陡，离山较远处宽而缓，形似扇形或锥体，故称为洪积扇（锥）。

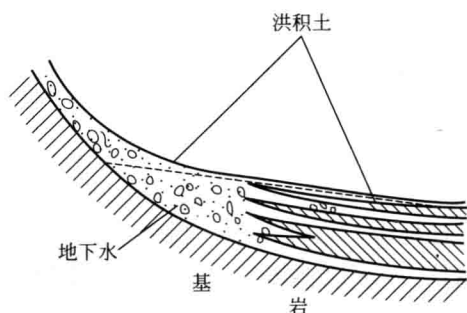


图 1-3 洪积土示意图

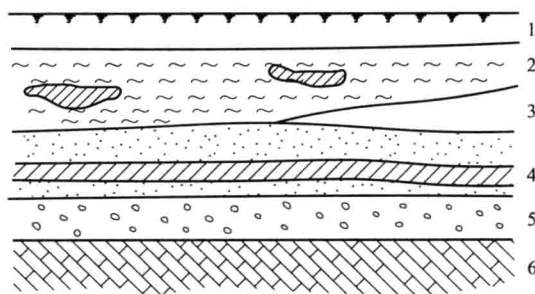


图 1-4 土的层理构造

1—表层土；2—淤泥夹黏土透镜体；3—黏土尖灭层；
4—砂土夹黏土层；5—砾石层；6—石灰岩层

洪积物质离山区由近渐远颗粒呈现由粗到细的分选作用，碎屑颗粒的磨圆度由于搬运距离短而仍然不佳。又由于山洪大小交替和分选作用，常呈现不规则交错层理构造，并有夹层或透镜体（在某一土层中存在着形状似透镜的局部其他沉积土）等，如图 1-4 所示。

洪积土的颗粒虽因搬运工程中的分选作用而呈现由粗到细的变化，但由于搬运距离短，颗粒棱角仍较明显。由于靠近山区的洪积土颗粒较粗，所处的地势较高，而地下水位低，且地基承载力较高，常为良好的天然地基。离山区较远地段的洪积土多由较细颗粒组成，厚度较大，这部分土分为两种情况：一种由于形成过程受到周期性干旱作用，土体被析出的可溶盐类固结，土质较坚硬密实，承载力较高；另一种由于场地环境影响，地下水溢出地表而造成宽广的沼泽地，土质较弱而承载力较低。

4. 冲积土

冲积土是河流两岸的基岩及其上部覆盖的松散物质被河流流水剥蚀后，经搬运、沉积于河流坡降平缓地带而形成的沉积土。冲积土的特点是具有明显的层理构造。经过搬运过程的作用，颗粒的磨圆度好。随着从上游到下游的流速逐渐减小，冲积土具有明显的分选现象。上游沉积物多为粗大颗粒，中下游沉积物大多由砂粒逐渐过渡到粉粒（粒径为 $0.075 \sim 0.005\text{mm}$ ）和黏粒（粒径小于 0.005mm ）。典型的冲积土是形成于河谷内的沉积物，冲积土可分为平原河谷冲积土、山区河谷冲积土、三角洲冲积土等类型。

（1）平原河谷冲积土 平原河谷除河床外，大多有河漫滩及阶地等地貌单元，如图 1-5 所示。平原河谷的冲积土比较复杂，它包括河床沉积土、河漫滩沉积土、河流阶地沉积土及古河

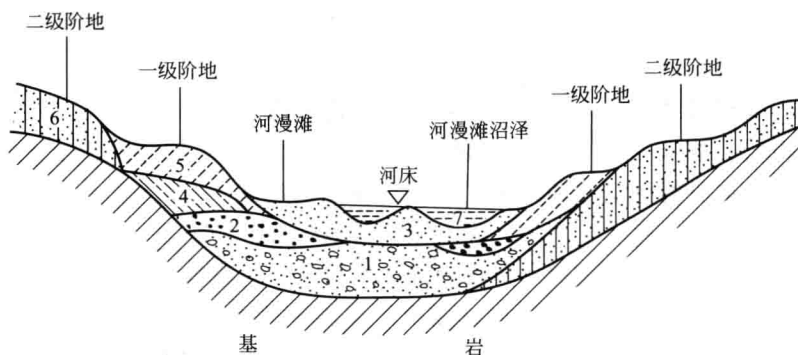


图 1-5 平原河谷横断面示例（垂直比例尺放大）

1—砾卵石；2—中粗砂；3—粉细砂；4—粉质黏土；5—粉土；6—黄土；7—淤泥