

普通高等教育规划教材

土质学 与土力学

杨红霞 赵峥嵘 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

土质学与土力学

杨红霞 赵峥嵘 编

机械工业出版社

地址：北京市西城区百万庄大街24号

本书是根据应用型本科人才培养方案,结合行业最新规范编写而成的,精简理论知识阐述,强调技术的工程应用,采用知识点讲解、工程案例分析和习题训练相结合的编写方式,力求达到学生易读、易学,教师易教的效果。本书共 11 章,主要包括:绪论、土的工程地质特征、土的物理性质及工程分类、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定性分析、地基承载力、土在动荷载作用下的特性。

本书可作为高等院校土木工程、道路桥梁与渡河工程、港口与航道等相关专业的本科生教材,也可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学/杨红霞,赵嵘嵘编. —北京:机械工业出版社, 2015. 10

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-51234-9

I. ①土… II. ①杨… ②赵… III. ①土质学-高等学校-教材
②土力学-高等学校-教材 IV. ①P642.1 ②TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 189348 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林 辉 责任编辑:林 辉

版式设计:赵颖喆 责任校对:刘秀芝

封面设计:马精明 责任印制:李 洋

北京华正印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·402 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-51234-9

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书是根据高等院校土木工程专业应用型人才培养方案和“土质学与土力学”课程标准,并参考 GB/T 50941—2014《建筑地基基础术语标准》、GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》、JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》、JTG E40—2007《公路土工试验规程》、JTG D63—2007《公路桥涵地基与基础设计规范》等规范编写而成的。

“土质学与土力学”课程是土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业的必修专业基础课程,它的理论性与实践性均很强。为了适应我国工程建设的需要,培养能够胜任土木工程基础设施建设的专业人才,本书编写吸收了同类教材的优点,在传承经典土质学与土力学理论的基础上,结合行业发展,反映近代土质学与土力学的新成果、新技术。全书内容精练,重点突出,侧重于基本原理、基本方法及其工程应用。各章例题以土木工程资料为背景,引入典型的道路、桥梁工程计算实例,紧跟当前技术发展水平,力求达到学生易读、易学,教师易教的效果。为方便学生学习,各章附有学习目标、习题及思考题,可供学习时参考。

全书共 11 章,内容包括:绪论、土的工程地质特征、土的物理性质及工程分类、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定性分析、地基承载力、土在动荷载作用下的特性。

本书由山东交通学院杨红霞、赵峥嵘教授编写。第 1~5 章由杨红霞编写;第 6~10 章由赵峥嵘编写。杨红霞负责全书的统稿、定稿工作。

在本书编写过程中,得到了山东交通学院领导、专家的帮助和机械工业出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,难免有欠妥之处,敬请指正。

编 者

目 录

前言	
第0章 绪论	1
【学习目标】	1
【导读】	1
0.1 土质学与土力学的研究对象和 内容	1
0.2 土质学与土力学的工程作用	3
0.3 土质学与土力学发展史	4
思考题	7
第1章 土的工程地质特征	8
【学习目标】	8
【导读】	8
1.1 土的形成	8
1.2 土的结构和构造	11
1.3 特殊土的工程地质特征	12
习题	27
思考题	27
第2章 土的物理性质及工程分类	28
【学习目标】	28
【导读】	28
2.1 土的三相组成	28
2.2 土的颗粒特征	29
2.3 土的物理性质指标	35
2.4 黏性土的界限含水量	42
2.5 砂土的密实度	45
2.6 土的工程分类	46
2.7 土的现场鉴别	53
习题	56
思考题	57
第3章 土中水的运动规律	58
【学习目标】	58
【导读】	58
3.1 土的毛细性	58
3.2 土的渗透性	61
3.3 流网及其应用	69
3.4 土在冻结过程中水分的迁移和 积聚	74
习题	76
思考题	77
第4章 土中应力计算	78
【学习目标】	78
【导读】	78
4.1 概述	78
4.2 土中自重应力计算	79
4.3 基础底面的压力分布与计算	82
4.4 竖向集中力作用下土中应力计算	85
4.5 竖向分布荷载作用下土中应力 计算	89
4.6 有效应力概念	103
4.7 其他条件下的地基应力计算	108
习题	114
思考题	115
第5章 土的压缩性与地基沉降 计算	116
【学习目标】	116
【导读】	116
5.1 土的压缩性的概念与意义	116
5.2 土的压缩性试验及变形指标	117
5.3 地基沉降计算	125
5.4 沉降与时间的关系	139
习题	150
思考题	152
第6章 土的抗剪强度	153
【学习目标】	153
【导读】	153
6.1 土的强度及其工程意义	153
6.2 土的强度理论与强度指标	154
6.3 土的抗剪强度指标试验方法	158
6.4 有效应力原理在强度问题中的 应用	163
6.5 关于土的抗剪强度影响因素的 讨论	166
习题	168
思考题	169

第7章 土压力计算	170	第9章 地基承载力	215
【学习目标】	170	【学习目标】	215
【导读】	170	【导读】	215
7.1 土压力的类型	170	9.1 地基的破坏形式和破坏过程	215
7.2 静止土压力计算	172	9.2 临塑荷载和临界荷载的确定	219
7.3 朗肯土压力理论	175	9.3 极限荷载计算	222
7.4 库仑土压力理论	185	9.4 按规范方法确定地基容许承载力	234
7.5 朗肯理论与库仑理论的比较	194	习题	239
习题	196	思考题	240
思考题	196	第10章 土在动荷载作用下的 特性	241
第8章 土坡稳定性分析	197	【学习目标】	241
【学习目标】	197	【导读】	241
【导读】	197	10.1 土的压实性	241
8.1 概述	197	10.2 砂土和粉土的振动液化	247
8.2 无黏性土土坡稳定性分析	198	习题	253
8.3 黏性土土坡稳定性分析	199	思考题	254
8.4 土坡稳定性分析的几个问题	212	参考文献	255
习题	213		
思考题	214		

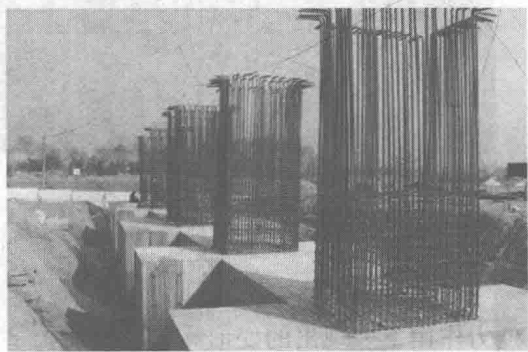
第 0 章 绪 论

【学习目标】 了解土质学与土力学发展史；理解土质学与土力学在土木工程中的作用；掌握土质学与土力学的研究对象和内容。

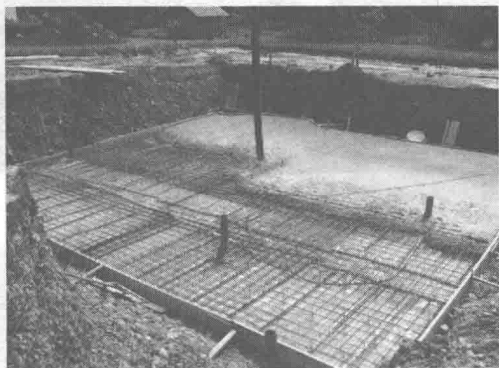
【导读】 土质学与土力学是将土作为建筑物的地基、材料或介质来研究的一门学科，主要研究土体的地质特征以及土在荷载作用下的应力、变形、强度和稳定性问题，为设计与施工提供土的工程性质指标与评价方法，以及土的工程问题的分析计算原理。

0.1 土质学与土力学的研究对象和内容

土质学与土力学研究的对象是分散土。分散土广泛地分布在地壳表面，其性质会随外界环境（如温度、湿度）的变化而发生显著的变化。在工程建设中，土往往作为不同的研究对象。如，在土层上修建房屋、桥梁、道路、堤坝时，土是用来支承建筑物传来的荷载，土作为地基，如图 0-1 所示；在路堤、土坝等土工构筑物中，土是用作建筑材料，如图 0-2 所示；对于隧道、涵洞及地下建筑等，土是作为建筑物周围的介质或环境，如图 0-3 所示。



a)



b)

图 0-1 地基

a) 桥梁地基 b) 房屋地基

土质学与土力学都是研究土的学科，目的是解决工程建筑中有关土的工程技术问题。

土质学属于地质学范畴，是研究岩石和土的工程地质性质及其形成和变化规律的学科。它是从工程地质学角度研究土，即从工程建筑物与自然地质体相互作用、相互制约的角度研究土，它是地质学观点和力学观点的有机结合，其理论性和实践性很强。

土质学研究的内容主要包括以下几个方面：

- 1) 土的工程地质性质的形成和分布规律，土的物质组成、结构构造对土的工程地质性质的影响。
- 2) 土的工程地质性质。包括物理性质、水理性质和力学性质，如干密度、干湿状况、

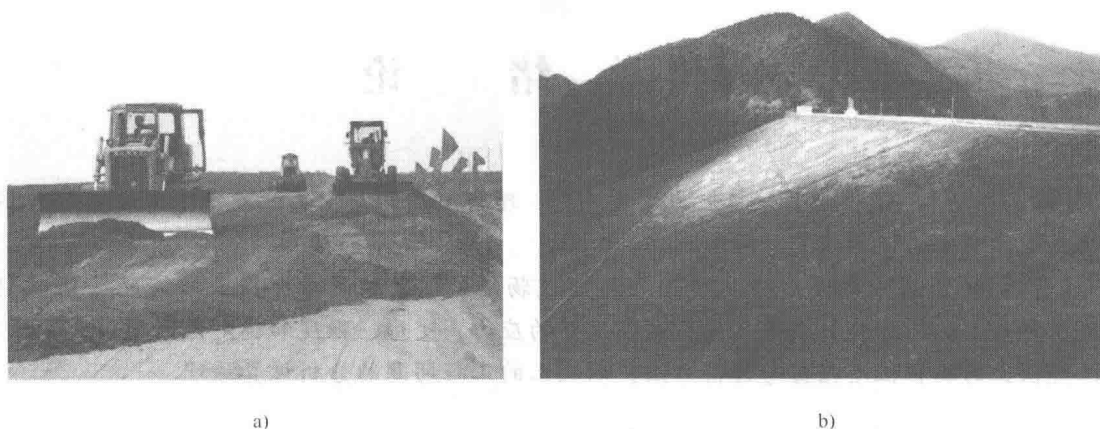


图 0-2 土工构筑物

a) 路堤 b) 土坝

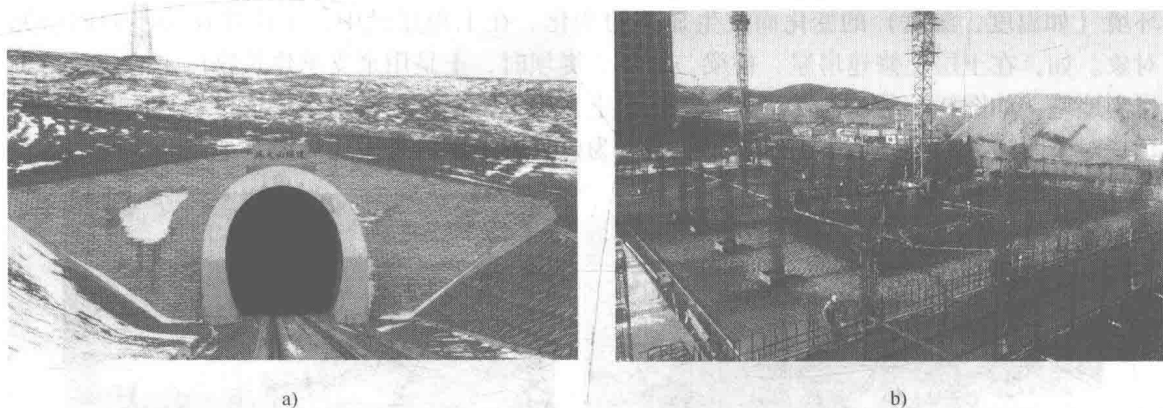


图 0-3 地下建筑

a) 隧道 b) 地下车库

孔隙特征、与水相互作用时表现出的性质及在外力作用下表现出的变形和强度特征。

- 3) 土的工程地质性质指标的测试方法和测试技术。
- 4) 土的工程地质分类。
- 5) 土的工程地质性质在自然或人为因素作用下的变化趋势和变化规律。预测这种变化对各种建筑物的危害。
- 6) 特殊土的工程地质特征。

土力学属于工程力学范畴，是运用力学原理，同时考虑土的分散性特征求得量的关系，其力学计算模型必须建立在现场勘察和实测土工程地质性质指标的基础上，因此土力学也是一门理论性和实践性很强的学科。

土力学研究的内容主要包括以下几个方面：

- 1) 土的应力与应变的关系。
- 2) 土的强度及土的变形和时间的关系。
- 3) 土在外荷载作用下的稳定性计算。

土质学与土力学虽属不同学科范畴,但彼此间关系密切。随着科学的不断发展,这两门学科的相互结合已成为必然的发展趋势。土质学需要吸取土力学中运用的数学、力学等最新理论,研究土的工程地质性质的本质;土力学需要吸取土质学从成因、微观结构等方面认识土性质本质的研究成果,研究与工程建筑有关的土的应力、应变、强度和稳定性等力学问题。

本课程将土质学与土力学结合在一起,符合科学发展趋势,体现了完整性和系统性,能更好地解决实际工程中关于土的问题。

0.2 土质学与土力学的工程作用

所有的工程建设项目,包括高层建筑、高速公路、机场、铁路、桥梁、隧道等,都与它们赖以存在的土体有着密切的关系,它们的安全在很大程度上取决于土体能否提供足够的承载力,以及工程结构是否遭受超过允许的沉降和差异变形等,这些都要涉及土的应力计算、土的压缩性、土的抗剪强度以及地基极限承载力等土力学基本理论。

在路基工程中,土既是修筑路堤的基本材料,又是支承路堤的地基。路堤的临界高度和边坡坡度的取值都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关,如图0-4所示;为了获得具有一定强度和良好水稳定性的路基,需要采用碾压的施工方法压实填土,而碾压的质量控制方法正是基于对土的击实特性的研究成果;挡土墙土压力的取值需借助于土压力理论计算;近年来,我国高速公路大量修建,对路基的沉降与控制提出了很高的要求,而解决沉降问题需要对土的压缩特性进行深入的研究。



a)



b)

图0-4 土体滑动破坏

a) 路堤滑坡 b) 山体滑坡

在路面工程中,路基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题,如图0-5所示,防治冻害的有效措施是以土质学的原理为基础;稳定土是比较经济的基层材料,它就是根据土的物理化学性质提出的一种土质改良措施,目前深层搅拌水泥土桩在公路的软基处理中得到了广泛应用;道路在车辆的重复荷载作用下工作,因此需要研究土在重复荷载作用下的变形特性;抗震设计更需要研究土的动力特性。

由此可见,土质学与土力学课程与土木工程专业课程的学习和土木工程技术工作有非常



图 0-5 路基的冻胀与翻浆

密切的关系。其对地基的设计、施工，及对建筑的抗震性能研究都具有重要的作用，对土木工程的发展起着举足轻重的作用。随着人口不断密集，人类活动的范围日益狭小，现代工程建设不得不向高（高层建筑）、深（地下工程）、远（高速公路/铁路）的方向发展。同时，通过对不良场地土体改善进而进行工程建设，可以充分地利用日益紧缺的土地资源。因此土质学与土力学在现代交通、土木工程建设事业中占有着非常重要的地位。

0.3 土质学与土力学发展史

在远古时代，人们就利用土石作为地基和建筑材料修筑房屋。如，西安新石器时代的半坡村遗址，就发现有土台和石础，这就是古代的“堂高三尺、茅茨土阶”的建筑，如图 0-6 所示；我国举世闻名的秦万里长城即采用土石混筑，逾千百年而留存至今，充分体现了我国古代劳动人民的高超水平；隋朝石工李春所修建成的赵州石拱桥造型美观，至今安然无恙，桥台砌置于密实的粗砂层上，一千三百多年来估计沉降量约几厘米，如图 0-7 所示；北宋初著名木工喻皓（公元 989 年）在建造开封开宝寺木塔时，考虑到当地多西北风，便特意使建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜，设想在风力的长期断续作用下可以渐趋复正，可见在当时工匠已考虑到建筑物地基的沉降问题，如图 0-8 所示。

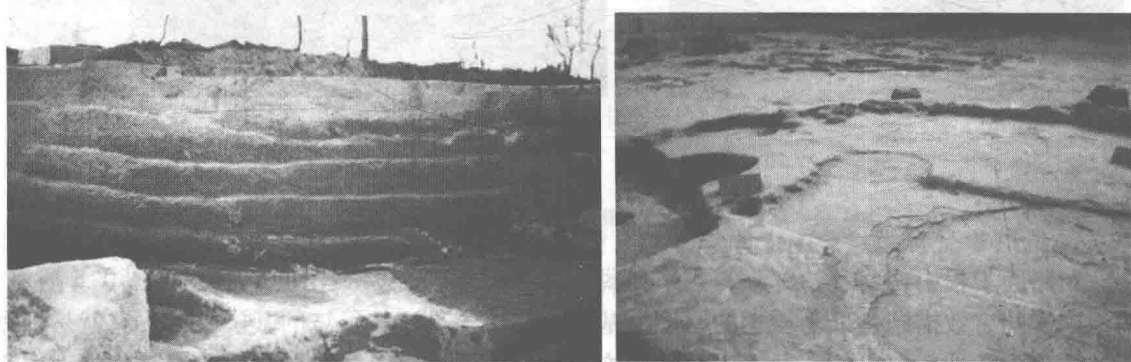


图 0-6 半坡村遗址

作为本学科理论基础的土力学始于 18 世纪兴起了工业革命的欧洲。随着资本主义工业化的发展，为了满足向国内外扩张市场的需要，陆上交通进入了所谓“铁路时代”，因此，

最初有关土力学的个别理论多与解决铁路路基问题有关。

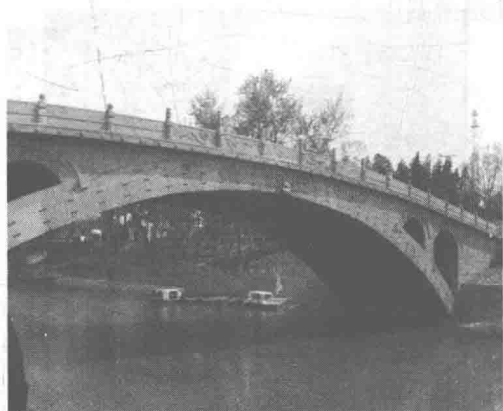


图 0-7 赵州石拱桥



图 0-8 开宝寺木塔

法国科学家库仑 (Charles Augustin de Coulomb, 1736—1806) 在 1773 年发表了论文《极大极小准则在若干静力学问题中的应用》，为土体破坏理论奠定了基础，并且创立了著名的砂土抗剪强度公式，提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。但是，在此后漫长的 150 年中，研究工作只是个别学者在探索着进行，而且只限于研究土体的破坏问题。

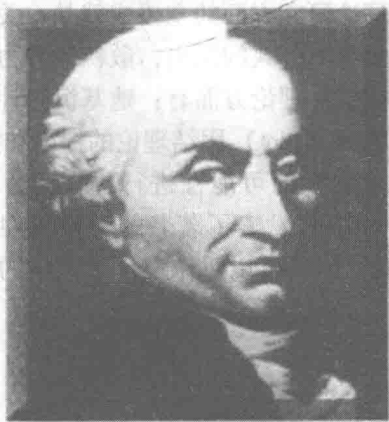


图 0-9 法国科学家库仑



图 0-10 法国科学家达西

1856 年法国科学家达西 (Henry Philibert Gaspard Darcy, 1803—1858) 通过室内试验建立了有孔介质中水的渗透理论；1857 年英国科学家朗肯 (William John Macquorn Rankine, 1820—1872) 提出了建立在土体极限平衡条件分析基础上的土压力理论；1885 年法国著名的物理学家和数学家布辛尼斯克 (Joseph Valentin Boussinesq, 1842—1929) 和 1892 年弗拉曼 (Flamant) 分别提出了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖向集中力和线荷载作用下的位移和应力分布理论。这些早期的著名理论奠定了土力学的基础。

20 世纪初随着高层建筑的大量涌现，沉降问题开始突出，与土力学紧密相关的学

科——弹性力学的发展为沉降问题的研究提供了必要的手段，从而为太沙基（Terzaghi）开创的土体变形研究提供了客观条件。

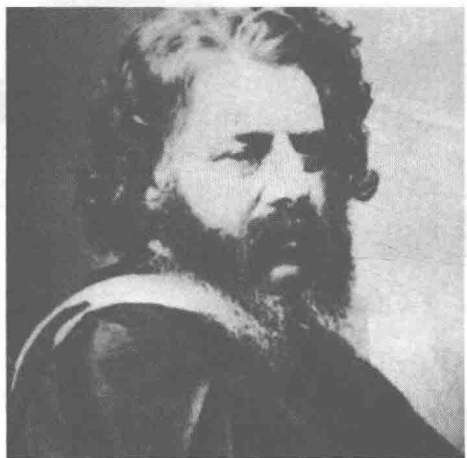


图 0-11 英国科学家朗肯



图 0-12 法国物理学家和数学家布辛尼斯克

太沙基（Karl Terzaghi, 1883—1963），又译泰尔扎吉，美籍奥地利土力学家，现代土力学的创始人。1923 年，太沙基提出了土体一维固结理论，接着又在另一文献《土力学原理》中提出了著名的有效应力原理，从而建立起一门独立的学科——土力学。此后，随着弹性力学的研究成果被大量吸收，变形问题的研究越来越成为重要的内容。但是，土体的破坏问题始终是当时土力学研究的主流。这一时期，在土体破坏理论研究方面的主要成就是：关于滑弧稳定分析方法的建立与完善；关于极限土压力的研究和承载力公式的提出；散粒体静力学的建立；关于土体破坏的运动方程和极限平衡理论的建立。在变形理论方面有：地基沉降计算方法的建立与完善；弹性地基梁板的计算；砂井固结理论；比奥（Biot）固结理论的提出和完善。

虽然在 20 世纪 50 年代已有人对塑性理论应用于土力学的可能性进行过探索，但直到 1963 年，英国土力学家罗斯科（K. H. Roscoe, 1914—1970）发表了著名的剑桥模型，才提出第一个可以全面考虑土的压硬性和剪胀性的数学模型，因而可以看作现代土力学的开端。



图 0-13 美籍奥地利土力学家太沙基



图 0-14 英国土力学家罗斯科

经过几十年的努力,现代土力学渐趋成熟,已在下列几方面取得重要进展:

- 1) 非线性模型和弹塑性模型的深入研究和大量应用。
- 2) 损伤力学模型的引入与结构性模型的初步研究。
- 3) 非饱和土固结理论的研究。
- 4) 砂土液化理论的研究。
- 5) 剪切带理论及渐进破损问题的研究。
- 6) 土的细观力学研究等。

思 考 题

- 0-1 土质学与土力学的研究内容有哪些?
- 0-2 举例说明该课程与土木工程专业的关系。

第1章 土的工程地质特征

【学习目标】 掌握土、土体的概念，土的基本特征及主要成因类型，土的结构和构造，软土、黄土的工程地质特性；理解土体的形成和演化过程；了解膨胀土、盐渍土、红黏土及冻土的工程地质特性。

【导读】 地球最外层的坚硬固体物质称为地壳，地壳厚度一般为30~60km，人类生存与活动范围仅限于地壳表层。在漫长的地质年代中，由于内动力地质作用和外动力地质作用，地壳表层的岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成颗粒大小悬殊的松散物质——土。在不同的自然环境中，由于各种营力的地质作用生成了不同类型的土，其工程性质也不同。

本章重点介绍土的形成及其工程地质特征。

1.1 土的形成

土的形成经历了漫长的地质过程，它是地质作用的产物，是一种矿物集合体。土的主要特征是分散性、复杂性和易变性。由于土的形成过程不同，加上自然环境的不同，使土的性质有极大的差异，而人类工程活动又促使土的性质发生变异。因此在进行工程建设时，必须密切结合土的实际性质进行设计和施工，否则，会影响工程的经济合理性和安全使用性。

1.1.1 土和土体的概念

(1) 土 GB/T 50941—2014《建筑地基基础术语标准》将土 (Soil) 定义为岩石经风化作用形成的岩屑与矿物颗粒，在原地或经搬运在异地混入自然界中的其他物质后形成的堆积物。

(2) 土体 土体不是一般土层的组合体，而是与工程建筑的稳定、变形有关的土层的组合体。土体是由厚薄不等，性质各异的若干土层，以特定的上、下次序组合在一起的。

1.1.2 土和土体的形成和演变

土是地壳中原来整体坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用而瓦解的碎块或矿物颗粒，再经水流、风力或重力作用、冰川作用搬运，在适当的条件下沉积成各种类型的土体。在搬运过程中，由于形成土的母岩成分的差异，颗粒大小、形态、矿物成分又进一步发生变化，并在搬运及沉积过程中由于分选作用形成在成分、结构、构造和性质上有规律的变化。土体沉积后，靠近地表的土体将经过生物化学及物理化学变化，即成壤作用，形成土。未形成的继续受到风化、剥蚀、侵蚀而经历再破碎、再搬运、再沉积等地质作用。

在不同的成土因素作用下，形成不同类型的土。如在热带和亚热带的湿热气候和常绿阔叶林下，土进行脱硅和富铁、铝化过程，形成红土；在寒温带冷湿润气候的针叶林下，土发生灰化过程，黏粒和铁、铝淋失并淀积于下层，上层的硅相对富集，形成灰化土；干旱和半干旱地区，因灌溉不当，排水不畅，地下水位上升，盐分随水上升积聚于地表，造成次生盐

渍化过程,形成次生盐土;有机质在土壤表层发生聚积,形成暗色的腐殖质层或泥炭层。

总之,土体的形成和演化过程,就是土的性质的变化过程,由于不同作用处于不同的作用阶段,土体就表现出不同的特点。

1.1.3 土的基本特征及主要成因类型

1. 土的基本特征

从工程地质观点分析,土有以下共同的基本特征:

(1) 土是自然历史的产物 土是由许多矿物自然结合而成的。它在一定的地质历史时期内,经过各种复杂的自然因素作用后形成各类土,形成土的时间、地点、环境以及方式不同,各种矿物在质量、数量和空间排列上都有一定的差异,其工程地质性质也不同。

(2) 土是相系组合体 土是由三相(固、液、气)所组成的体系。相系组成之间的变化,导致土的性质的改变。土的相系之间的质和量的变化是鉴别其工程地质性质的一个重要依据。它们存在着复杂的物理-化学作用。

(3) 土是分散体系 由二相或更多的相所构成的体系,其一相或一些相分散在另一相中,谓之分散体系。根据固相土颗粒的大小程度(分散程度),土可分为①粗分散体系(大于 $2\mu\text{m}$),②细分散体系($0.1\sim 2\mu\text{m}$),③胶体体系($0.01\sim 0.1\mu\text{m}$),④分子体系(小于 $0.01\mu\text{m}$)。分散体系的性质随着分散程度的变化而改变。粗分散体系与细分散体系和胶体体系的差别很大。细分散体系与胶体体系具有许多共性,可将它们合在一起看成是土的细分散部分。土的细分散部分具有特殊的矿物成分,并具有很高的分散性和比表面积,因而具有较大的表面能。任何土类均储备有一定的能量,在砂土和黏土类土中其总能量系由内部储量与表面能量共同构成。

(4) 土是多矿物组合体 在一般情况下,土中含有5~10种或更多的矿物,其中除原生矿物外,次生黏土矿物是主要成分。黏土矿物的粒径很小(小于 0.002mm),遇水呈现出胶体化学特性。

2. 土体的主要成因类型

按形成土体的地质营力和沉积条件(沉积环境),可将土体划分为若干成因类型,如残积、坡积、洪积、湖积、冲积等。以下介绍几种主要的成因类型的土体的性质、成分及其工程地质特征。

(1) 残积土(Residual Soil) 残积土体是由基岩风化而成,未经搬运留于原地的土体。它处于岩石风化壳的上部,是风化壳中剧风化带。残积土一般形成剥蚀平原。影响残积土工程地质特征的因素主要是气候条件和母岩的岩性。

1) 气候因素。气候影响着风化作用类型,从而使得不同气候条件不同地区的残积土具有特定的粒度成分、矿物成分、化学成分。

① 干旱地区:以物理风化为主,只能使岩石破碎成粗碎屑物和砂砾,缺乏黏土矿物,具有砾石类土的工程地质特征。

② 半干旱地区:在物理风化的基础上发生化学变化,使原生的硅酸盐矿物变成黏土矿物;但由于雨量稀少,蒸发量大,故土中常含有较多的可溶盐类,如 CaCO_3 、 CaSO_4 等。

③ 潮湿地区:

a. 在潮湿而温暖,排水条件良好的地区,由于有机质迅速腐烂,分解出 CO_2 ,有利于

高岭石的形成。

b. 在潮湿温暖而排水条件差的地区, 则往往形成蒙脱石。

从干旱、半干旱地区至潮湿地区, 土的粒度成分由粗变细; 土的类型从砾石类土过渡到砂类土、黏土。

2) 母岩因素。母岩的岩性影响着残积土的粒度成分和矿物成分; 酸性火成岩含较多的黏土矿物, 其岩性为粉质黏土或黏土; 中性或基性火成岩易风化成粉质黏土; 沉积岩大多是松软土经成岩作用后形成的, 风化后往往恢复原有松软土的特点, 如, 黏土岩黏土、细砂岩细砂土等。

残积土体的厚度在垂直方向和水平方向变化较大; 这主要与沉积环境、残积条件有关(山丘顶部因侵蚀而厚度较小; 山谷低洼处则厚度较大)。残积物一般透水性强, 以致残积土中一般无地下水。

(2) 坡积土 (Colluvial Soil) 坡积土体是残积土经雨水或融化雪水的搬运作用, 顺坡移动堆积而成, 所以其物质成分与斜坡上的残积物一致。坡积土体与残积土体往往呈过渡状态, 其工程地质特征也很相似。

1) 岩性成分多种多样。

2) 一般无层理。

3) 地下水一般属于潜水, 有时形成上层滞水。

4) 坡积土体的厚度变化大, 由几厘米至一二十米, 在斜坡较陡处薄, 在坡脚地段厚。斜坡的坡角越陡, 坡脚坡积土的范围越大。

(3) 洪积土 (Diluvial Soil) 洪积土体是暂时性、周期性地面水流——山洪带来的碎屑物质, 在山沟的出口处堆积而成。洪积土体多发育在干旱半干旱地区, 如我国的华北、西北地区。其特征为: 距山口越近颗粒越粗, 多为块石、碎石、砾石和粗砂, 且分选差, 磨圆度低、强度高, 压缩性小 (但孔隙大, 透水性强); 距山口越远颗粒越细, 且分选好, 磨圆度高, 强度低, 压缩性高。另外, 洪积土体具有比较明显的层理 (交替层理、夹层、透镜体等); 洪积土体中地下水一般属于潜水。

(4) 湖积土 (Lacustrine Soil) 湖积土体在内陆分布广泛, 一般分为淡水湖积土和咸水湖积土。淡水湖积土分为湖岸土和湖心土两种。湖岸土多为砾石土、砂土或粉质砂土; 湖心土主要为静水沉积物, 成分复杂, 以淤泥、黏性土为主, 可见水平层理。咸水湖积土以石膏、岩盐、芒硝及 RCO_3 岩类为主, 有时以淤泥为主。

湖积土体具有以下工程地质特征:

1) 分布面积有限, 且厚度不大。

2) 具独特的产状条件。

3) 黏土类湖积土常含有机质、各种盐类及其他混合物。

4) 具层理性, 各向异性。

(5) 冲积土 (Alluvial Soil) 冲积土体是由于河流的流水作用, 将碎屑物质搬运堆积在它侵蚀成的河谷内而形成的。冲积土体主要发育在河谷内以及山区外的冲积平原中, 一般可分为三种相, 即河床相、河漫滩相、牛轭湖相。

1) 河床相冲积土主要分布在河床地带, 冲积土一般为砂土及砾石类土, 有时也夹有黏土透镜体, 在垂直剖面上土粒由下到上, 由粗到细, 成分较复杂, 但磨圆度较好。山区河床

冲积土厚度不大,一般为10m左右;而平原地区河床冲积土则厚度很大,一般超过几十米,其沉积物也较细。河床相冲积土是良好的天然地基。

2) 河漫滩相冲积土是由洪水期河水将细粒悬浮物质带到河漫滩上沉积而成。一般为细砂土或黏土,覆盖于河床相冲积土之上。常为上下两层结构,下层为粗颗粒土,上层为泛滥的细颗粒土。

3) 牛轭湖相冲积土是在废河道形成的牛轭湖中沉积下来的松软土。由含有大量有机质的粉质黏土、砂质粉土、细砂土组成,没有层理。

河口冲积土由河流携带的悬浮物质,如粉砂、黏粒和胶体物质在河口沉积的淤泥质黏土、粉质黏土或淤泥,形成河口三角洲,往往作为港口建筑物的地基。

另外,还有很多土体类型,如冰川、崩积、风积、海洋沉积、火山等。

1.2 土的结构和构造

1.2.1 土的结构

土的结构是指土颗粒的大小、形状、表面特征,相互排列及其联结关系的综合特征。土的结构是在成土的过程中逐渐形成的,它反映了土的成分、成因和年代对土的工程性质的影响。

1. 单粒结构

单粒结构是碎石土和砂土的结构特征,如图1-1a所示。其特点是土粒间没有联结存在,或联结非常微弱,可以忽略不计。疏松状态的单粒结构在荷载作用下,特别在振动荷载作用下会趋向密实,土粒移向更稳定的位置,同时产生较大的变形;密实状态的单粒结构在剪应力作用下会发生剪胀,即体积膨胀,密度变松。单粒结构的紧密程度取决于其矿物成分、颗粒形状、粒度成分及级配的均匀程度。片状矿物颗粒组成的砂土最为疏松;浑圆的颗粒组成的土比带棱角的颗粒组成的土容易趋向密实;土粒的级配越不均匀,结构越紧密。

2. 蜂窝状结构

蜂窝状结构是以粉粒为主的土的结构特征,如图1-1b所示。粒径为 $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ 的土粒在水中沉积时,基本上是单个颗粒下沉,在下沉过程中、碰上已沉积的土粒时,如果土粒间的引力相对自重而言已经足够的大,则此颗粒就停留在最初的接触位置上不再下沉,形成大孔隙的蜂窝状结构。

3. 絮状结构

絮状结构是黏土颗粒特有的结构特征,如图1-1c所示。悬浮在水中的黏土颗粒当介质发生变化时,土粒互相聚合,以边-边、面-面的接触方式形成絮状物下沉,沉积为大孔隙的絮状结构。

土的结构形成以后,当外界条件变化时,土的结构会发生变化。例如,土层在上覆土层作用下压密固结时,结构会趋于更紧密的排列;卸载时土体的膨胀(如钻探取土时土样的膨胀或基坑开挖时基底的隆起)会松动土的结构;当土层失水干缩或介质变化时,盐类结晶胶结能增强土粒间的联结;在外力作用下(如施工时对土的扰动或切应力的长期作用)会弱化土的结构,破坏土粒原来的排列方式和土粒间的联结,使絮状结构变为平行的重塑结