

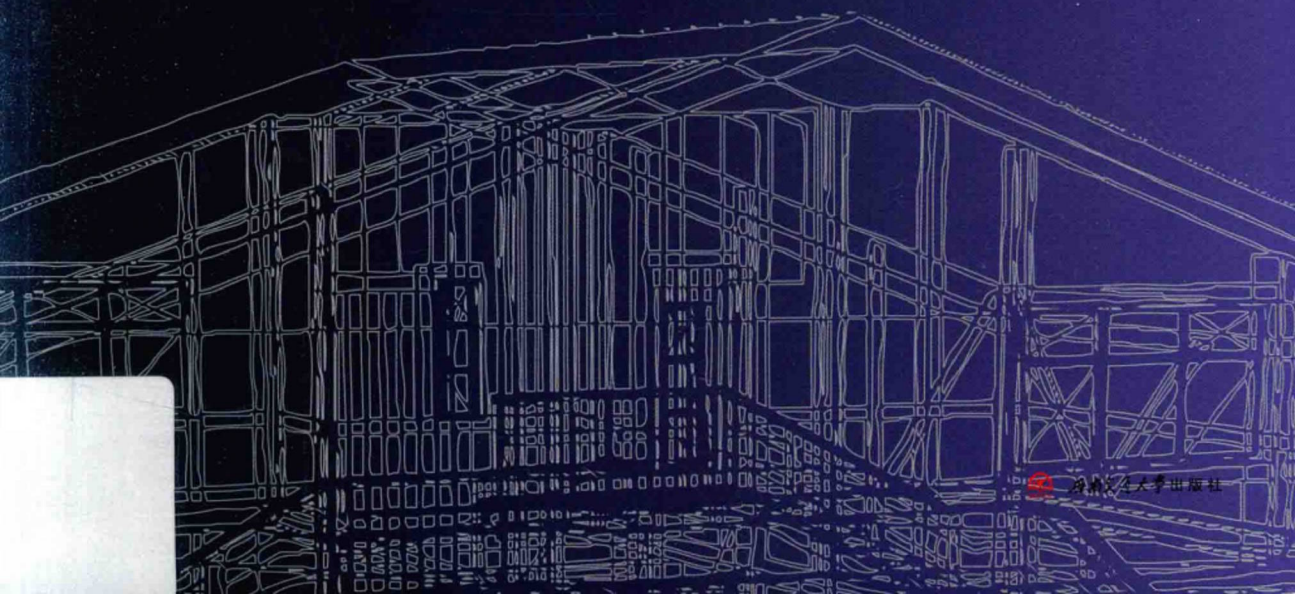


高等教育“十三五”规划系列教材

土力学与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

主 编◎苏 欣 杨继清



湖南大学出版社



高等教育“十三五”规划系列教材

土力学与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

主 编◎苏 欣 杨继清
副主编◎冯国建 刘文治 王立娜

西南交通大学出版社

·成 都·

图书在版编目 (C I P) 数据

土力学与地基基础 / 苏欣, 杨继清主编. —成都:

西南交通大学出版社, 2017.10

ISBN 978-7-5643-5829-7

I. ①土… II. ①苏… ②杨… III. ①土力学—高等学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 248636 号

土力学与地基基础

主 编 / 苏 欣 杨继清

责任编辑 / 姜锡伟

封面设计 / 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 16.75 字数 417 千

版次 2017 年 10 月第 1 版 印次 2017 年 10 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-5829-7

定价 38.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是配合高等教育“十三五”国家重点图书出版规划项目编写的系列教材之一，是高等学校土木建筑类及其他相关本、专科专业的专业基础教材，也可作为土建类专业勘测、设计及施工技术人员的参考书籍。

本书主要内容包括土力学与地基基础两部分，共 9 章。全书包括绪论、土的物理性质及工程分类、土体中的应力计算、土的压缩性与地基变形的计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、天然地基上的浅基础设计、桩基础及其他深基础、地基处理技术、特殊土地基及山区地基、土力学试验指导书。本书内容明确，实用性强，每章均有学习要点、思考题和习题，便于学生更好掌握本书内容。

本书由苏欣、杨继清主编。其中：杨继清编写第 0 章、第 1 章及负责土力学部分的统稿、修改和定稿，王立娜编写第 2 章和第 3 章；刘文治编写第 4 章和第 5 章；苏欣编写第 6 章、第 7 章以及土工试验指导书；冯国建负责编写第 8 章、第 9 章；地基基础部分由苏欣进行修订统稿。

由于编者水平有限，书中难免有不当或不妥之处，恳请使用本教材的广大师生、读者及专家提出宝贵意见。

编 者
2017 年 5 月

目 录

0 绪 论	1
0.1 概 述	1
0.2 本课程的内容、特点及学习要求	5
0.3 土力学与地基基础的发展概况	6
思考题	7
1 土的物理性质及工程分类	8
1.1 土的组成	8
1.2 土的物理性质指标	14
1.3 土的物理状态指标	20
1.4 土的压实性	25
1.5 土的工程分类	28
思考题	31
习 题	32
2 土体中的应力计算	33
2.1 土体中的应力概述	33
2.2 土的自重应力	33
2.3 基础底面压力	35
2.4 土中附加应力	38
思考题	50
习 题	50
3 土的压缩性与地基变形的计算	52
3.1 土的压缩性概述	52
3.2 土的压缩	52
3.3 地基沉降的最终计算	58
3.4 地基变形与时间的关系	70
思考题	74
习 题	74
4 土的抗剪强度与地基承载力	76
4.1 土的抗剪强度	76

4.2 地基承载力	87
思考题	97
习 题	98
5 土压力与土坡稳定	99
5.1 土压力概述	99
5.2 挡土墙上的土压力	100
5.3 朗肯土压力理论	101
5.4 库仑土压力理论	107
5.5 土坡和地基的稳定分析	111
5.6 常规挡土墙设计	119
思考题	124
习 题	125
6 天然地基上的浅基础设计	127
6.1 概 述	127
6.2 基础埋置深度的选择	136
6.3 基础底面尺寸的确定	140
6.4 地基承载力的确定及地基变形验算	145
6.5 刚性基础设计	152
6.6 扩展基础设计	154
6.7 减轻不均匀沉降危害的措施	167
思考题	172
习 题	172
7 桩基础及其他深基础	174
7.1 桩基础设计内容与设计原则	174
7.2 桩基的分类及构造要求	175
7.3 单桩竖向荷载的传递与承载力	181
7.4 桩基础设计	192
7.5 灌注桩施工	201
7.6 其他深基础简介	211
思考题	214
习 题	215
8 地基处理技术	216
8.1 概 述	216
8.2 换土垫层法	218
8.3 排水固结法	219
8.4 强夯法	220

8.5 挤密法和振冲法	221
8.6 化学加固法	225
思考题	229
习 题	229
9 特殊土地基及山区地基	231
9.1 软 土	231
9.2 湿陷性黄土	232
9.3 膨胀土	234
9.4 红黏土	235
9.5 山区地基	236
思考题	239
参考文献	240
附录 土力学实验指导书	241
实验一 土的密度实验	241
实验二 土的含水率实验	243
实验三 土的液塑限联合测定仪法试验	245
实验四 土的直接剪切试验	250
实验五 土的压缩试验	257

0 绪 论

0.1 概 述

0.1.1 土力学与地基基础的研究内容

土力学是以工程力学和土工测试技术为基础,利用力学的一般原理,研究与工程建设有关的土的应力、变形、强度和稳定性及其随时间变化规律的一门应用科学。

广义土力学还包括土的成因、组成、物理化学性质及分类等在内的土质学。

地基基础是建立在土力学基础上的设计理论与计算方法,和土力学密不可分。其研究内容涉及土力学、结构设计、施工技术以及与工程建设相关的各种技术问题。

研究地基问题实际就是研究土的问题,因为土力学是地基基础的理论基础。研究土力学就是要研究土的特性及其受力后的变化规律,由于一切工程的基础都建造在地表或埋置在土中,与土有着密切的关系,所以研究地表的土层的工程地质特性及力学性质,具有十分重要的意义。

0.1.2 土、土力学、地基与基础的概念

土:土是岩石风化的产物。地壳表层的岩石长期受物理、化学和生物风化的作用,致使大块岩体不断破碎与分解,再经过搬运、沉积而成为大小、形状和成分各不相同的松散颗粒集合体——土。

由于成土母岩矿物成分和形成的历史环境的不同,土体在自然界的种类繁多,分布复杂,性质各异。由于土颗粒之间的连接强度远小于土颗粒自身的强度,故土体常表现出散体性;由于土体内部的孔隙存在水和空气,常受外界温度、湿度及压力等因素的影响,故土具有多孔性、多样性、易变性等特点。因此,在工程建设前我们必须充分了解场地的工程地质情况,对土体做出正确的判断和评价。

地基与基础是两个完全不同的概念。我们通常将埋置于土层一定深度下的建(构)筑物下部与地基相接触的建(构)筑物底部称为基础,它起着支撑上部结构并把上部结构荷载传递给地基的任务。而支承建筑物荷载的土层或岩层称为地基。与建(构)筑物基础底面直接接触的土层称为持力层;而在持力层下面的土层称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。上部结构、地基与基础的关系如图 0-1 所示。

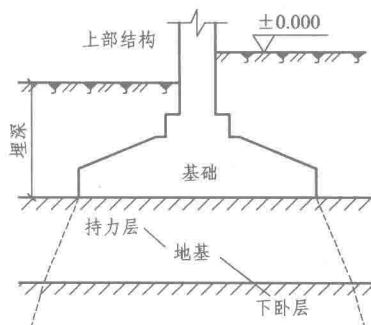


图 0-1 地基与基础示意图

基础在建（构）筑物中起着承上启下的作用，即承受上部结构作用的全部荷载，并将其传递、扩散到地基中。因此，基础必须具有足够的强度和稳定性，以保证建（构）筑物的安全和正常使用。而地基承载着由基础传递来的整个建（构）筑物的荷载，对整个建（构）筑物的安全和正常使用起根本性的作用，所以要求地基必须具有足够的强度和稳定性，地基的沉降变形在规范允许的范围内。

地基基础的设计需满足三个条件：

① 强度要求，即作用于地基上的荷载效应（基底压应力）不得超过地基承载力（特征值或容许值），在荷载的作用下地基不发生剪切破坏或失稳。

② 变形要求，控制地基的变形，使之不超过建筑物的地基变形允许值，保证建筑的正常使用。

③ 基础结构本身应具有足够的强度和刚度，在地基反力作用下会发生强度破坏，并且具有改善地基沉降与不均匀沉降的能力。

虽然建（构）筑物的地基、基础和上部结构的功能和作用各不相同，但三者是相互联系、相互制约的整体。设计时应根据场地的地质勘察资料，综合考虑地基、基础和上部结构的相互作用，考虑静力平衡、变形协调及施工条件，对各种设计方案进行技术比较，从而选择安全可靠、经济合理、技术先进、施工方便及对环境保护有益的地基基础设计方案。

0.1.3 地基与基础的类型

根据土层地质条件的变化情况、上部结构荷载大小的要求、荷载的特点和施工的技术条件，可采用不同形式、不同类型的地基基础。

1. 地基的类型

无论是岩层还是土层，都是自然界的产物，拟建场地一经确定，人们对工程地质条件便没有选择的余地，只能尽可能地了解，并进行合理的利用和处理。未经加固处理直接作为地基的天然土层称为天然地基；如地基土层较软弱，工程性质较差，需对其进行人工处理或加固后才能作为建（构）筑物地基的称为人工地基。

2. 基础的类型

基础有多种类型，按埋置深度的不同可分为浅基础和深基础。对一般的建（构）筑物，若地基土层较好，埋深不大（ $h < 5\text{ m}$ ），采用一般方法和设备施工的基础称为浅基础，如独立基础、条形基础、筏板基础、箱形基础、壳体基础等。如果建（构）筑物荷载较大或地基土层较软弱，需要将基础埋置于较深处（ $h \geq 5\text{ m}$ ）良好的土层上，且需借助特殊的施工方法及机械设备施工的基础称为深基础，如桩基础、墩基础、沉井基础、沉箱基础及地下连续墙等。

0.1.4 基础工程的重要性

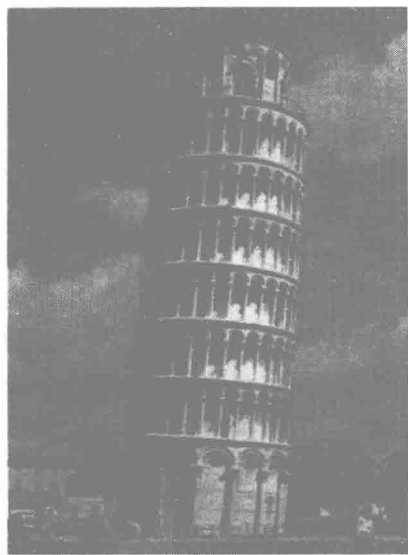
地基和基础是建（构）筑物的根基，又位于地面以下，属地下隐蔽工程。它的勘察、设

计以及施工质量的好坏,直接影响建筑物的安全。事实上,并不是每个基础工程设计都是成功的,许多建筑物的工程质量事故是由地基基础事故造成的。而且,地基基础一旦发生质量事故,补救与处理都很困难,甚至不可挽救,损失极大。因此,工程技术人员必须对地基基础问题给予足够的重视,以高度的责任感和科学的态度,对待工程的地基基础问题。许多工程事故都与地基基础有关,例如意大利比萨斜塔、苏州的虎丘塔等,都发生严重的塔身倾斜,原因都与地基的强度和变形有关。

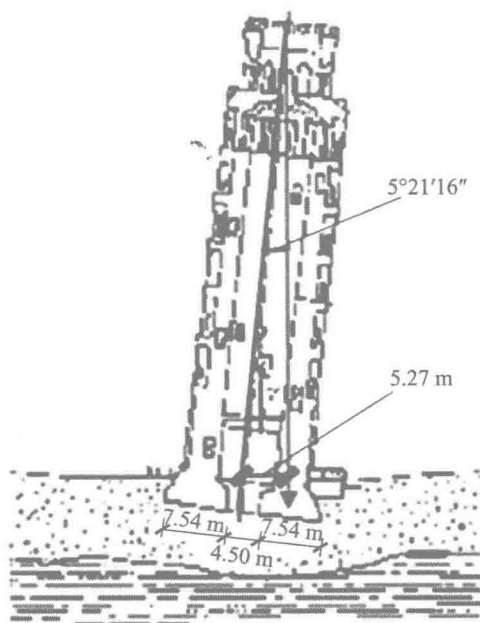
举几个国内外地基基础成败的工程实例:

1. 变形问题

举世闻名的意大利比萨斜塔就是一个典型实例。意大利的比萨斜塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年建至第 4 层中部高度 29 m 时,因塔明显倾斜而停工。94 年后,1272 年复工,经 6 年时间建完第 7 层,高 48 m,再次停工中断 82 年。1360 年再次复工,至 1370 年竣工,前后历经近 200 年。该塔共 8 层,高 55 m,全塔总荷重 145 MN,相应的地基平均压力约为 50 kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。由于地基的不均匀下沉 500 多年来以每年倾斜 1 cm 的速度增加,塔向南倾斜,南北两端沉降差 1.8 m,塔顶离中心线已达 5.27 m,倾斜 5.5° ,成为危险建筑(图 0-2)。



比萨斜塔全景



比萨斜塔剖面图

图 0-2 比萨斜塔

苏州虎丘塔,建于五代周显德六年至北宋建隆二年(公元 959—961),7 级八角形砖塔,塔底直径 13.66 m,高 47.5 m,重 63 000 kN。其地基土层由上至下依次为杂填土、块石填土、亚黏土夹块石、风化岩石、基岩等,由于地基土压缩层厚度不均及砖砌体偏心受压等,该塔向东北方向倾斜。1956—1957 年间,相关单位对上部结构进行修缮,但使塔重增加了 2 000 kN,加速了塔体的不均匀沉降。1957 年,塔顶位移为 1.7 m,到 1978 年发展到 2.32 m,重心偏离

基础轴线 0.924 m，砌体多处出现纵向裂缝，部分砖墩应力已接近极限状态。后在塔周建造一圈桩排式地下连续墙，并采用注浆法和树根桩加固塔基，基本遏制了塔的继续沉降和倾斜（图 0-3）。

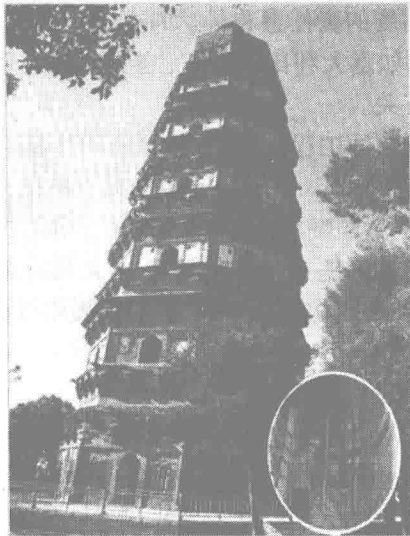


图 0-3 苏州虎丘塔

2. 强度问题

加拿大特朗斯康谷仓，南北长 59.44 m，东西宽 23.47 m，高 31.00 m。其基础为钢筋混凝土筏板基础，厚 61 cm，埋深 3.66 m。谷仓 1911 年动工，1913 年秋完成。谷仓自重 20 000 t，相当于装满谷物后总重的 42.5%。1913 年 9 月装谷物，至 31 822 m³时，发现谷仓 1 小时内竖向沉降达 30.5 cm，并向西倾斜，24 h 后倾倒，西侧下陷 7.32 m，东侧抬高 1.52 m，倾斜 27°。地基虽破坏，但钢筋混凝土筒仓却安然无恙，后用 388 个 50 t 千斤顶纠正后继续使用，但位置较原先下降 4 m。

事故的原因是：设计时未对谷仓地基承载力进行调查研究，而采用了邻近建筑地基 352 kPa 的承载力，事后 1952 年的勘察试验与计算表明，该地基的实际承载力为 193.8 ~ 276.6 kPa，远小于谷仓地基破坏时 329.4 kPa 的地基压力，地基因超载而发生强度破坏（图 0-4）。

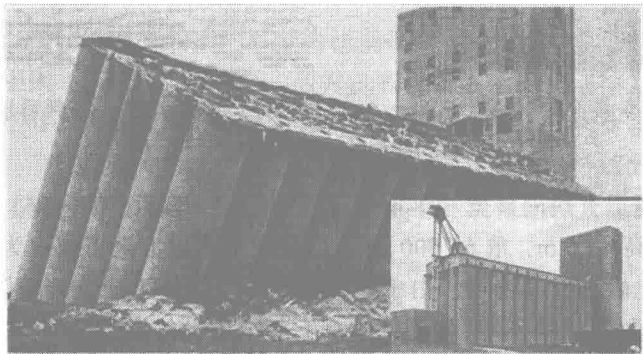


图 0-4 加拿大特朗斯康谷仓

3. 渗透问题

1963年,意大利265 m高的瓦昂拱坝上游托克山左岸发生大规模的滑坡,滑坡体从大坝附近的上游扩展长达1 800 m,并横跨峡谷滑移300~400 m,估计有2亿~3亿立方米的岩块滑入水库,冲到对岸形成100~150 m高的岩堆,致使库水漫过坝顶,冲毁了下游的朗格罗尼镇,死亡约2 500人,但大坝却未遭破坏。

我国连云港码头的抛石棱体,1974年发生多次滑坡。

1998年长江全流域发生特大洪水时,万里长江堤防经受了严峻的考验,一些地方的大堤垮塌,大堤地基发生严重管涌,洪水淹没了大片土地,人民生命财产遭受巨大的威胁。仅湖北省沿江段就查出4 974处险情,其中:重点险情540处,有320处属地基险情;溃口性险情34处,除3处是涵闸险情外,其余都是地基和堤身的险情。

0.2 本课程的内容、特点及学习要求

“土力学与地基基础”是高等院校土建类专业的一门必修课程。本课程包括土力学和基础工程两部分,土力学部分为专业基础课,基础工程部分为专业课。本课程涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科领域,内容广泛,综合性、理论性和实践性很强。学生学习时应从本专业出发,重视工程地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力,掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,并能应用这些基本概念和原理,结合有关结构理论和施工知识,分析和解决地基基础问题。

本书主要内容包括土力学与地基基础两部分,共9章。本书内容明确,实用性强,每章均有学习要点、思考题和习题,便于学生更好掌握本书内容。

第0章为绪论、第1章土的物理性质及工程分类,为本课程的基础知识部分;第2章土体中的应力计算;第3章土的压缩性与地基变形计算;第4章土的抗剪强度与地基承载力,为土力学的基本原理部分,也是本课程的重点内容,分别讲述了土体中的应力分布及地基沉降计算的方法,土的抗剪强度理论及剪强度测试方法,土的极限平衡原理和条件,地基承载力的确定方法;第5章土压力与土坡稳定,讲述土坡稳定分析的基础知识,土压力的概念,产生条件及计算,重力式挡土墙的墙型选择、验算内容和方法。

第6章天然地基上的浅基础设计、第7章桩基础及其他深基础两章分别讲述浅基础的类型与设计、施工要点,桩基础的类型与设计、施工要点;第8章地基处理讲述了常用地基处理方法和适用范围;第9章特殊土地基及山区地基讲述了区域性特殊土如湿陷性黄土、膨胀土和红黏土的主要物理特性,以及为减少其对基础的危害所采取的方法和措施。

土工试验指导书主要介绍了常规试验的目的、原理、步骤和方法。

在本课程的学习中,必须自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索,并特别注意认识土的多样性和易变性等特点。此外,还必须掌握有关的土工试验技术及地基勘察知识,对建筑场地的工程地质条件作出正确的评价,才能运用土力学的基本知识去正确解决基础工程中的疑难问题。

本课程与材料力学、结构力学、弹性理论、建筑材料、建筑结构及工程地质等有着密切

的关系,本书在涉及这些学科的有关内容时仅引述其结论,要求理解其意义及应用条件,而不把注意力放在公式的推导上。

通过本课程的学习,学生应掌握下列几方面的知识:

(1) 熟悉土的基本物理、力学性质,掌握一般土工试验原理和方法。

(2) 掌握土中应力、变形、强度及土压力的基本理论和计算,学会利用这些知识分析解决地基基础工程中的实际问题。

(3) 掌握天然地基上一般浅基础的设计方法及单桩承载力的计算和桩基础的设计,了解基坑支护与地基处理的一般方法。

(4) 能正确地使用《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)及其他相关的规范、规程进行地基基础的设计计算。

此外,在处理基础工程问题时,必须运用本课程的基本原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。因此,在学习时必须注意理论联系实际,才能提高分析问题和解决问题的能力。

0.3 土力学与地基基础的发展概况

土力学与地基基础既是一门古老的工程技术,又是一门新兴的理论,它伴随着生产实践的发展而发展,经历了从感性认识到理性认识、形成独立学科和新的发展四个阶段。

1. 经验积累和感性认识阶段(18世纪以前)

人们对土在工程建设方面的特性还停留在感性认识状态,许多土力学问题只凭借经验解决。如公元前3世纪修建的万里长城,公元7世纪开通的南北大运河。

2. 理论发展阶段(18世纪中期至19世纪末)

(1) 1773—1776年,法国库仑(Coulomb)根据试验,提出了土的抗剪强度和土压力和滑动土楔理论,土力学进入古典理论时期,1857年朗肯(Rankine)从塑性应力场出发建立了新的土压力理论。

(2) 1885年,法国辛纳斯克(Roussinesq)求得半无限空间弹性体在竖向集中力作用下,全部6个应力分量和3个形变分量的理论解,为以后计算地基变形建立了理论基础。

(3) 达西(Darcy, 1856年)通过水在砂中的渗流试验,建立达西公式,为以后研究渗流和固结理论打下了基础。

3. 形成独立学科阶段(19世纪末至20世纪)

1922年,瑞典费伦纽斯(Fellenius)在处理铁路滑坡问题时,提出了土坡稳定分析方法。

4. 迅速进展阶段(20世纪至今)

(1) 1925年,美国土力学家太沙基(Terzaghi)的《土力学》(Erdbaumechanik)出版,土力学的发展进入了一个新的时期,土力学成为一门独立的学科。

(2) 为了总结和交流世界各国的理论和经验,1936年,国际土力学基础工程学会成立,

之后每 4 年召开一次国际土力学和基础工程会议，推动了这门学科在世界范围的发展。

(3) 1956 年，土力学进入近代时期，以美国科罗拉多州波德尔 (Boulder,colorado) 举行的黏土抗剪强度学术会议以及英国正在开展的土应力-应变性质研究工作为时代的标志。

(4) 在以后的时间里，由于计算机的普及应用，土力学在基本理论、计算方法、室内和现场的试验设备等诸多方面都取得了革命性的发展。

时至今日，在土建、交通、水利、桥隧等相关的工程中，以岩土体的利用、改造与整治问题为研究对象的科技领域，因其区别于结构工程的特殊性和各专业岩土问题的共同性，已融合为一个自成体系的新专业——岩土工程。我国土力学与地基基础科学技术，作为岩土工程的一个重要组成部分，将继续遵循现代岩土工程的工作方法和研究思路，取得更高、更多的成就，为我国的现代化建设作出更大的贡献。

思考题

1. 土力学与地基基础研究的内容是什么？什么是地基和基础？
2. 地基和基础的类型有哪些？
3. 什么是天然地基？什么是人工地基？
4. 联系工程实际说明基础工程的重要性。

1 土的物理性质及工程分类

【学习要点】

本章将首先阐明土的组成、土的基本物理性质指标及有关特征，再利用这些指标及特征对土进行分类。要求掌握土的三相组成，熟练计算土的物理性质及物理状态指标，熟悉土的压实原理，了解地基土的工程分类，为后续学习土力学打下基础。

1.1 土的组成

土是一种松散的颗粒堆积物，由固相、液相和气相三部分组成。固相部分主要是土粒，有时还有粒间胶结物和有机质，它们在土中起着骨架作用；液相部分为水及其溶解物；气相部分为空气和其他气体。如土中孔隙全部为水填充时，称为饱和土；如土中孔隙全部为气体充满时，为干土；如孔隙中同时存在空气和水时，为湿土。在一般情况下，在地下水位以上一定高度范围内的土为湿土。饱和土和干土为二相系，湿土为三相系，只有当饱和土完全冻结时，土才为单相系。

1.1.1 土的固相

土的固相是土粒的骨架部分，土粒的矿物成分、形状、大小及其搭配情况对土的工程性质有明显的影响。

1. 矿物成分

在自然界，土是风化作用的产物。其中：物理风化只引起岩块的机械破碎，使岩石产生量的变化，其风化产物基本保持与母岩相同的成分，称为原生矿物，如长石、石英、云母等，它们的性质比较稳定、无塑性，砾石和砂等粗粒土主要由原生矿物所组成。而化学风化则使岩石发生质的变化，它不仅破坏了母岩的结构，而且使其化学成分发生改变并形成新的矿物，这种矿物称为次生矿物，如高岭石、伊利石、蒙脱石等，它们的性质比较活泼，有较强的吸附水的能力，具有塑性。

土中含黏土矿物愈多，土的黏性、塑性和胀缩性也愈大。因此，评价工程性质时，必须重视土的形成历史、环境及存在条件对土性的影响。

2. 土粒的大小和土的级配

土颗粒的大小与成土矿物之间存在一定的相互关系。因此，土粒的大小也就在一定程度

上反映了土粒性质的差异。例如，颗粒粗大的卵石、砾石和砂大多数为浑圆状或棱角状的石英颗粒，具有较大的透水性，不具有黏性；而颗粒较小的黏粒，则具有黏性，透水性较低等。（在工程上，粗粒土的粒径用土粒所能通过的最小筛孔尺寸表示，细粒土的粒径则用土粒的水力当量直径表示。）

天然土是由无数大小不同的土粒所组成的，逐个研究每个颗粒的大小是不可能的。因此，常常把大小相接近的土粒合并在一起，称为粒组。工程上常用的粒组有：砾、砂粒、粉粒、黏粒、胶粒。其中，又把粒径大于 0.075 mm 的土粒称为粗粒组，小于 0.075 mm 的土粒称为细粒组。各粒组的进一步细分和粒径范围见表 1-1。

表 1-1 土的粒组

粒组名称			粒径范围/mm
粗粒组	砾	粗 砾	60 ~ 20
		中 砾	20 ~ 5
		细 砾	5 ~ 2
	砂 粒	粗 粒	2 ~ 0.5
		中 粒	0.5 ~ 0.25
		细 粒	0.25 ~ 0.075
细粒组	粉 粒		0.075 ~ 0.005
	黏 粒		<0.005
	胶 粒		<0.002

为便于研究：
土中某颗粒的土粒含量（ x ）定义为：

$$x = \frac{W_i}{W} \times 100\% \tag{1-1}$$

式中 W_i ——某粒组中土粒质量；
 W ——干土总质量。
而土中个粒组的相对含量称为土的级配。

3. 颗粒分析试验

测定土中各粒组百分含量的过程，称为颗粒分析。

在实验室中，常用的试验方法有：对粒径大于 0.075 mm 的粗粒土用筛析法；对粒径小于 0.075 mm 的细粒土用比重计法等。当土中兼含有大于和小于 0.075 mm 的土粒时，两种方法可联合使用。

筛析法是利用一套孔径由大到小的筛子，将事先称过质量的干试样放入筛中，充分振摇，将留在各级筛上的土分别称量，先算出小于某粒径的土粒含量，再确定土中各粒组的相对含量。

比重计法是根据土粒在静水中的沉降速度不同来分离土粒组的。其实质是根据密度相同的土粒在静水中自由下沉时，粒径大的沉速快，粒径小的沉速慢的原理进行的。

根据斯托克斯（Stokes）公式，得：

$$v = \frac{g(\rho_s - \rho_w)}{1800\eta} \cdot d^2 \quad (\text{粒径和速度的关系}) \tag{1-2}$$

式中： ρ_s 为土粒密度； ρ_w 为水的密度； η 为水的动力黏滞系数。

对于某一种土的悬液来说，当 T 不变时，式（1-2）中的 g 、 ρ_s 、 ρ_w 、 η 均为常数，令

$$A = \sqrt{\frac{1800\eta}{g(\rho_s - \rho_w)}} \tag{1-3}$$

则
$$d = A \cdot \sqrt{v} \tag{1-4}$$

可见，在一定温度下，比重相当的土粒，沉速与粒径的平方成正比。另外，从质点运动原理学可得：

$$v = \frac{l}{t} \tag{1-5}$$

式中： l 为土粒沉降深度； t 为土粒沉降时间。

从而

$$\frac{d}{A} = \sqrt{\frac{l}{t}} \Rightarrow d = A \cdot \sqrt{\frac{l}{t}} \tag{1-6}$$

所以，在实验室，只要测出 l 和 t ， d 就可以求出，进而计算出各粒组的百分含量。

4. 颗粒分析成果的表达方法

为使颗粒分析成果便于利用和容易看出规律，需要将粒径分析的资料加以整理并用较好的方法表现出来。目前，通常采用表格法和图解法来表示。

1) 表格法

表格法是将分析资料填在已列好的表格内，如表 1-2 所示。

表 1-2 表格法分析粒组的百分含量

土样编号	粒组的百分含量						
	>2 mm	2~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.1 mm	0.1~0.05 mm	0.05~0.005 mm	<0.005 mm
土样 1	21	8	6	18	8	29	10
土样 2	10.6	64.5	16.4	8.5			

该法简单，内容具体，但不易看出规律性。

2) 图解法

常用的图解法有累积曲线、分布曲线、三角图三种。这里着重介绍前两种。