



全国应用型高等院校土建类“十三五”规划教材

地基与基础

主编 孙武斌 焦同战



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



全国应用型高等院校土建类“十三五”规划教材

地基与基础

主编 孙武斌 焦同战



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书以现行规范为主线,通过对基础理论的深入了解和基本概念的正确应用,从而达到土力学与地基基础理论与实践的更好结合。章节内容包括绪论,土的物理性质及分类,地基中的应力计算,土的压缩性与地基沉降计算,土的抗剪强度与地基承载力,岩土工程勘察,土压力、边坡稳定与基坑支护,天然地基上的浅基础设计,桩基础设计,地基处理和区域性地基。本书可作为应用型高等学校土木工程及相关专业的教学用书,也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地基与基础 / 孙武斌, 焦同战主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 3
全国应用型高等院校土建类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-6354-4

I. ①地… II. ①孙… ②焦… III. ①地基—高等学校—教材②基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第046318号

书 名	全国应用型高等院校土建类“十三五”规划教材 地基与基础 DIJI YU JICHU
作 者	主编 孙武斌 焦同战
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	天津嘉恒印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.5印张 439千字
版 次	2018年3月第1版 2018年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

FOREWORD

本书编写的基本原则是：设计与施工密切结合，以具体应用现行设计与施工技术规范与工程实践为主线，根据现行《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2011）、《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2009）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）和《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—2002）等技术规范或规程，通过对基础理论的深入了解和对基本概念的正确应用，从而达到土力学与地基基础理论与实践的更好结合。本书内容包括绪论、土的物理性质及分类、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、岩土工程勘察、土压力、边坡稳定与基坑支护、天然地基上的浅基础设计、桩基础设计、地基处理和区域性地基。

本书由内蒙古建筑职业技术学院孙武斌、焦同战担任主编，内蒙古建筑职业技术学院梁美平、甄小丽担任副主编，内蒙古建筑职业技术学院张晨霞、杨素霞、赵琦武、张叶红，以及华北水利水电大学李明霞担任参编。具体编写分工如下：绪论、项目 6、项目 9 由焦同战编写；项目 1、项目 10 由孙武斌、张晨霞编写；项目 2、项目 3 由杨素霞、李明霞编写；项目 4 由赵琦武编写；项目 5 和土工试验指导书由甄小丽编写；项目 7 由张叶红编写；项目 8 由梁美平编写。全书由内蒙古建筑职业技术学院建筑工程学院院长李仙兰主审。

在编写过程中引用了国内外许多专家、学者的相关资料，由于篇幅所限，文献目录不能一一列出，在此表示诚挚的谢意。

限于编者水平和能力，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2017 年 9 月

目录

CONTENTS

前言

绪论	1
习题	6

项目 1 土的物理性质及分类	7
1.1 土的成因	7
1.2 土的组成	10
1.3 土的物理性质指标	12
1.4 无黏性土的密实度	17
1.5 黏性土的物理特征	19
1.6 地基土（岩）的分类	21
1.7 土的击实性	24
1.8 土的渗透性	26
习题	28

项目 2 地基中的应力计算	30
2.1 土体自重应力的计算	30
2.2 基底压力分布与简化计算	32
2.3 竖向荷载作用下地基附加应力计算	36
习题	44

项目 3 土的压缩性与地基沉降计算	45
3.1 土的压缩性	45
3.2 地基最终沉降量计算	49
3.3 地基沉降与时间的关系	57

3.4 建筑物的沉降观测与地基允许变形值	62
习题	64

项目4 土的抗剪强度与地基承载力

4.1 概述	66
4.2 土的抗剪强度	67
4.3 土的剪切试验	72
4.4 地基承载力及其确定	76
习题	83

项目5 岩土工程勘察

5.1 岩土工程勘察的基本知识	84
5.2 岩土工程勘察报告的阅读	89
5.3 验槽	93
习题	98

项目6 土压力、边坡稳定与基坑支护

6.1 土压力	99
6.2 挡土墙设计	108
6.3 边坡稳定	113
6.4 基坑支护	119
习题	141

项目7 天然地基上的浅基础设计

7.1 概述	143
7.2 浅基础的类型及构造	147
7.3 基础埋置深度选择	152
7.4 基础底面尺寸的确定	158
7.5 无筋扩展基础设计	163
7.6 扩展基础设计	167
7.7 减轻不均匀沉降的措施	177
习题	180

项目8 桩基础设计

8.1 概述	182
--------------	-----

8.2 桩的承载力	190
8.3 桩基础设计	200
习题	210

项目 9 地基处理

9.1 概述	211
9.2 机械压实法	213
9.3 强夯法	216
9.4 换填垫层法	219
9.5 预压地基法	222
9.6 水泥粉煤灰碎石桩复合地基	226
9.7 注浆加固法	231
习题	237

项目 10 区域性地基

10.1 湿陷性黄土地基	239
10.2 膨胀土地基	242
10.3 红黏土地基	245
10.4 山区地基	246
10.5 软土地基	251
10.6 冻土地基	254
10.7 盐渍土地基	257
习题	260

附录 土工试验指导书

试验一 含水率试验	261
试验二 密度试验	263
试验三 液塑限联合测定试验	265
试验四 压缩试验 (标准固结试验)	268
试验五 直接剪切试验	270
试验六 击实试验	272

习题参考答案

参考文献

绪 论

项目要点

- (1) 土力学、地基、基础的概念。
- (2) 地基基础在建筑工程中的重要性。
- (3) 本课程的内容和学习要求。
- (4) 土力学的学科发展。

土力学、地基、基础虽然概念上是不同的，但是却相互关系密切。目前土力学的理论是指导工程建设的重要理论，是地基、基础建设的前提条件。

通过本项目的学习，了解土力学的一些基本概念，掌握土力学课程的特点、内容、学习要求及学习建议，了解学科的发展情况。

1. 土力学的基本概念

(1) 土力学。工程地质学和土力学两者都是工程实用科学，是研究作为建筑物地基的岩土体的形成、存在及其工程性状，应用于解决地基基础的设计与施工的岩土工程领域。但两者的学科内涵不同，研究方法不同。工程地质学是从宏观的角度出发来研究岩土工程问题，而土力学是从微观的角度出发研究土的强度、变形、稳定性和渗透性的一门学科。

研究土的基本物理特性和在建筑物荷载作用下的应力、应变、强度、稳定性以及渗透性等规律的学科就是土力学 (Soil Mechanics)，将土力学与岩石力学统一于一个新的学科称为岩土力学 (Geomechanics)。

土的定义 (狭义)：岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积等物理、化学、生物作用，在地壳表面形成的各种松散堆积物，建筑工程上就称为土，广义的土包括岩石在内。由于土是一种自然地质形成的产物，性质复杂多变，与一般的建筑材料不同，因而与其他学科的研究方法有所不同，主要采用勘探与试验、原位观测与理论分析和工程实践相结合的方法解决工程实际问题。

(2) 土的特点。

1) 土是自然历史的组合体。土不是一下子就形成的，它经过了漫长的地质历史时期，并且是在各种复杂的自然因素（包括风、雨、雪、河流、海洋等对岩石的作用）和地质作用下才形成的，随着形成的时间、地点以及形成的方式不同，土的工程特性也有所不同（图 0.1）。沉积时间较长的土工程性质相对较好，形成时间较短的土工程性质相对较差；内陆沉积的土工程性质比沿海地区沉积的要好，所以在研究土的工程性质时应对土的成因类型等方面加以研究。

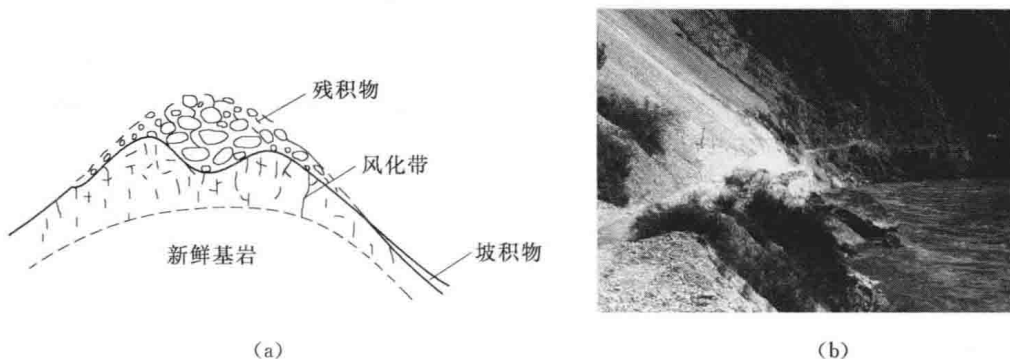


图 0.1 土的生成
(a) 土的生成地质剖面图；(b) 坡积物

2) 土是多相系的组合体。工程中所研究的土并不只是土的颗粒，而主要研究的是松散堆积物的整体，这个整体是由不同的相系所组成的多相体系。矿物颗粒组成土的骨架，骨架间有孔隙，若孔隙中同时存在着水和气体，则土是三相的，土粒、水和气体分别称为土的固相、液相和气相。有时土是由四相所组成，即固相、液相、气相及有机质。固相是构成土的主要成分，当土颗粒之间的孔隙被水所充满时就形成了两相的饱和土；当土颗粒之间的孔隙中没有水时也形成了两相（固相、空气）土（干土）。

3) 土是多矿物的组合体。一般情况下，土中含有 5~10 种或更多的矿物，包括原生矿物和次生矿物。矿物，一般是指：存在于地壳中的具有一定化学成分和物理性质的自然元素或化合物；原生矿物，一般是指岩浆在冷凝过程中所形成的矿物（如石英、长石、云母等）；次生矿物，一般是指原生矿物经化学风化等作用后而形成的新的矿物。

(3) 基础。地基、基础和上部结构三部分是彼此联系、相互影响和共同作用的，设计时应根据场地的工程地质条件，综合考虑地基、基础和上部结构三部分的共同作用和施工条件，选取安全可靠、经济合理的施工方案。

建筑物向地基传递荷载的下部结构就是基础。基础依据埋置深浅分为以下两类。

1) 浅基础。通常把埋深不大（一般浅于 5m），不需要采用特殊方法施工的基础统称为浅基础（如墙下条形基础、柱下扩展基础等）。

2) 深基础。若浅层地基不良，需要基础埋置较深时，一般都需要用特殊的施工方法和装备来修建的基础称为深基础（如桩基础、沉井、沉箱、地下连续墙等）。

(4) 地基。建筑物的全部荷载都由它下面的地层来承担，受建筑物影响的那一部分地层称为地基，如图 0.2 所示。地基按是否经过人工处理分为以下两种。

1) 天然地基。基础直接砌筑在未经人工处理的天然土层土，这种地基就称为天然地基，多数支承建筑物的土层都可以采用天然地基。

2) 人工地基。当天然地基的承载力或变形不能满足设计要求时，对地基要进行人工加固处理，经人工处理后的地基称为人工地基。

基础下的地基可能有若干层，直接与基础接触的第一层土，并承受压力的土层称为持力层，地基范围内持力层下部的所有土层称为下卧层。

建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化，因此就必须研究在荷载作用下地基的变形和承载力问题，以便使地基基础的设计满足以下两个基本条件。

- a. 地基应有足够的强度。要求作用于地基上的荷载（基底压力）不超过地基承载力，保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备。
- b. 控制基础的沉降不超过允许值，保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。

除了满足上述两个基本条件外，还应该满足安全可靠、经济合理的原则。

建筑物是由地基、基础和上部结构组成的统一整体，既互相联系又互相制约。目前要把这三者完全统一起来进行设计尚有一定难度，但在处理地基基础问题时，应该从地基、基础和上部结构共同工作的整体概念出发，全面地加以考虑才能收到良好的效果。

2. 地基和基础的重要性

地基和基础是建筑物的根基，又属于地下隐蔽工程，它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。实践表明，许多建筑物的工程质量事故往往发生在地基基础之上，而且，一旦事故发生，补救并非易事。此外，随着城市的发展，高层建筑越来越多，基础的埋置深度越来越大，因此，基础工程费用占建筑物总造价的比例越来越高。所以地基与基础在建筑工程中的重要性显而易见。工程实践中的地基基础事故屡见不鲜，以下实例可见一斑。

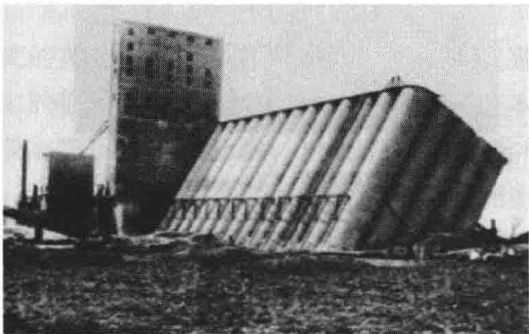


图 0.3 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

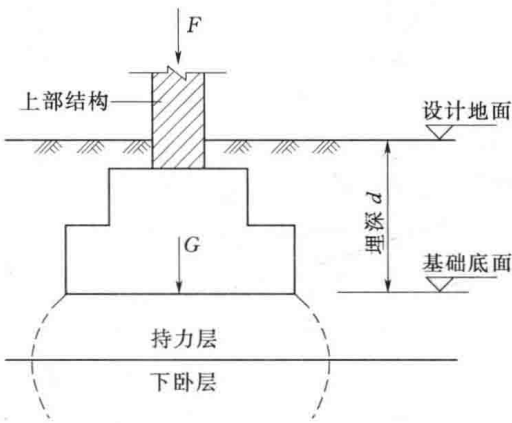


图 0.2 地基及基础示意图

(1) 强度问题。图 0.3 是建于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓地基破坏情况。该谷仓由 65 个圆柱形筒仓构成，高 31m，宽 23.5m，其下为钢筋混凝土筏板基础，由于事前不了解基础下埋藏有厚达 16m 的软黏土层，谷仓建成后初次储存谷物达 27000t 后，发现谷仓明显下沉，结果谷仓西侧突然陷入土中 7.3m，东侧上抬 1.5m，仓身倾斜近 27°。后查明谷仓基础底面单位面积压力超过

300kPa，而地基中的软黏土层极限承载力才约 250kPa，因此造成地基产生整体破坏并引发谷仓严重倾斜。该谷仓由于整体刚度极大，因此虽倾斜极为严重，但谷仓本身却完好无损。后于土仓基础之下做了 70 多个支承于下部基岩上的混凝土墩，使用了 388 个 50t 千斤顶以及支撑系统才把仓体逐渐扶正，但其位置比原来降低了近 4.0m。这是地基产生剪切破坏，建筑物丧失其稳定性的典型事故实例。

(2) 变形问题。举世闻名的意大利比萨斜塔就是一个典型实例，如图 0.4 所示。比萨斜塔建于 1173 年，当建至 24m 时发现倾斜面被迫停工，100 年后建至塔顶，该塔共 8 层，55m 高。由于地基压缩层厚度不均，塔基的基础深度不够，再加上用大理石砌筑，塔身非常重，达 1.42 万 t。北侧沉降逾 1m，南侧下沉近 3m，沉降差达 1.8m，倾斜 5.8°，塔顶离中心线已达 5.27m。比萨斜塔向南倾斜，塔顶离开垂直线的水平距离已达 5.27m，比萨斜塔的倾斜归因于它的地基不均匀沉降。1590 年，伽利略在此塔上做了著名的自由落体试验。1932 年，曾向塔基灌注 1000t 水泥也未奏效。1997 年 2 月，开始经历两年半通过土壤萃取的方法，钟塔的倾斜度减少了 0.5°。2001 年 12 月塔正式向公众开放。

(3) 渗透问题。美国提堂坝位于爱达荷州斯内克 (Snake) 河支流提堂 (Teton) 河上，心墙土石坝，最大坝高 93m (自河床至坝顶)，水库总库容 3.6 亿 m³，装有 1 台 1.6 万 kW 的水轮发电机组，灌溉面积 6.5 万 hm²，兼有防洪作用。工程于 1971 年开工，1975 年 10 月大坝建成并开始蓄水。1976 年 6 月 5 日发生溃坝失事，如图 0.5 所示。1976 年 6 月 3 日发现右岸坝头坝脚下游 400m 和 460m 两处渗出清水，至 6 月 5 日大坝溃决。失事后，坝体 1/3 土料被冲走。提堂河和斯内克河下游 130km，面积 780km² 的地区全部或局部遭受溃水泛滥。4 万 hm² 农田被淹，冲毁铁路 52km，11 人死亡，25000 人无家可归。

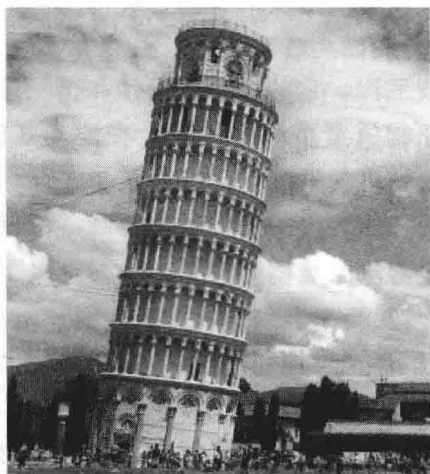


图 0.4 意大利比萨斜塔

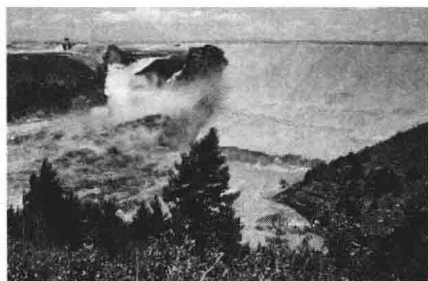


图 0.5 美国提堂 (Teton) 大坝溃决

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。

(4) 冻融问题。查龙水电站位于西藏自治区那曲县境内怒江上游的那曲河上，海拔高

程 4250.00~4600.00m, 水库总库容 1.38 亿 m^3 , 装机 10.8MW, 1995 年 8 月投入运行。主要水工建筑物由混凝土面板堆石坝、开敞式溢洪道、泄洪放空洞、有压引水隧洞、发电厂房及开关站等组成。查龙水电站位于高海拔地区, 自然气候条件恶劣, 年最冷月月平均气温为 -13.8°C , 极限最低气温达 -41.2°C , 年气温正负变化交替次数达 187 次, 结冻厚度约 1m, 加之严重缺氧、风沙大, 混凝土结构极易产生冻融。查龙水电站枢纽工程完工 6 年时间, 由于受到冻融、冲刷、施工及运行等因素的影响, 溢洪道、泄洪放空洞的过水部位混凝土结构破损较为严重。

3. 课程的特点、内容、学习要求及学习建议

(1) 课程特点。本课程是一门理论性和实践性都较强的课程, 与其他结构工程的课程不同, 它有以下几个特点。

1) 土力学是以土的三相体系作为一个整体进行研究的, 成分复杂, 从坚硬的岩石到软弱的淤泥及淤泥质土, 工程性质差异甚大, 进行建筑物设计时必须掌握土的工程性质。

2) 地基土质条件不以人的愿望来选择, 一旦建筑物场地确定, 就无选择的余地, 有时场地位置稍有变化, 土的性质就会相差很大。

3) 地基和基础在地面以下, 属于隐蔽工程, 它的勘察、设计和施工质量直接影响建筑物的安全, 一旦发生地基基础的质量事故, 较难挽救处理。因此, 它的技术要求高, 不可以轻易处置。

4) 本课程内容多, 涉及范围广。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, 综合性强。

(2) 学习内容。本课程学习主要有 10 个项目, 绪论和项目 1 主要介绍了土力学的基本概念和土的物理性质与工程分类知识; 项目 2~项目 4 是土力学的基本原理部分, 要求理解土中应力分布规律及地基沉降计算方法, 学会用规范的方法计算地基沉降, 掌握土的抗剪强度定律、抗剪强度指标的测试方法与选用方法, 了解土的极限平衡原理与条件, 并学会确定地基承载力的规范方法。项目 5 要求了解岩土工程勘察的基本知识, 掌握常用的勘察方法和勘察报告的阅读方法; 项目 6 要求了解土压力的概念和产生条件, 学会一般情况下的土压力计算方法, 熟悉边坡稳定分析的基本方法和适用条件, 熟悉基坑支护的设计理论及施工方法; 项目 7~项目 10 为地基基础部分, 包括浅基础设计、桩基础、区域性地基和地基处理的有关知识, 要求能够运用土力学理论解决实际工程中经常遇到的一般性地基基础问题; 土工试验部分有土工试验指导书列出相关试验的理论及方法。

(3) 学习要求。本课程的学习内容包括理论、试验和经验。理论学习方面要掌握理论公式的意义和应用条件, 明确理论的假定条件, 掌握理论的适用范围; 试验学习方面要了解土的物理性质和力学性质, 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; 重视工程地质基本知识的学习, 了解工程地质勘察的程序和方法, 注意阅读和使用工程地质勘察资料能力的培养; 经验在工程应用中是必不可少的, 要不断从实践中总结经验, 以便能切合实际地解决工程实际问题。

(4) 学习建议。在学习本课程时, 应充分认识到本学科的特点, 学习理论知识要密切联系工程实际问题。学习时应突出重点、兼顾全面, 学习过程中要善于总结、归纳, 应该重视工程地质学的基本知识, 培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力; 牢固掌握土的应

力、变形、强度和地基计算等土力学的基本原理，熟悉常见的基坑支护方法及其原理，从而能够应用这些基本概念和原理，结合有关建筑结构理论和施工知识，分析和解决地基基础问题。

4. 本学科发展概况

在建筑工程领域中，土力学与基础工程是个重要的学科，它既是一项古老的工程技术，又是一门年轻的应用科学。

本学科的发展经历了漫长的过程，是人类在长期的生产实践中发展起来的一门学科。18 世纪欧洲工业革命开始以后，随着资本主义工业化的发展，经很多学者的研究，初步奠定了土力学的理论基础。直到 1925 年，美国著名科学家、土力学奠基人太沙基归纳前人的成就，出版了《土力学》一书，比较系统地介绍了土力学的基本内容，土力学才成为一门独立的学科。在此以前，很多科学家也对土力学学科发展作出了突出贡献，库仑于 1773 年根据试验建立了库仑强度理论，随后还发展了库仑土压力理论。达西 1856 年研究了砂土的渗透性，发展了达西渗透公式。朗肯 1857 年研究了半无限体的极限平衡，随后发展了朗肯土压力理论。布辛涅斯克 1885 年求得了弹性半空间在竖向集中荷载作用下应力和变形的理论解答。弗伦纽斯 1922 年建立了极限平衡法，用于土坡稳定分析。这些理论的建立与发展为土力学学科的形成奠定了基础。同时这些理论与方法，直到今天，仍不失其理论与实用的价值。基础工程工艺更是早在史前人们的建筑活动中就出现了。例如，西安半坡村新石器时代遗址中的土台和石础，公元前 2 世纪修建的万里长城，后来修建的南北大运河、黄河大堤以及天坛、故宫和苏州虎丘塔、赵州桥等宏伟建筑，虽经历沧桑变迁，仍能留存至今。随着土力学学科的发展，以土力学作为理论基础的基础工程也得到了空前的发展。

20 世纪 60 年代后期，由于计算机的出现、计算方法的改进与测度技术的发展以及本构模型的建立等，迎来了土力学发展的新时期。现代土力学主要表现为“一个模型”（即本构模型）、“三个理论”（即非饱和土的固结理论、液化破坏理论和逐渐破坏理论）、“四个分支”（即理论土力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学）。由于基础工程是处在地下的隐蔽工程，工程地质条件极其复杂且差异较大，虽然土力学与基础的理论与技术比以往有了突飞猛进的发展，但仍有许多问题值得研究与探索。

习 题

- 0.1 土力学的研究对象、研究内容是什么？
- 0.2 试说明地基与基础的意义、作用和分类，并说明建筑物对地基与基础的要求。
- 0.3 什么是持力层？什么是下卧层？
- 0.4 联系本地区的实际说明学习本课程的重要性。

土的物理性质及分类

项目要点

- (1) 土的三相组成、三相比例指标的工程意义及换算。
- (2) 无黏性土和黏性土的物理特征。
- (3) 地基土（岩）的分类。

土是由固体颗粒（又称固相）、水（液相）和气体（气相）所组成，故称为三相系。土中颗粒的大小、成分及三相之间的比例关系，反映出土的不同性质，如干湿、轻重、松紧及软硬等。土的这些物理性质与力学性质之间有着密切的联系。如土松且湿，则强度低而压缩性大；反之，则强度高而压缩性小。故土的物理性质是土的最基本性质。

本项目将分别阐明土的组成、土的基本物理性质指标及其有关特征，并利用这些指标及特征对地基土进行工程分类。

1.1 土 的 成 因

1.1.1 土的生成

土是岩石经风化、剥蚀、破碎、搬运、沉积等过程的产物，是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。在漫长的地质历史中，地壳岩石在相互交替的地质作用下风化、破碎为散碎体，在风、水和重力等作用下，被搬运到一个新的位置沉积下来形成“沉积土”。

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 3 种。由于气温变化，岩石胀缩开裂，崩解为碎块的属于物理风化，这种风化作用只改变颗粒的大小与形状，不改变矿物成分，形成的土颗粒较大，称为原生矿物；由于水溶液、大气等因素影响，使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化，碳酸盐化引起岩石破碎的属于化学风化，这种风化作用使岩石的

矿物成分发生改变，土的颗粒变得很细，产生次生矿物；由于动物、植物的生长使岩石破碎的属于生物风化，这种风化作用具有物理风化和化学风化的双重作用。

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），每代又分若干纪，每纪又分若干世。上述“沉积土”基本是在离我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差别。根据不同的成因条件，主要的第四纪沉积物有残积物、坡积物、洪积物、冲积物、海洋沉积物、湖泊沉积物、冰川沉积物及风积物等。

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 ₄	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

1.1.2 土的结构和构造

1. 土的结构

土的结构是指土在生成过程中所形成土粒的空间排列及其连接形式，通常认为有单粒结构、蜂窝结构和絮状结构 3 种。

(1) 单粒结构。单粒结构是由粗大土粒在水或空气中下沉而形成的。全部由砂粒及更粗土粒组成的土都具有单粒结构。因其颗粒较大，土粒间的分子吸引力相对很小，所以

颗粒间几乎没有连接，至于未充满孔隙的水分只可能使其具有微弱的毛细水连接。单粒结构可以是疏松的，也可以是紧密的（图 1.1）。

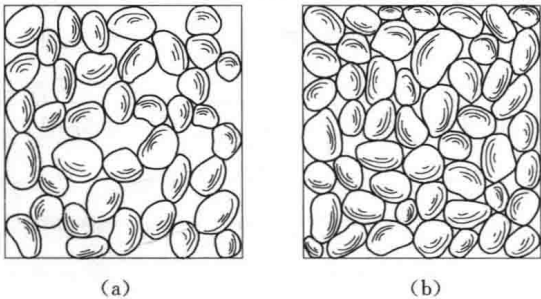


图 1.1 土的单粒结构
(a) 松散；(b) 密实

呈紧密状单粒结构的土，由于其土粒排列紧密，在动荷载、静荷载作用下都不会产生较大的沉降，所以强度较大，压缩性较小，是较为良好的天然地基。

具有疏松单粒结构的土，其骨架是不稳定的，当受到震动及其他外力作用时，土粒易于发生移动，土中孔隙剧烈减少，引起土的很大变形。因此，这种土层如未经处理一般不宜作为建筑物的地基。

(2) 蜂窝结构。蜂窝结构主要由粉粒（粒径在 0.005~0.075mm）组成的土的结构形式。据研究，粒径在 0.005~0.075mm 左右的土粒在水中沉积时，基本上是以单个土粒下沉，当碰上已沉积的土粒时，由于它们之间的相互引力大于其重力，因此，土粒就停留在最初的接触点上不再下沉，形成具有很大孔隙的蜂窝状结构（图 1.2），具有松散、强度低、压缩性高等特性。

(3) 絮状结构。絮状结构是由黏粒（粒径小于 0.005mm）集合体组成的结构形式。黏粒能够在水中长期悬浮，不因自重而下沉。当这些悬浮在水中的黏粒被带到电解质浓度较大的环境中（如海水），黏粒凝聚成絮状的集粒（黏粒集合体）而下沉，并相继和已沉积的絮状集粒接触，而形成类似蜂窝而孔隙很大的絮状结构（图 1.3），这类结构由于含有大量孔隙而具有高压缩性。

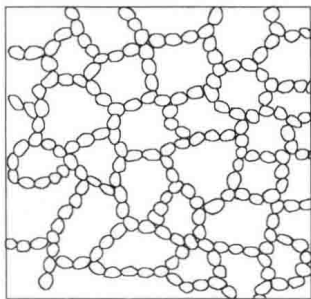


图 1.2 土的蜂窝结构

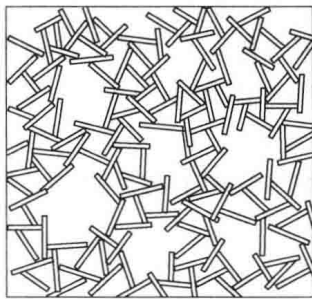


图 1.3 土的絮状结构

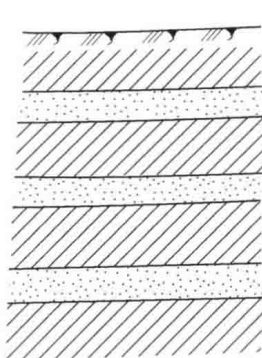
在上述三种结构中，以密实的单粒结构土的工程性质最好，后两种结构土，如因扰动破坏天然结构，则强度低、压缩性大，不可作为天然地基。

2. 土的构造

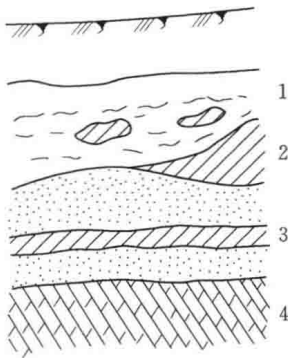
土的构造是指同一土层中成分和大小都相近的颗粒或颗粒集合体相互关系的特征，是从宏观的角度研究土的组成。一般可分为层状构造和裂隙构造。

(1) 层状构造。土粒在沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同，沿竖向呈层状特征。常见的有水平层理构造 [图 1.4 (a)] 和带有夹层、尖灭和透镜体等交错层理构造 [图 1.4 (b)]。

(2) 裂隙构造。土体被许多不连续的小裂隙所分割，在裂隙中常充填有各种盐类的沉淀物。不少坚硬和硬塑状态的黏性土具有此种构造（图 1.5）。黄土具有特殊的柱状裂隙。裂隙破坏土的整体性，增大透水性，对工程不利。



(a)



(b)

图 1.4 层状构造

(a) 水平层理；(b) 交错层理

1—淤泥夹黏土透镜体；2—黏土尖灭；
3—砂土夹黏土层；4—基岩

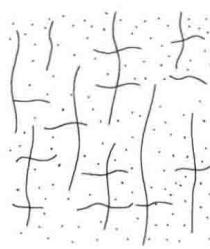


图 1.5 裂隙构造

此外，土中的包裹物（如腐殖物、贝壳、结核体）以及天然或人为的孔洞等构造特征也造成土的不均匀性。

1.2 土的组成

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。固体颗粒构成土的骨架，是三相体系中的主体，水和气体填充土骨架之间的空隙，土体三相组成中每一相的特性及三相比例关系对土的性质有显著影响。

1.2.1 土的固体颗粒

土中固体颗粒（简称土粒）的大小和形状、矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的主要因素。

1. 粒组的划分

在自然界中存在的土，都是由大小不同的土粒组成的。土粒的粒径由粗到细逐渐变化时，土的性质相应地发生变化，如土的性质随着粒径的变细可塑性从无到有、黏性从无到有、透水性从大到小、毛细水从无到有等。工程中常把大小相近的土粒合并为组，称为粒组。根据《土的工程分类标准》（GB/T 50145—2007），将土粒划分为若干粒组，见表 1.2。

表 1.2 土粒粒组的划分

粒组	颗粒名称		粒径 d 的范围/mm	一般特性
巨粒	漂石（块石）		$d > 200$	透水性很大，无黏性，无毛细水
	卵石（碎石）		$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
		中砾	$5 < d \leq 20$	
		细砾	$2 < d \leq 5$	
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$	易透水，无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$	
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$	
细粒	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，但速度较慢

注 1. 漂石、卵石颗粒均呈一定的磨圆形状（圆形或亚圆形）；块石、碎石颗粒都带有棱角。
2. 黏粒或称黏土粒，粉粒或称粉土粒。

2. 土的颗粒级配

工程上土常常是不同粒组的混合物，而土的性质主要取决于不同粒组的相对含量。土的颗粒级配（又称土的粒度成分）是指粒径大小不同土粒的搭配情况，通常以土中各个粒组的相对含量的百分比来表示。为了了解各粒组的相对含量，就需进行颗粒分析，颗粒分析的方法有筛分法、密度计法和移液管法。筛分法适用于粒径为 0.075~60mm 的土，粒