



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学 与地基基础

主 编 蒋 红 张建隽



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学与地基基础

主 编 蒋 红 张建隽



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据高职高专院校土建类专业的教学要求,并按照国家颁布的新规范、新标准编写而成,是全国水利水电高职教研会规划教材。

本书共分 11 章,主要内容包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性、土中应力与地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、工程地质常识与地基勘察、天然地基上的浅基础设计、桩基础与其他深基础、地基处理、区域性地基及土工试验指导。

本书内容简明,重点突出,实用性强,既可作为高职高专建筑工程、水利工程、市政工程、工程造价、工程监理等专业及相关专业的教学用书,也可供土建类专业勘察、设计和施工技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 / 蒋红, 张建隽主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2012.2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9332-9

I. ①土… II. ①蒋… ②张… 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(2012)第009627号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 土力学与地基基础
作 者	主 编 蒋 红 张建隽
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 (发行部) 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
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.5 印张 362 千字
版 次	2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编 委 会

主 编 蒋 红 张建隽

副主编 欧阳越 祝冰青 李方灵 常小会

 袁 慧 程 健 孔定娥

前言

《土力学与地基基础》是全国水利水电高职教研会规划教材，是高职高专建筑工程、市政工程、水利工程及其相关专业的系列规划教材。教材主要介绍了土力学的基本原理和主要概念，阐述了基础设计与分析的基本方法和基础处理的原理和方法，并简要介绍了地基勘察和土工试验等内容。

教材紧密结合高职人才培养目标，强调适用性、实用性和可操作性。在编写过程中注重理论联系实际，以应用为重点，结合工程实例，作深入浅出的说明。本书理论部分尽可能以够用为度，删繁就简；实用内容尽量充实加强，力求更新。

本书以现行有关规范为主要依据编写，注重理论概念的准确性和完整性。根据专业基础课的特征，书中附有针对性较强的例题、思考题和习题，供教学使用及学生课后训练。全书结构紧凑、内容精练、体系完整，除作为教材使用外，也可供土建类专业技术人员参考使用。

本书由蒋红、张建隽担任主编，欧阳越、祝冰青、李方灵、常小会、袁慧、程健、孔定娥担任副主编。参加编写的人员及分工如下：安徽水利水电职业技术学院蒋红编写绪论、第8章、第11章；太原城市职业技术学院张建隽编写第1章；安徽水利水电职业技术学院祝冰青编写第5章、第6章；太原城市职业技术学院袁慧编写第7章；安徽水利水电职业技术学院李方灵编写第3章；安徽水利水电职业技术学院常小会编写第2章、第4章；安徽水利水电职业技术学院程健编写第9章；安徽水利水电职业技术学院孔定娥编写第10章。

全书由安徽水利水电职业技术学院张思梅副教授主审。

本书在编写过程中参考了很多规范、同类教材和相关资料，在此对其作者表示深深的谢意！由于时间紧促及编者水平有限，难免存在各种不足和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011年12月

目 录

前言

绪论	1
复习思考题与习题	4
第1章 土的物理性质与工程分类	5
1.1 土的成因与特性	5
1.2 土的三相组成	9
1.3 土的物理性质指标	14
1.4 土的物理状态指标	18
1.5 土的压实机理	22
1.6 地基岩土工程分类	24
1.7 土的野外鉴别	27
复习思考题与习题	31
第2章 土的渗透性	32
2.1 达西定律及其适用范围	32
2.2 渗透力与渗透变形	36
复习思考题与习题	40
第3章 土中应力与地基变形计算	42
3.1 自重应力计算	42
3.2 基底压力的计算	45
3.3 地基附加应力计算	48
3.4 土的侧限压缩试验	53
3.5 地基最终沉降量的计算	56
3.6 地基沉降与时间的关系	62
3.7 建筑物的沉降观测	66
复习思考题与习题	68
第4章 土的抗剪强度与地基承载力	71
4.1 土的抗剪强度与极限平衡条件	71
4.2 抗剪强度指标的测定	74
4.3 地基承载力的确定	79

复习思考题与习题	83
第 5 章 土压力与土坡稳定	85
5.1 土压力的种类及影响因素	85
5.2 静止土压力的计算	87
5.3 朗肯土压力理论	88
5.4 库仑土压力理论	91
5.5 特殊情况下土压力的计算	95
5.6 挡土墙稳定性分析	98
5.7 土坡稳定性分析	104
复习思考题与习题	108
第 6 章 工程地质常识与地基勘察	110
6.1 工程地质常识	110
6.2 地基勘察的目的和内容	121
6.3 地基勘察方法	126
6.4 地基勘察报告的编制与阅读	129
6.5 验槽与基槽的局部处理	138
复习思考题与习题	142
第 7 章 天然地基上的浅基础设计	143
7.1 浅基础的类型	143
7.2 基础埋置深度的选择	147
7.3 基础底面尺寸的确定	152
7.4 基础结构设计	157
7.5 减轻不均匀沉降的措施	170
复习思考题与习题	172
第 8 章 桩基础与其他深基础	174
8.1 桩基础的类型	174
8.2 桩的承载力	178
8.3 桩基础设计	183
8.4 其他深基础	190
复习思考题与习题	193
第 9 章 地基处理	195
9.1 概述	195
9.2 机械压实法	197
9.3 换土垫层法	198
9.4 排水固结法	202
9.5 砂桩挤(振)密法	205

9.6 振动水冲法	207
9.7 化学加固法	209
复习思考题与习题	213
第 10 章 区域性地基	214
10.1 膨胀土地基	214
10.2 湿陷性黄土地基	216
10.3 红黏土地基	218
10.4 冻土地基	219
10.5 山区地基	220
10.6 地震区的地基基础问题	223
复习思考题与习题	225
第 11 章 土工试验指导	226
11.1 密度试验——环刀法	226
11.2 含水率试验——烘干法	227
11.3 界限含水率试验——液限、塑限联合测定法	228
11.4 击实试验	230
11.5 固结试验——快速法	232
11.6 直接剪切试验——快剪法	234
参考文献	237

绪 论

内容概述 本章主要介绍了地基、基础的概念及其重要性，同时，对于本学科的发展也做了简明扼要的介绍。

学习目标 了解地基与基础在工程中的重要性、地基与基础工程的发展概况；熟悉本课程的内容和学习要求；掌握地基与基础的概念、地基与基础设计的基本要求。

1. 土力学、地基与基础的概念

土是岩石风化的产物，是各种矿物颗粒的集合体，由固体颗粒、空隙中的水和空气组成的三相体系。颗粒包括互不联结、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有联结、但联结强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土与其他连续固体介质相区别的最主要特征就是它的多孔性和散体性，以及由于自然地理环境的不同所形成的具有明显区域性的一些特殊性质。

土力学是用力学的基本原理研究土的物理、化学和力学性质，以及土体在荷载、水、温度等外界因素作用下工程性状的应用科学。一般认为，土力学是力学的一个分支，但由于土具有复杂的工程特性，因此，目前在解决土工问题时，尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式，而必须借助经验、现场试验以及室内试验，辅以理论计算。所以，土力学是一门实践性很强的学科。

任何建筑物都是建造在一定的地层（土或石）上的。土层受到建筑物的荷载作用以后，其内部原有的应力状态就会发生变化。工程上将要建筑物影响在土层中产生附加应力和变形，且这种影响不能忽略的那部分土层称为地基。即支承基础的土体或岩体，如图 0.1 所示。天然土层可以直接作为建筑物地基的称为天然地基，需经人工加固处理后才能作为建筑物地基的称为人工地基。当地基由两层以上土层组成时，通常将直接与基础接触的土层称为持力层，其下的土层称为下卧层。

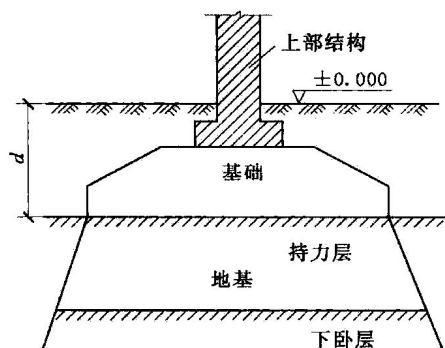


图 0.1 上部结构、基础与地基的关系

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构。因此，建筑物基础是位于上部结构和地基之间，起着把上部结构的荷载分布开来并传递到地基中去的作用。根据埋置深度的不同，基础可分为浅基础和深基础。浅基础通常指深度不大于 3~5m，用常规的施工方法即可建造，而深基础是指土质不良，借助于特殊的施工方法建造的，如桩基础、沉井基础和地下连续墙等。

为了保证建筑物的安全和正常使用，地基与基础设计应满足以下基本要求。

(1) 地基承载力要求。应使地基具有足够的承载力（不小于基础底面的压力），在荷

载作用下地基不发生剪切破坏或失稳。

(2) 地基变形要求。不使地基产生过大的沉降和不均匀沉降（小于建筑物的允许变形值），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，在地基反力作用下不会发生强度破坏，并且具有改善地基沉降与不均匀沉降的能力。

2. 本课程在建筑工程中的作用

地基和基础位于地面以下，系隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量，直接影响建筑物的安全，一旦发生质量事故，补救和处理往往很困难，甚至是不可能的。在建筑史上，许多建筑工程质量事故就是发生在地基基础问题上。如著名的意大利比萨斜塔（图 0.2），我国苏州虎丘塔（图 0.3）所发生的塔身严重倾斜，就是地基非均匀沉降所致。

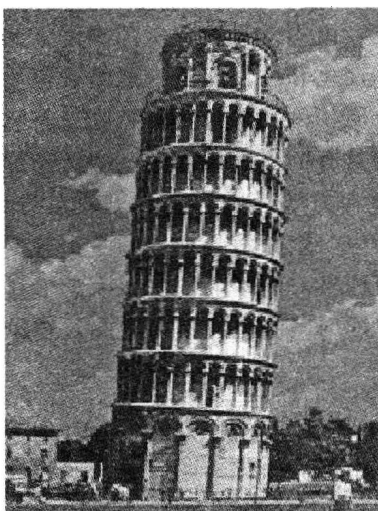


图 0.2 比萨斜塔图

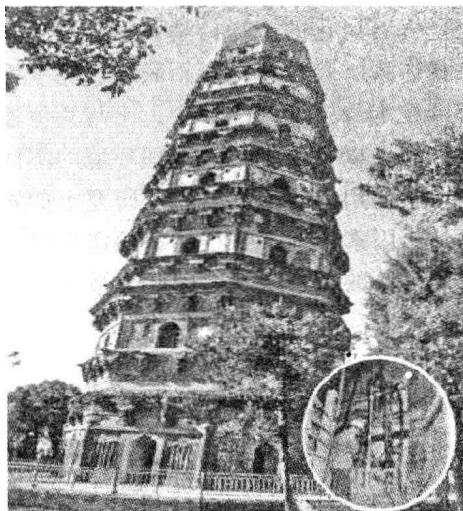


图 0.3 苏州虎丘塔

随着社会的进步和科技的发展，大型、高层结构日益增多，在基础工程设计和施工方面积累了丰富的经验，但也有不少失败的教训。如加拿大特朗斯康谷仓，1913 年秋完工，建筑面积 $59.44\text{m} \times 23.47\text{m}$ ，高 31m ，容积 36368m^3 ，由 65 个钢筋混凝土圆柱形筒仓组成，基础采用钢筋混凝土筏板基础，厚 61cm ，埋置深度 3.66m ，谷仓自重 200000t ，相当于装满谷物后满载总重量的 42.5% 。建成当年 10 月第一次装谷子 31822m^3 ，约 1h 后，发现谷仓下沉达 30.5cm ，没有引起重视，任其发展， 24h 内整座谷仓倾斜，西端下沉 7.32m ，东端抬高 1.52m ，仓身整体倾斜 $26^\circ 53'$ ，由于谷仓整体刚度较高，地基破坏后，钢筋混凝土筒仓仍保持完整。事故发生后，经勘察发现，谷仓的场址位于冰川湖的盆地中，地基中存在冰河沉积的黏土层，厚 12.2m ，黏土层上面是沉积层，厚 3.0m 。黏土层下面为固结良好的冰川下冰喷层，厚 3.0m 。谷仓加载后使基础底面上的平均压应力达 329.4kPa ，超过了地基的极限承载力 276.6kPa ，因而造成地基发生强度破坏而整体失稳。事后，为了修复筒仓，在基础下面设置了 70 多个混凝土墩，支承在 16m 深的基岩上，使用了 388 个 500kN 的千斤顶以及支撑系统，逐渐将倾斜的筒仓纠正过来。经过纠倾处理



后,谷仓于1916年起恢复使用,但修复后的谷仓的位置比原来下降了4m,如图0.4所示。

以上工程案例足以说明地基与基础的重要性。因此,在对地基与基础进行设计时,一定要充分掌握地基土的工程性质,要从实际出发,做出多种方案进行比较,以免发生工程事故。

3. 本课程特点和学习要求

本课程是一门实践性和理论性均较强的课程。由于地基土形成的自然条件各异,性质千差万别。不同地区的土有不同的特性,即使是同一地区的土,其特性在水平方向和深度方向也可能存在较大的差异。

所以,从某种意义上说,一个最优的地基基础设计方案不但依赖于完整的地质、地基土资料,而且需要用科学、系统的理论知识作出符合实际情况的周密分析。

本课程的另一大特点是知识更新周期较短,随着建筑、交通等与之有关行业的迅速发展,该学科不断面临新的问题,如基础形式的创新、地下空间的开发、软土地基的处理、新的土工合成材料的应用等,新技术、新理论不断涌现,往往是实践领先于理论,促使理论不断更新和完善。

学习本课程的基本要求是:掌握土的基本物理力学性质;了解常规的室内试验和现场原位土工试验的方法;掌握天然地基上浅基础的设计方法;了解桩基设计及施工的一般方法;掌握地基处理的一般方法;能够正确地使用《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)等有关规范,解决地基基础设计中遇到的一般问题。

本课程与建筑力学、建筑结构、建筑材料、施工技术、工程地质等学科有密切关系,又涉及高等数学、物理、化学、弹性理论等知识,因此,建议在学习本课程时既要注意与其他学科的联系,又要注意紧紧抓住强度和变形这两个核心问题来分析和处理地基基础问题,突出重点要求,兼顾一般内容,理论联系实际,注重提高分析问题和解决问题的能力。

4. 学科发展概况

地基与基础是土木工程领域的一个重要分支,是人类在长期的生产实践中发展起来的。它既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用学科。早在几千年以前,我们的祖先就已在建筑活动中创造了地基与基础工艺。例如:①在我国西安半坡村新石器时代遗址的考古发掘中,就发现有土台和石础,这就是古代建筑的地基与基础形式;②公元前2世纪修建的举世闻名的万里长城及后来修建的京杭大运河等,如果处理不好有关地基与基础问题,就不能够穿越各种地质条件复杂的广阔地区,而被誉为千古奇观;③遍布各地的巍巍高塔,宏伟壮丽的宫殿、寺院等都必须有坚固的地基与基础,才能历经千百年多次强震、强风暴的考验而留存至今。

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,城市建设、水利、道

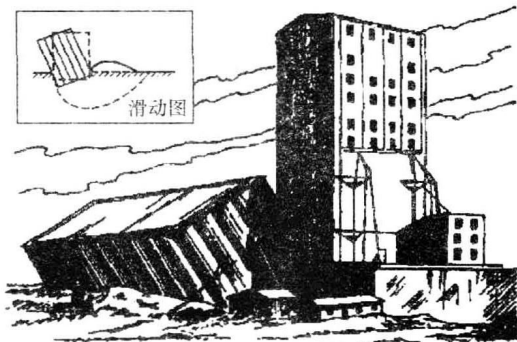
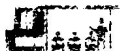


图 0.4 特朗斯康谷仓



路等的兴建推动了土力学的发展。随着资本主义工业化的发展,工场手工业转变为近代大工业,建筑的规模扩大了。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。

1773年,法国的库仑(C. A. Coulomb)根据试验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。90余年后,1869年,英国的朗肯(W. Rankine)又从另一途径提出了挡土墙土压力理论,这对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。1885年,法国的布辛奈斯克(J. Boussinesq)求得了弹性半空间在竖向集中力作用下的应力和变形的理论解答。1992年,瑞典的费尔纽斯(W. Fellenius)为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析法。这些古典的理论和方法,直到今天,仍不失其理论和实用的价值。

在长达一个多世纪的发展过程中,许多研究者承继前人的研究,总结了实践经验,为孕育本学科的雏形而作出贡献。1925年,太沙基(K. Terzaghi)归纳发展了以往的成就,分别发表了《土力学》和《工程地质学》等专著。这些比较系统完整的科学著作的出现,带动了各国学者对本学科各方面进行研究和探索,并取得不断的进展。自从1936年在美国召开第一届国际土力学与基础工程会议起至今,已召开了10余次国际会议,提交了大量的论文、研究报告和技术资料。我国也从1962年开始定期召开全国性的土力学与基础工程学术研讨会,这标志着我国在土力学与基础工程领域迈入了一个新的里程碑。

近年来,由于土木工程建设的需要,特别是计算机的应用和试验测试技术的提高,使得地基与基础工程在设计理论方面和施工技术方面,都取得了迅猛的发展。

复习思考题与习题

1. 什么是地基?什么是基础?它们各自的作用是什么?
2. 什么是天然地基?什么是人工地基?
3. 什么是浅基础?什么是深基础?
4. 什么是持力层?什么是下卧层?
5. 简述地基与基础设计的基本要求是什么?
6. 查资料,举出1~2个与地基基础有关的工程事故并分析原因。

第1章 土的物理性质与工程分类

内容概述 本章主要介绍了土的成因和特性、土的三相组成、土的物理性质指标及物理状态指标。同时对土的压实机理、地基岩土工程分类、土的野外鉴别也作了简要介绍。

学习目标 掌握土的主要成因与组成；了解土的粒径、颗粒级配的概念；掌握土中水和土中气的类型和性质，了解其对土的物理性质的影响；了解土的结构类型及土的构造；掌握土的物理性质指标和土物理状态指标的概念及计算；掌握土的工程分类。

1.1 土的成因与特性

土是地壳表层的岩石经过自然界的风化作用，由大块的岩体不断地破碎成大小、形状不同的颗粒，经过搬运、沉积而形成的没有黏结或弱黏结的沉积物。在天然状态下，土是由固相、液相和气相三部分组成的三相体系。其中固相为土的固体颗粒，构成土的骨架。骨架间的孔隙由土中水和气填充。土中三相体系之间的相互作用和比例关系，可以反映出土的不同物理性质，在一定程度上决定着土的力学性质和工程性质。

1.1.1 土的成因

土是由连续的、坚固的岩石在长期外界环境作用下风化形成的大小悬殊的颗粒，经过不同的搬运方式，在各种自然环境下形成的没有黏结性或有弱黏结性的沉积物。在漫长的地质年代中，由于岩石的风化程度、土的搬运条件和沉积环境不同，形成了很多物理力学性质不同的岩石和土。岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成各类土覆盖在原有岩石之上。因此，各类在水平和竖直两个方向延伸尺寸都较大的岩石可称为基岩；而岩石风化产物覆盖在基岩之上的各类土成为覆盖土。

土是由作为土骨架的固体矿物颗粒、土孔隙中的水和土孔隙中的气体三部分组成的。因而土是由固相（土的固体颗粒）、液相（土中水）和气相（土中气）所组成的三相体系。沉积环境的不同造成各类土的颗粒大小、形状、矿物成分差别可能很大。土中三相组成所占比例直接影响土的物理力学性能。

土在形成以后可以残留在原地，也可以在外力（风力、水力）的作用下被搬运到别处。从岩石风化成土的过程是一个历时相当长的过程，岩石中的一部分受到物理风化，在破碎、剥蚀、搬运、沉积的过程中没有发生化学、生物反应，土颗粒的矿物成分与母岩相同，称为原生矿物；另一部分岩石在风化、剥蚀、搬运、沉积的过程中，不仅经历了物理风化，还经历了化学风化产生新的物质，此时土的矿物成分与母岩不同，称为次生矿物。年代久远的土体上覆的沉积物在自重和地下水的的作用之下，通过固结作用，逐渐固结成岩石。土体在固结成岩石之后，在一定条件下，有可能再次经受风化、剥蚀、搬运、沉积又变成了土。我们如今看到的土体都是在长期的复杂的自然条件下逐渐演变形成的。



1.1.1.1 土的风化

1. 物理风化

在风霜雨雪的侵蚀、湿度和温度的变化、不均匀膨胀与收缩等因素的作用下，岩石产生裂隙、崩解等机械破坏，这种现象称为物理风化。物理风化只改变颗粒的大小和形状，不改变矿物成分。物理风化生成粗颗粒，它们是组成碎石土、卵石土、砂土等巨粒土或粗粒土的主要成分。

2. 化学风化

岩石在水、空气以及有机体的化学作用或生物化学作用下的破坏过程称为化学风化。

3. 生物风化

动、植物和人类活动对岩体、颗粒的破坏作用叫做生物风化。

1.1.1.2 土的分类

根据土体在形成时所经受外力和环境的不同，形成了各种类型的土。不同成因的土，具有其各自的分布规律和工程特性，根据其主要成因类型可分为残积物、坡积物、洪积物和冲积物等。

1. 残积物

残积物是指岩石经物理化学风化作用破碎后，未经搬运残留在原地的原岩风化剥蚀后的产物。在宽广的分水岭带，由雨水产生的地表径流速度很小，风化物易于保留，残积土较厚，一般由基岩风化带直接过渡到新鲜基岩。残积物的成分与母岩的成分密切相关，没有明显的层理构造，但保留有母岩的构造，残积物的孔隙率较大，透水性较强，不同层次的颗粒粗细程度变化较大。由于残积物一般没有经过风力或水力的搬运，颗粒表面具有较明显的棱角。作为建筑物地基较易引起不均匀沉降，如图 1.1 所示。

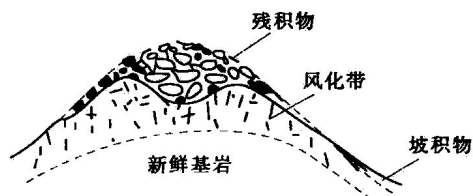


图 1.1 残积物（层）断面

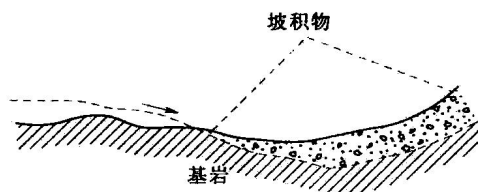


图 1.2 坡积物（层）断面

2. 坡积物

坡积物是指在高处的岩石风化碎屑物由于自身重力作用或雨雪水流、风力等搬运作用，沿着斜坡逐渐向下移动，沉积在山坡或坡脚的堆积物。坡积物的成分与高出残积物的物理成分及工程特性很接近。由于经历了一段距离的搬运，坡积物表面往往有一定的磨圆度。由于重力和阻力成正比，较为粗大的颗粒搬运距离较短，而较为细小的颗粒搬运距离较长。坡积物的厚度变化较大，坡脚处较厚，可达一二十米，在斜坡较陡的地段较薄。坡积物颗粒没有经过良好的分选作用，一般难分层理，粗细颗粒混杂，土质不均匀。新近堆积的坡积物土质疏松，压缩性较高，坡积物地段作为建筑场地时易产生不均匀沉降，应慎重处理沉降和稳定问题，防止可能给建筑工程带来的危害，如图 1.2 所示。

3. 洪积物

由暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流具有很大的剥蚀和搬运能力，山洪



急流冲刷地表,挟带着大量碎屑物质堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成洪积物,如图 1.3 所示。由相邻沟谷口的洪积扇组成洪积扇群,如图 1.4 所示。如果逐渐扩大以至连接起来,则形成洪积冲积平原的地貌单元。

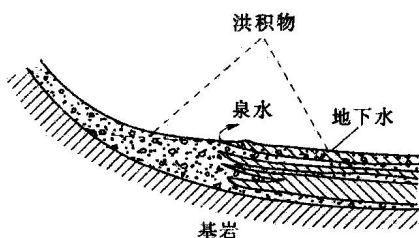


图 1.3 洪积物(层)断面

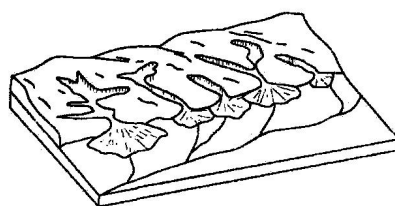


图 1.4 洪积扇群

4. 冲积物

冲积物是河流流水的地质作用将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。根据其形成条件可以分为以下 3 种。

(1) 平原河谷冲积物。平原河谷中的粗粒由于在远距离搬运过程中相互摩擦,故磨圆度较好,表面形状较为圆滑,颗粒粒径由河流上游向下游逐渐减小,具有水平层理,岩性较为均匀,作为良好的天然地基,承载力较高,如图 1.5 所示。

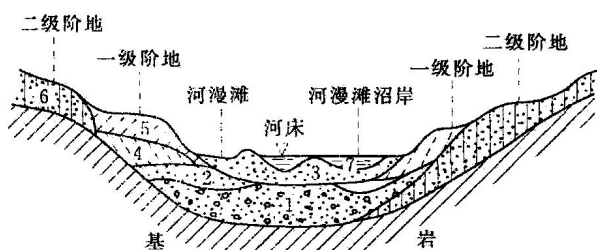


图 1.5 平原河谷横断面示意图

1—砾卵石; 2—中粗砂; 3—粉细砂; 4—亚黏土;
5—轻亚黏土; 6—黄土; 7—淤泥

(2) 山区河谷冲积物。主要由颗粒粗大的卵石、碎石等组成,大小不均匀。一般为砂粒所填充的卵石或圆砾,在高阶地往往是岩石或坚硬土层,一般情况下承载能力较高,适宜作为天然地基。但若是河流侧向侵蚀带来大量的细小颗粒,可能造成承载能力的降低。

(3) 三角洲冲积物。是由河流带着的大量细小土颗粒在入海或入湖的地方堆积而形成的冲积物。一般三角洲冲积物的颗粒较细小、含水量大,由于地下水位埋藏较浅,一般呈饱和状态,压缩性较高,常有较厚的淤泥或淤泥质土分布,因此承载能力较低。

土是自然状态下的产物,在土所经受的不同外力和环境的作用下,各种成因类型的土有着各自不同的物理力学特性。由此可见土的工程性质在土的形成过程中已经基本形成。

1.1.2 土的结构

土的结构是指土在成土过程中所形成的土粒空间排列及其联结形式。一般根据土的颗粒大小、颗粒形状、矿物成分和沉积条件可分为单粒结构、蜂窝结构、絮状结构三种基本类型。

1. 单粒结构

单粒结构是由较为粗大的矿物颗粒在水中或空气中下沉而形成的,如图 1.6 所示,土颗粒间相互有稳定的空间位置。单粒结构为碎石土和砂土的主要结构,其特点是土粒间存

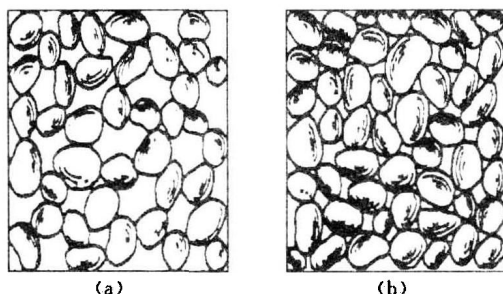


图 1.6 土的单粒结构
(a) 疏松状态; (b) 密实状态

在点与点的接触。在单粒结构中，土粒的粒度和形状以及土粒在空间的相对位置决定密实度。根据形成条件的不同，可以分为疏松状态和密实状态。密实状态单粒结构的土颗粒排列紧密，在荷载作用下不会发生较大沉降，压缩性较小，力学性能较好，是良好的天然地基。疏松的单粒结构稳定性较差，受到振动和其他外力作用时土颗粒发生相对移动，土中孔隙减小产生较大的变形。因此，这种土层未经处理一般不宜作为建筑物的

地基。

2. 蜂窝结构

蜂窝结构是指较细的颗粒在水中因自重作用下沉时，碰到已沉积的土粒，由于相互之间的引力大于其自重，后下沉的土粒就停留在当初的接触点上不再下沉，逐渐形成链状土粒单元。很多链状土粒单元结合起来就形成了具有较大孔隙的蜂窝状结构，如图 1.7 所示。具有蜂窝结构的土体有较大的孔隙，但是土的链状结构可以承受一般的水平静荷载，当承受较高水平荷载或动荷载时，结构将发生破坏，导致产生严重的地基沉降。蜂窝结构是以粉粒为主的土所具有的结构形式。

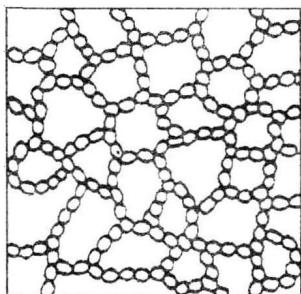


图 1.7 土的蜂窝结构

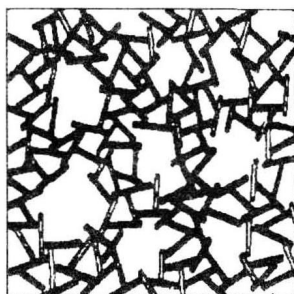


图 1.8 土的絮状结构

3. 絮状结构

对于细小的黏粒或胶粒，大多呈针状、片状，由于其质量极轻，自重作用很小，在水中能够长期悬浮，不因自重下沉。当黏粒被带到电解质浓度较大悬浮液介质中时，由于离子浓度增加，在土粒间较大的吸引力作用下，黏土颗粒很容易絮凝为集合体下沉，从而成为孔隙较大的絮凝结构，如图 1.8 所示。浑浊的河水流入海中，由于海水具有较高的盐度，很容易絮凝沉积形成淤泥。絮状结构是黏性土的主要结构形式。形成黏性土的针、片状土颗粒，表面带负电荷，在其断口处带正电荷，在土粒聚合时，多半以在海水中沉积和在淡水中沉积的方式接触，前者称为片架结构，后者成为片堆结构。

具有絮状结构的黏性土，孔隙较大、压缩性较高，抗剪强度较低，其土粒之间的联结强度由于长期的固结作用或胶结作用而得到加强。

在自然环境下，土的结构类型往往不是单一存在的，通常呈现出以某种结构为主，各



种结构混杂存在的复合形式。对于蜂窝结构和絮状结构的土体，当其结构受到扰动时，不仅改变了土粒排列的结构，也破坏到了土粒之间联结，往往会大大降低土的结构强度。

1.1.3 土的构造

土的构造是指在同一土层中的物质成分和颗粒大小等都接近的各部分之间的相互关系，即土体中各结构单元之间的关系。土的构造是从宏观的角度去观察土体的排列和空间位置的特征。土的构造包括土的层理、裂隙和大孔隙等宏观特征，其中土的最主要特征是层理构造。在土粒的沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分和颗粒大小、颜色的不同，而呈现出沿竖向的成层特性。常见的有水平层理构造和带有夹层和透镜体的交错层理构造。土的构造的另一特征是土的裂隙性，土体被许多不连续的小裂隙所分割，在裂隙中常填充有盐类的沉淀物，不少坚硬状态的黏性土具有此种构造。裂隙的存在大大降低了土体的强度和稳定性，增大土的透水性，对工程不利。

此外，在实际工程中也应注意是否存在土中包裹腐殖物、贝壳、结合体等，以及天然原因或人为原因造成的孔洞，这些构造特征都有可能造成土的不均匀性，而降低地基的承载力。

1.1.4 土的特性

土是坚硬整体的岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积而形成的含有固体颗粒、水和气体的松散集合体，由于土的成因、结构、构造的不同，土体的各种物理力学特性相差较大。土与钢材、混凝土等连续的、均质的介质相比，具有以下明显的特性。

(1) 压缩性高。由于土体是在自然条件下沉积形成的松散岩石碎屑的集合体，颗粒与颗粒之间存在明显的孔隙，在受压之后孔隙将显著减小。而钢材和混凝土分别属于晶体和胶结体，不存在较大的明显的孔隙，故土的压缩性远远大于钢筋和混凝土等材料。

(2) 渗透性强。由于土颗粒之间存在孔隙，土体的渗透性比其他建筑材料要大得多，特别是无黏性土，颗粒之间没有黏聚力，如砂土、碎石土，具有很强的渗透性。当水头差很大时，可能将较小的颗粒由孔隙中带出，孔隙随之增大；接着较大的颗粒被水由孔隙中带出，最终形成管涌。

(3) 承载力低。土的空间架构稳定性较差，在压力作用下土颗粒将向孔隙中移动，导致土的抗剪强度较低。而土体的承载力高低实质上就取决于土的抗剪强度。

土的压缩性和渗透性是影响地基变形的两个重要因素，土的压缩性决定地基变形的大小，土的渗透性决定了地基变形的速度，并且影响到基坑施工降水排水方案的制订。

1.2 土的三相组成

土的物质成分包括土骨架的固态矿物颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体。因此，土是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体系。土的固相为土的固体颗粒，由土的矿物颗粒构成土的骨架。土的固体颗粒之间有许多孔隙，由土中水和土中气填充。当土中的孔隙全部被水充满时为饱和土；当土中孔隙全部被气体充满时为干土；当土中孔隙同时有水和气存在时为非饱和土。土体中固相、液相、气相三部分本身的性质、所占比例和相互作用影响着土体的物理力学性质，从而在一定程度上决定着土的工