



浙江省“十一五”重点教材建设项目

土力学

● 主编 马惠彪



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

浙江省“十一五”重点教材建设项目

土 力 学

主 编 马惠彪
副主编 王亚军 陈正寿
参 编 李 强
主 审 谢康和



机械工业出版社

本书是浙江省普通高等学校“十一五”重点教材建设项目，是在参考了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》及土木工程相关规范的基础上，按照培养高级应用型人才的要求编写而成，是普通高等院校土木工程专业及相关专业的专业课教材。

本书共分8章，主要内容包括绪论、土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土中应力计算、土的压缩与地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与挡土墙、土的动力特性与地基抗震。

本书介绍的土力学基本知识通俗易懂，除可用作土木工程专业教材外，还可供相关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

土力学/马惠彪主编. —北京：机械工业出版社，2013.3

浙江省“十一五”重点教材建设项目

ISBN 978-7-111-41008-9

I. ①土… II. ①马… III. ①土力学—高等学校—教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第001502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：刘涛 责任编辑：刘涛 林辉

版式设计：赵颖喆 责任校对：张晓蓉 陈立辉

封面设计：张静 责任印制：乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.5印张·306千字

标准书号：ISBN 978-7-111-41008-9

定价：27.00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

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是浙江省普通高等学校“十一五”重点教材建设项目，是在参考了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》（2011）及 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》和其他相关规范的基础上，按照培养高级应用型人才的要求编写而成，是普通高等院校土木工程及相关专业的专业课教材。

本书编写人员在总结教学经验的基础上，注重教材的科学性与实用性，在强调理论同时，突出重点，重视理论联系实际，特别是以介绍沿海地基土的应用为主线，力求叙述简明、文字简练。本书内容以国家的最新规范及国内外最新研究成果为依据，具有全面、系统、新颖的特点。本书除用作土木工程专业教材外，也可作为相关专业师生及工程技术人员的参考用书。

全书共 8 章，第 1、2、4、6 章由浙江海洋学院东海科技学院马惠彪编写，第 3 章由浙江海洋学院陈正寿编写，第 5、7 章由浙江海洋学院王亚军编写，第 8 章由浙江海洋学院李强编写。全书由马惠彪完成统稿。

本书由浙江大学博士生导师谢康和教授主审，他提出了许多宝贵意见和建议，在此表示由衷的感谢。

限于编者的水平，书中不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 土及其特性	1
1.2 沿海地基土的构成	2
1.3 土力学的研究方法 & 展望	4
习题	5
第2章 土的物理性质及工程分类	6
2.1 土的物质组成	6
2.2 土的三相比例指标	11
2.3 无黏性土的密实度	21
2.4 黏性土的物理特征	23
2.5 土的工程分类	27
习题	40
第3章 土的渗透性	41
3.1 概述	41
3.2 达西定律	42
3.3 渗透系数的测定	43
3.4 渗透力与渗透变形	47
3.5 渗流和流网及与工程相关问题	49
习题	51
第4章 土中应力计算	52
4.1 概述	52
4.2 土中自重应力	52
4.3 基底压力与基底附加压力	55
4.4 地基附加应力	58
习题	71
第5章 土的压缩与地基变形计算	73
5.1 概述	73
5.2 土的压缩指标及试验方法	74
5.3 常用地基沉降计算方法	81
5.4 应力历史对地基沉降的影响	93

5.5 饱和土体渗流固结理论	97
5.6 沿海软土地基的固结方法	109
习题	109
第6章 土的抗剪强度与地基承载力	111
6.1 土的抗剪强度概述	111
6.2 土的抗剪强度理论	111
6.3 土的极限平衡条件	113
6.4 土的抗剪强度指标的测定方法	115
6.5 土的抗剪强度及影响因素	120
6.6 地基的破坏形式	123
6.7 地基的临塑荷载和临界荷载	124
6.8 地基的极限荷载	126
6.9 提高沿海软土地基承载力的常用方法	130
习题	132
第7章 土压力与挡土墙	134
7.1 概述	134
7.2 静止土压力计算	136
7.3 朗肯土压力理论	137
7.4 库仑土压力理论	146
7.5 特殊情况下的土压力计算	154
7.6 土压力与工程应用	158
7.7 黏性土坡的稳定性分析	164
习题	172
第8章 土的动力特性与地基抗震	175
8.1 土的动力作用与地震	175
8.2 土的动强度和变形特征	178
8.3 砂土和粉土的液化	183
8.4 软土地基的抗震	188
8.5 地基的抗震措施	189
习题	192
参考文献	193

绪 论

1.1 土及其特性

1.1.1 土及土力学

在土木工程中，土是指覆盖在地表上碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。土与土木工程有着密切的关系，作为建筑物的地基，土的作用和意义重大。

土是由地表的整体岩石，经过物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用后形成的产物，再经搬运、沉积而成的成分、大小和组成不同的松散颗粒集合体。它具有散体性、多相性和变异性的特点，而正因为这些特点，使得对土的研究方法更为复杂。土的成因及其组成将在第 2 章中详细介绍。

土力学作为工程力学的一个分支，是利用力学的基本原理研究土的物理性质和土的应力、变形、强度、稳定性、渗透性以及其随时间的变化规律的学科。土力学始于 18 世纪的欧洲，由于工业革命时期的大规模建设，促使土力学理论的形成和发展，比较有代表性的理论有：1773 年，法国库仑（Coulomb）由试验提出了砂土的抗剪强度公式；1856 年，法国达西（Darcy）通过室内渗透试验建立了有孔介质中水渗透理论，即达西定理；1869 年，英国朗肯（Rankine）提出了针对挡土墙的土压力理论；1885 年，法国布辛奈斯克（Boussinesq）提出了弹性半空间表面在竖向集中力作用下应力和变形的理论解；1920 年，法国普朗德尔（Prandtl）根据塑性平衡原理导出了地基极限承载力公式；1922 年，瑞典费兰纽斯（Fellenius）提出了土坡稳定分析方法；1925 年，美国太沙基（Terzaghi）通过总结和发展前人的理论，出版了第一部土力学专著，被称为土力学之父；1936 年，国际土力学与基础工程学会成立。

从 1936 年在美国召开的国际土力学与基础工程会议起，土力学方面的国际学术交流日益活跃，世界各国包括中国在内的许多国家，交流和总结了本学科新的研究成果和实践经验，促进了本学科快速发展。

1962 年以来，我国召开了十届以上的全国土力学与基础工程会议，建立了各种机构、施工队伍和土工试验室，培养了大批地基基础专业人才，并且在国际上享有较高的声誉。如：我国学者黄文熙提出的土的强度、变形及本构关系；陈宗基的黏土微观结构和土的流

变；钱家欢的土工抗震等。

随着工程建设的迅速发展，土力学围绕从宏观结构到微观结构、本构关系与强度理论、物理模型与数值模拟、测试与监测技术、土质改良等方面，取得了长足进展。电子技术的应用也为本学科的发展注入了活力，实现了测试技术的自动化和理论分析的正确性，促使学科的发展进入了崭新时期。

1.1.2 土的特性

土的工程性质与其母岩的成分、风化、搬运沉积和环境条件等密切相关。土是一种特殊的变形体，形成的土力学不同于一般固体力学的分析方法和计算方法。土具有以下几方面的特性：

(1) 散体性 颗粒之间无黏结或弱黏结，颗粒间存在着孔隙，为非连续介质，从而使土具有复杂性、易变性和分散性。

(2) 多相性 由于土中孔隙的存在，为多孔介质，使得土的固体颗粒、水、气体组成了土的三相体系或两相体系。

(3) 变异性 自然界土的漫长历史使土演化成多矿物组合体，从而使土的性质复杂、不均匀和不断变化。所以，土具有非均匀性、各向异性、结构性和时空变异性。

土在工程中所表现出来的工程特性有：

(1) 压缩性高 饱和细砂的压缩性比 C20 混凝土的压缩性高约 3200 倍，C20 混凝土的弹性模量 $E = 2.6 \times 10^4 \text{ MPa}$ ，饱和细砂的弹性模量 $E = 8.16 \text{ MPa}$ 。

(2) 强度低 土的强度是指土的抗剪强度，如沿海软土地基土在采用浅基础时一般较难达到承载力要求，必须进行相应的地基处理。

(3) 透水性大 土虽然呈现出较大的透水性，但不同土的透水性是各不相同的，且存在较大的差别。

1.2 沿海地基土的构成

我国有着漫长的海岸线，分布着我国经济最为发达的沿海城市。江、浙、沪等沿海地区的地基多为软土，多数为一般性软土地基土或沿海围垦地基土，这些地基土对工程建设提出了很多技术要求。

1.2.1 沿海软土地基土的构成及工程技术问题

沿海地区的地基土一般多为软土地基土，该地基土承载力低、压缩性高。在浅表层土下以淤泥或淤泥质土为主，地下水位高，土体一般处于流塑状态。

由于该类地区的地基土承载力低、压缩性高，目前工程中基本上采用桩基础，且随着地下空间的发展，建筑下部多设为地下室。工程技术问题主要集中在地下室土方开挖时造成工程桩倾斜偏位，增加了工程造价和质量问题，如图 1-1 所示。为解决上述问题，可采用施插排水板进行预处理等方法来解决该类问题，如图 1-2 所示。



图 1-1 工程桩偏位

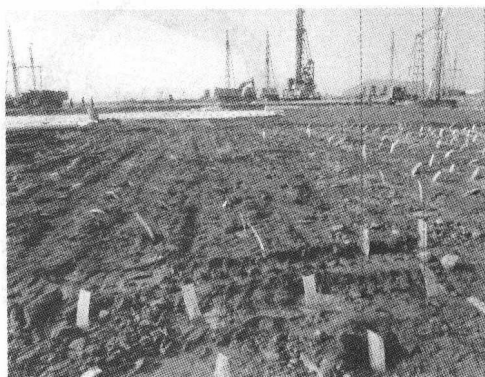


图 1-2 地基预处理

1.2.2 沿海围垦地基土的构成及工程技术问题

在沿海发达地区土地紧缺、人口增长较快，而深水港口资源丰富，并更加适合于人类居住、旅游及临港工业的发展。因此，许多建筑物都将建立在围海造地上。图 1-3 所示为尚未围垦的滩涂。有资料统计，我国沿海每年新增围垦土地占总新增建设土地的 13% ~ 15%。以浙江沿海一带为例，这类地区土层构成主要为：最上层为素填土，俗称渣地土，杂色，松散，主要由碎石、块石、混砂和黏性土组成，需经人工压实处理；下部主要压缩层的成分为淤泥质粉质黏土和粉质黏土，干强度中等，流塑，压缩性较大，渗透系数 K 一般在 10^{-7} cm/s 数量级。图 1-4 所示为围垦后的滩涂场地。



图 1-3 滩涂围垦前



图 1-4 滩涂围垦后

但是，由于围垦后土体不完全固结以及处于大海边缘，挖掘机挖除地基表层填土后（见图 1-5），因较高地下水的影响使地基土在使用中普遍存在以下问题：① 由于地基土的欠固结性导致以后使用中出现地面的沉降而影响正常使用。图 1-6 所示为某成品油罐基础，该基础建造在沿海围垦地基上，围垦地基已经采用强夯方法进行处理，油罐基础采用桩基础，在基础建造完约 6 个月，基础外地面下沉约 30cm 不等，严重影响后期使用，只得在施工后期再作部分围填压实处理。② 在临港工业建筑中涉及荷载较大，导致建筑物底层地面或堆载场地地基承载力不够和不断下沉。③ 地基土的固结引起桩基负摩擦力，从而增加了桩的荷载。



图 1-5 土方开挖

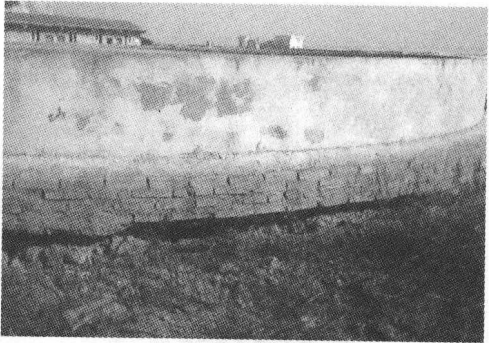


图 1-6 围垦地基固结沉降

1.3 土力学的研究方法及展望

土力学作为力学的分支，是一门理论性和实践性都很强的学科，它有自身的研究方法，而它的研究对象与其他力学不同。表 1-1 所示为土力学与其他力学研究对象的区别。作为土力学的研究方法，从理论上是运用土的特性并结合一般连续体力学的基本原理来建立力学的计算模型的，实践上则是通过室内土工试验和现场原位测试来获得相关计算参数的，通常情况下只有通过试验才能得出土的工程性质指标。而土的工程性质指标包括土的物理性质指标和土的力学性质指标。土力学中所涉及的许多理论计算、公式，往往是在某些假设及特殊因数下建立的，所以在使用中应注意它们的适用条件。再就是地域上的不同也会带来应用结果的差别，有些需要结合当地的经验来使用。

表 1-1 土力学与其他力学研究对象的区别

学 科	研究 对象	
理论力学	质点或刚体	
材料力学	单个弹性杆件（杆、轴、梁）	连续固体
结构力学	若干弹性杆件组成的杆件结构	
弹性力学	弹性实体结构或板壳结构	
水力学	不可压缩的连续流体（水）	连续流体
土力学	天然三相松散堆积物	松散材料

土力学已得到了快速的发展，土的基本特性、有效应力原理、固结理论、变形理论、土体稳定理论、土的动力分析理论、流变学等在原经典土力学基础上得到了完善。土力学的发展趋势将有以下诸方面：土的本构关系，非饱和土的固结理论，土的液化破坏理论，土的渐进破坏理论；土力学的研究将会出现更细的分支，主要向理论土力学、计算土力学、试验土力学和应用土力学等方向发展。结合我国“十二五规划”中加快城镇化建设的步伐，人口将不断密集，人类活动空间越来越狭小，工程建设将向高（高层建筑）、深（地下工程）和远（高速公路、高速铁路）等方向发展。沿海地区相对于我国其他地区经济较发达，人口密度高，人口增长速度快，而土地资源紧缺，必须通过对软土地基的改良来改善工程建设的

条件。所以，土力学在现代土木工程建设中将发挥越来越重要的作用。

习 题

- 1-1 土在工程中表现出哪些工程特性？
- 1-2 土力学与其他力学的研究对象存在着哪些区别？
- 1-3 沿海围垦地基土的应用中存在哪些工程技术问题？

土的物理性质及工程分类

2.1 土的物质组成

2.1.1 土的生成

自然界的岩石时刻在经历着风化作用。土的生成就是由地表的整体岩石，经过物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用，再经搬运、沉积而成的成分、大小和组成不同的松散颗粒集合体。这些松散颗粒集合体在各种不同的自然环境下堆积下来，就形成通常所说的土。反过来讲，堆积下来的土，会在很长的地质年代中发生复杂的物理、化学变化，逐渐压密、岩化，最终又形成岩石（沉积岩或变质岩）。因此，在自然界中，岩石不断风化破碎形成土，而土又不断压密、岩化而变成岩石，这样的循环过程重复地进行着。图 2-1 所示为由岩石演变到土的过程。

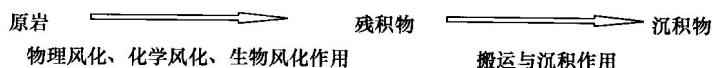


图 2-1 从岩石演变到土的过程

土中的原生矿物是岩石风化过程中的产物，保持了母岩的矿物成分和晶体结构，常见的有石英、长石、云母等。原生矿物颗粒粗，物理和化学性质较稳定，抗水性和抗风化能力较强，亲水性较弱。

母岩风化后，如果原来的矿物因氧化、水化、水解及溶解等化学风化作用而进一步分解，形成新的矿物，称为次生矿物（又称溶盐矿物）。次生矿物颗粒比原生矿物小得多，一种类型是原生矿物的一部分，可溶的物质被溶滤到其他地方沉淀下来，形成可溶性次生矿物；另一种类型是原生矿物中可溶的部分被溶滤走后，残存部分的性质发生变化，形成不可溶性次生矿物。

岩石和土始终在不断地风化。风化过程包括物理风化、化学风化和生物风化。

物理风化是指岩石和土的粗颗粒受各种气候因素的影响，导致体积胀缩而发生裂缝，或者在运动过程中因碰撞和摩擦而破碎。但它们的矿物成分仍与母岩相同，此风化产物称为原生矿物。所以，物理风化后的土可以当成只是颗粒大小的变化。但是这种量变的积累结果使原来的大块岩体获得了新的性质，变成了碎散的颗粒。颗粒之间存在着大量的孔隙，可以透

水和透气，这就是土的第一个主要特征——散体性。

化学风化是指母岩表面和碎散的颗粒受环境因素（如水、空气和碳酸气等）的作用而改变其矿物的化学成分，形成新的矿物，又称次生矿物。化学风化的反应有：① 水解作用——指矿物成分被分解，并与水进行化学成分的交换，形成新的矿物。例如，正长石经过水解作用后，形成高岭石。② 水化作用——指土中有些矿物与水接触后，发生化学反应。水按一定的比例加入矿物的组成中，改变矿物原有的分子结构，形成新的矿物。例如，土中的 CaSO_4 （硬石膏）水化后成为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （含水石膏）。③ 氧化作用——指土中的矿物与氧结合形成新的矿物，例如， FeS_2 （黄铁矿）氧化后变成 FeSO_4 （铁矾）。其他还有溶解作用、碳酸化作用等。化学风化的结果是形成了十分细微的土颗粒，最主要的成分为黏土颗粒（ $<0.005\text{mm}$ ）以及大量的可溶性盐类。黏土矿物是次生矿物中最主要的一种。微细颗粒的表面积很大，具有吸附水分子的能力。因此，自然界的土，一般都是由固体颗粒、水和气体三种成分所构成。这是土的第二个主要特征——多相性。

生物风化是由动物、植物和人类活动对岩体的破坏，其矿物成分没有变化。例如，树根伸展使岩石缝隙扩展开裂，人类劈山等活动所形成的土等。

土的风化时刻都在进行。但是，由于土形成过程的自然条件不同，土的性质也有差异，这就导致在同一位置的土其性质出现差异。土的性质、不均匀、各向异性都会随时间而变化，这是土的第三个主要特征——变异性。

一般来说，土或岩石的生成年代越久，其工程性质就越好。根据地层对比和古生物学法，地质相对年代可分为太古代、元古代、古生代、中生代和新生代，地质时代单位为宙、代、纪、世，相对应的地层单位为宇、界、系、统。

现在，我们工程中遇到的大多数土都属于第四纪地质年代土。这个地质年代土又可划分为更新世和全新世两类，如表 2-1 所示。在人类文化期以来所沉积的土称为新近代沉积土。

表 2-1 土的生成年代

纪（或系）	世（或统）	年代（距今）/万年
第四纪（Q）	全新世（Q4）	Q43（晚期）
		< 0.25
		Q42（中期）
		$0.25 \sim 0.75$
		Q41（早期）
		$0.75 \sim 1.2$
	更新世（Qp）	晚更新世（Q3）
		$1.2 \sim 12.8$
		中更新世（Q2）
		$12.8 \sim 73$
		早更新世（Q1）
		$73 \sim 248$

第四纪土依据其搬运和堆积方式的不同，可分为残积土和运积土两大类。

残积土是指母岩表层经风化作用破碎成为岩屑或细小颗粒后，未经搬运，残留在原地的堆积物。残积土与基岩之间没有明显的界线，一般分布规律是上部为残积土，中部为风化带，下部为基岩，如图 2-2 所示。它的特征是颗粒表面粗糙、多棱角、粗细不均、无层理。残积土厚度及其特征随所处区域的岩石不同

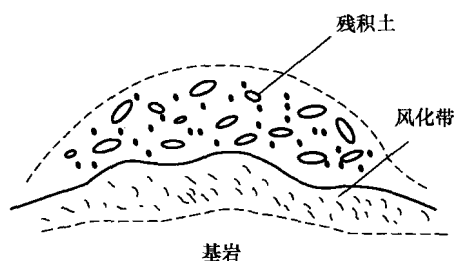


图 2-2 残积土

而不同。

运积土是指风化后所形成的土颗粒，在自然力的作用下，通过搬运所沉积的堆积物。由于这种土颗粒经过了滚动和相互摩擦，颗粒因摩擦作用而变圆滑，而在沉积过程中又因受水流等自然力的作用，使粗颗粒下沉快而细颗粒下沉慢。因此，其特点是具有一定的浑圆度及颗粒粗细不同的层次性。

下面就陆相沉积和海相沉积土作介绍。

1. 陆相沉积土

(1) 残积土 岩石风化后的产物未经自然力的搬运，残留在原地土层，基岩和母岩一致。它分布在平顶山区、大型分水岭区、缓山坡、山麓地带、低丘陵地带等。残积土颗粒粗细不均，厚度不均，残积土表部土壤层孔隙率大、强度低、压缩性高，而其下部常是夹碎石或砂粒的黏性土，或是孔隙为黏性土充填的碎石土、砂砾土，作为地基时承载力比较高，若处在边坡上时则不稳定。残积层在地壳下沉或海平面上升时，可能处在现今海滨淤泥层之下，可用作桩端持力层。

(2) 坡积土 岩石风化后的产物，由于受到雨水、融雪水的冲刷或重力作用，经短途搬运在斜坡下方或坡麓处堆积形成的土。坡积层的基岩和母岩不一定一致。坡积层在形成过程中有一定的分选层理，自山坡的上部到下部，颗粒由粗到细，厚度由薄变厚。坡积土作为地基时，地基承载力、沉降不均匀。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。

(3) 洪积土 洪积土是在干旱、半干旱气候特征区，由暴雨洪流携带大量泥沙、砾石、杂物等冲出山口后在山麓地带迅速扩展并继续向前延伸形成的洪水沉积物。山洪流出山谷后，因过水断面增大，流速骤减，搬运的粗颗粒大量堆积下来，且离山越远，颗粒越细，分布范围越大，在平面上呈扇形，扇顶位于出山口处。洪积土根据面积大小可分为洪积扇、洪积扇群、洪积平原。工程上的评价可分为三种类型：扇顶部、扇中部、扇的边缘及前缘。扇顶部即出山口附近，这里形成深厚的粗大砾石和沙砾沉（堆）积。扇中部面积开阔、水源丰富，常有粗细颗粒的土层构造，适宜大中城市发展。扇的边缘及前缘可作为农业土壤，但土层厚度不大，地下水位浅，会形成不良土质。洪积土作为建筑物地基，一般认为是较理想的，尤其是离山前较近的洪积土颗粒较粗，地下水位埋藏较深，具有较高的承载力，压缩性低，是工业与民用建筑物的良好地基。在离山区较远的地带，洪积物的颗粒较细、成分较均匀、厚度较大，一般也是良好的天然地基。但上述两地段的中间过渡地带，常因粗碎屑土与细粒黏性土的透水性不同而使地下水溢出地表形成泉或沼泽地，因此土质较差，承载力较低，作为建筑物地基时应慎重对待。

(4) 冲积土 流水的作用力将河岸基岩及上部覆盖的土剥蚀后搬运，沉积在河道坡度较平缓的地带所形成的土。它广泛分布于世界各大河流泛滥地、冲积平原、三角洲，以及滨湖、滨海的低平地区。在陆相沉积物中，河流冲积土占很大的比例，世界上所有大中型平原的土层都是河流冲积层或洪积层，这些地方经济、文化发达，交通发达，人口密度大，城市化发展快。

(5) 风积层 风是一种自然力，在一定的环境、植被、气候、地层、风力等条件下，风力也有侵蚀、剥蚀、搬运、沉积等地质作用。风力可以使沙漠移动，可以形成大范围的沙暴、尘暴。风力形成的地貌特征可分为风蚀地貌和风积地貌。典型的风蚀地貌如新疆的雅丹

地貌,风积地貌包括沙漠和黄土堆积。这些地方缺水,植被稀少,生态环境脆弱,甚至人烟稀少,经济很不发达。

除了上述几种沉积土之外,还有湖泊沉积土、冰川沉积土等。

2. 海相沉积土

海相沉积土是指在海洋环境中形成的沉积土。该类的沉积可分为:滨海及泻湖沉积、浅海沉积、深海沉积。土的结构、岩性、颜色等特征与水动力条件、矿化成分等有关。

海滨地带自陆地延至水下缓坡地带,这一地带常是海陆相交带,有深厚的淤泥沉积,近岸处常形成纯净的砂海雕及海滨砂丘。在这类地区,地基与基础工程的关键技术就是对地基土的处理与加固、基础类型的选用,进行工程建设需要大量的成本。海滨地带是矿物、油、气资源的聚集地。海滨的海湾受淤泥阻挡和大海分离后逐步形成泻湖,若有淡水流入泻湖,也会变成淡水湖。

浅海沉积指自低潮带至水下深度小于200m的水域,这一地带称为大陆架。该区域都是细粒土沉积,在基底状况合适下,这里会是珊瑚礁岛及礁灰岩发育的地方。

大陆架以远海底的地形地貌像陆地的地形地貌,比较复杂。那里的深海沉积主要是黏土、淤泥质土、海洋生物遗骸和黏土混杂生成的生物软泥,还有宇宙尘埃、锰结核等。在开发海洋经济的同时,近海工业将再次发展起来,海洋地质和海洋土力学也将会发展起来,而目前对深海沉积研究不够,所以,对海洋沉积的研究具有重大意义。

2.1.2 土的结构和构造

1. 土的结构

土的结构是指土颗粒(或团粒)的大小、形状、互相排列及联结的特征。

单粒结构是碎石土和砂土的结构特征,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。蜂窝结构是以粉粒为主的土的结构特征。絮状结构是黏土颗粒特有的结构特征。作为地基土,以密实的单粒结构工程性质最好,蜂窝结构与絮状结构若被扰动破坏天然结构,其强度低、压缩性高。

2. 土的构造

土的构造是指同一土层中土颗粒之间相互关系的特征。其主要有以下几种构造:

层状构造。土层由不同的颜色或不同粒径的土组成层理,一层层互相平行。这种构造反映了不同年代不同搬运条件下所形成的土层,是细粒土的主要特征。

分散构造。土层中土粒分布均匀,性质相近,工程性质最好。

结核状构造。在细粒土中混有粗颗粒或各种结核,工程性质好坏取决于细粒土部分。

裂隙状构造。土体中有很多不连续的小裂隙,裂隙强度低、渗透性大、工程性质差。

2.1.3 土的宏观结构特征

1. 土的成层性

对于沉积土,不管是风沉积的、水沉积的还是冰川沉积的土,它们都具有成层性,或是粗粒层,或是细粒层。细粒层常夹在粗粒层内,当然也常有粗粒层夹在细粒层中。从土力学的角度,高承载力的土(或低压缩性土)常嵌入低承载力土体内;反之亦然。这些层状土会引起如下问题:① 由于软弱层而引起长期沉降;② 在水平方向上层状土体厚度变化引起的

不均匀沉降；③基础开挖引起沿软弱层的滑坡。因此，为了更好地设计地基基础，对现场软弱层应该做仔细调查。

2. 非均质性

土属非均质材料，在各个方向上的变形和强度都有差异性。土的非均质特性不仅由沉积条件变化引起，也受到应力历史的影响。土的粒径和形状变化很大，其中大多是尖棱状的土，这是由沉积条件变化引起的。而土中由纵深方向发展的裂缝，则与土的应力历史有关。在土体研究中，应重视局部的非均质性。如高压缩性的透镜体，它们嵌于土体内，常会导致危害建筑物的不均匀沉降。土体的宏观结构中，层理、断层、透镜体和深部裂隙等的存在都很危险，因为它们的存在会导致土的高压缩性、低强度和高沉降差。

2.1.4 土的微观结构

1. 单粒结构

粗粒土的结构是单粒结构。粗矿物颗粒在水或空气中在自重作用下沉落形成的单粒结构，其特点是土粒间存在点与点的接触。根据形成条件不同，可分为疏松状态和密实状态。图 2-3a 所示为松散单粒结构示意图，这一结构是水流动的环境条件下沉积形成的，如河流砾石。图 2-3b 所示的密实单粒结构，则是这些沉积物在一个平静的水域环境中沉积形成的。单粒结构的土体可作为天然地基土。

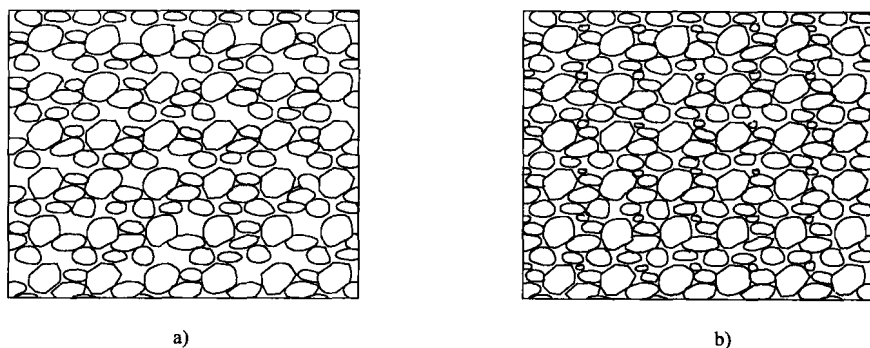


图 2-3 土的单粒结构

a) 疏松状态 b) 密实状态

2. 蜂窝状结构

对于很细的砂土和粉土，颗粒排列很像蜜蜂筑的巢，故命名为蜂窝状结构。该结构土颗粒间点与点接触，彼此之间引力大于重力，接触后，不再继续下沉，形成很多链环联结、孔隙较大的蜂窝状结构，如图 2-4 所示。蜂窝状结构的土具有疏散、低强度和高压缩的特性。

3. 絮状结构

黏性土有其特殊的结构，即絮状结构。这一结构是通过现代的显微技术获得的。该结构土细微黏粒大都呈针状或片状，构成黏粒排列的高度定向性，质量极轻，在水中处于悬浮状态。凝聚成絮状物下沉，形成孔隙较大的絮状结构，如图 2-5 所示。对于这类结构的土，由于土体中有许多孔隙，在地基基础设计时要注意其高压缩性。

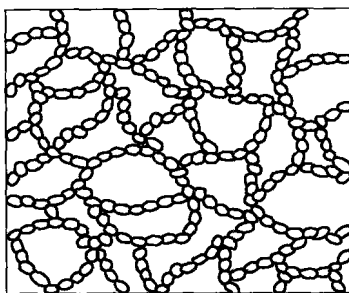


图 2-4 土的蜂窝状结构

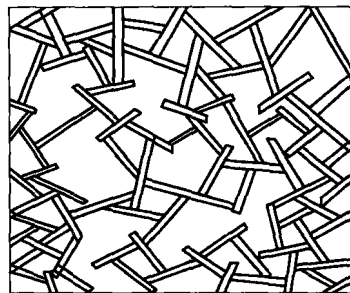


图 2-5 黏性土的絮状结构

2.2 土的三相比例指标

2.2.1 土的三相组成

1. 土的固相

土的固相是指土中固体颗粒集合体的组成部分。土中固体颗粒的形状、矿物成分、大小以及颗粒组成情况决定着土的物理力学性质。这里的颗粒组成情况是指土粒中大小含量的相对数量。这里土颗粒的大小称为粒度，而对于土颗粒形状、大小的不同，可将土颗粒的体积视为一个小球体，其直径称为当量直径，简称粒径。一般而言，粗大颗粒呈块状或粒状，而细小颗粒呈片状。土粒从粗到细的变化，土的性质也发生变化，如从无黏性土变为黏性土，土的渗透性由大变小等。对于粒径接近的土粒，其性质往往也比较接近。因此，把土中不同粒径的土粒按一定分布范围分成若干小组称为粒组，而划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。GB/T 50145—2007《土的工程分类标准》和 SL 237—1999《土工试验规程》将粒组进行划分，如表 2-2 所示。

表 2-2 土的粒组划分

粒 组 名 称		粒 径/mm	一 般 特 征
漂石或块石颗粒		>200	透水性很大，无黏性，无毛细水
卵石或碎石颗粒		200 ~ 60	
圆砾或角砾颗粒	粗	60 ~ 20	透水性很大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	20 ~ 5	
	细	5 ~ 2	
砂粒	粗	2 ~ 0.5	易透水，当混入云母等时透水性会减小，而压缩性会增加，无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散，毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
	中	0.5 ~ 0.25	
	细	0.25 ~ 0.1	
	极细	0.1 ~ 0.075	
粉粒	粗	0.075 ~ 0.01	透水性小，湿时稍有黏性，遇水膨胀性小，干时稍有收缩，毛细水上升高度较大且较快
	细	0.01 ~ 0.005	
黏粒		≤0.005	透水性很小，湿时有黏性。可塑性，遇水膨胀性大，干时收缩显著，毛细水上升高度大，但速度慢