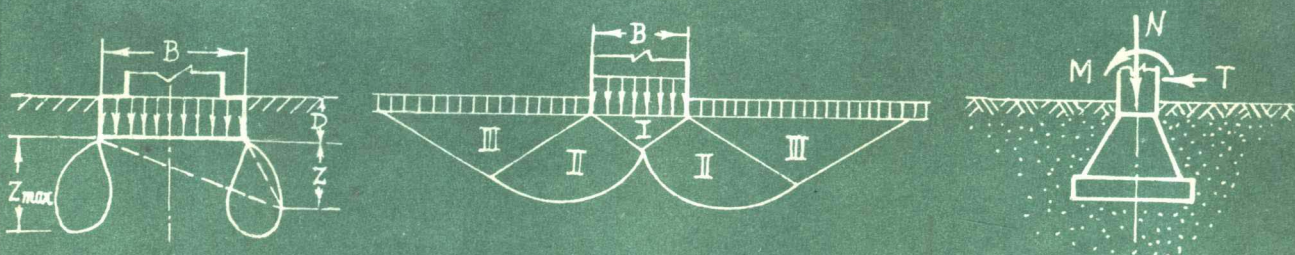


土力学地基基础

陈希哲 编



清华大学出版社

土力学地基基础

陈希哲 编



清华大学出版社

内 容 简 介

本书是作者编写的教材，它系统地阐明了土力学的基本理论，扼要介绍了国内外若干地基基础新技术和先进经验。全书分八章：土的物理性质与工程分类；土的压缩性与地基沉降计算；土的抗剪强度与地基承载力；土压力与土坡稳定；地基勘探；天然地基上浅基础的设计；桩基础与深基础；人工地基和特殊地基。内容简明扼要，适合于讲课时为 60~70 的高等院校土建专业学生和在职工程技术人员学习使用。各章附有复习思考题、习题及答案。配合教学同时编印大量工程实例和一套幻灯片。此教材经十五所院校与生产部门在职技术干部教学实践，普遍认为很实用。

本书可供有关大专院校土建、铁道、交通、冶金、农机、石油等专~~业~~师生和土建工程技术人员教材和参考书。

土力学地基基础

陈希哲 编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂胶印

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

☆

开本：787×1092 1/16 印张：16 字数：350 千字

1982 年 5 月第一版 1982 年 5 月第一次胶印

印数 1~32000

统一书号：15235·40 定价 1.70 元

前 言

《土力学地基基础》是土木建筑有关专业的一门重点课程。随着科学技术的发展，国内外高层建筑和重型设备的兴建，对土力学地基基础提出更高的要求。据统计，各国发生的建筑工程事故中，以地基基础失事占多数。因此，本课程是各有关专业的大学生和工程技术人员必须掌握的一门科学。

自从 1925 年美国土力学家太沙基发表第一部土力学专著，从而使土力学成为独立的一门新学科以来，世界各国由于工程建设的需要，土力学发展很快，材料很多。作为初学者的教材，不能面面俱到，以致篇幅很大，内容庞杂。应当采用典型的、成熟的理论与经验，尽量做到少而精。本教材的内容与次序参照若干院校本课程的教学计划与大纲安排，选择了土力学中最基本的理论和地基基础中常见的问题，共分八章进行阐述。书中增添了工程实例和计算例题，并扼要介绍了若干新技术和先进经验。对某些理论或因复杂，或因生产中不用而割爱。

本教材参考了各有关高等院校编写的同类讲义与教材，文字力求简明扼要，适用于 60~70 讲课学时的有关专业的大学生和工程技术人员学习与参考。

为便于读者复习和练习，各章附有复习思考题、习题及答案。这些内容除本校自编外，参用了福州大学主编的《土力学与基础工程》讲义。

本教材经过十五个院校和生产部门技术干部进修班正规教学实践，反映内容通俗易懂、便于自学、较实用。

为提高学生学习的兴趣，引起对本课程的重视，配合各章的教学，收集了国内外大量工程实例，并已制成一整套教学幻灯片，经过全国三十多所院校教学实践，效果良好。

本教材得到不少同志的帮助，提出许多宝贵意见，在此表示衷心感谢！限于时间和编者的水平，对书中错误和不当之处，热忱欢迎读者批评指正。

编 者

1982 年 3 月

土力学常用符号及单位

A	桩身的横截面面积 (米 ²)	i	水力坡降
a	土的压缩系数 (厘米 ² /公斤)	K	安全系数、土压力系数
a_{1-2}	土在压力从 1~2 公斤/厘米 ² 的压缩系数 (厘米 ² /公斤)	k	土的渗透系数 (厘米/秒)
b	条分法分条的宽度 (米)	L	基础长度 (米)
B	长条基础宽度, 矩形基础短边 (米)	l	房屋长度或沉降缝分隔的单元长度 (米)
C	地基平均附加压力系数	M	(作用于基础底面的) 力矩 (吨-米)
C_c	土的压缩指数	m_B	基础宽度的承载力修正系数
C_u	土的不均匀系数	m_l	基础埋深的承载力修正系数
C_v	土的固结系数 (厘米 ² /年)	m_s	沉降计算经验系数
c	土的内聚力 (公斤/厘米 ²)	m_t	采暖对冻深的影响系数
D	设计地下基础埋深 (米)	N	基础顶面的垂直荷载 (吨, 吨/米 ²)
D_r	土的相对密度	N_c, N_D	承载力系数
d	土粒粒径 (毫米)	N_{10}	锤重 10 公斤的轻便触探试验锤击数
d_{60}	土的限定粒径 (毫米)	$N_{63.5}$	锤重 63.5 公斤的标准贯入试验锤击数
d_{10}	土的有效粒径 (毫米)	n	土的孔隙度 (%)
E	土的变形模量 (公斤/厘米 ²)	P	集中荷载 (吨)
E_s	土的压缩模量 (公斤/厘米 ²)	P_a	主动土压力 (吨)
e	土的天然孔隙比	P_0	静止土压力 (吨)
	偏心距 (米)	P_p	被动土压力 (吨)
e_0	土样的初始孔隙比	p	单位面积分布荷载 (吨/米 ²)
F	基础底面面积 (米 ²)		基底平均压力 (吨/米 ²)
	土样面积 (厘米 ²)	p_{cr}	地基的临塑荷载 (吨/米 ²)
G	土粒比重	p_0	基础底面处的附加压力 (吨/米 ²)
	基础及其上回填土之总重 (吨)	p_s	静力触探比贯入阻力 (吨/米 ²)
H	土层厚度 (米)	p_u	地基极限荷载 (吨/米 ²)
	土样高度 (厘米)	Q	剪力 (吨, 公斤)
h	天然地面下的基础埋深 (米)		桩基中单桩所承受的外力 (吨)
	自基础底面起算的房屋高度 (米)		第四纪地质时代
	水头 (米)		
I_L	粘性土的液性指数		
I_p	粘性土的塑性指数		

[R]	地基土的容许承载力 (吨/米 ²)	α_1^s	条形面积三角形分布垂直荷载作用下地基附加应力系数
R	修正后地基土的容许承载力 (吨/米 ²)	β	土的变形模量与压缩模量之比值
	土坡稳定圆弧法圆弧半径 (米)	γ	土的天然容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S	地基最终沉降量 (厘米)	γ_d	土的干容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S'	计算的地基变形值 (厘米)	γ_{sat}	土的饱和容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S _c	地基固结沉降 (厘米)	γ_f	基底水平面以上土的平均加权容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S _d	地基的瞬时沉降 (厘米)	γ_w	水的容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S _r	土的饱和度 (%)	γ'	土的浮容重 (克/厘米 ³ , 吨/米 ³)
S _s	地基次压缩沉降 (厘米)	δ	土对挡土墙背的摩擦角 (°)
S _t	经历时间 t 时的地基沉降量 (厘米)	θ	地基的压力扩散角 (°)
S _∞	推算地基最终沉降量 (厘米)	λ	应变
s	土体中某点任意面上的抗剪强度 (公斤/厘米 ²)	μ	土的泊桑比, 侧膨胀系数 土对挡土墙基底的摩擦系数
U	固结度 (%)	ξ	土的侧压力系数
u	饱和土中孔隙水压力 (公斤/厘米 ²)	σ	土体中某点任意面上的法向应力 (吨/米 ²)
V	体积 (厘米 ³ , 米 ³)	σ_c	土中自重压力 (吨/米 ²)
v	渗透速度 (厘米/秒)	σ_{CD}	基底处土中自重压力 (吨/米 ²)
W	截面抵抗矩 (米 ³)	σ_z	基底下深度 Z 处地基附加压力 (吨/米 ²)
w	土的天然含水量 (%)	σ	饱和土中有效应力 (吨/米 ²)
w _L	液限 (%)	σ_1	土体中某点主平面上的最大主应力 (吨/米 ²)
w _p	塑限 (%)	σ_3	土体中某点主平面上的最小主应力 (吨/米 ²)
w _s	缩限 (%)	τ	土体中某点任意面上的切向应力 (吨/米 ²)
Z	基础底面至地基中某点的距离 (米)	τ'	土的抗剪强度 (°)
Z ₀	标准冻深 (米)	ϕ	土的内摩擦角 (°)
Z _n	地基压缩层的计算深度 (米)	ϕ	有效应力内摩擦角 (°)
α	地基附加应力系数 (集中荷载作用下)	ω	沉降系数
α_c	矩形均布荷载作用下地基附加应力系数		
α_1	矩形面积三角形分布垂直荷载作用下地基附加应力系数		
α_2^s	条形均布荷载作用下地基附加应力系数		

目 录

前 言	I
土力学常用符号及单位	V
绪 论	1
第一章 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	6
§ 1—3 土的物理性质指标	11
§ 1—4 土的物理状态指标	16
§ 1—5 土的工程分类	19
复习思考题	22
习题	22
第二章 土的压缩性与地基沉降计算	24
§ 2—1 土的变形特性	24
§ 2—2 地基中的应力分布	36
§ 2—3 地基最终沉降量计算	54
§ 2—4 地基变形与时间关系	69
§ 2—5 建筑物沉降观测与地基容许变形值	78
复习思考题	80
习题	81
第三章 土的抗剪强度与地基承载力	84
§ 3—1 土的抗剪强度及测定方法	85
§ 3—2 土的极限平衡条件	87
§ 3—3 三轴剪力试验	93
§ 3—4 地基的临塑荷载和临界荷载	94
§ 3—5 地基的极限荷载	97
§ 3—6 动荷载作用下土的抗剪强度	103
复习思考题	110
习题	110
第四章 土压力与土坡稳定	113
§ 4—1 概述	113
§ 4—2 土压力的种类与影响因素	114
§ 4—3 静止土压力	115

§ 4—4	朗肯土压力理论	115
§ 4—5	库伦土压力理论	119
§ 4—6	库尔曼图解法	124
§ 4—7	常见情况的土压力计算	126
§ 4—8	挡土墙设计	127
§ 4—9	土坡稳定分析	132
	复习思考题	138
	习题	138
第五章	地基勘探	140
§ 5—1	地基勘探的目的和内容	140
§ 5—2	勘探准备工作和布置	141
§ 5—3	勘探方法	143
§ 5—4	土的野外鉴别和描述	149
§ 5—5	地下水	153
§ 5—6	地质勘探报告书	155
§ 5—7	验槽	156
	复习思考题	158
第六章	天然地基上浅基础的设计	159
§ 6—1	概述	159
§ 6—2	基础的类型和材料	161
§ 6—3	基础的埋置深度	165
§ 6—4	地基的容许承载力	170
§ 6—5	基础尺寸的确定	175
§ 6—6	软弱下卧层的强度验算	180
§ 6—7	关于地基的变形验算问题	181
§ 6—8	地基基础与上部结构共同工作的概念	182
§ 6—9	钢筋混凝土梁板式基础的简化计算方法	185
§ 6—10	减轻不均匀沉降危害的建筑结构与施工措施	189
§ 6—11	地基基础的补偿性设计	191
	复习思考题	193
	习题	193
第七章	桩基础与深基础	196
§ 7—1	概述	196
§ 7—2	桩及桩基础的分类	196
§ 7—3	桩的承载力	200
§ 7—4	桩基设计	205
§ 7—5	沉井基础	208

§ 7—6 沉箱基础	212
§ 7—7 地下连续墙	214
复习思考题	217
习题	217
第八章 人工地基和特殊地基	219
§ 8—1 概述	219
§ 8—2 机械压实法	220
§ 8—3 换土垫层法	222
§ 8—4 堆载预压法	224
§ 8—5 砂桩挤密法	225
§ 8—6 振动水冲法	225
§ 8—7 化学加固法	226
§ 8—8 几个特殊问题的处理	227
§ 8—9 黄土地基	228
§ 8—10 膨胀土地基	237
§ 8—11 红粘土地基	242
复习思考题	243
习题	244

绪 论

一、本课程的任务和作用

土与其它连续介质材料不同，是由固体矿物、液体水和空气所组成。固体颗粒之间的联结强度远比颗粒本身强度小。土的颗粒之间有大量孔隙。因此土具有碎散性、压缩性、土颗粒之间相对移动性和透水性。

土在地球表面分布极广，它与工程建筑的关系十分密切。在工程建设中，土被广泛用作各种建筑物的地基或材料。如在土层上修建工业厂房、民用住宅、涵管、道路、桥梁、堤坝等建筑物时，土作为承受上述建筑物荷载的地基；如土被用来修筑堤坝、路基和其它土工建筑物时，土就被用作建筑材料。

由于土的压缩性大，强度小，因而上部结构的荷载通过墙、柱不能直接传给地基，必须在墙、柱和地基接触处适当扩大尺寸，把荷载扩散后再传给地基。这个扩大的部分，即建筑物最下面的部分，叫做基础，如图 0—1 所示。建筑物的上部结构和地基基础是共同作用、相互影响的，在设计建筑物时，必须把这三部分统一起来全面考虑，才能得出最经济合理的方案。

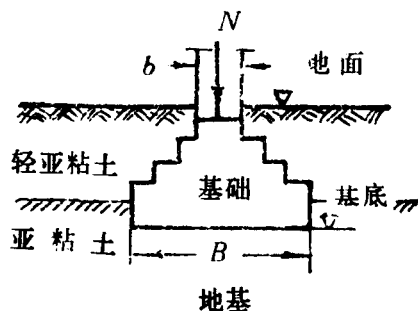


图 0—1 地基与基础

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。实践证明，建筑物的事故，很多与地基基础问题有关。而且，一旦发生地基基础事故，补救非常困难。例如苏州名胜虎丘塔，共七层，高 47.5 米，底层直径 13.7 米，呈八角形，全为砖砌，在建筑艺术上是个创造，国务院公布为全国重点文物保护单位。目前该塔倾斜严重，塔顶离中心线达 2.31 米。经勘探发现，该塔位于倾斜基岩上，

复盖层一边深 3.8 米，另一边为 5.8 米。而且在一千余年前建造该塔时没有扩大的基础，直接把塔身置在地基上，造成不均匀沉降，引起塔身倾斜，危及安全。又如南方某市火车站服务楼，在三、四层混合结构的墙、柱下，分别采用一般的条形基础和单独基础。服务楼建成不久，便产生了显著的不均沉降，墙体、窗台、窗顶和钢筋混凝土梁面发生严重裂缝，影响使用和安全。分析其原因，原来服务楼建于厚薄不均的软土地基上，同时上部结构布局不当，建筑物中部荷重大且外墙突出，两侧刚度小得多。没有从地基基础和上部结构共同作用的整体概念进行设计，以致造成工程事故。起先曾将大楼中部基础加宽，接着又一再加固，都未收到预期效果。后来只得将两侧各层改为钢筋混凝土楼面，拆除严重开裂的墙体，并更换部分钢筋混凝土梁，才算基本解决问题。但加固

重建费用高达 18 万元，占建筑物总造价的 75%。

图 0—2 是 1913 年 10 月加拿大特朗斯康谷仓地基滑动破坏情况。该谷仓由 65 个园柱形筒仓组成，高 31 米，底面长 59.4 米，宽 23.5 米，钢筋混凝土筏片基础厚 2 米。谷仓自重 2 万吨，当装谷子 27000 吨后，发现谷仓明显下沉，24 小时内西端下沉 8.8 米，东端上抬 1.5 米，整体倾斜 $26^{\circ}53'$ 。事后勘查分析，发现地表 3 米以下为高塑性软粘土，谷仓单位面积压力超过 30 吨/米²，而地基极限荷载 25.1 吨/米²，

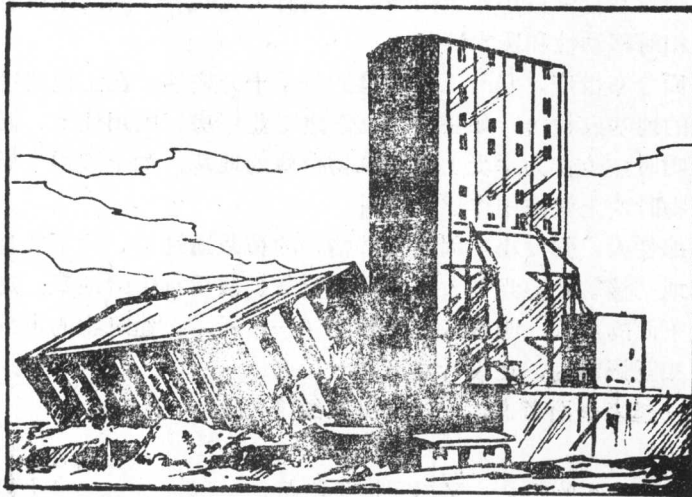


图 0—2 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏情况

因此造成地基强度破坏。基础底面以下一部分土体滑动，向侧面挤出，使西端地面隆起。为了处理这一事故，在地基中做了七十多个支承于深 16 米基岩上的混凝土墩，使用 388 个 50 吨千斤顶和支撑系统，才把仓体逐渐纠正过来，然而谷仓位置比原来降低了 4 米。

国内外类似以上地基失事的实例很多，如拉脱维亚首都里加大主教教堂下沉了两米，意大利比萨斜塔，54.5 米高的钟楼塔顶离中心线 5 米，上海工业展览馆平均沉降 1.6 米等等。大量事故充分说明对土力学理论和地基基础问题缺乏研究，处理不当，损失很大，应引以为戒。

为了保证建筑物安全和正常使用，在地基基础设计中必须满足以下两个技术条件：

1. 地基的变形条件：包括建筑物的沉降量、沉降差、倾斜和局部倾斜都不能大于地基容许变形值。例如中压缩性粘土地基上烟囱基础的沉降量不得超过 20 厘米；高压压缩性粘土地基上的框架结构相邻柱基的沉降差不得超过 $0.003l$ (l 为相邻柱基的中心距，厘米)。
2. 地基的强度条件：保证地基稳定性，不发生滑动破坏。要求有一定的安全系数。

二、本课程的内容、特点和学习要求

本课程根据教学计划、教学大纲和学时情况共分八章，学习土力学中最基本的理论，研究地基基础中常见的问题。

1. 第一章土的物理性质和工程分类是本课程的基础。对土力学中专门的术语，要理解它们的物理意义，要求熟练地掌握已知任意三个物理指标换算其它物理性指标的方法。了解五大类土分类的依据，掌握各类土准确定名。

2. 第二章土的压缩性与地基沉降计算是本课程的重点。要求掌握地基中三种应力的计算方法，学会常用的两种沉降计算方法。了解地基容许变形值的影响因素以及防止有害沉降的措施。

3. 第三章土的抗剪强度与地基承载力，这也是重点之一。要求掌握土的抗剪强度测定的各种试验方法和应用。掌握土的极限平衡的概念和条件，学会计算地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载。

4. 第四章土压力与土坡稳定，要求了解影响土压力大小的因素，掌握三种土压力产生的条件、计算方法和工程应用。掌握不同理论的原理、特点和计算方法。学会设计挡土墙的尺寸。

5. 其余四章关于地基基础勘察设计。根据建筑物的用途和性质，了解地基勘察的目的、方法并能阅读分析地基勘察报告。掌握地基容许承载力的概念，学会根据《规范》确定容许承载力的方法。掌握天然浅基设计和桩基设计。了解各类软弱地基处理方法、适用条件和效果。

土力学地基基础在国外是两门课，其中土力学属于技术基础课，在学习材料力学、结构力学和弹性理论初步的基础上讲授；地基基础属于专业课，与钢筋混凝土课配合进行。本课程牵涉的自然科学范围很广，除弹塑性理论、流变理论和地下水动力学等邻近学科有密切关系外，还涉及到地质学与土质学等。

在学习本课程中，要特别注意土的特性，理论联系实际，抓住重点，掌握原理，搞清概念，学会设计、计算与应用。

三、本学科发展简介

由于生产的发展和生活的需要，人类很早就懂得利用土进行建设。我国西安半坡村新石器时代遗址，发现土台和石础，就是古代的地基基础。公元前两世纪修建的万里长城、随后修建的南北大运河、黄河大堤以及宏伟的宫殿、寺院、宝塔都有坚固的地基基础，经历地震强风考验留存至今。隋朝所修赵州石拱桥，把桥台砌筑在密实粗砂层上，基底压力约 $50\sim 60$ 吨/米²，1300 多年来沉降量很小。公元 989 年建造开封开宝寺木塔时，预见塔基土质不均会引起不均匀沉降，施工时特意做成倾斜，在沉降稳定后自动复正。四川采用泥浆钻探法开盐井，西北在黄土中建窑洞以及用料石基垫、灰土地基等等，证明我国人民在长期实践中积累的土力学地基基础知识是非常宝贵的。

十八世纪产业革命后，城市建设、水利、道路的兴修推动了土力学的发展。1773 年法国库伦根据试验创立著名的砂土抗剪强度公式和土压力理论。1857 年英国朗肯通

过不同假定，提出土压力理论。1885年法国布辛尼斯克求得半无限弹性体在垂直集中力作用下的应力和变形的理论解答。1922年瑞典费伦纽斯为解决铁路坍方研究出土坡稳定分析法。这些理论与方法至今仍在广泛应用。1925年美国土力学家太沙基发表《土力学》专著，使土力学成为一门独立的学科。自从1936年以来已召开了十届国际土力学和基础工程会议，提出大量论文、研究报告和技术资料。很多国家定期出版土工杂志。世界各地也都召开了类似的专业会，总结和交换了本学科的研究成果。

建国三十年来，为适应我国社会主义建设的需要，土力学地基基础有了迅速的发展。全国各地有关生产、科研单位和高等学校总结实践经验开展现场测试和室内科学研究。自1962年全国第一届土力学及基础工程学术会议后于1979年召开第三届会议，出席全国各地有关代表200余人，发表论文就达三百多篇。不少学者对土力学理论作出宝贵的贡献，如黄文熙教授早在1957年研究提出非均质地基考虑土侧向变形影响的沉降计算方法。并于六十年代初研制成功第一台振动三轴仪，发表了砂土液化理论。1957年陈宗基教授提出粘土结构模式，已为后来电子显微镜的观测结果所证实。

近年来，世界各国高土坝（坝高大于200米）、高层建筑、核电站等巨型工程的兴建和多次强烈地震的破坏，促进土力学进一步发展，积极研究土的本构关系，土的弹塑性理论与土的动力特性。同时研制成各种各样的勘探试验设备，如静力和动力触探，现场孔隙水压力仪、测斜仪、旁压仪、应用放射性同位素测土的物理性指标，自动固结仪、大型三轴仪、振动三轴仪、流变仪等，为土力学研究提供了良好的条件。电子计算机的应用和实验测试技术自动化，标志着本学科进入一个新的时期。

我们相信，在党的政治路线和思想路线指引下，为实现我国四个现代化，土力学地基基础学科必将得到新的更大的发展。

第一章 土的物理性质与工程分类

§ 1-1 土的成因与特性

一、土的成因

土是岩石风化后的产物。地壳表层的岩石暴露在大气中，受到温度、湿度变化的影响，体积经常发生膨胀和收缩，不均匀的膨胀和收缩使岩石产生裂缝；同时岩石还长期经受风、霜、雨、雪的侵蚀和动植物活动的破坏，逐渐由大块崩解为形状和大小不同的碎块，这个过程叫作物理风化。物理风化只改变颗粒的大小和形状，不改变颗粒的成份。物理风化后形成的碎块与水、氧气和二氧化碳等接触，起化学变化，产生更细的并与原来的岩石成分不同的颗粒，这个过程，叫作化学风化。经过这些风化作用所形成的矿物颗粒（有时还有有机物质）堆积在一起，中间贯串着孔隙；孔隙间存在水和空气。这种碎散的固体颗粒、水和气体的集合体就叫做土。

物理风化不改变颗粒的矿物成分，产生了象卵石和砂等颗粒较粗的土。这类土，颗粒之间没有粘结作用，呈松散状态，称为无粘性土。化学风化产生很细的粘土颗粒，颗粒之间因为有粘结力而相互粘结。含有粘土颗粒的土，干时结成硬块，湿时有粘性，称为粘性土。由于成因不同，这两类土的物理性质和工程性能也很不一样。对这点要特别予以注意。

风化作用生成的土，如果没有经过搬运，堆积在原来的地方，叫做残积土。残积土一般分布在山坡或山顶。土受到各种自然力（例如重力、水流、风力、冰川等）的作用，搬运到别的地方再沉积下来，叫做沉积土。沉积土是一种最常碰到的土。

土在沉积的过程中，由于颗粒大小不同，沉积的环境不同，沉积后所受的力不同，形成的土松密程度和软硬程度也必然很不一样。例如粗的颗粒在水中下沉快，沉积的土就往往较密；极细的土粒，悬浮在水中，下沉很缓，沉积的土就较疏松；在水中刚沉积不久的土，没有经过压密，土就又松又软，而土愈积愈厚，下部的土因为长时间受上部土的压力作用，就要变密变硬。土的松或密，软或硬是表示土的状态。当然，土的状态不同，工程性质也不一样。

进一步从微观来研究土。一块土放在偏光显微镜下观察，可以看到构成土骨架的固体颗粒有一定的排列和连结方式，叫做土的结构。它与组成土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件等因素有关。通常土的结构可分为三种基本类型：单粒结构、蜂窝结构和绒粒结构。

1. 单粒结构 较粗的矿物颗粒在其自重作用下沉落，每个颗粒都达到稳定状态。由于生成条件不同，有的紧密，有的疏松。这种结构常见于砾石、砂土、粉土中。

2. 蜂窝结构 较细的土粒在自重作用下沉落，碰到已沉稳的土粒，由于两土粒间

接触点处的分子引力大于下沉土粒的重量时，土粒便被吸引着不再下沉，逐渐形成链环状单元，很多这样的链环联结起来，就形成疏松的蜂窝结构，如图 1—1(b) 所示。这种结构常在粘性土中遇到。

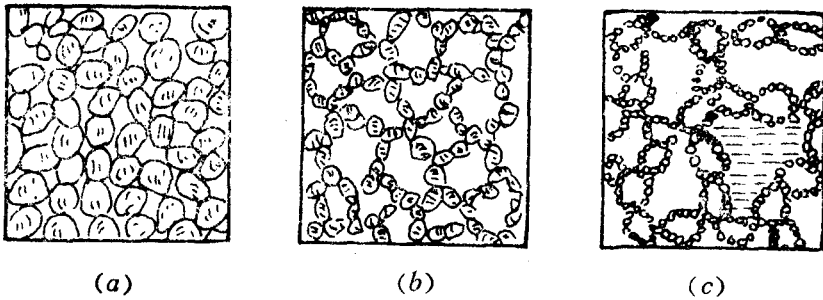


图 1—1 土的结构类型

3. 绒粒结构 极微小的粘粒大都呈针状或片状，它在水中呈现胶体特性。这主要是由于电分子力的作用，使土粒表面附有一层极薄的水膜（见下节）。这种带有水膜的土粒在水中运动时，形成小链环状的土集粒，然后沉积成大的链环，称为绒粒结构或絮凝结构，如图 1—1(c) 所示。这种结构在海积粘土中常见。

土的以上三种结构中，密实的单粒结构强度大，压缩性小，工程性质最好；蜂窝结构其次，绒粒结构最差，尤其天然结构遭到破坏时，强度极低、压缩性极大，不能用作天然地基。

二、土的特性

由以上土的成因可知，土是地壳表层的岩石，经过风化、剥蚀、搬运、沉积后，所形成的各种疏松的沉积物。土是碎散颗粒的集合体，与一般建筑材料（如钢材、木材）是连续的固体具有根本的区别。土的这种碎散性形成与一般建筑材料不同的若干特性：

1. 土有大的压缩性。因为土的固体颗粒之间存在大的孔隙，当受外力时，土的孔隙大大缩小，产生土的压缩性大的特性，这是引起建筑物沉降的内因。

2. 土颗粒之间具有相对移动性。土体受剪时，土的抗剪强度是由土颗粒之间表面的摩擦力和内聚力组成。一般建筑材料受剪切时，由材料本身剪裂产生抗剪强度。土颗粒之间的联结比颗粒本身强度低得多，因此土的抗剪强度就比一般建筑材料低得多。土颗粒之间这种相对移动性是引起建筑物滑动破坏的原因。

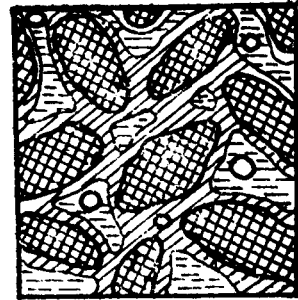
3. 土具有大的透水性。土的固体矿物颗粒之间存在大的孔隙，水可以在孔隙中流动而透水，一般建筑材料则往往是不透水的。

§ 1-2 土的三相组成

如前所述，土是由固体的矿物颗粒、液体和气体三部分组成。这三部分通常称为土的三相。固体的矿物颗粒构成土的骨架，骨架间贯串着孔隙，孔隙间有水 和 气体（图

1—2)。在一个单位体积的土中，这三部分所占的分量（按重量或体积计算）不是固定不变的，而是随着四周的环境，例如压力、空气的温度、地下水位的高低等条件的变化而变化着。例如，土所受的压力增加，土就要变密，单位体积内固体颗粒的数量就增加，相应的水和气体的数量就减小。

研究土的性质，首先就要研究构成土的三相本身的性质（如土粒矿物成分、大小、形状），它们之间的相对含量和相互作用对土的性质有什么影响。



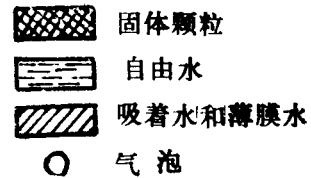

 固体颗粒
 自由水
 吸着水和薄膜水
 气泡

图 1—2 土的三相组成（放大）

一、土中的固体颗粒

固体颗粒是土的主要组成部分，也是决定土的性质的主要因素。颗粒的矿物成分不同、粗细不同、形状不同，土的性质也不同。

土粒一般是由各种矿物组成的。土粒的矿物成分可分为两类：（1）原生矿物，物理风化所产生的粗颗粒的矿物成分，它们就是原来岩石的矿物成分，常见的有长石、石英、角闪石、云母等。（2）次生矿物，是化学风化后产生的新的矿物，如颗粒极细的粘土矿物，常见的有高岭土、伊里土、蒙脱土等。固体颗粒的矿物成分不同，土的性质就不同。对粘性土，矿物成分影响十分明显。例如，粘性土中含有大量蒙脱土时，这种土就具有强烈的膨胀性，它的收缩性和压缩性也大。

土中固体颗粒粗细对土的性质影响也很大。因为颗粒愈细，单位体积内颗粒的表面积就愈大，与水接触的面积就愈多，颗粒间相互作用的能力就愈强。

固体颗粒的大小可以相差很多，粗的有几十厘米的，细的可以小于千分之几毫米。形状也不一样，有块状、片状等。这和土的矿物成分有关，也和土粒所经历的风化搬运过程有关。粒径的大小叫粒度，把粒度相近的颗粒算为一组，这样就把土分成许多粒组，不同的粒组在土的物理性质和工程性能上有显著差别。各粒组的名称、粒径范围、主要成分、颗粒形状和一般特性详见表 1—1。

在自然界里很难遇到由单一粒组所组成的土，绝大多数都是由几种粒组混合组成的。因此，为了说明天然土颗粒组成的情况，就不仅要了解土颗粒的粗细，而且要了解各种颗粒所占的比例。土中所含各粒组的相对含量，以土粒总重的百分数表示，称为土的粒径级配。表 1—2 中列举了某些土的粒径级配。粒径级配是决定土（特别是无粘性土）的工程性质的主要因素，故常被用来作为土的分类定名的标准。土按粒径级配分类的标准见本章 § 1—5。

二、土中水

土孔隙中经常含有若干水分。土中的固体颗粒与水接触就互相起作用。实验证明，土颗粒表面带有负电荷。水分子（ H_2O ）是极性分子，就是说带正电荷的 H^+ 和带负

表 1—1 土的粒组划分及各个粒组的基本特征

组别	粒组名称	粒径范围 (毫米)	颗粒成分	颗粒形状	一般特征
1	漂石 (块石)	>200	除母岩(如石灰岩、页岩)是由次生矿物组成外,一般由原生矿物组成。由于土粒比矿物颗粒大,通常每一颗粒由多种矿物组成,与母岩同。	多为块状,三个互相垂直方向的尺寸基本上属同一数量级。有带棱角和圆滑之分,决定于搬运过程。	颗粒间无连结,孔隙大,透水性大。无毛细作用。土体强度大,能受很大静载,压缩性小。
2	卵石 (碎石)	20~200			
3	砾石 (角砾)	2~20			
4	砂粒	0.05~2	一般是原生矿物,每一颗粒由单一矿物(如石英、长石、云母等)组成。	除由云母所构成的颗粒为页片状外,一般为块状,有棱角与圆滑之分。	干燥或饱水时均呈松散状,无粘性;易透水,遇水不膨胀,变干不收缩,有毛细作用,但升高小。紧密堆积时强度较大,能受较大静载,压缩性较小(若含云母,则压缩性增大)。
5	粉粒	0.005~0.05	成分以石英居多(颗粒小于0.05毫米时,化学风化作用强烈,其它矿物风化更细的次生矿物),也有难溶的次生矿物(碳酸盐)。	大部分与砂粒相同,通常以在水中下沉速度与之相同的球体直径作为它的粒径,称为水力直径。	干燥时呈松散状态,湿时出现轻微的粘性。透水性小,毛细作用显著,速度快,升高大。力学性质介于砂粒和粘粒之间。
6	粘粒	<0.005	大部分是化学风化后的次生矿物(粘土矿物和各种可溶盐),还有腐植质。	大多数是鳞片状,也有针状的。厚度只有长度或宽度的百分之几。粒径指水力直径。	湿时有粘性和可塑性,遇水膨胀,变干则收缩而结成硬块;其程度与组成的粘土矿物有关。透水性甚小,有毛细作用,但速度慢。强度与其湿度密度有关,变化范围很大,一般情况下强度较小,压缩性大。

电荷的 OH^- 各位于水分子的两端(图 1—3(a))。这样的分子就会被颗粒表面的电荷所吸引而定向地排列在颗粒的四周(图 1—3, b、c), 离颗粒表面愈近, 吸引力愈大。水按其所受吸引力的大小可以分为下列几种形态。

① 吸着水 吸着水是被颗粒表面电荷紧紧吸附在土粒周围很薄的一层水。这种水的性质接近于固体、不冻结, 土受压时不移动, 只有在 105°C 以上的温度烘烤才能全