

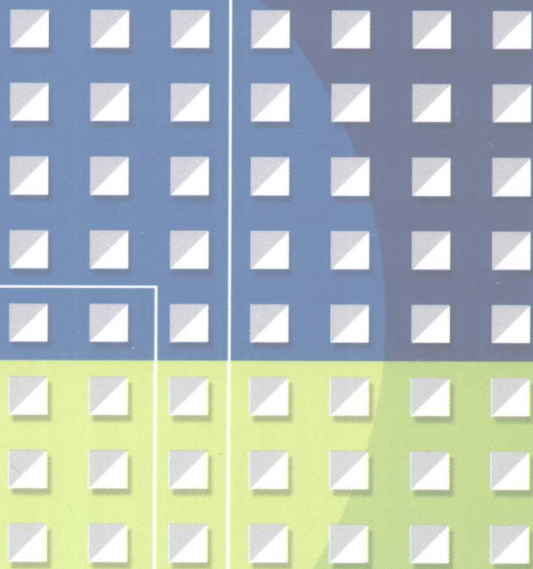


高等学校“十一五”精品规划教材

土力学

主编 白顺果 崔自治 党进谦

TULIXUE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

土力学

主 编 白顺果 崔自治 党进谦
副主编 刘干斌 张艳美 代亚丽
参 编 李海燕 黄春霞 张 明 朱常志



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高等学校“十一五”精品规划教材之一。全书除了绪论部分外共八章，主要内容包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、土中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力和挡土墙、土坡稳定分析、地基承载力。各章后附有相应的思考题和习题，书后附录还包括土工试验指导书。

本书可作为土木工程专业各专业方向（如建筑工程、市政工程、地下工程、道桥工程等）土力学教材，也可作为水利工程等专业土力学课程教材，还可供土建、水利专业技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学/白顺果等主编. —北京: 中国水利水电出版社,
2009

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-6020-8

I. 土… II. 白… III. 土力学—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189403 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 土 力 学
作 者	主编 白顺果 崔自治 党进谦
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.75 印张 397 千字
版 次	2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	30.00 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



测量学

房屋建筑学

土木工程施工

土木工程地质

建筑钢结构

建筑工程制图

建筑工程制图习题集

土力学

钢结构

理论力学

计算机辅助设计—AutoCAD

土木工程材料

建筑工程施工组织与管理

流体力学

建设工程项目管理

土木工程建设监理

弹性力学

高层建筑结构设计

结构力学

材料力学

建筑设备工程

建筑结构抗震

混凝土结构设计原理

混凝土结构设计

高屋建筑结构设计

建筑力学

工程制图

工程制图习题集

机械制图

机械制图习题集

水利工程监理

水利水电工程测量

工程水文学

地下水利用

灌溉排水工程学

水利工程施工

水利水电工程概预算

工程力学（高职高专适用）

水利工程监理

水资源规划及利用

前言

本书为高等学校“十一五”精品规划教材之一。

土力学是高等学校土木工程专业的一门必修的专业基础课。本书编写遵循普通高等学校土木工程专业培养方案，并对教学内容进行了拓展，尽量兼顾其他方向的专业知识。

本书除绪论部分外共分八章，其中绪论及第三章由河北农业大学白顺果编写；第一章第一～五节由南京工业大学黄春霞编写，第一章第六、七节由河北农业大学朱常志编写；第二章由西北农林科技大学党进谦编写；第四章由中国石油大学张艳美和张明编写；第五章由宁夏大学崔自治编写；第六章由宁波大学刘干斌编写；第七章由西北农林科技大学代亚丽编写；第八章及附录部分由甘肃农业大学李海燕编写。全书由白顺果起草编写大纲并负责统稿。

限于编者的水平，如书中有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

作者

2009年1月

主 要 符 号

A ——基础底面积；孔隙水应力系数

a ——压缩系数

B ——孔隙水应力系数

b ——基础底面宽度（最小边长）

C ——滑动面上黏聚力的合力

c ——土的黏聚力

C_a ——次固结系数

C_c ——压缩指数；曲率系数

C_s ——回弹再压缩指数

C_v ——竖向向固结系数

c_u ——三轴不排水强度

c' ——有效黏聚力

d ——基础埋深；圆的直径

d_s ——土粒相对密度（比重）

d_{10} ——有效粒径

d_{60} ——控制粒径

D_r ——砂土相对密实度

E_0 ——静止土压力

E_a ——主动土压力

E_p ——被动土压力

e ——孔隙比；荷载偏心距

E_s ——压缩模量

E_0 ——变形模量

F ——基础顶面竖向荷载

f ——地基承载力设计值

f_a ——修正后地基承载力特征值

f_{ak} ——地基承载力特征值

G ——基础自重

H ——水头；最大排水距离；墙高；土层厚度

h ——测压管水头；高度；土分层厚度

h_0 ——黏性土主动土压力拉力区高度

i ——水力梯度

i_{cr} 、 i_0 ——临界水力梯度、起始水力梯度

I_p ——塑性指数

I_L ——液性指数

i_γ 、 i_q 、 i_c ——荷载倾斜系数

j ——渗流力

K ——安全系数

K_0 ——侧压力系数、静止土压力系数

K_a ——主动压力系数

K_p ——被动土压力系数

k ——渗透系数

k_v 、 k_h ——竖向渗透系数、水平向渗透系数

L ——渗径长度

l ——长度

M ——力矩

m ——质量

m_v ——体积压缩系数

m_s 、 m_w ——土粒质量、水的质量

N ——标贯击数

N_γ 、 N_q 、 N_c ——承载力系数

n ——孔隙率；长宽比；土层数目；井径比；振次

OCR ——超固结比

p ——基底平均压力

p_0 ——基底平均附加压力

p_c ——前期固结压力

p_{cr} ——临塑荷载

p_u ——地基极限承载力

p_h ——水平分布荷载

p_t ——三角形分布荷载最大值

$[p]$ ——地基容许承载力

Q ——渗流量

q ——均布荷载，单位时间渗流量

q_u ——无侧限抗压强度（原状土）

q'_u ——无侧限抗压强度（重塑土）

R ——滑动圆弧半径

r ——圆的半径	φ' ——有效内摩擦角
s ——沉降量	ψ_s ——沉降计算经验系数
s_c ——固结沉降	η_b, η_d ——宽度修正系数、深度修正系数
s_d ——初始沉降	$\sigma_{cz}, \sigma_{cx} (\sigma_{cy})$ ——竖向自重应力、水平向自重应力
s_s ——次固结沉降	σ_0 ——静止土压力强度
S_r ——饱和度	σ_a ——主动土压力强度
S_t ——灵敏度；固结时间 t 后的基础沉降量	σ_p ——被动土压力强度
s_γ, s_q, s_c ——基础形状系数	α_c ——矩形面积受均布荷载作用时角点下竖向附加应力系数
T_v ——时间因数	α_t ——矩形面积受三角形分布荷载作用时角点下竖向附加应力系数
t ——时间	α_h ——矩形面积受水平荷载作用时角点下竖向附加应力系数
U ——固结度	α_r ——圆形面积受均布荷载作用时中心点下竖向附加应力系数
u ——孔隙水应力	$\alpha_{sz}, \alpha_{sx}, \alpha_{sxz}$ ——条形基底均布荷载下相应的三个附加应力系数
u_0 ——初始孔隙水应力	$\alpha_{tz}, \alpha_{tx}, \alpha_{txz}$ ——条形基底三角形分布荷载下相应的三个附加应力系数
V ——体积	$\alpha_{hz}, \alpha_{hx}, \alpha_{hxz}$ ——条形基底水平荷载下相应的三个附加应力系数
ω ——含水率	$\bar{\alpha}$ ——平均附加应力系数
ω_p ——塑限	τ_f ——土的抗剪强度
ω_L ——液限	τ_r ——土的残余强度
ω_s ——缩限	
ω_{op} ——最优含水率	
z_n ——压缩层厚度	
φ ——内摩擦角	
$\varphi_q, \varphi_{cp}, \varphi_s$ ——快剪内摩擦角、固结快剪内摩擦角、慢剪内摩擦角	
$\varphi_u, \varphi_{cu}, \varphi_d$ ——不排水剪内摩擦角、固结不排水剪内摩擦角、排水剪内摩擦角	

目 录

前言

主要符号

绪论..... 1

第一章 土的物理性质与工程分类..... 4

第一节 土的形成 4

第二节 土的组成 7

第三节 土的结构与构造..... 16

第四节 土的物理性质指标..... 18

第五节 土的物理状态 24

第六节 土的压实性 29

第七节 土(岩)的工程分类..... 31

复习思考题 36

习题 37

参考文献 37

第二章 土的渗透性与渗流 38

第一节 概述 38

第二节 土的渗透性与达西定律 39

第三节 土的渗透系数 41

第四节 二维渗流与流网..... 45

第五节 渗透力与渗透破坏..... 50

复习思考题 55

习题 55

参考文献 56

第三章 土中应力计算 57

第一节 概述 57

第二节 土体中的自重应力..... 57

第三节 基底压力与基底附加压力..... 60

第四节 地基中的附加应力计算..... 64

第五节 非均质和各向异性地基中的附加应力 80

第六节 饱和土体的有效应力原理..... 82

复习思考题	86
习题	87
参考文献	88
第四章 土的压缩性与地基沉降计算	89
第一节 概述	89
第二节 土的压缩性	90
第三节 土的应力历史对土体压缩性的影响	99
第四节 地基最终沉降量计算	104
第五节 地基沉降与时间的关系	123
复习思考题	134
习题	134
参考文献	135
第五章 土的抗剪强度	137
第一节 概述	137
第二节 莫尔—库伦抗剪强度理论	138
第三节 土体极限平衡条件	139
第四节 土的抗剪强度指标测定	144
第五节 砂土的抗剪强度性状	150
第六节 饱和黏性土的抗剪强度性状	152
第七节 孔隙水应力系数	159
第八节 应力路径	161
复习思考题	164
习题	164
参考文献	166
第六章 土压力和挡土墙	167
第一节 概述	167
第二节 静止土压力计算	169
第三节 朗肯土压力理论	171
第四节 库伦土压力理论	180
第五节 挡土墙设计	196
复习思考题	204
习题	204
参考文献	205
第七章 土坡稳定分析	206
第一节 概述	206
第二节 无黏性土土坡稳定分析	208

第三节 黏性土土坡稳定分析	209
第四节 特殊情况下土坡稳定分析	222
复习思考题	225
习题	225
参考文献	226
第八章 地基承载力	227
第一节 概述	227
第二节 按塑性开展区深度确定地基承载力	229
第三节 按理论公式计算地基极限承载力	234
第四节 按原位试验确定地基承载力	240
第五节 按《建筑地基基础设计规范》方法确定地基承载力	242
复习思考题	243
习题	244
参考文献	244
附录 土工试验指导书	245
附录 A 基本性质试验	245
附录 B 土的液、塑限测定	247
附录 C 土的击实试验	248
附录 D 土的渗透试验	249
附录 E 土的压缩性试验	250
附录 F 土的直接剪切试验 (快剪)	251
附录 G 土的三轴剪切试验	252

绪 论

一、土力学的学科特点

土力学是力学的一个分支，它的研究对象是地球表层中的土体。土是由地球表层的整体岩石经长期的物理、化学、生物等风化作用后形成的松散颗粒的堆积物。因此，土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体。土与其他连续固体介质（如钢、木、混凝土等建筑材料）相比具有多孔性、散体性、易变性、多样性、透水性以及强度低、变形大等特点。另外，由于自然地理环境和沉积条件的不同而形成的具有明显区域性的一些特殊土还具有特殊的性质。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、室内及现场试验辅以理论计算。所以土力学是一门强烈依赖于实践的学科。它是利用力学的基本原理和土工测试技术，研究土的物理性质以及受外力发生变化时的应力、变形、强度和渗透等特性及其规律的一门学科。

土力学学科需研究和解决工程中的三大类问题。一是土体稳定问题（或强度问题），即研究土体中的应力和强度，例如地基的稳定、土坝的稳定、挡土墙的稳定等。当土体的强度不足时，将导致建筑物的失稳或破坏，围绕稳定问题，土力学课程中将研究土的抗剪强度性质、地基承载力确定、土压力计算以及土坡稳定分析等内容。二是土体变形问题，即使土体具有足够的强度能保证自身稳定，然而土体的变形尤其是沉降和不均匀沉降不应超过建筑物的允许值，否则，轻者导致建筑物的倾斜、开裂，降低或失去使用价值，重者将会酿成毁坏事故，围绕变形问题，土力学课程将研究土的变形性质、土体中的应力计算、最终沉降计算以及沉降随时间变化的固结计算等内容。三是渗透问题，对于土工建筑物（如土坝、土堤、岸坡等）、水工建筑物地基，或者其他挡土挡水结构，在荷载作用下土体除了满足前述的稳定和变形要求外，还要研究渗透对土体变形和稳定的影响，围绕渗透问题，土力学课程中将学习土的渗透性质以及有关渗透变形和渗透稳定性等相关知识。

土力学的先导及相关课程主要有工程与水文地质学、材料力学、弹性力学等。

二、土力学的发展简史

土力学是一门既古老又年轻的应用科学。我国古代劳动人民创造了灿烂的文化，留下了令今人叹为观止的工程遗产。例如，举世闻名的长城、大运河，被誉为亘古奇观，宏伟壮丽的宫殿寺院，遍布各地的巍巍高塔等，这些工程无不体现出能工巧匠的高超技艺和创新智慧。然而这些还仅局限于工程实践经验，由于当时生产力发展水平的限制，还未能形成系统的土力学和工程建设理论。

土力学理论的形成始于 18 世纪兴起了工业革命的欧洲。那时, 随着资本主义工业化的迅速发展, 带动了水利、道路和建筑的快速发展, 直至 19 世纪中叶, 桥梁、铁路及公路已构成大规模发展态势。这时, 提出了大量与土力学有关的问题并有不少的成功经验, 特别是一些工程事故的教训引起了学术界的重视, 迫使人们开始寻求理论上的解释, 出现了探讨土的物理力学特性中的某些侧面, 并建立了至今仍然沿用的若干理论。如 1773 年, 法国的 C. A. 库伦 (C. A. Coulomb) 根据试验建立的砂土抗剪强度理论, 随后还提出了建立在滑动土楔平衡条件基础上的土压力理论。1857 年, 英国的 W. J. M. 朗肯 (W. J. M. Rankine) 又提出了建立在土体的极限平衡条件基础上的土压力理论。这对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。1856 年, 法国工程师 H. 达西 (H. Darcy) 研究了砂土的透水性, 创立了堪称土力学奠基石之一的达西渗透定律。1885 年法国 J. 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。1920 年, 法国的 L. 普朗德 (L. Prandtl) 根据塑性平衡的原理, 导出了著名的地基承载力计算公式。1922 年瑞典 W. 费伦纽斯 (W. Fellenius) 为解决铁路坍方问题提出了土坡稳定分析法。这些古典的理论和方法为土力学学科的形成奠定了基础, 直到今天, 在堤坝、边坡和挡土墙设计中, 库伦或朗肯土压力理论以及费伦纽斯条分法等仍被广泛应用。

在长达一个多世纪的发展过程中, 许多研究者继承前人的研究, 总结了实践经验, 为孕育本学科的雏形而作出贡献。1925 年, 美籍奥地利人 K. 太沙基 (Karl. Terzaghi) 在其多年致力于土工问题理论探讨的基础上, 归纳发展了以往的研究成果, 提出了一维固结理论, 阐述了著名的有效应力原理, 发表了第一本《土力学》专著, 标志着近代土力学学科的形成, 从此土力学成为一门独立的学科。此后, 在众多学者的努力下, 有效应力原理得到了进一步的深化和广泛应用, 发展了二维和三维固结理论。土的基本特性、强度理论与稳定问题、变形理论、动力特性、流变理论等研究与应用都取得了重大成就, 有力地推动了土力学学科的发展。1963 年, 英国剑桥大学罗斯科 (K. H. Roscoe) 等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型, 这标志着人们对土性质的认识和研究突破了刚塑性理论模型的框架进入了一个崭新阶段。

20 世纪 60 年代后期, 由于计算机的出现, 计算方法和测度技术的改进以及本构模型的建立等, 迎来了土力学发展的新时期, 即现代土力学。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), 其中理论土力学是龙头, 计算土力学是筋脉, 实验土力学是基础, 应用土力学是动力。未来人类的发展将面对资源 and 环境对人类生存的挑战, 更多的岩土工程问题需要解决。

三、土力学的学习方法和要求

土力学是岩土工程学科的基础, 是土木工程、水利水电工程、地质工程、路桥、环境工程及港口工程等专业的一门专业基础课程。土力学的基本理论、基本方法是学习后续课程和有关专业课程的重要基础, 是解决许多工程问题的有力工具, 应用范围很广。因此学好土力学是能够圆满完成各种工程建设的基础。

土力学这门课程的研究对象土不同于其他工程材料, 它是一种自然环境下生成的堆积

物，不同地区、位置的土性质存在差异。正是因为天然土体的特殊性，所以学习这门课不仅要重视基本理论知识的学习，即掌握基本理论和方法的基本假设和适用范围；还要重视土工试验和工程实例的分析研究，只有通过土工试验，通过工程实例分析才能了解土的物理性质和力学性质的基本手段，掌握基本的土工试验技术，从实践中获取知识，积累经验逐步加深对土力学理论的认识、不断提高处理地基基础问题的能力。土的种类很多，工程性质很复杂，因此，在学习、理解和掌握土力学理论时，还应注意学习科学家们就复杂土工问题如何抓住主要问题进行抽象、简化、建模、求解的思路和方法，从而在学习土力学的基本概念和基本理论的同时，学到分析问题和解决问题的方法。在应用土力学解决工程问题时要重视理论、室内外测试和经验三者相结合，这一思想在学习土力学基本理论时就要牢固建立。

对于本课程学习的基本要求是：掌握土的物理性质研究方法；学会计算土体应力，了解应力分布规律；掌握土的渗透理论、压缩理论、固结理论及有效应力原理和应力历史的概念，能熟练地进行地基沉降和固结计算；掌握土的强度理论及其应用，能熟练进行土压力计算、土坡稳定验算和地基承载力的计算。另外还要掌握常规土工试验的理论与操作技术，通过试验深化理论学习，理解和掌握确定计算参数的方法。学习土力学可以简单用一句话来概括，即搞清概念、掌握原理、抓住重点、理论联系实际、学会设计计算、重在工程应用。

第一章 土的物理性质与工程分类

自然界中的土，是指分布在地球表面自然形成的松散堆积物。土的主要物质是岩石风化的产物，其次是地球生物残骸分解过程中的物质，它们组成土体的固体部分。土体孔隙一般由水或者气充填，从而形成由固相、液相、气相组成的三相分散系。大多数土体中，固相物质体积占总体积的一半以上。土体中的孔隙大部分是相互连通的，孔隙水或气体可以流动。土中三相物质的含量比例不同，使土的状态和物理力学性质产生很大差异。不同成因类型的土，性质有很大差别。

土与岩石的主要区别在于土体的固体颗粒联结很弱，并且土体的孔隙率比岩石的孔隙率高得多，因此其强度比岩石和其他固体材料要低得多，且极易受外界环境（湿度、温度等）的影响。但单从强度不能划分土和岩石，实际上有时坚硬的土体强度可能比软岩强度还高。由于土的成因类型、成土时间不同，其性质极其复杂多变。本章从土的形成、土的三相组成、土的结构与构造、土的物理性质指标、土的物理状态、土的压实性及土的工程分类等方面，对土的性质进行全貌式概述，以便加深对土的物理力学性质多变性和规律的了解。

第一节 土 的 形 成

土是自然界中性质最为复杂多变的物质。土的物质成分起源于岩石的风化（物理风化和化学风化）。地壳表层的坚硬岩石，在长期的风化、剥蚀等外力作用下，破碎成形状不同、大小不一的矿物颗粒，这些颗粒受各种自然力作用，在各种不同的自然环境下堆积下来，就形成了土。

初期形成的土是松散的，颗粒之间没有任何联系。随着沉积物逐渐增厚，产生上覆土层压力，使得较早沉积的颗粒排列渐趋稳定，颗粒之间由于长期的接触产生了一些胶结加之沉积区气候干湿循环、冷热交替的持续影响，最终形成了具有某种结构连结的地质体（土体），并通常以成层的形式（土层）广泛覆盖于前第四纪坚硬的岩层（岩体）之上。

工程上所遇到的大多数土都是在第四纪地质年代内所形成的。第四纪地质年代的土又可划分为更新世与全新世两类。更新世为 1.3 万年到 71 万年；而全新世为 0.25 万年到 1.3 万年。在有人类文化期以来沉积的土称为新近代沉积土。

一、风化作用

风化作用是由于气温变化、大气、水分及生物活动等自然条件使岩石破坏的地质作用。岩石风化后形成的物质其性质与原生岩石（母岩）的性质有很大的区别。风化作用可

分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。这三类风化经常是同时进行并且互相作用而发展的过程。

(一) 物理风化

物理风化是岩体在各种物理作用力的影响下，从大的块体分裂为小的石块或像砂粒大小的土粒的过程。风化后的产物仅仅由大变小，其化学成分不变。产生物理风化的原因如下。

1. 地质构造力

地壳的岩体承受着巨大的构造力，它可以使得岩体断裂为大小不等的岩块。在破碎带中岩体破碎为小石块甚至为土粒。岩体表面的卸荷也会形成卸荷裂缝，破坏岩体的整体性，甚至存在着片状剥落的现象。

2. 温差

气温变化是物理风化作用的主要因素。在昼夜、晴雨的气温变化中，岩石表面的温度变化比内部大，因而表里胀缩不均。加之，所含不同矿物的膨胀系数不同，在气温变化时也削弱了矿物间的联结作用。久而久之，使岩石产生裂隙，由表及里遭到破坏。这种现象在大陆干燥气候区表现最为显著。

3. 冰胀

岩石的裂隙中如有水存在，在冬季裂隙水结冰时冰胀的巨大力量可以扩大岩体的裂隙，造成更深更密的裂隙网。长期反复作用，使岩石更破碎。

4. 碰撞

风、水流、波浪的冲击及挟带物对岩体表面的撞击等都有使岩体遭受破坏和剥蚀的作用。

物理风化后岩石由大到小，这种量的变化的积累，使巨大的岩石变成了散碎的颗粒。

由物理风化生成的土为粗粒土，如块石、碎石、砾石和砂土等，这种土总称无黏性土。

(二) 化学风化

化学风化是指母岩表面和碎散的颗粒受环境因素的作用而改变其矿物的化学成分，形成新的矿物，也称次生矿物。环境因素包括水、空气及溶解在水中的氧气和碳酸气等。化学风化常见的作用如下。

1. 水解作用

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，在此过程中新成分产生膨胀使岩石胀裂。例如，正长石经过水解作用后，形成高岭石。另外，新生成的含水矿物强度低于原来的无水矿物，对抵抗风化不利。

2. 水化作用

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）水化后称为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （含水石膏）。

3. 氧化作用

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）氧化后第一

阶段变成 FeSO_4 (铁矾), 进一步氧化第二阶段变成 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (硫酸铁), 在氧气和水的作用下进一步变成 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (褐铁矿)。

其他还有溶解作用、碳酸化作用等。

化学风化的结果, 形成十分细微的土颗粒, 最主要的为黏土颗粒 ($<0.005\text{mm}$) 及大量的可溶性盐类。微细颗粒的表面积很大, 具有吸附水分子的能力。

经化学风化生成的土为细粒土, 具有黏结力, 如黏土与粉质黏土, 总称为黏性土。

(三) 生物风化

生物风化作用是指生物活动过程中对岩石的破坏作用, 可分为物理的和化学的两种。例如, 植物根部在岩缝中生长, 使岩石机械破坏; 而动植物新陈代谢所排出的各种酸类、动植物死亡遗体腐烂产物以及微生物作用等, 则使岩石成分变化, 遭到腐蚀破坏。

上述风化作用常常是同时存在、互相促进的。但是在不同地区, 自然条件不同, 风化作用又有主次之分。例如, 在我国西北干旱大陆性地区, 水很缺乏, 气温变化剧烈, 以物理风化为主; 在东南沿海地区, 雨量充沛, 潮湿炎热, 则以化学风化为主。

二、土的成因类型及其特点

在自然界, 岩石和土在其存在、搬运和沉积的各个过程中都在不断进行风化, 由于形成条件、搬运方式和沉积环境的不同, 自然界的土也就有不同的成因类型。

根据土的形成条件, 常见的成因类型有以下几种。

1. 残积土

残积土是指岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑堆积物。它的基本特点是颗粒表面粗糙、多棱角、无分选、无层理。

2. 坡积土

坡积土是残积土受重力和暂时性水流 (雨水、雪水) 的作用, 搬运到山坡或坡脚处沉积起来的堆积物。坡积颗粒随斜坡自上而下呈现由粗到细的分选性和局部层理。由于坡积土的搬运距离短, 来不及在土粒和石块尺寸上分选, 因而土中各种组成物的尺寸相差很大, 性质很不均匀。

3. 洪积土

洪积土是残积土和坡积土受洪水冲刷、搬运, 在山沟出口处或山前平原沉积下来的堆积物。洪积土随离山由近及远有一定的分选性, 颗粒有一定的磨圆度, 力学性质较差。

4. 冲积土

由于江、河水流搬运所形成的沉积物, 分布在山谷、河谷和冲积平原上的土都属于冲积土。这类土由于经过较长距离的搬运, 磨圆度和分选性都更为明显, 常形成砂层和黏性土层交叠的地层。

5. 湖积土

湖积土是在极为缓慢水流或静水条件下沉积形成的堆积物。这种土的特征, 除了含有细微的颗粒外, 常伴有由生物化学作用所形成的有机物的存在, 成为具有特殊性质的淤泥或淤泥质土, 其工程性质一般都很差。

6. 海积土

海积土是由水流挟带到大海沉积起来的堆积物。其颗粒细，表层土质松软，工程性质较差。

7. 风积土

风积土是由风力搬运形成的堆积物。其颗粒磨圆度好，分选性好。我国西北黄土就是典型的风积土。

8. 冰积土

冰积土是由冰川或冰水挟带搬运形成的沉积物。其颗粒粗细变化大，土质不均匀。

土的上述形成过程决定了它具有特殊物理力学性质。与一般建筑材料相比，土具有三个重要特点：

(1) 散体性。颗粒之间无黏结或一定的黏结，存在大量孔隙，可以透水透气。

(2) 多相性。土往往是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系，相系之间质和量的变化直接影响它的工程性质。

(3) 自然变异性。土是在自然界漫长的地质历史时期演化形成的多矿物组合体，其性质复杂，不均匀，且随时间还在不断地变化。

深刻理解土的这些特点，有利于掌握土力学性质的本质。

第二节 土的组成

天然形成的土通常由固体颗粒、液体水和气体三个部分（俗称三相）组成。固体颗粒是土的最主要物质成分，由许多大小不等、形态各异的矿物颗粒按照各种不同的排列方式组合在一起，构成土的骨架，亦称土粒。天然土体中土粒的粒径分布范围极广，不同土粒的矿物成分和化学成分也不一样，其差别主要由形成土的母岩成分及搬运过程中所遭受的地质应力所控制。

一、土的固体颗粒（固相）

土的固体颗粒构成土的骨架，其大小和形状、矿物成分及其组成情况是决定土的工程性质的重要因素。研究固体颗粒就要分析粒径的大小及各种粒径所占的百分比。另外，还要研究固体颗粒的矿物成分及颗粒的形状。一般颗粒的成分都是原生矿物，形状多为粒状；而颗粒很细的土，其成分大多是次生矿物，形状多为片状或针状。

（一）粒组的划分和粒径级配曲线

1. 颗粒大小与粒组划分

天然形成的土，土粒的大小悬殊、性质各异。例如，有粒径大于 200mm 的漂石，还有粒径小于 0.005mm 的黏粒，两者粒径相差 4 万倍。造成颗粒大小悬殊的原因主要与土的矿物成分密切相关，也与土所经历的风化和搬运过程有关。一般地，随着颗粒大小的不同，土表现出不同的工程性质。土粒的大小通常以其平均直径 d 表示，简称粒径（亦称粒度），一般以毫米为单位。为便于研究，工程上通常大小相近、性质相似的土粒划分为一组，称为粒组。我国目前广泛采用两种粒组划分方案，如表 1.2.1 所示。