

高等学校土木工程系列教材

土力学原理

王成华 主编 陈环 主审

$(\sigma - \sigma)$

c

θ

σ

σ

σ

$\leftarrow \sigma \quad \sigma \rightarrow$



164

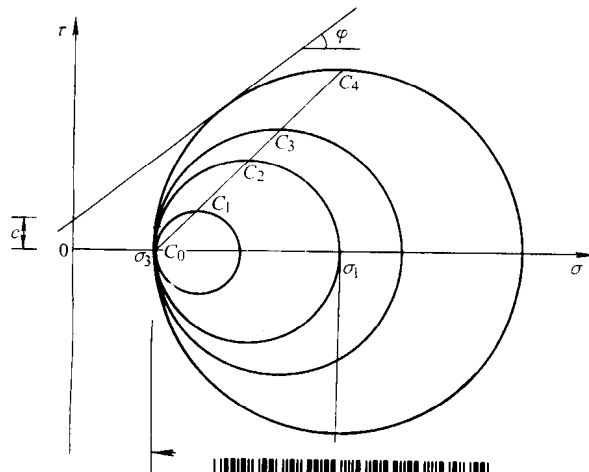
高等学校土木工程类系列教材

7063-43
W31

土力学原理

(第一版)

王成华 主编
陈 环 主审



天津大学出版社

内 容 提 要

本书是面向 21 世纪的土木工程类系列教材之一。

本书根据土木工程专业的教学大纲要求, 强调土力学基本概念、基本原理和基本设计方法, 并扩展土木工程专业知识面的原则, 结合长期教学与工程设计的经验, 根据国家颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 等最新设计规范编写。

本书内容可分为两大部分: 第一部分(一至六章) 主要介绍了土的物理力学性质与分类、地基应力分析、土的渗透与渗流、土的压缩性与地基变形分析及土的动力特性等内容; 第二部分(七至九章) 重点介绍了土力学的三大传统课题, 即挡土墙土压力理论、土坡稳定性分析及地基承载力理论等。

本书具有内容广泛、章节划分详细等特点, 因此能适于不同类别、不同层次的从本科到专科等土木工程专业及相近专业的土力学教学要求。除可作为大学土木工程专业的教材外, 亦可作为土木工程、水利工程、交通工程以及矿业工程等的勘察、设计、施工技术人员和报考土木工程、水利工程等专业硕士研究生人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学原理/王成华主编. —天津: 天津大学出版社, 2002.6

ISBN 7-5618-1596-4

I. 土... II. 王... III. 土力学-高等学校-教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 034922 号

出版发行 天津大学出版社

出版人 杨风和

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)

电 话 发行部: 022-27403647 邮购部: 022-27402742

印 刷 河北省昌黎县人民胶印厂

经 销 全国各地新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.5

字 数 362 千

版 次 2002 年 6 月第 1 版

印 次 2002 年 6 月第 1 次

印 数 1-3000

定 价 19.00 元

前 言

本书是综合我国诸多院校土木工程专业的土力学与基础工程教学大纲的要求编写的。主要遵循以下几个原则。

(1) 强调基本概念、基本原理与基本方法。力图准确地阐述土力学中的基本概念和基本原理,使学生在理解和掌握基本原理的基础上掌握土力学的基本计算与实验方法。为了达到突出重点、兼顾全面的目的,对比较庞杂、冗余的部分尽量削枝强干,如在附加应力中取消了与公式重复、占大量篇幅的应力系数表格,使理论体系更趋紧凑,便于理解。

(2) 扩展土木工程专业学生的知识面。本书与以往多数土建类的土力学教材相比,在内容上强化了土中水在土力学中的地位和作用,如增加渗流分析与强化饱和土中渗透力系的分析等,以使學生能对在较复杂水力环境下的工程实践问题加以重视。本书还增加了有关土的动力特性等方面内容,使學生对于后续教学内容如动力机器基础、地基基础抗震及地基基础动力检测等工程中的土动力学问题有初步的知识基础。

(3) 反映我国有关规范编制建设的成果。本书是根据国家新颁布的《建筑地基基础设计规范》等最新设计规范编写的,在涉及规范处,力图反映我国设计规范在基本原则和基本规定方面内容的变化及其与土力学概念与原理的相辅相成关系。

(4) 内容层次分明、适应多层次教学要求。本书不但扩展了传统土木类的土力学教学内容,而且在章、节乃至小节的划分上,力求层次分明,使各部分内容既相互联系又有相对的独立性,便于从本科到专科等不同类别、不同层次的土木工程专业以及相近专业在教学内容上的取舍。

(5) 适当地吸收国内外土力学比较成熟的新内容。本书注意反映土力学学科发展新方向和水平,以使教学适应我国 21 世纪工程建设发展趋势。

本书内容可分为两大部分:第一部分(一至六章)主要介绍了土的物理性质与分类、地基应力分析、土的渗透与渗流、土的压缩性与地基变形分析及土的动力特性等内容;第二部分(七至九章)重点介绍了土力学的三大传统课题,即挡土墙土压力理论、土坡稳定分析及地基承载力理论等。

本书由天津大学王成华任主编,天津大学陈环教授任主审。

各章编写单位及编写人如下:

- | | | |
|-----|-----|--------------------|
| 绪 论 | 王成华 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |
| 第一章 | 陆培毅 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |
| 第二章 | 王成华 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |
| 第三章 | 严 驰 | 天津大学建筑工程学院岩土工程研究所; |
| | 史艳娇 | 天津大学建筑工程学院港口工程系; |
| 第四章 | 郑 刚 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |
| 第五章 | 严 驰 | 天津大学建筑工程学院岩土工程研究所; |
| 第六章 | 王成华 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |
| 第七章 | 郑 刚 | 天津大学建筑工程学院土木工程系; |

第八章 严 驰 天津大学建筑工程学院岩土工程研究所；
第九章 陆培毅 天津大学建筑工程学院土木工程系。
限于编者的水平，本书不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2002年1月

目 录

绪论	(1)
第一章 土的物理性质及工程分类	(4)
第一节 土的生成	(4)
第二节 土的组成	(12)
第三节 土的物理特性指标	(16)
第四节 无黏性土的密实度	(19)
第五节 黏性土的物理特性	(20)
第六节 土的工程分类	(22)
习题	(29)
参考文献	(29)
第二章 地基应力分析	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 土体的自重应力计算	(33)
第三节 基底压力及其简化计算	(35)
第四节 竖向荷载作用下地基附加应力计算	(41)
第五节 水平荷载作用下地基附加应力计算	(57)
第六节 特殊条件下的地基附加应力计算	(59)
第七节 有效应力原理	(65)
习题	(67)
参考文献	(68)
第三章 土的渗透性与渗流分析	(69)
第一节 概述	(69)
第二节 土的渗透性	(70)
第三节 二维渗流与流网	(77)
第四节 渗透力及渗透变形	(82)
第五节 渗流情况下的孔隙水压力与有效应力	(85)
习题	(89)
参考文献	(90)
第四章 地基变形分析	(91)
第一节 土体压缩性的概念	(91)
第二节 研究土体压缩性的方法及土的压缩性指标	(91)
第三节 太沙基一维固结理论	(100)
第四节 地基沉降计算	(107)
习题	(120)
参考文献	(121)

第五章 土的强度特性	(122)
第一节 概述.....	(122)
第二节 库仑定律和摩尔——库仑强度准则.....	(122)
第三节 抗剪强度的测定方法.....	(127)
第四节 有效应力原理在抗剪强度中的应用.....	(131)
第五节 土的强度特性的若干问题.....	(135)
习题.....	(141)
参考文献.....	(141)
第六章 土的动力性质	(142)
第一节 动荷载类型及其作用.....	(142)
第二节 土的动力特性参数.....	(146)
第三节 土的动力反应三阶段.....	(153)
第四节 饱和砂土的振动孔压及其估算.....	(155)
第五节 土的振动压密与振陷.....	(156)
第六节 土的动强度.....	(158)
第七节 土的振动液化.....	(162)
习题.....	(170)
参考文献.....	(170)
第七章 挡土墙土压力计算	(171)
第一节 概述.....	(171)
第二节 朗肯土压力理论.....	(172)
第三节 库仑土压力理论.....	(179)
第四节 土压力计算的若干问题.....	(184)
习题.....	(186)
参考文献.....	(187)
第八章 土坡稳定分析	(188)
第一节 概述.....	(188)
第二节 无黏性土坡的稳定分析.....	(188)
第三节 黏性土坡的稳定分析.....	(188)
第四节 非圆弧滑动面的土坡稳定分析.....	(198)
第五节 土坡稳定分析的若干问题.....	(205)
习题.....	(206)
参考文献.....	(207)
第九章 地基极限承载力理论	(208)
第一节 地基的破坏模式.....	(208)
第二节 浅基础的临塑荷载、临界荷载.....	(209)
第三节 地基极限承载力理论.....	(212)
习题.....	(221)
参考文献.....	(221)

绪 论

一、土力学的学科性质

土是岩石经过物理、化学、生物等风化作用的产物，是矿物颗粒组成的松散集合体。因此，土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体。

土力学 (Soil Mechanics) 是运用力学知识和土工测试技术，研究土的生成、组成、密度或软硬状态等物理性质以及土的应力、变形、强度和稳定性等静力、动力性状和规律的一门学科。

土的生成机制在根本上决定了土的基本物理力学特性，也决定了土力学的特点。地壳岩石经过强烈风化后所产生的碎散矿物集合体成为土。土从大类上可以分成颗粒间互不连结、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有连结，但连结强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土的最主要特点是它的碎散性和三相组成，这是它在变形、强度等力学性质上都与连续固体介质有根本不同的内在原因。所以，仅靠材料力学、弹性力学和塑性力学等连续介质力学知识，尚不能描述土体在受力后所表现的性状及由此所引起的工程问题。土力学是利用上述力学的基本知识，辅之以描述碎散体特性（压缩性、渗透性、粒间接触强度特性）的理论所建立的一门独立的学科，是岩土力学 (Geomechanics) 的重要组成部分。土力学的研究目标在于通过研究土的应力、变形、强度和稳定性等规律，解决与土的物理力学性质以及与此有关的工程问题。

二、土力学的学科发展历史

人类自远古以来就广泛利用土作为建筑地基和建筑材料。“水来土挡”，就是我国古代劳动人民用土防御洪水的写照。古代许多伟大建筑，如我国的长城、大运河、桥梁、宫殿庙宇和世界上知名的建筑物，如比萨斜塔、埃及金字塔等的修建，都需要有丰富的有关土的知识 and 在它上面建造建筑物的经验。但是由于社会生产力和技术条件的限制，使这一阶段经过了很长时间。直到 18 世纪中叶，对土的力学性质的认识还停留在经验积累的感性认识阶段。

土力学的研究始于 18 世纪工业革命时期，由于工业发展的需要，建筑的规模扩大了。大量建筑物的兴建尤其是铁路的修筑出现了一系列路基问题，促使人们对土进行研究，把已积累的经验进行理论解释。1773 年法国 C.A.Coulomb 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体理论。1856 年法国工程师 H.Darcy 研究了砂土的透水性，创立了砂土渗透性的达西公式。1869 年英国 W.J.M.Rankine 又从不同途径提出了挡土墙土压力理论，对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。此外，法国 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 (1885)，这些解答至今还是土力学研究土体受力和变形的重要基础理论。这些古典理论对土力学的发展起了极大的推进作用，至今仍不失其理论和实用价值。这一阶段人们在已往实践经验的基础上，从不同角度做了探索，在理论上有了突破，但是基本上是某些局部问题的单独突破，还不能形成完整的理论，建立独立的学科。

从 20 世纪 20 年代起，对土的研究有了迅速发展，发表了许多有关土力学理论和应用研

究方面的系统性成果。如 1920 年法国 L. Prandtl 发表了地基滑动面的数学公式。1916 年由瑞典 K. E. Petterson 提出, 后经瑞典 W. Fellenius 及美国 D. W. Taylor 进一步改进的边坡稳定性分析的圆弧滑动法。

1925 年, K. Terzaghi 系统地归纳和总结了以往在这一领域的成就, 并发表了第一本内容较全面的著作——《土力学》。在这本书中, Terzaghi 比较系统地论述了若干重要的土力学问题, 提出了土力学理论中最著名的和重要的理论——饱和土的有效应力原理。他阐明了土工试验和力学计算之间的关系, 其中用于计算沉降的方法一直沿用至今仍被认为是一种有效的方法。这本比较系统、完整的科学著作的出现, 带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从此, 土力学作为独立的科学而取得不断的进展。因此, K. Terzaghi 被公认为土力学的奠基人。

其后直到 20 世纪 50—60 年代, 土力学的研究基本上是对原有理论与试验的充实与完善。例如, 计算边坡稳定的简单圆弧滑动法最初是一种不考虑条间力的简化方法, 1955 年 A. W. Bishop 提出了考虑分条间竖向力, 应用有效强度指标的比较精确的方法。50 年代后期, N. Janbu 与 N. R. Morgenstern 相继提出了不仅可考虑条间作用力, 而且滑动面可取任意形状的土坡稳定计算方法, 可以说这些方法已发展到较完善的程度。在强度理论与强度试验方法方面, 发展了摩尔—库仑极限平衡条件, 对土的破坏准则、应力路径、影响因素等做了多方面的研究, 尤其对抗剪强度的有效应力原理做了深入细致的研究, 并用测孔隙水应力的三轴仪做了全面的验证。在土压力与地基承载力理论方面, B. B. Соколовский (索科洛夫斯基) 等人将古典塑性理论引进土力学领域并进行了多方面的研究, 发表了专著《散体静力学》。土的基本特性、有效应力原理、固结理论、变形理论、土动力特性、流变学在土力学中的进一步研究、完善与应用是这一阶段研究的中心问题。Terzaghi、Taylor、H. A. Цытович (崔托维奇)、Skempton、Bishop 等在这方面都做出了有效成绩; 在这一阶段中, 我国陈宗基、黄文熙在土力学方面也有很好的研究成果。总的看来, 上述这些工作基本上是对以古典弹塑性理论为基础的古典土力学的发展和完善, 也就是假设土符合理想弹性体和理想塑性体的应力—应变条件。

古典弹塑性理论并不完全符合土的实际情况, 因而也不能满足重型、高大、高精密建筑工程的需要。过去由于没有现代化的计算手段, 所以非线性理论的发展受到了限制。随着电子计算机的出现和新计算技术的高速度发展, 使土力学的研究进入了一个全新的阶段, 即不是将土作为理想弹塑性体, 而是作为土本身来研究的新阶段。早在 1936 年 L. Rendulic 就发现了一般固体材料所没有的土的剪胀性, 并认识到土的应力—应变关系是非线性的, 并具有加工硬化与加工软化的性质。1957 年, D. C. Drucker 提出的加工硬化塑性理论, 对土的应力—应变规律方面的研究起了很大的推动作用。许多学者提出各种应力—应变模型, 如 J. M. Duncan 与 C. Y. Chang 提出了著名的 Duncan—Chang 模型、剑桥模型以及我国南京水利科学研究院模型、清华模型等。这些模型都是对土的非线性应力—应变规律提出的数学描述。但是, 由于土的复杂性, 这些描述还没有取得统一的认识。目前的研究还着重于新的非线性应力—应变关系, 即应力—应变模型的建立, 并以此为基础建立新的理论。通过进一步的研究, 一定会对土的应力—应变关系提出更符合土的实际情况的模型, 从而摆脱古典弹塑性理论, 建立新的土力学理论。

三、土力学的基本内容与特点

土力学主要内容包括土的生成与组成、物理性质与土的工程分类、在建筑物荷载及土自重作用下土体中的应力、土的渗透性和渗流分析、土的压缩性和地基变形计算、土的强度理论、挡土墙土压力理论、土坡稳定分析方法和地基极限承载力理论等。

土力学首先是一门工程力学，因此，注重对土体自然物理现象的观察和描述是土力学的重要特点。土作为自然历史的产物，它的许多性质是人们无法预先控制的，如土的成层规律性和均匀性决定于土沉积时的自然地理环境和历史条件，无法像一般建筑材料如混凝土、钢材等那样可根据生产条件对其性质做出规定。因此，客观地认识和评价土的基本特性，尤其是它区别于其他受力材料的性质，是合理地引入和运用其他学科知识的出发点和目标。土的三相性、碎散性和不均匀性等基本特性导致了它具有其他材料所没有的特性。而且，自然的土层，因不同的沉积条件这些特性又往往有差异。因此，土力学目前还不是一门纯粹的理论力学，要很确切地模拟和概括土体的受力条件、施工过程以及环境的影响等，还存在许多的困难。作为岩土工程的重要分枝，它对许多问题的认识还依赖于土工测试技术，要通过试验观测，并经过合理简化来实现。只有深入掌握了土的基本特性，才能掌握好土力学的基本概念和理论。因此，土力学仍是一门发展中的学科，还有许多值得研究和探讨的问题。

由于研究对象或课题的复杂性，土力学涉及许多方面的内容，十分复杂，引用其他学科的知识较多，因而要求有较广泛的先修学科知识，如弹性力学、材料力学等。

四、土力学的基本学习方法

土力学还是一门比较年轻的学科，再加上土的复杂性，所以对许多较复杂的情况，需要做近似处理，因而应用土力学理论去解决实际问题时，常带有较多的条件性。学习土力学一般应注意运用的几种基本方法如下。

(1) 注意根据本课程的特点，注意牢固而准确地掌握土的三相性、碎散性等基本概念。土的三相性是理解和掌握土的其他物理力学特性的基础。

(2) 注意土力学所引用的其他学科理论，如一般连续力学基本原理本身的基本假定和适用范围。分析土力学在利用这些理论解决土的力学问题时又新增了什么假定，以及这些新的假定与实际问题的符合程度如何，从而能够应用这些基本概念和原理搞清楚土力学中的原理、定理和方法的来龙去脉，弄清研究问题的思路。

(3) 注意在土力学中对土所具有的区别于其他材料的特性。应该了解土力学是通过什么方法发现以及用什么物理概念或公式去描述土区别于其他材料特性的。

(4) 注意综合利用土性知识和土力学理论解决地基实际问题。学习中即使是做练习题，也应注意习题中给定的条件在实际工程中会具体怎样体现和改变这些条件可能导致哪些工程的后果。

(5) 在学习土力学过程中，要善于转变对问题求解的思维方式。在土力学中，许多问题的解答都有必要的简化假定，因而必然带来一定的误差；对同一问题的求解，往往会因为假定不同，因而方法不同、结果不同。用习惯于高等数学求惟一解的思维方式往往不适于解决土的工程力学问题。要逐渐接受和掌握多种方法求解一个问题、对多种解答做综合评判的思维方式。

(6) 土力学问题除试验部分外，多是根据土的基本力学性质，应用数学及力学计算，得出最后使用结果。学习这一部分时应避免陷于单纯的理论推导，而忽略了推导中引用的条件和假设，只有这样才能正确地将理论应用于工程实际。

第一章 土的物理性质及工程分类

土是岩石在地质作用下经风化、破碎、剥蚀、搬运、沉积等过程的产物。土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散系。固体颗粒组成土的骨架，颗粒大小及其搭配是影响土性的基本因素；土中水是溶解着各种离子的溶液，其含量多少也明显影响土的性质，如含水量高的土往往比较软，特别是由细小颗粒组成的黏性土，含水多少直接影响土的强度；土中气可以与大气相连，也可以气泡形式存在，对土性影响相对较小。土的性质一方面取决于每一相的特性，另一方面取决于土的三相比例关系。由于气体易被压缩，水能从土体流进或流出，土的三相的相对比例会随时间和荷载条件的变化而变化，土的一系列性质也随之改变。土的形成过程中所经历的每一个环节以及在形成后沉积时间的长短、外界环境的变化，都对土的性质有显著的影响。

本章主要介绍土的生成、土颗粒大小、形状、级配、土的物理性质指标、土的物理状态特征、土的结构构造以及土的分类等。

第一节 土的生成

一、地质作用与风化作用

岩石与土构成地球外表的地壳。地球内部则是高温高压的熔融岩浆。在漫长的地质历史中，地壳的成分、形态和构造都在不断地发生变化，导致这种变化的原因称为地质作用。地质作用按其能量来源的不同可分为内力地质作用和外力地质作用。

内力地质作用是由于地球自重、旋转动能和放射性元素蜕变产生的热能引起地壳升降、海陆变迁、岩石断裂等内部构造、外表形态乃至物质成分发生变化，如岩浆活动和变质作用、岩浆和变质岩的生成、火山爆发、地震等。

外力地质作用是由于气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等引起的地质作用，如气温的变化导致岩层不断地热胀冷缩产生破裂（物理风化），雨、雪、山洪等水的存在可使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化、碳酸盐化（化学风化），动物的穴居、植物的生长（生物风化）都使岩石发生机械破碎和风化作用。

风化作用与外力地质作用紧密相关，一般分为物理风化、化学风化和生物风化。物理风化使岩石产生量变，由大块到小块；化学风化使岩石产生质变，岩石的矿物成分发生改变；生物风化同时具有物理风化和化学风化的双重作用。岩石经物理风化形成的土颗粒较大，称为原生矿物；而经化学风化颗粒较细小的土称为次生矿物。

岩石在这些相互交替的地质作用下风化、破碎为散碎体（或残积土），在冰川、风、水和重力的作用下，被搬运到一个新位置沉积下来便形成“沉积土”。

二、主要造岩矿物

地壳上已被发现的矿物有三千多种，但最主要的造岩矿物只有三十几种，如石英、长石、辉石、角闪石、云母、方解石、高岭石、绿泥石、石膏、赤铁矿、黄铁矿等，其主要特

征见表 1-1。

表 1-1 最主要造岩矿物特征表

编号	矿物名称	形状	颜色	光泽	硬度	解理	比重	其他特征
1	石英	块状、六方柱状	无色、乳白色	玻璃、油脂	7	无	2.6~2.7	晶面有平行条纹，贝壳状断口
2	正长石	柱状、板状	玫瑰色、肉红色	玻璃	6	完全	2.3~2.6	两组晶面正交
3	斜长石	柱状、板状	灰白色	玻璃	6	完全	2.6~2.8	两组晶面斜交，晶面上有条纹
4	辉石	短柱状	深褐色、黑色	玻璃	5~6	完全	2.9~3.6	
5	角闪石	针状、长柱状	深绿色、黑色	玻璃	5.5~6	完全	2.8~3.6	
6	方解石	菱形六面体	乳白色	玻璃	3	三组完全	2.6~2.8	滴稀盐酸起泡
7	云母	薄片状	银白色、黑色	珍珠、玻璃	2~3	极完全	2.7~3.2	透明至半透明，薄片具有弹性
8	绿泥石	鳞片状	草绿色	珍珠、玻璃	2~2.5	完全	2.6~2.9	半透明，鳞片无弹性
9	高岭石	鳞片状	白色、淡黄色	暗淡	1	无	2.5~2.6	土状断口，吸水膨胀滑黏
10	石膏	纤维状、板状	白色	玻璃、丝绸	2	完全	2.2~2.4	易溶于水产生大量 SO_4^{2-}

注：解理是指矿物受外力作用后沿一定方向裂开成光滑平面（解理面）的性能；断口是指矿物受外力作用后不沿一定方向破裂时断开面的形态。

矿物按生成条件可分为原生矿物和次生矿物两大类。原生矿物一般由岩浆冷凝生成，如石英、长石、辉石、角闪石、云母等；次生矿物一般由原生矿物经风化作用间接生成，如由长石风化而成的高岭石，由辉石或角闪石风化而成的绿泥石等，或在水溶液中析出生成，如水溶液中析出的方解石（ CaCO_3 ）和石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）等。

矿物的外表形态有结晶体和非结晶体两种，前者大多呈规则的几何形状（图 1-1），后者呈不规则形状。

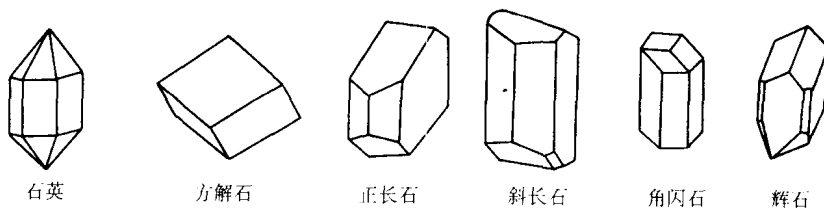


图 1-1 几种主要造岩矿物单个晶体的形态

三、岩石的类型及其特征

岩石按其成因可分为三大类：

岩浆岩 岩浆在地下受压上浮或喷出地表后冷凝而成的岩石，岩浆岩又名火成岩。

沉积岩 在陆地或水域中，成层沉积的沉积物固结而成的岩石。

变质岩 原岩石经变质作用而形成的新岩石。

(一) 岩浆岩

1. 岩浆岩的形成

地壳深部的物质部分熔融，形成炽热、黏稠的以硅酸盐为主的熔融体称为岩浆。岩浆沿地壳上的薄弱部位上升到地壳上部或地表过程中，不断改变自己的成分和物理化学状态，最后凝固成岩浆岩。这个过程叫岩浆作用。岩浆侵入地壳内冷凝而成的岩石叫侵入岩；岩浆喷出地表冷凝而成的岩石叫喷出岩。

2. 岩浆岩的特征

岩浆岩的特征包括岩石的颜色、结构、构造、主要造岩矿物与化学成分等，参见表 1-2。

表 1-2 岩浆岩分类与特征

颜色			浅色（浅灰、浅红、肉红色）→深色（深灰、深绿、黑色）				
化学成分（SiO ₂ 含量）			酸性（>65%）	中性（65%~52%）	基性（52%~40%）	超基性（<40%）	
成因	结构	构造	含正长石		含斜长石		不含长石
			石英 云母 角闪石	角闪石 黑云母 辉石	角闪石 辉石 黑云母	辉石 角闪石 橄榄石	辉石 橄榄石
侵入岩	等粒	块状	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩	橄榄岩、辉岩
	斑粒	块状	花岗斑岩	正长斑岩	粉岩	辉绿岩	
喷出岩	斑状、隐晶质或玻璃质	流纹、气孔状或杏仁状	流纹岩	粗面岩	安山岩	玄武岩	

(二) 沉积岩

沉积岩是地表分布最广的岩类，约占陆地表面面积的 75%，是地基中经常遇到的岩石，也是天然建筑材料的重要来源。

1. 沉积岩的形成

原岩风化后变成碎屑物质，溶液中的离子或胶体中的质点，经流水、风等搬运到陆地低凹的地方或海洋里沉淀，堆积下来形成松散沉积物，工程上称为土。松散沉积物如经压密、脱水、胶结等成岩作用就形成沉积岩。从原岩风化、物质搬运到沉积成岩整个过程中的各种地质作用统称为沉积作用。生物遗体和火山碎屑物经堆积硬结也能形成沉积岩如生物碎屑岩、火山碎屑岩。

沉积物或岩石沉积时的自然地理环境叫沉积相。沉积相一般分为陆相、海相、海陆过渡相三大类。如再进一步划分，海相可分为滨海相、浅海相、次深海相和深海相；过渡相可分为三角洲相和泻湖相；陆相可分为残积相、坡积相、洪积相、河流相（包括河床相、河漫滩相及牛轭湖相）、湖泊相、沼泽相、沙漠相和冰川相。一般说来，海相沉积的物质成分、岩性和岩层厚度都比较稳定，陆相沉积的物质成分复杂，岩性和岩层厚度变化也比较大。

2. 沉积岩的特征

沉积岩的特征包括岩石的物质来源、沉积环境和沉积作用、造岩矿物、岩石结构及构造特征等，参见表 1-3。

表 1-3 沉积岩分类与特征

分类名称		物质来源	沉积作用	结构特征	构造特征
碎屑岩	砾岩、角砾岩、砂岩	物理风化作用形成的碎屑	机械沉积作用为主	碎屑结构	层理构造、多孔构造
	火山角砾岩、凝灰岩	火山喷发的碎屑			
黏土岩	泥岩、页岩	化学风化作用形成的黏土矿物	机械沉积和胶体沉积作用	泥质结构	层理构造
化学岩和生物化学岩	石灰岩、泥灰岩	母岩经化学分解生成的溶液和胶体溶液；生物化学作用形成的矿物和生物遗体	化学沉积、胶体沉积和生物沉积作用	化学结构和生物结构	层理构造、致密构造

注：(1) 火山角砾岩是由角砾状的火山岩屑（粒径 100~2 mm）堆积而成的碎屑岩。

(2) 凝灰岩是由火山灰（成粒径 2~0.5 mm 的火山岩屑）沉积而成的碎屑岩。

(3) 泥岩呈厚层状；页岩则呈薄层状。泥岩和页岩具有典型的泥质结构，抵抗风化能力低，吸水性很强。

(4) 泥灰岩是由 25%~60% 的黏土矿物和 40%~75% 的隐晶质方解石（少量白云石）组成的，它是泥岩和石灰岩之间的过渡性岩石。

(三) 变质岩

1. 变质岩的形成

由于地壳运动和岩浆活动，形成较高温度和高压环境，使地壳中的先成岩在固态下发生矿物成分或结构构造的变化，而形成的新岩石称为变质岩。这种地质作用叫变质作用。

根据岩石变质的主要原因，变质作用分为以下几类。

(1) 区域变质作用 在地壳运动中，岩石下沉到地壳深处，由于高温、高压的影响而发生大区域的变质，这种变质作用称为区域变质作用。如泰山、五台山、秦岭、祁连山等都有区域变质的例子。绝大多数变质岩都是由这种变质作用形成的，如片麻岩、片岩、千枚岩、板岩等。

(2) 接触变质（热力变质）作用 当岩浆侵入时，岩浆周围的岩石由于岩浆的高温及挥发性物质的影响而发生变质，这种变质作用称为接触变质作用。接触变质仅在岩浆周围的围岩中发生，随着离侵入体距离的增大，围岩的变质就变浅，最后趋于消失。大部分大理岩和石英岩都是受这种变质作用而形成的。

(3) 动力变质作用 构造运动使原岩在各种应力作用下发生破碎、变形或重结晶的地质作用称为动力变质作用。这种变质作用影响范围小，多见于断裂带附近的岩石中。

2. 变质岩的特征

变质岩的特征包括岩石的矿物成分、结构与构造等因素，参见表 1-4。

表 1-4 主要变质岩及其特征

名称	鉴定特征				
	主要矿物	颜色	结构	构造	其他
片麻岩	长石、石英、云母	深、浅色相间	斑粒变晶	片麻状	
云母片岩	云母 (有少量石英)	白、银灰色	鳞片变晶	片状	有显著的丝绸光泽, 质软易剥开
绿泥石片岩	绿泥石	绿色	鳞片变晶	鳞片状	
大理岩	方解石	白色、灰白色	等粒变晶	块状	滴稀盐酸起泡
石英岩	石英	白色、灰白色、淡红色	等粒变晶	块状	小刀刻划不动

四、地质年代的概念

地球形成至今大约有 60 亿年以上的历史。在这漫长地质历史中, 地壳经历了一系列的演变过程。地质年代就是指地壳发展历史与地壳运动、沉积环境及生物演化相应的时代段落。每个段落都发生了不同的特征性地质事件, 如岩石的形成、生物种属的产生与灭绝, 气候变异等。在地质学中, 把地质年代划为五大代 (太古代、元古代、古生代、中生代和新生代), 每代又分若干纪, 每纪又分若干世及期。每个地质年代中, 都划分有相应的地层单位, 它与地质年代单位对应关系见表 1-5。

表 1-5 地质年代、地层单位名称对应关系

地质年代单位	代	纪	世	期
地层单位	界	系	统	阶 (层)

五、第四纪沉积物

在地质年代里, 离我们最近的是新生代第四纪 (系) Q , 距今也已有 100 万年的历史。由于沉积的历史不长, 第四纪沉积物尚未胶结岩化, 因此, 第四纪形成的各种沉积物通常是松散软弱的多孔体, 与岩石的性质有很大的差别。这就是我们称之为“土”的第四纪沉积物。不同成因的第四纪沉积物也具有不同的工程特性。主要的第四纪沉积物有残积物、坡积物、洪积物、冲积物、湖泊沉积物、海洋沉积物等。第四纪地质年代见表 1-6。

表 1-6 第四纪地质年代

纪 (系)	世 (统)		距今年代 (万年)
第四纪 (系) Q	全新世 (统) Q_0 或 Q_1		2.5
	更新世 (统) Q_2	晚更新世 (上更新统) Q_3	15
		中更新世 (中更新统) Q_2	50
		早更新世 (下更新统) Q_1	100

(一) 残积物、坡积物和洪积物

1. 残积物 (Q^{el})^①

残积物是残留在原地未被搬运的那一部分原岩风化后的产物, 而另一部分则被风和降水所带走。它的分布主要受地形的控制。在宽广的分水岭上, 由雨水产生的

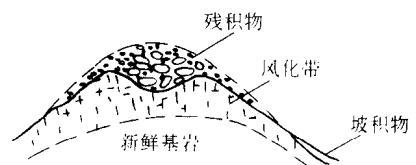


图 1-2 残积物 (层) 断面

① Q^{el} 为第四纪地层的成因类型符号, 下同。

地表径流速度很小，风化产物易于保留，残积物就比较厚（图 1-2），在平缓的山坡上也常有残积物覆盖。

由于风化剥蚀产物是未经搬运的，颗粒不可能被磨圆或分选，没有层理构造。

残积物与基岩之间没有明显的界限，通常经过一个基岩风化层（带）而直接过渡到新鲜岩石。残积物有时与强风化层很难区分。一般说来，残积物是由于雨雪水流将细颗粒带走后残留的较粗颗粒的堆积物。风化层则虽受风化作用的影响，但它是未被剥蚀搬运的基岩风化产物。残积物中残留碎屑的矿物成分很大程度上与下卧基岩相一致，这是鉴定残积物的主要根据。例如砂岩风化剥蚀后生成的残积物多为砂岩碎块。根据这个道理可按地面残积物的成分推测下卧基岩的种类。反之，也可按基岩分布的规律推测其风化产物的特征。山区的残积物因原始地形变化很大且岩层风化程度不一，所以其厚度在小范围内变化极大。由于残积物没有层理构造，均质性很差，因而土的物理力学性质很不一致；同时多为棱角状的粗颗粒土其孔隙比较大，作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。

不同岩类具有不同的风化特征，如块状构造的花岗岩，多以沿节理裂隙风化，风化厚度大，且以球状风化为主。当岩石在大气、水、生物等外力地质作用下发生风化，使其结构、矿物成分、物理、力学、化学性质等产生不同程度的变异，则称为风化岩。岩石已达到完全风化而未经搬运的碎屑物称为残积土。我国南方花岗岩分布较广，如深圳地区约占 60%，花岗岩残积土的厚度在 15~40 m 之间，是该区城市建筑物基础的主要持力层。

花岗岩残积土是在化学风化作用下淋滤形成的产物，其矿物成分与原岩虽有本质的改变，但多保留在原位并具有它的原始形状，其中不易风化的石英颗粒更是如此。所以花岗岩残积土一般仍保持其原岩粒状结构，具有相当高的结构强度，外表看起来很像岩石。对其采用一般的室内土工试验方法测得的物理力学性质分析可知，其工程性质是较差的，表现在高孔隙比、高压缩性等方面。但从原位测试分析，它表现为承载力较高、压缩性较低。

2. 坡积物 (Q^{dl})

坡积物是雨雪水流的地质作用将高处岩石风化产物缓慢地洗刷剥蚀，顺着斜坡向下逐渐移动，沉积在较平缓的山坡上而形成的沉积物。它一般分布在坡腰上或坡脚下，其上部与残积物相接（图 1-3）。坡积物底部的倾斜度决定于基岩的倾斜程度，而表面倾斜度则与生成的时间有关，时间越长，搬运、沉积在山坡下部的物质就越厚，表面倾斜度就越小。

坡积物质随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象。其矿物成分与下卧基岩没有直接关系，这是它与残积物明显的区别。

由于坡积物形成于山坡，常常发生沿下卧基岩倾斜面滑动；还由于组成物质粗细颗粒混杂，土质不均匀，且其厚度变化很大（上部有时不足一米，下部可达几十米），尤其是新近堆积的坡积物，土质疏松，压缩性较高。

3. 洪积物 (Q^{pl})

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。它冲刷地表，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（图 1-4）。山洪流出沟谷口后，由于流速骤减，被搬运的粗碎屑物质（如块石、砾石、粗砂等）首先大量堆积下来，离山渐远，洪积物的颗粒随之变细，其分布范围也逐渐扩大。它的地貌特征，靠山近处窄而陡，离山较远宽而缓，形如锥体，故称为洪积扇（锥）。由相邻沟谷口的洪积扇组成洪积扇群（图 1-5）。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。

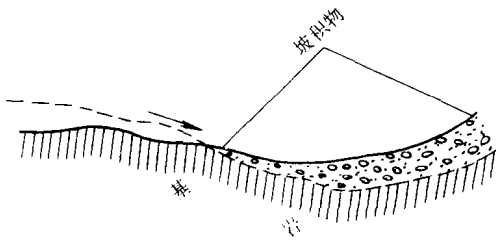


图 1-3 坡积物(层)断面

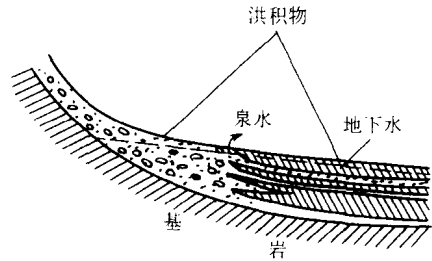


图 1-4 洪积物(层)断面

洪积物的颗粒虽因搬运过程中的分选作用而呈现上述离山远近而变的现象，但由于搬运距离短，颗粒的磨圆度仍不佳。此外，山洪是周期性产生的，每次的大小不尽相同，堆积下来的物质也不一样。因此，洪积物常呈现不规则交错的层理构造，如具有夹层、尖灭或透镜体等产状(图 1-6)。图 1-4 为一典型的洪积物断面。由于靠近山地的洪积物的颗粒较粗，地下水位埋藏较深，土的承载力一般较高，常为良好的天然地基；离山较远地段较细的洪积物，其成分均匀、厚度较大，由于其形成过程中受到周期性干旱的影响，细小的黏土颗粒发生凝聚作用，同时析出可溶性盐类，使土质较为密实，通常也是良好的地基。在上述两部分的过渡地带，常常由于地下水溢出地表而造成宽广的沼泽地带，因此土质软弱而承载力较低。

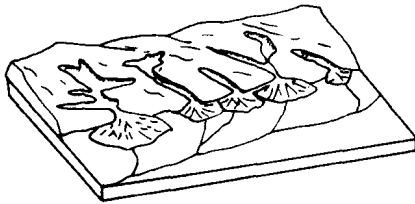


图 1-5 洪积扇群

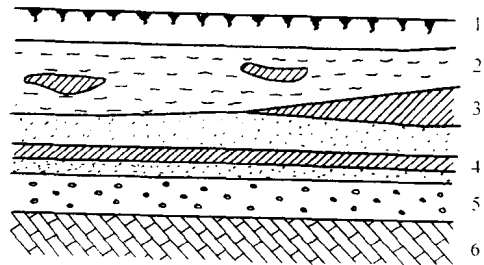


图 1-6 土的层理构造

1—表土层；2—淤泥夹黏土透镜体；3—黏土尖灭层；4—砂土夹黏土层；5—砾石层；6—石灰岩层

(二) 冲积物 (Q^{al})

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。其特点是呈现明显的层理构造。由于搬运作用显著，碎屑物质由带棱角颗粒(块石、碎石及角砾)经滚磨、碰撞逐渐形成亚圆形或圆形颗粒(漂石、卵石、圆砾)，其搬运距离越长，则沉积的物质越细。典型的冲积物是形成于河谷(河流流水侵蚀地表形成的槽形凹地)内的沉积物，可分为平原河谷冲积物和山区河谷冲积物等类型。

1. 平原河谷冲积物

平原河谷除河床外，大多数都有河漫滩及阶地等地貌单元(图 1-7)。

平原河流常以侧向侵蚀为主，因而河谷不深而宽度很大。正常流量时，河水仅在河床中流动，河床两侧则是宽广的河漫滩。只在洪水期中，河水才溢出河床，泛滥于河漫滩之上。

河流(谷)阶地是在地壳的升降运动与河流的侵蚀、沉积等作用相互配合下形成的，位于河漫滩以上的阶地状平台。图 1-7 所示的河流阶地，其形成过程大致如下：当地壳下降，河