

土木工程专业精品课程教材

Civil Engineering

土力学

璩继立 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

土木工程专业精品课程教材

Civil Engineering

土力学

主 编 璩继立
副主编 李陈财 刘宝石
参 编 郑七振 周 奎 陈 刚
李贝贝 魏天乐 张鹏飞
许 兆 郝晟敏 阮孟灵



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统阐述了土的基本特征、土力学的基本原理及土力学在工程实践中的应用,并介绍了学科的最新发展及相关内容。共分 10 章,系统阐述了土的基本性质及分类、渗流、应力、压缩固结、土的抗剪强度、土压力、边坡稳定、地基承载力及特殊土等基本理论和方法。每章之后均有延伸阅读、复习要点及复习题,以拓宽学生的知识面,巩固学习内容。

本书可作为高等院校土木工程专业、水利专业和其他相关专业的教材,也可作为大专院校相关专业的教学参考书和有关专业科技人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/璩继立主编. — 北京:中国电力出版社,2014.1

土木工程专业精品课程教材

ISBN 978-7-5123-4890-5

I. ①土… II. ①璩… 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 209703 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:关 童 联系电话:010-63412603

责任印制:蔺义舟 责任校对:朱丽芳

航远印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2014 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.5 印张·356 千字

定价:36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

土力学是研究土体的一门力学，它主要是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性。它是高等学校土木工程专业的一门必修课程。本教材是按照高校土木工程专业培养方案，在多年教学的基础上，按照课程改革要求进行编写的。本教材在内容上力求精简，每章节后的延伸阅读，不仅在于拓展读者的知识面，更重于展现土力学的趣味性。

本书共有 10 章，第 1 章绪论；第 2 章土的物理性质及分类；第 3 章土的渗透性及渗流；第 4 章土的应力；第 5 章土的压缩与变形；第 6 章土的抗剪强度；第 7 章土压力及挡土墙；第 8 章边坡稳定分析；第 9 章地基承载力；第 10 章特殊土。本书较常规的教材增加了各种特殊土的简介，以拓宽读者对“土”概念的全面了解。

在本书的编写过程中，参考了大量的文献与著作，在此，向文献、著作的作者们表示诚挚的谢意！同时，同济大学结构工程专业研究生任祥香、上海理工大学 2011 级结构工程专业研究生周雪莲、赵豆豆等同学，在绘图方面付出了许多努力，也一并表示感谢。

限于编者水平，书中定有欠妥甚至错误之处，敬请读者批评指正。

璩继立

2013 年 7 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 土力学的发展历史与趋势	1
1.2 土力学的研究对象、任务及特点	3
1.3 土力学学习的目的、要求及方法	4
延伸阅读	5
第2章 土的物理性质及分类	8
2.1 土的由来	8
2.2 土的组成	10
2.3 土的物理状态	16
2.4 土的结构与构造	26
2.5 土的工程分类	27
延伸阅读	32
本章复习要点	33
复习题	33
第3章 土的渗透性及渗流	34
3.1 概述	34
3.2 土的渗透规律	35
3.3 二维渗流与流网	42
3.4 工程中的渗透破坏	46
延伸阅读	50
本章复习要点	52

复习题	52
第4章 土的应力	53
4.1 概述	53
4.2 土的自重应力	54
4.3 基底压力	56
4.4 地基附加应力	61
4.5 有效应力原理	76
延伸阅读	79
本章复习要点	80
复习题	80
第5章 土的压缩与变形	82
5.1 概述	82
5.2 土的压缩性及其指标	82
5.3 地基沉降计算	88
5.4 应力历史对地基沉降的影响	101
5.5 太沙基一维固结理论	105
5.6 地基沉降与时间的关系	108
延伸阅读	113
本章复习要点	114
复习题	114
第6章 土的抗剪强度	115
6.1 概述	115
6.2 土的莫尔-库仑强度理论	116
6.3 土的抗剪强度试验	119
6.4 应力路径	124
延伸阅读	127
本章复习要点	127
复习题	128

第7章 土压力及挡土墙	129
7.1 概述	129
7.2 静止土压力	131
7.3 朗肯土压力理论	133
7.4 库仑土压力理论	141
7.5 土压力问题讨论	148
7.6 重力式挡土墙设计	151
7.7 加筋土挡墙	154
延伸阅读	156
本章复习要点	157
复习题	157
第8章 边坡稳定分析	159
8.1 概述	159
8.2 无黏性土边坡稳定分析	161
8.3 黏性土边坡稳定分析	163
8.4 常用条分法介绍	166
8.5 边坡稳定问题讨论	177
延伸阅读	178
本章复习要点	179
复习题	179
第9章 地基承载力	181
9.1 概述	181
9.2 地基破坏模式	182
9.3 临塑荷载和临界荷载	184
9.4 极限平衡理论法计算地基极限承载力	187
9.5 假定滑动面方法计算地基极限承载力	189
9.6 规范确定地基承载力的方法	196
9.7 地基承载力影响因素	198
延伸阅读	199
本章复习要点	199
复习题	200

第 10 章 特殊土	201
10.1 软土	201
10.2 湿陷性黄土	202
10.3 膨胀土	206
10.4 红黏土	208
10.5 冻土	210
10.6 盐渍土	211
延伸阅读	213
本章复习要点	215
复习题	215
附录 岩土工程专业术语汉英对照	216
参考文献	239

第1章 绪 论

1.1 土力学的发展历史与趋势

自从地球上有了人类，一切的生产活动就与“土”息息相关。在我国古代《五帝》篇中记载：“天有五行，水火金木土，分时化育，以成万物，其神谓之五帝。”由此可见在当时的哲学思想中，土被认为是世界运动及发展的基本要素之一。

随着人类社会的不断发展，人们对自然界的认识越来越深刻。古代有着许多宏伟的土木工程，例如，我国举世闻名的万里长城、埃及金字塔、古罗马桥梁工程等，都是古代劳动人民丰富土木工程经验的智慧结晶。随着生产实践过程中经验与认识的不断积累，“土”由原来抽象的概念，逐渐发展成成了一门学科。18世纪欧美国家在产业革命的推动下，社会生产力有了快速的发展，大型建筑、桥梁、铁路、公路的兴建，促使人们对地基土和路基土的一系列技术问题进行了研究。土力学是人类在工程实践中，不断总结与积累经验而逐渐发展起来的一门学科，目前已形成科学的理论体系。

1. 土力学的发展历史

(1) 萌芽阶段

1773年，C.A.Coulomb根据试验建立了第一个有关土体运动和作用力的数学理论，提出了库仑强度理论及随后发展出的库仑土压力理论，是土力学的开端。1856年Darcy研究了土的渗透性，提出了达西渗透公式。1869年，W.G.M.Rankine基于塑性平衡理论提出了挡土墙压力理论。1885年，J.Boussinesq求得弹性半无限空间在竖向集中力作用下的应力和变形的Boussinesq解，成为地基应力计算的主要方法。1920年，Prandtl应用模型试验，导出了著名的极限承载力公式。1922年，W.Fellenius提出了土坡稳定分析法。

(2) 古典土力学阶段

1923年，K.Terzaghi创立土体一维固结理论和有效应力原理，使土力学成为一门独立学科。1941年，Boit提出了土体固结计算的一般方法。继太沙基(Terzaghi)之后，Casagrande、Tailor、Skempton等世界各国学者，对土的抗剪强度、土的变形、土的渗透性、土的应力-应变关系和破坏机理进行了大量的研究。

古典土力学可归结为一个原理(有效应力原理)和两个理论(以弹性介质和弹性多孔介质为基础的变形理论和以刚塑性模型为基础的破坏理论)。前一理论随着1956年Biot动力方

程的建立而画上了完满句号；后一理论则于 20 世纪 60 年代初完成了基本理论框架。

(3) 现代土力学阶段

1963 年, Roscoe 发表了著名的剑桥模型, 提供了一个可以全面考虑土的压硬性和剪胀性的数学模型, 标志着现代土力学的开端。伴随着工程建设事业的蓬勃发展, 土力学围绕从宏观到微观结构、本构关系与强度理论、物理模拟与数值模拟、测试与监测技术、土质改良等方面取得了长足进展。同时, 计算机技术的应用又为这门科学注入了新的活力, 实现了测试技术自动化, 提高了理论分析的准确性, 标志着土力学进入了一个新的时期。至此, 土力学已拓生出了理论土力学、试验土力学、计算土力学和应用土力学四大分支。

2. 现代土力学的发展趋势

(1) 本构模型的研究

土的应力-应变关系非常复杂, 具有非线性、弹性、塑性、黏性、剪胀性和各向异性等, 目前还没有一个模型能全面反映土体的一切性能。因此, 进一步汲取现代数学、力学的成果, 利用计算机科学技术, 深入研究土的非线性、各向异性、流变等特性, 建立新的更符合土的真实特性的本构关系模型, 是今后土力学发展研究的方向。

(2) 土工试验技术的研究

土工试验技术不仅在工程建设实践中十分重要, 在土力学的理论形成和发展过程中也起着决定性的作用, 应用土工试验中大力引进和发展的现代测试技术, 如虚拟测试技术、电子测量技术、光学测试技术、航测技术、电磁场技术、声波测试技术和遥感测试技术等, 提高测试结果的可靠性、可重复性和可信度, 这将对土力学理论的发展和完善起到重要的作用。

(3) 区域性土分布和特性的研究

经典土力学是建立在无结构强度、理想的黏性土和无黏性土基础上的, 但由于形成条件、形成年代、组成成分、应力历史不同, 土的工程性质具有明显的区域性。因此, 很有必要对各类区域性土的工程性质进行深入而系统的研究。

(4) 不同介质间相互作用及共同分析的研究

土体由固、液、气三相组成, 其中固体以颗粒形式的散体状态存在。固、液、气三相间的相互作用对土的工程性质有着很大的影响。土体应力-应变关系的复杂性, 从根本上讲都是与土体颗粒间的相互作用有关。从颗粒的微观作用入手研究土的本构关系, 具有重要的意义。通过对土中三相的相互作用研究, 还将促进非饱和土力学理论的发展。

(5) 计算技术的研究

虽然土工计算分析大多情况下只能给一个定性的结构, 但该结果对工程实践运用具有重要的指导意义。重视各种数值计算方法和计算机仿真技术在土力学中的应用, 提高非确定性计算方法, 如有限元法、有限差分法、离散单元法、不连续变形分析法、流形元法和半解分析法等方法在土力学中的指导作用, 为理论分析的发展奠定基础。

(6) 环境土力学将得到重视

人类对炉渣、粉煤灰、尾矿石的利用和处理, 污染土和污染水治理, 固体废弃物处置方法中废料、周围土质和地下水的相互作用以及污染物的扩散规律等研究不断加强, 对由开矿、

抽水、各种岩土工程活动造成的地面沉降和对周围环境的影响及防治越来越重视。因此,土与环境因素相互作用的各类问题也将纳入土力学的研究范围。

1.2 土力学的研究对象、任务及特点

1. 土力学的研究对象

土力学的研究对象是“土”,土是岩石在长期的物理、化学、生物作用下,经风化、剥蚀、搬运、堆积而形成的松散沉积物,其颗粒之间没有胶结或只有弱胶结。土是由固体颗粒、液体和气体组成的三相体,具有多孔性、散体性、易变性、多样性、透水性等特点。

土的种类繁多,工程性质极其复杂。工程用土可大体分为一般土与特殊土。一般土可分为无机土和有机土,原始沉积的无机土大致可分为碎石类土、砂类土、粉性土和黏性土四大类;特殊土则有湿陷性黄土、膨胀土、冻胀土、红黏土、软土、盐渍土、污染土、残积土、混合土及加筋土等。

2. 土力学的研究内容

土力学是属于工程力学范围的科学,是运用力学原理,同时考虑土作为分散体的特征来求得量的关系。其主要研究的内容有:土体的应变、变形、强度、渗流及稳定性。广义的土力学还包括土的生成、组成、物理化学性及分类在内的土质学。

土力学的主要任务是利用力学的一般原理,研究土的物理、力学、化学性质以及在外界因素(荷载、水、温度等)作用下的应力、变形、强度、渗流及稳定性,它是力学的一个分支;同时,它又是一门基础应用学科,将固体力学及流体力学的规律应用于土体中,结合土木试验,来解决土木工程(工民建、交通、水利、冶金、国防等)中的实际问题。传统的土力学包括四大基本理论:有效应力原理、应力分布理论、渗透固结理论和强度破坏理论。包含若干个与工程实践直接相关的应用课题,如地基变形的计算、地基承载力计算、土坡稳定性验算和土压力计算等。

本书介绍的内容属于传统土力学的范畴,是土力学中最基本的知识。主要包括土的组成、物理性质和工程分类、土的渗透、土体中的应力分布、地基的压缩变形、土体的抗剪强度、地基的承载力和边坡的稳定性等。

在传统土力学基础上,现已发展了许多分支学科,如土动力学、土塑性力学、计算土力学、实验土力学、非饱和土力学、冻土力学、环境土力学、软土力学等。

3. 土力学的学科特点

土力学的特点,就在于其研究对象“土”的特殊性。理论力学将研究对象理想化为刚体,材料力学将研究对象理想化为线弹性固体,连续介质力学将对象理想化为均匀连续介质。但是,土是由不连续的固体颗粒、液体和气体组成的三相体,各成分的含量都影响着土体的性质。因此,在土力学中,除运用一般连续介质力学的基本原理之外,还应密切结合土的实

际情况。

另外,土是地质历史的产物,它是经历漫长的风化、搬运、沉积和地壳运动等过程形成的,在外界因素,诸如温度、湿度、压力、水流、振动等作用下,其性质会发生显著的变化。因此,土的力学性质比其他连续固体介质复杂得多,而且影响因素也更多,既有连续介质力学的一般规律,又有其特殊的应力—应变关系、强度关系、变形规律。比如土的应力—应变关系有着明显的非线性、弹塑性、剪胀性、应变硬化(软化)、流变性等特点,且与应力状态、应力历史和应力路径有关,一般呈各向异性,有明显的卸载—再加载滞回圈,存在着各种因素的耦合关系。

此外,土力学是一门理论性与实践性兼重的学科。各类土的性质差异大,存在许多不确定的因素,土力学的理论计算只能提供一个大致估计,理论与现实的差异需要结合经验加以判断。因此,在处理工程中土力学问题时,切忌仅凭理论推导而草草了事,必须通过原位试验与室内试验结合才能得到较为精确的解答。正如 Terzaghi 在《工程实用土力学》中说到的“土力学的理论只有在工程判断的指导下才能被有效地使用,除非已经具有这种判断能力,否则不能成功地应用于土力学理论”。

1.3 土力学学习的目的、要求及方法

1. 学习的目的

可以毫不夸张地说,土木工程领域没有不与土打交道的,土作为地基、周围介质和建筑材料使用,与土木工程有着千丝万缕的关系。无论土在工程中作为何种角色,确保建筑物的安全(施工期间的安全与竣工后的安全)和正常使用是土木工程建设的基本要求。因此,土力学就必须应对和解决两大类问题。

一是土体稳定问题,如地基的稳定、土坝的稳定,这就要研究土体中的应力和强度,当土体的强度不足时,就会导致建筑物失稳或破坏;二是土体的变形问题,即使土体具有足够的强度能保证自身的稳定,土体的变形,尤其是竖向变形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,重者将会造成重大事故。此外,对于土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡)、水工建筑地基或其他挡土挡水结构,除了在荷载作用下满足稳定与变形要求外,还要考虑渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决以上工程问题,就必须研究土的物理性质、应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为,才能为土体的稳定与变形问题找到理论的依据。

土力学,对土木工程专业学习具有承上启下的重要作用。它是土木工程专业的必修课,属于技术基础课,它所包含的知识是本专业必须掌握的专业知识,又是后续课程学习所必备的基础知识。一个缺乏土力学知识的工程师无法圆满完成各种工程建设任务。

2. 学习的要求

目前,土力学虽然已经形成了一定的理论体系,但依然难以全面、客观地模拟和概括天

然土的各种力学行为。因此,土力学的学习要做到三点重视:重理论、重试验、重经验。

重理论是指要掌握土力学理论的意义、假定及适用范围,能够有效地运用理论指导实践。学习本课程要掌握以下几个理论要求:要掌握土的物理性质研究方法;能计算土体应力,并了解应力分布规律;掌握土的渗流理论、变形压缩理论、固结理论、应力历史概念及有效应力原理,并能熟练地进行地基沉降与固结计算;掌握土的强度理论及其应用,进行土压力计算、地基承载力计算、边坡稳定计算等。

重试验是指要多动手操作,从试验中获取知识,加深对土力学理论的理解。试验的目的不仅是让学生熟悉试验的整个操作过程及如何获取相关参数,重要的是通过试验结果和理论分析比较,加深对土力学理论的认识和理解。

重经验是指要重视经验的积累。这主要是因为土由不均匀的三相体组成,其不确定性非常大,仅采用空间的几个点去预测整个空间的土体必然会产生许多不确定性。另外,由于试验过程中的扰动等因素的影响,也会改变土的性质,这样也会引起很大的不确定性。因此,通过工程实践,从中总结经验,以便能更加切合实际地解决问题就显得非常重要。

3. 学习的方法

(1) 掌握基本根据、理解理论假定。牢固而准确地掌握土的散体性、多样性、透水性等基本概念,理解土力学中的基本假定和适用范围。

(2) 正确理解并应用土力学中的指标、参数和半经验公式。土力学中指标多、参数多、公式多,容易引起混乱,学习中要明确主线:从土的物理性质到力学性质,由力学性质到工程运用(地基沉降变形计算、边坡稳定计算等)的课程主线。

(3) 加强基本功训练、重视实践。基本功的扎实与否,关系到能否正确理解并应用土力学中的理论。基本功包括基础知识的掌握、试验技能、计算能力等。在学习期间要多思考、勤动手、重实践,多思考就是要多问为什么,勤动手就是要多做试验,重实践就是要多参与工程实践。土力学是一门实践性很强的学科,理论落后于实践是其突出的特点,所以实践是掌握土力学知识、推动学科发展的重要动力。

黄文熙院士在《寄青年岩土力学工作者》题词中写道:“你们要一丝不苟地进行基本训练,应从每个试验数据、每种试验方法、每篇试验报告做起,不可能设想,没有严格的基本功训练会创造出优秀的成果。”“你们切不可丝毫轻视实践,我多次说过,岩土工程无不能说是—门具有严密理念体系的学科,我积数十年研究之经验,深知欲推动岩土工程学发展,非强烈依赖于实践不可。”



延伸阅读

土力学之父——太沙基(Karl von Terzaghi)

Terzaghi 于 1883 年 10 月 2 日出生于捷克的首都布拉格,1904 年毕业于奥地利的格拉茨(Graz)技术大学,之后成为土木工程领域的一名地质工程师。1916~1925 年期间,他在土

耳其的伊斯坦布尔技术大学和 Bogazici 大学任教,并从事土的特性方面的研究课题,其举世闻名的土力学著作——《Erdbaumechnik》于 1925 年在维也纳问世。该书介绍了他所提出的固结理论以及土压力、承载力、稳定性分析等理论,标志着土力学这门学科的诞生。1925 年,他被派往麻省理工学院担任访问教授,四年后回到维也纳技术大学任教授。1938 年德国占领奥地利后,Terzaghi 前往美国,并在哈佛大学任教,直到 1956 年退休。在此期间的 1943 年,他还出版了《Theoretical Soil Mechanics》。在这部不朽的著作中, Terzaghi 就固结理论、沉降计算、承载力、土压理论、抗剪强度及边坡稳定等问题进行了阐述。为便于工程技术人员使用,书中使用了大量的图表。1963 年 10 月 25 日, Terzaghi 在马萨诸塞州的温彻斯特逝世。



Terzaghi 被誉为土力学之父。他的开创性工作于 1936 年在哈佛大学召开的首届国际土力学大会上为大家普遍了解后,土力学广泛出现在世界各地土木工程的实践中及各大学的课程中。Terzaghi 不仅是一个理论家,更是一个享誉国际土木工程界的咨询工程师,他是许多重大工程的顾问,其中包括英国的 Mission 大坝。1965 年,为表示对 Terzaghi 的敬意,该坝被命名为 Terzaghi 大坝。毫无疑问, Terzaghi 对土力学理论的贡献是巨大的,但人们评价说,也许他更大的贡献是向人们展示了用理论解决工程问题的方法。

Terzaghi 是第一届到第三届(1936~1957) ISSMFE(国际土力学与基础工程学会)的主席,曾 4 次荣获 ASCE(美国土木工程师协会)的 Norman 奖,并被 8 个国家的 9 个大学授予荣誉博士学位。

中国土力学学科的奠基人——黄文熙

黄文熙是我国土力学学科的奠基人。原籍江苏吴江,出生于上海,1929 年毕业于中央大学(现南京大学)。1952~1956 年在河海大学任教授时创立了河海大学岩土工程研究所,1935 年获美国密执安大学硕士学位,1937 年获博士学位。

1942~1957 年,他创建了地基沉降与地基中应力分布的新的计算方法。他建议用三个正应力之和来进行计算,这既考虑了地基土的侧向变形,也简化了计算和减少了编制计算图表的工作量。他还建议用三轴压缩仪进行试验,研究土的弹性模量及泊松比与土体的应力值及其比例间的函数关系,这是 20 世纪 70 年代国际上流行的应力路线法的先驱。



黄文熙建议用振动三轴仪进行砂土的动力特性试验,测定了不同应力状态下,在不同振动强度引起的主应力为变值的作用下,不排水条件和不同密度试样的孔隙水压力 u 的变化规律和绝对值。他首先提出用有效应力原理阐述液化机理,确定了一定条件下砂基或砂坡中任何一点可能产生的最大孔隙水压力,并据此用有效应力法进行动力稳定分析。这一研究成果

受到国际同行专家的极大重视。他所创议的振动三轴仪及其试验方法,已为国内外广泛采用,并已成为常规的动力试验手段。

20 世纪 70 年代,他注意到电子计算机和有限元法的发展,必然要求建立能较全面真实地反映土的应力-应变关系的数学模型。针对当时已经建立的土的弹塑性模型对屈服面和硬化参数人为假设过多的缺点,他提出了从试验资料直接确定土的弹塑性模型的理论。他所领导的清华大学研究组经过 10 年艰苦工作,建立了“清华弹塑性模型”,做了大量的验证工作,也用于实际工程的计算分析,受到国内外同行的推崇。

20 世纪 80 年代以来,随着土的本构关系和土工计算的发展,他看到各种模型试验,尤其是土工模型试验对于验证理论和计算及模拟实际工程的重要作用,看到我国与世界先进国家间在水工模型试验方面的巨大差距,于 1984 年亲自率团到西欧、日本、美国考察。归国后,他又多方奔走呼吁,终于在我国建立了不同规模的土工离心模型试验装置,这对我国岩土工程的发展起到了巨大的推动作用。

另外,他还组织专人进行渗水力模型试验,支持对旁压仪试验的理论研究,大力开展水力劈裂试验和机理研究,对土工合成材料的应用和研究工作寄以极大的热忱,力促土工合成材料在水利工程中的应用。这些项目有的在国内外尚处于摸索阶段,具有巨大的工程意义和潜力。

第2章 土的物理性质及分类

2.1 土的由来

土是由于地球表面的整体岩石在阳光、大气、水和生物等因素影响下，发生风化作用，使岩石崩解、破碎，经流水、风、冰川等动力搬运作用，在各种自然环境作用下沉积而形成的形状不同、大小不一的颗粒。

在工程中所遇到的土大多是在第四纪（Q）地质年代形成的，第四纪地质年代土可分为全新世（Q₄）与更新世（Q_p）两类。更新世距今 1.3 万年到 71 万年，全新世距今天 0.25 万年至 1.3 万年。

1. 风化作用

风化作用是指由于大气、水分、温度及生物活动等自然条件使岩石破坏的地质作用。按作用因素，风化可分为物理风化、化学风化和生物风化，它们之间不存在先后顺序，经常是同时进行的。

（1）物理风化

物理风化是指岩石和土的颗粒在受到各种物理作用力及气候因素的影响下，导致体积变化而产生裂缝，或在运动过程中因碰撞和摩擦而破碎变小的一个过程。物理风化的原因如下：

1) 地质构造力。地质构造力主要是由板块运动产生的，它使岩体产生断裂变小，从而加快了岩石向土转化的进程。

2) 温差。温差作用的影响主要表现在：岩体受昼夜、晴雨、季节的更替而热胀冷缩产生裂缝，由表及里地逐渐破坏。

3) 碰撞。碰撞作用表现在冲击物对岩体进行突然或不断地撞击而使岩体遭受破坏和侵蚀的作用。主要作用因素有风、水流、波浪及其他物体的冲撞。

岩体经物理风化后由原来的大块体变成了细散的颗粒，这不仅表现在“量”上的增多，更重要的是这种量的积累促成了岩体向土体“质”变的第一步。

（2）化学风化

如果说物理风化重在量的变化，那么化学风化则是真正的质变了。化学风化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成分，形成新的矿物（也叫做次生矿物）的过

程。化学风化常见因素有水、空气以及溶解在水中的氧气和碳酸气等，主要表现为以下几种类型：

1) 水解作用。水解作用是指矿物成分被分解，并与水进行化学成分交换，形成新矿物的过程。经过此作用，岩体因膨胀胀裂，例如，正长石经水解作用后变成了高岭石。

2) 水化作用。水化作用指土中的某些矿物与水接触后，发生化学反应，从而改变矿物原有的分子结构，形成新矿物的过程。例如，土中的硬石膏 (CaSO_4) 水化后，变成了含水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。

3) 氧化作用。氧化作用是指土中的矿物与氧气发生化学作用而产生新矿物的过程。例如，黄铁矿 (FeS_2) 经氧化后变成铁矾 (FeSO_4)，进一步氧化后变成硫酸铁 [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$]，再进一步与水和氧气反应则变为褐铁矿 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。

除了以上列出的三种化学风化作用类型外还有溶解作用、碳酸化作用等。

(3) 生物风化

生物风化主要表现在生物活动过程中对岩石的破坏作用。例如，植物的根系在岩缝中生长，使岩石机械破坏；动植物的新陈代谢所排出的各类物质，或者死亡后的遗体腐化的产物以及微生的作用等，这些都会使岩石成分发生变化。

2. 土的搬运和沉积

土由于其搬运和堆积方式不同，可以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，未经搬运而残留在原处的堆积土；运积土是指风化作用后的土颗粒，受自然力的作用，被搬运到其他不同地点所沉积而成的堆积物。

根据搬运动力的不同，运积土可分为以下几种类型：

1) 坡积土：残积土受重力和短期性水流（雨水和雪水）的作用，被挟带到山坡或坡脚聚积起来的堆积物。坡积土斜坡自上而下呈现出由粗到细的局部层理性。

2) 洪积土：残积土和坡积土受到洪水的冲刷、搬运，在山沟出口或山前平原处沉积下来的堆积物。搬运距离近的沉积颗粒较粗，力学性质较好；远的则较为细小，力学性质较差。

3) 冲积土：由于江河水流的搬运作用而形成的沉积物，常分布在山谷、河谷和冲积平原上。这类土由于经过较长距离的搬运，浑圆度和分选性都更为明显，常形成砂层和黏性土层交迭的地层。

4) 湖积土：在极为缓慢水流或静水条件下沉积形成的堆积物。这种土的一个显著特点就是常伴有有机物的存在，表现为淤泥或淤泥质土，其工程性质较差。

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

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

7) 冰积土：由冰川或冰水挟带搬运而形成的沉积物。其颗粒粗细变化大，土质不均匀。