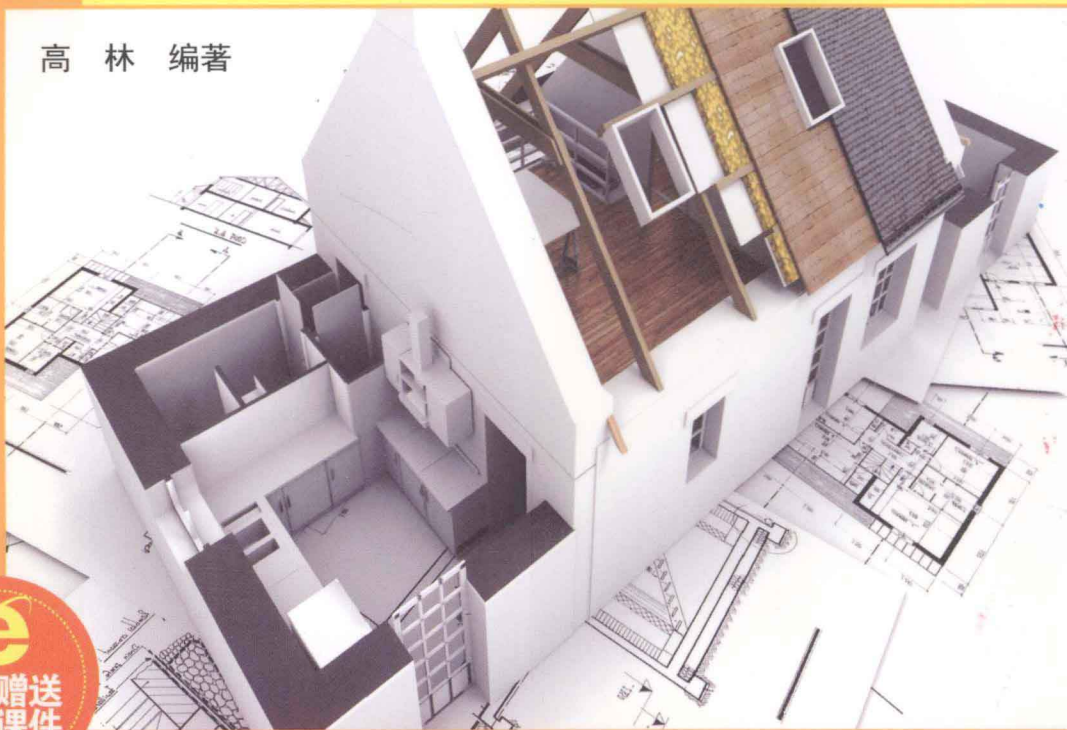


高等院校土建类创新规划教材 基础课系列

土力学

高林 编著



e
免费赠送
电子课件

TUJIANLEI
CHUANGXINGUIHUA

- ◆ 在重视土力学基本理论的同时，紧密结合相关工程标准与规范，展示学科发展最新成果。
- ◆ 在内容编排上立足于“加强基础、突出重点、精选例题”，在论述风格上力求简洁明了、通俗易懂。



清华大学出版社

高等院校土建类创新规划教材 基础课系列

土 力 学

高 林 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

土力学是应用工程力学方法来研究土的力学性质的一门学科。土力学的研究对象是与人类活动密切相关的土和土体,包括人工土体和自然土体,以及与土的力学性能密切相关的地下水。土力学被广泛应用在地基、挡土墙、土工建筑物、堤坝等设计中,是土木工程、岩土工程、工程地质等工程学科的重要分支。土力学是高等学校土木工程及相关专业必修的一门课程。

本书系统地介绍了土的基本特性、土力学的基本原理和分析计算方法及其在工程实践中的应用。全书共分9章,主要内容包括土的组成、土的物理性质、土中应力、土的渗透性及渗流、土的压缩性与抗剪强度、土压力与边坡的稳定性、地基变形、地基承载力、土在动荷载作用下的特征,每章均附有全面、详细的例题及思考与练习题。

本书内容翔实、语言简练、思路清晰、图文并茂、深入浅出、理论与实际设计相结合,适用于高等学校土木工程(建筑工程、岩土工程、道桥工程、地下工程和水利工程等)专业的教学,也可作为土木和水利工程科研人员及工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

土力学/高林编著. --北京:清华大学出版社,2013

(高等院校土建类创新规划教材 基础课系列)

ISBN 978-7-302-32576-5

I. ①土… II. ①高… 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117724号

责任编辑:李春明

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15 字 数:358千字

版 次:2013年7月第1版 印 次:2013年7月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

产品编号:052424-01

前 言

土力学是研究土体的一门学科，主要研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性。广义的土力学还包括土的生成、组成、物理化学性质及分类在内的土质学。土力学也是一门实用的学科，它是土木工程的一个分支，主要研究土的工程性质，解决工程问题。在土木工程中，天然土层常被作为各种建筑物的地基，如在土层上建造房屋、桥梁、涵洞、堤坝等；作为建筑物周围的环境，如在土层中修筑地下建筑、地下管道、渠道、隧道等；或作为土工建筑物的材料，如修建土堤、土坝等。因此，土是土木工程中应用最为广泛的一种建筑材料或介质。

“高楼万丈平地起，建筑屹立基础始”。基础的安全稳定是上部结构安全屹立的保证，没有地基的安全稳定，一般的土木工程就难以建成，更不用说高楼大厦、大桥、高塔；基础是建筑物的一个实体部分；整个场地的稳定又是个别建筑物地基基础稳定的根本保证。因此，地基基础与场地稳定性密切相关。只有具备工程地质学、岩土力学等学科的基本常识，才能对场地稳定性进行评价，对建筑群选址或道路选线的可行性方案进行论证，对建筑物地基基础或路基进行经济合理的设计，我们有必要学习土力学这门学科。

本书共 9 章，系统地介绍了土的基本特性、土力学的基本原理和分析计算方法及其在工程实践中的应用，且每章均附有较全面、详细的例题及习题。

第 1 章主要介绍土中固体颗粒、土中水和土中气以及土的结构与构造等基本内容。

第 2 章主要介绍土木工程中关于土的三相比例指标及其之间的相互关系、岩土的基本物理力学性质指标和土的工程分类等内容。

第 3 章重点讲述土体的应力-应变关系，天然地基的自重应力、基底压力、附加压力、附加应力的计算方法等内容。在附加应力的计算方法中，分别讲解竖向集中荷载、矩形均布荷载、三角形分布的矩形荷载、条形均布荷载及圆形均布荷载作用时的附加应力计算问题。

第 4 章主要介绍土的渗透性及渗透定律、土中二维渗流和流网及其应用、渗透破坏与控制等内容。

第 5 章主要介绍土的压缩性、抗剪强度的有关理论与抗剪强度指标的试验方法等内容。土的压实特性与填土工程、极限平衡理论、抗剪强度指标的试验方法是本章的重点；着重讲述不同固结和排水条件下土的抗剪强度指标的意义及其工程应用，并结合孔隙压力系数和应力路径的概念解决实际工程问题中的强度和稳定问题。

第 6 章从工程实际需要出发，重点介绍各种土压力的形成条件、理论概念及土压力计算的基础知识；土质边坡稳定分析中常用的几种方法，包括原理和计算过程，并给出了相应的算例和详细的计算过程，既可手算，又可电算，还简略介绍地下水作用下边坡稳定的计算及施工过程因素的考虑等。

第 7 章重点讲解土的压缩性、地基沉降的弹性力学公式、如何用分层总和法及地基规范法计算基础最终沉降量、土的应力历史对基础沉降的影响，以及地基变形与时间的关系。

第 8 章通过讲述各种地基承载力的理论方法,总结出各种方法的应用条件,同时介绍结合工程实际情况,确定合理和符合工程实际的地基承载力特征值的方法。

第 9 章主要介绍土的压实性及其对工程的评定标准、土的振动液化及其判别与防治,并简单介绍在周期荷载下土的强度和变形特性以及土的动力特征参数。

由于编者水平有限,书中难免有一些不足之处,欢迎同行和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 土的组成	1	2.5 土的分类标准	28
1.1 概述	2	2.5.1 岩石的划分	28
1.2 工程地质基本内容	3	2.5.2 碎石土的划分	29
1.2.1 岩石	3	2.5.3 砂土的划分	29
1.2.2 矿物	4	2.5.4 粉土的划分	30
1.2.3 地层与构造	4	2.5.5 黏性土的划分	30
1.2.4 地质年代	5	2.5.6 特殊土的划分	30
1.2.5 第四纪概述及其沉积物	5	本章小结	31
1.3 土中固体颗粒	7	思考与练习	31
1.3.1 土粒的粒度成分	7	第 3 章 土中应力	33
1.3.2 土粒的矿物成分	10	3.1 概述	34
1.4 土中水和土中气	11	3.2 土中自重应力	36
1.4.1 土中水	11	3.2.1 均质土中自重应力	36
1.4.2 土中气	12	3.2.2 成层土中自重应力	37
1.5 土的结构与构造	13	3.3 土的基底压力计算	40
1.5.1 土的结构	13	3.3.1 基底压力的分布规律	40
1.5.2 土的构造	14	3.3.2 竖直中心荷载作用下的 基底压力	41
本章小结	14	3.3.3 竖直偏心荷载作用下的 基底压力	42
思考与练习	14	3.3.4 倾斜偏心荷载作用下的 基底压力	43
第 2 章 土的物理性质	17	3.4 基底附加压力计算	43
2.1 概述	18	3.5 地基附加应力	44
2.2 土的三相比例指标	19	3.5.1 竖向集中荷载作用时的 地基附加应力	45
2.2.1 土的三相比例关系图	19	3.5.2 矩形均布荷载作用时的 地基附加应力	49
2.2.2 指标的定义	20	3.5.3 三角形分布的矩形荷载作用时 的地基附加应力	54
2.2.3 指标的换算	22	3.5.4 条形均布荷载作用时的 地基附加应力	55
2.3 黏性土的物理特征	25	3.5.5 圆形均布荷载作用时的 地基附加应力	57
2.3.1 黏性土的可塑性及界限 含水量	25		
2.3.2 黏性土的物理状态指标	26		
2.4 无黏性土的物理特征	27		
2.4.1 相对密实度	27		
2.4.2 无黏性土密实度划分的 其他方法	28		

3.5.6 非均质和各向异性地基中的 附加应力	59	5.5.2 三轴压缩试验	99
3.5.7 双层地基中应力的集中 和扩散	59	5.5.3 无侧限抗压强度试验	101
3.5.8 变形模量随深度增大的 地基	59	5.5.4 十字板剪切试验	101
本章小结	60	5.5.5 试验成果整理	102
思考与练习	60	5.6 孔隙压力系数	106
第4章 土的渗透性及渗流	63	5.7 应力路径在强度问题中的应用	109
4.1 概述	64	5.7.1 应力路径	109
4.2 土的渗透性	65	5.7.2 工程地基中常见的应力 路径情况	111
4.2.1 渗流基本概念	65	本章小结	112
4.2.2 土的渗透定律	65	思考与练习	112
4.2.3 渗透系数和渗透力	66	第6章 土压力与边坡的稳定性	115
4.3 土中二维渗流与流网	69	6.1 概述	116
4.3.1 二维渗流方程	69	6.2 挡土墙侧的土压力	117
4.3.2 流网特征与绘制	71	6.2.1 基本概念	117
4.3.3 关于流网的工程问题	71	6.2.2 静止土压力	118
4.4 渗透破坏与控制	73	6.3 土压力计算	119
4.4.1 流土或流砂现象及管涌	74	6.3.1 朗肯土压力计算	119
4.4.2 渗透破坏的防治	75	6.3.2 库伦土压力计算	124
本章小结	76	6.3.3 朗肯理论与库伦理论的 比较	128
思考与练习	76	6.4 土压力理论的应用	129
第5章 土的压缩性与抗剪强度	79	6.5 边坡的稳定性	131
5.1 概述	80	6.5.1 整体圆弧滑动法分析边坡 稳定性	131
5.2 土的压缩性	82	6.5.2 费伦纽斯条分法	134
5.2.1 压缩试验和压缩指标	83	6.5.3 毕晓普条分法	136
5.2.2 土的压缩模量和变形模量	84	6.5.4 土坡稳定分析的简布条 分法	138
5.2.3 土的压实特性与填土	88	6.5.5 传递系数法	141
5.2.4 应力历史对压缩性的影响	90	6.5.6 各种方法的比较	143
5.3 土的弹性模量	92	6.6 边坡稳定性的影响因素	144
5.4 土的抗剪强度理论	92	6.6.1 地下水因素	144
5.4.1 库伦公式及抗剪强度指标	93	6.6.2 施工过程因素	145
5.4.2 莫尔强度理论及极限平衡 条件	94	6.6.3 计算机分析方法	146
5.5 土的抗剪强度试验	97	本章小结	146
5.5.1 直接剪切试验	97	思考与练习	146

第7章 地基变形	151	8.3.2 地基承载力特征值	186
7.1 概述	152	8.3.3 地基承载力容许值	188
7.2 弹性力学公式	153	8.4 地基极限承载力	191
7.2.1 柔性荷载下地基的沉降	153	8.4.1 普朗德尔和赖斯纳极限承载力	192
7.2.2 刚性基础下的沉降计算	154	8.4.2 太沙基极限承载力	194
7.3 地基最终沉降量	156	8.4.3 汉森极限承载力	196
7.3.1 分层总和法计算最终沉降量	156	8.5 地基临塑荷载和塑性荷载	200
7.3.2 地基规范法计算最终沉降量	160	本章小结	203
7.3.3 应力历史法计算最终沉降量	165	思考与练习	203
7.4 地基变形与时间的关系	170	第9章 土在动荷载作用下的特征	205
7.4.1 单向固结理论	170	9.1 概述	206
7.4.2 理论计算法	173	9.2 土的压实性	207
7.4.3 经验估算法	175	9.2.1 击实试验及压实度	207
本章小结	177	9.2.2 土的压实机理及其影响因素	211
思考与练习	177	9.3 土的振动液化	213
第8章 地基承载力	179	9.3.1 土的振动液化机理及其试验分析	213
8.1 概述	180	9.3.2 土液化的影响因素	215
8.2 浅基础的地基破坏模式	181	9.3.3 地基液化判别与防治	218
8.2.1 三种破坏模式	181	9.4 周期荷载下土的强度和变形特征	223
8.2.2 地基土中应力状态的三个阶段	183	9.5 土的动力特征参数简介	225
8.3 地基承载力设计值	184	本章小结	227
8.3.1 设计原则	184	思考与练习	227
		参考文献	229



第 1 章

土的组成

学习目标

- 掌握土的成因和地质构造。
- 熟悉土粒的分类、粒度成分分析试验以及相应的曲线。
- 了解水和气在土中的作用。
- 了解土的三种结构及土的构造。

本章导读

本章首先阐明土分布于地壳表面及土的形成前提条件,然后详细介绍土中的固体颗粒及粒度成分分析、土中水和土中气,以及土的结构和构造等基本内容。



项目案例导入

某设计单位在设计建筑物之前对建筑场地进行了地基勘察,在该场地取了适量的土样,并在实验室对土样进行了筛分分析和其他一系列的试验,以充分了解、研究地基土层的成因及构造、粒度成分、地下水情况以及是否存在(或可能发生)影响场地稳定性的不良地质现象(如滑坡、岩溶、地震等),从而对场地作出了正确的评价。

土粒的粒径由粗到细逐渐变化时,土的性质也相应地发生变化。土粒的大小称为粒度,通常以粒径表示。介于一定粒度范围内的土粒,称为粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同呈现出一定质的变化。土粒的大小及其组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(指土样各粒组的质量占土粒总质量的百分数)来表示,称为土的粒度成分或颗粒级配。土的粒度成分或颗粒级配是通过土的颗粒分析试验测定的,常用的测定方法有筛分法和沉降分析法(密度计法和移液管法)。

土中水可以处于液态、固态和气态。土的结构是在成土的过程中逐渐形成的,它反映了土的成分、成因和年代对土的工程性质的影响。土体在空间的分布形式和相互组合排列关系称为土的构造,一般有层理构造、裂隙构造和分散构造。

1.1 概 述

在自然界,存在于地壳表层的岩石圈是由基岩及其覆盖土组成的。所谓基岩,是指在水平和垂直两个方向延伸很广的各类原位岩石;所谓覆盖土,是指覆盖于基岩之上各类土的总称。基岩按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。土广泛分布在地壳表层,是还没有固结成沉积岩的松散沉积物,也是人类工程活动的主要对象。自然界土的工程性质很不一致,作为工程建筑材料,有的可以作为混凝土的骨料,有的可以用来烧制砖瓦或作为路基填料,有的则没有太大工程应用价值;作为建筑地基,有的土层上可以建造高楼,有的土层上可以建造平房,而有的土层上不经处理则不能建造任何建筑。土的性质之所以有这样大的差别,主要是由其成分和结构不同所致,而土的成分与结构则取决于其成因特点。

在自然界中,土的形成过程十分复杂。地壳表层的岩石在阳光、大气、水和生物等因素的影响下,发生风化作用,使岩石崩解、破碎,经流水、风或冰川等动力搬运作用,在各种自然环境下沉积,形成土体。因此,通常说土是岩石风化的产物。土是连续、坚固的岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒经过不同的搬运方式,在各种自然环境中生成的沉积物。在自然界中,岩石和土在其存在、搬运和沉积的各个过程中都在不断被风化。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,常见的成因类型有残积土、坡积土、洪积土、湖积土、海积土、风积土、冰积土、污染土。

土的形成过程决定了它具有特殊的物理力学性质。与一般建筑材料相比,土具有三个重要特点:①散体性。颗粒之间无黏结或有一定的黏结,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,且随时间还在不断变化。深刻理解这些特点,有利于掌握土力学性质的本质。

地基中的土是由固体颗粒、气体和液体组成的,土中固体颗粒(简称土粒)的大小、形状、矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的重要因素。因此,我们应该研究土粒的组成及土粒、气体和液体之间的相互关系。

1.2 工程地质基本内容

为了了解土的成因特点,下面首先介绍一下工程地质中岩石、矿物、地质构造和地质年代等内容。

1.2.1 岩石

岩石(基岩)是指颗粒间牢固联结所形成的整体或具有节理、裂隙的岩体,它是在各种不同地质作用下产生的、由一种或多种矿物有规律地组合而成的矿物集合体。如大理岩主要由方解石组成,花岗岩由长石、石英、云母等多种矿物所组成。岩石作为建筑场地和建筑地基,按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

1. 岩浆岩

岩浆岩由从地壳下面喷出的熔融岩浆冷凝而成。该岩石的埋藏深度为由深到浅;岩石的颜色由浅色到深色;种类有花岗岩、正长岩、玄武岩等。其工程性质主要由其矿物成分及成岩环境等因素决定。岩浆岩的结构是指岩石中矿物的结晶程度、晶粒大小、晶体形状以及矿物间的结合关系。它的构造是指岩石中矿物集合体的形态、大小及其相互关系,是岩浆岩形成条件的反映。常见的构造有块状构造、流纹构造、气孔构造与杏仁构造。

2. 沉积岩

沉积岩是由母岩破碎物经搬运、沉积,继而又受到压紧、化学物质的胶结、再结晶或硬结等成岩作用而再一次形成的岩石,如湖南的红色砂页岩等。沉积岩的物质成分来源有三个方面,包括母岩风化的产物、火山喷发的物质,以及生物直接或间接作用形成的产物。沉积岩的结构是指构成沉积岩的颗粒的性质、大小形态及其相互关系。常见的结构有碎屑结构、泥质结构、结晶粒状结构和生物结构。沉积岩的构造是指沉积岩各组成部分的空间分布和配置关系,如层理、层面结构、结核等。

3. 变质岩

变质岩是母岩或母岩破碎沉积物在高温高压下使原来岩石的结构、构造甚至矿物成分发生改变而形成的新的岩石,如片麻岩等。变质岩最主要的结构是重结晶作用形成的变晶结构。根据组成矿物的粒度、形态及其相互关系,变晶结构又分为等粒变晶结构、斑状变

晶结构、鳞片 and 纤维状变晶结构三种, 此外还有变余结构等。变质岩的构造是指矿物排列的特点。除某些岩石外, 大部分变质岩具有定向构造, 这是变质岩的最大特点。常见的构造有片麻构造、片状构造、千枚构造、板状构造和块状构造。

1.2.2 矿物

地壳中天然生成的自然元素或化合物是组成岩石的基本单元。由于自然界中化学元素及它们组合方式的多样性, 以及地质作用的复杂性, 因而所形成的矿物也是多种多样的。目前自然界中已知的矿物有 2000 多种, 但其中主要的和最常见的不过百余种。

矿物通常以固态存在地壳中, 只有少数是液态(如自然汞)和气态(如天然气、 H_2S)。矿物形态是指矿物单体或集合体的形状。在自然界中, 矿物多数是呈集合体出现, 但是发育较好的具有几何多面体形状的晶体也不少见。

每种矿物均具有一定的物理性质, 它主要取决于矿物本身的化学成分与内部结构。矿物的物理性质包括光学性质(颜色、条痕、光泽)和解理、断口、密度、硬度等。组成岩石的矿物称为造岩矿物。矿物按生成条件可分为原生矿物和次生矿物两大类。区分矿物可以矿物的形状、颜色、光泽、硬度、解理、比重等特征为依据。

1.2.3 地层与构造

在一定地质时期内形成的一套岩层(包括沉积岩、岩浆岩和变质岩)称为地层。地层在遭受各种应力作用后留下的变形和破坏痕迹称为构造, 其中变形留下的痕迹称为褶皱, 破坏留下的痕迹称为断裂。

1. 褶皱

褶皱是指岩层受力发生弯曲变形而形成的地质构造形态, 是因岩层中原来近乎平直的面变成了曲面而表现出来的。形成褶皱的变形面绝大多数是层理面, 而变质岩劈理、片理或片麻理以及岩浆岩的原生流面等也可以成为褶皱面, 即便是岩层和岩体中的节理面、断层面或不整合面, 受力后也可能变形而形成褶皱。因此, 褶皱是地壳上一种最普遍的地质构造, 在层状岩石中表现最明显, 形象地给予人们以岩石能发生塑性变形的概念。

褶皱的形态是多种多样的, 其基本形式有两种。一种是岩层向上弯曲, 其核心部位的岩层时代较老, 外侧岩层较新, 称为背斜; 另一种是岩层向下弯曲, 其核心部位的岩层较新, 外侧岩层较老, 称为向斜。由于后来风化剥蚀的破坏, 造成向斜在地面上的出露特征是: 从中心向两侧, 岩层从新到老对称重复出露。而背斜在地面上的出露特征却恰好相反: 从中心向两侧, 岩层从老到新对称重复出露。

不论褶皱规模大小、形态特征如何, 若无断层干扰, 则两侧岩层总是对应出现。这些特点是褶皱构造地层分布的规律, 也是识别褶皱的基本方法。

2. 断裂

断裂是指地壳中岩层或岩体受力达到破裂强度发生断裂变形而形成的地质构造形态。它是地壳中普遍发育的基本构造之一，在地壳的各个地区和各类岩石中均有广泛的分布。通常根据破裂岩石的相邻岩块相对位移的程度，将断裂分为节理和断层两大类，但是这两类断裂从成因上并无本质区别。

断裂两侧岩块沿破裂面无明显相对位移的断裂构造称为节理。节理的分布是有一定规律的，它们往往成群、成组出现，并把岩石切割成不同形状和大小的块体。断层是岩层或岩体顺破裂面发生明显位移的断裂构造。断层在地壳中广泛发育，规模有大有小，影响地壳深度有深有浅，形成时代有早有晚。断层可以是一次构造运动的结果，也可以是岩层多次运动的影响，断层在地壳中反复进行活动，有的至今仍在活动。断层是地壳中最重要的构造之一。

这些构造直接影响所建建筑物的稳定等问题。

1.2.4 地质年代

地质年代是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。地质相对年代是根据古生物的演化和岩层形成的顺序所划分的地质年代。在地质学中，根据地层对比和古生物学方法把地质相对年代划分为五大代(太古代、元古代、古生代、中生代和新生代)，每代又分为若干纪，每纪又细分为若干世及期。在每一个地质年代中，都划分有相应的地层。地层系统和地质年代相适应，分别称为界、系、统、层，如古生代二叠纪形成的地层称为古生界二叠系。

1.2.5 第四纪概述及其沉积物

在新生代中最新近的一个纪称为第四纪，由原岩风化产物(碎屑物质)经各种外力地质作用(剥蚀、搬运、沉积)形成尚未胶结硬化的沉积物(层)，通称“第四纪沉积物(层)”或“土”。不同成因类型的第四纪沉积物，各具有一定的分布规律和工程地质特征，以下分别介绍其中主要的几种成因类型。

1. 残积物

岩石风化以后产生的碎屑物质，一部分残留在原地未被搬运，被风风化剥蚀后形成产物；而另一部分则被风和降水所带走。保留在原地的风化碎屑物质称为残积物，由残积物组成的地层称为残积层。残积层一般由黏土、砂土及具棱角状的碎石组成，粒度从地表由细变粗，孔隙、裂隙发育，无层理，厚度变化较大。它的成分与母岩成分及其所受风化作用的类型有密切关系。

2. 坡积物

坡积物是指经雨、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。由坡积物组成的地层称为坡积层。坡积层是由搬运距离不远的风化物质所组成，其特点是物质来源于坡上，一般以黏土、粉质黏土为主，并含有棱角状的粗岩屑，粒度由山坡向坡脚逐渐变细，无层理或局部有层理，未经很好的分选，厚度不均匀。坡积层与残积层之间的主要区别是坡积层多覆盖于其他岩石之上，成分与基岩毫无联系，残积层则与此相反。

3. 洪积物

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，由洪积物组成的地层称为洪积层。洪积层常由于随着其离沟口距离的增加而致使山洪的搬运能力逐渐减弱，且沉积的区域逐渐开阔，因而它所携带的大量泥沙、石块流出沟口沉积后常堆积成扇形，形成洪积扇。洪积扇逐渐扩大，有时与相邻沟口的洪积扇互相连接起来，则形成洪积裙，甚至形成洪积平原。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。

4. 冲积物

冲积物是指由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。由冲积物组成的地层称为冲积层。冲积层的特征是物质有明显的分选现象，上游及中游沉积的物质多为大石块、卵石、砾石及粗砂等，下游沉积的物质多为中、细砂和黏性土等，颗粒的磨圆度较好，多具层理，并有透镜体等产状。河流冲积层分布广泛，可分为平原区河流冲积层、山区河流冲积层、山前河流冲积层、三角洲及溺谷沉积层等类型。

5. 湖泊沉积物

湖泊是大陆上主要的沉积场所，湖水在风力的作用下产生的波浪称为湖浪。湖浪冲蚀湖岸形成的碎屑物质在湖边和湖心沉积，最终形成湖泊沉积物。在湖岸带，湖浪冲蚀湖岸形成湖蚀洞穴和湖蚀崖等地形。湖浪侵蚀的碎屑物以及由入湖河流等带来的碎屑物被湖流和湖浪等动力向湖心方向搬运。一般地，搬运动力由湖岸向湖心逐渐减弱。较粗的砾、砂沉积在湖岸的附近，形成湖滩、沙洲、沙坝及沙嘴等地形，具有较好的磨圆度及明显的层理和交错层理。较细的碎屑物质被带到湖心发生沉积，沉积物为颗粒细的黏土和淤泥，常带有粉砂、细砂薄层。

6. 海洋沉积物

海洋沉积物按照其在海洋中沉积的位置和颗粒组成可分为滨海沉积物、浅海沉积物、陆坡沉积物和深海沉积物。滨海带是海水运动强烈的近岸水域，波浪一方面与其他外力作用共同破坏海岸带形成大量碎屑物质，另一方面又能引起海岸带物质的搬运与沉积。在进流和回流的作用下，碎屑物质得到很好的磨圆和分选，较粗部分沿海岸形成粒滩、沙滩，而较细部分在距岸一定距离的水下沉积形成沙堤、沙坝及沙嘴。这些沉积物都有良好的层

理和交错层理。滨海带沉积物一般都具有高承载力，但透水性强。浅海带沉积物较海滨沉积物疏松、含水量高、压缩性大而强度低。陆坡和深海沉积物以生物软泥、黏土及粉细砂为主。深海沉积物中，海底表层的砂砾层稳定性差，作为地基时应注意海浪作用下发生的位移。

1.3 土中固体颗粒

1.3.1 土粒的粒度成分

1. 土粒粒度与粒组

组成土的各个土粒的特征，即土粒的个体特征，主要包括土粒的大小和形状。

粗大颗粒：岩石经物理风化作用形成的碎屑或未产生化学变化的矿物颗粒，块状或粒状。黏结力小，表面所带电荷少，搬运路径短。因此，性质简单。

细小颗粒：化学风化作用形成的次生矿物和生成过程中混入的有机物质，片状。黏结力大，搬运路径长，性质复杂，具有很强的与水作用能力。颗粒越小，表面积越大，颗粒表面所带电荷越多，则其与水作用的能力越强。因此，性质复杂。

在自然界中存在的土，都是由大小不同的土粒组成。土粒的粒径由粗到细逐渐变化时，土的性质也相应地发生变化。土粒的大小称为粒度，通常以粒径表示。介于一定粒度范围内的土粒，称为粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同，而呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。目前土的粒组划分方法并不完全一致，常用的是根据界限粒径200、60、2、0.075和0.005mm把土粒分为六大粒组：漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及黏粒。

2. 粒度成分分析试验

土粒的大小及其组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量(土样各粒组的质量占土粒总质量的百分数)来表示，称为土的粒度成分或颗粒级配。

土的粒度成分或颗粒级配是通过土的粒度成分分析试验测定的，常用的测定方法有筛分法和沉降分析法(密度计法和移液管法)。前者适用于粒径大于0.075mm的巨粒组和粗粒组，后者适用于粒径小于0.075mm的细粒组。当土内兼含大于和小于0.075mm的土粒时，两类分析方法可联合使用。

筛分法试验是将风干、分散的代表性土样通过一套自上而下孔径由大到小的标准筛(如20、2、0.5、0.25、0.1、0.075mm)，称出留在各个筛子上的干土重，即可求得各个粒组的相对含量，通过计算可得到小于某一筛孔直径土粒的累积重量及累计百分含量。

沉降分析法的理论基础是土粒在水(或均匀悬液)中的沉降原理。当土样被分散于水中后，土粒下沉时的速度与土粒形状、粒径、(质量)密度以及水的黏滞度有关。当土粒简化为理想球体时，土粒的沉降速度可以用斯笃克斯定律来计算：

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} g d^2 \quad (1-1)$$

式中： v 为土粒在水中的沉降速度，单位是 cm/s ； g 为重力加速度，即 981cm/s^2 ； ρ_s 为土粒的密度，单位是 g/cm^3 ； d 为土粒的直径，单位是 cm ； ρ_w 为水的密度，单位是 g/cm^3 ； η 为水的黏滞度，单位是 $10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

【例 1.1】取烘干土 200g (全部通过 10mm 筛)，用筛分法求各粒组含量和小于某种粒径 (以筛孔直径表示) 土量占总土量的百分数。

解

(1) 筛分结果列于表 1-1。

表 1-1 某种烘干土的筛分结果

筛孔直径 / mm	筛上土的质量 (即粒组含量) / g	筛下土的质量 (即小于某粒径土的含量) / g	筛上土的含量占总 土质量的百分数 / %	小于该筛孔土的质量 占总土质量的百分数 / %
5	10	190	5	95
2.0	16	174	8	87
1.0	18	156	9	78
0.5	24	132	12	66
0.25	22	110	11	55
0.1	38	72	19	36

(2) 将表 1-1 中筛分试验的筛余量，即颗粒小于 0.1mm 的土颗粒 72g，用比重计法进行分析，得到细粒土的颗粒含量，如表 1-2 所示。

表 1-2 细粒土的颗粒含量

粒组/ mm	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	<0.005
含量/ g	20	25	7	20

(3) 两种分析方法相结合，就可以将一个混合土样分成若干个粒组，并求得各粒组的含量，如表 1-3 所示。

表 1-3 某土样颗粒级配分析的结果

粒径/ mm	10	5	2	1.0	0.5	0.25	0.10	0.05	0.01	0.005
粒组含量/ g	10	16	18	24	22	38	20	25	7	20
小于某粒径土累计含量/ g	—	190	174	156	132	110	72	52	27	20
小于某粒径土占总土质量 的百分比/ %	—	95.0	87.0	78.0	66.0	55.0	36.0	26.0	18.5	10.0

3. 粒径累计曲线——级配

根据粒度成分分析试验结果，常采用粒径累计曲线表示土的颗粒级配。这是比较全面

和通用的一种图解法,其特点是可简单获得定量指标,特别适用于几种级配好与差的土相比较。粒径累计曲线的横坐标为粒径,由于土粒粒径的值域很宽,因此采用对数坐标表示;纵坐标为小于(或大于)某粒径的土重(累计百分)含量,如图 1-1 所示。由粒径累计曲线的坡度可以大致判断土粒均匀程度或级配是否良好。如曲线较陡,表示粒径大小相差不多,土粒较均匀,空隙大,松散,级配不良;反之,曲线平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,空隙小,密实,级配良好。从图 1-1 中可以看出,土样 A 的颗粒分布比土样 B 的颗粒均匀。

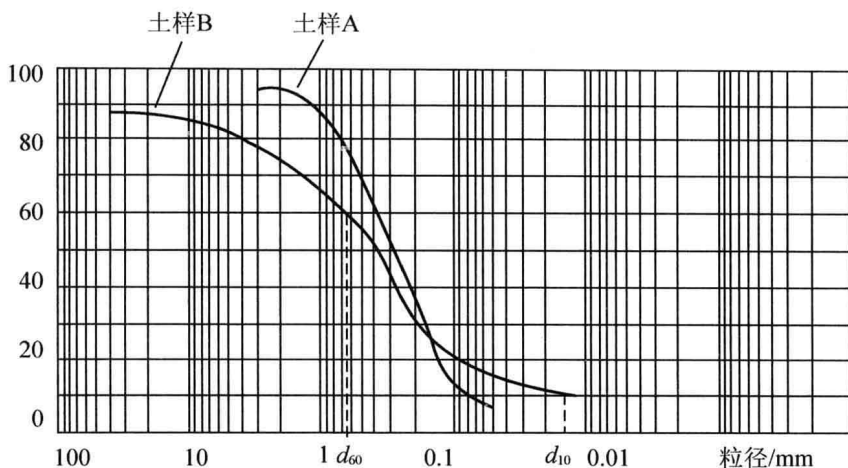


图 1-1 粒径累计曲线

根据描述级配的粒径累计曲线,可以简单地确定颗粒级配的两个定量指标,即不均匀系数 C_u 及曲线系数 C_c 。两者定义的表达式如下:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-2)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-3)$$

式中: d_{60} 、 d_{30} 及 d_{10} 分别为相当于小于某粒径土重累计百分含量 60%、30%及 10%对应的粒径,分别称为极限粒径、中值粒径及有效粒径,对一种土显然有 $d_{60} > d_{30} > d_{10}$ 关系存在。不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况,即土粒大小或粒度的均匀程度。 C_u 越大,表示粒度的分布范围越大,土粒越不均匀,其级配越良好。曲线系数 C_c 描写的是粒径累计曲线分布的整体形态,反映了极限粒径 d_{60} 与有效粒径 d_{10} 之间各粒组含量的分布情况。

在一般情况下,工程上把 $C_u < 5$ 的土看作是均粒土,属级配不良; $C_u > 10$ 的土,属级配良好。对于级配连续的土,采用单一指标 C_u ,即可达到比较满意的判别结果。但对于缺乏中间粒径(d_{60} 与 d_{10} 之间的某粒组)的土,即级配不连续的土,其粒径累计曲线呈现台阶状,此时,若仅采用单一指标 C_u ,则难以有效判定土的级配好与差。

曲线系数 C_c 作为第二指标与 C_u 共同判定土的级配,则更加合理。一般认为:砾类土或砂类土同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,为良好级配砾或良好级配砂;如不能同时