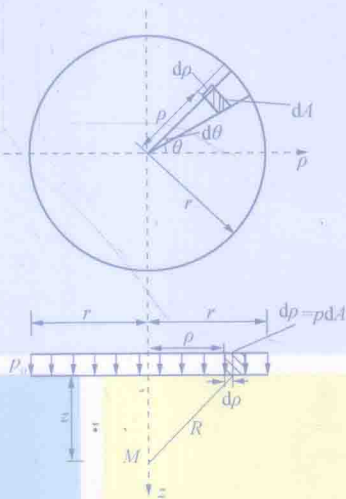


土力学

主编 陈辉



土力学

主 编 陈 辉
副主编 卢军燕



南京大学出版社

摘 要

《土力学》是根据我国土木工程专业教学指导委员会制订的教学纲要以及许多重点大学土木工程专业的教学大纲,并结合长期教学与工程设计的经验编写的,以最新的规范为基础,增加了许多最新技术。除第1章绪论外,本书可分为两大部分:第一部分(第2至5章)主要介绍了土的物理性质及工程分类、土的渗透与渗流、土中应力、土的压缩性及地基沉降;第二部分(第6至第9章)重点介绍了土的抗剪强度、土压力的计算方法、地基承载力的计算以及挡土墙结构设计方法。本书具有基本概念严谨、基本原理和方法清晰简明、内容编排层次和顺序合理、知识体系完整、内容丰富、适用范围广泛等特点,适用于从本科到专科等不同地区、不同类别、不同层次的土木工程专业及相近专业的土力学教学要求。本书亦可作为土木工程、水利工程、交通工程以及矿业工程等专业中的勘察、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 / 陈辉主编. —南京: 南京大学出版社,
2014. 9

ISBN 978 - 7 - 305 - 13987 - 1

I. ①土… II. ①陈… 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(2014)第 220523 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 土力学

主 编 陈 辉

责任编辑 陈兰兰 蔡文彬 编辑热线 025 - 83597482

照 排 江苏南大印刷厂

印 刷 盐城市华光印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 341 千

版 次 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 305 - 13987 - 1

定 价 32.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购

图书销售部门联系调换

前 言

为了面向 21 世纪新的课程体系,为了适应土木工程专业教学改革的需要,我们组织编写此书供各大院校选用。《土力学》教材适用于土木工程各专业方向,如建筑工程、市政工程、地下工程、道桥等专业方向土力学课程的教学。

本书每章在讲解后都给出了配套的例题、习题和思考题供学生检验自身知识的掌握程度,这些题目都是经过多年课堂教学总结的经典案例,方便教师授课,有助于学生深入学习。

本书在处理与技术规范的关系时,遵循以阐明土力学基本原理为主并有助于学生正确理解规范的原则,不拘于长篇引用一本规范的特殊内容的形式,使学生能灵活使用不同行业的工程建设规范,有利于培养学生适应工程实践的能力。

土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,本书编写时注意理论与实际的结合,加入对一些工程问题的分析,希望有助于培养学生分析与解决实际问题的能力。

本书由江西科技学院陈辉担任主编,由河南理工大学万方科技学院卢军燕担任副主编。全书由陈辉统稿。

限于编者的水平,内容上或多或少会存在一些纰漏,错误之处恳请读者指正。

编者

2014 年 7 月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 土力学的研究对象及特点	1
1.2 土力学的发展概况	2
1.3 土力学的主要内容及学习方法	3
思考题	3
第 2 章 土的物理性质及工程分类	4
2.1 概述	4
2.2 土的形成	4
2.3 土的组成与结构	6
2.4 土的三相比例指标	15
2.5 无黏性土的物理性质	20
2.6 黏性土的物理性质	22
2.7 土的工程分类及命名	24
思考题	27
习题	27
第 3 章 土中水的渗流	29
3.1 概述	29
3.2 土的渗透性	30
3.3 二维渗流与流网	37
3.4 有效应力原理	40
思考题	44
习题	45
第 4 章 土中应力	46
4.1 概述	46
4.2 土中自重应力	46
4.3 基底压力和基底附加压力	50
4.4 均质地基中的附加应力	53
4.5 非均质地基中的附加应力	71

思考题	73
习题	73
第 5 章 土的压缩性及地基沉降	75
5.1 概述	75
5.2 土的压缩性	75
5.3 太沙基单向固结理论	78
5.4 地基最终沉降量的计算	81
5.5 应力历史对地基沉降的影响	96
思考题	101
习题	101
第 6 章 土的抗剪强度	103
6.1 概述	103
6.2 土的抗剪强度理论	103
6.3 土的极限平衡条件	105
6.4 抗剪强度的测定方法	107
6.5 应力路径	113
6.6 土的抗剪强度指标	116
思考题	121
习题	122
第 7 章 土压力	123
7.1 概述	123
7.2 挡土墙上的土压力	123
7.3 朗肯土压力理论	125
7.4 库仑土压力理论	133
7.5 边坡稳定性	141
思考题	152
习题	153
第 8 章 地基承载力	154
8.1 概述	154
8.2 地基的变形与破坏	154
8.3 地基临塑荷载和临界荷载确定	157
8.4 地基极限承载力	163
8.5 地基承载力确定	170
思考题	174
习题	174

第 9 章 挡土墙结构设计	175
9.1 概述	175
9.2 重力式挡土墙设计	179
9.3 加筋土的基本原理及强度特性	192
9.4 加筋土挡墙设计	199
9.5 挡土墙设计实例	203
思考题	212
习题	212
参考文献	215

第1章 绪 论

1.1 土力学的研究对象及特点

1.1.1 土力学的研究对象

土力学是研究土体在力的作用下的应力-应变或应力-应变-时间关系和强度的应用学科,是力学的一个分支,也是土木工程学科的一个分支。因此,土力学的研究对象就是土体。

土是地壳表层的整体岩石经历物理、化学和生物风化作用,又经流水、冰川、风力等搬运、沉积作用后形成的松散堆积物。土的组成及其工程性质与其母岩成分、风化作用性质和搬运沉积的环境条件有着密切的联系。搬运和沉积过程中的自然条件和各种随机因素的作用,致使土体具有不同的结构和构造。从母岩到形成土,经历了很长的地质年代,其间的风化、搬运和沉积过程是交错进行的,每一过程都对土的性质产生影响。因此,土的类型及性质与其成因有直接关系。

在工程建设中,土与结构物之间有着其极密切的关系。在修建建筑物、桥梁、道路、堤坝及其他结构物时,下部的土层作为地基,起着支承上部建筑物等传来的荷载的作用,此时土的应力、变形和强度是研究的主要问题;在修筑道路、堤坝时,堤坝内的土体被用做建筑材料,则土的组成、渗流、压实性等物理力学性质是研究的主要内容;在建造隧道、涵洞、地铁及其他地下建筑时,土作为地下结构的周围介质或环境,其稳定性及其与结构的相互作用则成了主要的研究对象。

1.1.2 土力学的特点

土力学创始人太沙基曾说过,土力学不仅是一门科学,也是一门艺术。这主要是土力学的研究对象——土体决定的。

土是自然历史的产物,不同地区、不同地质时期的风化环境、搬运和沉积条件等产生的土都有差异,因此,土体类型不同,工程性质就不同,即使同一类土,地区不同,其工程性质也不同。因此与其他工程材料如钢材、塑料、水泥等不同,土体种类多,工程性质复杂,这也决定了土力学的复杂性、区域性的学科特点。

经典土力学的学科体系是建立在海相黏性土和石英砂的室内试验基础上的。由此建立的土力学原理具有一般性,也具有一定的特殊性。在学习土力学这门课程时应了解这一点。土类不同,土的工程性质有时差异很大。特别是一些特殊土,其工程性质有较大的特殊性,

如湿陷性土、膨胀土、盐渍土等。应用土力学基础知识研究其他土的工程性质,处理与其有关的工程问题时,一定要重视其特殊性。

1.2 土力学的发展概况

自古以来,人类就广泛地利用土做建筑地基和材料。古代许多伟大建筑物,如我国长城、大运河、宫殿庙宇、桥梁等,国外的比萨斜塔、金字塔等的修建都需要有丰富的土的应用知识和在土层上修建建筑物的经验。由于社会生产力和技术条件的限制,这一阶段经历了很长时间,直到18世纪中叶,还停留在感性认识阶段。

产业革命以后,大量建筑物工程的兴建,促使人们对土进行了专题研究,对已积累的经验进行了一些理论归纳和解释。如1773年,法国科学家库伦(C. A. Coulomb)发表了土压力理论和土的抗剪强度公式;1856年,法国工程师达西(H. Darcy)研究了砂土的透水性,创立了达西渗透公式;1857年,英国学者朗肯(W. Jm. Rankine)建立了另一种土压力理论与库伦理论相辅相成;1885年,法国科学家布辛内斯克(J. Boussinesq)提出了半无限弹性体中的应力分布计算公式。这些公式至今仍是地基中应力计算的主要方法。

从20世纪20年代起,不少学者发表了许多系统的理论和著作。1920年,法国普兰特发表了地基滑动面的数学公式;1916年,瑞典彼得森提出了计算边坡稳定性的圆弧滑动法。而最具代表意义的是1925年美国太沙基(K. Terzaghi)首次编写了《土力学》一书。这本著作比较系统地论述了若干重要的土力学问题,提出了著名的有效应力原理。至此,土力学真正开始形成独立学科。从那时起到20世纪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。

20世纪60年代以来,随着电子计算机的出现和计算技术的高速发展,土力学的研究进入了一个全新的阶段。此时,最突出的工作是用新的非线性应力-应变关系代替过去的理想弹塑性体。随着应力-应变模型建立,新的理论体系以此为基础建立了。1957年, D. C. Drucker提出了土力学与加工硬化塑性理论,对土的本构模型研究起了很大的推动作用。许多学者纷纷进行研究,并召开多次学术会议,提出了各种应力-应变模型,如在工程中常用的邓肯-张模型、英国剑桥模型等。我国在这个阶段也做了很多工作,如清华大学黄文熙模型、南京水利科学研究院沈珠江模型和河海大学殷宗泽模型等。这些模型都是对土的非线性应力-应变规律作出的数学描述,并用土的实际情况作了验证。

从20世纪50年代起,现代科技特别是电子技术成果的大量加入,在试验测试技术方面实现了自动化的同时,土力学的理论也有了显著的进展。1957年召开的第四届国际土力学与地基基础工程会议标志着土力学发展的新时期的开始。国际土力学及基础工程学术会议自1936年在美国麻州坎布里奇召开以来,至今已召开了十四届。土力学的理论和实践取得了突飞猛进的发展。20世纪70年代以后,随着计算机技术的日益推广和有限单元法等各种数值方法的普遍采用,关于土的变形和强度的统一、土的非线性、土的固结、土的结构、土坡的稳定、地基的承载力等诸多方面的问题都得到了较为广泛和深入的研究,并取得了大量的成果。

在我国,土力学的理论研究起步较晚,但我国一些学者的成就在国际上仍有较大的影

响。早在 20 世纪 50 年代,陈宗基院士关于土的流变学和黏土结构的研究、黄文熙院士对土的液化的探讨以及考虑土的侧向变形的地基沉降计算方法的提出,对现代土力学的发展都有贡献。1957 年,中国土木工程协会设立了土力学及基础工程委员会,后于 1978 年成立了土力学及基础工程学会。近年来,随着我国房屋建筑、交通工程、水电工程、石油开采等大型工程的建设,许多学者对一大批涉及土力学的困难问题进行了深入研究,在广大科技工作者的辛勤努力下,土力学学科的发展在我国已经取得了长足的进步。

1.3 土力学的主要内容及学习方法

本书共 9 个章节,第 1 章为绪论,;第 2 章主要学习土的组成和结构、土的三相比例指标及土的物理特征;第 3 章主要学习土中的自重应力、基底压力和地基附加应力的分布和计算方法;第 4 章主要学习土的渗透理论及规律;第 5 章学习土的压缩性及压缩性指标、地基最终沉降计算;第 6 章学习土的抗剪强度及强度指标、抗剪强度的测试方法;第 7 章学习挡土墙上的土压力、郎肯土压力理论、库伦土压力理论及边坡稳定性;第 8 章主要学习地基的变形和破坏、地基的临界荷载及地基极限承载力;第 9 章主要介绍挡土墙结构设计的基本原理及强度特性,学习如何进行挡土墙设计。

由于土力学学科的复杂性,许多土力学的计算理论和公式都是在某些假设和忽略某些因素的前提下建立的,例如土中应力计算、土的压缩变形与地基固结沉降计算方法、土的抗剪强度计算等。在学习过程中应了解这些理论难以模拟、概括地基土各种力学性状全貌的不完善之处,注意这些理论在工程实际使用中的适用条件,学会如何将这些理论应用到工程实际中。本课程的公式较多,计算较为复杂,在学习的过程中应循序渐进,注意掌握公式的含义和应用,掌握基本理论的分析方法及其在工程中的应用,对于公式的推导等次要问题,只作一般了解要求即可。

学习土力学不仅要注意理论知识的学习,还应该重视土工试验和工程实例的分析研究,掌握实验原理、实验步骤和方法及实验结果的分析,通过土工试验及工程实例的分析,逐步加深对土力学理论的认识及解决实际问题的能力。

思考题

- 1-1 土力学的研究对象及特点?
- 1-2 土力学的主要内容及学习方法?

第2章 土的物理性质及工程分类

2.1 概 述

土是岩石在风化作用下形成的粒径大小悬殊的颗粒,经过不同的搬运方式,在各种自然环境下生成的没有黏结或弱黏结的沉积物。在漫长的地质年代中,各种内力和外力地质作用形成了许多类型的土和岩石。岩石与土之间是可以相互转化的,岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用生成土,而土经历压密固结、胶结硬化也可再生成岩石。

土是由固体颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体组成的三相体系。各种土的颗粒大小和所含矿物成分差别很大,土的三相间的数量比例也不尽相同。土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态与土的三相组成的物理性质、相对含量以及土的结构构造等密切相关。土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质,所以物理性质是土的最基本的工程特性。

在处理地基基础问题和进行土力学计算时,不仅要知道土的物理性质特征及其变化规律,从而了解各类土的特性,还必须掌握土的物理性质的各种指标的测定方法和指标间的相互换算关系,并熟悉用土的有关特征和指标对地基土进行分类的方法。

本章主要介绍土的成因、土三相组成、土的物理性质及指标换算、无黏性土和黏性土的物理状态指标等内容。这些内容是学习土力学必需的基本知识,也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

2.2 土的形成

土是各种矿物颗粒的松散几何体,是岩石在长期风化作用下产生的大小不同的松散颗粒经过各种地质作用形成的沉积物。

在漫长的地质形成过程中,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是地质作用。按能量的来源不同,地质作用可分为内力地质作用和外力地质作用。前者是由地球自重、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、岩石断裂等使地壳内部构造、外表形态和物质成分发生变化,如断层、地震、火山;后者是由太阳辐射能和地球重力位能引起的,如昼夜的气温变化,风、霜、雨、雪、河流、山洪、冰川及生物等对岩石产生的剥蚀、搬运、沉积作用。

2.2.1 风化作用

风化作用是指温度变化、大气、水及生物活动等自然条件使岩石产生破坏的地质作用。它可分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。

1. 物理风化

物理风化是指在风、霜、雨、雪等的作用下,由于温度、湿度的改变,岩石产生不均匀膨胀和收缩,发生了开裂、崩解等机械破坏而成为碎屑和颗粒。物理风化只是物质的大小与形状发生了改变,但仍然保持原来岩石(母岩)的矿物成分,即原生矿物,如石英、长石和云母等。由物理风化生成的土为粗粒土,如碎石、砾石和砂土等。

2. 化学风化

化学风化是指原生矿物成分的碎屑和颗粒与氧气、二氧化碳、水等物质接触时,逐渐发生化学变化,原来的矿物成分发生改变,产生一种新的成分,即次生矿物,如高岭石、伊利石、蒙脱石等。化学风化生成的土为细粒土,具有黏聚力,如黏土。

3. 生物风化

生物风化是指动、植物和人类活动对岩石产生的破坏作用,可分为物理生物风化和化学生物风化两种。如植物根部生长在岩缝中,使岩石产生机械破碎;开山、打隧道等人类活动对岩石产生机械破坏;动植物新陈代谢的分泌排泄物、死亡后遗体的腐烂产物及微生物等对岩石产生的化学侵蚀,使岩石成分发生变化。

上述三种风化作用并不是孤立进行的,常常是同时存在、相互促进的,如物理风化使岩石逐渐破碎、增大孔隙率和表面积,为化学、生物风化创造条件。而生物、化学风化使岩石松软,体积膨胀,从而促进物理风化的进行。三种风化作用在不同的环境下,会有不同的主次,如风化作用对不同的岩石成分和结构构造的破坏程度会有很大差别。

2.2.2 土的堆积

工程中遇到的大多数土都是在第四纪地质历史时期形成的,根据其堆积、搬运的方式不同,可将土体分为以下几种类型。

1. 残积土

残积土是岩石经风化作用残留在原地的碎屑堆积物,如图2-1(a)所示。从地表以下到基岩,风化作用逐渐减弱,直至消失,一般无明显层理,碎块是棱角状,土质不均,具有大孔隙,厚度在山顶部较薄、低洼处较厚。残积土作为建筑物地基时,应注意不均匀沉降和土坡稳定性的问题。

2. 坡积土

坡积土是雨水或雪水将山坡高处的岩石风化物缓慢冲刷、剥蚀,顺斜坡搬运至较平缓的山坡或坡脚处而成的沉积物,如图2-1(b)所示。坡积土从坡上往下由粗变细,在斜坡较陡处厚度较薄,坡脚地段较厚,矿物成分与基岩无直接关系,孔隙大,压缩性高。坡积土作为建筑物地基时,应注意不均匀沉降和地基的稳定性问题。

3. 洪积土

洪积土是由暂时性洪流将山区或高地的大量地表风化碎屑物携带至沟口或山前平原地带堆积而成,如图2-1(c)所示。由于山洪是周期性发生的,洪积土的颗粒具有一定的分选

性,靠近山区或高地,土颗粒较粗,远处则细,土层呈不规则的层理结构,常存在透镜体及黏性土夹层,作为建筑物地基时,应注意不均匀沉降。

4. 冲积土

冲积土是由江河水流搬运岩石风化物在平原河谷或山区河谷沉积而成,如图 2-1 (d)所示。颗粒在河流上游较粗,向下游逐渐变细,分选性和磨圆度均好,层理清楚,厚度较稳定。

5. 淤积土

在静水或缓慢的水流中沉积而成的土称为淤积土。淤积土主要以粉粒、黏粒为主,且含有机质,一般土质松软,具有层理结构,压缩性高,强度低。

6. 冰积土

由冰川或冰川融化后的冰下水搬运堆积而成的称为冰积土。冰积土由巨大块石、碎石、砂、黏性土混合组成,一般分选性极差,无层理结构,当为冰水沉积时,常有斜层理,颗粒一般有棱角,巨大块石上常有冰川擦痕。

7. 风积土

因风力作用,碎屑物被吹扬、搬运、堆积而成的土称为风积土。风积土主要由粉粒或砂砾组成,一般颗粒小而均匀,孔隙大,结构松散。

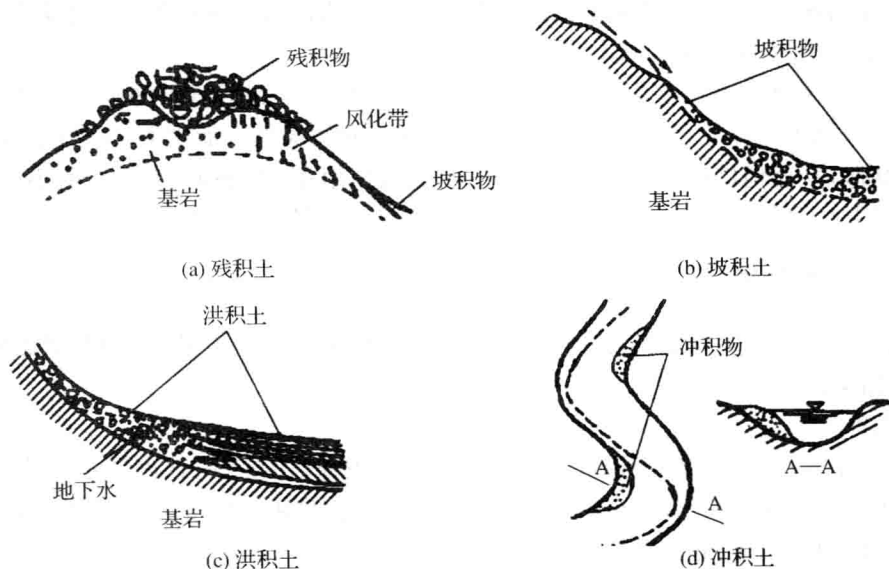


图 2-1 土的堆积类型示意图

2.3 土的组成与结构

2.3.1 土的三相组成

固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)三部分组成了土的三相体系。其中固体颗粒

构成了土骨架,土骨架间存在孔隙,孔隙当中存在水和气体。土的三相组成不是固定不变的,不同成因形成的土其三相组成自然不同,即使是同一成因形成的土,在不同的气候条件、地面荷载等因素的影响下,其三相组成也会发生变化,土的干燥与潮湿、坚硬与软弱、密实与松散等物理状态和性质也会发生相应变化。因此,要研究土的工程性质,必须先了解土的三相组成。

1. 土的固相

土的固相指土中的固体颗粒,主要包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土体骨架的基本物质。固体颗粒的大小、形状、矿物成分及其组成是决定土的物理力学性质的重要因素。

(1) 土的矿物成分

土粒的矿物成分主要取决于母岩的成分及其所经受的风化作用,一般可分为原生矿物、次生矿物和有机质等。

1) 原生矿物

原生矿物指在内在条件下的造岩作用和成矿作用过程中,同所形成的岩石或矿石同时期形成的矿物,其原有的化学成分和结晶构造均未改变,是土壤中各种化学元素的最初来源。如岩浆结晶过程中形成的橄榄岩中的橄榄石,花岗岩中的石英、长石,热液成矿过程中形成的方铅矿等均是原生矿物。原生矿物颗粒一般土粒较粗,多呈浑圆状、块状或板状,比表面积小(单位体积内颗粒的总面积),吸附水的能力较弱,性质稳定,无塑性,是构成各类砂石的主要矿物成分。

2) 次生矿物

次生矿物是指岩石中矿物经化学风化作用后其化学组成和构造都发生了改变,形成的新的矿物,性质与母岩不完全相同。如氧化物、氢氧化物、正长石经风化分解而形成的高岭石,方铅矿经氧化形成的铅矾,铅矾进一步与含碳酸的水溶液反应而形成的白铅矿等,均是次生矿物。土壤中次生矿物的种类很多,不同的土壤所含的次生矿物的种类和数量也不尽相同。次生矿物在化学成分上与原生矿物间有一定的继承关系。次生矿物粒径非常小(小于 $2\text{ }\mu\text{m}$),具有很大的比表面积,与水作用能力很强,能发生一系列复杂的物理、化学变化。

黏土矿物主要有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。高岭石是在酸性介质条件下形成的,它的亲水性弱,遇水后膨胀性和可塑性小;蒙脱石亲水性强,遇水后具有极大的膨胀性与可塑性;伊利石的亲水性介于高岭石与蒙脱石之间,膨胀性和可塑性也介于高岭石与蒙脱石之间,比较接近蒙脱石。

3) 有机质

有机质是由土层中的动植物分解而成的。一种是分解不完全的植物残骸,形成疏松多孔的泥炭;另一种则是完全分解的腐殖质。腐殖质颗粒较小,呈凝胶状,具有极强的吸附性。有机质含量对土的性质影响比蒙脱石更大,例如,当土中含有 $1\%\sim 2\%$ 的有机质时,其对液限和塑限的影响相当于 $10\%\sim 20\%$ 的蒙脱石。土中胶态腐殖质的存在,使土具有高塑性、膨胀性和黏性,其强度和承载力很低,故对工程建设不利,对有机质含量超过 $3\%\sim 5\%$ 的土,应加注明,此种土不宜作为填筑材料。

(2) 土的粒组划分

土是由大小不同的土粒混合而成的天然产物,土颗粒粒径往往相差悬殊,有粒径

200 mm以上的漂石,也有粒径小于 0.005 mm 肉眼无法看到的黏粒,土的粒径不同,相应的性质也不同。由于土颗粒的形状往往是不规则的,因此很难直观地测量出土粒的直径。工程上常用不同粒径颗粒的相对含量来描述土的颗粒组成情况,这种指标称为土的粒度成分,又称土的颗粒级配。

天然土颗粒的大小通常以粒径表示,为了方便研究,工程上将土中各种不同粒径的土粒,按粒径大小和性质相近的原则,分为若干粒组。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成为界限粒径。就目前而言,不同国家甚至同一国家的不同部门对界限粒径的划分标准都不同。GB/T 50145—2007《土的工程分类标准》将土粒粒组先分为巨粒、粗粒和细粒三个统称,再细分为六个粒组:漂石(块石)、卵石(碎石)、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒,见表 2-1。

表 2-1 粒组划分

粒组	颗粒名称		粒径范围/mm	一般特征
巨粒	漂石(块石)		$d > 200$	透水性很大,无黏性,无毛细水
	卵石(碎石)		$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中砾	$5 < d \leq 20$	
		细砾	$2 < d \leq 5$	
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$	
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$	
细粒	粉粒		$0.005 < d \leq 0.075$	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象
	黏粒		$d \leq 0.005$	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢

(3) 土的颗粒级配

天然土体绝大多数都是由几种不同粒组混合组成。土中所含各粒组的相对含量,以土粒总重的百分数表示,称为土的颗粒级配。常用颗粒级配的表示方法有表格法、累积曲线法、三角坐标法。

1) 表格法

表格法是以列表形式直接表达各粒组的相对含量,能够直观地表达粒度成分的分类。表格法有两种不同的表示方法,一种是以累计含量百分比表示,见表 2-2;另一种是以粒组表示,见表 2-3。累计百分含量是直接由试验求得的结果,粒组是由相邻两个粒径的累计百分含量之差求得的。

表 2-2 粒度成分的累计百分含量表示法

粒径 d_i/mm	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量 $p_i/\%$		
	土样 A	土样 B	土样 C
10	—	100.0	—
5	100.0	75.0	—
2	98.9	55.0	—
1	92.9	42.7	—
0.50	76.5	34.7	—
0.25	35.0	28.5	100.0
0.10	9.0	23.6	92.0
0.075	—	19.0	77.6
0.010	—	10.9	40.0
0.005	—	6.7	28.9
0.001	—	1.5	10.0

表 2-3 粒度成分分析结果

粒组/mm	土样 A	土样 B	土样 C
10~5	—	25.0	—
5~2	1.1	20.0	—
2~1	6.0	12.3	—
1~0.5	16.4	8.0	—
0.5~0.25	41.5	6.2	—
0.25~0.100	26.0	4.9	8.0
0.100~0.075	9.0	4.6	14.4
0.075~0.010	—	8.1	37.6
0.010~0.005	—	4.2	11.1
0.005~0.001	—	5.2	18.9
<0.001	—	1.5	10.0

2) 累积曲线法

累积曲线法是一种用半对数纸绘制,横坐标(按对数比例尺)表示某粒径,纵坐标表示小于某一粒径的土粒的百分含量的图示方法。不同的土类,级配曲线也不同,如图2-2所示。

根据粒径级配曲线的形态,可以大致判断土样所含颗粒的均匀程度。如曲线平缓表示粒径大小相差悬殊,颗粒不均匀,级配良好(如图2-2曲线B);反之,则颗粒均匀,级配不良(如图2-2曲线A,C)。

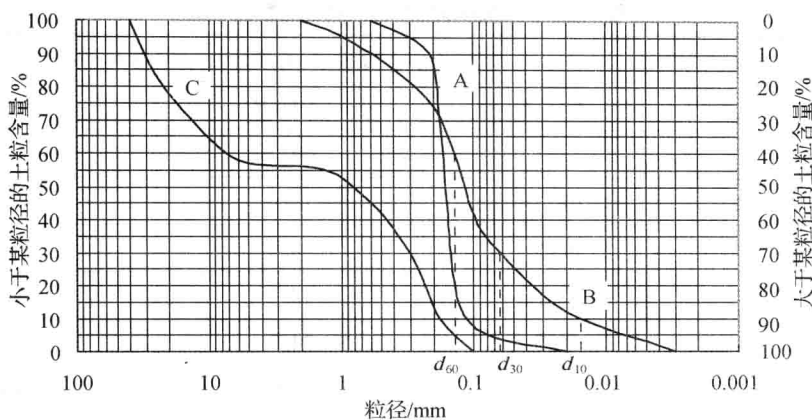


图 2-2 土的颗粒级配曲线

在累积曲线上,可确定两个描述土的级配指标:

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

曲率系数
$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \quad (2-2)$$

式中: d_{10} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 10% 的粒径,称为有效粒径(mm);

d_{60} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 60% 的粒径,称为限定粒径(mm);

d_{30} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 30% 的粒径,称为中值粒径(mm)。

不均匀系数 C_u 反应大小不同粒组的分布情况。如果土颗粒级配是连续的, C_u 越大,粒径级配曲线越平缓,土颗粒粒径级配越好,粒径越不均匀,作为填筑材料时,比较容易获得较大的密实度。相反, C_u 值越小,颗粒级配曲线越陡,土的颗粒粒径越均匀,颗粒级配就越差,作为填筑材料时,难以获得较大的密实度。

如果土颗粒的级配是不连续的,那么在级配曲线上会出现平台段。在平台段,只有横坐标粒径的变换,没有纵坐标含量的增减,说明平台段内的粒组含量为零,存在不连续的粒径,级配不良。可见,仅用一个指标 C_u 来确定土的级配情况是不够的。而曲率系数 C_c 描述了级配曲线分布的整体形态,反映了曲线的斜率是否连续,即是否有某粒组缺失的情况。土的粒径范围窄,分布曲线陡, d_{10} 和 d_{60} 靠近,土的不均匀系数 C_u 小,表示土粒均匀;土的粒径范围宽,分布曲线缓, d_{10} 和 d_{60} 相距远,土的不均匀系数 C_u 大,表示土粒不均匀。因此,工程上采用 C_u 和 C_c 两个指标来判断土的级配情况,评价土的工程性质。

工程上对土的级配是否良好可按如下规定判断:

① 对于级配连续的土: $C_u > 5$, 级配良好;反之, $C_u < 5$, 级配不良。

② 对于级配不连续的土,级配曲线呈台阶状(如图 2-2 曲线 C),采用单一指标 C_u 难以全面有效地判断土的级配好坏,需同时满足 $C_u > 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,才为级配良好,反之则级配不良。

颗粒级配可以反映土的某些性质,对于级配良好的土,较粗颗粒间的孔隙能够被较细的土颗粒填充,因而土的密实度较好,适合做填筑堤坝或道路灯工程的填方材料。