

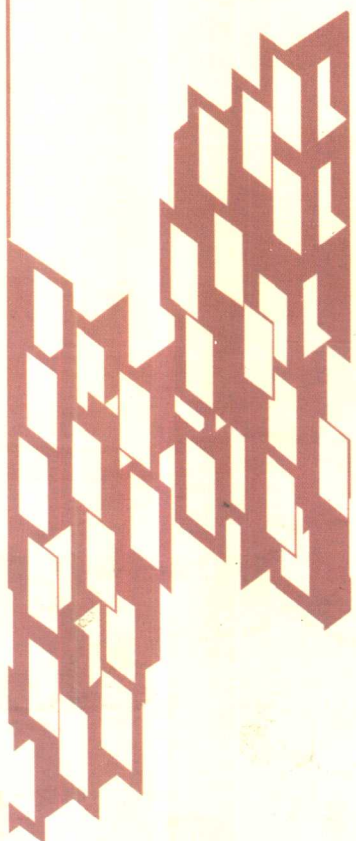
新世纪土木工程专业系列教材



基 础 工 程

J I C H U G O N G C H E N G

石名磊
龚维明
季 鹏 编著
邵 俐
胡明岳



东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材

基 础 工 程

石名磊 龚维明 季 鹏
邵 俐 胡明岳 编著

东南大学出版社

内 容 提 要

“基础工程”是一门土木工程专业本科生的必修专业课,是关于工业与民用建筑、公路、铁路与桥梁工程中各类基础的设计原理、方法与应用的综合性主干课程,并安排有1周的课程设计。

本教材内容体系的构架,主要由广义“土力学”的基础理论、工程地质勘察、基础工程学和地基处理技术四部分组成。前两部分内容是基础,重点是基础工程学的内容。土力学基础理论,包括:土基本性质和指标;土压缩性与地基沉降;土中水运动与固结以及土强度理论与强度问题。基础工程学则主要含有:浅基础、桩基础以及支挡结构的设计及计算原理。同时将系统扼要地介绍桩基础的沉降计算理论,地下工程质量检测新技术等内容,以及其它一些常见的(特种)基础形式、特点和设计概要。此外,本教材还将介绍软弱土的地基处理技术,在经典内容基础上,将突出岩土工程新材料、地基处理新技术以及地基处理质量控制等新内容。本教材各章均附有习题。对有关工程学的内容,穿插了大量的工程实例。

本书适合作为高等学校土木工程专业及相关专业的本科生、专科生教材,也可作为从事土木工程的技术人员和研究人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/石名磊,龚维明,季鹏等编著. —南京:东南
大学出版社,2002.10
新世纪土木工程专业系列教材
ISBN 7-81089-044-1
I. 基… II. ①石…②龚…③季… III. ①地基—基础(工
程) IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 057770 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 常熟市华顺印刷有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19 字数:450千字

2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

印数:1~4000册 定价:29.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795802)

新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾 问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主 任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧	王 炜	冯 健	叶见曙	石名磊	刘松玉	吕志涛
成 虎	李峻利	李爱群	沈 杰	沙庆林	邱洪兴	陆可人
舒赣平	陈荣生	单 建	周明华	胡伍生	唐人卫	郭正兴
钱培舒	曹双寅	黄晓明	龚维明	程建川	容柏生	蒋永生

序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化;拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化;将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

1. 符合新世纪对土木专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳入最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程

各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

4. 发挥东南大学的办学优势

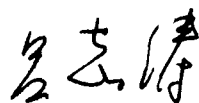
东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本,其中 9 本教材获国家和部、省级奖,4 门课程列为江苏省一类优秀课程,5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



2001 年 9 月

前 言

本教材是新编《新世纪土木工程专业系列教材》之一。

基础工程是土木工程专业的主干课程之一。由于国家本科专业目录的调整,现有土木工程专业涵盖了建筑工程、交通土木工程、桥梁工程、地下工程等专业。原有“基础工程”教材分属于各行业(例如:建筑工程和交通土建等专业),其内容组成不再能满足国家拓宽专业口径的要求。因此,为了适应土木工程专业课程教学新的要求,我们根据长期的教学 and 实践经验编写了本书。

由于土木工程中基础工程的涉及面较广,同时建筑工程与交通土建工程的设计规范、勘察规范和试验方法均不尽相同,且各行业中主要采用的基础形式和材料也有所差异,同时近年来相关的新规范颁布也较多,已往的教材在上述诸多方面存在着一定的局限性。本教材的编写将从广义范畴(土木工程中)基础工程的基本概念入手,注重对理论基础、工作原理和一般方法与原则的阐述,以尽可能地减弱各行业在设计与施工实际应用中的差异性的影响。同时,本教材在内容的组织上力求系统性,土力学的集约化的阐述和岩土工程勘察的扼要介绍,为基础工程和地基处理有关内容的展开铺垫了基础。在基础工程和地基处理等内容的编写上,力求整合各行业最新规范的有关内容及各行业基础工程的不同特点,同时书中也引入了一些新的内容,适当反映了现代基础工程新进展和地基处理新技术。

本书共分为六章,即土力学基础知识、岩土工程勘察技术、地基承载力理论和浅基础设计、土压力理论与挡墙设计(包括土坡稳定)、深基础与桩基理论及地基处理。其中,绪论和第1、6章由石名磊编写,第2章由胡明岳编写,第3章由季鹏编写,第4章由邵俐编写,第5章由龚维明编写,全书由石名磊统稿。

应特别指出,本教材的编写得到了中国工程院院士、东南大学土木工程学院吕志涛教授的指导,在此致以衷心感谢。

最后要说明的是,由于编写时间仓促,加之作者的水平有限,书中疏漏或错误之处难免,恳请读者批评指正,以使本书日臻完善。

编者

2002年5月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 岩土工程性质	(3)
§ 1.1 概述	(3)
§ 1.2 土的基本特性与工程分类	(4)
§ 1.3 土的压缩规律与地基总沉降	(24)
§ 1.4 土的渗透性与饱和土的固结理论	(48)
§ 1.5 土的强度理论	(58)
习题	(74)
第 2 章 岩土工程勘察	(77)
§ 2.1 概述	(77)
§ 2.2 岩土工程勘察基本程序和内容	(77)
§ 2.3 工程地质勘探与岩土野外鉴别描述	(81)
§ 2.4 岩土工程勘察报告书	(97)
习题	(102)
第 3 章 极限平衡理论与浅基础	(103)
§ 3.1 概述	(103)
§ 3.2 浅基础类型、构造及设计条件	(103)
§ 3.3 浅基础深度的确定	(107)
§ 3.4 地基承载力	(111)
§ 3.5 一般浅基础设计	(126)
§ 3.6 浅基础的变形分析与验算	(141)
§ 3.7 上部结构、基础和地基共同作用的概念	(153)
§ 3.8 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	(156)
习题	(160)
第 4 章 土压力与土坡稳定	(161)
§ 4.1 概述	(161)
§ 4.2 土压力理论	(162)
§ 4.3 挡土墙设计	(180)
§ 4.4 土坡稳定分析	(195)
习题	(202)
第 5 章 桩基础	(203)
§ 5.1 概述	(203)

§ 5.2 轴向荷载下桩基的工作性能和承载力	(207)
§ 5.3 桩的水平承载力和位移	(227)
§ 5.4 桩基础设计	(231)
习题	(240)
第 6 章 地基处理	(242)
§ 6.1 概述	(242)
§ 6.2 换填法	(244)
§ 6.3 预压法	(246)
§ 6.4 强夯法	(256)
§ 6.5 复合地基概论	(260)
§ 6.6 深层搅拌桩复合地基设计	(262)
§ 6.7 挤密桩加固地基	(268)
§ 6.8 土工加筋法	(272)
§ 6.9 软土地基加固的其它方法	(279)
习题	(291)
参考文献	(292)

绪 论

在土建、道路、水利等专业的教学计划中,“基础工程”是一门重要的专业课程。在学生完成工程力学、水力学、土力学及结构设计原理等技术基础课程后;掌握了土体压缩、强度和土中水的运动规律等特性和理论;并在学会了钢筋混凝土结构内力计算及设计的基础上,开始学习“基础工程”。广义的“基础工程”包括了土力学基本原理、地基及基础和地基处理技术三部分内容。土力学基本原理集约化地阐述,主要是为地基及基础和地基处理内容的展开铺垫基础。地基及基础的内容是本教材的重点,主要包括浅基础、深基础和挡土墙等的工作原理、设计方法及验算等内容。这些也是一般土木工程中应用最为广泛的方法,相对也是最重要的。地基处理技术主要是针对软弱土和特殊土而言的,本教材将初步介绍地基加固中的一些常见方法及其机理、设计、验算和检测等内容。

地基是指承受建筑物基础的这一部分很小的场地,或称受建筑物影响的那一部分土层;而基础是建筑物向地基传递荷载的下部结构。关于地基和基础,有的人分不清楚,常常把地基与基础的概念混淆。实际上,两者是完全不同的。

上部结构通过基础使得地基原有应力状态发生变化。这就需要根据土力学的基本原理,就地基的强度、变形、稳定性及地基中水的运动,以及软弱土地基和特殊土地基处理技术等进行研究,以使地基基础的设计满足两个基本条件,即:地基所承受的由基础传递来的荷载应小于地基的承载能力;地基中附加应力的改变而产生地基的变形,应能保证基础沉降不超过上部结构所要求的容许值。

基础结构的形式很多。设计时,基础形式的选择应能适应上部结构、场地和地基工程地质条件,且应满足地基基础设计的两项基本条件。同时,地基基础设计应符合使用上的要求,并保证基础方案技术上的合理性。基础根据埋置深度,可分为浅基础和深基础。通常将基础埋置深度小于5m,只需通过挖槽、排水等普通施工程序就可以建筑起来的基础称之为浅基础,例如独立基础、连续基础等。反之,若基础较深,设计时一般应考虑侧壁摩阻力,并要借助于特殊的施工方法,所建造的各种类型基础称之为深基础,例如桩基础、沉井等。

根据地基的性质,可以分为土基和岩基;根据地基处置方式,可以分为天然地基和人工地基。凡是基础直接建造在未经加固的天然土层上时,这种地基称之为天然地基。若天然地基软弱或存在病害,不能满足地基强度、变形等要求时,则先要经过人工处理,然后再建造基础,这种地基称之为人工地基。地基的人工处理或加固,即称为地基处理(Soil Treatment)。地基处理的目的是根据物理的、热学的和化学的原理,采用一种或几种方法对软弱地基或特殊地基进行处理和加固,以提高地基的承载力、降低压缩性、改善地基的稳定性等。地基处理的方法主要有,置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学方法等。同样,根据地基处理的深度,可以分为地基的浅层处理和深层处理。

地基、基础和上部结构三部分,各自功能不同,研究方法相异。然而,对一个建筑物来说,

在荷载作用下,这三方面却是彼此联系、相互制约的整体。虽然将这三部分完全统一起来进行设计和计算目前还有困难,但是,在处理地基基础问题时,应该从地基—基础—上部结构相互作用的整体概念出发,全面加以考虑,才能收到比较理想的效果。

“基础工程”课程涉及土力学、工程地质学、结构设计原理和工程施工等学科领域,所以内容广泛、综合性强。由于广义的土木工程涵盖了工业民用建筑、道路桥梁及港口等行业,而在不同的行业中,基础工程设计、计算与验算不尽相同。因此在地基及基础学习时,既要重点突出,即应充分认识地基及基础的工作机理,熟练掌握其基本理论和一般原则,学会根据相关规范进行一般地基及基础工程设计与计算的方法;在兼顾全面的基础上,又要针对各专业中地基及基础设计的不同要求,培养运用土力学、结构理论等分析解决地基及基础个别问题的能力。必须强调,在“基础工程”的学习中,应十分重视(已学习过的)工程地质的基本知识,掌握阅读和使用工程地质勘察资料的方法。

本着上述宗旨,本课程的内容安排是:第一部分(即本教材的第1章),主要为土力学基本知识集约化的简要阐述,为全书的叙述提供(技术)基础。第二部分(即第2章),为地基的工程地质勘察,主要介绍工程地质学中与地基及基础密切相关的地基工程勘察的方法与勘察报告。第三部分(即第3章、第4章和第5章),为地基及基础的有关内容,主要包括:浅基础、支挡结构和深基础,该部分内容为全书的核心内容。在这一部分编写中,将土力学基本理论与地基及基础的内容进行了整合,例如将土力学中地基承载力的极限平衡理论(塑性解)与地基及基础中的浅基础设计结合在一起;将土压力计算基本理论与支挡结构设计结合在一起。这一整合突出了土力学与地基及基础的相关性,有利于本课程的学习。第四部分(即第6章),为地基的人工处理技术,主要介绍了目前土木工程中常见的地基处理方法,并强调了各类方法的工作原理、分析理论和检测技术。同时,还介绍了部分地基处理的最新技术和发展。

第 1 章 岩土工程性质

§ 1.1 概 述

土的工程性质研究的理论基础是土力学,土力学是一门研究土体的力学,是工程力学的一个分支,它主要是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性。广义范畴的土力学又包括土的生成、组成、物理化学性质、物理生物性质及土的分类在内的土质学的内容。

土力学内容构成及简单关系参见图 1-1。

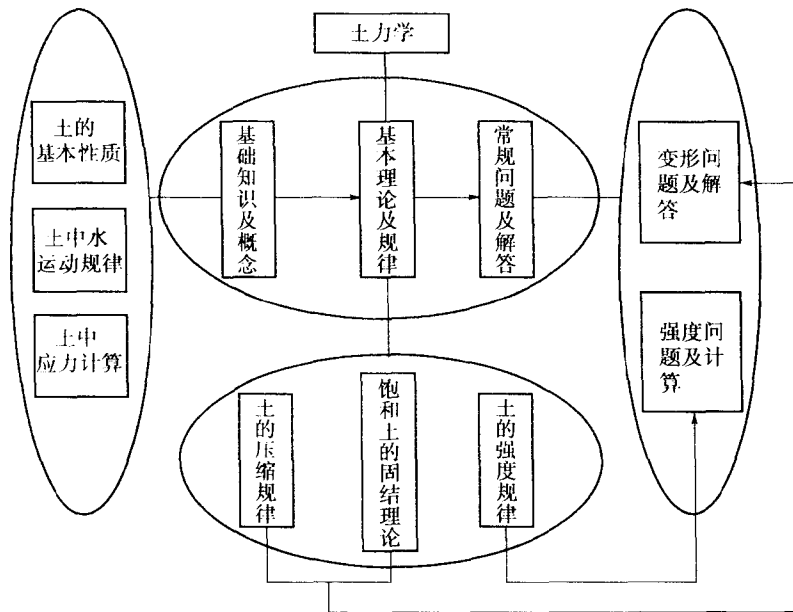


图 1-1 土力学内容构成

土是由岩石经历物理、化学和生物风化作用,经历剥蚀、搬运、沉积等过程,在复杂的自然环境中生成的各类沉积物。土是自然、历史的产物。土的自然性是指土是由固相(土粒)、液相(粒间孔隙中的水)和气相(粒间孔隙中的气态物质)组成的三相体系。相对于弹性体、塑性体和流体等连续体,土体具有一系列复杂的物理力学性质,而且易受温度、湿度和地下水等自然环境条件变动的影响,表现出不良的稳定性。土的历史性是指天然土层的物理特征与土的生成过程有关,一定要从土的形成过程来认识其固有特性。在同一地质年代和相似沉积条件下生成的土,具有相近性状的规律性。也即土的生成所经历的地质历史过程以及成因,对天然土层性状有重要的影响。由于土的力学性质的复杂性,现有土力学理论还难于模拟、概括天然土层在外荷载作用下所表现出的各种力学性状的全貌。因此,土力学是指导我们从事地基及基础工程实践的重要理论基础,但其还在不断地发展,还应紧密结合工程实践,通过试验和引

入新的理论和技术进行更加合理的分析,才能求得实际问题的妥善解决,并不断增强处理地基基础问题的能力,同时更进一步地丰富和完善土力学理论。

在土木工程中,土的应用有三种基本形式,即天然土层作为建筑物地基,土作为构筑物的环境,以及土作为材料构筑土工构造物。因此,土是土木工程中应用最为广泛的建筑介质或材料之一。

本章拟通过土的基本性质与分类、土的压缩规律与地基总沉降、土的渗透与地基固结和以及土的强度理论与特性四个部分,系统扼要地介绍土力学的基本内容,为“基础工程”中地基与基础和地基处理有关内容的学习奠定基础。

§ 1.2 土的基本特性与工程分类

土是连续、坚固的岩土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和不同的沉积条件,在自然环境中生成的沉积物。在研究土的工程性质时,既有别于固体力学,又有别于流体力学。土是一种分散体,土粒间孔隙体积可随外界条件的变化而改变,即土的三相的相对比例,随时间和荷载的变化而改变,并导致土的一系列性质随之而改变。天然土层在生成过程中,形成了相对稳定的三相组成在空间上的分布排列以及土粒间的联结,这两种作用的综合,也即土的结构性,对土的性质亦有重要的影响。

因此,本节的内容主要是介绍古典土力学中土粒的物理特征(土粒的个体特征)、土的物理状态以及土的三相比例指标。同时,根据近代土力学的研究成果,介绍土结构的概念及影响。在此基础上,还将介绍土的压实特性和土的工程分类。本节的内容为土的压缩性、土的强度、土中水运动规律以及相关工程问题的学习奠定基础。

1.2.1 土的组成

土是由固相(土粒)、液相(土中水)和气相(土中气态物质)组成的复杂的分散体。土中的固相,即土粒,构成土体的骨架。土粒的矿物成分由原生矿物和次生矿物组成。其中次生矿物的成分和性质比较复杂,尤其是粘土矿物与水的作用,对粘性土性质影响很大。此外,土生成过程中,还会掺入或产生有机质成分,其含量的多少对土的工程性质影响很大。土粒成分的组成见示意图 1-2。

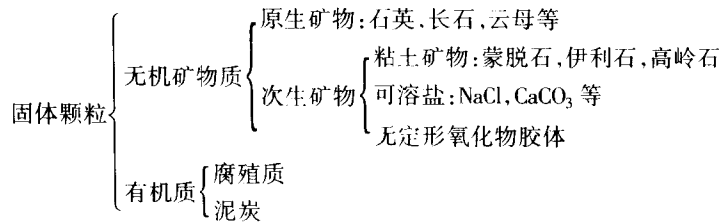


图 1-2 土粒矿物成分组成示意图

土中的液相是指土孔隙中存在的水。一般为中性的自由水,即 $\rho_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$,在 0°C 时结冰,在 100°C 时沸腾。近代土质学的研究表明,土中水是成分复杂的电解质水溶液,它与土粒(尤其是粘土矿物颗粒)有着复杂的相互作用,并在土粒的表面形成一定厚度的结合水膜。根据水的受力特征,土中水分类见表 1-1。

土中气相是指土孔隙中充填的气体,对土的性质有一定的影响。相对于大气的成分组成,一般土中气体含有更多的 CO_2 和 N_2 ,较少的 O_2 。而且随着土中气体与大气交换困难程度的增加,这一特性愈加显著。从工程的角度,土中的气体又可分为与大气连通和不连通两类,相对而言,与大气不连通的封闭气体对土性质的影响更大。例如,随着土受到应力水平的提高,封闭气体可以在压力增大时,溶解于土中水;而压力减小或解除后,水中溶解的气体又会重新游离出来。这种含有气体的土称为非饱和土,其特殊的工程性质研究已形成土力学的一个新的分支。

表 1-1 土中水的分类

水的类型		主要作用力
结合水		物理化学力
自由水	毛细水	表面张力及重力
	重力水	重力

一、土粒的矿物成分及其与水的作用

土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化作用。不同矿物成分对土的性质有着不同的影响,尤其是细粒土的矿物成分。

粗大土粒,一般系指漂石、卵石、圆砾等,都是岩石的碎屑,其矿物成分与母岩相同,主要由岩浆冷凝过程中形成的各类原生矿物组成。砂粒的矿物成分同样为一些相对稳定的原生矿物,例如石英、长石和云母等。且砂粒大部分为单矿物颗粒,其中石英等抗化学风化能力强,在砂粒中尤为多见。当然,砂粒中也存在一些多矿物颗粒。粉粒的矿物成分是多样性的,主要是石英和 MgCO_3 、 CaCO_3 等难溶盐等。粘土的矿物成分,为原生矿物经化学风化作用后,发生化学变化而形成的新的次生矿物,主要有粘土矿物、无定形的氧化物胶体(如 Al_2O_3 、 Fe_2O_3)和难溶盐类(如 CaCO_3 、 CaSO_4 、 NaCl 等)。

物理风化作用形成的母岩碎屑,一般有单矿物颗粒和多矿物颗粒两种存在形式。相对而言,这类土的矿物成分对土的工程性质影响较弱。然而,细小土粒主要是化学风化作用形成的次生矿物颗粒和生成过程中有机物质介入,这类矿物成分及其与水的作用均很复杂,是产生细粒土塑性特征的主要因素之一。因此,这类土粒的矿物成分对土工程性质的影响很大。

(一) 粘土矿物的结晶构造

粘土矿物的颗粒很微小 ($< 2 \mu\text{m}$),近代土力学研究表明,该颗粒的形状为鳞片状或片状,所以具有很大的比表面积。X 衍射法、电子显微镜和差热分析等近代物理测试技术应用于粘土矿物的研究,证明了其内部具有层状晶体构造。现已知道,对土性起重要作用的粘土矿物的结晶结构,主要由两种基本结构单元组成,即硅氧四面体和氢氧化铝八面体,又可称之为晶体。四面体晶体和八面体晶体各自排列成网格层状结构,分别形成四面体片和八面体片,又可称之为晶片,见图 1-3。

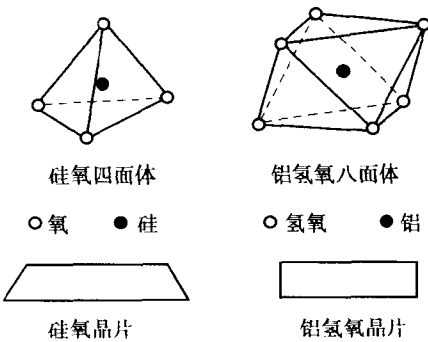


图 1-3 粘土矿物晶体、晶片示意图

四面体晶片和八面体晶片的不同组合,构成了两种基本的结构单位层,即 1:1 型结构单位层和 2:1 型结构单位层,又可称之为晶胞。前者由一个四面体晶片和一个八面体晶片堆叠而成,称为两层型晶胞;而后者则是由两个四面体晶片中间夹一个八面体晶片组成,又称三层型晶胞,见图 1-4(a)和(b)。

两种晶胞的重复堆叠,形成了大多数粘土矿物的各种层状结构。粘土矿物主要有三种,即

蒙脱石、伊利石和高岭石,分别见图 1-4(c)、(d)和(e)。

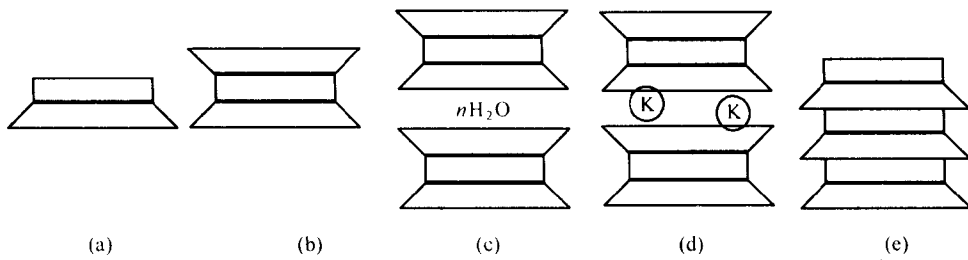


图 1-4 粘土矿物结构单元示意图

(a) 1:1 型晶胞; (b) 2:1 型晶胞; (c) 蒙脱石; (d) 伊利石; (e) 高岭石

蒙脱石是由伊利石进一步风化或火山灰风化而得到的产物,其结构单位层是 2:1 型晶胞。晶胞间只有氧原子与氧原子的范德华力联结,没有氢键,故其键力连接很弱,见图 1-4(c)。此外,晶胞中夹在四面体晶片中间的氢氧化铝八面体晶片中的 Al^{3+} 离子,常为低价的 Na^+ 、 Ca^{2+} 等替换,使得晶胞整体出现多余负电荷,并可吸引其它阳离子或水化离子充填于晶胞之间。蒙脱石晶胞的活动性极大,水分子的进入可以改变晶胞之间的距离,甚至达到完全分散成单晶胞状态。因此,当土中蒙脱石含量较高时,则土具有很大的吸水膨胀和失水收缩的特性。

伊利石与蒙脱石相似,同属于 2:1 型晶胞。伊利石主要是云母在碱性介质中风化的产物,晶胞间同样具有范德华力。但是伊利石构成中,硅氧晶片中部分四面体中的 Si^{4+} 被低价的 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等所置换,使得相应四面体六角形网格眼中央镶嵌有钾离子,以补偿置换作用产生的多余负电荷,见图 1-4(d)。嵌入的 K^+ ,增加了伊利石晶胞间的联结作用。所以伊利石的结晶构造的稳定性优于蒙脱石。

高岭石是长石风化的产物,其结构单位层为 1:1 型晶胞,见图 1-4(e)。晶胞间为 O 与 OH (或 OH 与 OH) 相联结,故层间除范德华力外,还有氢键。因此,提供了较强的联结力。高岭石在水中,晶胞单位层间的距离变化很小,活动性亦较小,使得高岭石的膨胀性、收缩性及亲水性均小于伊利石,更小于蒙脱石。

此外,在粘土矿物成分一定的条件下,粘土矿物颗粒大小不同,亦会使其表面积发生巨大的变化,从而影响土体性质的改变。因此,粘土矿物颗粒的比表面积,即土粒的大小,是反映粘土颗粒与水作用的另一个重要指标。

(二) 土颗粒与水的作用

粘土颗粒一般为扁平状(片状),与水作用后大多数粘土颗粒的表面带有负电荷,但在土粒边缘的断键处,有时($\text{pH} < 7$ 时)也可能出现正电荷的局部集中,见图 1-5。

由于粘土颗粒表面带有净的负电荷,必然地在其周围产生电场。当粘粒在水中沉积时,在静电引力作用下,水中的阳离子将被群集在土粒周围,以中和土粒表面的净负电荷;同时,阳离子与极性水分子形成水化阳离子,也被吸附到靠近土粒表面一定区域内;并且极性水分子自身,还可以通过氢键吸附在土粒表面,见图 1-5。于是,在靠近土粒表面一定范围内,受到土粒表面负电荷的电场作用,阳离子(如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 等)、水化阳离子以及极性水分子被吸附而群集在一起,形成了与自由水不同的结合水层,见图 1-6。

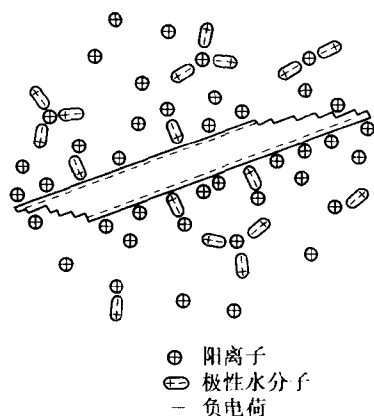


图 1-5 粘土颗粒表面带电现象

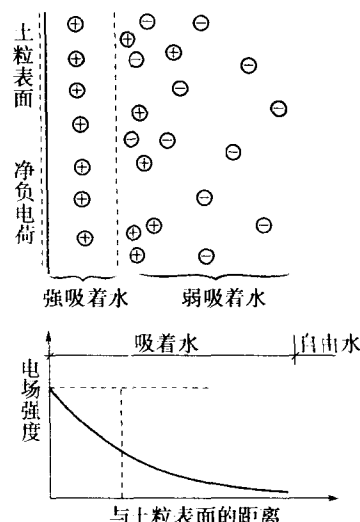


图 1-6 结合水层示意图

在土粒周围水溶液中的阳离子,一方面受到土粒所形成电场的静电引力作用;另一方面又受到布朗运动的扩散力作用。在最靠近土粒表面处,静电引力最强,水化阳离子和极性水分子被强烈地吸附在粘土颗粒表面,形成强结合水(层)。强结合水(层)厚度一般 $<0.003\mu\text{m}$,也就是几个水分子的厚度。强结合水具有近似固体的性质,密度约为 $1.2\sim 2.4\text{ g/cm}^3$,冰点为 -76°C , 100°C 不蒸发,不能传递静水压力,具有一定的粘滞度、弹性和抗剪强度。在强结合水层的外围,随着与土粒表面距离的加大,电场的强度降低,水溶液中阳离子的浓度也逐渐降低,直至正常水溶液为止,这一区域构成弱结合水层。弱结合水层厚度 $<0.5\mu\text{m}$,同样不传递静水压力,呈粘滞体状态。弱结合水的多少,直接影响到土的塑性。因此,弱结合水对粘性土的性质影响较大。

结合水层中所含的阳离子与土粒表面负电荷的电位相反,故称之为反离子层。该反离子层与土粒表面负电荷一同构成双电层,见图 1-6。反离子层中阳离子的价位愈高,则中和负电荷的能力愈强,弱结合水的厚度就愈薄;反之亦然。这一特性可用于土的加固,或用于降低土渗透性。

二、土粒的个体特征

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。不同国家、不同行业,土的粒组划分方法并不完全一致,表 1-2 是一种常用的土粒粒组的划分方法,表中根据国家标准《土的分类标准》(GBJ145-90)中所规定的界限粒径 200、60、2、0.075 和 0.005 mm,把土粒粒组分为巨粒、粗粒和细粒三个统称,再分为六大粒组:漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及粘粒。土粒的大小及其组成情况,通常以干土中各个粒组的相对含量(是指土样各粒组的质量占土粒总质量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配或粒度成分。

表 1-2 土粒粒组的划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
漂石或块石颗粒		> 200	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
卵石或碎石颗粒		200 ~ 60	
圆砾或角砾颗粒	粗	60 ~ 20	透水性大, 无粘性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	20 ~ 5	
	细	5 ~ 2	
砂 粒	粗	2 ~ 0.5	易透水, 当混入云母等杂质时透水性减小, 而压缩性增加, 无粘性, 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	0.5 ~ 0.25	
	细	0.25 ~ 0.1	
	极细	0.1 ~ 0.075	
粉 粒	粗	0.075 ~ 0.01	透水性小, 湿时稍有粘性, 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
	细	0.01 ~ 0.005	
粘 粒		< 0.005	透水性很小, 湿时有粘性、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

注: ① 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形); 块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角

② 粘粒或称粘土粒; 粉粒或称粉土粒

③ 粘粒的粒径上限也有采用 0.002 mm 的。

④ 粉粒的粒径上限也有直接以 200 号筛的孔径 0.074 mm 为准的

根据颗粒分析试验结果, 常采用累计曲线法表示土的粒度成分。累计曲线法是比较全面和通用的一种图解法, 其特点是可以简单获得定量判别的指标, 特别适用于几种土级配相对好坏的比较。累计曲线法的横坐标为粒径, 由于土粒粒径的值域很宽, 一般采用对数坐标表示; 纵坐标为小于(或大于)某粒径的土重累计百分含量, 见图 1-7。由累计曲线的坡度可以大致判断土粒的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, 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, 即级配良好。

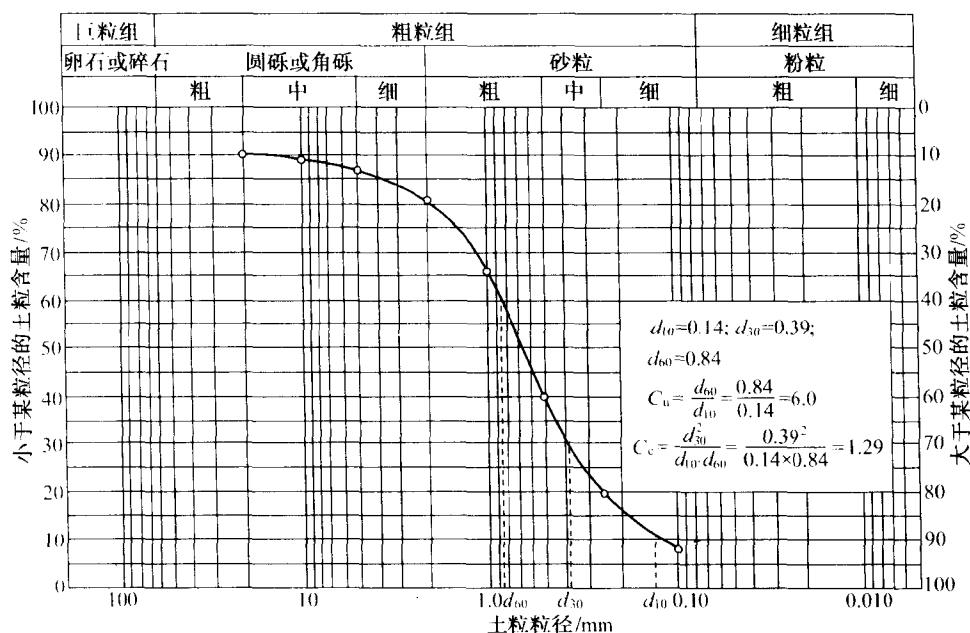


图 1-7 颗粒级配累计曲线