

地基与基础

DIJI YU JICHU

(第2版)

主 编 张 茹 吴继锋 刘永户

主 审 王启亮 陈贤清



地基与基础

(第2版)

主 编 张 茹 吴继锋 刘永户
副主编 李 庚 聂 堃 俞信平 陈守杰
参 编 崔宇亮 阎凤翔 贺晨云 林 楠
主 审 王启亮 陈贤清



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书第2版根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)要求,并结合高等院校人才培养目标及专业教学改革的需要进行编写,主要内容包括土的物理性质及工程分类、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降量计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、建筑场地的工程地质勘察、天然地基上浅基础的设计、桩基础设计、基坑与地下连续墙工程、软弱地基处理、特殊土地基、土工试验等。

本书内容简明扼要,强调针对性和实用性,可作为高等院校土木工程、工程管理等相关专业教学用书,也可作为土建类工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

地基与基础/张茹,吴继锋,刘永户主编.—2版.—北京:北京理工大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5640-8784-5

I. ①地… II. ①张… ②吴… ③刘… III. ①地基 ②基础(工程) IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第005070号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京市通州京华印刷制版

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16

字 数/377千字

版 次/2014年2月第2版 2014年2月第1次印刷

定 价/45.00元

责任编辑/杨 倩

文案编辑/杨 倩

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

第2版前言

“地基与基础”是一门理论性和实践性较强，且专业技术含量较高的专业课程，学生通过对本课程的学习，应了解地基土的工程性质，掌握土中应力、变形及强度的计算方法，并能阅读和使用工程地质勘察资料，进行一般浅基础设计，具备识读和绘制一般施工图的能力。

本书自出版发行以来，经有关高等院校教学使用，为广大学生了解必要的地基与基础设计相关理论，并能运用所学的相关知识去分析和处理地基与基础工程中的一般问题提供了力所能及的帮助。近年来，随着我国国民经济的飞速发展，建筑工程设计与施工技术水平也取得了长足的发展，大量新材料、新技术、新工艺在建筑工程领域得到了广泛运用，国家对与地基与基础设计与施工有关的相关标准规范也陆续进行了修订与完善，原书中的部分内容已不能满足我国当前高等院校教学工作的需要。根据各高等院校使用者的建议，结合近年来高等教育教学改革的动态及地基与基础方面的最新标准规范，我们对本书的相关内容进行了修订。

本书的修订进一步强化了实用性和可操作性，坚持以理论知识够用为度，以培养面向生产第一线的应用型人才为目的，提升学生的实践能力和动手能力，修订后的本书将能更好地满足高等院校教学工作的需要。本次修订主要做了以下工作：

(1) 为体现教材内容的先进性，更好地帮助广大学生了解并掌握地基与基础设计与施工的相关理论，对书中不符合现行地基与基础设计与施工相关国家和行业标准规范的内容进行了修订。本次修订主要依据的标准规范包括《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009年版)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等。

(2) 为使本书能更好地满足高等院校教学与课程改革的需要，本次修订对部分内容进行了必要的补充与完善，如增补了基坑处理和土工试验方面的内容等。

(3) 对各章的“能力目标”、“知识目标”及“本章小结”重新进行了编写，明确了学习目标，便于教学重点的掌握。修订时还对各章后的“思考与练习”进行了必要的补充，有利于学生课后复习参考，强化应用所学理论知识解决工程实际问题的能力。

本书由张茹、吴继锋、刘永户担任主编，李庚、聂堃、俞信平、陈守杰担任副主编，崔宇亮、阎凤翔、贺晨云、林楠参与了部分章节的编写，王启亮、陈贤清审阅了全书。

本书在修订过程中，参阅了国内同行多部著作，参考了部分高等院校老师提出的宝贵意见，在此向他们表示衷心的感谢！对于参与本书第1版编写但未参加本次修订的老师、专家和学者，本版书所有编写人员向你们表示敬意，感谢你们对高等教育改革所做出的不懈努力，希望你们对本书保持持续关注并多提宝贵意见。

限于编者的学识及专业水平和实践经验，修订后的书中仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者

第1版前言

在建筑工程中，我们把因承受建筑物荷载而导致应力状态发生改变的土层称为地基；把将建筑物荷载传给地基的那部分结构称为基础。地基与基础是建筑的根基，其勘察、设计和施工质量，直接关系到建筑物的安危。

“地基与基础”是一门综合性很强的课程，它涉及工程地质学、土力学、建筑力学、建筑结构、建筑材料、施工技术等领域。因此在学习本课程时，既要注意与其他学科的联系，又要注意紧紧抓住土的应力、强度和变形这一核心问题。同时要特别注意理论联系实际，不能盲目生搬硬套理论，要学会从实际出发分析问题和解决问题。

为此，我们根据高等院校土建专业课程的特点，结合当前工程建设领域对地基基础工程的要求，并针对专业人才培养目标定位和地基基础技术发展，组织编写了本教材。全书共分十章，内容包括土的物理性质及工程分类、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、建筑场地的工程地质勘察、天然地基上浅基础的设计、桩基础、软弱地基处理、区域性地基等。

为方便教学，各章前设置【学习重点】和【培养目标】，对学生学习和教师教学作了引导；各章后设置【本章小结】和【思考与练习】，从更深层次给学生以思考、复习的切入点，构建了“引导—学习—总结—练习”的教学模式。通过本课程的学习，应达到以下几点要求：

- ◆掌握土的物理指标的测定与换算，土的压实机理，土的工程分类。
- ◆掌握自重应力的计算，矩形面积均布荷载任意点下应力计算（角点法），基底附加压力的计算方法，自重应力和土中附加应力分布规律。
- ◆掌握土的抗剪强度理论，直接剪切试验，临塑荷载和临界荷载，地基极限承载力。
- ◆掌握地质勘察的各种方法，验槽内容以及基槽局部处理的方法。
- ◆掌握浅基础的类型，基础埋置深度、地基承载力确定的方法和计算过程，刚性基础设计与计算和地基变形验算，刚性扩大基础的设计与计算，减轻不均匀沉降的措施。

◆掌握桩基础的适用条件，桩的作用与分类，桩和桩基础的构造，桩基础的施工方法，单桩竖向承载力的确定，桩基工程施工质量的测试技术及规范标准。

◆掌握软弱地基处理的各种方法及其基本原理、设计与施工要点、质量检验方法。

本教材由王启亮、吴继锋、陈贤清主编，聂堃、邓庆阳、俞信平副主编，崔宇亮、阎凤翔、贺晨云、杨光、林楠等参与编写。

本教材既可作为高等院校土建类相关专业教材，也可作为工程设计、施工、监理等相关专业学习、培训的参考用书。本教材编写过程中，参阅了国内同行多部著作，部分高等院校教师也提出了很多宝贵意见，在此，对他们表示衷心的感谢！

本教材编写过程中，虽经推敲核证，但限于编者的专业水平和实践经验，仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者

目 录

绪论	1
第一章 土的物理性质与工程分类	4
第一节 土的成因及其构造	4
第二节 土的物理性质指标	9
第三节 土的物理状态指标	13
第四节 建筑中土的分类	17
第二章 地基中的应力计算	22
第一节 概述	22
第二节 土体自重应力的计算	23
第三节 地基压力的计算	24
第四节 地基附加应力的计算	27
第三章 土的压缩性与地基沉降量计算	38
第一节 土的压缩性	38
第二节 地基最终沉降量的计算	41
第三节 地基变形与时间的关系	48
第四节 建筑物沉降观测与地基容许变形值	51
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	56
第一节 土的抗剪强度	56
第二节 土的抗剪强度试验方法	60
第三节 地基承载力	65

第五章 土压力与土坡稳定	72
第一节 土压力的类型与影响因素	72
第二节 静止土压力的计算	73
第三节 朗肯土压力理论	74
第四节 库仑土压力理论	80
第五节 挡土墙的设计	83
第六节 边坡的设计	87
第六章 建筑场地的工程地质勘察	92
第一节 概述	92
第二节 工程地质勘探方法	98
第三节 工程地质勘察报告	102
第四节 基槽检验与地基局部处理	107
第七章 天然地基上浅基础的设计	110
第一节 概述	110
第二节 浅基础设计的内容及程序	113
第三节 基础埋置深度的确定	118
第四节 基础底面积的确定	123
第五节 无筋扩展基础的设计	128
第六节 扩展基础设计	130
第七节 柱下条形基础设计	138
第八节 高层建筑筏形基础设计	140
第八章 桩基础设计	145
第一节 概述	145
第二节 单桩的竖向承载力	153
第三节 特殊条件下桩基础竖向承载力验算	162
第四节 桩基础沉降计算	168
第五节 软土地基减沉复合疏桩基础	172
第六节 桩的水平承载力	174
第七节 承台的设计	178

第九章 基坑与地下连续墙工程	185
第一节 概述	185
第二节 基坑工程	189
第三节 土层锚杆	196
第四节 地下连续墙	197
第十章 软弱地基处理	202
第一节 概述	202
第二节 软弱地基的利用与处理措施	206
第三节 换土垫层法	210
第四节 强夯法	214
第五节 振冲法	216
第六节 排水固结法	218
第七节 化学加固法	221
第十一章 特殊土地基	225
第一节 特殊土的分类与分布	225
第二节 湿陷性黄土地基	227
第三节 膨胀土地基	231
第四节 红黏土地基	235
第十二章 土工试验	238
试验一 相对密度试验(又称比重试验)	238
试验二 密度试验(环刀法)	240
试验三 含水量试验(烘干法)	241
试验四 土的液限、塑限试验	243
参考文献	246

绪 论

一、地基与基础的基本概念

1. 土力学

土力学是运用力学基本原理和土工测试技术,研究土的性质、地基土的应力、地基的变形、土的抗剪强度与地基承载力、土的压力及土坡稳定性等内容的一门学科,它是本课程的理论基础。由于土与其他连续固体介质在性质上的根本不同,仅靠具备系统理论和严密公式的力学知识,尚不能描述土体在受力后所表现的性状及由此引起的工程问题,而必须借助经验、现场试验、室内试验辅以理论计算加以描述,因此也可以说土力学是一门依赖于实践的学科。

2. 地基

土层中附加应力和变形所不能忽略的那部分土层称为地基。良好的地基一般应具有较高的承载力与较低的压缩性,以满足地基与基础设计的两个基本条件(强度条件与变形条件)。软弱地基的工程性质较差,需经过人工地基处理才能达到设计要求。通常把不需处理而直接利用天然土层的地基称为天然地基;把经过人工加工处理才能作为地基的称为人工地基。人工地基施工周期长、造价高,因此建筑物一般宜建造在良好的天然地基上。

3. 基础

建筑物埋入土层一定深度的向地基传递荷载的下部承重结构称为基础。根据不同的分类方法,基础可以有多种形式,但不论是何种基础形式,其结构本身均应具有足够的承载力和刚度,在地基反力作用下不发生破坏,并应具有改善沉降与不均匀沉降的能力。通常把埋置深度不大(一般小于5 m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础统称为浅基础(各种单独的和连续的基础)。反之,浅层土质不良,而须把基础埋置于深处土质较好的地层时,就要借助特殊的施工方法,建造各种类型的深基础(桩基础、沉井及地下连续墙等)。

二、地基与基础在建筑工程中的重要性及设计原理

建筑物的地基、基础和上部结构三个部分,虽然各自的功能不同、研究方法相异,然而,对一个建筑物来说,在荷载作用下,这三个部分却是彼此联系、相互制约的整体。

地基与基础是建筑物的根本,又属于地下隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。实践表明,建筑物事故的发生,很多与地基和基础有关,而且,地基与基础事故一旦发生,补救并非易事。另外,基础工程费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以变动在百分之几到百分之几十之间。因此,地基与基础在建筑工程中的重要性是显而易见的。工程实践中,虽然地基与基础事故屡有发生,但是,只要严格遵循基本建设原则,按照勘察—设计—施工的先后顺序,并切实抓好

这三个环节,那么,地基与基础事故一般是可以避免的。

地基与基础设计是整个建筑物设计的一个重要组成部分。它与建筑物的安全和正常使用有着密切的关系。设计时,要考虑场地的工程地质和水文地质条件,同时也要考虑建筑物的使用要求、上部结构特点及施工条件等各种因素,使基础工程做到安全可靠、经济合理、技术先进和便于施工。

一般认为,地基与基础在设计时应考虑的因素如下:

- (1)施工期限、施工方法及所需的施工设备等。
- (2)在地震区,应考虑地基与基础的抗震性能。
- (3)基础的形状和布置,以及与相邻基础和地下构筑物、地下管道的关系。
- (4)建造基础所用的材料与基础的结构形式。
- (5)基础的埋置深度。
- (6)地基土的承载力。
- (7)上部结构的类型、使用要求及其对不均匀沉降的敏感度。

三、本课程的特点与要求

本课程是一门综合性很强的课程,它涉及工程地质学、土力学、建筑力学、建筑结构、建筑材料、施工技术等领域。因此在学习本课程时,应熟知《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009年版)及局部修订条文、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)(2007年版)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)等标准,既要注意与其他学科的联系,又要注意紧紧抓住土的应力、强度和变形这一核心问题。同时要学会阅读和使用工程地质勘察资料,掌握土的现场原位测试和室内土工试验,并应用这些基本知识和原理,结合建筑结构和施工技术知识,解决地基与基础的工程问题。

学习本课程时应该突出重点,兼顾全面,根据工业与民用建筑专业要求,重视工程地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力;必须牢固掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,并能够应用这些基本概念和原理,结合有关建筑结构理论和施工知识,分析和解决地基与基础问题。

为了便于学习,本书在每章的学习内容前按教学大纲要求编写了能力目标与知识目标,它们是各章节学习过程要理解、领会和贯彻的内容和标准。

在学习过程中,学生应思路正确,理解和掌握知识的方法得当,学习态度端正,并能有效地将所学知识转化为实际工作技能。

在学习过程中,首先,要求学生具有相关课程的基础知识做保证,能够正确理解并记忆所学名词、定义和各种基本概念,正确理解并领会各种基本原理,理解和掌握所学知识;其次,要求学生逐步掌握运用所学知识解决实际问题的思路、方法和技能;再次,要求学生认真领会理解各种试验目的、过程、方法、推理及结论,还要做到对常用主要计算公式的来由脉络清楚,做到在理解的基础上推导并记忆常用的主要公式;最后,学生要学会正确理解并运用有关的各种设计、施工验收、试验等的相关规范的基本技能。

在学习过程中,学生可通过施工现场的参观、课程设计等其他实训环节,提高课堂学习的成效,达到将所学知识逐步转化为实际工作技能的目的;并认真完成一定数量的思考

练习题，加深对有限的课堂教学内容的理解、消化、掌握和巩固；通过持续不断的复习，在理解的基础上记忆和掌握所学知识，最终达到掌握实际工作技能目的。

四、本学科的发展概况

追本溯源，远古先民在史前的建筑活动中，就已创造了自己的地基与基础工艺。我国陕西西安的半坡遗址和河南安阳的殷墟遗址的考古发掘中都发现有土台和石础，这就是古代的“堂高三尺、茅茨土阶”（语见《韩非子》）建筑的地基与基础形式。历代修建的无数建筑物都出色地体现了我国古代劳动人民在地基与基础工程方面的高超水平。举世闻名的长城、蜿蜒万里的大运河，如不处理好岩土的有关问题，就不能穿越各种地质条件的广阔地区，而被誉为亘古奇观；宏伟壮丽的宫殿寺院，要依靠精心设计建造的地基与基础，才能逾千百年而留存至今；遍布各地的巍巍高塔，是由于奠基牢固，方可经历多次强震强风的考验而安然无恙。这些事实就是地基与基础学科发展的明证。

从 20 世纪 50 年代起，现代科技成就，尤其是电子技术，渗入了土力学与基础工程的研究领域。在实现试验测试技术自动化、现代化的同时，人们对土的基本性质又有了更进一步的认识。随着电子计算机的迅速发展和数值分析法的广泛应用，科学研究和工程设计更具备了强有力的手段，遂使土力学理论和基础工程技术也出现了令人瞩目的进展。因此，有人认为，1957 年召开的第四届国际土力学与基础工程会议标志着一个新时期的开始。正是在这个时期，年轻的中华人民共和国以朝气蓬勃的姿态进入了国际土力学与基础工程科技交流发展的行列。从 1962 年开始的全国土力学与基础工程学术讨论会的多次召开，已成为本学科迅速进展的里程碑。我国在土力学与基础工程各个领域的理论与实践新成就难以尽述。

我国的地基与基础科学技术，作为岩土工程的一个重要组成部分，已经也必将继续遵循现代岩土工程的工作方法和研究方法阔步进入 21 世纪，从而取得更多更高的成就，为我国的现代化建设做出更大的贡献。

第一章 土的物理性质与工程分类

能力目标

能够充分掌握土的物理性质、状态及地基土的分类，并能够确定工程中的地基土的状态和名称。

知识目标

1. 了解土的成因与构造。
2. 熟悉土体物理性质指标的三相换算。
3. 掌握土的物理状态指标描述。
4. 理解地基土的工程分类。

第一节 土的成因及其构造

一、土的形成

土是岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积形成的含有固体颗粒、水和气体的松散集合体。从广义上来讲，土包括地壳表层的松散堆积物和地下的岩石。

风化作用与气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等(也称为外力地质作用)密切相关，风化作用是使岩石产生物理和化学变化的破坏作用。根据其性质和影响因素的不同，风化可以分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。

物理风化作用主要是在季节变化、昼夜更替、晴雨天气变化的影响下，岩石表面和内部产生温度差，表里胀缩不均，破坏了矿物间的结合作用，岩石就会慢慢地产生裂隙，由表及里发生破坏。因此引起岩石产生物理风化的主要因素是温度的变化，物理风化只引起岩石的机械破坏，所形成的颗粒成分与原岩石矿物成分相同，称为原生矿物。

化学风化作用是岩石与其周围相接触的物质发生的化学反应，如与水、氧气、二氧化碳等发生的水化、氧化、酸化等化学反应。化学风化作用使原岩石破碎并生成新矿物，称为次生矿物。

生物风化作用是指生物活动过程中对岩石产生的破坏作用。如穴居地下的动物、植物根部的生长等都会对岩石产生机械破坏作用；动物新陈代谢所排出的产物，动物死亡后遗体腐烂的产物及微生物作用等则使岩石成分发生化学变化而遭到破坏。

各种风化作用常常是同时存在、相互促进的，但强弱与原岩石的成分、构造，以及所处的环境等因素有密切关系。岩石的风化产物在外力作用下(如重力、风、流水及动物

活动等),脱离岩石表面,有的残留在原地,有的则被搬运到远离原岩的地方沉积下来。风化产物被不断地搬运并一层层地沉积而形成一层厚厚的碎屑堆积物,这就是通常所称的土。

二、土的组成

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。其中,固体颗粒构成土的骨架,是三相体系中的主体;水和气体填充土骨架之间的空隙。土体三相组成中每一相的特性及三相比例关系都对土的性质有显著影响。

1. 土的固体颗粒

土的固体颗粒是由大小不等、形状不同的矿物颗粒或岩石碎屑按照各种不同的排列方式组合在一起,构成土的骨架,是土的主要组成成分。

土中固体颗粒(简称土粒)的大小和形状、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。当土粒的粒径由大到小逐渐变化时,土的性质也相应发生变化。随着土粒粒径变小,无黏性且透水性强的土逐渐变为有黏性且低透水性可塑性的土。所以应根据土中不同粒径的土粒,按某一粒径范围分成若干组,通常将土划分为六大粒组,即漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及黏粒。各粒组的界限粒径分别是 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm,见表 1-1。

表 1-1 土粒粒组划分

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,无黏性,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,无黏性,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,无黏性,通水不膨胀,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
	细	0.01~0.005	
黏粒		<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

为了说明天然土颗粒的组成情况,不仅要了解土颗粒的大小,还需要了解各种颗粒所占的比例。实际工程中,常以土中各个粒组的相对含量(各粒组占土粒总重的百分数)表示

土中颗粒的组成情况，称为土的颗粒级配。土的颗粒级配直接影响土的性质，如土的密实度、透水性、强度、压缩性等。

为了直观起见，工程中常用颗粒级配曲线直接表示土的级配情况。曲线的横坐标用对数表示土的粒径(因为土粒粒径相差常在百倍、千倍以上，所以宜采用对数坐标表示)，单位为 mm；纵坐标则表示小于或大于某粒径的土重含量或称累计百分含量。从曲线中可直接求得各粒组的颗粒含量及粒径分布的均匀程度，进而估测土的工程性质，如图 1-1 所示。由曲线的形态可以大致判断土粒大小的均匀程度。如曲线较陡，则表示粒径范围较小，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，级配良好。

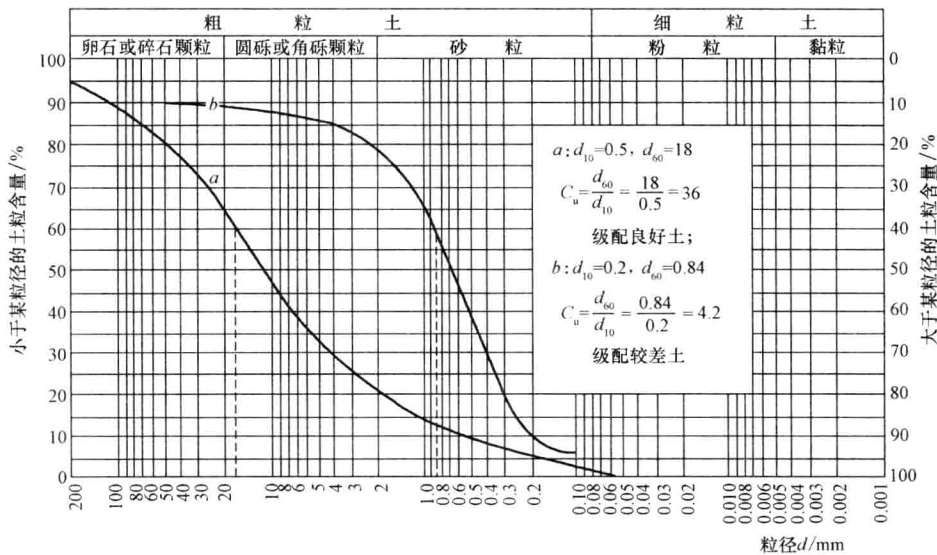


图 1-1 土的颗粒级配曲线

为了定量反映土的级配特征，工程中常用不均匀系数 C_u 来评价土的级配优劣。

$$C_u = d_{60} / d_{10} \tag{1-1}$$

式中 d_{10} ——土的颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土的质量占总土质量的 10%，称为有效粒径；

d_{60} ——土的颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土的质量占总土质量的 60%，称为限定粒径。

在工程建设中，常根据不均匀系数 C_u 值来选择填土的土料，若 C_u 值较大，表明土粒不均匀，则其较颗粒均匀的土更容易被夯实(级配均匀的土不容易被夯实)。通常把 $C_u < 5$ 的土看作级配均匀的土，把 $C_u > 10$ 的土看作级配良好的土。

【例 1-1】 若图 1-1 中 a 曲线上， $d_{60} = 0.8$ ， $d_{10} = 0.18$ ，计算其级配是否均匀。

解：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.8}{0.18} = 4.44$$

由于 $C_u = 4.44 < 5$ ，则其级配均匀，不容易被夯实。

2. 土中的水

土中的水在自然界中存在的状态可以分为固态、气态和液态三种形态。

固态水又称为矿物质内部结晶水，是指在温度低于 0°C 时土中水以冰的形式存在，形成冻土。其特点是冻结时强度高，而解冻时强度迅速降低。

气态水是指土中的水蒸气，对土的性质影响不大。

液态水包括存在于土中的结合水和自由水两大类。

(1) 结合水。结合水是指在电场作用力范围内，受电分子吸引力作用吸附于土粒表面的土中水。它距离土颗粒越近，作用力越大；距离越远，作用力越小，直至不受电场力作用(图 1-2)。结合水的特点是包围在土颗粒四周，不传递静水压力，不能任意流动。由于土颗粒的电场有一定的作用范围，因此结合水有一定的厚度，其厚度与颗粒的黏土矿物成分有关。

结合水又可分为强结合水和弱结合水，强结合水相当于固定层中的水，而弱结合水则相当于扩散层中的水。

强结合水指靠近土粒表面的水。它没有溶解能力，不能传递静水压力，只有在 105°C 时才能蒸发。这种水牢固地结合在土粒表面，其性质接近固体，重力密度为 $12 \sim 24 \text{ kN/m}^3$ ，冰点为 -78°C ，具有极大的黏滞度、弹性和抗剪强度。

弱结合水是存在于强结合水外围的一层结合水。它仍不能传递静水压力，但水膜较厚的弱结合水能向邻近的薄水膜缓慢转移。当黏性土中含有较多弱结合水时，土具有一定的可塑性。

(2) 自由水。自由水是存在于土粒表面电场范围以外的水，土的性质与普通水一样，服从重力定律，能传递静水压力，冰点为 0°C ，有溶解力。自由水按其移动所受作用力的不同，可分为自重水和毛细水。

1) 自重水指土中受重力作用而移动的自由水，它存在于地下水位以下的透水层中。

2) 毛细水受到它与空气交界面处表面张力的作用，存在于潜水位以上透水土层中。当孔隙中局部存在毛细水时，毛细水的弯液面和土粒接触处的表面张力作用于土粒，使土粒之间由于这种毛细压力而相互挤紧，从而具有微弱的黏聚力，称为毛细粘结力，如图 1-3 所示。

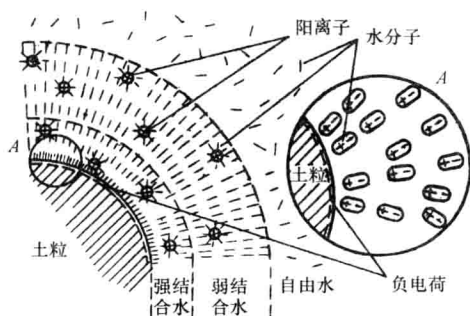


图 1-2 结合水示意图

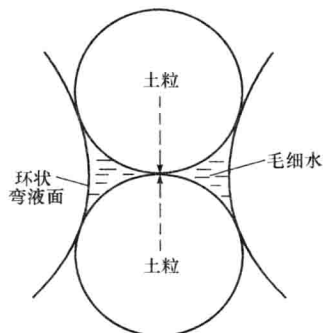


图 1-3 土中的毛细水示意图

在工程中，毛细水的上升对建筑物地下部分的防潮措施与地基土的浸湿和冻胀有重要