



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

（第三版）

土力学与地基基础

徐梓炘 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

（第三版）

土力学与地基基础

徐梓炘 编 著
陈东佐 主 审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材，是在第二版教材基础上，根据 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》等新版规范编写而成。本书继续保持第二版教材的特色，内容简明扼要、重点突出、实用性强、例题密切结合工程、通俗易懂、便于自学。全书包括土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、天然地基上的浅基础、桩基础及其他深基础、地基处理与区域性地基等内容。每章后附有思考题或习题，书末附有土工试验指导书和实训指导书。

本书可作为高职高专院校建筑工程技术、工程管理等土建类专业教材，也可作为函授和自考辅导用书，还可作为广大工程技术人员的自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与地基基础/徐梓炘编著. —3 版. —北京: 中国电力出版社, 2013. 2

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5123-4047-3

I. ①土… II. ①徐… III. ①土力学-高等职业教育-教材
②地基-基础(工程)-高等职业教育-教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 027880 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 1 月第一版

2013 年 3 月第三版 2013 年 3 月北京第八次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 307 千字

定价 23.00 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

本书为普通高等教育“十二五”规划教材,是在吸取第二版教材优点的基础上,根据GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》等新版规范编写而成。本书继续保持第二版教材的特色,课程体系的构筑以基础理论够用、能用为原则,以工程应用为主线,以培养技能为重点。本书编写时淡化理论推导,注重理论联系实际,与工程实际密切结合,实例突出、图文并茂,以适应高职高专院校培养生产第一线的应用型技术人才的需要。

本书包括土力学基础理论与基础工程应用两部分,主要内容有土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、基坑开挖与支护、基槽检验与局部处理、天然地基上的浅基础、桩基础。另外对软弱土地基处理与湿陷性黄土地基、膨胀土地基、山区地基及地震区地基等区域性地基也作了必要的介绍,授课时可结合本地区特点,因地制宜地取舍。与施工技术有关的内容,也可放到实训中讲解。本教材建议总学时为64~70学时。

GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》将作用在基础上的荷载改称为“作用”。其实,能使结构产生效应(如应力、应变、裂缝等)的作用包括直接作用和间接作用两部分:直接作用指传递至结构上的力集(包括集中力和分布力),习惯上称为荷载;间接作用指那些不是直接以力集形式出现的作用,如地震、温度变化、地基变形等引起的作用。GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》继续将直接作用定义为荷载,而将间接作用称为作用,如地震作用、温度作用等,但规定对于可变荷载的规定同样适用于温度作用,凡涉及温度作用时不再区分作用与荷载,统一称为荷载。《建筑地基基础设计规范》所称的“作用”显然与《建筑结构荷载规范》中的荷载同义,即直接作用加温度作用,并不包含其他间接作用。为方便读者对照查阅《建筑地基基础设计规范》,本书与之保持一致,在涉及荷载效应组合时,也将直接作用(荷载)与温度作用统称为作用。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013年1月

第二版前言

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。在第一版基础之上,根据节能与结构耐久性要求,以及新颁布的 GB/T 50145—2007《土的工程分类标准》和 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》等,对全书进行修订。全书基础理论以必需、够用、能用为原则,以工程应用为主线,以培养技能为重点来构筑课程体系。本书力求实例突出,图文并茂,与工程实际密切结合,以适应高职高专院校培养生产第一线的应用型技术人才的需要。

本书包括土力学基础理论与基础工程应用两部分,主要内容有土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、基坑开挖与支护、基槽检验与局部处理、天然地基上的浅基础、桩基础。另外对软弱土地基处理与湿陷性黄土、膨胀土地基、山区地基及地震区地基等区域性地基也做了必要的介绍,授课时可结合本地区特点,因地制宜地取舍。本教材增加了实训内容,也可将部分内容放到实训中讲解。土工试验是培养学生实践动手能力及认识土的物理性质的重要手段,土工试验指导书部分修订时增加了较详细的试验方法,方便学生自学与思考。本书建议总学时为 64~70 学时。

参加本书编写的有宁波工程学院徐梓炘(第一章、第三章、第七章、第八章及土工试验指导书、实训指导书)、长春工程学院张曙光(第二章、第五章、第九章第二、三、四节)、山西建筑职业技术学院杨太生(第四章、第六章、第九章第一节)。全书由徐梓炘统稿并主编,太原大学陈东佐审稿。陈老师审稿认真仔细,提出了许多中肯的修改意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2011年1月

第一版前言

本书为高职高专“十五”规划教材,是为培养适应生产第一线需要的高等职业技术应用型人才而编写的。在编写中力图体现基础理论以必需、够用、能用为原则,以应用为主线,以培养技能为重点来构筑课程体系,全书力求实例突出,图文并茂。

本书编写的主要依据有 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》、GB 50202—2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》、GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB/T 50123—1999《土工试验标准》、GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》、JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》、GB 50330—2002《建筑边坡工程技术规范》等新版规范。

本书包括土力学基础理论与基础工程应用两部分,主要内容有土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、基坑开挖与支护、基槽检验与局部处理、天然地基上的浅基础、桩基础。另外对软弱土地基处理与湿陷性黄土、膨胀土地基、山区地基及地震区地基等区域性地基也做了必要的介绍,授课时可结合本地区特点,因地制宜地取舍。本教材增加了实训内容,也可将部分内容放到实训中讲解。土工试验指导书摒弃了详细列出试验步骤,学生根据步骤做试验的传统做法,引导学生自学和思考,培养学生的实践动手能力。本教材建议总学时为 64~70 学时。

参加本书编写的有宁波工程学院(原宁波高等专科学校)徐梓炘(第一章、第三章、第七章、第八章及土工试验指导书、实训指导书)、长春工程学院张曙光(第二章、第五章、第九章第二~四节)、山西建筑职业技术学院杨太生(第四章、第六章、第九章第一节),全书由徐梓炘统稿,太原大学陈东佐审稿。陈老师审稿认真仔细,提出了许多中肯的修改意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2003年8月

目 录

前言	
第二版前言	
第一版前言	
第一章 概述	1
第一节 土力学、地基与基础的概念.....	1
第二节 本课程在建筑工程中的地位.....	1
第三节 本课程特点及学习要求.....	3
思考题.....	4
第二章 土的物理性质及工程分类	5
第一节 土的成因与组成.....	5
第二节 土的结构与土层构造.....	9
第三节 土的物理性质指标.....	10
第四节 土的物理状态指标.....	14
第五节 地基土的工程分类.....	18
思考题.....	20
习题.....	20
第三章 土中应力与地基变形	21
第一节 土体中的自重应力.....	21
第二节 基底压力.....	23
第三节 地基中的附加应力.....	25
第四节 土的压缩性.....	31
第五节 地基最终沉降量计算.....	34
第六节 地基变形与时间的关系.....	41
第七节 地基变形特征及变形允许值.....	45
思考题.....	47
习题.....	47
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	49
第一节 土的抗剪强度与极限平衡条件.....	49
第二节 抗剪强度指标的测定方法.....	53
第三节 地基承载力.....	56
思考题.....	60
习题.....	60

第五章 土压力与土坡稳定	62
第一节 土压力种类与影响因素	62
第二节 静止土压力计算	63
第三节 库仑土压力理论	64
第四节 挡土墙的设计	69
第五节 土坡稳定分析	76
第六节 基坑开挖与支护	80
第七节 基槽检验与地基局部处理	87
思考题	89
习题	90
第六章 天然地基上的浅基础	91
第一节 概述	91
第二节 地基基础设计的基本规定	94
第三节 基础埋置深度	97
第四节 基础底面尺寸的确定	100
第五节 基础结构设计	104
第六节 筏形基础简介	116
第七节 减轻不均匀沉降的措施	118
思考题	121
习题	122
第七章 桩基础及其他深基础	123
第一节 桩基础概述	123
第二节 桩基础的施工工艺简介	126
第三节 桩的竖向承载力	130
第四节 桩的水平承载力	134
第五节 桩基础设计	135
第六节 桩基础设计实例	142
第七节 其他深基础简介	148
思考题	151
习题	151
第八章 地基处理	152
第一节 概述	152
第二节 碾压夯实法	154
第三节 换填垫层法	157
第四节 预压固结法	160
第五节 挤密法	161
第六节 水泥土搅拌法	162

思考题·····	163
习题·····	163
第九章 区域性地基·····	164
第一节 湿陷性黄土地基·····	164
第二节 膨胀土地基·····	167
第三节 山区地基·····	173
第四节 地震区的地基基础·····	176
思考题·····	180
土工试验指导书·····	181
试验一 土的密度和含水率试验·····	181
试验二 土的塑限液限试验·····	182
试验三 标准固结试验·····	184
试验四 直接剪切试验·····	185
试验五 击实试验·····	187
实训指导书·····	189
实训一 工程地质勘察报告阅读及地基土野外鉴别·····	189
实训二 验槽·····	191
实训三 桩基础·····	192
实训四 地基处理·····	192
参考文献·····	194

第一章 概 述

第一节 土力学、地基与基础的概念

建筑物建造在地层上,将会引起地层中的应力状态发生改变。我们把因承受建筑物荷载而应力状态发生改变的土层或岩层称为地基,把建筑物荷载传递给地基的那部分结构称为基础。因此,地基与基础是两个不同的概念,地基属于地层,是支承建筑物的那一部分地层;基础则属于结构物,是建筑物的一部分。由于建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化,因此土层发生变形。为了控制建筑物的沉降和保持其稳定性,就必须运用力学方法来研究荷载作用下地基土的变形和强度问题。研究土的特性及土体在各种荷载作用下的性状的一门力学分支称为土力学。土力学主要内容包括土中水的作用、土的渗透性、压缩性、固结、抗剪强度、土压力、地基承载力、土坡稳定等土体的力学问题。

我们把地基中直接与基础接触的土层称为持力层;持力层下受建筑物荷载影响范围内的土层称为下卧层,其相互关系如图 1-1 所示。

基础的结构形式很多,按埋置深度和施工方法的不同,可分为浅基础和深基础两大类。通常把埋置深度不大(一般不超过 5m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序,采用一般施工方法和施工机械就可施工的基础称为浅基础,如条形基础、独立基础、筏形基础等。而把基础埋置深度超过一定值,需借助特殊施工方法施工的基础称为深基础,如桩基础、地下连续墙、沉井基础等。凡是土质不良,需要经过人工加固处理才能达到使用要求的地基称为人工地基;不加处理就可以满足使用要求的地基称为天然地基。

基础是建筑物的一个组成部分,基础的强度直接关系到建筑物的安全与使用。而地基的强度、变形和稳定更直接影响到基础及建筑物的安全性、耐久性和正常使用。建筑物的上部结构、基础、地基三部分构成了一个既相互制约又共同工作的整体。目前,要把三部分完全统一起来进行设计计算还有一定困难。现阶段采用的常规设计方法是将建筑物的上部结构、基础、地基三部分分开,按照静力平衡原则,采用不同的假定进行分析计算,同时考虑建筑物的上部结构、基础、地基相互共同作用。

满足同一建筑物设计要求的地基基础方案往往不止一个,应通过技术经济比较、选取安全可靠、经济合理、技术先进、施工安全简便又能保护环境的方案。

第二节 本课程在建筑工程中的地位

地基和基础是建筑物的根本,又位于地面以下,属地下隐蔽工程。它的勘察、设计及施

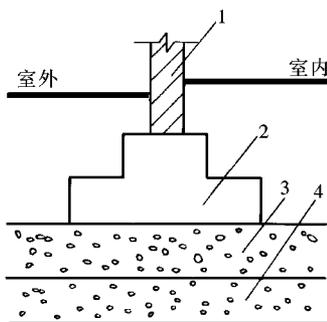


图 1-1 地基基础示意图

- 1—上部结构; 2—基础;
3—持力层; 4—下卧层

工质量的好坏,直接影响建筑物的安全,一旦发生质量事故,补救和处理都很困难,甚至不可挽救。此外,花费在地基和基础上的工程造价与工期在建筑物总造价和总工期中所占的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以在百分之几到百分之几十之间变动,造价高的约占总造价的 $1/3$,相应工期约占总工期的 $1/4$ 。在中外建筑史上,地基基础事故的例子不胜枚举,典型的例子如下:

1. 建筑物倾斜

苏州虎丘塔为全国重点文物保护单位,该塔建于公元961年,7层,高47.5m,塔平面呈现八角形,由外壁、回廊和塔心三部分组成,主体结构为砖木结构,采用黄泥砌砖,浅埋式独立砖墩基础,坐落在人工夯实的土夹石覆盖层上,覆盖层南薄北厚,变化范围为0.9~3.6m,基岩弱风化。土夹石覆盖层压实后引起不均匀沉降,因不均匀沉降造成塔身倾斜,据实测塔顶偏离中心线2.34m。由于过大的沉降差(根据塔顶偏离计算的不均匀沉降量应为66.9cm)引起塔楼从底层到第2层产生了宽达17cm的竖向劈裂;北侧壶门拱顶两侧裂缝发展到了第3层。砖墩压酥、碎裂、崩落,堪称危如累卵。经过精心治理,将危塔加固,才使古塔得以保存。

2. 建筑物地基下沉

上海锦江饭店北楼(原名华懋公寓),建于1929年,共14层、高57m,是当时上海最高的一幢建筑。基础坐落在软土地基上,采用桩基础,由于工程承包商偷工减料,未按设计桩数施工,造成了大幅度沉降,建筑物的绝对沉降达2.6m,致使原底层陷入地下,成了半地下室,严重影响使用。

3. 建筑物地基滑动

加拿大特朗斯康谷仓,平面呈矩形,南北向长59.44m,东西向宽23.47m,高31.00m,容积36368m³。谷仓为圆筒仓,每排13个,5排共计65个。谷仓基础为钢筋混凝土筏形基础,厚度61cm,埋深3.66m。谷仓于1941年动工,1943年秋完工。谷仓自重20000t,相当于装满谷物后满载总重量的42.5%。1943年9月装谷物,10月17日当谷仓已装了32822m³谷物时,发现1h内竖向沉降达30.5cm。结构物向西倾斜,并在24h内谷仓倾倒,仓身倾斜 $26^{\circ}53'$,谷仓西端下沉7.32m,东端上抬1.52m,上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石。

设计者事先未对谷仓地基进行调查研究,而是据邻近结构物基槽开挖试验结果,计算地基承载力为352kPa,应用到此谷仓。1952年经勘察试验与计算,谷仓地基实际承载力为193.8~276.6kPa,远小于谷仓破坏时发生的压力329.4kPa,因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。

4. 建筑物墙体开裂

天津市人民会堂办公楼东西向长约27.0m,南北向宽约5.0m,高约5.6m,为两层楼房。工程建成后使用正常。1984年7月在办公楼西侧新建天津市科学会堂学术楼。此学术楼东西向长约34.0m,南北宽约18.0m,高约22.0m。两楼外墙净距仅30cm。当年年底,人民会堂办公楼西侧北墙发现裂缝,此后,裂缝不断加长、展宽。最大的一条裂缝位于办公楼西北角,上下墙体1986年7月已断开错位150mm,在地面以上高2.3m处,开裂宽度超过100mm。这条裂缝朝东向下斜向延伸至地面,长度超过6m。这是相邻荷载影响导致事故的典型例子,新建学术楼的附加应力扩散至人民会堂办公楼西侧软弱地基,引起严重沉降,造成墙体开裂。

5. 建筑物地基溶蚀

徐州市区东部新生街居民密集区,于1992年4月12日发生一次大塌陷。最大的塌陷长25m、宽19m,最小的塌陷直径3m,共7处塌陷,深度普遍为4m左右。整个塌陷范围长达210m,宽达140m。位于塌陷内的房屋78间全部陷落倒塌。塌陷周围的房屋墙体开裂达数百间。塌陷区地基为黄河泛滥沉积的粉砂与粉土,厚达22m。其底部为古生代奥陶系灰岩,中间缺失老黏土隔水层,灰岩中存在大量深洞与裂隙。徐州市过量开采地下水,水位下降对灰岩的覆盖层粉土与粉砂形成潜蚀与空洞,并不断扩大。在下大雨后雨水渗入地下,导致大型空洞上方土体失去支承而塌陷。

6. 土坡滑动

香港宝城大厦建在香港山坡上,1972年5~6月出现连续大暴雨,特别是6月份雨量竟高达1658.6mm,引起山坡因残积土软化而滑动。7月18日早晨7点钟,山坡下滑,冲毁高层建筑宝城大厦,居住在该大厦的120位银行界人士当场死亡,这一事故引起全世界的震惊,从而对岩土工程倍加重视。

从以上工程实例可见,基础工程属百年大计,必须慎重对待。只有详细掌握勘察资料,深入了解地基情况,精心设计、精心施工,抓好每一个环节,才能使基础工程做到既经济合理又保证质量。

第三节 本课程特点及学习要求

本课程共有九章,第一章“绪论”和第二章“土的物理性质及工程分类”是学习本课程的基础知识,第三章和第四章为土力学的基本原理部分,也是本课程的重要内容,要求了解土中应力分布及地基沉降的计算方法,学会用规范的方法计算地基沉降,掌握土的抗剪强度定律及抗剪强度指标的测试方法,了解土的极限平衡原理和条件,并学会根据规范要求确定地基承载力的特征值。第五章介绍土压力与土坡稳定,要求了解土压力的概念及产生条件,学会一般情况下的土压力计算及重力式挡土墙的设计计算,懂得土坡稳定分析的基本概念及基坑开挖与支护的基础知识。第六~九章为地基基础部分,包括浅基础、桩基础、地基处理和区域性地基有关知识,要求能够运用土力学理论及规范要求解决实际工程中经常遇到的一般性的地基基础问题。

通过学习本门课程,要达到以下基本要求:

- (1) 掌握土的基本物理力学性质,了解常规的室内与现场土工试验方法;
- (2) 掌握天然地基上一般浅基础的简单设计方法或验算方法;
- (3) 掌握常用桩基础的简单设计方法或验算方法,熟悉常用桩基础的施工工艺;
- (4) 能正确使用 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》及相关规范,解决地基基础设计中遇到的一般问题。

本课程是一门实践性与理论性均较强的课程。由于各种地基土形成的自然条件不同,其性质也是千差万别;我国地域辽阔,不同地区的土有不同的特性,即使同一地区的土,其特性也可能存在较大的差异。因此,在学习本课程时,要运用基本的理论知识加强实践锻炼,注重实训,紧紧抓住强度和变形这一核心问题来分析和处理实际工程中的地基基础问题,提高分析和解决问题的能力。

思 考 题

1. 土力学的研究对象和研究内容是什么? 什么是地基? 什么是基础?
2. 何谓天然地基? 何谓人工地基?
3. 深基础与浅基础有何区别?
4. 什么是持力层? 什么是下卧层?

第二章 土的物理性质及工程分类

土是岩石风化的产物。土的物理性质及工程分类是进行土力学计算、地基基础设计和地基处理的必备知识。本章主要介绍土的成因、土的组成、土的三相比例指标、无黏性土的密实度、黏性土的物理状态以及土的工程分类。

第一节 土的成因与组成

一、土的成因

土是由地壳岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积,形成由固体矿物、液态水和气体组成的一种集合体。不同的风化作用形成不同性质的土,风化作用有以下三种:

1. 物理风化

岩石受风霜雨雪的侵蚀,温度、湿度的变化,产生不均匀膨胀与收缩,使岩石出现裂隙,崩解为碎块。这种风化作用只改变颗粒的大小与形状,而不改变原来的矿物成分,称为物理风化。

由物理风化生成的土为粗颗粒土,如块石、碎石、砾石、砂土等,这种土呈松散状态,总称为无黏性土。

2. 化学风化

当岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触,将发生缓慢的化学变化,并改变了原来组成矿物的成分,产生一种次生矿物。这类风化称为化学风化。经化学风化生成的土为细粒土,具有黏聚力,如粉土、黏性土。

3. 生物风化

由动物、植物和人类活动所引起岩体的破坏称为生物风化。如长在岩石缝隙中的树,因树根生长使岩石缝隙扩展开裂。人类开采矿山、打隧道、劈山修路等活动形成的土,其矿物成分没有变化。

二、土的三相组成

土的三相组成是指土由固体颗粒、液态水和气体三部分组成。土中的固体颗粒构成土的骨架,骨架之间存在大量孔隙,孔隙中充满着液态水和空气。

同一地点土体的三相比例组成随环境变化而变化。例如,天气的晴雨、季节变化、温度高低、地下水的升降及建筑物的荷载作用等,都会引起土的三相之间的比例产生变化。

土的三相比例不同,土的状态和工程性质也各异。当土中孔隙全部由气体填充时为干土,此时黏土呈坚硬状态,砂土呈松散状态;当土中孔隙由液态水和气体填充时为湿土,此时黏土多为可塑状态;当土中孔隙全部由液态水填充时为饱和土,此时粉细砂或粉土遇强烈地震可能发生液化。

(一) 土的固体颗粒

土的固体颗粒(土颗粒或土粒)是土的三相组成中的主体,是决定土的工程性质的主要

成分。

1. 土颗粒的矿物成分

(1) 原生矿物。岩石经物理风化而成，其成分与母岩相同，包括单矿物颗粒和多矿物颗粒。单矿物颗粒是指颗粒为单一的矿物，如石英、长石、云母、角闪石、辉石等；多矿物颗粒是指颗粒中包含多种矿物，如巨粒土的漂石、卵石和粗粒土的砾石。

(2) 次生矿物。母岩的岩屑经过化学风化，改变原来的成分，成为一种颗粒很细的新矿物，主要是黏土矿物。黏土矿物的粒径小于 0.005mm，肉眼看不清，用电子显微镜观察为鳞片状。

(3) 腐殖质。如果土中腐殖质含量多，土的压缩性就会增大。有机质含量超过 5% 的土应注明为有机土。

2. 土颗粒的大小与形状

自然界中土颗粒的大小相差悬殊，GB/T 50145—2007《土的工程分类标准》将土的粒径按性质相近原则划分为巨粒组、粗粒组和细粒组。巨粒组含漂石（块石）、卵石（碎石），粗粒组含砾粒（分粗砾、中砾、细砾）和砂粒（分粗砂、中砂、细砂），细粒组含粉粒、黏粒。表 2-1 给出了土颗粒粒组的划分情况。

表 2-1 土颗粒粒组划分

粒 组	颗粒名称		粒径 d 的范围 (mm)
巨粒	漂石 (块石)		$d > 200$
	卵石 (碎石)		$60 < d \leq 200$
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$
		中砾	$5 < d \leq 20$
		细砾	$2 < d \leq 5$
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$
细粒	粉粒		$0.005 < d \leq 0.075$
	黏粒		$d \leq 0.005$

颗粒大小不同的土，它们的工程性质也各不相同。同一粒组土的工程性质相似，通常粗粒土的压缩性低、强度高、渗透性大。至于颗粒的形状，带棱角表面粗糙的不易滑动，其强度比表面圆滑的高。

3. 土颗粒的级配

自然界的天然土，很少是一个粒组的土，往往是多个粒组混合而成，土的颗粒有粗有细。工程中常用各粒组的相对含量占总质量的百分数来表示，称为土的颗粒级配。这是决定无黏性土工程性质的主要因素，以此作为土的分类定名的标准。

工程中实用的粒径级配分析方法有筛析法和密度计法两种。

(1) 筛析法。适用于土颗粒直径大于 0.075mm 的土。筛析法的主要设备为一套标准分析筛，筛子孔径分别为 60、40、20、10、5、2.0、1.0、0.5、0.25、0.075mm。取样数量：

粒径 $d < 2\text{mm}$ ，可取 100~300g

$d < 10\text{mm}$ ，可取 300~1000g

$d < 20\text{mm}$, 可取 1000~2000g

$d < 40\text{mm}$, 可取 2000~4000g

$d > 40\text{mm}$, 可取 4000g 以上

将干土样倒入标准筛中, 盖严上盖, 置于筛析机上震筛 10~15min。由上而下顺序称出各级筛上及盘内试样的质量。少量试验可用人工筛。

(2) 密度计法。适用于土颗粒直径小于 0.075mm 的土。密度计法的主要仪器为土壤密度计和容积为 1000mL 量筒。根据土粒直径大小不同, 在水中沉降的速度也不同的特性, 将密度计放入悬液中, 测出 0.5、1、2、5、15、30、60、120min 和 1440min 的密度计读数, 计算而得。

根据颗粒分析试验结果, 绘制土的粒径级配曲线, 如图 2-1 所示, 纵坐标表示小于某粒径的土占总质量的百分数; 横坐标表示土的粒径, 用对数尺度。

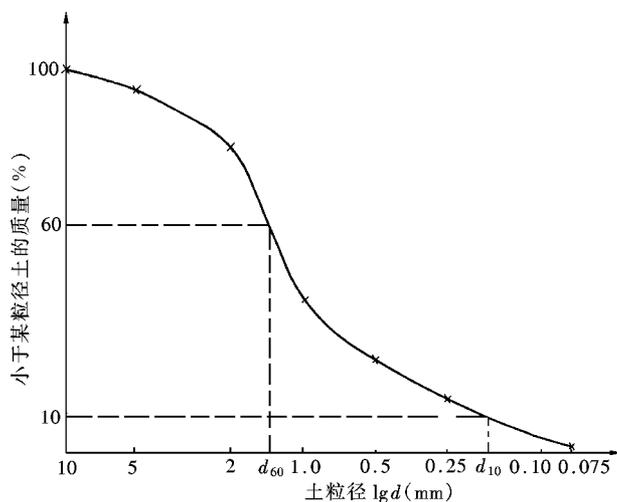


图 2-1 土的粒径级配曲线

例如, 某工程土样总质量为 1000g, 经筛析后, 知道全部试样通过筛孔为 10mm 的筛, 因此在横坐标为 10mm 处, 其纵坐标为 100, 为一个试验点。在筛孔为 5mm 的筛子上的颗粒质量为 50g, 因而 $d < 5\text{mm}$ 的颗粒质量为 950g 占总质量的 95%, 由横坐标为 5mm 与纵坐标 95% 之交点为第 2 个试验点。在筛孔为 2mm 的筛子上的颗粒质量为 150g, 则 $d < 2\text{mm}$ 的颗粒质量为 $1000\text{g} - 50\text{g} - 150\text{g} = 800\text{g}$ 占总质量的 80%, 因此由横坐标为 2mm 与纵坐标 80% 之交点为第 3 个试验点。依次类推, 即得土的粒径级配曲线。

在粒径级配曲线上, 纵坐标为 10% 所对应的粒径 d_{10} 称为有效粒径; 纵坐标为 60% 所对应的粒径 d_{60} 称为限定粒径; d_{60} 与 d_{10} 的比值称为不均匀系数 C_u , 即

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

不均匀系数 C_u 是表示土颗粒组成的重要特征。当 C_u 很小时曲线很陡, 表示土颗粒均匀; 当 C_u 很大时曲线平缓, 表示土的级配良好。

曲率系数 C_c 为表示土颗粒组成的又一特征, 它反映土颗粒级配的连续程度, 可按下式计算

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

式中 d_{30} ——粒径级配曲线上纵坐标为 30% 所对应的粒径。

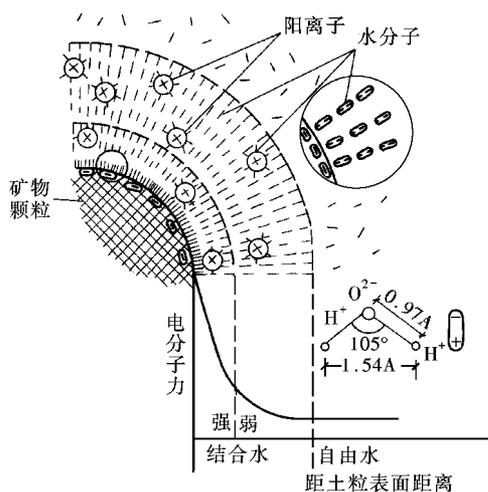


图 2-2 黏土矿物与水分子的相互作用

砾石和砂土级配满足 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 为级配良好, 否则为级配不良。

(二) 土中水

土的孔隙中有水, 水的不同存在形式对土的性质影响很大, 如图 2-2 所示。

1. 结合水

(1) 强结合水 (吸着水)。由黏土表面的电分子力牢固地吸引的水分子紧靠土粒表面, 其厚度只有几个水分子厚, 且小于 $0.003 \mu\text{m}$ 。这种强结合水的性质与普通水不同, 其性质接近固体, 不传递静水压力, 105°C 以上才蒸发, 密度 $\rho_w = 1.2 \sim 2.4 \text{g/cm}^3$, 并具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。黏土中只含强结合水时呈固体状态。

(2) 弱结合水 (薄膜水)。这种水在强结合水外侧, 也是由黏土表面的电分子力吸引的水分子, 其厚度小于 $0.5 \mu\text{m}$ 。密度 $\rho_w = 1.0 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$, 弱结合水也不传递静水压力, 呈黏滞状态, 此部分水对黏性土的性质影响最大。

2. 自由水

此种水离土粒较远, 在土粒表面的电场作用以外, 自由水包括重力水和毛细水两种。

(1) 重力水。这种水位于地下水位以下, 受重力作用由高处向低处流动, 有浮力作用。

(2) 毛细水。这种水位于地下水位以上, 受毛细作用而上升, 粉土中毛细现象严重, 毛细水上升高, 在寒冷地区要注意冻胀。地下室受毛细水的影响要采取防潮措施。

3. 气态水

气态水即水气, 对土的性质影响不大。

4. 固态水

当气温降至 0°C 以下时, 液态的自由水结冰成为固态水, 并且发生膨胀, 使地基发生冻胀, 寒冷地区基础的埋深应考虑冻胀问题。

(三) 土中气

在土的固体矿物之间的孔隙中, 没有被水充填的部分都充满气体。土中的气体分为自由气体和封闭气体两种。

(1) 自由气体。自由气体是与大气相连通的气体, 通常在土层受力压缩时逸出, 对建筑工程无影响。

(2) 封闭气泡。封闭气泡与大气隔绝, 存在于黏性土中, 当土层受力时, 封闭气泡缩小; 如果土中封闭气泡很多时, 将使土的压缩性增高, 土的渗透性降低。

三、土的特性

土与其他连续介质的建筑材料相比, 具有下列三个显著的工程特性:

1. 压缩性高

反映材料压缩性高低的弹性模量 E (对于土称为变形模量), 随着材料性质不同而有极