



高等教育土建类专业规划教材
卓越工程师系列

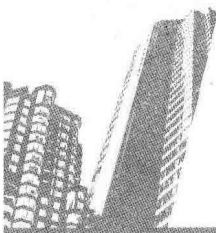
土力学

TULIXUE

主 编 吴曙光



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>



高等教育土建类专业规划教材卓越工程师系列

土力学

TULIXUE

主 编 吴曙光

重庆大学出版社

内容提要

本教材结合普通高等学校土木工程专业人才培养目标、人才培养方案及教学大纲,按照高等学校土木工程学科专业指导委员会最新编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》和《土木工程专业卓越工程师教育培养计划》编写。全书共分8章,主要内容包括土的物理性质和工程分类、土的渗透性和渗透变形、土中的应力、土的变形特性和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析和挡土墙设计以及地基承载力等。

本书可作为高等学校土木工程专业的教材,也可供有关专业师生学习及参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/吴曙光主编. —重庆:重庆大学出版社,

2016.9

高等教育土建类专业规划教材. 卓越工程师系列

ISBN 978-7-5624-9965-7

I. ①土… II. ①吴… 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(2016)第 156588 号

高等教育土建类专业规划教材·卓越工程师系列

土力学

主 编 吴曙光

策划编辑:王 婷 林青山

责任编辑:肖乾泉 版式设计:肖乾泉

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.25 字数:362 千

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-9965-7 定价:32.00 元



本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

《土力学》是高等学校土木工程专业的一门必修课程。为了与土木工程专业卓越工程师教育培养计划相配套,顺应土木工程专业教育教学改革发展趋势,将原《土力学》(朱凡、胡岱文主编)教材进行了改编。

《土力学》是《基础工程》的先修课程,它既是独立的,在内容上又与《基础工程》有密切联系。本书结合新的国家标准规范,从土木工程的特点出发,加强了对重要概念、基本原理和计算方法的介绍。全书深入浅出、概念清楚、层次分明,每章设置的例题、思考题和习题,具有示范性或典型性,便于自学和理解。本教材既根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求,对专业规范提出的核心知识做到了完全覆盖,又结合典型工程实例,加强学生解决基础工程实际问题能力的培养。

本书编写人员分工如下:吴曙光编写绪论、第3章;卢黎编写第1章;陈志雄编写第2章;李东升、梁健编写第4章;卢谅编写第5章;干腾君编写第6章;陈建功编写第7章;谢强编写第8章。

由于水平有限,本书难免有不妥之处,敬请读者指正。

编 者
2016年7月

目 录

0 绪论	1
0.1 土力学的基本概念	1
0.2 土力学理论的发展概况	2
0.3 本课程的特点和学习方法	2
1 土的物理性质及工程分类	4
1.1 概述	4
1.2 土的组成和结构	5
1.3 土的三相比例指标	15
1.4 土的物理状态	22
1.5 地基土的工程分类	28
1.6 土的压实性	30
思考题	33
习题	34
2 土的渗透性和渗透变形	36
2.1 概述	36
2.2 土的渗透性	37
2.3 渗流和流网	44
2.4 渗透力和渗透变形	48
思考题	52

习题	52
3 土中应力计算	54
3.1 概述	54
3.2 土中自重应力计算	56
3.3 基底压力	60
3.4 地基中的附加应力	64
3.5 影响土中应力计算的因素	83
思考题	87
习题	87
4 土的变形特性和地基沉降计算	91
4.1 概述	91
4.2 土的一维压缩性指标	92
4.3 地基沉降量计算	100
4.4 应力历史对土压缩性的影响	112
4.5 饱和土体渗透固结理论	118
思考题	126
习题	126
5 土的抗剪强度	129
5.1 概述	129
5.2 土的抗剪强度理论	131
5.3 摩尔-库仑强度理论	133
5.4 土的抗剪强度指标的测定	139
5.5 无黏性土的抗剪强度	145
5.6 饱和黏性土的抗剪强度	146
5.7 应力路径	152
思考题	156
习题	157
6 土压力理论	159
6.1 概述	159
6.2 挡土墙上土压力	160
6.3 朗肯土压力理论	162
6.4 库仑土压力理论	170
思考题	180
习题	180

7 土坡稳定分析和挡土墙设计	182
7.1 土坡稳定分析	182
7.2 挡土墙的设计	200
思考题	210
习题	211
8 地基承载力	212
8.1 概述	212
8.2 地基的临塑荷载和塑性荷载	213
8.3 地基的极限承载力	218
8.4 用规范方法确定地基承载力	231
思考题	233
习题	233
参考文献	235



绪 论

0.1 土力学的基本概念

土力学是以土为研究对象的一门学科,它既是工程力学的一个分支学科,又是土木工程学科的一部分,它主要研究土的物理、力学性质及其受荷载作用后的强度、变形与稳定性的变化规律。

任何土木建筑工程几乎都要与土发生直接的关系。建造房屋、桥梁时,土作为地基支承建筑物的全部质量;修筑道路和水利堤坝时,土作为建筑材料使用;开挖运河、渠道以及修建地下建筑时,土则作为建筑物的周围介质。因此,进行土木工程建设时,必须了解土的特点。

土是地壳岩石经过强烈风化后产生的碎散矿物集合体,它是由固体颗粒、液体和气体所组成的三相物质体系,具有强度低、受力后压缩变形大以及透水性低、固结时间长等特点。土与各种连续体(如弹性体、塑性体、黏滞体等)比较,有一系列更为复杂的物理力学性质;同时土的性质受环境条件(如气候、地形、成因、地下水等)的影响较大,以致现有土力学理论还难以模拟、概括天然土层在荷载作用下的力学性状全貌。

另外,对土的本构模型的研究和计算参数的测定手段,也远落后于计算技术的发展,故有时不得不将土力学的某些问题进行必要的简化。例如,采用弹性理论求解土中应力,采用塑性理论求解土的变形。近代土力学的深入研究,将土的变形和强度问题协调起来,采用复合模型进行计算,已初见端倪。

0.2 土力学理论的发展概况

土力学成为一门系统的学科,只有近百年的历史。18世纪,欧洲兴起了工业革命,随着资本主义工业化的发展,为满足向外扩展市场的需要,对交通运输、工业房屋、军事设施提出越来越高的要求,迫使人们去研究有关土力学的基本理论,以适应日益发展的生产力的需要。

1773年,法国的库仑(Coulomb)为解决挡土墙的土压力问题,发表了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。其后,英国的朗肯(Rankine)又从强度理论方面提出与之结果相同且能应用于黏性土中的土压力理论。此外,法国的达西(Darcy)通过水在砂土中的渗流试验,建立了土的层流渗透定律;法国的布辛奈斯克(Boussinesq)得出了半无限弹性体在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解答;瑞典的费兰纽斯(Fellenius)为解决铁路塌方问题,提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法,为土力学成为一门独立学科奠定了初步的理论基础。

1925年,美国太沙基(Terzaghi)的《土力学》问世,把土力学研究推进到一个新的高度,使土力学成为一门系统的学科。自1936年成立了国际土力学基础工程学会,并举行第一次国际学术会议起,至今已召开了数十次国际学术研讨会,每年还有若干次专题讨论会,说明本学科的发展令人瞩目。20世纪50年代,这门学科又进入近代力学新时期,现代科技成就,尤其是电子技术渗入了土力学理论的研究领域,使其在基本理论、计算方法、实验技术及设备等诸多方面都得到了革命性的发展。基本理论方面,如岩土本构关系的研究,将各种应力-应变-时间的非线性模型应用于实际问题;在计算方法方面,广泛采用计算机,用数值计算方法(如有限元法、差分法等),解决以往无法解决的复杂边界和初始条件以及不均匀性等问题;在实验技术和设备方面,采用静、动三轴仪、离心模型机、触探仪、旁压仪等,广泛应用计算机程序控制试验过程,并自动采集和加工试验数据。

近年来,在土力学学科中利用概率统计方法去研究土性状的变异性和不确定性的可靠度理论,亦有很大发展。总之,土力学学科将随着工程建设的规模和复杂程度日益增加以及技术要求日益提高而走向更高的发展阶段。

0.3 本课程的特点和学习方法

本课程是土木工程专业的必修课,属于专业基础课,它起着承上启下的作用。它所包含的知识是本专业学生必须掌握的专业知识,又是为后续课程特别是基础工程课程学习所必备的基础知识。

该课程综合性强,内容较广,涉及了数学、力学以及工程地质学等课程,学习时应突出重点,兼顾全面,牢固掌握土中应力、变形、强度以及渗流等基本原理,为后续的房屋建筑地基基础、桥梁地基基础、隧道、铁路和公路路基等专业课程奠定理论基础。

本课程的理论性也较强,许多计算式的推导比较繁难,所涉及的数学问题也较广泛。学

习时必须在应用上狠下功夫,集中精力弄清各计算式的基本假定和应用范围,掌握基本的计算方法,培养初步解决实际问题的能力。

此外,土力学还具有很强的实践性,学习中应重视常规土工试验技术,掌握土的基本物理性质和力学指标的试验方法与原理。



土 的 剪 切 强 度 与 土 的 变 形

1.1 土的剪应力与土体平衡

1.1.1 土体平衡与剪应力的产生

1.1.2 土体平衡与剪应力的分布

1.1.3 土体平衡与剪应力的计算

1.2 土的变形与土体平衡

1.2.1 土的变形与土体平衡

1.2.2 土的变形与土体平衡

1.2.3 土的变形与土体平衡

1.2.4 土的变形与土体平衡

1.2.5 土的变形与土体平衡

1.2.6 土的变形与土体平衡

1.2.7 土的变形与土体平衡

1.2.8 土的变形与土体平衡

1.2.9 土的变形与土体平衡

1.2.10 土的变形与土体平衡

1

土的物理性质及工程分类

【知识点】土的三相组成和特点、颗粒级配、土的结构、土的三相比比例指标、指标换算、无黏性土的密实度、黏性土的稠度和可塑性、工程土体的分类方法、土的压实特性、土的压实度评价。

【重点】土的级配、土的物理性质指标和物理状态、土的工程类别和特性、土的压实度评价。

【难点】三相指标换算和应用。

1.1 概 述

土是完整岩石经风化作用后在地表形成的由矿物颗粒和岩石碎屑组成的松散堆积体。

在漫长的地质历史中,岩石风化后的产物,有的原地残存堆积,有的则在重力、流水、风力等各种自然营力的作用下移动,被搬运到低处沉积。搬运作用可使颗粒磨圆,引起一定程度的颗粒分选,从而使土具有大小不同的颗粒。不同的搬运方式和不同的沉积条件,使土形成不同类型的沉积物,即残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖泊沼泽沉积土、海相沉积土、冰碛土和风积土等,这是土在地质学上的分类。这些堆积的土体在很长的年代中又发生复杂的物理化学变化,逐渐胶结压密,最后又形成岩石,就是沉积岩。土和岩的转换需要极长的时间,目前看到的、覆盖于地表的土体是第四纪的堆积物。第四纪土按生成年代又可分为更新世($Q_1 \sim Q_3$)和全新世(Q_4)两类,地质勘察工作中会标注场地土体的生成年代。

一般情况下,土的固体颗粒之间有大量孔隙,而孔隙中通常有空气和水。因此,在天然状

态下,土一般呈三相体系,即土由固体颗粒、水和空气三相组成。孔隙全部为水所充满时,称为饱和土;如果孔隙只有一部分被水填充,另一部分被空气占据,称为非饱和土;孔隙中没有水,全部为气体所填充时,称为干土。饱和土和干土都是二相土。

土中的固体颗粒、气体和水三者之间的相互作用以及它们在体积、质量之间的比例关系,反映了土的物理性质和物理状态。土的这种三相比例组成关系,加上天然状态下土的结构,对土的工程性能有明显影响。研究土的三相组成,对认识土的工程性质有着重要的意义。在进行工程设计和施工时,应了解土的物理特征和力学性质之间的关系,掌握土的物理性质指标的测定方法和指标间的相互换算方法,根据物理性质对土进行工程分类。

本章介绍土的组成、土的物理性质指标、土的物理状态、土的工程分类和土的压实性。

1.2 土的组成和结构

土的固体部分主要包括无机矿物颗粒,有时也含有有机质,构成了土的骨架,即固相;土孔隙中的水及其溶解物构成土中液体部分,即液相;空气及其他一些气体构成土中气体部分,即气相。

► 1.2.1 土的固体颗粒

土的固体颗粒由各种矿物颗粒、生物碎屑颗粒及岩屑颗粒组成。土的固体颗粒大小各不相同,不同大小颗粒占的百分比不一样,颗粒的矿物成分有区别,颗粒之间的接触形态也不同,固体颗粒的这些变化对土物理力学性质有决定性的影响。主要由无机矿物构成的土称为无机土,也是工程中常见的土类。部分土中有机质成分较多,这些有机质可能由半腐烂和全腐烂的植物残体和动物残骸构成。有机质含量高时,对土的性质会有很大的影响,构成特殊的土类。

(1) 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分与其成土过程中的风化作用有密切关系。风化作用可分为物理风化和化学风化。

物理风化是指自然界的温度变化、降水、流水、风蚀和水的冻融等物理作用,这些气候条件的改变和机械破坏作用使岩石和土的粗颗粒产生胀缩开裂或在运动过程中因碰撞和摩擦而破碎。在物理风化作用下,土粒的大小会改变,但矿物成分不变,与成土原岩相同,如长石、石英、云母颗粒,这些颗粒就是原生矿物。原生矿物大小一般相当于砂粒和粉粒的直径,所以砂粒和粉粒也是常见的原生矿物。原生矿物集合体构成粗大的漂石、卵石及砾石。原生矿物一般抗水性强,抗风化性强,惰性强,通常性质较稳定。

化学风化是指水、水溶物、氧气和二氧化碳等物质产生的水解、水化、氧化、碳酸化等风化作用。在化学风化作用下,母岩和土中的岩屑颗粒改变其矿物的化学成分,形成了新矿物,即次生矿物。土中最主要的次生矿物是黏土矿物,黏土矿物是复合层状的硅酸盐矿物,形成黏粒,它对黏性土的工程性质影响很大。蒙脱石、伊里石和高岭石是代表性的黏土矿物颗粒。次生矿物还包括含水倍半氧化物(铝矾土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、褐铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、次生二氧化

硅($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)和可溶盐(NaCl 、 KCl 、 CaCO_3)，它们以晶体或凝胶形式存在于土粒之间，凝胶常增强土粒之间的联结，增加土的抗剪能力。

一般来说，物理风化形成的原生矿物颗粒较粗，主要是砾石、砂粒等粗颗粒。化学风化生成的次生矿物颗粒较细，主要是黏粒等细颗粒。粉粒介于粗细颗粒之间，主要由化学性能稳定的(如石英)或硬度较小的原生矿物(如白云母、长石)组成。黏土矿物具有特殊的结构和性质，下面作简要介绍。

在电子显微镜下观察到的黏土矿物是呈鳞片状、片状或微粒状的晶体，常见的有三种：蒙脱石、伊里石和高岭石(图 1.1)。经 X 射线分析证明，其内部具有层状晶体构造，即其原子排列成一定的几何形态，并且是由两种基本结晶单元(称为晶片)构成的：一种是硅氧晶片，它的基本单元是 Si-O 四面体；另一种是铝氢氧晶片，它的基本单元是 Al-OH 八面体(图 1.2)。由于晶片结合情况不同，就形成了具有不同性质的黏土矿物。

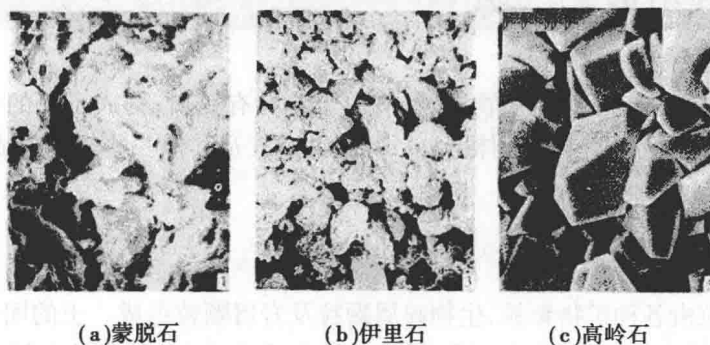


图 1.1 电子显微镜下的黏土矿物

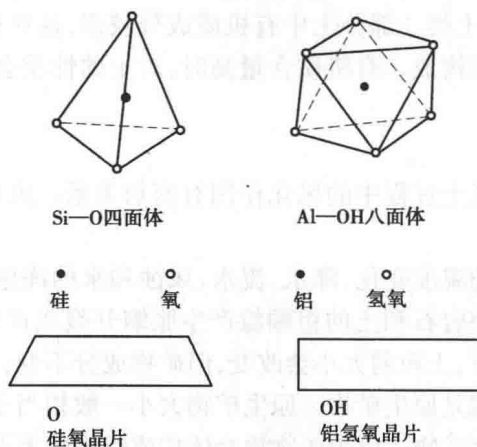


图 1.2 黏土矿物的晶片示意图

蒙脱石的结构单元是由两层硅氧晶片之间夹一层铝氢氧晶片结合而形成基本层组(也称晶胞)，多个层组叠连在一起形成一个矿物颗粒。由于这种层组表面分布的是氧原子，其间没有氢键，因此联结力很弱，可以吸进很多水分子[图 1.3(a)]。吸入的水分子可以使颗粒从层组间断开，从而分成更小的颗粒，甚至分成单个基本层组的颗粒。在黏土矿物中，蒙脱石颗粒最小，表面积最大。单位质量土颗粒所拥有的表面积之和称为比表面积，蒙脱石的比表面积

可高达 $800 \text{ m}^2/\text{g}$ 。由于有大量的表面积可以吸附土中的水,所以蒙脱石的亲水性最强,具有显著的吸水膨胀和失水收缩性。

伊里石的结构单元类似于蒙脱石,但 $\text{Si}-\text{O}$ 四面体中的 4 价硅离子 Si^{4+} 可以部分被 3 价的铝离子 Al^{3+} 或铁离子 Fe^{3+} 所取代,并在相邻的层组间可能出现若干 1 价钾离子 K^+ ,使其层组间联结力较蒙脱石大,所以伊里石颗粒大小和亲水性介于蒙脱石和高岭石之间[图 1.3(b)]。

高岭石的结构单元是由一层硅氧晶片与一层铝氢氧晶片交替构成的基本层组,许多这样的层组叠连在一起构成矿物颗粒。这种基本层组的一面露出的氢氧基与另一面露出的氧原子相遇,具有较强的联结力,水分子不能楔入,难于使层组之间断开,天然颗粒常能保持较多层组(100 个以上),所以在黏土矿物中,高岭石颗粒相对最大,亲水性最小,其比表面积约为 $10 \sim 20 \text{ m}^2/\text{g}$ [图 1.3(c)]。

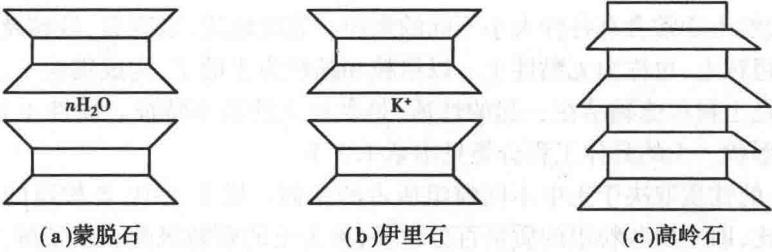


图 1.3 黏土矿物构造单元示意图

(2) 土的颗粒级配

自然界的土由大小不同的土粒组成,土粒的大小通常用粒径表示。土粒粒径的变化使土的性质相应地改变,可以把某些基本力学性质相近(即粒径相近)的土粒按适当的粒径范围划分,构成不同的粒组。划分标准是让同一粒组下的土粒工程性能相近,便于研究应用。使土的性质发生显著变化的分界粒径称为界限粒径,用界限粒径将土划分为若干粒组。表 1.1 所示为工程中常用的土粒粒组划分方法。根据表 1.1 中界限粒径 200、20、2、0.075 和 0.005 mm 把土粒分为漂石(块石)颗粒、卵石(碎石)颗粒、圆砾(角砾)颗粒、砂粒、粉粒及黏粒六大类,并列出了各粒组的粒径范围和相应的特性。

表 1.1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围 /mm	一般特征
巨 粒	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 ~ 20	
粗 粒	圆砾或角砾颗粒	粗	20 ~ 10	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	10 ~ 5	
		细	5 ~ 2	
	砂 粒	粗	2 ~ 0.5	易透水,无黏性,无可塑性,毛细水上升高度小,遇水不膨胀,干燥时松散
		中	0.5 ~ 0.25	
		细	0.25 ~ 0.075	

续表

粒组统称	粒组名称		粒径范围 /mm	一般特征
细 粒	粉 粒	—	0.075 ~ 0.005	透水性小,湿时稍有黏性,毛细水上升高度较大较快,易出现冻胀现象
	黏 粒	—	<0.005	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,失水收缩大,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状(圆形或亚圆形);

②块石、碎石和角砾颗粒均呈棱角状。

实际上,天然土常常含有各种大小不同的颗粒。笼统地说,以砾石、砂粒及更大直径颗粒为主的土称为粗粒土,也称为无黏性土。以粉粒和黏粒为主的土,构成细粒土,一般为粉土和黏性土。黏性是土颗粒能黏结在一起的性质,是黏性土的基本特征。黏性土具有可塑性,可以揉塑成各种形状。土的具体工程分类见本章 1.5 节。

很显然,土的性质取决于土中不同粒组所占的比例。烘干土中,各粒组的质量占全部土粒质量的百分比,即土中各粒组的质量百分含量,称为土的颗粒级配。要了解土的颗粒级配,需要将土中各粒组分离开,再分别称重、测定和计算,这就是土的颗粒分析试验。工程中,实用的颗粒分析试验方法是筛分法和水分法。

土粒粒径大于 0.075 mm 的土样用筛分法分析。用一套孔径大小不同的筛子,将事先烘干的土样充分振动过筛后,对各筛盘上留置的土分别称重,再计算百分数,称为筛分法。粒径小于 0.075 mm 的土样用水分法分析。根据斯托克斯(Stokes)定理,球状颗粒在水中下沉速度与其直径的平方成正比,所以较粗的土粒在水中下沉快,较细的土粒下沉慢。基于这种原理的颗粒分析方法称为水分法,实验室用密度计进行水分试验,所以水分法也称为密度计法。如果土中同时含有大于和小于 0.075 mm 的土粒,应采用上述两种方法联合测定。

根据颗粒分析结果,不但可求出各粒组的质量占全部土粒质量的百分比,而且还可以计算小于某粒径的土颗粒的累积质量占全部土粒质量的百分比。这种小于某粒径土粒的相对百分含量称为累积质量百分含量,用于在半对数坐标中绘制颗粒级配累积曲线(图 1.4)。

累积曲线的形态表明土粒的分布情况。曲线平缓说明土粒粒组分布范围广,土粒大小不均匀,土的级配良好(如图 1.4 中 B 线);曲线陡说明土粒粒组分布范围窄,土粒均匀,土的级配不良(如图 1.4 中 A 线)。

为了判断土的级配优劣,采用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标。

不均匀系数

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1.1}$$

曲率系数

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \tag{1.2}$$

式中 d_{60} ——土的限制粒径,即累积曲线上纵坐标为 60% 时对应的粒径值,表示小于该粒径的土颗粒质量占土粒总质量的 60%;

d_{30} ——土的中值粒径,即累积曲线上纵坐标为 30% 时对应的粒径值,表示小于该粒径

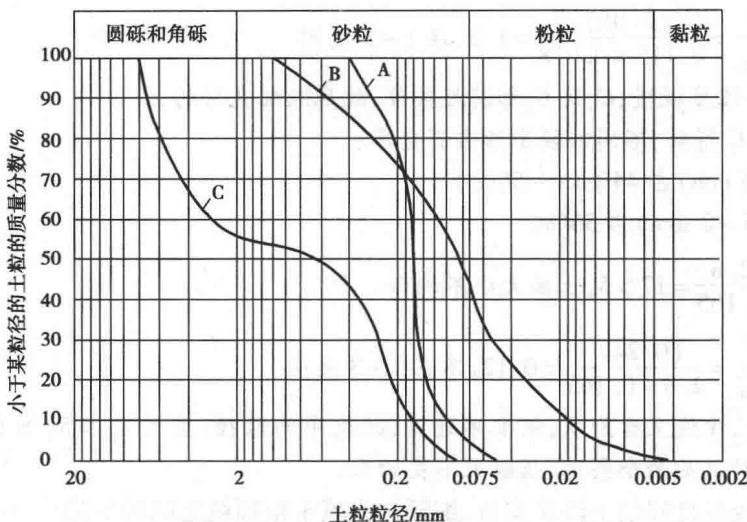


图 1.4 颗粒级配累积曲线

的土颗粒质量占土粒总质量的 30%。

d_{10} ——土的有效粒径,即累积曲线上纵坐标为 10% 时对应的粒径值,表示小于该粒径的土颗粒质量占土粒总质量的 10%。

不均匀系数 C_u 越大,表示土中所含粒径越不均匀。工程上把 $C_u > 5$ 的土称为不均匀土,把 $C_u < 5$ 的土称为均匀土。曲率系数 C_c 反映了颗粒含量的连续程度。如果 C_c 过小或过大,曲线会出现平台段或陡降段,曲线平缓延展的形态不好,会出现某一粒组缺失或某一粒组过分集中的不利现象。经验表明,当 $C_c = 1 \sim 3$ 时,可认为级配是连续的。级配良好的土必须同时满足两个条件:即 $C_u \geq 5$,且 $C_c = 1 \sim 3$ 。

【例 1.1】如图 1.4 所示 A、B、C 为 3 种不同土样的累积级配曲线。试求每种土中的砾石、砂粒、粉粒、黏粒粒组的含量各占多少? 不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c 各为多少? 并分析各曲线所反映的土的级配特性。

【解】(1) 由曲线 A 知,不同粒径土颗粒所占百分率:砂粒(0.075 ~ 2 mm)占 95% (100% - 5%);粉粒(0.005 ~ 0.075 mm)占 5%。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.165}{0.10} = 1.65 < 5, \text{故级配均匀。}$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{(0.15)^2}{0.165 \times 0.10} = 1.36, \text{故 } C_c = 1 \sim 3。$$

虽然 $C_c = 1 \sim 3$,但从曲线看其坡度陡, $C_u < 5$,故为级配不良的土。

(2) 由曲线 B 得知,不同粒径土所占百分率如下:

砂粒(0.075 ~ 2 mm)占 57% (1 - 43%)。

粉粒(0.005 ~ 0.075 mm)占 42% (43% - 1%)。

黏粒(< 0.005 mm)占 1%。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.115}{0.018} = 6.4 > 5, \text{土粒大小不均匀。}$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{(0.05)^2}{0.115 \times 0.018} = 1.2, \text{在 } 1 \sim 3 \text{ 之间。}$$

从曲线看其坡度较缓, C_u 及 C_c 都满足条件, 故属级配良好的土。

(3) 由曲线 C 得知, 不同粒径土所占百分率:

砾石 (2 ~ 20 mm) 占 44% (1 ~ 56%)。

砂粒 (0.075 ~ 2 mm) 占 56%。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{2.8}{0.165} = 17 > 5, \text{土粒大小不均匀。}$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{(0.24)^2}{2.8 \times 0.165} = 0.12, \text{不在 } 1 \sim 3 \text{ 之间。}$$

从曲线上看, 曲线呈台阶状, 级配不连续, 缺乏中间粒径; 虽然 $C_u > 5$, 但 C_c 不在 1 ~ 3 之间, 因此不能同时满足两个条件, 属级配不良的土。

在工程上, 级配良好的土经压实后, 细颗粒充填于粗颗粒之间的空隙中, 可以获得较大的干密度和较好的工程性能。例如, 地基加固用的砂垫层和砂石垫层材料, 宜采用颗粒级配良好, 质地坚硬的中砂、粗砂、砾石和卵石; 填方工程要选用级配良好的土; 混凝土骨料选用一定级配的砂和碎石; 此外, 还可以根据颗粒级配资料估算土的渗透系数, 判断土是否会发生渗流破坏。

► 1.2.2 土中水

天然土体中常含有一定数量呈液态或固态的水。一般土需研究液态水, 冻土还需研究固态水的含量。土中气态水, 对土的性质影响不大, 通常不作重点研究。

土的颗粒越细, 其分散性越大, 水对土性质的影响也越大。研究表明, 片状的黏土颗粒表面, 常常带有负电荷, 围绕土粒形成电场。因此, 黏土颗粒表面与水具有很强的相互作用力, 这就是黏土的亲水性。

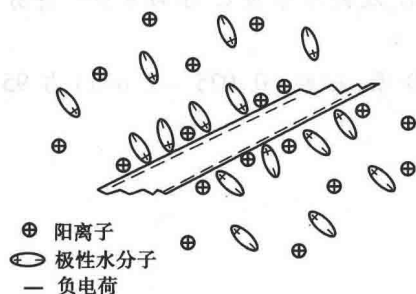


图 1.5 黏土颗粒的表面带电性

在黏土颗粒周围电场的作用下, 水中的阳离子 (Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+}) 和水分子都会吸附在颗粒表面。因为水分子是一种极性分子, 氧原子端呈负电荷, 氢原子端呈正电荷, 其正电荷端受土颗粒表面负电荷吸引, 发生定向排列, 形成如图 1.5 所示的排列形式。这种黏土颗粒附近电荷之间的相互吸引和排列形式称为**双电层模型**(图 1.6)。

双电层分为内电层和外电层, 内电层是黏土颗粒表面的负电荷, 外电层是水中被颗粒表面负电荷吸引的阳离子和定向排列的水分子。外电层又可分为固定层和扩散层, 在靠近土粒表面处, 静电引力很强, 阳离子和极性水分子被牢固地吸附在颗粒表面, 很难移动, 形成**固定层**。外电层中水分子和阳离子愈靠近土粒表面, 受到的引力越大, 排列得愈紧密和整齐, 离子浓度愈高, 活动性愈小。在固定层以外, 随着与颗粒的距离增加, 静电引力减小, 阳离子和极性水分子的活动性比在固定层中大些, 但总体上仍受电场引力作用, 不能完全自由移动, 形成**扩散层**。扩散