

高等学校土木建筑专业

|应用型本科系列规划教材|

土力学

黄春霞 王照宇 ◎ 主编

T U L I X U E



东南大学出版社
Southeast University Press

高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材

土 力 学

主 编 黄春霞 王照宇

副主编 贾彩虹 刘子彤

参 编 (以拼音为序)

陈亭亭 陈亚东 李富荣

李明东 刘 颖 王艳霞

张国生 张振东 钟定兰

邹玉广

东南大学出版社

• 南京 •

内 容 提 要

本书系统地介绍了土力学的基本概念、基本原理和土工问题的分析计算方法。内容包括:土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、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、土压力理论、地基承载力理论和土坡稳定分析。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可以作为勘查技术与工程、公路与城市道路、桥梁工程、地下建筑工程等专业的教材或教学参考书,也可供土建类工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学 / 黄春霞, 王照宇主编. — 南京: 东南大学出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-5641-2820-3

I. ①土… II. ①黄… ②王… 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(2011)第 102640 号

土力学

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 史建农 戴坚敏

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 南京四彩印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12

字 数: 310 千字

版 次: 2012 年 3 月第 1 版

印 次: 2012 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-2820-3

印 数: 1~3000 册

定 价: 29.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

高等学校土木建筑专业应用型本科系列 规划教材编审委员会

名誉主任 吕志涛

主任 蓝宗建

副主任 (以拼音为序)

陈蓓 陈斌 方达宪 汤 鸿

夏军武 肖 鹏 宗 兰 张三柱

秘书长 戴坚敏

委员 (以拼音为序)

戴望炎 董 祥 郭贯成 胡伍生

黄炳生 黄春霞 贾仁甫 李 果

李幽铮 廖东斌 刘 桐 刘殿华

刘子彤 龙帮云 吕恒林 陶 阳

单法明 王照宇 徐德良 殷为民

于习法 余丽武 喻 骁 张靖静

张敏莉 张伟郁 赵 玲 赵冰华

赵才其 赵庆华 郑廷银 周 佶

周桂云

总前言

国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要“适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”;“学生适应社会和就业创业能力不强,创新型、实用型、复合型人才紧缺”。为了更好地适应我国高等教育的改革和发展,满足高等学校对应用型人才的培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等的要求,东南大学出版社携手国内部分高等院校组建土木建筑专业应用型本科系列规划教材编审委员会。大家认为,目前适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对于培养应用型人才的院校来说起点偏高,难度偏大,内容偏多,且结合工程实践的内容往往偏少。因此,组织一批学术水平较高、实践能力较强、培养应用型人才的教学经验丰富的教师,编写出一套适用于应用型人才培养的教材是十分必要的,这将有力地促进应用型本科教学质量的提高。

经编审委员会商讨,对教材的编写达成如下共识:

一、体例要新颖活泼。学习和借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路、写作方法以及章节安排,摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥无味的弊端,以清新活泼的风格抓住学生的兴趣点,让教材为学生所用,使学生对教材不会产生畏难情绪。

二、人文知识与科技知识渗透。在教材编写中参考一些人文历史和科技知识,进行一些浅显易懂的类比,使教材更具可读性,改变工科教材艰深古板的面貌。

三、以学生为本。在教材编写过程中,“注重学思结合,注重知行统一,注重因材施教”,充分考虑大学生人才就业市场的发展变化,努力站在学生的角度思考问题,考虑学生对教材的感受,考虑学生的学习动力,力求做到教材贴合学生实际,受教师和学生欢迎。同时,考虑到学生考取相关资格证书的需要,教材中

还结合各类职业资格考试编写了相关习题。

四、理论讲解要简明扼要,文例突出应用。在编写过程中,紧扣“应用”两字创特色,紧紧围绕着应用型人才培养的主题,避免一些高深的理论及公式的推导,大力提倡白话文教材,文字表述清晰明了、一目了然,便于学生理解、接受,能激起学生的学习兴趣,提高学习效率。

五、突出先进性、现实性、实用性、操作性。对于知识更新较快的学科,力求将最新最前沿的知识写进教材,并且对未来发展趋势用阅读材料的方式介绍给学生。同时,努力将教学改革最新成果体现在教材中,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的知识点和关键点,突出实用性和可操作性。

六、强化案例式教学。在编写过程中,有机融入最新的实例资料以及操作性较强的案例素材,并对这些素材资料进行有效的案例分析,提高教材的可读性和实用性,为教师案例教学提供便利。

七、重视实践环节。编写中力求优化知识结构,丰富社会实践,强化能力培养,着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力,注重实践操作的训练,通过实际训练加深对理论知识的理解。在实用性和技巧性强的章节中,设计相关的实践操作案例和练习题。

在教材编写过程中,由于编写者的水平和知识局限,难免存在缺陷与不足,恳请各位读者给予批评斧正,以便教材编审委员会重新审定,再版时进一步提升教材的质量。本套教材以“应用型”定位为出发点,适用于高等院校土木建筑、工程管理等相关专业,高校独立学院、民办院校以及成人教育和网络教育均可使用,也可作为相关专业人士的参考资料。

高等学校土木建筑专业应用型

本科系列规划教材编审委员会

2010年8月

前 言

土力学是高等学校土木工程专业的一门必修课程。本教材编写遵循高校土木工程专业培养方案,在教学改革和实践的基础上,对教学内容进行了拓宽,包括建筑工程、公路与城市道路、桥梁工程、地下建筑工程等的专业知识。

作为大学教材,不宜包罗万象,而应当选用那些成熟的理论与典型的经验,使教材体现少而精。本书的内容参照教学计划和教学大纲,选择了土力学中基本理论,分绪论和 8 章分别进行阐述,各章还附有思考题和习题。本书附录中收录了近年来与土力学有关的国家注册土木(岩土)和注册结构工程师考试真题,这也是本书的特点之一,注重应用型人才的培养,让学生在学习了解相关执业资格认证考试对本门课程的具体要求。

本书由黄春霞、王照宇主编。全书由黄春霞拟定大纲并统稿。南京工业大学黄春霞编写了绪论、附录 A、附录 B;盐城工学院王照宇编写了第 1 章;南京工程学院贾彩虹编写了第 2 章;金陵科技学院陈亭亭编写了第 3 章 3.1~3.2 节,无锡南洋职业技术学院刘颖编写了 3.3~3.4 节;淮海工学院张振东编写了第 4 章 4.1~4.2 节,李明东编写了 4.3~4.5 节;东南大学钟定兰、南京理工大学泰州科技学院邹玉广共同编写了第 5 章;淮阴工学院陈亚东编写了第 6 章 6.1~6.3 节,安徽新华学院张国生编写了 6.4 节;南京工业大学黄春霞、刘子彤共同编写了第 7 章;盐城工学院李富荣、南京工业大学王艳霞共同编写了第 8 章。

在编写过程中参阅了大量文献与资料,在此向原作者表示感谢。限于编者水平和经验,书中难免存在不足之处,敬请广大读者对本书提出批评和改进意见,以便进一步提高质量,使本书在应用型人才培养工作中发挥更好的作用。

编者

2012 年 1 月于南京

目 录

0 绪论	1
0.1 土力学的研究对象	1
0.2 土力学的发展简史	2
0.3 本课程的内容和学习要求	3
1 土的物理性质与工程分类	5
1.1 概述	5
1.2 土的组成	5
1.3 土的物理性质指标	13
1.4 无黏性土和黏性土的物理性质	19
1.5 土的压实性	25
1.6 土的工程分类	27
2 土的渗透性与渗流	32
2.1 概述	32
2.2 土的渗透规律	33
2.3 二维渗流方程和流网	41
2.4 渗流力与渗透变形	44
3 地基中的应力计算	48
3.1 概述	48
3.2 土的自重应力	49
3.3 基底压力计算及分布	51
3.4 地基土中附加应力	55
4 土的压缩性与地基沉降计算	68
4.1 概述	68
4.2 土的压缩性	68
4.3 地基最终沉降量计算	76
4.4 土的应力历史及其对地基沉降的影响	90
4.5 地基沉降与时间的关系——土的单向固结理论	94

5 土的抗剪强度	104
5.1 概述	104
5.2 土的抗剪强度理论	105
5.3 土的抗剪强度指标的测定方法	110
5.4 土的抗剪强度指标影响因素	115
5.5 抗剪强度指标的选择	116
6 土压力	118
6.1 概述	118
6.2 静止土压力的计算	119
6.3 朗肯土压力理论	120
6.4 库仑土压力理论	127
7 地基承载力	133
7.1 概述	133
7.2 地基的变形过程和失稳破坏模式	134
7.3 地基的临塑荷载和临界荷载	137
7.4 地基的极限承载力	142
8 土坡稳定分析	156
8.1 概述	156
8.2 无黏性土坡稳定性分析	158
8.3 黏性土坡稳定性分析——整体圆弧滑动法	161
8.4 黏性土坡稳定性分析——条分法	165
附录 A 全国注册岩土工程师、结构工程师考试土力学部分试题精选	174
附录 B 土力学常用符号	179
参考文献	182

0 绪 论

0.1 土力学的研究对象

所有建筑物(房屋、桥梁、道路和水工结构等)无不是修建在地壳之上的,建筑物的全部重量都是由地壳支承。以房屋建筑为例,房屋上的所有荷载都作用在基础上,通过基础把全部荷载传递给地壳。由于建筑物的修建,使地壳一定范围内地层的应力状态发生变化,这一范围内的地层称为地基。组成地基的介质为分散成颗粒状的土,或连成整体的岩石。土力学所研究的对象是前者的“土”,而后者“岩石”属于“工程地质”和“岩石力学”课程所涉及的内容。

土具有广泛的工程应用,除了上述作为建筑物的地基外,还作为建筑材料(路基材料和土坝材料)和建筑物周围介质或环境(隧道、挡土墙、地下建筑和滑坡问题等)。无论是哪种工程应用,工程技术人员最关心的都是土的力学性质,即土的强度和变形特性,以及这些特性随时间过程、应力历史和环境条件改变而变化的规律。土力学就是以力学为基础,研究土的渗流、变形和强度特性,并据此进行土体的变形和稳定计算的学科。土力学也是一门实用的学科,它是土木工程的一个分支,主要研究土的工程性质,解决工程问题。

土是地球表面的整体岩石在大气中经受长期的风化作用而形成的、覆盖在地表上碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。与其他材料相比,土具有以下特点:

1) 土的碎散性

土是岩石风化后的产物,和岩石有一个很大的不同就是颗粒间没有胶结或弱胶结,因此具有碎散性,属于非连续介质。与我们常见的钢材、混凝土等连续介质的力学性质有较大的差异。

土的碎散性使土受力后容易变形,具有很高的压缩性。土粒间的相对移动性和很大的渗透性,直接影响土的强度和变形特征。例如土的剪切破坏主要是土颗粒间联系的破坏,土的变形主要是土孔隙体积的变化,土中水是在土的孔隙中流动的,对土的强度和变形有极大的影响,这是与连续介质完全不同的。

在土力学中也常常利用连续体力学的规律,例如土中应力的计算、渗流方程、本构关系等,但在具体应用中应结合土的分散特性,还要用专门的土工试验技术研究土的物理化学特性,以及强度、变形、渗透等特殊的力学性能。

2) 土的三相性

一般认为土由三相物质(土粒、水、气)组成,饱和土则是两相(土粒、水)。松散的土颗粒堆积成土骨架,水和气体充塞在骨架间的孔隙中。三相物质同时存在,其成分、相对含量和相互作用决定了土的物理力学性质。

土体受力后由土骨架、孔隙介质共同承担。土中水是在土的孔隙中流动的,对土的强度和变形有极大影响。土的三相之间存在着复杂的相互作用,使得土的力学特性更加复杂。

3) 土的天然性

首先,土不是人工制造的,而是自然界的产物。不像钢材、砖、混凝土等材料那样可以按需要制造和使用,只能适应它的特性并合理地加以利用。例如选择合适的地基持力层和基础形式,增加上部结构对土变形的适应性,设计合理的挡土结构等。在某些情况下可以对土进行改造(地基处理),目的是更好地加以利用。但地基处理方法必须适合土的特性,并符合土力学的基本原理,其应用也有一定的范围。

其次,土的性质与其自然历史(包括起源和形成后的变化过程)有很大关系。母岩及其风化过程,搬运碎屑的介质与途径,沉积的环境及其变化,沉积物受到的压力、温度、干燥、风化、淋滤、胶结、生物活动等作用都会影响土的性质。不同的母岩风化后形成的土不同,静水中沉积的土与流水中沉积的土不同,干燥寒冷环境中形成的土与温暖潮湿环境中形成的土不同,沉积年代久远的和新近沉积的土不同,超固结土与正常固结土不同等。

为了更好地利用土,必须对土的自然历史以及它的特性有更深入的了解和研究。

0.2 土力学的发展简史

土力学与其他技术科学一样,是人类长期生产实践的产物。由于生产的发展和生活的需要,人类很早就广泛利用土作为建筑物地基和建筑材料。我国西安半坡村新石器时代遗址中发现的土台和石础,就是古代的地基基础。“水来土挡”是我国自古以来用土防御洪水的真实写照。公元前2世纪修建的万里长城,以及随后修建的南北大运河、黄河大堤等,都需要丰富的土的知识。隋朝修建的赵州石拱桥,桥台砌置在密实粗砂层上,基底压力约500~600 kPa,1300多年来沉降很小。公元898年建造开宝寺木塔时,预见塔基土质不均会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜塔,在沉降稳定后自动复正,说明当时对地基基础的变形问题已有了相当成熟的施工经验。意大利的比萨斜塔、埃及的金字塔,以及我国的一些宏伟的宫殿庙宇,由于坚实的地基基础,历经数千载至今仍巍然屹立。可见古代劳动人民已积累了丰富的土力学知识。但由于社会生产力和技术条件的限制,在18世纪中叶以前的很长一段时期,土力学的知识仍停留在经验积累的感性认识阶段。

18世纪欧洲工业革命开启了土力学的理论研究。太沙基(Terzaghi)认为,库仑(Coulomb,1776)发表的挡土墙土压力理论是土力学的开始。19世纪,欧洲出现了不少著名的研究成果,例如朗肯(Rankine,1857)借助土的极限平衡分析建立的朗肯土压力理论,达西(Darcy,1856)根据对两种均匀砂土渗透试验结果提出的渗透定律,布辛奈斯克(Boussinesq,1885)提出的表面竖向集中力在弹性半无限体内部应力和变形的理论解答,如今仍在土力学有关课题中广泛使用。20世纪初,出现了一些重大的工程事故,例如德国的桩基码头大滑坡、瑞典的铁路坍方、美国的地基承载力问题等,因此对地基问题提出了新的要求,从而推动了土力学的发展。普朗特(Prandtl,1920)发表了地基滑动面的数学公式,彼德森(Peterson,1915)提出,以后又由费伦纽斯(Fellenius,1936)、泰勒(Taylor,1937)等发展了的

计算边坡稳定性的圆弧滑动法等,就是这一时期的重要成果。土力学作为一门独立的学科一般认为从太沙基(Terzaghi)1925年发表的第一本《土力学》著作开始。太沙基把当时零散的有关定律、原理、理论等按土的特性加以系统化,从而形成了一门独立的学科。他指出土具有黏性、弹性和渗透性,按物理性质把土分成黏土和砂土,并探讨了它们的强度机理,提出了一维固结理论,建立了有效应力原理。有效应力原理真实地反映了土的力学性质和本质,使土力学确立了自己的特色,成为土力学学科的一个重要指导原理,极大地推动了土力学的发展。

自土力学作为一门独立学科以来,大致可以分为两个发展阶段。第一阶段从20世纪20年代到60年代,称古典土力学阶段。这一阶段的特点是在不同的课题中分别把土看作线弹性体或刚塑性体,又根据课题需要把土视为连续介质或分散体。这一阶段的土力学研究主要在太沙基理论上,形成以有效应力原理、渗透固结理论、极限平衡理论为基础的土力学理论体系,研究土的强度与变形特性,解决地基承载力和变形、挡土墙土压力、土坡稳定等与工程密切相关的土力学课题。这一阶段的重要成果有关于黏性土抗剪强度、饱和土性状、有效应力法和总应力法、软黏土性状、孔隙压力系数等方面的研究,以及钻探取不扰动土样、室内试验(尤其是三轴试验)技术和一些原位测试技术的发展,对弹塑性力学的应用也有了一定认识。值得一提的是,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,这就推动了这门学科在世界范围的发展。第二发展阶段从20世纪60年代开始,称为近代土力学阶段。这是以在美国科罗拉多州波德尔(Boulder, Colorado)举行的黏土抗剪强度学术会议以及英国正在开展的土应力—应变性质研究作为时代的标志。其最重要的特点是把土的应力、应变、强度、稳定等受力变化过程统一用一个本构关系加以研究,改变了古典土力学中把各受力阶段人为割裂开来的情况,从而更符合土的真实性。这一阶段的出现依赖于数学力学的发展和计算机技术的突飞猛进。较为著名的本构关系有邓肯的非线性弹性模型和剑桥大学的弹塑性模型。国内学者在这方面也做了不少工作,例如南京水利科学研究所提出的弹塑性模型。由于本构关系对计算参数的种类和精度要求更高,因此也推动了测试和取样技术的发展。虽然这种方法目前还未广泛在工程中应用,也无法替代简化的和经验的传统方法。但它代表土工研究的发展趋势,促使土力学发生重大变革,使土工设计和研究达到新的水平。

0.3 本课程的内容和学习要求

本课程共分8章,学习土力学的基本理论。

第1章“土的物理性质与工程分类”:了解土的三相组成,掌握土的物理性质和土的物理状态指标的定义、物理概念、计算公式和单位。要求熟练地掌握物理性质指标三相换算。了解地基土的工程分类的依据与定名。

第2章“土的渗透性与渗流”:掌握土的层流渗透定律及渗透性指标。熟悉渗透性指标的测定方法及影响因素,渗流时渗水量的计算,渗透破坏与渗流控制问题。了解土中二维渗流及流网的概念和应用。

第3章“地基中的应力计算”:掌握土中自重应力、基底压力和地基附加应力的概念及其计算方法。熟悉非均质或各向异性地基的附加应力分布规律及其与均质各向同性地基的差别。

第4章“土的压缩性与地基沉降计算”:掌握土的压缩性指标的测定方法和两种常用的地基沉降计算方法。了解饱和土的单向固结理论和地基沉降与时间的关系,了解地基变形的概念和影响因素以及防止有害沉降的措施。

第5章“土的抗剪强度”:了解地基强度的意义与土的强度在工程中的应用。了解土的抗剪强度的来源与影响因素。掌握测定土的抗剪强度的各种方法与应用,掌握土的极限平衡条件的概念。

第6章“土压力”:了解影响土压力大小的因素,掌握静止土压力、主动土压力和被动土压力产生的条件、计算方法和工程应用。掌握各种土压力理论的原理与计算方法。

第7章“地基承载力”:掌握地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载,并掌握这三种荷载的物理意义和工程应用。了解极限承载力的求解方法和常用计算公式。

第8章“土坡稳定分析”:掌握各种黏性土坡稳定分析方法。熟悉无黏性土坡的稳定性,土体抗剪强度指标及稳定安全系数的选择。

1 土的物理性质与工程分类

1.1 概述

土是由连续、坚固的岩石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,在各种自然环境中生成的没有胶结或弱胶结的沉积物。土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。土的三相组成物质的性质、相对含量以及土的结构构造等各种因素,必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质上有不同的反映。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。

在处理与土相关的工程问题和进行土力学计算时,不但要知道土的物理特性指标及其变化规律,了解各类土的特性,还必须掌握各物理特性指标的测定方法以及指标间的相互换算关系,并熟悉土的分类方法。

本章主要介绍土的组成、土的三相比例指标、无黏性土和黏性土的物理特征、土的结构性及工程分类。

1.2 土的组成

在一般情况下,土是由三相组成的:固相——矿物颗粒和有机质;液相——水;气相——空气。矿物颗粒构成土的骨架,空气与水则填充骨架间的孔隙。土的性质取决于各相的特征及其相对含量与相互作用。

1.2.1 土的固体颗粒

土的固相主要由矿物颗粒组成,有时除矿物颗粒外还含有有机质。矿物颗粒以单粒或集合体的形式存在。其对土的性质影响可从颗粒级配、矿物成分等方面来看。

1) 颗粒级配

在自然界中存在的土,都是由大小不同的土粒组成的。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。介于一定粒径范围内的土粒,称为粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同,呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。目前土的粒组划分方法并不完全一致,表 1-1 是一种常用的土粒粒组的划分方法,表中根据界限粒径 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm

把土粒分为六大粒组：漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及黏粒。

土粒的大小及其组成情况，通常以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。

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		200~60	
粗 粒	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，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	
细 粒	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

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) 粉粒或称粉土粒，粉粒的粒径上限 0.075 mm 相当于 200 号筛的孔径。
(3) 黏粒或称黏土粒，黏粒的粒径上限也有采用 0.002 mm 为准。

土的颗粒级配是通过土的颗粒分析试验测定的，常用的测定方法有筛析法和沉降分析法（密度计法或移液管法）。前者是用于粒径大于 0.075 mm 的巨粒组和粗粒组，后者用于粒径小于 0.075 mm 的细粒组。当土内兼含大于和小于 0.075 mm 的土粒时，两类分析方法可联合使用。

筛析法试验是将风干、分散的代表性土样通过一套自上而下孔径由大到小的标准筛（例如 60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm），称出留在各个筛子上的干土重，即可求得各个粒组的相对含量。通过计算可得到小于某一筛孔直径土粒的累积重量及累计百分含量。

沉降分析法的理论基础是土粒在水（或均匀悬液）中的沉降原理。土粒下沉时的速度与土粒形状、粒径、质量密度以及水的黏滞度有关。

根据粒度成分分析试验结果，常采用累计曲线法表示土的级配。该法是比较全面和通用的一种图解法，其特点是可简单获得定量指标，特别适用于几种土级配好坏的相对比较。累计曲线法的横坐标为粒径，由于土粒粒径的值域很宽，因此采用对数坐标表示；纵坐标为小于（或大于）某粒径的土重（累计百分）含量，见图 1-1。由累计曲线的坡度可以大致判断土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。

根据描述级配的累计曲线,可以简单地确定土粒级配的两个定量指标,即不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c 。

不均匀系数按下式计算:

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

式中: d_{60} ——限定粒径,纵坐标为 60% 所对应的粒径(mm);

d_{10} ——有效粒径,纵坐标为 10% 所对应的粒径(mm)。

曲率系数按下式计算:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (1-2)$$

式中: d_{30} ——纵坐标为 30% 所对应的粒径(mm)。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况,即土粒大小或粒度的均匀程度。 C_u 越大表示粒度的分布范围越大,土粒愈不均匀,其级配愈良好。曲率系数 C_c 描写的是累计曲线分布的整体形态,反映了限制粒径 d_{60} 与有效粒径 d_{10} 之间各粒组含量的分布情况。

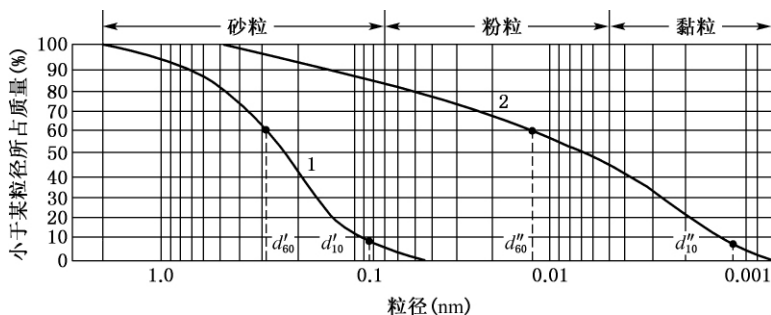


图 1-1 颗粒级配累计曲线

在一般情况下,工程上把不均匀系数 $C_u < 5$ 的土看作是均粒土,属级配不良; $C_u > 10$ 的土,属级配良好。对于级配连续的土,采用单一指标 C_u ,即可达到比较满意的判别结果。但缺失中间粒径(d_{60} 与 d_{10} 之间的某粒组)的土,即级配不连续,累计曲线上呈现台阶状。此时,再采用单一指标 C_u 则难以有效判定土的级配好坏。

曲率系数 C_c 作为第二指标与 C_u 共同判定土的级配,则更加合理。一般认为:砾类土或砂类土同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,则为良好级配砾或良好级配砂;如不能同时满足,则可以判定为级配不良。很显然,在 C_u 相同的条件下, C_c 过大或过小,均表明土中缺少中间粒组,各粒组间孔隙的充填效应降低,级配变差。

粒度成分的分布曲线可以在一定程度上反映土的某些性质。对于级配良好的土,较粗颗粒间的孔隙被较细的颗粒所填充,这一连锁充填效应,使得土的密实度较好。此时,地基土的强度和稳定性较好,透水性和压缩性也较小;而作为填方工程的建筑材料,则比较容易获得较大的密实度,是堤坝或其他土建工程良好的填方用土。此外,对于粗粒土,不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 也是评价渗透稳定性的重要指标。

2) 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分可分为无机矿物颗粒与有机质,无机矿物颗粒由原生矿物和次生矿物组成。

(1) 原生矿物

原生矿物颗粒是岩石经物理风化(机械破碎的过程)形成的,常见的如石英、长石、云母等,其物理化学性质较稳定,其成分与母岩完全相同。粗大土粒(漂石、卵石、圆砾等)往往是岩石经物理风化作用形成的原岩碎屑,是物理化学性质比较稳定的原生矿物颗粒,一般有单矿物颗粒和多矿物颗粒两种形态。

(2) 次生矿物

次生矿物是岩石经化学风化(成分改变的过程)后形成的矿物,主要有黏土矿物、无定形的氧化物胶体(如 Al_2O_3 、 Fe_2O_3)和盐类(如 CaCO_3 、 CaSO_4 、 NaCl)等,次生矿物颗粒一般包含多种成分且与母岩成分完全不同。

一般黏性土主要是由黏土矿物构成。黏土矿物基本上是由两种晶片构成的。一种是硅氧晶片(简称硅片),它的基本单元是 $\text{Si}-\text{O}$ 四面体,即由一个居中的硅原子和四个在角点的氧原子组成;另一种是铝氢氧晶片(简称铝片),它的基本单元为 $\text{Al}-\text{OH}$ 八面体,是由一个居中的铝原子和六个在角点的氢氧离子组成。黏土矿物颗粒,基本上是由上述两种类型晶胞叠接而成,其中主要有蒙脱石、伊利石和高岭石三类,如图 1-2 所示。

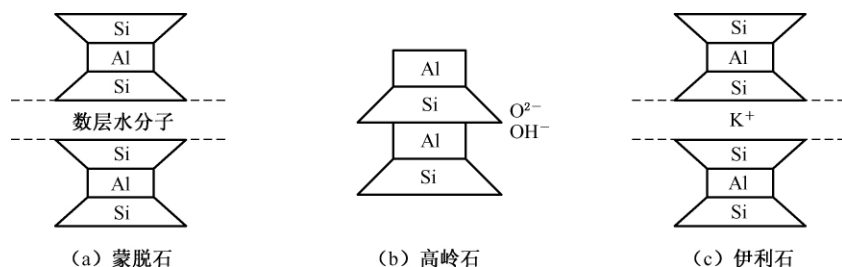


图 1-2 黏土矿物结构示意图

蒙脱石是由伊利石进一步风化或火山灰风化而成的产物。蒙脱石是由三层型晶胞叠接而成,晶胞间只有氧原子与氧原子的范德华力联结,没有氢键,故其键力很弱。另外,夹在硅片中间的铝片内 Al^{3+} 常为低价的其他离子(如 Mg^{2+})所替换,晶胞间出现多余的负电荷,可以吸引其他阳离子(如 Na^+ 、 Ca^{2+} 等)或其水化离子充填于晶胞间。因此,蒙脱石的晶胞活动性极大,水分子可以进入晶胞之间,从而改变晶胞之间的距离,甚至达到完全分散到单晶胞。因此,当土中蒙脱石含量较高时,则土具有较大的吸水膨胀和失水收缩的特性。

高岭石是长石风化的产物,其结构单元是二层型晶胞,即高岭石是由若干二层型晶胞叠接而成。这种晶胞间一面露出铝片的氢氧基,另一面则露出硅片的氧原子。晶胞之间除了较弱的范德华力(分子键)之外,更主要的联结是氧原子与氢氧基之间的氢键,它具有较强的联结力,晶胞之间的距离不易改变,水分子不能进入。晶胞间的活动性较小,使得高岭石的亲水性、膨胀性和收缩性均小于伊利石,更小于蒙脱石。

伊利石主要是云母在碱性介质中风化的产物,仍是由三层型晶胞叠接而成,晶胞间同样有氧原子与氧原子的范德华力。但是,伊利石构成时,部分硅片中的 Si^{4+} 被低价的 Al^{3+} 、