

第
2
版

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



土力学

包龙生 李大勇

张向东 主 编
刘希亮 副主编
王成华 主 审



人民交通出版社

China Communications Press

第2版



交通版 高等学校土木工程专业规划教材
JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

土力学

Tu Li Xue

包龙生	李大勇	张向东	主 编
		刘希亮	副主编
		王成华	主 审



人民交通出版社

China Communications Press

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

(第一版)

主任委员: 阎兴华

副主任委员: 张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘
宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员: 彭大文 林继德 张俊平 刘春原
党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长: 张征宇

随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平和质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动了该套教材的修订工作。

这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、

正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

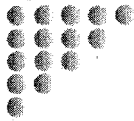
交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会

人民交通出版社

2011年5月

前言

QIANYAN



当今世界,土木工程科技发展突飞猛进,信息流转速度不断加快,技术规范规程不断更新或推出,并应用于实践。

《土力学》是高等院校土木工程专业必修的一门课程。本教材遵循高校土木工程专业培养方案,着眼于培养21世纪复合型的建设人才,在教学改革和实践的基础上,对教学内容进行了调整拓宽。编写时兼顾交通土建工程、建筑工程、地下建筑工程等不同专业的要求,使得本教材的适应性更强。

《土力学》是一门理论性和实践性都很强的课程,在编写过程中,注重理论联系实际,基本原理和方法的选用以工程实用为主,并兼顾发展和反映国内外的先进技术水平;理论部分的阐述力求深入浅出,语言通俗易懂,文字简明扼要,讲清基本假定与概念,不拘泥于推导过程;应用部分的编写结合现行的规范,尽量以共性的内容为主,不拘于一本规范的特殊内容,兼收并蓄,使学生能灵活运用不同行业规范,有利于培养学生适应实践的能力;内容与次序的编排有利于自学,并编入一定数量的例题、习题和思考题以供学生练习;书后还编写了土工试验指导书,以利于指导学生的实验操作,有助于培养学生分析与解决实际问题的能力。

《土力学》课程与《基础工程》课程紧密相连。本教材既是独立的课程教材,又与《基础工程》教材内容密切结合。为便于学习,在编写过程中,参考了有关高等院校新编的相关教材,所选用的符号、术语和计量单位力求前后贯穿一致。

本教材力图考虑学科发展新水平,选用成熟的理论与典型的经验,使教材体现少而精。全书重点突出,深入浅出,加强了各章之间的相互衔接。

本书由辽宁工程技术大学张向东主编,沈阳建筑大学包龙生、山东科技大学李大勇、河南理工大学刘希亮为副主编,天津大学王成华主审。

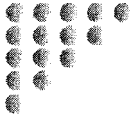
本书编写单位及编写人员分工如下:绪论、第三章、第四章由辽宁工程技术大学张向东编写;第一章由辽宁科技大学都洋编写;第二章由河南理工大学刘希亮编写;第五章由黑龙江科技学院杨悦编写;第六章由哈尔滨学院王琼编写;第七章由沈阳建筑大学包龙生编写;第八章由山东科技大学李大勇编写;附录由辽宁工程技术大学兰常玉编写。

限于编者的水平,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编者
2011年4月

目录

MULU

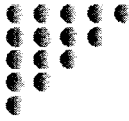


绪论	1
第一章 土的物理性质与工程分类	4
第一节 土的生成与特性	4
第二节 土的三相组成及三相比例指标	6
第三节 土的物理状态指标	14
第四节 土的结构与构造	20
第五节 土的工程分类	23
思考题	27
习题	28
第二章 地下水在土体中的运动规律	29
第一节 土中毛细水特性	29
第二节 土的渗透性	32
第三节 土在冻结过程中的水分迁移与集聚	38
思考题	40
习题	41
第三章 土中应力计算	42
第一节 概述	42
第二节 土中自重应力的计算	43
第三节 基底压力分布及简化计算	45
第四节 土中附加应力的计算	49
第五节 其他条件下地基中应力的计算	70
第六节 有效应力原理	78
思考题	81
习题	82
第四章 土的压缩性与地基沉降计算	86
第一节 概述	86
第二节 研究土压缩性的方法及变形指标	87
第三节 地基最终沉降量的计算	98
第四节 地基沉降与时间的关系	116
第五节 地基沉降计算的其他情况	127
思考题	134
习题	134

第五章 土的抗剪强度	137
第一节 概述.....	137
第二节 土的抗剪强度理论.....	138
第三节 土的抗剪强度的测定方法.....	143
第四节 影响土抗剪强度的因素.....	154
第五节 土在动荷载作用下的强度性质.....	157
思考题	158
习题	159
第六章 土压力计算与挡土墙设计	160
第一节 概述.....	160
第二节 静止土压力计算.....	161
第三节 朗金土压力理论.....	164
第四节 库仑土压力理论.....	167
第五节 关于土压力计算的讨论.....	172
第六节 挡土墙设计.....	177
思考题	184
习题	184
第七章 土坡稳定分析	186
第一节 概述.....	186
第二节 无黏性土坡稳定分析.....	187
第三节 黏性土坡稳定分析.....	188
第四节 土坡失稳的原因及防治措施.....	193
思考题	195
习题	195
第八章 地基承载力	196
第一节 概述.....	196
第二节 临塑荷载和临界荷载.....	198
第三节 地基的极限承载力.....	203
第四节 按规范法确定地基承载力.....	209
思考题	215
习题	215
附录 土工试验指导书	216
附录 A 土的三相比指标试验.....	216
附录 B 土的液、塑限试验.....	220
附录 C 土的击实试验.....	223
附录 D 土的渗透性试验.....	226
附录 E 颗粒大小分析试验.....	229
附录 F 土的固结试验.....	232
附录 G 土的抗剪强度试验.....	235
附录 H 测试误差与土的物理力学性质指标的应用.....	241
参考文献	245

绪论

XULUN



一、土力学的研究对象

地球上的所有建筑与土木工程,包括建筑物、构筑物、水电站、堤坝、桥梁、公路、铁路、地铁、隧道等,都是修建在地表或埋置于地层之中。

承受建筑物荷载的那一部分地层称为地基;建筑物在地面以下并将上部荷载传递至地基的结构,称为建筑物的基础,如图 0-1 所示。

地基是地层的一部分。地层包括岩层(或岩体)和土层(或土体),它们都是自然界的产物。岩石的矿物颗粒间具有很强的连接,强度大、变形量小、渗透性低,是良好的天然地基。而土是岩石风化后,产生崩解、破碎、变质,又经过各种自然力搬运,在新的环境下堆积或沉积下来的颗粒状松散物质,其颗粒间联系较弱,强度小、变形量大、渗透性强,具有散体特征。

土力学是以土(或土体)为研究对象的学科,而岩石力学是以岩石(或岩体)为研究对象的学科,他们均是力学的重要分支。

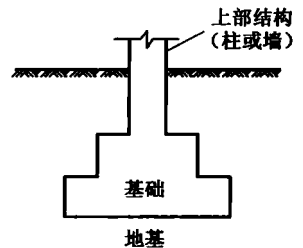


图 0-1 建筑上部结构、基础与地基示意图

二、土力学的研究内容

土是一种由固相(土颗粒)、液相(水)和气相(空气)物质所组成的三相体系,与一般固体相比较,天然土体具有一系列复杂的物理力学性质,并且易受环境条件(如地下水等)变动的影晌。

土力学是研究土的物理力学性质、变形及强度规律,以及土体稳定性的一门科学。土力学的研究内容是通过研究土的物理、力学、物理化学性质及微观结构与宏观构造,进一步认识土和土体在荷载、水、温度等外界因素作用下的反应特性,即土的压缩性、强度特性、渗透性及动力特性等,为包括土体稳定性、土体加固和地基处理等各类土木工程的稳定和安全提供科学的对策。

建筑物、构筑物等的建造,使地基土原有的应力状态发生了变化。为了确保安全和正常使用,地基设计必须满足以下两个基本条件:

(1)地基的强度条件。要求建筑物的地基(土)保持稳定,不发生滑动破坏,并有足够的安全储备。

(2)地基的变形条件。要求控制地基(土)变形,使之不超过地基的变形允许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或者影响其正常使用。

三、本学科发展概况

远在古代人们就懂得利用土进行工程建设,如我国东汉时的郑玄在注释战国时的《考工记》时,就认识到了作用力和变形之间的弹性定律,这比虎克(Hooke)定律要早1500多年,但直到18世纪,基本上还处于感性认识阶段。欧洲产业革命时期,由于资本主义工业化的迅猛发展,人们在大规模建设中遇到了许多与土有关的力学问题,促使人们对土进行研究,并从实践和试验中逐步产生了土力学的基本理论,并应用于工程实践。

1773年,法国科学家C. A. 库仑(Coulomb)根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了挡土墙土压力的滑动楔体理论。

1856年,法国工程师H. 达西(Darcy)研究了砂土的透水性,提出了层流运动的达西定律。

1857年,英国学者W. J. M. 朗金(Rankine)从另一途径提出了挡土墙土压力理论。

1867年,捷克工程师E. 温克尔(Winkler)提出了铁轨下任一点的接触压力与该点的沉降成正比的假设。

1885年,法国学者J. 布辛奈斯克(Boussinesq)求得了半无限弹性体在竖向集中荷载作用下的应力和变形的理论解答。

1900年,莫尔(Mohr)提出了土的强度理论。

20世纪20年代,对土的研究有了迅速发展。普朗特(Prandtl)发表了地基承载力理论,这一时期在边坡理论方面也有很大发展,费论纽斯(W. Fellenius)完善了边坡圆弧滑动法。

1925年,K. 太沙基(Terzaghi)归纳并发展了以往土力学研究的成就,出版了《土力学》一书,它系统地论述了若干重要的土力学问题,提出了著名的有效应力原理。至此,土力学开始形成一门独立的学科。

从1936年在美国召开第一届国际土力学与基础工程会议起,世界各国相继举办了各种学术会议,加强了国与国、地区与地区之间的交流。特别是近年来,世界各国超高土坝(坝高超过200m)、超高层建筑、核电站、高速铁路等大型工程的兴建,促进了土力学的进一步发展,许多专家和学者积极研究土的本构关系、土的弹塑性性与黏弹性理论和土的动力特性。同时,各国研制成功多种多样的工程勘察、试验与地基处理新设备,为土力学理论研究和地基加固提供了良好的条件。电子计算机的应用和实验测试技术自动化程度的提高,标志着本学科进入了一个新时期。

土力学未来的发展趋势可归结为一个模型、三个理论、四个分支。一个模型即本构关系模型;三个理论即非饱和土固结理论、土的液化破坏理论、土的渐进破坏理论;四个分支即理论土力学、计算土力学、实验土力学、应用土力学。随着科学技术的日新月异,土力学学科也将步入发展的新时期。

四、本学科与土木工程专业的关系

从事土木工程的技术人员在工程实践中将会遇到大量的与土有关的工程技术问题。在铁路或道路的路基工程中,土是修筑路堤的基本材料,同时它又是支承路堤的地基。路堤的临界

高度和边坡的取值都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关;采用碾压法压实填土时,其施工质量控制方法正是基于对土的击实特性的研究成果;挡土墙设计的主要外荷载——土压力的取用,需借助于土压力理论计算;近年来,我国高速公路、高速铁路的大量修建,对路基的沉降计算与控制提出了更高的要求,而解决沉降问题需要对土的压缩特性进行深入的研究;软土地基的加固技术,需要对软土进行大量的试验研究和现场监测。

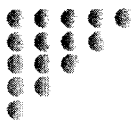
在路面工程中,土基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题,防治冻害的有效措施是以土力学的原理为基础的;稳定土是比较经济的基层材料,它是根据土的物理化学性质提出的一种土质改良措施;道路一般在车辆的重复荷载作用下工作,因此需要研究土在重复荷载作用下的变形特性。

在建筑物、桥梁等工程中,地基与基础是建筑物的根基,又属于地下隐蔽工程,经济、合理的基础工程设计需要依靠土力学基本理论的支持;对于超静定的大跨度结构,基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大次应力的重要因素;整个结构的抗震设计,需要研究土的动力特性。

由此可见,土力学这门学科与土木工程专业课的学习和今后的技术工作有着十分密切的关系。学习这门课程是为了更好地学好专业课,也是为今后更好地解决有关土的工程技术问题奠定坚实的基础。

第一章 土的物理性质与工程分类

DIYIZHANG



第一节 土的生成与特性

一、土的生成

1. 风化作用

在自然界,土的形成过程是十分复杂的,地壳表层的岩石在阳光、大气、水和生物等因素影响下发生风化作用,使岩石崩解、破碎,经流水、风、冰川等外力搬运作用,在各种自然环境下沉积,形成土体,因此通常说土是岩石风化的产物。

风化作用主要包括物理风化、化学风化和生物风化,它们同时存在且相互影响。

(1)物理风化。是指由于温度变化、水的冻胀、波浪冲击、地震等引起的物理力使岩体崩解、碎裂的过程,这种作用使岩体逐渐变成细小的颗粒。

(2)化学风化。是指岩体(或岩块、岩屑)与空气、水和各种水溶液相互作用的过程。这种作用不仅使岩石颗粒变细,更重要的是使岩石的矿物成分发生变化,形成大量细微颗粒(黏粒)和可溶盐类。

(3)生物风化。由动物、植物和人类活动对岩体的破坏称生物风化。例如:长在岩石缝隙中的树,因树根伸展使岩石缝隙扩展开裂。人们开采矿山、石材,修铁路、打隧道,劈山修公路等活动形成的土,其矿物成分没有变化。

2. 土的主要成因类型及特征

在自然界,岩石和土在其存在、搬运和沉积的各个过程中都在不断地进行风化,由于形成条件、搬运方式和沉积环境不同,自然界的土也就有不同的成因类型,可分为陆相沉积和海相沉积两类。

(1)陆相沉积

陆地环境下的沉积。出露陆上的岩石风化物经重力、水、风、冰川等作用而形成的沉积土。

①残积土。岩石经风化作用后残留在原地的碎屑堆积物称为残积土,如图 1-1a)所示。残积土层中土的颗粒粗细不匀,厚度不均,作为地基时承载力较高,但要特别注意其不均匀沉降。

②坡积土。高处的风化物经雨水、雪水或本身的重力等作用搬运后,沉积在较平缓的山坡上的堆积物称为坡积土,如图 1-1b)所示。它一般分布在坡腰上或坡脚下,由上而下具有一定的分选性和局部层理性,土质不均匀,还常易发生沿基岩倾斜面的滑动。尤其是新近堆积的坡积土土质疏松、软弱性较高,对这些不良地质条件,在工程建设中要引起重视。

③洪积土。在山区或高地由暂时性的山洪急流把大量的残积土及坡积土,剥蚀后搬运到山谷的出口处或山麓平原上而形成的堆积物称为洪积土,如图 1-1c)所示。洪水常引起山体崩塌、滑坡、塌方,大量的土体和岩块被洪水带走,这是洪水的地质作用,也是人们常遇到的地质灾害之一。

④冲积土。由河流流水作用将两岸岩石及其上部覆盖的土体剥蚀后,搬运、沉积在河流坡降平缓地带而形成的堆积物称为冲积土。冲积土具有明显的层理构造。

⑤湖泊沉积土。由湖浪作用而在湖中沉积的堆积土称湖泊沉积土,可分为湖边、湖心沉积土。这类土常伴有生物化学作用所形成的有机物,成为具有特殊性质的淤泥或淤泥质土。

此外,还有冰积土和风积土。它们分别是在冰川地质作用和风的地质作用下形成并沉积下来的。

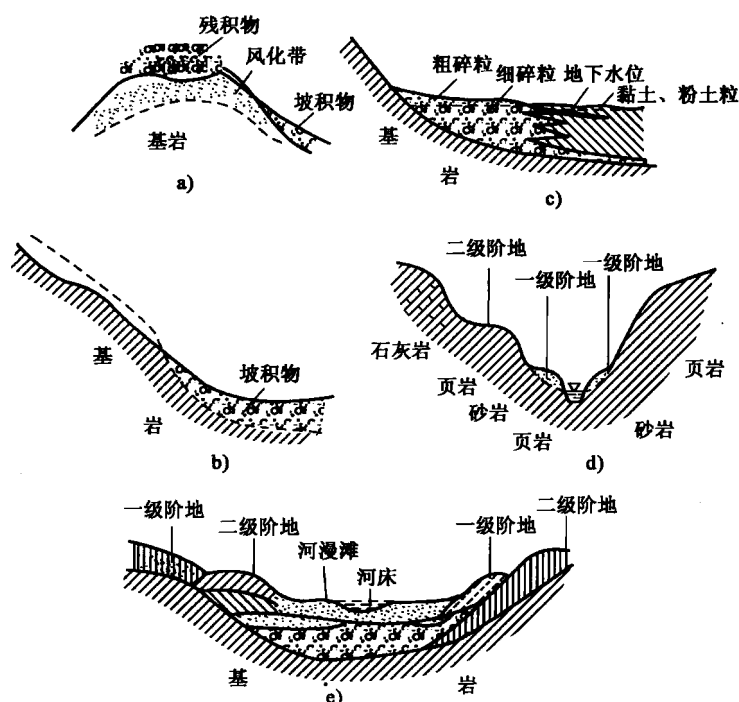


图 1-1 各种沉积土

a)残积土;b)坡积土;c)洪积土;d)山区河谷冲积土横断面;e)平原河谷冲积土横断面

(2)海相沉积

由河水带入海洋的物质和海岸风化后的物质以及化学、生物物质在搬运过程中随着水流流速逐渐降低在海洋各分区(海滨、浅海、陆坡、深海地区)中沉积下来的堆积物称为海洋沉积土。

综上所述,土是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沉积物。在漫长的地质年代中,由于各种内力和外力地质作用形成了许多类型的土。岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成土,而土经历压缩固结、胶结硬化也可再生成岩石(沉积岩)。

二、土的一般特性

(1)散体性。颗粒之间无黏结或弱黏结,存在大量孔隙,可以透水、透气。

(2)多相性。土往往是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系,三相之间质和量的变化直接影响它的工程性质。

(3)成层性。土粒在沉积过程中,不同阶段沉积物成分、颗粒大小及颜色等不同,而使竖向呈现成层的特征。

(4)变异性。土是在自然界漫长的地质历史时期演化形成的多矿物组合体,性质复杂,不均匀,且有随机性且随时间和环境的变化而变化。

第二节 土的三相组成及三相比例指标

一、土的三相组成

土的三相组成是指土由固体颗粒、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。若土中孔隙全部被水充满时为饱和土;孔隙全部被气体充满时称为干土;土中孔隙同时有水和气体存在时为非饱和土。土体三个组成部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定土的物理力学性质。

1. 土的固体颗粒

土的固体颗粒(土颗粒或土粒)即为土的固相,是土的主要组成部分。土颗粒的大小、形状、矿物成分及颗粒级配对土的物理力学性质有明显的影响。

(1)土粒的矿物成分

土粒的矿物成分取决于母岩的矿物成分及风化作用,可分为原生矿物和次生矿物。

原生矿物由岩石经过物理风化后形成,其矿物成分与母岩相同,常见的有石英、长石和云母等。一般较粗颗粒的砾石、砂等都是由原生矿物组成。

次生矿物是岩石经化学风化后形成的新的矿物,如黏土矿物的高岭石、伊利石、蒙脱石,其成分与母岩不相同。次生矿物性质较不稳定,具有较强的亲水性,遇水易膨胀。

(2)土粒粒组

土粒的大小称为粒度。土颗粒的形状、大小各异,但都可以将土颗粒的体积化作一个当量的小球体,据此可算得当量小球体的直径,称为当量直径,简称粒径。随着土粒由粗变细,土可由无黏性变为有黏性,透水性也随之减小。当土粒的粒径在一定范围内变化时,这些土粒的性质接近。因此,工程上将不同的土粒按其粒径范围,划分成若干粒组。其分界尺寸称为界限粒径。表1-1为《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)的划分标准。

土粒粒组的划分

表 1-1

粒组统称	粒组名称		粒径范围(mm)
巨粒组	漂石或块石颗粒		>200
	卵石或碎石颗粒		200 ~ 20
粗粒组	圆砾或角砾颗粒	粗	20 ~ 10
		中	10 ~ 5
		细	5 ~ 2
	砂粒	粗	2 ~ 0.5
		中	0.5 ~ 0.25
		细	0.25 ~ 0.1
		极细	0.1 ~ 0.075
细粒组	粉粒	粗	0.075 ~ 0.01
		细	0.01 ~ 0.005
	黏粒		≤0.005

(3) 土的颗粒级配

工程上,常以土中各粒组的相对含量(各粒组占土粒总质量的百分数)表示土中颗粒大小的组成情况,即颗粒级配。颗粒级配可通过土的颗粒分析试验测定,其结果在半对数纸上绘出,如图 1-2 所示的颗粒级配曲线 a 、 b 。根据曲线的陡缓可进行粗略分析:如曲线平缓,表示粒径相差悬殊,土粒不均匀,即级配良好(图 1-2 中 a 线);反之,曲线很陡,表示粒径均匀,级配不好(图 1-2 中 b 线)。

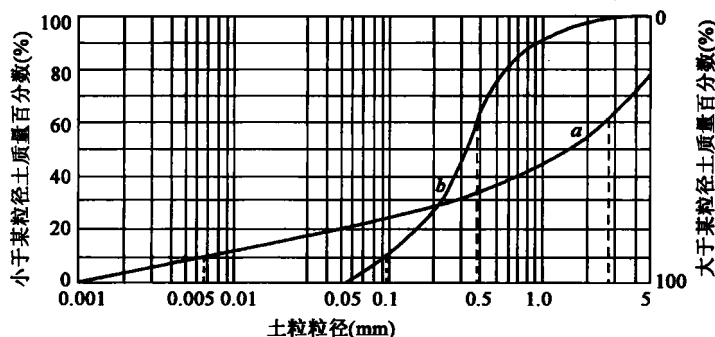


图 1-2 颗粒级配曲线

在工程计算中常以不均匀系数 C_u 作为定量分析,表示颗粒的不均匀程度,即

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

式中: d_{60} ——小于某粒径土的质量占土总质量 60% 时的粒径,该粒径称为限定粒径;

d_{10} ——小于某粒径土的质量占土总质量 10% 时的粒径,该粒径称为有效粒径。

颗粒级配曲线越陡,不均匀系数 C_u 越小,表示土粒越均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土称为均匀的,级配不好; $C_u > 10$ 的土视为不均匀的,级配良好,作为填方或垫层材料时,易获得较好的压实效果。

实际上,用一个指标 C_u 确定土的级配情况有时是不够的,要同时考虑级配曲线的整体形状。所以,需参考曲率系数 C_c 值,即

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

式中: d_{30} ——小于某粒径的土的质量占土总质量 30% 时的粒径。

一般认为,砾类土和砂类土同时满足 $C_u = 5 \sim 10$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,则定名为良好级配砾或良好级配砂,否则级配不好。

2. 土中水

土中水即为土的液相,其含量及性质明显地影响土的性质(尤其是黏性土)。土中水除了一部分以结晶水的形式紧紧吸附于固体颗粒的晶格内部外,还存在结合水和自由水两大类。

(1) 结合水

结合水是指土粒表面由电分子引力吸附着的土中水。研究表明,细小土粒与周围介质相互作用使其表面带负电荷,围绕土粒形成电场。在土粒电场范围内的水分子以及水溶液中的阳离子(如 Na^+ 、 Ca^{2+} 等)一起被吸附在土粒周围。水分子是极性分子,受电场作用而定向排列,且越靠近土粒表面吸附越牢固,随着距离的增大,吸附力减弱,活动性增大。结合水可分为强结合水和弱结合水,如图 1-3 所示。

①强结合水。强结合水亦称吸着水,指紧靠于颗粒表面处于固定层中的结合水,所受电场的作用力很大,几乎完全固定排列,丧失液体的特性而接近于固体。强结合水冰点远低于 0°C ,最低为 -78°C ;密度为 $1.2 \sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$,比自由水密度大。强结合水没有传递静水压力和溶解盐类的能力,温度达 105°C 以上时才能蒸发。

②弱结合水。弱结合水也称薄膜水,存在于于扩散层中,是位于强结合水外围的一层水膜,其厚度较强结合水大(为 $5 \sim 10\mu\text{m}$),受到电分子引力小,呈黏滞体状态。它仍不能传递静水压力,不能自由流动,但从厚的水膜向薄的水膜处转移,直至平衡为止。由于弱结合水的存在,使黏性土具有可塑性。

随着与土粒表面距离的增大,吸附力逐渐减小,弱结合水逐渐过渡为自由水。

(2) 自由水

在土粒电场影响范围以外的水称为自由水。它的性质与普通水无异,能传递静水压力和溶解盐类,温度 0°C 时结冰。自由水按其移动时作用力的不同,可分为毛细水和重力水。

①毛细水。毛细水是土孔隙中受到表面张力作用而存在的自由水,存在于地下水位以上的土层中。一般情况下,砂土、粉土和黏性土中毛细水含量较大。毛细水上升到地面会引起沼泽化、盐渍化,而且还会使地基土润湿,降低强度,增大变形量。在寒冷地区还会加剧土的冻胀作用。

②重力水。重力水是在土的孔隙中受重力作用而自由流动的水,一般存在于地下水位以下的土层中。在地下水位以下的土,受到重力水的浮力作用,而使土中应力状态发生变化。因

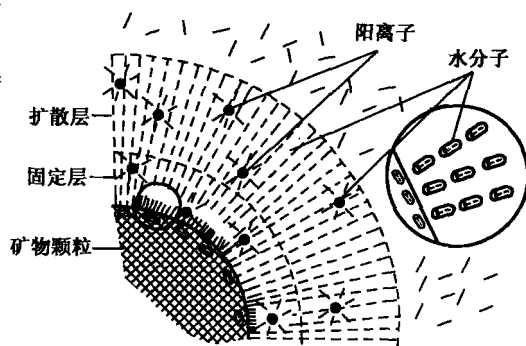


图 1-3 结合水示意图

此,在基坑的施工中应注意重力水产生的影响。

3. 土中气体

土中气体即为土的气相,存在于土孔隙中未被水占据的部分,可分为与大气连通的气体和与大气不连通的封闭气泡两种。与大气连通的气体,其含量决定于孔隙的体积和孔隙被水填充的程度,它对土的性质影响不大;与大气隔绝的封闭气泡,它不易逸出,增大了土的弹性和压缩性,同时降低了土的透水性。在泥和泥炭土中,由于微生物的活动和分解作用,土中产生一些可燃气体如硫化氢、甲烷等,使土层不易在自重作用下压实而形成高压缩性的软土层。

二、土的三相比例指标

土是由固体颗粒、水和气三相所组成分散体系,土的各组成部分的质量和体积之间的关系称为三相比例关系。本节讨论三相比例关系的各种数值计算指标。它们是定量描述土的物理性能的最基本指标,并对评价土的工程性质具有重要的意义。

1. 土的三相简图

土的颗粒、水和气体是混杂在一起的。为方便说明和计算,将三相体系中分散交错的固体颗粒、水和气体分别集中在一起,按固相、液相和气相的质量和体积表示在土的三相图中,如图 1-4 所示。

$$V_v = V_a + V_w$$

$$V = V_a + V_w + V_s = V_v + V_s$$

$$m = m_w + m_s$$

式中: m ——土的总质量;

m_w ——土中水的质量;

m_s ——土中固体颗粒的质量;

V ——土的总体积;

V_a ——土中气体所占的体积;

V_w ——土中水所占的体积;

V_s ——土中固体颗粒所占的体积。

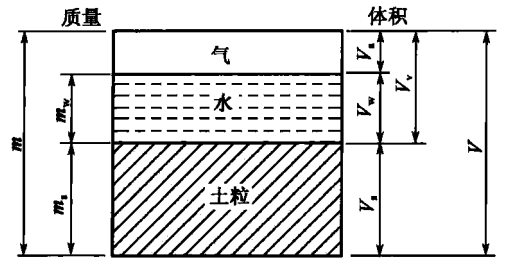


图 1-4 土的三相图

2. 指标的定义

(1) 基本指标

土的物理性质指标中有三个基本指标可直接通过土工试验测定,亦称直接测定指标。

① 土的密度 ρ

土在天然状态下单位体积的质量称为土的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

土的密度可用环刀法测定。天然状态下土的密度变化范围较大,其参考值为:一般黏性土 $\rho = 1.8 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$;砂土 $\rho = 1.6 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$ 。

工程中常用重度 γ 来表示单位体积土的重力,它与土的密度之间的关系,为