



土建类高职高专规划教材

TULIXUEYU
DIJIJICHU

土力学与地基基础

【建筑工程技术专业用】

丰培洁 主编

高大钊（同济大学）主审



人民交通出版社
China Communications Press

中国地质大学(北京) 地质研究所

THE JOURNAL OF
DZLZICHU

地质研究所
地质研究所

[地质研究所]

第 100 卷
第 1 期
2000 年 1 月



土建类高职高专规划教材

Tulixue yu Diji Jichu

土力学与地基基础

(建筑工程技术专业用)

丰培洁 主编

高大钊(同济大学) 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材共九章,系统地介绍了土力学与地基基础的基本原理、计算方法和设计原理,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力和土坡稳定、天然地基上的浅基础、桩基础、软弱土地基处理及区域性地基等内容,各章后附有相应的思考题、实践练习及实践项目。

本教材内容简明扼要,理论紧密结合实际,重点突出,实用性强。本教材主要作为高职高专建筑工程技术专业等交通土建类专业的教材,也可供道路与桥梁工程等交通土建类专业及其他工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 / 丰培洁主编. —北京:人民交通出版社,2008.9

ISBN 978-7-114-07201-7

I.土… II.丰… III.①土力学②地基③基础工程
IV.TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第134748号

土建类高职高专规划教材

书 名:土力学与地基基础

著 者:丰培洁

责任编辑:师云 刘倩

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:15

字 数:375千

版 次:2008年9月 第1版

印 次:2008年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07201-7

印 数:0001—2000册

定 价:26.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

土建类高职高专规划教材

“建筑工程技术专业”教材编写委员会

主任委员： 张颂娟(辽宁交通高等专科学校)

副主任委员： 张玉杰(贵州交通职业技术学院)

刘孟良(湖南城建职业技术学院)

陈晓明(江西交通职业技术学院)

委 员： 晏 杉(云南交通职业技术学院)

颜高峰(湖南交通职业技术学院)

刘 萍(河北交通职业技术学院)

丰培杰(陕西交通职业技术学院)

樊琳娟(南京交通职业技术学院)

杨甲奇(四川交通职业技术学院)

彭 芳(河套大学)

沈建康(徐州建筑职业技术学院)

王丰胜(安徽交通职业技术学院)

杨太秀(湖北交通职业技术学院)

王松成(南京交通职业技术学院)

王旭东(辽宁交通高等专科学校)

穆文伦(贵州交通职业技术学院)

秘 书： 师 云 丁润铎(人民交通出版社)

前 言

本教材是根据2006年全国交通土建高职高专“建筑工程技术”专业规划教材编写研讨会讨论通过的依照“项目(案例)教学法”及“学分制”的原则进行编写的。

《土力学与地基基础》是建筑工程技术专业的一门主要专业课程,具有很强的理论性与实践性。本教材在基本原理和方法的选用上以工程实用为主,并兼顾反映国内外的先进技术水平。本课程理论部分尽可能以够用为度,删繁就简,注重准确性和完整性;应用部分,充分结合现行规范、标准的规定,着重阐述适用于一般情况的成熟技术的同时,也根据内容需要反映特殊情况下一般规律的深化,并有选择地介绍一些日趋常用的新技术,有利于培养学生工程实践的能力。

本教材采用简洁明快的表述方法,内容精练、重点突出、体系完整、紧密结合实际。根据课程要求,本书包括土力学基础理论与基础工程应用两部分,并附有针对性较强的案例、思考题和实践练习、实践项目、土工试验指导书,力求突出对学生实践技能的培养,注重对学生综合素质的提高。

本教材由陕西交通职业技术学院丰培洁副教授担任主编,特邀同济大学高大钊教授主审。各章编写分工如下:绪论、第一、二、四、八、九章由陕西交通职业技术学院丰培洁编写;第三章由陕西交通职业技术学院张省侠编写;第五章由陕西交通职业技术学院周少乐编写;第六章由陕西交通职业技术学院王占锋编写;第七章由内蒙古河套大学陈瑄编写。全书由丰培洁统稿。在本书的编写过程中,得到了陕西交通职业技术学院程兴新、薛安顺、张鹏及翁光远的大力支持与协助,在此表示衷心的感谢!

由于时间仓促及限于编者水平,书中难免有不当之处,欢迎读者批评指正。

编者
2008.5

目 录

绪论	1
第一章 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 土的结构和构造	10
第三节 土的物理性质指标及物理状态指标	12
第四节 地基岩、土的工程分类	22
思考题及实践练习	24
实践一 地基土野外鉴别	25
第二章 土中应力计算	28
第一节 概述	28
第二节 土体中的自重应力	29
第三节 基底压力与基底附加应力	31
第四节 地基中的附加应力	34
思考题及实践练习	45
第三章 土的压缩性与地基沉降计算	47
第一节 概述	47
第二节 有效应力原理	47
第三节 土的压缩性	48
第四节 地基的最终沉降量计算	54
第五节 地基变形与时间的关系	61
思考题及实践练习	64
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	66
第一节 概述	66
第二节 莫尔-库仑破坏准则	67
第三节 抗剪强度指标的测定方法	69
第四节 地基承载力的确定	77
思考题及实践练习	84
第五章 土压力和土坡稳定	86
第一节 概述	86
第二节 静止土压力计算	88
第三节 朗金土压力理论	89
第四节 库仑土压力理论	94
第五节 土坡稳定分析	104

思考题及实践练习	111
第六章 天然地基上的浅基础	113
第一节 概述	113
第二节 浅基础的类型	114
第三节 基础埋置深度	120
第四节 地基承载力的确定	122
第五节 基础尺寸的确定	126
第六节 浅基础设计	129
思考题及实践练习	140
实践二 浅基础设计	140
第七章 桩基础及其他深基础	142
第一节 桩基础概述	142
第二节 单桩竖向承载力的确定	146
第三节 桩基承载力与沉降验算	149
第四节 单桩的水平承载力	152
第五节 桩基础设计	153
第六节 深基础简介	162
思考题及实践练习	170
实践三 桩基础设计	171
第八章 软弱土地基处理	173
第一节 概述	173
第二节 机械压实法	174
第三节 强夯法	176
第四节 换填法	179
第五节 预压法	182
第六节 挤密法和振冲法	184
思考题及实践练习	188
实践四 地基处理	189
第九章 区域性地基	190
第一节 湿陷性黄土地基	190
第二节 膨胀土地基	194
第三节 红黏土地基	200
第四节 冻土地基	201
第五节 山区地基	205
第六节 地震区地基基础	208
思考题	213
附录一 “土力学与地基基础”课程试验指导	214
附录二 “土力学与地基基础”课程教学大纲	228
参考文献	230

绪 论

一、土力学、地基及基础的概念

土力学是以传统的工程力学和地质学的知识为基础,研究与土木工程有关的土中应力、变形、强度和稳定性的应用力学分支。此外,还要用专门的土工试验技术来研究土的物理化学特性,以及土的强度、变形和渗透等特殊力学特性。

土与工程建设的关系十分密切。归纳起来,土具有两类工程用途:一类作为建筑物的地基,在土层上修建厂房、住宅等工程,由地基土承受建筑物的荷载;另一类用土作建筑材料,修筑堤坝与路基。

建筑物修建以后,其全部荷载最终由其下的地层来承担,承受建筑物全部荷载的那一部分天然的或部分经过人工改造的地层称为地基。地基按地质情况分为土基、岩基;按设计施工情况分为天然地基、人工地基。土的性质极其复杂,当地层条件较好、地基土的力学性能较好、能满足地基基础设计对地基的要求时,建筑物的基础被直接设置在天然地层上,这样的地基被称为天然地基;而当地层条件较差,地基土强度指标较低,无法满足地基基础设计对地基的承载力和变形要求时,常需要对基础底面以下一定深度范围内的地基土体进行加固或处理,这种部分经过人工改造的地基被称为人工地基。

由于土的压缩性大,强度小,因而在绝大多数情况下上部结构荷载不能直接通过墙、柱等传给下部土层(地基),而必须在墙、柱、底梁等和地基接触处适当扩大尺寸,把荷载扩散以后安全地传递给地基,这种位于建筑物墙、柱、底梁以下,经过适当扩大尺寸的建筑物最下部结构称之为基础(图 0-1)。基础的结构形式很多,具体设计时应该选择既能适应上部结构、符合建筑物使用要求,又能满足地基强度和变形要求,经济合理、技术可行的基础结构方案。通常把埋置深度不大(一般不超过 5.0m),只需经过挖槽、排水等普通施工工序就可以建造起来的基础称为浅基础;而把埋置深度较大(一般不小于 5.0 m),并需要借助于一些特殊的施工方法来完成的各类型的基础称之为深基础。

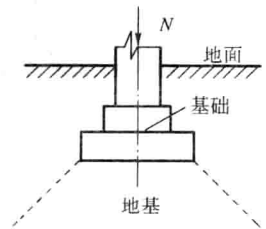


图 0-1 地基及基础示意图

地基和基础是建筑物的根基,又属于隐蔽工程,它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。工程实践表明,建筑物的事故很多都与地基基础问题有关,而且一旦发生地基基础事故,往往后果严重,补救十分困难。有些即使可以补救,其加固修复工程所需的费用也十分巨大。为了保证建筑物安全和正常使用,在地基基础设计中,必须同时满足以下两个技术条件。

(1)地基的强度条件:要求满足地基承载力和稳定性,不发生滑动破坏,应当有一定的地基强度安全系数。

(2)地基的变形条件:要求地基的沉降量、沉降差、倾斜和局部倾斜都不能超过地基的允许变形值。

二、地基基础工程事故举例

1. 地基产生不均匀沉降

①意大利比萨斜塔(图 0-1)。该塔是意大利比萨大教堂的一座钟楼,1173 年动工,建至 24m 高时发生倾斜,100 年后续建该塔至塔顶,建成后塔高 54.5m。目前塔北侧沉降 1m 多,南侧沉降近 3m,塔顶偏离中心线约 5.54m(倾斜约 5.5°)。为使斜塔安全留存,后在国际范围内进行了招标,对斜塔进行了加固处理。

②我国名胜苏州虎丘塔(图 0-2)。建于 959 ~ 961 年,为 7 级八角形砖塔,塔底直径 13.66m,高 47.5m,重 6300t。为了使该名胜古迹安全留存,我国于 1956 ~ 1957 年对其进行了上部结构修缮,致使塔体重量增加了约 200t,同时加速了塔体的不均匀沉降。塔顶偏离中心线的距离由 1957 年的 1.7m 发展到 1978 年的 2.31m,并导致地层砌体产生局部破坏。后于 1983 年对该塔进行了基础托换,使其不均匀沉降得以控制。

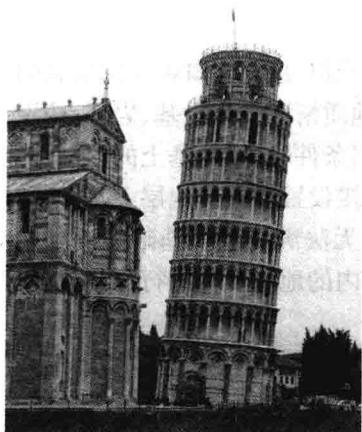


图 0-1 意大利比萨斜塔



图 0-2 苏州虎丘塔

2. 地基产生整体剪切破坏

①巴西某 11 层大厦。1955 年始建的巴西某 11 层大厦长 25m,宽 12m,支承在 99 根 21m 长的钢筋混凝土桩上。1958 年大厦建成后,发现其背后明显下沉,后不久沉降速度高达 4mm/h,并在 20s 内倒塌。后查明该大厦下有 25m 厚的沼泽土,而其下的桩长仅有 21m,未深入其下的坚固土层,倒塌是由于地基产生整体剪切破坏所致。

②加拿大特朗斯康谷仓(图 0-3)。该谷仓建于 1914 年,由 65 个圆柱形筒仓构成,高 31m,宽 23.5m,其下为钢筋混凝土筏板基础。由于事前不了解基础下埋藏有厚达 16m 的软黏土层,谷仓建成后初次储存谷物达 27000t 后,发现谷仓明显下沉,结果谷仓西侧突然陷入土中 7.3m,东侧上抬 1.5m,仓身倾斜近 $26^\circ 53'$ 。后查明谷仓基础底面单位面积压力超过 300kPa,而地基中的软黏土层极限承载力才约 250kPa,因此造成地基产生整体破坏并引发谷仓严重倾斜。这是地基产生剪切破坏,建筑物丧失其稳定性的典型事故实例。

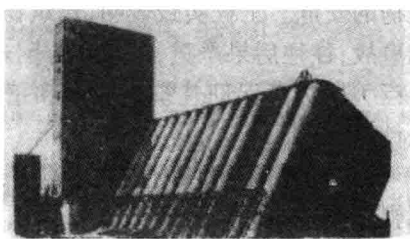


图 0-3 加拿大特朗斯康谷仓

3. 地基产生过量沉降

①广深铁路 K2 + 150 段线路。通车后路基不断下沉,1975 年后,严重地段每旬下沉量高达 12 ~ 16mm,其他地段每旬下沉量 8 ~ 12mm 不等。该路段后采用高压喷射注浆法进行了路基土加固处理。

②西安某住宅楼。西安某住宅楼位于西安市霸桥区,场地为 II 级自重湿陷性黄土地,建筑物长 18.5m,宽 14.5m,为 6 层点式砖混结构。基础采用肋梁式钢筋混凝土基础,建筑物修建以前对地基未作任何处理,由于地下管沟积水,致使地基产生湿陷沉降。在沉降发生最为严重的 5d 时间里,该建筑物的累计沉降量超过了 300mm。后虽经对基础进行托换处理止住了建筑物的继续沉降,但过量沉降严重影响了该建筑物的使用功能,如在门厅处不仅形成了倒灌水现象,而且门洞高度严重不足,人员出入极不方便。

4. 地基土液化失效

①日本新潟地震。日本新潟市于 1964 年 6 月 16 日发生了 7.5 级大地震,当地大面积的砂土地基由于在地震过程中产生振动液化现象而失去了承载能力,毁坏房屋近 2890 幢。

②唐山地震。1976 年 7 月 28 日发生在我国唐山市的大地震是人类历史上造成损失最严重的地震之一,震级 7.8 级,大量建筑物在地震中倒塌损毁,地基土的液化失效是其中的主要原因之一。唐山市矿冶学院图书馆书库因地基液化失效,致使其第一层全部陷入地面以下。

三、本课程的内容、特点及学习要求

《土力学与地基基础》是土建、公路、铁路、水利、地下建筑等有关专业的一门主要课程,属于专业基础课范畴。

组成地基的土或岩层是自然界的产物,它的形成过程、物质成分、所处自然环境及工程性质极为复杂多变。建筑物等的修建,会改变地层中原有的应力状态,而应力状态的改变会引起一系列的地基变形、强度、稳定性问题。因此,在土木工程设计、施工之前必须仔细研究地基土的组成、成因、物理力学性质,同时还需要在此基础上借助力学方法来分析和研究地层中的应力变化,借助力学、工程地质学、地下水动力学等方法,来研究岩土体的变形,并进而对岩土体进行强度和稳定性分析。土木工程中经常遇到土坡稳定问题,对稳定性较差的土坡如果未加处理或处理不当,土坡将产生滑动破坏,土坡的失稳不仅影响工程的正常进展,还会危及人民生命和国家财产安全,因此需借助力学方法对土坡进行稳定性分析。上述问题都是本课程的研究内容。

建筑物的地基基础和上部结构虽然各自功能不同、研究方法相异,但是无论从力学分析入手还是从经济观点出发,这三部分却是彼此联系、相互制约的有机统一体。目前,要把这三部分完全统一起来进行设计计算还十分困难,但从地基—基础—上部结构共同工作的概念出发,尽量全面考虑诸方面的因素,运用力学和结构设计方法进行基础工程计算将是《土力学与地基基础》的主要研究内容之一。

多样性是土的主要特点之一,由于受成土母岩、风化作用、沉积历史、地理环境和气候条件等多重因素影响,土的种类繁多,分布复杂,性质各异。易变性是土的另一主要特点,土的工程性质经常受到外界温度、湿度、压力等的影响而发生显著变化。研究各种不同性质的特殊土和软弱土,并按土质受外界影响而发生变化的客观规律,运用合适而又有效的方法对土体进行处理加固也是本课程的重要内容。

本课程是一门理论性与实践性均较强的课程。由于各种地基土形成的自然条件不同,性

质也是千差万别,而且我国地域辽阔,不同地区的土有不同的性质,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练习,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。

四、本学科的发展概况

地基基础是一项古老的建筑工程技术。早在史前的人类建筑活动中,地基基础作为一项工程技术就被应用。我国西安市半坡村新石器时代遗址中的土台和石础,就是先祖们应用这一工程技术的见证。公元前2世纪修建的万里长城;始凿于春秋末期,后经隋、元等代扩建的京杭运河;隋朝大业年间李春设计建造的河北赵州安济桥;我国著名的古代水利工程之一、战国时期李冰领导修建的都江堰;遍布于我国各地的巍巍高塔,宏伟壮丽的宫殿、庙宇和寺院;举世闻名的古埃及金字塔等,都是由于修建在牢固的地基基础之上才能逾千百年而留存于今。据报道,建于唐代的西安小雁塔其下为巨大的船形灰土基础,这使小雁塔经历数次大地震而留存于今。上述一切证明,人类在其建筑工程实践中积累了丰富的基础工程设计、施工经验和知识,但是由于受到当时的生产实践规模和知识水平限制,在相当长的历史时期内,地基基础仅作为一项建筑工程技术而停留在经验积累和感性认识阶段。

18世纪欧洲产业革命以后,城市建筑、道路与水利工程兴建,提出了大量与土的力学性质有关的问题并积累了不少成功经验和工程事故教训。特别是这些工程事故教训,使得原来按以往建设经验来指导工程的做法,已无法适应当时的工程建设发展。这就促使人们寻求对许多类似的工程问题的理论解释,并要求在大量实践基础上建立起一定的理论来指导以后的工程实践。例如,17世纪末期,欧洲各国大规模的城堡建设推动了筑城学的发展并提出了墙后土压力问题,许多工程技术人员发表了多种墙后土压力的计算公式,为库仑(Coulomb C. A, 1773年)提出著名的抗剪强度公式和土压力理论奠定了基础。19世纪中叶开始,大规模的桥梁、铁路和公路建设推动了桩基和深基础的理论与施工方法的发展。路堑和路堤、运河渠道边坡、水坝等的建设提出了土坡稳定性的分析问题。1857年英国人W. J. M朗肯(Rankine)又从不同途径提出了挡土墙的土压力理论。1885年法国学者J.布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半空间体在竖向集中力作用下的应力和位移解。1852年法国的H.达西(Darcy)创立了砂性土的渗流理论“达西定律”。1922年瑞典学者W.费兰纽斯(Fellenius)提出了一种土坡稳定的分析方法。这一时期的理论研究为土力学发展成为一门独立学科奠定了基础。

1925年美国K.太沙基(Terzaghi)归纳了以往的理论研究成果,发表了第一本《土力学》专著,又于1929年与其他学者一起发表了《工程地质学》。这些比较系统完整的科学著作的出版,带动了各国学者对本学科各个方面的研究和探索,从此《土力学》作为一门独立的科学而得到不断发展。

第一章 土的物理性质及工程分类

本章重点

1. 掌握土的三相组成。
2. 理解土的粒度、粒组、粒度成分的概念,掌握粒度成分分析方法并能判定土的级配情况。
3. 掌握土的物理性质指标和物理状态指标,并熟练指标间的换算。
4. 熟练土的三项基本指标的测定及液塑限测定试验。

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、沉积形成的由固体矿物、流体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,风化作用有下列三种。

1. 物理风化

岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,温度、湿度的变化,发生不均匀膨胀与收缩,使岩石产生裂隙,崩解为碎块。这种风化作用,只改变颗粒的大小与形状,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粒土,如块石、碎石、砾石和砂土等,这种土总称为无黏性土。

2. 化学风化

岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触时,逐渐发生化学变化,原来组成矿物的成分发生了改变,产生一种新的成分——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,具有黏结力,如黏土与粉质黏土,总称为黏性土。

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。

二、土的三相组成

土的三相组成是指土由**固相**(土粒)、**液相**(水溶液)和**气相**(空气)三部分组成。土中的固体部分即为土粒,由矿物颗粒或有机质组成,构成土的骨架,骨架之间贯穿着大量孔隙,孔隙中充填着水和气体。

随着环境的变化,土的三相比例也发生相应的变化,土体三相比例不同,土的状态和工程

性质也随之各异。例如：

固体 + 气体(液体 = 0)为干土。此时,黏土呈干硬状态,砂土呈松散状态。

固体 + 液体 + 气体为湿土。此时,黏土多为可塑状态。

固体 + 液体(气体 = 0)为饱和土。此时,粉细砂或粉土遇强烈地震,可能产生液化使工程遭受破坏;黏土地基受建筑荷载作用发生沉降需几十年才能稳定。

由此可见,研究土的各项工程性质,首先需从最基本的组成土的三相(固相、液相和气相)本身开始研究。

(一)土的固相

1. 土的矿物成分

形成土粒的矿物成分各不相同,主要取决于成土母岩的矿物成分及其风化作用。成土矿物分为两大类:一类为原生矿物,常见的有石英、长石、云母、角闪石与辉石等。由物理风化生成的土粒,通常由一种或几种原生矿物所构成,其颗粒一般较粗,多呈浑圆形、块状或板状,吸附水的能力弱,其属性与成土母岩相同,性质比较稳定,无塑性。另一类为次生矿物,它是由原生矿物经化学风化作用而形成的矿物,其属性与母岩完全不同。次生矿物主要是黏土矿物,常见的黏土矿物有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。由于次生矿物构成的土粒极细,且多呈片状或针状,其性质较不稳定,有较强的吸附水能力(尤其是由蒙脱石构成的土粒),含水率的变化易引起体积胀缩,具塑性。除上述矿物质外,土中还常含有生物形成的腐殖质、泥炭和生物残骸,统称为有机质,其颗粒很细小,具有很大的比表面积,对土的工程地质性质影响也很大。

2. 土的粒度成分

如上所述,土粒的大小与成土矿物之间存在着一定的相互关系,因此,土粒大小在某种程度上反映土粒性质上的差异。土是自然界的产物,是由无数大小不同的土粒组成,要逐个研究它们的大小是不可能的,也没有这种必要。工程上通常把工程性质相近的一定尺寸范围的土粒划分为一组,称为**粒组**,并冠以名称。粒组划分情况见表 1-1。

粒 组 划 分 表

表 1-1

粒 组 名 称	漂石或块石粒	卵石或碎石粒	圆砾或角砾	砂 粒	粉 粒	黏 粒
粒径范围 (mm)	$d > 200$	$20 < d \leq 200$	$2 < d \leq 20$	$0.075 < d \leq 2$	$0.005 < d \leq 0.075$	$d \leq 0.005$

土的粒度成分是指土中各种不同粒组的相对含量(以干土重量的百分比表示),或者说土是由不同粒组按照不同数量的配合,故又称为“**颗粒级配**”。例如某砂黏土,经分析,其中含黏粒 25%、粉粒 35%、砂粒 40%,即为该土中各粒组干重占该土总干重的百分比含量。粒度成分可用来描述土的各种不同粒径土粒的分布特征。

测定土中各粒组颗粒质量所占该土总质量的百分比,确定粒径分布范围的试验称为土的**粒度成分分析试验**或**颗粒大小分析试验**。该试验用以了解土的颗粒级配,供土的工程分类及判别土的工程性质和建材选料之用。常用的试验方法有**筛分法**和**沉降分析法**两种。筛分法适用于粒径大于 0.075mm 的土,沉降分析法适用于粒径小于 0.075mm 的土。当土内兼有大于和小于 0.075mm 的土粒时,两种分析方法可联合应用。

(1)筛分法

筛分法是利用一套孔径由大到小的标准筛,将按规定方法取得的一定质量的干试样放入

依次叠好的筛中,置振筛机上充分振摇后,称出留在各级筛上的土粒的质量,即为不同粒径粒组的土质量,并计算出每一粒组占土样总质量的百分数,并可计算小于某一筛孔直径土粒的累计重量及累计百分含量。

(2) 沉降分析法

沉降分析法是利用不同大小的土粒在水中的沉降速度不同来确定小于某粒径的土粒含量的方法。沉降分析法又可分为密度计法(比重计法)、移液管法等。

沉降分析法的理论基础是土粒在水中的沉降原理,如图 1-1 所示,将定量的土样与水混合倾注量筒中,悬液经过搅拌,使各种粒径的土粒在悬液中均匀分布,此时悬液浓度(单位体积悬液内含有的土粒质量)在上下不同深度处是相等的。但静置后,土粒在悬液中下沉,较粗的颗粒沉降较快,图 1-1 中在深度 L_i (m) 处只含有不大于 d_i 粒径的土粒,悬液浓度降低。如果在 L_i (m) 深度处考虑一小区段 $m-n$,则 $m-n$ 段内的悬液中只有粒径小于及等于 d_i 的土粒,而且小于及等于 d_i 的颗粒的浓度与开始均匀悬液中小于及等于 d_i 的颗粒的浓度相等。

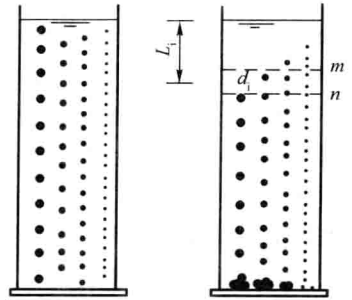


图 1-1 土粒沉降示意图

如果悬液体积为 1000cm^3 ,其中所含小于等于 d_i 的土粒质量为 m_{si} (g),则在 $m-n$ 段内的悬液的密度为:

$$\rho_i = \frac{1}{1000} \left[m_{si} + \left(1000 - \frac{m_{si}}{\rho_{s0}} \right) \rho_{w0} \right] \quad (1-1)$$

式中: ρ_i ——悬液密度 (g/cm^3);

m_{si} ——悬液中小于等于 d_i 的土粒质量 (g);

ρ_{s0} ——土粒密度 (g/cm^3);

ρ_{w0} ——水的密度 (g/cm^3)。

则

$$m_{si} = 1000 \frac{\rho_i - \rho_{w0}}{\rho_{s0} - \rho_{w0}} \rho_{s0} \quad (1-2)$$

悬液中小于等于 d_i 的土粒质量 m_{si} 占土粒总质量百分比 P_i 为:

$$P_i = \frac{m_{si}}{m_s} \times 100\% \quad (1-3)$$

式(1-2)中的悬液密度 ρ_i 可用比重计测读,也可用吸管吸取 $m-n$ 段内的悬液试样测定。

根据颗粒分析试验结果,常采用累计曲线法表示土的颗粒级配或粒度成分。累计曲线图的横坐标为粒径,由于土粒粒径的值域很宽,因此采用对数坐标表示;纵坐标为小于等于某一粒径的土粒的累计百分数 P_i ,见图 1-2。由累计曲线的坡度可以大致判断土粒的均匀程度或级配是否良好。若曲线较陡,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。

颗粒分析试验曲线的主要用途有以下两种:

第一,得出土中各粒组的土粒含量,用于粗粒土的分类和初评土的工程性质。

第二,选择某些特征粒径,用于建筑材料的选择和评价土级配的好坏。

根据某些特征粒径,可得到两个土粒的级配指标,即不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c ,它们的定义如下。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-4)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (1-5)$$

式中： d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} ——分别为粒径分布曲线上相当于累计百分含量为10%、30%和60%时所对应的粒径； d_{10} 称为有效粒径； d_{60} 称为限制粒径。

不均匀系数 C_u 反映不同大小粒组的分布情况。 C_u 值愈大，表明土粒大小分布范围大，土的级配良好； C_u 值愈小，表明土粒大小相近似，土的级配不良。一般认为，不均匀系数 $C_u < 5$ 时，称为均粒土，其级配不良； $C_u \geq 5$ 的土为非均粒土，其级配良好。

实际上，仅单靠不均匀系数 C_u 值一个指标来判定土的级配情况是不够的，还必须同时考察曲率系数 C_c 值。曲率系数 C_c 描述累计曲线的分布范围，反映累计曲线的整体形状。一般认为 $C_c = 1 \sim 3$ 之间，土的级配较好； $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时，累计曲线呈明显弯曲。当累计曲线呈阶梯状时，说明粒度不连续，即主要由大颗粒和小颗粒组成，缺少中间颗粒，表明土的级配不好，其工程地质性质也较差。

在工程上，常利用累计曲线确定的土粒的两个级配指标值来判定土的级配情况。当同时满足不均匀系数 $C_u \geq 5$ 和曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 这两个条件时，土为级配良好的土；若不能同时满足，土为级配不良的土。

例如，图 1-2 中曲线 a ， $d_{10} = 0.11 \text{ mm}$ ， $d_{30} = 0.22 \text{ mm}$ ， $d_{60} = 0.39 \text{ mm}$ ，则 $C_u = 3.5$ ， $C_c = 1.13$ ，表明土样 a 为级配不良的土。

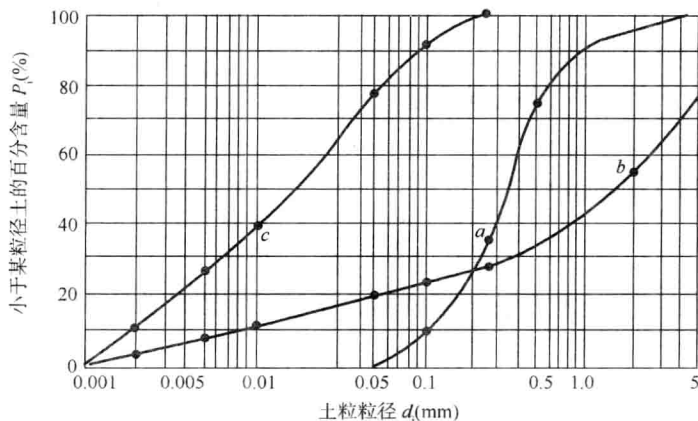


图 1-2 粒度成分累计曲线

(二) 土的液相

土中的水以不同形式和不同状态存在着，它们对土的工程性质的形成，起着不同的作用和影响。土中的水按其工程地质性质可分为结合水、自由水、气态水和固态水。

1. 结合水

黏土颗粒与水相互作用，在土粒表面通常是带负电荷的，在土粒周围就产生一个电场。水溶液中的阳离子，一方面受土粒表面的静电引力作用，一方面又受到布朗运动（热运动）的扩散力作用，这两个相反趋向作用的结果，使土粒周围的阳离子呈不均匀分布，其分布与地球周围的大气层分布相仿。在土粒表面所吸附的阳离子是水化阳离子，土粒表面除水化阳离子外，

还有一些水分子也为土粒所吸附,吸附力极强。土粒表面被强烈吸附的水化阳离子和水分子构成了吸附水层(也称为强结合水或吸着水)。在土粒表面,阳离子浓度最大,随着离土粒表面距离的加大,阳离子浓度逐渐降低,直至达到孔隙中水溶液的正常浓度为止。从土粒表面直至阳离子浓度正常为止,这个范围称为扩散层。当然,在扩散层内阴离子则为土粒表面的负电荷所排斥,随着离土粒表面距离的加大,阴离子浓度逐渐增高,最后阴离子也达水溶液中的正常浓度。土粒表面的负电荷和扩散层合起来称为双电层。

土粒表面的负电荷为双电层的内层,扩散层为双电层的外层。扩散层是由水分子、水化阳离子和阴离子所组成,形成土粒表面的弱结合水(也称为薄膜水)。图 1-3 为双电层的示意图。

强结合水紧靠土粒表面,厚度只有几个水分子厚,小于 $0.003\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m} = 0.001\text{mm}$),受到约 1000MPa (1 万个大气压) 的静电引力,使水分子紧密而整齐地排列在土粒表面不能自由移动。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, 100°C 不蒸发, -78°C 低温才冻结成冰,密度 $\rho_w = (1.2 \sim 2.4) \text{g}/\text{cm}^3$, 平均为 $2.0 \text{g}/\text{cm}^3$, 具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。当黏土只含强结合水时呈固体坚硬状态;砂土含强结合水时呈散粒状态。

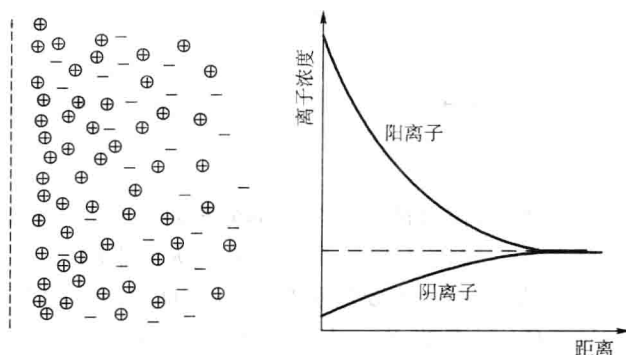


图 1-3 双电层示意图

弱结合水在强结合水外侧,呈薄膜状,也是由黏土表面的电分子力吸引的水分子,水分子排列也较紧密,密度 $\rho_w = (1.3 \sim 1.7) \text{g}/\text{cm}^3$, 大于普通液态水。弱结合水也不传递静水压力,呈黏滞体状态,也具有较高的黏滞性和抗剪强度,冰点在 $-20 \sim -30^\circ\text{C}$ 。其厚度变化较大,水分子有从厚膜处向较薄处缓慢移动的能力,在其最外围有成为普通液态水的趋势。此部分水对黏性土的影响最大。

2. 自由水

此种水离土粒较远,在土粒表面的电场作用以外,水分子自由散乱地排列,主要受重力作用的控制。自由水包括下列两种。

(1) 毛细水

这种水位于地下水水位以上土粒细小孔隙中,是介于结合水与重力水之间的一种过渡型水,受毛细作用而上升。粉土中孔隙小,毛细水上升高,在寒冷地区要注意由于毛细水而引起的路基冻胀问题,尤其要注意毛细水源源不断地将地下水上升产生的严重冻胀。

毛细水水分子排列的紧密程度介于结合水和普通液态水之间,其冰点也在普通液态水之下。毛细水还具有极微弱的抗剪强度,在剪应力较小的情况下会立刻发生流动。

(2) 重力水

这种水位于地下水水位以下较粗颗粒的孔隙中,是只受重力控制,水分子不受土粒表面吸引