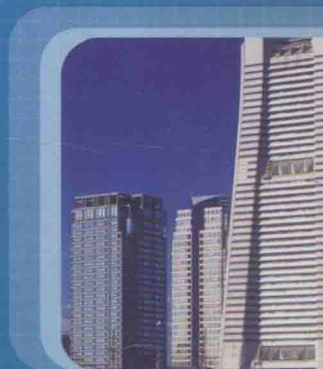




高等职业教育土建类专业规划教材

建筑地基与基础



JIANZHU DIJI YU JICHU

主 编 丰培洁
副主编 吴潮玮 周少乐
主 审 高大钊 [同济大学]



人民交通出版社
China Communications Press

高等职业教育土建类专业规划教材

Jianzhu Diji yu Jichu
建筑地基与基础

丰培洁 主 编

吴潮玮 周少乐 副主编

高大钊[同济大学] 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材是根据 2012 年高职高专“建筑工程技术”专业系列教学与教材研讨会讨论通过的教材编写大纲编写的规划教材。本书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、市政工程技术专业、城市轨道交通工程技术专业等专业的教材,也可供道路与桥梁工程、工程造价等专业师生及其他工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑地基与基础/丰培洁主编. —北京:人民交通出版社,2013. 8

高等职业教育土建类专业规划教材
ISBN 978-7-114-10667-5

I. ①建… II. ①丰… III. ①地基—基础(工程)—
高等职业教育—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 117086 号

高等职业教育土建类专业规划教材

书 名: 建筑地基与基础

著 作 者: 丰培洁

责任编辑: 丁润铎 尤晓暉

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16

字 数: 407 千

版 次: 2013 年 8 月 第 1 版

印 次: 2013 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10667-5

定 价: 40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

高等职业教育土建类专业规划教材编审委员会

主任委员：张玉杰(贵州交通职业技术学院)

副主任委员：刘孟良(湖南交通职业技术学院)

陈晓明(江西交通职业技术学院)

易操(湖北城市建设职业技术学院)

委员：王常才(安徽交通职业技术学院)

徐炬平(安徽交通职业技术学院)

曹孝柏(湖南城建职业技术学院)

汪迎红(贵州交通职业技术学院)

张鹏(陕西交通职业技术学院)

丰培洁(陕西交通职业技术学院)

赵忠兰(云南交通职业技术学院)

田文(湖北交通职业技术学院)

李中秋(河北交通职业技术学院)

张颂娟(辽宁省交通高等专科学校)

刘凤翰(南京交通职业技术学院)

王穗平(河南交通职业技术学院)

杨甲奇(四川交通职业技术学院)

曹雪梅(四川交通职业技术学院)

霍轶珍(河套大学)

王颖(黑龙江工程学院)

沈健康(江苏建筑职业技术学院)

董春晖(山东交通职业学院)

裴俊华(甘肃林业职业技术学院)

高杰(福建船政交通职业学院)

莫延英(青海交通职业技术学院)

敬麒麟(新疆交通职业技术学院)

李轮(新疆交通职业技术学院)

秘书：丁润铎(人民交通出版社)

前 言

本教材是根据2012年高职高专“建筑工程技术”专业教学与教材研讨会讨论通过的规划教材,依照“项目(案例)教学法”及“学分制”的原则进行编写。

《建筑地基与基础》是建筑工程技术专业的一门主干专业课,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。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,本教材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,力求突出学生实践技能的培养,注重学生综合素质的提高。

本教材由陕西省交通职业技术学院丰培洁副教授担任主编,吴潮玮、周少乐担任副主编。全书由同济大学高大钊教授主审。各章编写分工如下:绪论、第一单元、第二单元、第四单元、第八单元、第九单元由陕西省交通职业技术学院丰培洁编写;第三单元、土工试验指导书由陕西省交通职业技术学院张省侠教授编写;第五单元由中冶京诚工程技术有限公司周少乐编写;第六单元由陕西省交通职业技术学院王占峰编写;第七单元由内蒙古河套大学陈瑄、陕西省交通职业技术学院吴潮玮编写。全书由丰培洁统稿。在本书的编写过程中,参考了大量国内外资料和部分教材、著作等文献,在此谨向文献的作者致谢!

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

2013年5月

目 录

绪论	1
第 1 单元 土的物理性质及工程分类	5
1.1 土的成因与组成	5
1.2 土的结构和构造	10
1.3 土的物理性质指标及物理状态指标	13
1.4 地基岩、土的工程分类	22
单元小结	24
思考题	25
实践练习	25
实践一 地基土野外鉴别	26
第 2 单元 土中应力计算	29
2.1 概述	29
2.2 土体中的自重应力	30
2.3 基底压力与基底附加应力	32
2.4 地基中的附加应力	35
单元小结	46
思考题	47
实践练习	47
第 3 单元 土的压缩性与地基沉降计算	49
3.1 概述	49
3.2 土的压缩性	49
3.3 地基的最终沉降量计算	55
3.4 地基变形与时间的关系	63
单元小结	66
思考题	67
实践练习	68
第 4 单元 土的抗剪强度与地基承载力	69
4.1 概述	69

4.2 莫尔—库仑破坏准则	70
4.3 抗剪强度指标的测定方法	73
4.4 地基承载力的确定	80
单元小结	88
思考题	88
实践练习	89
第5单元 土压力和土坡稳定	90
5.1 概述	90
5.2 静止土压力计算	92
5.3 朗金土压力理论	94
5.4 库仑土压力理论	99
5.5 土坡稳定分析	110
单元小结	116
思考题	117
实践练习	117
第6单元 天然地基上的浅基础	119
6.1 概述	119
6.2 浅基础的类型	120
6.3 基础埋置深度	126
6.4 地基承载力的确定	128
6.5 基础尺寸的确定	132
6.6 浅基础设计	136
单元小结	147
思考题	148
实践练习	149
实践二 浅基础设计	149
第7单元 桩基础及其他深基础	151
7.1 桩基础概述	151
7.2 单桩竖向承载力的确定	155
7.3 桩基承载力与沉降验算	157
7.4 单桩的水平承载力	161
7.5 桩基础设计	162
7.6 深基础简介	171
单元小结	179
思考题	179
实践练习	180
实践三 桩基础设计	180

第8单元 软弱土地基处理	182
8.1 概述	182
8.2 机械压实法	183
8.3 强夯法	186
8.4 换填法	189
8.5 预压法	192
8.6 挤密法和振冲法	194
单元小结	198
思考题	200
实践练习	201
实践四 地基处理	201
第9单元 区域性地基	202
9.1 湿陷性黄土地基	202
9.2 膨胀土地基	206
9.3 红黏土地基	212
9.4 冻土地基	213
9.5 山区地基	217
9.6 地震区地基基础	221
单元小结	226
思考题	228
附录1 《建筑地基与基础》课程试验指导	229
附录2 《建筑地基与基础》课程标准	242
参考文献	246

绪 论

0.1 建筑地基与基础的概念

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 5.0m)并需要借助于一些特殊的施工方法来完成的各种类型基础称为深基础。

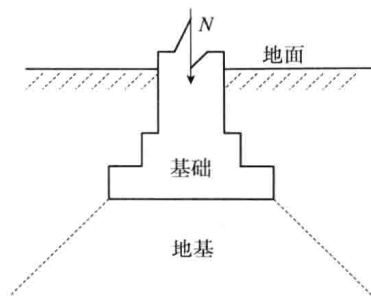


图 0-1 地基及基础示意图

地基和基础是建筑物的根基,属于隐蔽工程,它的勘察、设计和施工质量直接关系着建筑物的安危。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可观。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。

0.2 地基基础工程事故举例

综合分析可知,与地基基础有关的土建工程事故可主要概括为以下类型:地基发生不均匀沉降、地基产生整体剪切破坏、地基产生过量沉降以及地基土液化失效。

地基产生不均匀沉降示例主要有:①意大利比萨斜塔。该塔是意大利比萨大教堂的一座钟楼,1173年动工修建,当塔修建至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,意大利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。苏州虎丘塔建于959~961年期间,为七级八角形砖塔,塔底直径13.66m,高47.5m,重63000kN。塔建成后由于历经战火沧桑、风雨侵蚀,塔体损坏严重。为了使该名胜古迹安全留存,我国于1956~1957年期间对其进行了上部结构修缮,但修缮的结果使塔体重增加了约2000kN,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。相关部门于1983年对该塔进行了基础托换,使其不均匀沉降得以控制。因地基产生不均匀沉降而导致基础断裂、上部结构破坏的事例不胜枚举。

地基产生整体剪切破坏示例主要有: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。1月30日,该建筑物的沉降速度高达每小时4mm,晚8时许,大厦在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。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 $26^\circ53'$ 。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。该谷仓由于整体刚度极大,因此虽倾斜极为严重,但谷仓本身却完好无损。后于土仓基础之下做了70多个支承于下部基岩上的混凝土墩,使用了388个50t千斤顶以及支撑系统才把仓体逐渐扶正,但其位置比原来降低了近4.0m。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。

地基产生过量沉降示例主要有:①广深铁路K2+150段线路。我国广深铁路K2+150段线路位于广州市,该路段地处山涧流水地带,淤泥覆盖层较厚,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。路基的下沉不仅增加了该段铁路的维修保养作业量,更严重威胁着铁路列车的安全营运。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做任何处理,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时在5天时间里,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,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。

地基液化失效示例主要有: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。唐山市矿业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。

0.3 本课程的内容、特点及学习要求

《建筑地基与基础》是土建、公路、铁路、水利、地下建筑等专业的一门主干专业课。

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复杂多变。建筑物等的修建,会改变地层中原有的应力状态,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,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,这三部分都是彼此联系、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《建筑地基与基础》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,性质也是千差万别;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。

0.4 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人类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屹立不倒。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, 1773)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及施工方法的发展。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年美国人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。

新中国成立后的60多年来,我国在土力学与地基基础理论和工程实践方面,均取得了令世人瞩目的进步,为国民经济发展做出了巨大的贡献。随着建筑行业的发展,21世纪人类将面临资源和环境问题的挑战,有各种各样新的工程问题需要解决,所以本学科的理论尚待今后逐步发展和完善。

第1单元 土的物理性质及工程分类

单元重点:

- (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。

1.1 土的成因与组成

1.1.1 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、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,如长在岩石缝隙中的树,因树根伸展使岩石缝隙扩展开裂。而人们开采矿山、石材,修铁路打隧道,劈山修路等活动形成的土,其矿物成分没有变化。

1.1.2 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。

1) 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 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(以干土质量的百分比表示)。或者说土是由不同粒组以不同数量的配合,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质量占该土总干质量的百分比含量。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数,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,称出留在各级筛上土粒的质量,即为不同粒径粒组的土质量,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质量及累计百分含量。

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)和移液管法等。

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) 深度处考虑一小段 $m-n$,则 $m-n$ 段内的悬液中只有小于及等于 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。

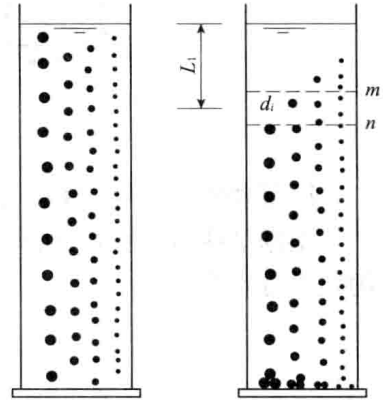


图 1-1 土粒沉降示意图

如果悬液体积为 1000cm^3 ,其中所含小于或等于 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} ——悬液中小于或等于 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

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

悬液中小于或等于 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;纵坐标为小于或等于某一粒径的土粒的累计百分数 P_i ,如图 1-2 所示。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为:

a. 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。

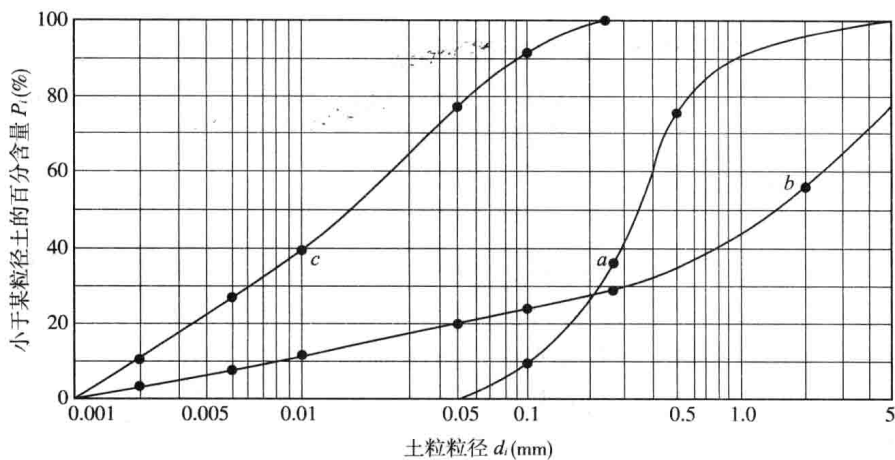


图 1-2 粒度成分累计曲线

b. 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 ,它们的定义分别为:

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

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

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分别为 10%、30% 和 60% 时所对应的粒径;其中, 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,还必须同时考虑曲率系数 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。

2) 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以下类型:

(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,另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。

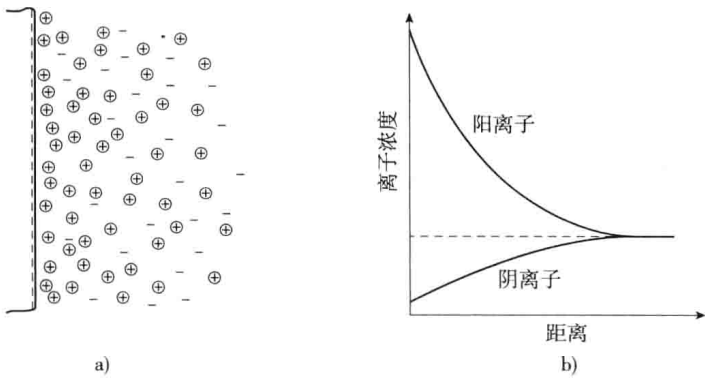


图 1-3 双电层示意图

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。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。

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。