



全国高等院校水利水电类精品规划教材

TULIXUE YU DIJI JICHU

土力学与地基基础

主编 刘传孝



黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

土力学与地基基础

主 编 刘传孝

副主编 王华敬 安淑红 吕振波

黄河水利出版社

· 郑州 ·

元 00.38; 价定

内 容 提 要

本书比较系统地阐述了土力学的基本理论,拓展了其在工程设计领域的应用,详细介绍了地基基础的基本原理,可用于指导地基处理与基础设计。全书共分12章,分别为绪论、土的物理性质及工程分类、土中水的运动规律、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力理论、土坡稳定分析、土的动力特性、岩土工程勘察、天然地基上浅基础设计、桩基础、地基处理与质量检验。各章均附思考题和习题,便于自学。

本书可作为水利水电工程、土木工程、结构工程、道路桥梁与渡河工程及交通工程等专业的教学用书,并可供相关领域的广大科技工作者及工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/刘传孝主编. —郑州:黄河水利出版社,2011.4

全国高等院校水利水电类精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0011 - 0

I. ①土… II. ①刘… III. ①土力学②地基 - 基础(工程) IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 050358 号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.5

字数:428千字

版次:2011年4月第1版

印数:1—4 100

印次:2011年4月第1次印刷

定价:38.00元

前 言

随着科学技术的迅猛发展,土力学理论与地基基础技术愈发显得重要。在地基与基础的设计中必须同时满足地基的强度和变形两个主要条件。土的物理性质、土中水的运动规律等直接影响到土的压缩性及其抗剪强度等工程力学特性,进而决定了地基沉降的科学计算方法,以及地基承载力的工程应用。本书以古典土压力理论为基础,指导挡土墙的设计,将土压力理论应用于土坡稳定分析等一般工程问题的处理;研究土的动力响应,提出地基土的振动液化等问题的防治措施。进行岩土工程勘察是工程师设计优良方案的基本依据。贯彻基础与上部结构共同作用的理念,考虑土—地基—基础的协同作用,以相关规范、标准为前提,进行浅基础和桩基础等深基础的设计。最后本书介绍了地基土工程性状的改善措施,以及地基处理后的工程质量检验方法。

在本书的编撰过程中,参阅了大量优秀的同类教材,力求重点突出、注重实用、深入浅出。为了便于自学,本书的主要章节均设置了相应的例题,章末附有思考题和习题。

本书的编写人员及分工如下:山东农业大学刘传孝与吕振波编写绪论及第4、8、10章;山东农业大学王华敬编写第2、3、5、6章;山东农业大学安淑红编写第1、7、9章;华北水利水电学院周敏编写第11章。董涛及研究生张加旺、贺加栋、黄东辰等参与了大量的资料收集与整理工作。

限于作者水平,书中不当之处在所难免,敬请读者朋友提出宝贵意见。

作 者
2011年1月

目 录

前 言

0 绪 论	(1)
0.1 土力学与地基基础学科发展简史	(1)
0.2 土力学与地基基础课程的性质	(1)
0.3 土力学与地基基础课程的任务	(2)
0.4 地基基础工程实例	(3)
第1章 土的物理性质及工程分类	(5)
1.1 土的组成、结构及构造	(5)
1.2 土的物理性质指标	(15)
1.3 土的物理状态指标	(21)
1.4 土的工程分类	(26)
思考题	(34)
习 题	(35)
第2章 土中水的运动规律	(36)
2.1 土中水的毛细现象与土的冻融	(36)
2.2 土的渗透性	(40)
2.3 渗流力及渗流稳定分析	(46)
2.4 土的有效应力原理与孔隙水压力	(51)
2.5 土的稳定渗流及其流网解法	(53)
思考题	(58)
习 题	(58)
第3章 土的压缩性与地基沉降计算	(59)
3.1 地基中的应力	(59)
3.2 土的压缩性及压缩性指标	(73)
3.3 地基沉降的计算方法	(78)
3.4 饱和黏性土地基沉降与时间的关系	(83)
思考题	(87)
习 题	(87)
第4章 土的抗剪强度与地基承载力	(89)
4.1 土的抗剪强度与极限平衡条件	(89)
4.2 土的抗剪强度试验方法	(92)
4.3 地基极限承载力	(97)
4.4 地基承载力的确定	(100)

思考题	(107)
习 题	(108)
第5章 土压力理论	(109)
5.1 土压力的类型	(109)
5.2 静止土压力计算	(110)
5.3 朗肯土压力理论	(111)
5.4 库仑土压力理论	(118)
5.5 土压力计算方法的讨论	(123)
5.6 挡土墙设计	(124)
思考题	(130)
习 题	(131)
第6章 土坡稳定分析	(132)
6.1 无黏性土的土坡稳定分析	(132)
6.2 黏性土的土坡稳定分析	(135)
6.3 土坡稳定的影响因素分析	(140)
思考题	(142)
习 题	(142)
第7章 土的动力特性	(143)
7.1 动荷载作用下土的变形和强度特征	(143)
7.2 土的振动液化	(153)
7.3 土的击实效果分析	(162)
思考题	(169)
习 题	(170)
第8章 岩土工程勘察	(171)
8.1 岩土工程勘察的任务及其阶段划分	(171)
8.2 岩土工程勘察方法	(176)
8.3 岩土工程勘察报告	(181)
8.4 验 槽	(182)
思考题	(183)
习 题	(183)
第9章 天然地基上浅基础设计	(185)
9.1 概 述	(185)
9.2 地基基础分类	(186)
9.3 基础埋置深度的选择	(190)
9.4 刚性基础底面尺寸设计	(193)
9.5 减轻地基不均匀沉降的措施	(201)
思考题	(208)
习 题	(208)

第 10 章 桩基础	(209)
10.1 桩的类型	(209)
10.2 单桩竖向承载力	(214)
10.3 桩基水平承载力试验	(219)
10.4 桩基础设计	(220)
10.5 沉井基础	(226)
10.6 地下连续墙	(232)
10.7 锚杆静压桩	(233)
10.8 树根桩	(235)
思考题	(236)
习 题	(237)
第 11 章 地基处理与质量检验	(238)
11.1 概 述	(238)
11.2 浅层地基开挖置换法	(241)
11.3 深层地基的挤密法	(245)
11.4 地基处理的排水固结法	(258)
11.5 地基处理的化学加固法	(266)
11.6 地基的加筋处理法	(281)
思考题	(284)
习 题	(285)
参考文献	(286)

0 绪论

0.1 土力学与地基基础学科发展简史

新石器时代,人类已经开始建造原始的地基基础,历史以来积累了丰富的地基处理经验,诸如万里长城、大运河、赵州桥、古宫殿、古寺庙及古塔等建筑,基础坚固,留存至今。

1773年,法国科学家库仑(Coulomb)发表了著名的滑动楔体理论,1776年发表了土的抗剪强度理论,指出黏性土的强度由黏聚力和摩擦力两部分组成,根据试验创立了著名的土的抗剪强度的库仑定律和土压力理论。

1857年,英国科学家朗肯(Rankine)假定挡土墙后土体为均匀的半无限空间体,应用塑性理论来解土压力问题,提出了又一种土压力理论。

1885年,法国科学家布辛奈斯克(Boussinesq)在研究半无限空间体表面作用有集中力情况下,提出了土中应力的解析解,是竖直分布荷载下应力计算的基础。

1922年,瑞典科学家费伦纽斯为解决铁路滑坡,完善了土坡稳定分析圆弧法。

1925年,美国土力学家太沙基发表了第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。

1936年起,每隔4年召开一次国际土力学和基础工程会议,各地区也召开了类似的专业会议。

1955年,毕肖普(Bishop)提出了在土坡稳定计算中考虑竖向条间力的方法,应用有效强度指标计算土坡稳定性。

20世纪50年代后期,詹布(Janbu)与摩根斯坦(Morgenstern)等相继提出了考虑条间力、滑动面取任意形状的土坡稳定计算方法,在强度理论、强度计算等方面进一步发展了莫尔-库仑准则。

近年来,由于土木工程建设的需要,尤其是计算技术和手段的引入,使得土力学与基础工程学科得到了快速发展。目前,已经把变形和强度问题统一起来进行分析,并可考虑土的非线性应力应变性状。基础工程和地基处理技术,无论在理论上还是在施工技术方面,发展前景都很广阔。

0.2 土力学与地基基础课程的性质

土力学是一门以土体作为研究对象,研究与土的工程问题有关的学科,属于岩土工程学科的重要组成部分,是工程力学与地质学有机结合的边缘学科;基础工程则是土力学理论在土木工程中的具体应用。因此,土力学与地基基础是土木工程学科的重要专业基础课,是岩土工程学科的重要专业课。

首先要明确土力学与地基基础学科的基本概念。

地基 承受建筑物基础、上部结构及回填土荷载的土层或岩层。

基础 建筑物整体结构的地下部分,其作用是将上部荷载扩散、传递给地基。

土力学 用力学的基本原理和土工测试技术,研究土的物理性质以及所受外力发生变化时土的应力、变形、强度和渗透等特性及其规律的一门学科,即研究土的工程性质和在力系作用下土体性状的学科。由于土具有复杂的工程特性,在解决土工问题时尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严谨的数学公式,必须借助经验、现场试验和室内试验,并辅以理论计算,因此土力学是一门强烈依赖于实践的学科,它研究土的本构关系以及土与结构物相互作用的规律,即土的应力、应变、强度和强度这四个变量之间的内在关系。

土力学与地基基础是一门实践性和理论性均较强的课程。由于地基土形成的自然条件各异,其性质千差万别,不同地区的土有不同的特性,即使是同一地区的土,其特性在水平方向和深度方向也可能存在较大的差异。所以,一个最优的地基基础设计方案更依赖于完整的地质、地基土资料和符合实际情况的周密分析。注重调查、加强勘探测试、加强实践、采用信息并积累经验,地基土的工程特性是可知的。注重对经典力学理论的借鉴和经验的系统化,便形成了地基基础设计的理论工具。

同时,土力学与地基基础课程具有知识更新周期较短的特点,随着建筑、交通等相关行业的迅速发展,该学科不断面临新的问题,如基础型式的创新、地下空间的开发、软土地基的处理、新的土工合成材料的应用等,导致新技术、新理论不断涌现,且往往是实践领先于理论,并促使理论不断更新和完善。

0.3 土力学与地基基础课程的任务

土力学与地基基础学科所要经常面对的问题,包括建筑物倾斜、地基下沉、地基滑动、地基溶蚀、地基液化、地基基础冻胀、基础开裂、基槽变位滑动、土坡滑动及墙体开裂等。土力学与地基基础课程的主要任务是为土木工程专业学生比较全面、深入地讲述土体的三相理论、变形理论、强度理论、渗透理论及其在工程中的应用的基本原理和基本方法。课程的具体任务包括:

第1章,土的物理性质及工程分类:讨论土的物质组成及其定性、定量描述的方法,包括土的三相组成、土的三相指标,黏性土的界限含水量、砂土的密实度和土的工程分类。

第2章,土中水的运动规律:介绍土中水的毛细现象、土的冻胀,达西渗流定律以及渗透力引起的破坏,有效应力原理,介绍二维流网的基本方程及其特征。

第3章,土的压缩性与地基沉降计算:首先学习土的自重应力和土中附加应力的计算,之后研究土的压缩性,掌握衡量土的压缩性的指标、应力历史对沉降的影响,介绍分层总和法的计算方法以及规范上介绍的沉降计算方法,最后介绍太沙基一维固结理论。

第4章,土的抗剪强度与地基承载力:了解地基强度的意义与土的强度在工程中的应用,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。计算地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载,掌握其物理意义和

工程应用。

第5章,土压力理论:主要介绍土压力的类型、计算方法以及挡土墙的设计,掌握静止土压力、主动土压力、被动土压力的形成条件、基本概念,掌握各种条件下挡土墙朗肯和库仑土压力理论的计算方法,初步具备将土压力理论应用于一般工程问题的能力。

第6章,土坡稳定分析:掌握人工土坡和天然土坡的概念,了解土坡失稳的原因,重点学习和掌握无黏性土和黏性土土坡稳定性分析,熟悉和掌握边坡稳定分析的总应力法和有效应力法。

第7章,土的动力特性:基于动荷载及土动力特性的基本概念,阐述在动荷载作用下砂性土振动液化和土的击实性,了解动荷载作用下土的变形和强度特征,掌握砂性土振动液化的形成机制、影响因素、判别方法及防治措施。

第8章,岩土工程勘察:了解岩土工程勘察的目的、内容和方法,了解岩土工程勘察报告文字与图表的内容及应用。

第9章,天然地基上浅基础设计:熟悉地基基础的设计原则、基础选型与基础埋置深度的确定,掌握地基承载力特征值的确定、基础底面积的确定、地基持力层和软弱下卧层承载力的验算,掌握钢筋混凝土墙下条形基础、柱下独立基础和条形基础的设计,了解筏形基础和箱形基础的设计,了解地基基础与上部结构共同作用的概念。

第10章,桩基础:了解桩基础和深基础的特点及适用条件,了解桩的类型,掌握单桩竖向承载力等的设计,介绍多种类型的其他深基础。

第11章,地基处理与质量检验:掌握各种地基加固、补强等技术措施,改善地基土的工程性状,以满足工程要求。掌握地基处理措施实施后的工程质量检验手段与方法。

在地基与基础设计中必须同时满足地基的强度条件和地基的变形条件,建筑物的安全使用才会有保障。

0.4 地基基础工程实例

意大利比萨斜塔是举世闻名的建筑物倾斜的典型实例,如图0-1所示。

意大利比萨斜塔的塔身呈圆筒形,1~6层由优质的大理石砌成,顶部7~8层采用砖和轻石料。塔身每层都有精美的圆柱与花纹图案,是一座宏伟而精致的艺术品。1590年,伽利略曾在此塔上做落体实验,创建了物理学上著名的自由落体定律。斜塔成为世界上最珍贵的历史文物,吸引着无数来自世界各地的游客。

1173年9月8日,意大利比萨斜塔动工,至1178年建至第4层中部、高度约29m时,因塔身明显倾斜而停工。94年后的1272年复工,经6年时间,建完第7层,高48m,再次停工,中断82年。1360年再次复工,至1370年竣工。全塔共8层,高55m。

历史以来,意大利比萨斜塔向南倾斜,南北两端沉降差1.80m,塔顶偏离中心线达5.27m,倾斜 5.5° ,成为危险建筑。据此,意大利比萨斜塔于1990年被封闭。

为拯救这座标志性建筑,意大利政府成立了由14名专家组成的拯救委员会,于1990年开始,耗资4000万美元,历时约17年,于2007年6月27日宣布拯救工程取得巨大成功。

第1章 土的物理性质及工程分类

学习指导

本章主要讨论土的物质组成及其定性、定量描述的方法,包括土的三相组成、土的三相指标,黏性土的界限含水量、砂土的密实度和土的工程分类。

学习目标

了解土的成因和组成;掌握土的物理性质指标;熟练掌握无黏性土和黏性土的物理状态及指标;掌握土的工程分类原则,土的类别与其工程特性的关系。

学习重点

土的物理性质和土的物理性质指标的计算方法,能够根据土的工程分类原则准确判断土的工程类别。

1.1 土的组成、结构及构造

土是由岩石经过物理风化和化学风化作用后的产物,由固体颗粒和颗粒之间的孔隙组成,孔隙又被水和气体充满,因此土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体系,通常称为土的三相组成。土颗粒与颗粒之间的互相联结或架叠构成土的骨架,当土骨架的孔隙全部被水充满时,这种土称为饱和土;当土骨架的孔隙仅含空气时,这种土称为干土。这两种特殊土均为二相体系。大部分地面以下地下水位以上一定深度内的土,孔隙中既有水又有空气,为三相体系土,亦称为湿土。

研究表明,随着三相物质即固体颗粒、水和空气的质量及体积的比例不同,土的性质也将发生很大的变化。

1.1.1 土的组成

1.1.1.1 土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土的骨架最基本的物质,称为土粒。对土粒应从土的矿物成分、黏土矿物的晶体结构、土的颗粒大小及颗粒级配来描述。

1) 土的矿物成分

形成土粒的矿物成分主要取决于成土母岩的矿物及其风化作用的类型。土中的矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。原生矿物是指岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等,经物理风化作用形成土粒,土粒通常由一种或几种原生矿物组成,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。次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物,如三氧化

二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、黏土矿物(包括蒙脱石、伊利石和高岭石)以及碳酸盐等,其成分与母岩完全不同。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,含水率的变化易引起体积胀缩,具塑性。

2) 黏土矿物的晶体结构

黏土矿物是次生矿物中数量最多的一种,是由各种硅酸盐矿物分解形成的含水铝硅酸盐矿物,其颗粒都极细小,是黏粒组中的主要矿物成分。黏土矿物种类繁多,其结构可分为晶体和非晶体两大类,以晶体矿物为主,非晶体矿物很少。所谓晶体,是指原子、离子在空间有规律的排列,不同的几何排列形式称为晶体结构,组成晶体结构的最小单元称为晶胞。黏土矿物晶胞构成的土粒主要由硅-氧四面体和铝(镁)-氢氧八面体两种基本结构单元组成。硅-氧四面体由一个硅原子与四个氧原子组成,硅原子在四面体的中心,氧原子在四面体的顶点,硅原子与各氧原子之间的距离相等,见图 1-1(a)。

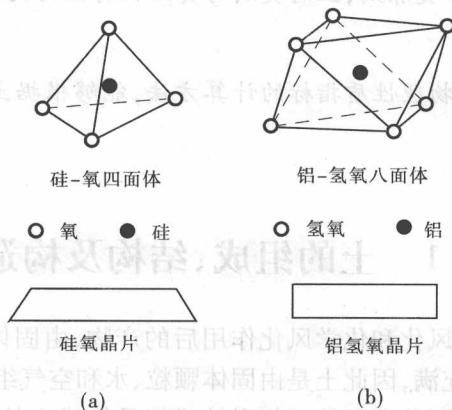


图 1-1 黏土矿物的晶片

四面体底面的每个氧原子为相邻两个单元内的硅原子所共有。正因为有这种共有的原子,才组成了具有六边形底面的硅片。铝-氧八面体的六个顶点为氢氧原子团,铝原子居于八面体中央,如图 1-1(b)所示。当每个氢氧离子为两个相邻单元内的铝原子所共用时,就组成铝片。

高岭石是长石风化的产物,由一层硅-氧四面体和一层铝-氢氧八面体相互叠加而成(1:1型晶胞)。蒙脱石则为两层四面体中间夹一层八面体组成一个晶胞(2:1型晶胞),晶胞之间的联结力很弱,水分子极易进入,故有遇水膨胀的特性。伊利石同蒙脱石一样,也是三层结构,所不同的是晶胞之间有钾(钠)离子存在,故联结力较强,如图 1-2 所示。

不同的黏土矿物都是由以上两种基本结构单元组成的,只是具有不同的组成形式而已。有时中心原子会被其他原子置换,其结构形式不变,但其物理化学性质将发生变化,形成不同的矿物,这种现象叫做同像转换作用。

3) 土的颗粒大小及颗粒级配(粒度成分)

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,由无数大小不同的土粒组成,土粒的大小称为粒度。要逐个研究土粒的大小是不可能的,也没有必要,工程上常把工程性质相近的土粒

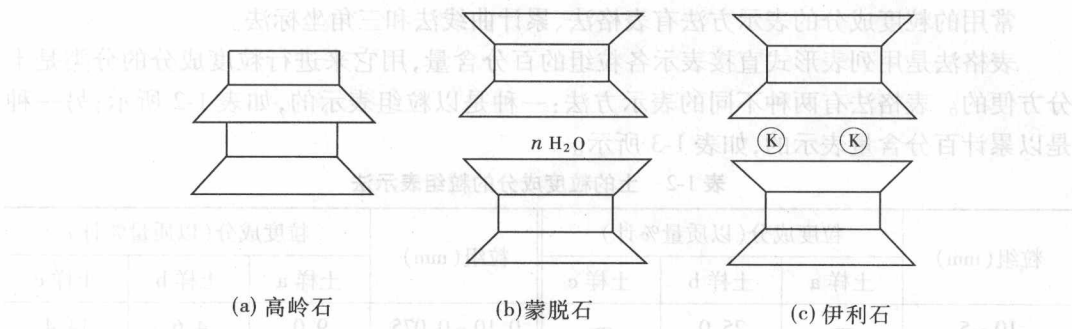


图 1-2 黏土矿物的构造单位

合并为组,称为粒组,并给以常用名称。用不同粒径颗粒的相对含量来描述土的颗粒组成情况,这种指标称为粒度成分。

a. 土的粒组划分

粒组间的分界线是人为划定的,划分时应使粒组界限与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。工程上广泛采用的粒组有漂石、卵石、砾、砂、粉粒、黏粒等。

对粒组的划分,各个国家,甚至一个国家中的各个部门都有不同的规定。我国《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)和《水利水电工程土工试验规程》(DL/T 5355—2006)中的粒组划分标准相同,可参见表 1-1。

表 1-1 粒组划分与名称

粒组划分与名称			粒径 d 的范围(mm)
巨粒	漂石(块石)		$d > 200$
	卵石(碎石)		$200 \geq d > 60$
粗粒	砾 (圆砾、角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒	粉粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	黏粒		$d \leq 0.005$

b. 土的粒度成分及其表示方法

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),它可用以描述土中不同粒径土粒的分布特征,又称土的颗粒级配。土的级配好坏将直接影响到土的工程性质。

常用的粒度成分的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

表格法是用列表形式直接表示各粒组的百分含量,用它来进行粒度成分的分类是十分方便的。表格法有两种不同的表示方法:一种是以粒组表示的,如表 1-2 所示;另一种是以累计百分含量表示的,如表 1-3 所示。

表 1-2 土的粒度成分的粒组表示法

粒组 (mm)	粒度成分 (以质量% 计)			粒组 (mm)	粒度成分 (以质量% 计)		
	土样 a	土样 b	土样 c		土样 a	土样 b	土样 c
10 ~ 5	—	25.0	—	0.10 ~ 0.075	9.0	4.6	14.4
5 ~ 2	1.1	20.0	—	0.075 ~ 0.01	—	8.1	37.6
2 ~ 1	6.0	12.3	—	0.01 ~ 0.005	—	4.2	11.1
1 ~ 0.5	16.4	8.0	—	0.005 ~ 0.001	—	5.2	18.9
0.5 ~ 0.25	41.5	6.2	—	< 0.001	—	1.5	10.0
0.25 ~ 0.10	26.0	4.9	8.0	—	—	—	—

表 1-3 土的粒度成分的累计百分含量表示法

粒径 d_i (mm)	粒度成分 (以质量% 计)			粒径 d_i (mm)	粒度成分 (以质量% 计)		
	土样 a	土样 b	土样 c		土样 a	土样 b	土样 c
10	—	100.0	—	0.10	9.0	23.6	92.0
5	100.0	75	—	0.075	—	19.0	77.6
2	98.9	55	—	0.01	—	10.9	40.0
1	92.9	42.7	—	0.005	—	6.7	28.9
0.5	76.5	34.7	—	0.001	—	1.5	10.0
0.25	35.0	28.5	100.0	—	—	—	—

累计曲线法是最常用的粒度成分表示方法,它是一种图示的方法,通常用半对数纸绘制,横坐标(按对数比例尺)表示某一粒径,纵坐标表示小于某一粒径的土粒的累计百分含量,如图 1-3 所示。

由累计曲线不仅可以直观地判断土中各粒组的分布情况以及土的连续性,还可以根据曲线的坡度陡缓判断土的级配好坏。如图 1-3 所示,曲线 a 表示级配连续的土,绝大部分是由砂粒组成的,曲线的坡度较陡,可知粒径分布范围较窄,组成土的颗粒比较均匀;而曲线 b 表示级配连续的土,由各种粒组的土粒组成,曲线的坡度较缓,可知该土粒径分布范围较广,组成土的颗粒是极不均匀的;曲线 c 仍为级配连续的土,是主要由细颗粒组成的黏性土,土中砂粒极少,曲线的坡度较陡,粒径分布范围较窄;曲线 d 呈台阶形,表示该土缺失中粒径,为级配不连续。

在累计曲线上,可确定两个描述土的级配的指标。

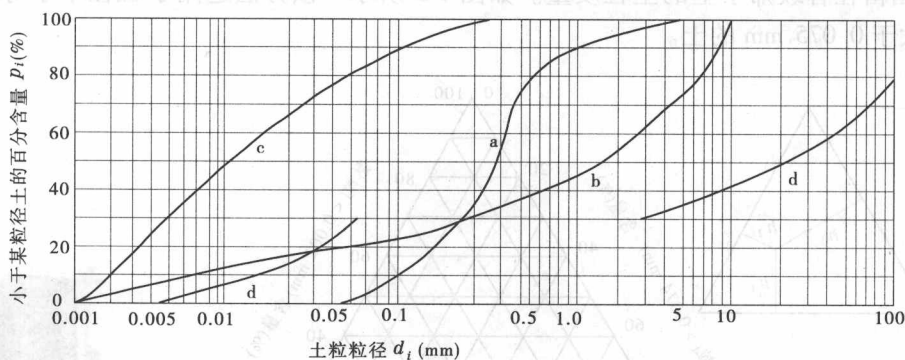


图 1-3 土粒的累计曲线

不均匀系数:

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

曲率系数:

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

式中的 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别相当于累计百分含量为 10%、30% 和 60% 的粒径, d_{10} 称为有效粒径, d_{60} 称为限制粒径。

从定义可知, 不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况, C_u 越大, 表示粒组分布范围越大。一般认为, $C_u < 5$ 的土称为均粒土, 级配不良; $C_u > 10$ 的土级配良好。但如 C_u 过大, 表示可能缺失中间粒径, 属不连续级配, 故单独用 C_u 来确定土的级配情况是不够的, 需同时考查累计曲线的整体形状, 即兼顾曲率系数值。

工程上认为, 同时满足不均匀系数 $C_u > 5$ 与曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时, 土为良好级配土; 若不能同时满足, 则为级配不良土。

三角坐标法可用来表达三种粒组的含量。三角形坐标是由等边三角形组成的, 如图 1-4 所示。在几何上已知等边三角形内任一点到三角形各边的垂直距离之和为一常数, 等于三角形之高。如取三角形的高 $H = 100\%$, h_1 为黏土颗粒的含量, h_2 为砂土颗粒的含量, h_3 为粉土颗粒的含量。其中 m 点即表示土中黏粒、粉粒及砂粒的百分含量分别为 23.0%、47.0% 和 30.0%。在道路工程、水利工程中, 三角坐标法是常用的方法。

c. 颗粒分析试验

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, 称为土的颗粒分析试验。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之用。对于粗粒土可以采用筛分法, 而对于细粒土 (粒径小于 0.075 mm) 则必须用沉降分析法测定其粒度成分, 当土中粗细粒兼有时, 则可两种方法联合使用。

筛分法是利用一套不同孔径的标准筛, 筛子的孔径分别为 20、10、5、2、1、0.5、0.25、0.1、0.075 mm, 将这套孔径不同的筛子, 按从上至下筛孔逐渐减小放置, 将事先称过质量的烘干土样放在依次叠好的最上面一层筛中, 置于振筛机上充分振摇, 把各种粒组分离出

来并称出留在各级筛子上的土粒质量。如图 1-5 所示。该方法适用于粒径小于等于 60 mm 且大于 0.075 mm 的土。

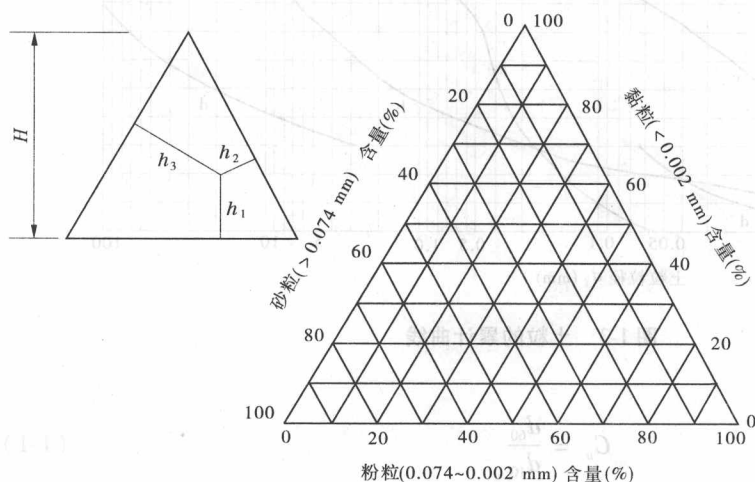


图 1-4 粒组含量的三角坐标法



图 1-5 振筛机

沉降分析法是根据土粒在悬液中沉降的速度与粒径的平方成正比的司笃克斯 (Stokes) 公式, 来确定各粒组相对含量的方法。实际上, 土粒并不是球形颗粒, 因此用该公式计算的并不是实际土粒的尺寸, 而是与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径, 称为水力直径。

用沉降分析法测定粒度成分, 如图 1-6 所示。

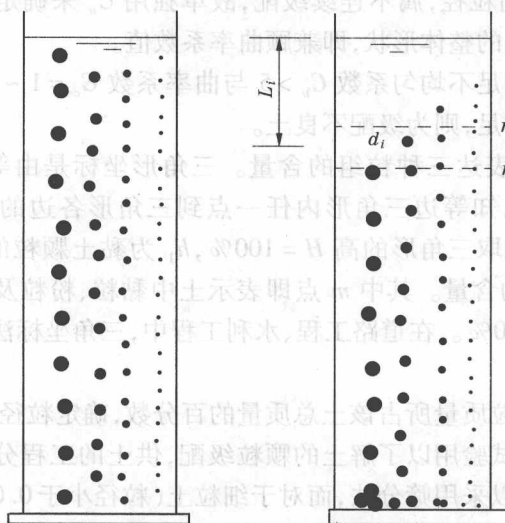


图 1-6 土粒沉降分析法

将一定质量 (m_s) 的干土制成一定体积 (V) 的悬液, 在搅拌均匀并停止搅拌时开始计时, 经一定时间 (t_i) 在液面下某个深度 (L_i) 测定该深度处悬液的浓度 (ρ_i)。根据司笃克