

Soil Mechanics and Foundation Improvement

王保田 张福海 主编

土力学 与 地基处理



河海大学出版社

TU43
W-163

土力学与地基处理

Soil Mechanics and Foundation Improvement

主编 王保田 张福海

河海大学出版社

·南京·

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基处理/王保田,张福海主编. —南京:
河海大学出版社, 2005. 3

ISBN 7-5630-2085-3

I. 土... II. ①王... ②张... III. ①土力学—高等
学校—教材 ②地基处理—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 021565 号

书 名/土力学与地基处理

书 号/ISBN 7-5630-2085-3/TV·256

责任编辑/周 萍

封面设计/杭永鸿

出 版/河海大学出版社

地 址/南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话/(025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

印 刷/扬州市印刷有限公司

开 本/787mm×1092mm, 1/16 20.25 印张 512 千字

版 次/2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

定 价/30.00 元

前 言

在1980~1994年期间,河海大学岩土工程学科先后编写了《土力学》和《土力学与地基基础》两本以水利为特色,兼顾交通、土木学科的全日制本科教材,获得了很高的评价。1994年至今,土力学和地基基础的理论与实践都有很大发展,其中基础工程已经成为一门单独的学科。运用土力学理论,许多新的地基处理方法涌现出来,并在工程中得到了广泛的应用。为了反映近年的研究成果和系统反映土力学与地基处理的有机联系,在吸收前人工作的基础上,编者把土力学和地基处理内容包括在本教材中,而基础工程部分的内容不在本教材中涉及。

本教材读者的对象主要是土木、水利、交通类各专业的本科学生,同时,还可作为土木工程、水利工程和岩土工程工作者的参考书。其特点是比较严密地阐述了土力学经典理论,试图从机理上说明常用的地基处理方法并给出设计、计算和质量验收方法及验收标准,以利于新的地基处理方法推广和判断各种地基处理方法的合理性和实用性。与兄弟院校的土木类土力学教材相比,本教材对于土力学的基本理论的叙述更加详细,对难点理论的阐述更加明了,适当增加了复习式习题数量,因此更适合自学。本教材较多地反映了岩土工程规范和其他土工建筑设计规范的内容,使其具有工具书的功能。

本教材各章节的安排,在土力学部分基本上与河海大学编写的《土力学》(第2版)本科使用教材相同。近年来,由于土木、水利、交通工程飞跃发展,以土为建筑材料的填方工程大量涌现,填土的碾压和质量控制受到极大关注,本书特地编写了一章反映填土的碾压和压实土的工程性质的内容。地基处理部分由第十章概述其主要内容,给出了地基处理设计过程中,选择地基处理方法的原则,第十一章到第十五章每章介绍一类地基处理方法。地基处理部分包含了许多近年来的研究成果,有些可能需要经历更多工程的考验,但笔者仍把它们编入教材,希望读者在实践中帮助进一步完善。地基处理乃是技术性甚至艺术性很强的学科,随着实践的继续,旧的方法将不断地被新的方法和新的工艺所代替。

本教材由王保田教授负责编写大纲、拟定各章节内容和要求。具体编写分工为:第一章、第五章、第六章、第七章和第九章由王保田教授编写;第二章、第八章、第十章、第十二章和第十

三章由张福海讲师编写;第三章和第四章由吴跃东副教授编写;第十四章由李国维高级工程师编写;第十一章和第十五章由张文慧讲师编写。全书统筹和校对工作由王保田、张福海完成。

本教材承蒙周萍教授审阅并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。河海大学出版社责任编辑周萍硕士为本书编排、校对和封面设计等作了大量辛苦细致的工作,笔者向她表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,可能存在选材不当甚至内容错误等问题,请读者不吝赐教。

编 者

2004年10月于南京

目 录

绪 论	1
第一章 土的物理性质与工程分类	3
第一节 土的形成	3
第二节 土的组成	4
第三节 土的结构	13
第四节 土的物理性质指标	15
第五节 土的物理状态指标	21
第六节 土的工程分类	26
复习思考题	32
习题	32
第二章 土的渗透性和渗透变形	35
第一节 概述	35
第二节 达西渗透定律	35
第三节 渗流力和有效应力原理	39
第四节 渗透变形	42
复习思考题	47
习题	47
第三章 地基中的应力	48
第一节 概述	48

第二节	地基中的自重应力	48
第三节	基底压力	50
第四节	空间问题条件下地基中的附加应力计算	55
第五节	平面问题条件下地基中的附加应力计算	65
	复习思考题	70
	习题	70
第四章	土的压缩性与基础沉降	72
第一节	概述	72
第二节	土的压缩特性	72
第三节	单向压缩量公式	80
第四节	基础沉降计算的 $e-p$ 曲线法	81
第五节	基础沉降计算的 $e-\lg p$ 曲线法	87
第六节	土的单向固结理论	93
第七节	沉降计算中有关问题的讨论	101
	复习思考题	104
	习题	105
第五章	土的抗剪强度	107
第一节	概述	107
第二节	抗剪强度的概念与库仑强度理论	108
第三节	莫尔应力圆和莫尔-库仑强度理论	110
第四节	土的抗剪强度试验	114
第五节	三轴压缩试验中的孔隙应力系数	120
第六节	剪切试验中土的强度和变形性状	122
	复习思考题	135
	习题	136
第六章	挡土结构物上的土压力	138
第一节	概述	138
第二节	静止土压力计算	139
第三节	朗肯土压力理论	141
第四节	库仑土压力理论	149
第五节	土压力问题的讨论	155
第六节	工程中挡土墙的土压力计算	156
	复习思考题	162
	习题	162

第七章 边坡稳定分析	165
第一节 概述	165
第二节 无粘性土土坡稳定分析	167
第三节 粘性土土坡整体圆弧滑动及条分法	168
第四节 瑞典条分法	172
第五节 毕肖普条分法	177
第六节 非圆柱滑动面边坡稳定分析	181
第七节 讨论	184
复习思考题	188
习题	188
第八章 地基承载力	189
第一节 地基破坏形式与承载力	189
第二节 按塑性区开展深度计算地基承载力	190
第三节 用极限平衡理论计算地基承载力	194
第四节 规范方法确定地基承载力	201
第五节 影响地基承载力的因素	205
复习思考题	207
习题	207
第九章 土的压实与压实土的性质	209
第一节 粘性土的压实	209
第二节 无粘性土和石料的压实	212
第三节 压实对土石料工程性质的影响	215
第四节 压实机械和填筑质量控制	218
复习思考题	220
习题	220
第十章 软弱土地基的工程问题与地基处理原则	221
第一节 软弱土地基的特性及其工程问题	221
第二节 常用的地基处理方法分类	223
第三节 选择地基处理方案的基本原则	225
复习思考题	227
第十一章 换土垫层法	228
第一节 换土垫层的作用	228
第二节 换土垫层的设计	229
第三节 垫层施工与质量检验	235
习 题	240

第十二章 排水固结法	241
第一节 基本原理	241
第二节 堆载预压法	244
第三节 真空预压法	249
第四节 质量检验	251
复习思考题	256
第十三章 复合地基	257
第一节 基本原理	257
第二节 碎石桩和砂桩	258
第三节 深层搅拌桩和粉喷桩	269
第四节 土(或灰土、粉煤灰)桩	274
第五节 复合地基承载力校验与沉降计算	277
复习思考题	281
第十四章 强夯法	283
第一节 基本原理	283
第二节 强夯法设计与施工	286
第三节 强夯置换复合地基	290
第四节 质量检验与现场试夯	292
复习思考题	296
第十五章 加筋土与锚杆技术	297
第一节 加筋土的加固机理	297
第二节 加筋土的应用	298
第三节 土层锚杆	302
第四节 锚固工程试验	309
复习思考题	313

绪 论

在土木、水利、交通等学科的各专业教学中,土力学是一门专业基础课,地基处理通常作为专业选修课。随着地基处理技术的系统化和理论分析的精确化渐趋成熟,地基处理已经成为岩土工程领域发展最快的分支学科。

地球上的任何建筑物都是建造在地球表面或地壳浅部,建筑物基础以下的土体在承受建筑物荷载后,将使土体的应力场发生改变,从而使土体发生变形或破坏。土力学研究土体在外力作用下的变形和强度特性,以及运用土的变形和强度理论,分析建筑物沉降和稳定问题。

土体是岩石风化的产物,形成环境复杂,造成土的物理力学性质比人工材料或单一的工程材料复杂得多。土力学的学习,除了要掌握一般力学原理分析方法外,特别需要重视土的特殊性质。到目前为止,土力学虽然有了比较系统的理论分析方法,实际上所有理论对土的性质描述都不够严密和完善。因此土力学特别强调试验技术,只有当试验过程与工程加载过程接近,用试验获得的参数计算土体对工程荷载的响应才比较符合实际情况。

土力学的特点可以归纳为以下几点:

1. 它是一门古老而又年轻的学科。土的一些性质在几千年以前就被人们所认识并利用,但土力学形成一门完整的学科才有约 80 年的历史,到目前为止,土的许多性质还不能被很好地描述。

2. 土体是自然形成的非连续松散堆积体,在自然营力作用下长期变化着并将变化下去。由于自然环境的复杂性,形成土的性质千变万化。可以讲在地球表面没有两点完全相同的土。这给土的性质研究带来了极大的困难。为了实用的目的,常常用一些简单的、理想化的假定来表示土的工程特性。如计算土中应力时,常假定地基土是各向同性的、均匀的弹性体;当研究土的渗透性和变形时,假设土是连续的多孔介质;研究土的强度时,又假定土体为理想的刚塑性体。

3. 土力学中的变形和强度理论既有固体力学常用的公式,又有其特有的体系和基本理论,如土的固结理论、有效应力原理等。各种描述土的变形和强度的理论建立在不同的甚至对立的假设基础上,因此土力学各章内容显得不连贯,甚至有些凌乱,让初学者感觉头绪众多、重点不突出。

地基处理部分各章相对独立。主要是运用土力学的基本理论分析各种地基处理方法的原理以及介绍每种地基处理方法的施工工艺、效果分析和适用条件等。

为了学好本课程,应该注意以下几点:

1. 重点掌握基本概念。包括表示土的特征和性质的概念以及各章节中出现的基本定义。这些概念和定义是土力学和地基处理课程的最基本内容和进行学术交流的基本前提。概念和定义要求理解准确、记忆清楚、表述规范。

2. 抓住土力学的主要理论公式。它们是达西渗透定理、渗透力和临界水力梯度公式;有效应力原理;无侧向变形条件的单向压缩公式;莫尔-库仑强度理论;土压力理论;瑞典条分法计算边坡稳定安全系数公式;地基承载力理论计算公式等。这些理论公式是本课程学习的重

点,也是土木、水利类工作者与岩土工程问题打交道的理论依据。

3. 各种地基处理方法的基本原理、适用范围、施工工艺和效果分析。

总之,土力学与地基处理课程是一门理论不够成熟、实践经验强的课程。需要理论、试验和工程实践等多方面知识的支撑和相互促进。学好本课程将对其他后续专业课的学习及从事土木、水利、交通等领域的技术工作有很大帮助。

第一章

土的物理性质与工程分类

第一节 土的形成

地球表层的岩石,在大气中经受长期的风化作用后形成形状不同、大小不一的颗粒,这些颗粒在不同的自然环境条件下形成的松散堆积体被称作土。因此,土来源于岩石,与岩石相比在块度和颗粒间胶结程度等方面存在差别,但有时也有连续过渡以至难以严格区分的情况。

岩石的风化一般可分为物理风化和化学风化两类。物理风化是指岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,波浪的冲击、地震等力的作用,温度变化产生的不均匀胀缩和冻胀等营力作用使岩石产生裂隙,崩解碎裂成岩块、岩屑的过程。例如,岩体冷却时引起的温度应力或地表附近日常的气温变化都可导致岩体开裂,雨水渗入这些裂缝后冻胀将促使裂缝张开,最后岩体崩解成岩块。通过同样的过程,这些岩块又可进一步碎裂成岩屑。在干旱地区,大风刮起的砂、砾对岩石的撞击亦可引起岩体剥落和岩块碎裂。这种风化作用,只改变颗粒的大小与形状,不改变岩石的矿物成分。化学风化是指岩体(或岩块、岩屑)与大气中的氧气、二氧化碳等各种气体,地表水和地下水中各种矿物质相接触,经氧化、碳化和水化作用,这些岩石或岩屑产生化学变化,生成新的矿物的过程。例如,当岩石和水相接触时,水中的 H^+ 就会和矿物产生化学反应,微小的 H^+ 可以进入矿物的晶格取代其中的阳离子并改变矿物的晶格和化学成分。当水为酸性时, H^+ 浓度增加,这种反应更为强烈和迅速。因此化学风化使岩石起了质的变化,不但改变了颗粒的大小,也改变了原岩矿物的成分。在自然界,物理和化学这两种风化作用是同时或交替进行的,所以,任何一种天然土通常既是物理风化的产物,又是化学风化的产物,不同土类仅存在物理风化和化学风化比例不同。

根据母岩与其形成的土堆积位置的关系,地质学常把土分为如下两大类:残积土和运积土。残积土是指岩石经风化后仍留在原地未经搬运的堆积物。残积土的厚度和风化程度主要取决于气候条件和暴露时间,也受风化和搬运作用及岩体的构造作用影响。在湿热地带,风化速度快,残积土的厚度可达几米至几十米,这里的残积土主要由粘粒组成;反之,在严寒地带,残积土的厚度不大,且主要由岩块和砂组成。由于残积土未经搬运作用,土层中所含的岩屑或土颗粒为尖棱角状。残积土一般是良好的建筑土料,但作为建筑地基时要注意其土性和厚度常呈现较大的不均匀性和各向异性,应进行详细的勘探工作。

运积土是指岩石风化后经水流、风和冰川等动力搬运离开生成的母岩所在区域后再沉积下来的堆积物。由于搬运的动力不同,常分为冲积土、风积土、冰碛土等。

冲积土:在降雨形成的地表径流作用下,土粒被冲刷、带动或搬运,经过一段搬运距离后在较平缓的地带沉积下来的土层称为冲积土。这些被搬运的物质有的来自山区,有的来自平原,

还有的是来自江河河床冲蚀及两岸剥蚀的产物。冲积土的分布范围很广。其主要类型有山区洪积土、河谷冲积土、山前平原冲积土、平原河谷冲积土、三角洲冲积土等。由于流水所能带走土粒的最大尺寸与其流速有关,水的流速又与水力坡降有关,大小不同的土粒随着河流流速的改变堆积在不同的部位,这使冲积土产生明显的分选特性,一般规律是,从河流的上游到下游颗粒不断减小,河口区主要为粘土颗粒,同一地点,洪水期沉积的颗粒较粗,枯水期(平水期)沉积的颗粒较细。

风积土:由风力带动土粒经过一段搬运距离后沉积下来的堆积物称为风积土。主要有砂土和黄土,常在干旱和半干旱地区大面积分布。风所能带走的颗粒大小取决于风速,因此,颗粒随风向也有一定的分选。风积土没有明显层理,颗粒以带角的细砂粒和粉粒为主,同一地区颗粒较均匀。干旱地带粉质土粒细小,土粒之间的联结力很弱,易被风力带动吹向天空,经过长距离搬运后再沉积下来形成典型的风积土,如黄土(或黄土类土)。风积黄土具有肉眼可见的竖直细根孔,颗粒组成以带角的粉粒为主,常占干土总质量的60%~70%,并含有少量粘粒和盐类胶结物。由于黄土具有大孔隙结构,因而密度很低。黄土分布在干旱地区,因而天然含水率也很低,一般为10%左右。干燥时由于土粒粒间有盐类产生的胶结作用,其胶结强度较大,即使很疏松,仍能维持陡壁或承受较大的建筑物荷载。可是一经遇水,颗粒间的盐类胶结物溶解,土体结构即遭破坏,胶结强度迅速降低,黄土地基会在自重或建筑物荷载作用下发生剧烈下沉,黄土的这种性质称为湿陷性。我国黄土分布占我国陆地面积9.6%,在黄土地区修造建筑物时一定要充分注意到黄土的这一性质。

冰碛土:由冰川剥落、搬运形成的堆积物称为冰川沉积土。其中,几乎未经流水搬运直接从冰层中搁置下来的土称为冰碛土。其特征是不成层,所含颗粒粒径的范围很宽,小至粘粒和粉粒,大至巨大的漂石。粗颗粒的形状是次圆或次棱角的,有时还有磨光面。化学胶结的冰碛土,特别是经过冰荷载作用的冰碛土,已经产生了很大的压缩量,这些土层具有密度大、压缩性小和强度大的良好工程性能,因此可作为理想的建筑物地基。由冰川融化水搬运、堆积在冰层外围的冲积土称为冰水冲积土,具有与河流冲积土类似的性质,通常由砾石、砂和粉砂组成,是优良的透水材料和混凝土骨料。

除了岩石风化形成的无机土外,有机质含量较高的土,我们称之为有机土或有机质土。因为它们大多由沼泽地形成,有时称作沼泽土。其形成是在停滞或流动不畅的浅水地区,在条件合适的情况下植物和动物大量繁殖,构造运动或环境变化使大片植物和动物遗骸被水或土覆盖,随着时间的推移,植物完全或部分分解并腐烂变质。充分腐化的土称为腐植土,其年代较久;未完全腐化还保留有植物残余物的称为泥炭土。泥炭土的特点是通常呈海绵状,干密度很小,含水率极高,土质十分疏松,因而其压缩性高、强度很低而灵敏度很高。泥炭土不能直接作为建筑物地基。

第二节 土的组成

从土的形成机理可知,土的固体颗粒是岩石风化后形成的松散堆积体,在固体颗粒之间存在相互连通的孔隙,孔隙中通常由水和(或)空气充填。土体是固体颗粒、水和空气的混合物,为此常称土为三相系,其中土的颗粒称为固相,土体孔隙中的水称为液相,而孔隙中的空气则称为气相。土的颗粒互相联结或架叠构成土的骨架,当土骨架间的孔

隙全部被水占满时,称为饱和土;当骨架间的孔隙仅含空气时,就称为干土;一般在地下水位以上地面以下一定深度内的土的孔隙中同时含空气和水,此时的土体三相同时存在,称为湿土。组成土的三个部分即固相、液相和气相所占的比例不同对土的工程性质有着很大的影响。

一、土的固相

(一) 成土矿物

组成土粒的矿物称为成土矿物,其成分主要取决于成土母岩的矿物成分及其所承受的风化作用。成土矿物按照其与母岩的关系分为两大类:一类为原生矿物,常见的有石英、长石、云母等。原生矿物是母岩经物理风化形成的与母岩矿物成分相同的土粒,其颗粒一般较粗,多呈棱角状、浑圆状、块状或板状,吸附水的能力弱,性质比较稳定,无塑性。另一类为次生矿物,它是由母岩中的矿物经化学风化作用而形成的新矿物,其矿物成分与母岩不同。土中的次生矿物主要是粘土矿物,常见的粘土矿物有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。通常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,有较强的吸附水的能力,透水性弱,含水率的变化常引起土的物理力学性质发生明显变化,具塑性。

(二) 粘土矿物的晶体结构

粘土矿物是次生矿物中数量最多的一类,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,是粘粒组中的主要矿物成分。粘土矿物种类繁多,常呈晶体结构。所谓晶体矿物是指原子、离子在空间有规律地反复排列组成的矿物,晶体结构的最小单元称为晶胞。粘土矿物晶胞主要是由硅-氧四面体和铝(镁)-氢氧(或氧)八面体两种基本结构单元组成的。硅-氧四面体是由四个氧原子堆积,中心充填一个硅原子组成。若不计原子的大小,用质点代表氧原子和硅原子,四面体的四个顶点为氧原子,硅原子位于四面体的形心,如图 1-1(a)所示。四面体底面的每个氧原子为相邻的四面体单元内的硅原子所共有,在空间上向四周展布组成了底面具有六边形孔的四面体层,常被称作硅片,如图 1-1(b)所示。硅片常用梯形符号表示成图 1-1(c)。铝(镁)-氢氧八面体是由六个氢氧离子堆积,中心充填一个铝(镁)原子组成。同样,若把原子都看作质点,六个角点为氢氧离子,形心为铝(镁)原子组成的八面体如图 1-2(a)所示。每个氢氧离子为相邻单元内的铝原子所共有时,八面体相互连接组成铝片,如图 1-2(b)所示。铝片常用矩形符号表示成图 1-2(c)。

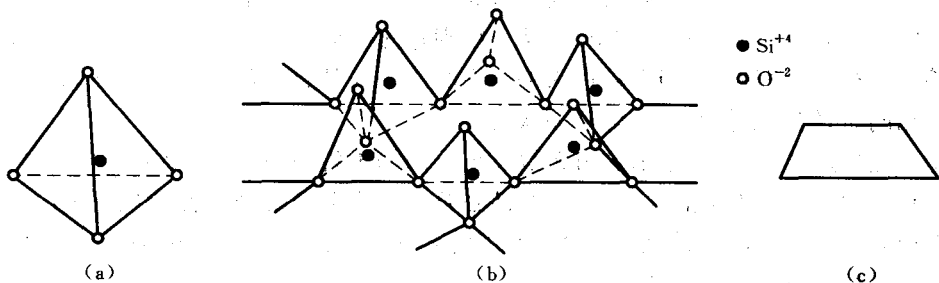


图 1-1 硅片的基本单元和空间展布

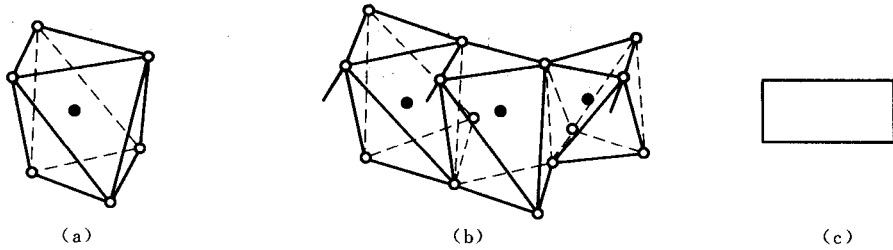


图 1-2 铝片的基本单元和空间展布

自然界中硅片或铝片也不能单独组成矿物,粘土矿物是硅片和铝片相互叠加组成的。如由一层四面体和一层八面体组成晶胞,在层面上反复叠加而成高岭石晶体;蒙脱石晶体则为两层四面体层中间夹一层八面体层组成一个晶胞,在层面上反复叠加而成的。蒙脱石的晶胞之间联结力很弱,水分子极易进入,故有遇水膨胀的特性。伊利石如同蒙脱石一样也是三层结构,所不同的是晶胞之间有钾离子与氧离子形成共价键联结,故联结力较强,遇水膨胀性较弱。三种粘土矿物的晶体结构示意图见图 1-3。

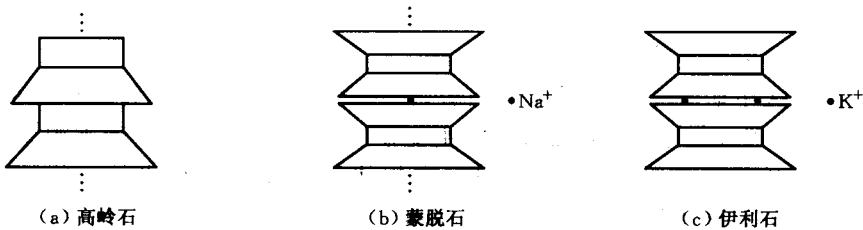


图 1-3 三种粘土矿物的晶体结构示意图

不同的粘土矿物都是由以上两种基本的层状结构单元组成。有时四面体层中的 Si 原子和八面体层中的 Al 原子会被其他原子如 Fe, Mg 等置换,形成新的矿物。发生置换作用后的矿物尽管其结构形式不变,但其物理化学性质将发生变化,这种现象叫做同像置换或同型代替。

(三) 土粒的大小和土的级配

如上所述,一般原生矿物颗粒较大,次生矿物颗粒较小,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了土粒性质上的差异。

土粒大小用粒径表示。因为土粒形状从球状、角砾状、片状到针状都有,所以土粒粒径是一种等效粒径或表象粒径。对粗粒土,当某土粒刚好通过某直径筛孔时,定义该粗粒土的粒径等于该筛孔孔径。对细粒土,当土粒在水中沉降的速率与某直径的圆球在相同温度的水中沉降的速率相同时,则该土粒的粒径等于圆球的直径。

土是自然界的产物,每种土都是由无数大小不同的土粒组成,其矿物成分也比较复杂,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,并给以常用的名称。工程上广泛采用的粒组有:漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒、粉粒、粘粒和胶粒。

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。表 1-1 为我国水利部《土工试验规程》(SL237—1999)中规定的粒组划分情况。值得注意的是我国交通部门将

粘粒的粒径定义为 $d \leq 0.002 \text{ mm}$, 与美国等西方国家规范相同。

表 1-1 水利部标准规定的粒组划分

粒组统称	粒组划分	粒径(d)的范围/mm	
巨粒组	漂石(块石)组	$d > 200$	
	卵石(碎石)组	$200 \geq d > 60$	
粗粒组	砾粒(角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂粒	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉粒	$0.075 \geq d > 0.005$	
	粘粒	$d \leq 0.005$	

土中某粒组的含量定义为一定质量的干土中, 该粒组的土粒质量占干土总质量的百分数。土中各粒组的相对含量称为土的级配。工程上将含有多个相邻粒组, 各粒组的含量相差不大的土叫级配良好的土; 把仅由少量的几个粒组组成的土或由粗粒组和细粒组组成, 而缺少中间粒组的土叫级配不良的土。土的级配好坏将直接影响到土的工程性质, 级配良好的土, 压实时能达到较高的密实度, 孔隙率低, 因而, 压实后土的透水性小, 强度高, 压缩性低; 反之, 级配不良的土, 压实后的密度小, 强度低, 透水性强而渗透稳定性差。

(四) 土的颗粒大小分析试验

测定土中各粒组颗粒质量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大小分析试验。该试验目的是了解土的颗粒级配, 供土的工程分类、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密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的土, 密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。当土内兼有大于和小于 0.075 mm 的土粒时, 两种分析方法可联合应用。

1. 筛分法

筛分法利用一套孔径由大到小的筛子叠合在一起, 如图 1-4 所示, 将按规定方法取得的一定质量的干试样放入最上一层筛中, 置于振筛机上充分振摇后, 称出留在各级筛上的土粒的质量, 通过了某筛孔的土粒粒径小于该筛孔孔径, 留在该筛上和该筛以上各级筛中的土粒粒径大于该筛孔孔径。按下式算出小于某土粒粒径的土粒含量百分数 X ,

$$X = \frac{m_i}{m} \times 100\%, \quad (1-1)$$

式中: m_i , m 分别为小于某粒径的土粒质量及试样干土总质量, 单位为 g 。

【例题 1-1】 从干砂样中称取质量 1000 g 的试样, 放入图 1-4 所示的标准筛中, 经充分振摇后, 称得各级筛上留存的土粒质量, 见表 1-2 中的第二行, 试求土内各粒组的土粒含量。

【解】 留在孔径 2 mm 筛上的土粒质量为 100 g , 则小于 2 mm 的土粒质量为 $1000 - 100 = 900 \text{ g}$, 小于 2 mm 的土粒含量为 $900/1000 = 90\%$ 。同样可算得小于其他粒径的土粒含量, 见表 1-2 中的第三行。

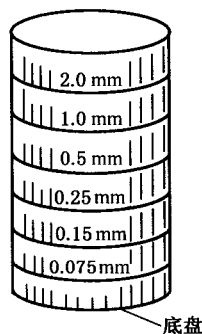


图 1-4 筛子示意图

由小于 2 mm 和 1 mm 的土粒含量分别为 90% 和 80%，可得到 2 mm 到 1 mm 粒组的土粒含量为 10%。同样可算得其他粒组的土粒含量，见表 1-2 中的第五行。

表 1-2 筛分试验结果

筛孔径/mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.15	0.075	底盘
各级筛上的土粒质量/g	100	100	250	300	100	50	100
小于各级筛孔径的土粒含量/%	90	80	55	25	15	10	
粒组/mm	>2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.15	0.15~0.075	<0.075
各粒组的土粒含量/%	10	10	25	30	10	5	10

2. 密度计法

密度计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。具体方法步骤参见土工试验规程和试验指导书。

3. 土的级配曲线

根据颗粒大小分析试验，可以用如下两种形式表示土的级配曲线。

(1) 粒径分布曲线：以土粒粒径为横坐标(对数坐标)，小于某粒径土粒质量占试样总质量的百分数为纵坐标绘制而成的曲线称为粒径分布曲线。由于土粒的粒径在很大范围内分布，横坐标用对数坐标表示，以突出显示细小颗粒粒径，因为细颗粒对土的工程性质影响最为显著。

(2) 粒组频率曲线：以各粒组的平均粒径为横坐标(对数坐标)，以各粒组的土粒含量为纵坐标绘得。

图 1-5 为例题 1-1 筛分试验成果图。图中实线为粒径分布曲线，虚线为粒组频率曲线。

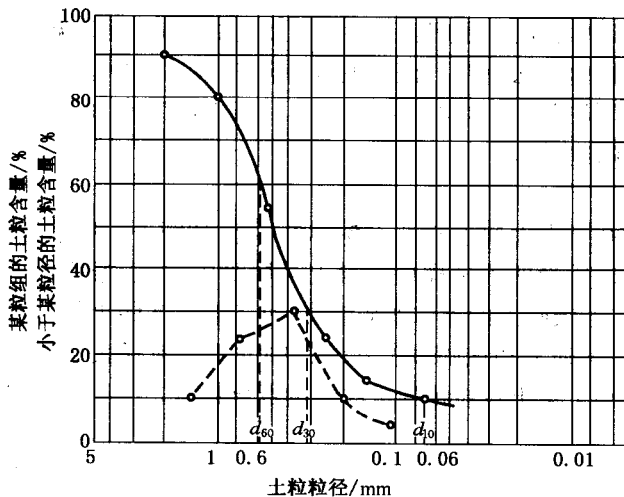


图 1-5 颗粒分析试验曲线

(五) 土的级配曲线的主要用途

土力学中使用最为广泛的是粒径分布曲线，由粒径分布曲线可求得以下数据。

1. 土中各粒组的土粒含量。根据土的粒组含量可以进行粗粒土的分类和大致评估土的工程性质。如在图 1-5 中，我们能够容易获得 $d < 1$ mm 土粒含量为 80%， $d < 0.5$ mm 土粒含