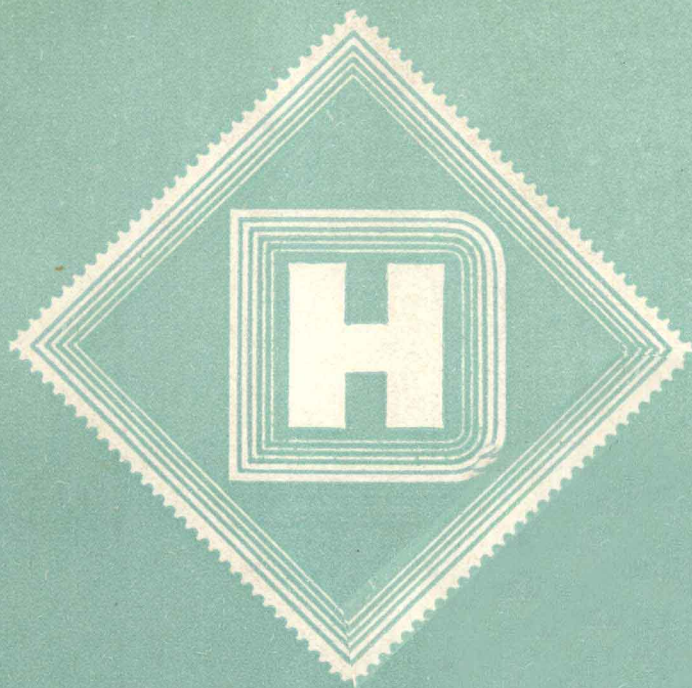


函授大学教材



土力学

河海大学 周萍编



函授大学教材

土力学

函授大学教材

土 力 学

河海大学 周 萍 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路 6 号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.5印张 443千字

1990年 3 月第一版 1990年 3 月北京第一次印刷

印数0001—3890册

ISBN 7-120-01031-X/TV·341

定价8.05元

内 容 提 要

全书共分八章，分别叙述了土的物理性质、土中应力、基础沉降计算、土的抗剪强度、挡土墙土压力、土坡稳定和地基承载力等内容，最后一章为土工试验指导书。书内每章末附有习题、学习指导和思考题。

本书是水工、农水和港航等专业函授大学本科的教材。也可作为土木建筑类的函授以及相应专业的夜大、职大等成人教育的教材和有关专业的工程技术人员参考。

前 言

本教材于1985年编成。经本校和兄弟院校试用后，由原水利电力部高等函授教育协作组《土力学教材评选小组》评选，推荐作为水工、农水和港航等专业的土力学函授大学统一教材出版。全书共有八章：分别叙述了土的物理性质、土中应力、基础沉降计算、土的抗剪强度、挡土墙土压力、土坡稳定和地基承载力等内容，最后一章为土工试验指导书。

本书在符合“水工、农水等专业函授大学本科教学计划”的前提下，在体系上作了一些改革的尝试，主要删去了土的渗透性一章，而将其必需的内容分插到各有关章节中。试用结果表明，这样，在内容配合上较为紧密，既可节省篇幅，又能避免与其他课程的不必要重复；另外，将孔隙水应力和有效应力的基本概念合并到土中应力一章中，便于读者对这部分内容更好地有机地联系起来学习。

根据函授教学以自学为主的特点，除了对一些基本概念加强叙述以外，每一部分都配有大量的插图、例题，各章末尾均附有习题、学习指导和复习思考题。另外，考虑到函授生一般都具有一定的实践基础，编写时对某些主要章节在深度和广度上均作了一些必要的扩展或提高，这些部分一般均在标题右上角标有*号，可作为选修的内容。

土力学是一门技术基础课，书中所涉及的基本内容对于其他土木建筑类的函授生以及相应专业的夜大、职大等成人教育均可适用，同时也可作为工程技术人员参考。

全书由河海大学徐志英教授审阅，并对本书提出了许多宝贵的意见；《土力学教材评选小组》的专家们除了给编者以热情地鼓励外，还对本书的修改提出了有益的建议；北京水电函授学院刘文副教授对本书的修改也提出了一些好的意见。在此，一并表示衷心地感谢！

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳切希望同行和广大读者给予批评指正。

周 萍

1988年10月于南京·河海大学

目 录

前 言

绪 论	1
第一章 土的物理性质及其工程分类	3
第一节 土及其形成	3
第二节 土的组成	4
第三节 土的物理性状指标	14
第四节 土的工程分类	25
习 题	31
学习指导	33
复习思考题	34
第二章 土中的应力	36
第一节 概 述	36
第二节 地基中的自重应力	37
第三节 基底压力的计算	39
第四节 地基中的附加应力	42
第五节* 感应图法求附加应力	64
第六节 简单讨论	66
第七节 土中的孔隙水应力和有效应力	67
习 题	73
学习指导	75
复习思考题	76
第三章 基础的沉降计算	78
第一节 概 述	78
第二节 土的压缩性	78
第三节 无侧向变形条件下的压缩量公式	84
第四节 基础的沉降计算	86
第五节 基础沉降计算的 $e \sim \lg p$ 曲线法	94
第六节 单向固结理论	102
第七节* 三向压缩条件下的孔隙应力和固结沉降	116
第八节 土坝的沉降计算	120
第九节* 初始沉降和次固结沉降	121
习 题	122
学习指导	125
复习思考题	127

第四章 土的抗剪强度	129
第一节 概 述	129
第二节 土的抗剪强度及其破坏准则	129
第三节 土的抗剪强度的测定	136
第四节 土的抗剪强度特性	146
第五节* 三轴压缩试验中的应力路径	163
习 题	169
学习指导	170
复习思考题	172
第五章 挡土墙土压力	174
第一节 概 述	174
第二节 朗肯土压力理论	177
第三节 库伦土压力理论	190
第四节 土压力问题的讨论	202
第五节* 工程实用中的一些土压力的简化计算	203
习 题	210
学习指导	211
复习思考题	212
第六章 土坡稳定分析	213
第一节 概 述	213
第二节 无粘性土土坡的稳定分析	214
第三节 粘性土土坡的稳定分析	217
第四节 工程实用中的土坡稳定分析	228
第五节* 强度指标和容许安全系数的选用	239
习 题	242
学习指导	243
复习思考题	244
第七章 地基承载力	245
第一节 概 述	245
第二节 按原位试验确定地基的承载力	247
第三节 按塑性区开展深度确定地基的容许承载力	252
第四节 按假定滑动面的方法确定地基的极限承载力	256
第五节 按规范确定地基的容许承载力	266
第六节 影响地基承载力的因素	269
第七节 圆弧滑动法的地基稳定分析	271
习 题	277
学习指导	278
复习思考题	279
第八章 土工试验指导书	280
主要参考文献	306

绪 论

在开始学习一门新的课程之前，我们首先要了解为什么要学习这门课程，即该门课程在专业中的地位和作用以及它与工程的关系如何；其次，应了解这门课程的特点。只有这样，才能明确学习的目的以及针对该门课程的特点，采用相应的学习方法，以达到事半功倍的效果。

俗语云：高楼大厦平地起。这就是说，任何建筑物都是建造在地面上的，水工建筑物也不例外。我们知道，地面以下的土也是一种材料，当在地面上建造建筑物以后，它把自身的重量以及作用于其上的荷载通过它的基础（建筑物的最下部并与地面直接接触的部分）传递到地面以下的土体中去，于是，便在土体中产生了应力和变形。这样，自然就会出现下列两个问题：其一是，如果在土体中产生的应力超过了土的强度，那么，土体将遭受破坏，而建筑物将失去稳定或毁坏；其二是，即使应力没有超过土的强度，然而，如果土体中的变形量（竖直方向的压缩变形称之为沉降）超过了该建筑物所允许的数值或者不均匀的变形量（工程上称为沉降差）过大，将会造成建筑物的倾斜、开裂，轻者，将会降低或失去使用价值，重者，也会酿成毁坏事故。这就是工程中极为关注的建筑物地基的稳定和变形（或沉降）的两大课题。设想，如果建筑物的地基和基础不稳固，即使有最好的上部结构也是徒劳的。此外，水利工程中的土工建筑物（如土堤、土坝、岸坡）以及挡土结构物等，都将涉及到稳定和变形问题。因此，为了确保建筑物的安全可靠和正常使用，我们必须对所有建筑物的稳定和变形问题进行很好地研究，这就是土力学这门学科所肩负的主要任务。

众所周知，任何一种材料的稳定和变形问题，在一定的条件下，都与该种材料的性质密切相关的，作为地基的土或者以土作为建筑材料的土工建筑物也不例外。而且对于土来说，它还具有与一般材料不同的特性，例如土的应力~应变关系以及强度的特性都与一般材料不同。因此，为了解决工程中的稳定和变形问题，我们必须从研究土的性质入手，在这一基础上，找出应力、变形和强度的规律，从而为解决稳定和变形问题提供有力的依据。综上所述，土力学就是研究土的物理性质以及在荷载作用下土体内部的应力、变形和强度规律，从而为解决工程中的稳定和变形（或沉降）问题的一门科学。

土力学这门学科的特点可以归纳为以下几点：

1. 它是一门年轻的学科。土力学在工程实践中的自然应用可以追溯到几百年乃至上千年的历史，但是作为一门独立的学科问世还是近60年左右的事。由于它是一门年轻的学科，所以在理论上尚不完善，许多问题还处在半经验状态。因此，对于一些理论问题的求解，常常需要作这样或那样的假定或简化。

2. 土是一种非连续的松散介质，它不但具有与一般材料不同的特性，而且由于其形成的年代和受压历史的不同，即使在同一地区，其性状也千差万别，这就给研究带来很大的困

难。于是，为了研究和实用上的目的，常常采用一些理想化的假定来进行。例如，当研究土的应力时，我们把它当作理想的弹性体；当研究土的变形时，我们把它当作多孔介质；而当研究土体的稳定时，又把它当作理想的刚塑性体等等。

3.土力学虽然是力学的一个分支，常借助于力学的知识对土进行研究和分析。由于它所研究的对象是一种多孔隙的松散介质，所以，它有其自身的体系和基本理论（例如固结和强度理论）。并且它在研究具体问题时各章节又有其相对的独立性，而不象固体力学那样具有严格的系统性。加之土力学本身又有许多新的名词和术语。这样，对初学者来说，常常会感到头绪多而抓不住中心的零乱现象。

鉴于上述这些特点，我们在学习土力学时应该注意下列几点：

1.着重于搞清基本概念。每门学科都有它特有的基本概念，而这些基本概念一般都是先通过某些叙述（有时还辅以假定），最后用一些简明的技术名词加以定义或者用某种公式的形式加以表达。因此，技术名词或公式实际上就是基本概念的概括，我们必须在理解的基础上尽可能地熟记它，并掌握其计算方法。

2.抓住中心内容。前已述及，土力学这门学科主要是为解决工程中的稳定和变形这两个课题服务的。因此，整个课程的安排基本上也是围绕着这两个中心内容的。第一章土的物理性质是学习土力学的入门知识，也是学习其他章节的基础。第二章应力和第三章沉降计算都是围绕着土的变形这一中心问题的。第四章土的抗剪强度是解决稳定问题的基础，它直接为第五、第六和第七章的土压力、土坡稳定和地基稳定作好准备的。因此，我们在学习时，必须明确重点，找出各章节之间的内在联系。这样，就会做到零而不乱。

3.土力学是一门直接为工程建设服务的应用科学。因此，我们在学习时，应十分重视分析问题和解决问题的能力，应掌握各种计算方法及其适用条件。同时应该重视土工试验的基本技能和分析能力的培养。

各章自学学时分配参考表

名	称	学 时	备 注
第一章	土的物理性质及其工程分类	12	1.各章学时包括自学、习题在内； 2.面授学时包括土工试验、考试等在内
第二章	土中的应力	14	
第三章	基础的沉降计算	18	
第四章	土的抗剪强度	14	
第五章	挡土墙土压力	16	
第六章	土坡稳定分析	14	
第七章	地基承载力	12	
期终面授		50	
合	计	150	

第一章 土的物理性质及其工程分类

第一节 土 及 其 形 成

地球表面的整体岩石，在大气中经受长期的风化作用，形成形状不同、大小不一的细小颗粒，而这些颗粒又在不同的自然环境下堆积（或沉积）下来，即形成了通常所说的土。从上述土的形成来看，土即为松散颗粒的堆积物。

岩石的风化一般可分为物理崩解和化学分解两个过程。物理崩解就是指由于地壳的构造变动以及大气中的温度变化，水流、冰凌、波浪等冲击的物理力，使整体岩石碎裂成细小的岩屑或颗粒的过程。化学分解就是指岩石或经物理崩解以后的岩屑与大气中的各种气体、水以及各种水溶液相接触，起化学反应而进一步使岩屑分解成更细小的颗粒的过程。从上述这两种风化作用可知，物理崩解仅引起量的变化，而化学分解则引起质的变化。一般地说，这两种风化过程是互相交错地进行的。

岩石经风化作用形成细小的松散颗粒以后，由于它们形成的年代和沉积方式的不同，其工程性质有很大的差异。就工程上遇到的大多数土都是在第四纪地质历史时期内形成的，而第四纪地质时代的土又可划分为更新世及全新世两类，见表1-1所列。

表 1-1 第四纪地质时代的划分

纪（或系）	世（或统）	
第 四 纪（Q）	全 新 世（Q ₄ ）	
	更 新 世（Q _p ）	晚更新世（Q ₃ ）
		中更新世（Q ₂ ）
		早更新世（Q ₁ ）

第四纪土由于其搬运或沉积方式的不同，又可分为残积土和运积土两大类：

1. 残积土就是指岩石表面经风化作用形成细小颗粒后，残留在原地的一种堆积物。这种土的特征是颗粒表面多棱角、粗糙，颗粒粗细不均（从大的碎块直至微细的胶粒），无层理。

2. 运积土就是指岩石经风化作用形成细小颗粒后，由水流、冰川、风等动力搬运，离开原地而在他处沉积起来的堆积物。这种土的特征是颗粒表面圆浑、光滑，经过分选作用，粒度变化小，有明显的层理。运积土根据其搬运的动力不同，可分为：

（1）坡积土——风化后的细小颗粒由于雨水或雪水，崩塌或滑坡所造成的流失，在坡面或坡脚附近聚集起来的堆积物。坡积土的颗粒形状及大小变化大，其压缩性和强度也有很大差异。

（2）洪积土——由于山洪暴发，把原为残积或坡积的颗粒冲挟至山前沿途沉积而形成的堆积物。洪积土由于水流的冲刷、挟带，具有一定的分选作用，其性质随着距山区的

远近有较大的差别，近者颗粒较粗，强度较高、压缩性较低，远者则反之。

(3) 冲积土——是由于江、河中水流搬运所形成的沉积物。它位于山区河谷的中下游或冲积平原上，其特征是有明显的分选性，层理清晰，多为砂与粘粒的交错层理，也可能存在砾石层。

(4) 湖相或沼泽沉积土——这是在极为缓慢的水流或静水的条件下所形成的沉积物。这种土的特征除了含有大量的微细颗粒外，常伴有生物化学作用的有机质存在，形成了具有特殊性质的淤泥或泥炭，其含水量大，压缩性高，强度低。

(5) 海相沉积土——是由水流挟带到海水中沉积起来的堆积物。这种土的特征是常含有有机质的混合物，以淤泥质为主，土质松软，含水量大，压缩性高，强度低。

(6) 冰积土——是由冰川或冰水的挟带所形成的沉积物。这种土的粒度变化很大，以砾石为主，夹有砂和粘土，具有明显的层理。

(7) 风积土——是由风力搬运形成的堆积物。我国西北的黄土是风积土的一种典型代表，另外，干旱地区的砂丘也是属于风积土。这种土的特征是没有层理，颗粒均匀。

第二节 土的组成

从前述土的形成可知，土是由固体颗粒和颗粒之间的孔隙所组成，而孔隙中通常又存在着水和空气两个部份，因此，土是固体颗粒、水和空气的混合物，我们常称土为三相体。其中土的颗粒称为固相，土孔隙中的水称为液相，而孔隙中的空气则称为气相。土的颗粒与颗粒之间的互相联结或架叠所构成的有机体称为土的骨架。根据研究，组成土的三个部份即固相、液相和气相所占的比例不同而对土的工程性质有着很大的影响，其中影响最大的为固相、次为液相，下面将分别介绍三相的属性及其对土的工程性质的影响。

一、土的固相

(一) 土粒及其矿物成分

土粒的形状极不规则，但总的来说，粗的呈粒状，微细的呈片状。工程上为了研究的方便，通常把土粒假想为球体，并以球的直径来表征土粒的大小，该直径即称为土粒的粒径，以 d 表示。

土粒的大小与其矿物成分有关，粗颗粒主要是含原生矿物，而细颗粒则主要含次生矿物。原生矿物的属性与成土的母岩（即成土前的整体岩石）相同，性质比较稳定。常见的原生矿物有长石、石英及云母等。次生矿物是由原生矿物经化学作用而形成的，性质较不稳定，具有亲水性，易引起胀缩现象，常见的次生矿物有高岭石、蒙脱石及伊利石等。

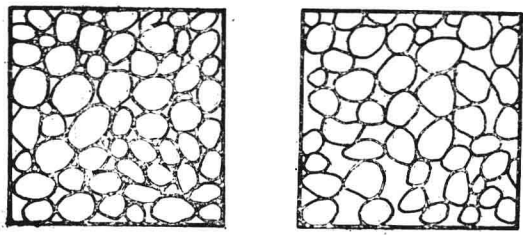
(二) 土的结构

土的结构是指土粒相互之间的联结或排列的形式。天然沉积土的结构受到粒间作用力、作用于土粒上的外力（包括重力）以及成土后的地质作用和其他因素的影响。土的结构通常有下列三种基本类型。

(1) 单粒结构——单粒结构多见于砂、砾等粗粒土中。它们的特点是土粒在沉积过程中主要受到重力作用，粒间以点接触为主。根据其排列的情况，又可分为紧密结构和疏

松结构两种，如图1-1所示。一般地说，单粒结构比较稳定，孔隙所占的比例较小，但是对于疏松结构的砂土，特别是饱和的粉细砂，当受到地震等动力荷载作用时，极易产生液化现象，必须引起注意。

(2) 蜂窝结构——蜂窝结构多见于由粉粒为主所组成的细粒土中。根据研究，细小的粉粒在水中沉积时，基本上以单个土粒下沉，当碰到已沉积的土粒时，由于粒间相互作用的引力大于重力，因此，土粒就停留在最初的接触点上不再下沉，而形成具有较大孔隙的蜂窝状结构，如图1-2所示。这种结构较不稳定，在外力作用下易引起较大的压缩变形或下沉。



(a) 图 1-1 土的单粒结构 (b)
(a)紧密的; (b)疏松的

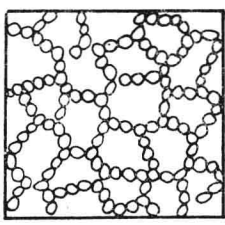


图 1-2 土的蜂窝结构

(3) 絮状结构——絮状结构多见于由粘土颗粒为主所组成的粘性土中。这种结构的特点是粒间作用力占主导地位，孔隙大，稳定性差。

研究表明，粒径小于0.005mm的粘土颗粒多呈片状或针状，颗粒表面带有负电荷，而在片的断口处局部带有正电荷，如图1-3所示。由于粘土颗粒中这种不平衡的电荷存在，因此在土粒互相聚合时，常以面-边、面-角或面-面的方式相接触，如图1-4所示。显然，当以面-边（或角）相接触时，粒间将以净引力为主，而以面-面相接触时，粒间则以净斥力为主。常称前者为凝聚型结构，后者为分散型结构。海水中沉积的土，由于盐类的离子浓度很大，粒间斥力小而多呈凝聚型结构。淡水中沉积的土，由于盐类的离子浓度很小，粒间的引力小而多呈分散型结构。

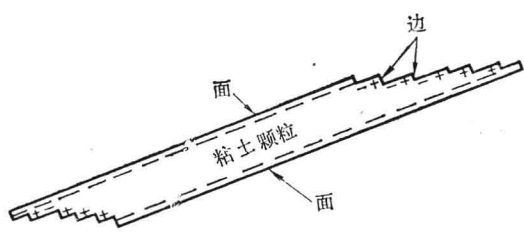
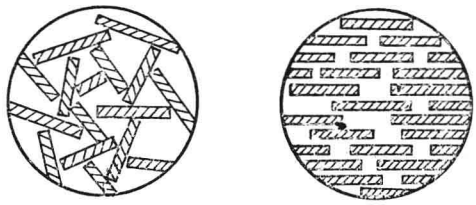


图 1-3 粘土颗粒的电学性质
-负电荷 +正电荷



(a) 图 1-4 粘粒的接触方式
(a)面-边或角; (b)面-面

实际上，天然沉积的粘性土，很少以单个颗粒互相排列或接触的，它们都是以面-边、面-角或面-面为主由颗粒组成粒团（或称结构单元），然后粒团与粒团之间又可能以面-边、面-角或面-面为主相互叠叠起来，组成多孔隙的絮状结构，如图1-5所示。其中图(a)的颗粒以定向排列的面-面相接触，而粒团则以面-边和面-角相接触的随机排列；图(b)

的颗粒以随机排列的面-边和面-角相接触,而粒团则以面-面相接触的定向排列;图(c)的颗粒及粒团均以面-面相接触的定向排列;而图(d)的颗粒及粒团则均以面一边和面-角相接触的随机排列。真实情况也许更为复杂,不管是颗粒与颗粒或粒团与粒团之间的接触,都不可能是某种单一的排列形式,而是各种方式的组合,即既有面-面的定向排列,又有面-边相接触的随机排列,或其他更不规则的排列形式,如图1-5(e)所示。

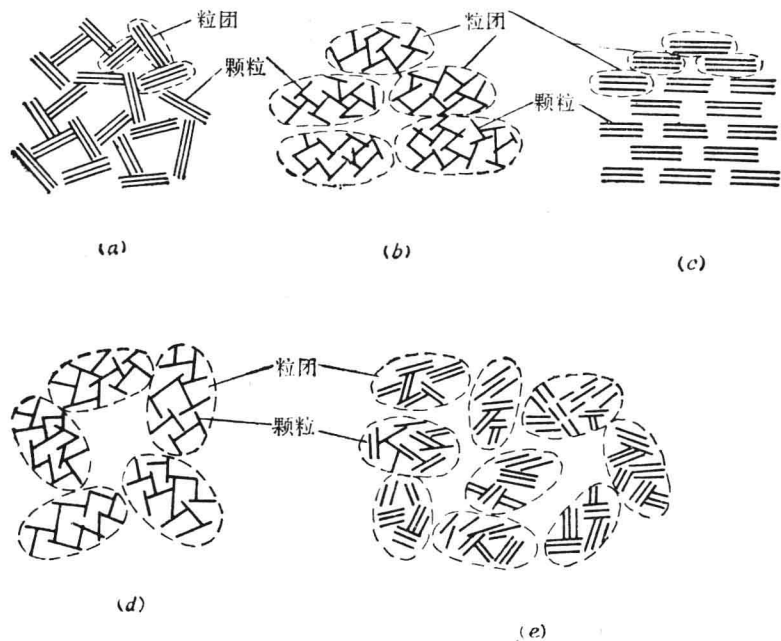


图 1-5 土的絮状结构

上述结构中,若以面-边、面-角相接触的随机排列为主,则具有更大的孔隙,结构的稳定性差,易受扰动,但在性质上较均匀;若以面-面相接触的定向排列为主,则孔隙相对小一些,结构的稳定性也较好,密度较大,但在性质上具有明显的各向异性。

(三) 土的级配

土是由无数不同大小的固体颗粒即土粒堆积而成的。土粒的大小又直接与其矿物成分相联系,因此,各种不同土粒在土中所占的比例不同,就会直接影响着土的工程性质。但是要逐个地把土中的各种颗粒都拿出来加以研究,不但没有可能而且也没有必要。通常的办法是把性质相似、大小相近的土粒划分为若干组,这种组即称为粒组,然后研究各粒组的性质。原水利电力部土工试验规程中以0.1mm的粒径为界,把土粒划分为粗粒组与细粒组两大类,当土粒的粒径大于0.1mm时称为粗粒组,而小于0.1mm时则称为细粒组。粗、细粒组又细分为砾、砂粒、粉粒、粘粒等等,它们的粒径名称和范围详见图1-6所示。粗细粒组的性质有着明显地差别,一般,粗粒组的透水性大,无粘性和塑性,不具胀缩性,压缩性低;细粒组的透水性小,具有粘性和塑性,有胀缩性,压缩性大,并且具有较高的毛细水上升高度。

土的级配就是指土中各粒组的相对含量。通常用试验的方法测出土中各粒组的粒径及其相应的含量,然后以土粒的粒径 d 为横坐标(对数比例尺),小于某粒径的土粒含量

(以质量计) $P(\%)$ 为纵坐标, 点绘出粒径与含量的关系曲线, 该曲线称为土的级配曲线, 如图1-7所示。

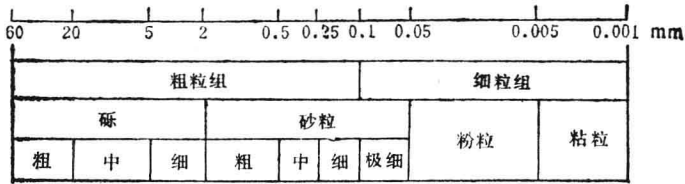


图 1-6 粒组的划分及名称

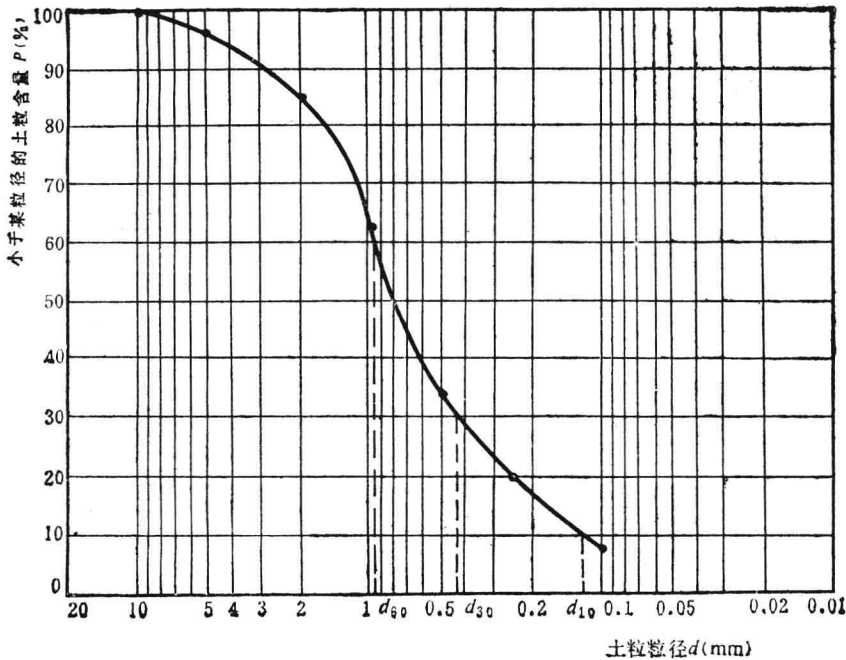


图 1-7 土的级配曲线

土的级配曲线有下列两种用途:

1. 可以利用级配曲线来评价土的级配的好坏并借此来选择土料。在工程实用中, 土的级配曲线特征以不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c 来表示。它们的定义为

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

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

式中 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别表示小于某粒径的含量为 10%、30%、60% 时所对应的粒径, 如图1-7所示。常称 d_{10} 为有效粒径, d_{60} 为控制粒径。

不均匀系数 C_u 是表征级配曲线的陡峻程度或土粒粒径分布范围宽窄的指标。不均匀系数大, 级配曲线平缓, 即土粒粒径的分布范围宽广, 土粒不均匀, 如图1-8中的A曲线所

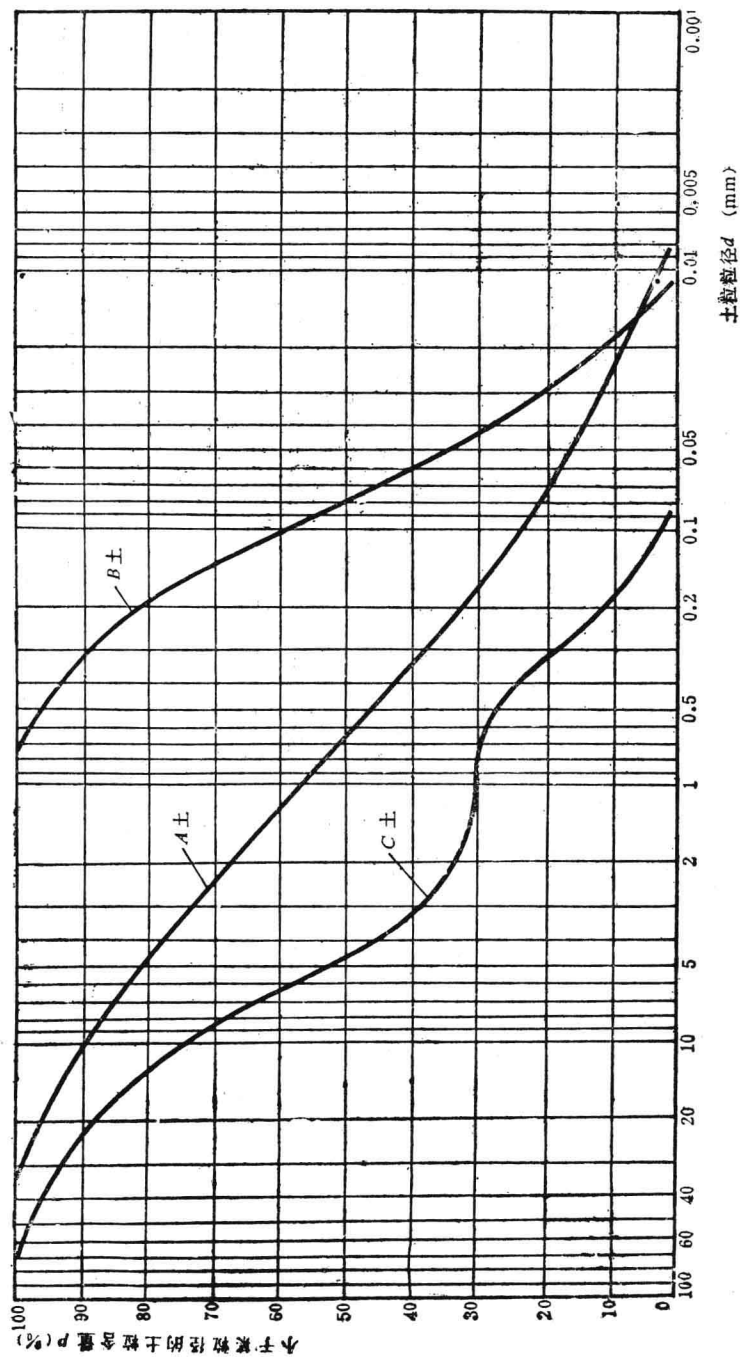


图 1-8 三种不同土的级配曲线

示：不均匀系数小，则级配曲线陡峻，即土粒粒径的分布范围狭窄，土粒均匀，如图1-8中的B曲线所示。不均匀系数在常规的情况下可以反映出土的级配的好坏，但是当缺乏某种中间粒径的台阶形级配曲线出现时，如图1-8中的C线所示，不均匀系数就无法予以反映，有时甚至会得出错误的判断。这时必须利用能反映土中颗粒搭配好坏的曲率系数 C_c 来共同加以判别。因此，原水利电力部土工试验规程规定：当同时满足 $C_u \geq 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 的条件时，土的级配是良好的；当不能同时满足上列条件时，土的级配是不良的。级配良好的土，压实时易于达到较高的密度，因而压缩性低、强度高、透水性小；级配不良的土，则正好相反，压缩性高、强度低、有时其渗透稳定性也差。

2. 可以利用级配曲线对土进行分类或定名。具体应用方法可阅第四节土的 工程 分类部分。

测定土的级配的试验称为颗粒分析试验。在试验室中常用的有筛析法和比重计法两种，前者适用于粒径大于0.1mm的粗粒土，后者适用于粒径小于0.1mm的细粒土。若土中粗细粒组兼有时，则应联合使用筛析法和比重计法，并以两者测得粒组含量的累计值来点绘级配曲线。

筛析法就是利用一套孔径由大到小的筛子，如图1-9所示，将预先风干及一定质量的土样倾入筛的顶层，再经人工或机械的方法将筛子加以充分振摇，然后分别称出留在各级筛上土的质量，求出小于某一孔径（即粒径）的土粒含量，即可得到土的级配曲线。现举一例说明。

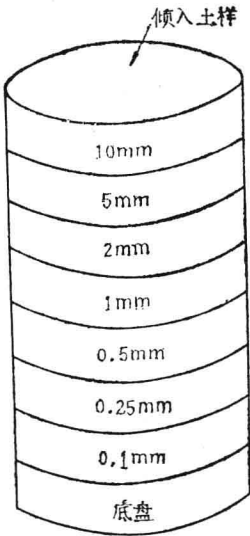


图 1-9 标准筛示意图

【例题 1-1】 从某风干砂样中称出500g的质量倾入筛中，经充分振摇后，称出留在各级筛上的土量列于表1-2中。试求该砂样的级配并绘出其级配曲线。

表 1-2 筛分析试验及计算成果表

筛 子 孔 径 d (mm)	留在各级筛上的 土 粒 质 量 (g)	累积留在各级筛 上土 粒 的 质 量 (g)	小于该孔径的 土 粒 质 量 (g)	小于该孔径的 土 粒 含 量 P (%)
10	0	0	500	100
5	18	18	482	96.4
2	57	75	425	85.0
1	113	188	312	62.4
0.5	137	325	175	35.0
0.25	75	400	100	20.0
0.10	60	460	40	8.0
底 盘	40	500	0	—

解

1. 求出累积留在各级筛上土粒的质量（简称土量、下同）

累积留在各级筛上的质量等于留在本级筛上的质量与留在本级以上各级筛上的质量之和。如以留在1mm孔径的筛上累积质量为例，因留在本级（即1mm孔径的筛）筛上的质量为113g，而留在2mm孔径筛上的质量为57g，留在5mm孔径筛上的质量为18g，则累积留在1mm孔径筛上的质量应为三者之和，即 $113+57+18=188\text{g}$ ，余类推。

2. 求出小于该孔径的土量

小于该孔径的土量等于土样的总质量（本例为500g）减去累积留在各级筛上的土量。仍以1mm孔径的筛子为例，累积留在该孔径上的土量为188g，因此小于该孔径的土量应为 $500-188=312\text{g}$ ，余类推。

3. 求出小于该孔径土粒的含量即百分数 $P(\%)$

小于该孔径土粒的含量等于小于该孔径的土量与土样总质量之比。如小于1mm孔径的土量为312g，总质量为500g，则小于1mm孔径土（粒）的含量为 $312/500=62.4\%$ 。

上列各项计算结果均汇总于表1-2中。

根据上列计算结果，以粒径 d 为横坐标，小于某粒径的土粒含量 P 为纵坐标点绘曲线，该曲线即为此砂样的级配曲线，如图1-7所示。

比重计法是将一定质量的干土样倾入盛水的玻璃量筒中，将其搅拌成均匀的悬液状。由于大小不同的土粒在水中下沉的速度不一，随着时间的增长，悬液的浓度不断变化，我们利用特制的比重计在不同时刻测出悬液的比重，然后通过公式求得土粒粒径及其含量的关系。比重计法的原理和试验方法请参阅试验指导书。

二、土的液相

土的液相即指土中的水。土中的水可分为结合水和自由水两种基本形态。

（一）结合水

前已提及，粘土颗粒表面带有净负电荷，因而在其周围产生了一定强度的电场。而水分子具有极性，加之水溶液中又含有钾、钠、钙、镁等阳离子，这些极性水分子和阳离子便在电场力的作用下，吸附在土粒周围而形成了一层不可自由移动的水膜，该水膜即称为结合水，如图1-10所示。

从图1-10(b)中可以看出，土粒表面附近的电场力最大，而离开土粒表面时，则电场力即迅速递减。因而可以断言，紧靠土粒表面的水分子和阳离子与土粒之间的结合最为紧密，

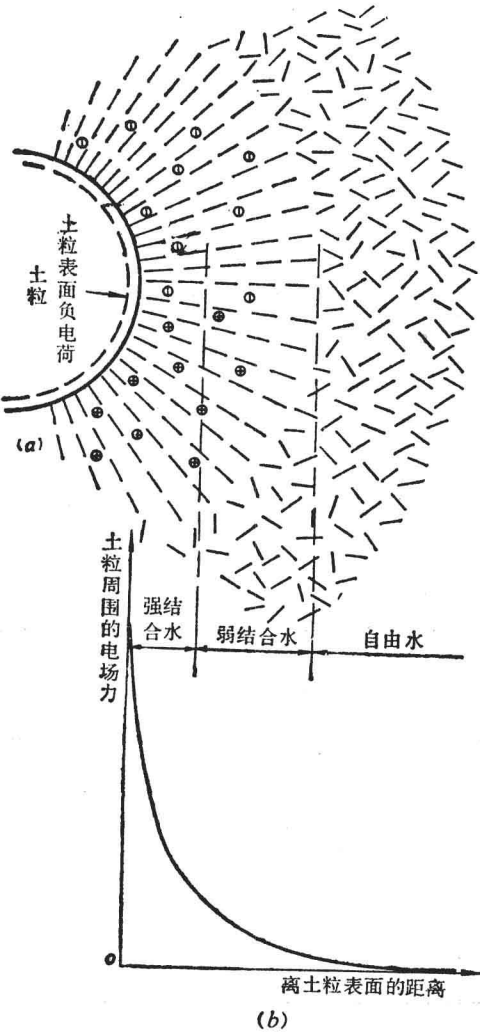


图 1-10 土粒与水分子相互作用的模拟图
○极性水分子 ⊕阳离子