

水利水电系统干部培训教材

土工知识

华东水利学院

水利出版社

水利水电系统干部培训教材

土 工 知 识

华 东 水 利 学 院

水 利 出 版 社

内 容 简 介

本书共分四章即土的物理性质，土的力学性质，工程中常见的土工问题，工地勘探与地基处理。每章后并附有复习思考题。本书供水利水电系统干部培训用，也可供有初中以上文化程度的干部自学使用。

水利水电系统干部培训教材

土 工 知 识

华东水利学院

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3 $\frac{1}{4}$ 印张 83千字

1982年3月第一版 1982年3月北京第一次印刷

印数 00001—15090册 定价 0.45元

书号 15047·4178

编 者 的 话

为了实现水利水电系统干部队伍的革命化、年青化、知识化和专业化，以适应四个现代化建设的需要，有关水利单位正大力组织在职干部的培训。为此，水利部组织一些有经验的同志编写了这套“水利水电系统干部培训教材”，共13个分册：《水利工程识图》，《水利工程测量》，《建筑材料》，《工程地质及水文地质》，《土工知识》，《水力学》，《工程水文》，《灌溉与排水》，《中小河流规划》，《水工建筑物》，《水电站》，《抽水站》，《水利工程施工》。这套培训教材的编写大纲由华东水利学院拟定，并在1980年12月举行的由水利部教育司、水利出版社和陕西省水利学校、黄河水利学校、山东省水利学校、东北水利水电学校、扬州水利学校、四川省水利电力学校等参加的编写大纲讨论会上修改定稿。

当前培训干部的主要对象是省、地、县水利水电部门的行政领导干部。培训的目的是要求他们尽快地熟悉本部门的业务知识，逐步成为内行。因此，这套教材主要面向省、地、县水利水电建设的领导干部，面向中小型水利水电工程。为此，教材涉及面较广，但内容力求简明扼要，尽可能介绍一些现代的先进技术。

近期培训干部，一般以五至六个月为一期，讲课400至500学时，故本教材的总教学时数控制在400学时左右，多余的学时各地可灵活使用，例如可用于补习文化基础课，或讲授结合本地区特点的某些专题。各地举办培训班时，可根据

实际需要选用本套教材中的部分分册或全部分册。本教材也可供其他有初中以上文化程度的干部自学使用。

这套培训教材中的《水利工程测量》分册，采用陕西省水利学校编写，由农业出版社出版的《简易工程测量》一书；《水力学》（借用“水文职工培训教材”中的《水力学基础》）和《抽水站》这两个分册系由扬州水利学校编写；其余各分册均由华东水利学院编写。为了将这套教材编写好，华东水利学院受水利部教育司委托成立了“水利水电系统干部培训教材编审委员会”，负责全部编审工作，该院副院长左东启为主任委员，教务处处长解启庚和王世泽教授、戴寿椿讲师为副主任委员。

在培训教材编审过程中，得到了各有关部门及兄弟院校的大力协助，谨表示衷心的感谢。

由于我们经验不足，水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正（意见请寄：南京市华东水利学院教务处）。

水利水电系统干部培训教材编审委员会

1981年6月

前 言

本书根据一九八〇年十二月讨论通过的水利水电系统干部培训丛书《土工知识》编写大纲写出。

全书共分四章，前两章论述土的基本物理、力学性质，后两章为工程中常见的土工问题与工地勘探及地基处理。全书计划讲授二十学时，第一章四学时，第二章六学时，三、四两章各为五学时。为了适应各种情况的需要，在编写内容上均略超过上述学时数，讲授时可根据具体情况加以取舍。另外，考虑到这套丛书没有专门的工程力学教材，而某些工程力学知识又是学习本课程所必需的，所以在第二章增加了工程力学基本名词简介一节，若学员具有一定的力学基础，这一节可不讲。

试验是学习本课程的一个重要环节，但本书未能详细介绍这方面的内容，在学习时如有条件，最好能组织学员参观土工试验室或参加某些试验的操作，以增加这方面的感性知识。

本书承华东水利学院土力学教研室主任钱家欢教授和戴寿椿讲师详加审阅，在此一并致谢。书中不足之处，请读者批评、指正。

编 者 郭志平

一九八一年六月

目 录

编者的话	
前言	
绪论	1
第一章 土的物理性质	3
第一节 土的形成与结构	3
第二节 颗粒大小分析	5
第三节 土的物理性质指标和物理状态指标	9
第四节 土的工程分类	15
第五节 土的压实	19
复习思考题和习题	21
第二章 土的力学性质	23
第一节 工程力学基本名词简介	23
第二节 土的渗透性	28
第三节 土的压缩性	32
第四节 沉降与固结	38
第五节 土的抗剪强度	45
复习思考题	54
第三章 工程中常见的土工问题	56
第一节 挡土墙后土压力计算	56
第二节 土坡稳定分析	65
第三节 确定地基承载力的方法	72
复习思考题	81
第四章 工地勘探与地基处理	82

第一节	工地勘探的目的与内容	82
第二节	土质地基中一些特殊勘探设备	87
第三节	软基处理方法简介	94
第四节	特殊土的物理特性及处理方法	100
复习思考题		108
附录 1	土的各种物理、力学性质指标对照表	109
附录 2	单位换算表	114

绪 论

一、土与土力学的概念

地壳表层岩石经受强烈风化以后，所产生的各种细小矿物颗粒自然组合在一起，其间存在大量的孔隙，孔隙中则常有水及空气，这些由岩石风化而成的固体颗粒与水分和空气组成的松散而多孔的集合体，称之为土。

土在地壳表面分布极广，在地表一、二米深度内，往往与大量动、植物腐烂而成的有机质混合，为农作物生长创造有利条件，这种土称为有机土或“土壤”；而工程上所研究的对象则是埋藏较深的，不含或含极少有机质的无机土，简称为“土”。

水利工程中的各种水工建筑物，大量地建筑于土基上，土承受建筑物通过基础传来的重量和各种荷载；土还常被用来作为修筑堤坝、路基的建筑材料；此外，还有一些水工建筑物则常在土中进行开挖或埋设于土中，如运河、渠道、涵管、地下厂房等，此时土就作为建筑物周围的介质或护层。

土的工程性质对建筑物的结构型式、工程造价和施工方法都有很大影响。经验表明：在遭到破坏的水工建筑物中，百分之七十以上是由于地基或基础出了问题而失事的。任何建筑物的地基与基础是否牢固和稳定，将直接影响上层结构的安全。例如地基承受建筑物重量之后，通常都要产生变形，因而引起建筑物沉降，若沉降过大或不均匀，则将引起建筑物的开裂甚至毁坏，或因不符合设计要求而影响使用。特别是水工建筑物除承受垂直荷载外，一般还承受水平荷载，可能

导致地基失去稳定性而引起建筑物的滑动。此外，土坝断面的设计、挡土墙后土压力的确定、水闸底部的渗透以及基坑开挖等问题都与土的性质有关，这些与土有关的工程问题，统称为“土工”问题。而土力学则是利用力学知识和土工试验技术来研究土的物理、力学性质以及渗透、变形和稳定等问题的一门学科。有关土力学的基本知识及其在工程中的应用等，即为本课程的基本内容。

二、学习本课程的目的、要求与方法

1) 了解土的基本特性，掌握主要土工试验的原理，特别是对土的各种物理、力学性质指标应具有明确的概念；

2) 一般了解土在外荷作用下的应力、应变特性及渗透、压缩、固结、强度等基本概念；

3) 了解土力学在水工建筑设计中的应用及一般的设计计算方法以及工地勘探和地基处理的基本知识。

自然界中的土，种类繁多，分布复杂，性质各异，甚至在同一地区或同一地点都可能埋藏有多种土层。土的性质又往往受外界的温度、湿度、压力、地下水位等条件的影响而发生很大的变化。因此，必须注意每一种计算理论的基本假设条件和适用场合，使之尽量符合实际。

必须十分重视工地现场勘测和室内试验成果。对于各种试验指标，要充分了解它们是用什么样的土样，用什么仪器，在何种试验条件下取得的。因为对大多数土工问题来说，选择一个正确的试验指标比选择计算方法要重要得多。此外，由于土质条件复杂多变，小试样的室内试验往往不可能完全代表实际情况。因此，对于重要的工程，无论在施工期或施工以后，都要加强实地观测，以监测工程使之安全并借以验证理论计算的正确程度。

第一章 土的物理性质

第一节 土的形成与结构

一、土的形成

地壳表层的岩石受风、霜、雨、雪的侵蚀，动物的践踏和植物根部的挤压，或由于温度的变化、裂隙中积水或冰冻等种种原因，逐渐由大块体崩解成较小的碎屑和颗粒，这一过程称为物理崩解作用。其形成的物质仍然保持原来岩石的矿物成分，如石英、长石、云母等。随后，在漫长的地质年代中，这些碎屑和颗粒又受到大气中的氧气、碳酸气和其它气体的化学作用，被分解成非常细小的与原来岩石成分迥然不同的颗粒状物质，这就是化学分解作用。它所形成的物质，其矿物成分主要是一些次生的粘土矿物，如高岭土、蒙脱土、伊里土等。

物理崩解作用和化学分解作用统称为岩石的风化作用，前者使岩体产生量的改变而后者则产生质的变化，它们通常是相互交替进行的。所以土是地壳表层的岩石在自然条件下经过连续风化由量变到质变的产物。

土的组成包括土粒、水分和空气，由土粒构成骨架，在各土粒之间具有孔隙，孔隙中含有水及空气。如果土在地下水位以下，则其孔隙全部为水所充满，称为饱和土；如果全部孔隙充满空气，则称为干土；一般而言，在地面以下地下水位以上一定高度范围内的土，其孔隙中既有水又有空气，

则称为湿土或简称为土。

二、土的结构

土的结构是指土在其沉积过程中所形成的土粒空间排列及联结形式，它与组成土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件有关，通常有下列三种基本类型：

(1) 单粒结构 在沉积过程中，较粗的矿物颗粒在自重作用下沉落后，每个颗粒都受到周围已沉颗粒的支承，如图1-1(a)所示，常见于颗粒较粗的粉土、砂土以及砾石等土中。

(2) 蜂窝结构 较细的土粒在自重作用下沉落时，由于受到已经沉稳的土粒吸引，不再继续下沉而逐渐形成链状单元，这些链状单元又联结成孔隙大而疏松的蜂窝状结构，如图1-1(b)所示，这种结构常见于粉土、粘土等粘性土中。

(3) 架迭结构 极微小的粘土颗粒大都呈针状或片状，它们在水中具有胶体特性，土粒表面附有一层极薄的水膜。这种带有水膜的土粒在沉积时，由于引力的影响，形成多种接触方式的架迭结构，如图1-1(c)所示。具有这种结构的粘土，其孔隙大，含水量高，故都很疏松。

天然情况下，任一土类的骨架都由大小不同的土粒组成，其结构常呈上述各种结构混合起来的综合型式。

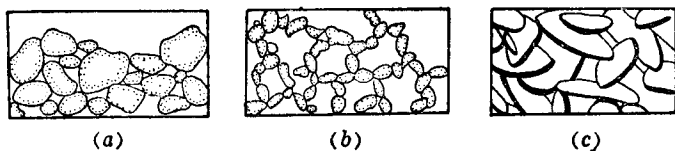


图 1-1 土的结构
(a)单粒结构；(b)蜂窝结构；(c)架迭结构

第二节 颗粒大小分析

土是由土粒、水及空气组成的散粒集合体，其中土粒及水对土的性质影响最大。土粒是土的固体部分，主要是岩石风化而成的各种矿物颗粒，构成土的骨架。这些土粒的大小尺寸称为粒度或粒径。土粒的粒径很难且无必要逐粒测定，在工程上，常把“使土在性质上发生显著差别的土粒粒径”作为分界尺寸，将土粒按大小划分为若干组别，称为粒组。图1-2就是水电部《土工试验规程》（SDS01-79）所规定的粒组划分图。

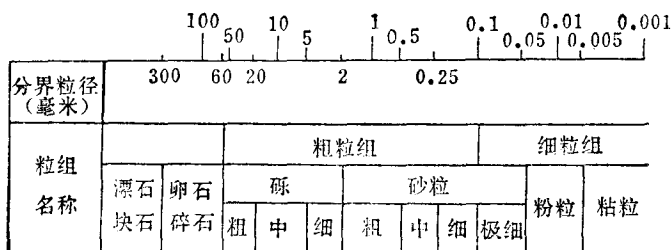


图 1-2 粒组划分图

土中各粒组的相对含量（以占干土总重的百分数计），称为土的颗粒级配。确定土样中各粒组相对含量的方法，叫颗粒大小分析试验。最常用的试验方法有筛分法和比重计法，前者适用于分析粒径大于0.1毫米的土，后者则适用于分析粒径小于0.1毫米的土。

筛分法是用一套孔径大小不同的筛子，按孔径大小从上

到下顺序叠置，然后将秤过重量的干土放入，在摇筛机上振动或摇动，把不同大小的土粒分开，秤其各部分的重量，再据此算出小于某筛孔孔径的土粒占土粒总重的百分数。

比重计法则根据大小不同的土粒在水中沉淀速率不同的原理，将土样加水制成悬液，利用比重计于不同时刻测出比重计重心处悬液浓度的变化，并据此算出小于某粒径的土粒占土粒总重的百分数。其计算原理和操作方法比较复杂，可参阅《土工试验规程》。

如土中同时含有粒径大于和小于0.1毫米的土粒，则需联合使用上述两种方法。

颗粒大小分析试验的结果常用如图1-3所示的颗粒大小分配曲线（简称颗粒曲线）来表示，该图横坐标表示土粒粒径（用对数尺度），纵坐标表示所有小于某一粒径的土粒占土粒总重的百分数。

利用颗粒曲线，可以统计出试验土样含有哪些粒组和各粒组的相对含量百分数。从该曲线的形状，又可以看出土的级配特征：如果土粒粒径分布是连续的，则曲线的坡度是渐变的；若土中缺少某些粒径，曲线出现水平段，其级配是不连续的。又如曲线坡度陡，说明粒度分布范围窄；坡度平缓，则粒度分布范围广。为了判别土的级配优劣，工程上常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标来描述颗粒曲线的坡度和形状。

不均匀系数 C_u 是反映粒度分布范围宽窄的指标，用下式计算：

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

曲率系数 C_c 则是反映土粒大小组合情况的指标，用下式

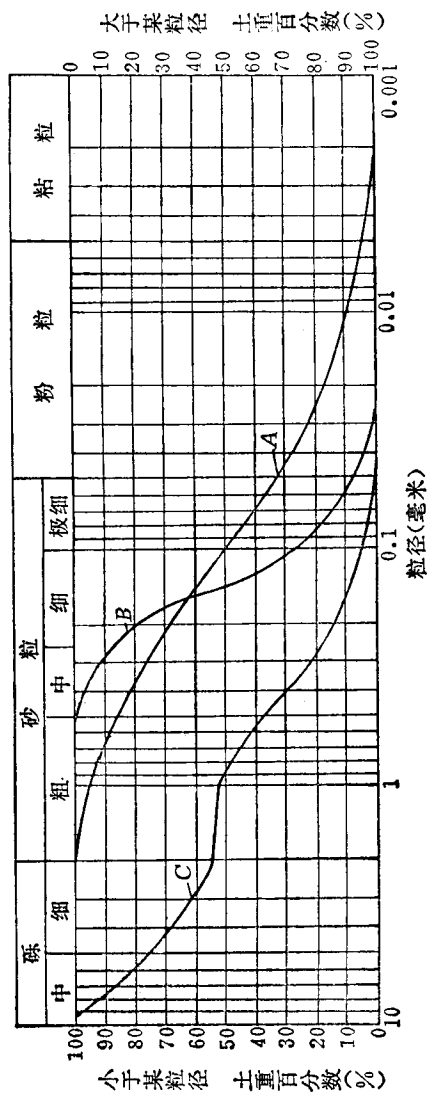


图 1-3 颗粒大小分配曲线

计算:

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

式中 d_{60} 、 d_{30} 、 d_{10} ——分别为颗粒曲线纵坐标上小于某粒径的含量为60%、30%、10%时所对应的粒径值； d_{10} 称为有效粒径， d_{60} 称为控制粒径。

不均匀系数 C_u 越大表示土中所含土粒越不均匀。根据工程经验，当 $C_u \leq 5$ 时，属级配均匀的土， $C_u > 5$ 则为级配不均匀的土。曲率系数 C_c 则一般认为当其等于1~3时，土粒级配是合适的。

图 1-3 给出了三种土样的颗粒曲线，其粒组含量百分数见下表。土样 A，曲线坡度平缓，级配连续，粒度分布范围较广，其 $C_u > 5$ ， C_c 在 1~3 之间，因此是一种级配良好的土；土样 B 虽然级配连续，其 C_c 在 1~3 之间，但曲线坡度陡，分布范围较窄， $C_u < 5$ ，所以是一种级配均匀的土，属于级配不良的情况；土样 C 恰好与 B 相反，其土粒大小差异甚大， C_u 远大于 5，但大、小颗粒之间缺少中间粒径，曲线出现水平段， C_c 不在 1~3 之间，这是一种级配不连续的土，也是一种级配不良的土。

土样 编号	各粒组含量百分数 (%)				d_{60}	d_{10}	d_{30}	C_u	C_c
	砾	砂粒	粉粒	粘粒					
A	0	69	22	9	0.146	0.011	0.047	13.3	1.38
B	0	93	7	0	0.157	0.060	0.109	2.6	1.26
C	45	54	1	0	2.850	0.155	0.410	18.4	0.38

颗粒曲线在工程上很有用处，可以据此对土进行分类命名，还可用以选择土料、研究改良土质、判定土是否会发生渗透破坏等。级配良好的土，粗细土粒能互相搭配填充，易被压实，因而密度大，透水性小，在外力作用下，其压缩量也较小，故抵抗破坏的能力比较强。

第三节 土的物理性质指标 和物理状态指标

土中固体土粒、水及空气三个组成部分之间的数量比例和相互作用，决定着土的物理、力学性质。工程上常用某些物理量来定量地描述土的物理性质和物理状态，这些物理量就称为土的物理性质指标和物理状态指标，前者有容重、比重、含水量、孔隙比、孔隙率以及饱和度；后者则有砂土的相对密度与粘性土的稠度指标。

为了研究土中土粒、水及空气在数量上的相对关系，设想把土体中这三个部分分别集中在一起，简化成如图 1-4 所示的三相图，图中符号 V 表示体积， W 表示重量，下角标 s 表示土粒、 w 表示水、 a 表示空气、 v 表示孔隙。

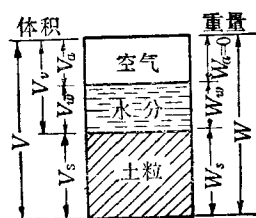


图 1-4 土的三相图

一、土的容重 (γ)

土的单位体积的重量称为土的容重，其常用单位为克/厘米³或吨/米³。