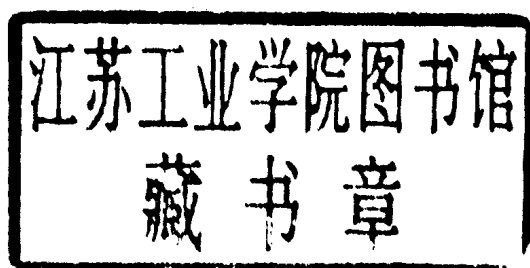


中等专业学校教材

土力学与地基基础

衡阳铁路工程学校	黄振民	主编
天津铁路工程学校	张攀柱	主审
包头铁路工程学校	张振业	



中国铁道出版社

1993年·北京

中等专业学校教材

土力学与地基基础

衡阳铁路工程学校	黄振民	主编
天津铁路工程学校	张攀柱	主审
包头铁路工程学校	张振业	

中国铁道出版社

1993年·北京

(京) 新登字063号

内 容 简 介

本书系根据铁道部1990年批准的铁路中专铁道工程(铁路局)专业《土力学与地基基础》教学大纲和铁路各有关规范编写的。书中较系统地叙述了土力学与地基基础的基本知识,内容包括:土的物理性质及工程分类,土中应力,土的压缩性及地基沉降计算,土的抗剪强度及地基承载力,明挖基础、沉井基础、桩基础,人工地基和特殊地基等九章。章内有例题及习题,以便于读者理解基本理论及复习;书后并附有桥涵地基勘察和土工试验指导书两个附录。

本书除作为铁道工程专业教材外,亦可供土建工程技术人员参考应用。

中等专业学校教材

土力学与地基基础

衡阳铁路工程学校 黄振民 主编

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 赵敬宇

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 15 字数: 375 千

1993年2月 第1版 第1次印刷

印数: 1—5000册

ISBN7-113-01518-X/TU·228 定价: 3.60 元

目 录

绪 论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	4
第一节 概述	4
第二节 土的三相组成	6
第三节 土的物理性质指标	10
第四节 砂类土及碎石类土的特征及其物理状态指标	18
第五节 粘性土的特征及其物理状态指标	20
第六节 土的工程分类及野外鉴别方法	22
习 题	27
第二章 地基土中的应力分布及计算	29
第一节 自重应力	29
第二节 基底应力计算	31
第三节 地基土中的附加应力	35
第四节 软弱下卧层顶面的应力计算	49
习 题	50
第三章 土的压缩性及地基沉降计算	52
第一节 土的压缩性	52
第二节 分层总和法计算地基沉降量	62
第三节 基础的沉降差与倾斜	66
第四节 地基沉降随时间变化的计算	68
第五节 土的击实原理	74
习 题	77
第四章 土的抗剪强度及天然地基承载力	80
第一节 土的抗剪强度及测定方法	80
第二节 土的极限平衡条件	83
第三节 三轴压缩试验简介	87
第四节 砂类土的振动液化	89
第五节 地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载简介	92
第六节 按《规范》确定地基容许承载力	99
第七节 触探法确定地基容许承载力	110
第八节 几种确定地基承载力方法的比较	114
习 题	115
第五章 桥涵基础概述	117
第一节 桥涵基础的分类	117

第二节	基础类型的选择	119
第三节	基础埋置深度的确定	120
第四节	基础设计与检算内容概述	122
习 题		122
第六章	明挖基础	123
第一节	基础砌体的材料和构造形式	124
第二节	作用于基础上的荷载	125
第三节	基础的设计检算	127
第四节	设计算例	130
习 题		135
第七章	沉井基础	136
第一节	沉井的适用条件	136
第二节	沉井的分类与构造	137
第三节	沉井的制作与下沉	140
第四节	沉井尺寸的拟定及下沉检算	143
第五节	沉井基础考虑土的弹性抗力的计算	144
习 题		156
第八章	桩 基 础	158
第一节	桩和桩基础的构造与分类	158
第二节	单桩的轴向容许承载力	161
第三节	桥涵桩基当作实体基础的检算	171
第四节	用“m”法计算单桩和单排式桩基础简介	172
习 题		186
第九章	人工地基和特殊地基	188
第一节	软弱地基及其加固方法	188
第二节	砂 垫 层	189
第三节	砂 桩	192
第四节	砂 井	196
第五节	湿陷性黄土及其地基处理	197
第六节	多年冻土地基	200
第七节	岩溶、断层地基	206
习 题		208
附录一	桥涵地基勘察	209
附录二	土工试验指导书	215
试验一	颗粒大小分析试验（筛析法）	215
试验二	土的含水量、密度试验，土粒比重试验	217
试验三	液、塑限试验	222
试验四	压缩（固结）试验	225
试验五	直接剪切试验	230

绪 论

一、土力学与地基基础的研究对象

不同成因的岩石经风化作用形成分散的颗粒，这些分散颗粒在各种自然环境中生成的沉积物或堆积物就称为土。一般工程建筑物都修建在土层（或岩层）上，这种支承建筑物的土层（岩层）叫做地基，地基承受着建筑物的全部荷载。在路基工程中，土既是填筑路堤的材料，又是支承路堤的地基。涵洞、隧道等则以土作为它的周围介质，而挡土墙又与土体互相作用着。建筑物借以向地基传递荷载的最下部分叫做基础。基础通常埋置在地面以下，它是建筑物的一个重要组成部分。

土力学是从工程力学范畴里发展起来的。它应用工程力学的原理，分析土在各种条件下的应力分布、变形大小以及土压力、地基承载力和土坡稳定等课题。同时，土力学还研究土的物理性质，并据以评价各种力学计算方法的可靠性和适用条件。

为了保证建筑物的安全和正常使用，支承建筑物的地基必须满足以下两个基本技术条件：

1. 地基的变形条件。建筑物的沉降量、沉降差和倾斜等都不能超过容许限度，以保证建筑物不损坏或不影响正常使用。
2. 地基的强度条件。作用于地基的荷载应不超过地基的承载能力，还要求有一定的安全系数，以保证地基不致破坏，或者说保证地基稳定。

在土力学中，研究土体是否破坏的问题叫做稳定问题，土的稳定性取决于它的强度。因此，地基的稳定问题实质就是地基的强度问题。

基础支承着其上部建筑的全部荷载，如基础发生破坏或过大变形，将直接影响整个建筑物的安全和正常使用。因此，基础设计在整个建筑物的设计中占有重要位置。基础一般都埋置在地面以下，有些基础还在水下，故建造基础将涉及到排水、防水或水下灌注混凝土等复杂施工问题。要根据具体情况选择施工机具，制定最优的施工方案，以求达到安全、高效和低耗地建造基础的目的。

土力学就是研究土的工程性质以及土在荷载作用下的应力、变形、强度和稳定性的科学；而地基与基础则是研究地基的沉降、承载力以及基础的设计与施工的科学。土力学与地基基础则是这两个学科的综合，它们是有机地联系在一起的。土力学知识为地基计算提供原理和方法；基础的设计和施工，又离不开地基计算和有关的土力学知识。

二、本课程的主要内容和学习要求

根据教学计划和教学大纲的要求，本课程将学习有关铁路路基和桥涵建筑所必需的土力学与地基基础的基本知识。

1. 土的物理性质和工程分类。这是学习土力学原理的基础知识，主要论述与铁路工程设计及施工有关的土的物理性质指标和物理状态指标。要求理解这些指标的物理意义；熟练

地掌握已知若干个物理性质指标换算为其他指标的方法；了解四大类土分类的依据，掌握各类土的准确定名。

2. 地基土中的应力分布及计算。主要介绍土的自重应力、基底应力和附加应力的分布和计算。要求掌握这三种应力的计算方法。

3. 土的压缩性和地基沉降计算。主要介绍土的压缩性和一种计算沉降量的方法。要求在理解土的压缩原理的基础上掌握用分层总和法计算地基最终沉降量。

4. 土的抗剪强度及天然地基承载力。主要介绍土的抗剪强度和按《铁路桥涵设计规范》确定天然地基容许承载力。要求掌握土的极限平衡的概念和条件；了解抗剪强度测定的几种方法；掌握地基容许承载力的概念，学会按《铁路桥涵设计规范》确定一般桥涵的地基容许承载力；了解接触探原理确定地基容许承载力。

5. 桥涵基础。主要介绍桥涵基础的类型选择和设计计算。要求学会明挖基础的设计计算方法；对沉井基础和桩基础的设计有一般的了解。

6. 人工地基及特殊地基。主要介绍软弱土的概念、几种常用的地基加固方法和在特殊地基上设计基础的特点。要求了解几种地基加固方法的适用条件和效果；了解在一些特殊地基上设计基础的特点。

本课程牵涉到的自然科学范围很广，学习中要注意联系工程力学、地质学和桥涵设计的一些概念和知识，还要注意从土的特性出发去理解地基基础的设计计算，理论联系实际，抓住重点，掌握原理，搞清概念。

本书未述及土压力计算和路基边坡稳定检算的理论。按照教学大纲的规定，这两个问题在《地质及路基》课中介绍。

本书在论述有关桥涵地基基础的内容和要求时，都以《铁路桥涵设计规范》(TBJ 2—85)为依据。书中凡引用《铁路桥涵设计规范》时，都简称《规范》。为便于读者学习，书中采用的符号力求与《规范》所用者一致。

三、本学科的特点及发展方向

土是由固体颗粒和颗粒之间的水和气体组成的，土粒之间和土粒与水之间的相互作用，使土体具有十分复杂的物理力学性质，现有的土力学理论还不能对这种复杂的物理力学性质作全面而准确的描述和分析。土体不是理想的弹性体或塑性体，因而目前土力学中所用的弹性理论和塑性理论方法都只能得出近似的计算结果，不完全符合实际情况，甚至还有较大的偏差。由于土力学在理论方面存在上述问题，就使地基和基础的设计计算理论也在不同程度上偏离实际，必须通过试验、实测，并紧密结合实践经验进行合理分析，才能使实际问题得到比较妥善的解决。所以，理论联系实际是本学科的显著特点。至于基础施工，目前急需解决的问题是如何进一步改善劳动条件、加快施工进度和提高施工质量。

从上面介绍的本学科所存在的问题，就可以大致看出本学科的发展方向。土力学作为一个独立学科，应建立自己的基本力学法则。目前应大力改进土工试验仪器设备，积累可靠而足够的试验资料，为建立土力学基本法则奠定基础。同时，土的种类很多，各类土的性质相差很大，一种法则不可能适应所有的土；应该根据土的类别，提出各自独特的力学法则。

在地基与基础的设计和计算方面，随着电子计算技术的普遍应用，有可能考虑土的特殊性质，采用有限单元法来计算比较复杂的土工和地基基础结构，并可进一步采用最优化方法来设计基础。在基础施工方面，加强机械化和自动化是一个发展方向。此外，广泛应用土力

学知识,采用新材料、新工艺和设计新型基础结构,也是基础工程发展的一个重要方面。

由于土的不均匀性,同一类土的物理力学性质也是不均一的,所以在土的基本试验和力学分析中,在土工结构物和地基基础的设计中,采用数理统计方法也是一个必然趋势。

第一章 土的物理性质及工程分类

第一节 概 述

一、土的成因和结构

(一) 土的成因

土木建筑工程所称的土，有狭义和广义两种概念。狭义概念所指的土，是岩石风化后的产物。广义的概念则将整体岩石也视为土。

地壳表层的岩石暴露在大气中，受到温度和湿度变化的影响，体积经常膨胀和收缩，不均匀的膨胀和收缩使岩石产生裂缝；岩石还长期经受风、霜、雨、雪的侵蚀和动植物活动的破坏，逐渐由大块崩解为形状和大小不同的碎块，这个产生裂缝和逐渐崩解的过程，叫作物理风化。物理风化只改变颗粒的大小和形状，不改变颗粒的成分。物理风化后所形成的碎块，与水、氧气、二氧化碳和某些由生物分泌出的有机酸溶液等接触，起化学变化，产生更细的并与原来的岩石成分不同的颗粒，这个过程叫作化学风化。经过这些风化作用所形成的矿物颗粒（有时还有有机物质）堆积在一起，中间贯串着孔隙，孔隙中还有水和空气，这种松散的固体颗粒、水和气体的集合体就叫作土。

物理风化不改变土的矿物成分，产生了象碎石和砂等颗粒较粗的土，这类土的颗粒之间没有粘结作用，呈松散状态，称为无粘性土。化学风化产生颗粒很细的土，这类土的颗粒之间因为有粘结力而相互粘结，干时结成硬块，湿时有粘性，称为粘性土。这两类土由于成因不同，因而物理性质和工程性能也不一样，对这点要特别注意。

风化作用生成的土，如果没有经过搬运，堆积在原来的地方，称为残积土。残积土一般分布在山坡或山顶。土受到各种自然力（如重力、水流、风力、冰川等）的作用，搬运到别的地方再沉积下来，称为沉积土。沉积土是一种最常见的土。

在沉积过程中，由于颗粒大小、沉积环境和沉积后所受的力等的不同，所形成土的类型和性质就不同。一般地说，在大致相同的地质年代及相似的沉积条件下形成的土，其成分和性质是相近的。沉积年代愈长，上覆土层重量愈大，土压得愈密实，由孔隙水中析出的化学胶结物也愈多。因此，老土层的强度和变形模量比新土层的要高；甚至由散粒体经过成岩作用又变成整体岩石，如砂类土成为砂岩，粘土变成页岩等。目前常见的土大都是第四纪沉积层，这个沉积层还正处于成岩过程中而尚未完成这个过程，因此一般都呈松散状态。但第四纪是由距今约一百万年开始的相当长的时期，第四纪早期沉积的土，在性质上就与近期沉积的土有相当大的差别。这种沉积年代长短对土的性质的影响，对粘性土尤为明显。不同的自然地理环境对土的性质也有很大影响。我国沿海地区的软土、严寒地区的多年冻土、西北地区的湿陷性黄土和西南亚热带的红粘土等，除了具有一般土的共性外，还各具有自己的特点。

《规范》将狭义的土分为碎石类土、砂类土和粘性土；此外，还有软土、冻土和黄土等

特殊土。碎石类土和砂类土都是无粘性土。

(二) 土的结构

土粒或土粒集合体的大小、形状、相互排列与联结等综合特征，称为土的结构。通常土的结构可分为三种基本类型：单粒结构、蜂窝结构和絮状结构。

1. 单粒结构（图 1—1）。

这种结构由较大土粒在自重作用下，于水或空气中下落堆积而成。碎石类土和砂类土就是单粒结构的土。因土粒较大，土粒之间的分子引力远小于土粒自重，土粒之间几乎没有相互联结作用，是典型的散粒状物体。这种结构的土，其强度主要来源于土粒之间的内摩擦力。

由于生成条件的不同，单粒结构可能是紧密的，也可能是松散的。

2. 蜂窝结构（图 1—2）。

较细的土粒在自重作用下于水中下沉时，碰到已沉稳的土粒，如两土粒间接触点处的分子引力大于下沉土粒的重量，土粒便被吸引着而不再下沉。如此继续不已，逐渐形成链环状单元。很多这样的链环联结起来，就形成疏松的蜂窝结构。这种结构常见于粘性土中。

3. 絮状结构（图 1—3）。

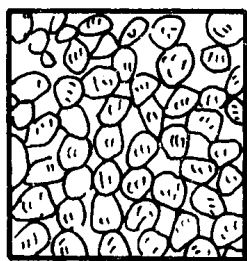


图 1—1 单粒结构

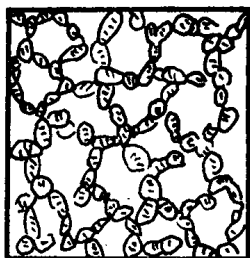


图 1—2 蜂窝结构

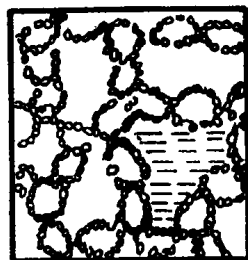


图 1—3 絮状结构

絮状结构是颗粒最细小的粘性土的特有的结构形式。最细小的粘粒大都呈针状或片状，它在水中呈现胶体特性。这主要是由于电分子力的作用，使土粒表面附有一层极薄的水膜（见本章第二节）。这种带有水膜的土粒在水中运动时，与其他土粒碰撞而凝聚成小链环状的土粒集合，然后沉积成大的链环，形成不稳定的复杂的絮状结构。这种结构在海相沉积粘土中常见。

土的以上三种结构，密实的单粒结构强度大，压缩性小，工程性质最好，蜂窝结构其次，絮状结构最差。尤其是絮状结构在其天然结构遭到破坏时，强度极低，压缩性极大，不能作为天然地基。

还应说明，土的结构受扰动后，其原有的物理力学性质会变化。因此，在取土样做试验时，应尽量减少扰动，避免破坏土的原状结构。

二、土的特性

由土的成因可知，土是地壳表层的岩石经风化作用后，在不同条件下所形成的堆积物和沉积物，是碎散颗粒的集合体。这与一般的建筑材料（如钢材、混凝土、石料等）是连续的固体有根本的区别。这种碎散性使土具有与一般建筑材料不同的若干特性：

1. 土有较大的压缩性。土的固体颗粒之间有孔隙，当受外力作用时，这些孔隙大大缩

小,使土具有压缩性较大这个特性。这个特性是引起建筑物沉降的内因。

2. 土颗粒之间具有相对移动性。土体受剪时,其抗剪强度是由土颗粒之间表面的摩擦力和内聚力组成的。而一般建筑材料受剪时,其抗剪强度则由材料本身的抗剪裂能力而产生。土颗粒之间的联结(表面摩擦力和内聚力)比颗粒本身的强度低得多,因此,土的抗剪强度就比一般建筑材料的低得多。土颗粒之间这种相对移动性是引起地基丧失稳定,产生滑动破坏的内因。

3. 土具有较大的透水性。土的固体颗粒之间有大的孔隙,水可以在孔隙中流动而透水。而一般建筑材料的透水性往往是很小的。

第二节 土的三相组成

一般地说,土是由固体颗粒(土粒)和颗粒之间孔隙中的水和气体这三部分组成的,这三部分通常称为土的三相(固相、液相和气相)。有时,土粒间的孔隙全部被水充满,形成饱和土,这种土是二相(固相和液相)的。当土粒间的孔隙只有空气时,形成干土,干土也是二相(固相和气相)的。土的各相组成部分的性质以及它们之间的相对含量(质量和体积)与相互作用,对土的物理力学性质有决定性的影响。

一、土的固体颗粒

固体颗粒是土的主要组成部分,也是决定土的性质的主要因素。颗粒的矿物组成、粒径大小和形状不同,土的性质也就不同。

(一) 颗粒的矿物成分和颗粒分组

土的颗粒一般由各种矿物组成,也含有少量有机质。土粒的矿物成分可分为两类:

1. 原生矿物,即物理风化所产生的粗颗粒的矿物,它们就是原来岩石的矿物成分,常见的有长石、石英、角闪石和云母等;

2. 次生矿物,是化学风化后产生的矿物,如颗粒极细的粘土矿物,常见的有高岭土、伊里土和蒙特土等;矿物成分对粘性土性质的影响很大,例如,粘性土中含有大量蒙特土时,这种土就具有强烈的膨胀性,它的收缩性和压缩性也大。

颗粒的粗细对土的性质影响也很大。颗粒愈细,单位体积内颗粒的表面积就愈大,与水接触的面积就愈多,颗粒相互作用的能力就愈强。

颗粒具有不同的形状,如块状、片状等,这和土的矿物成分有关,也和土粒所经历的风化搬运过程有关。

颗粒粒径的大小称为粒度,把粒度相近的颗粒合为一组,称为粒组。粒组的划分应能反映粒径大小变化引起土的物理性质变化这一客观规律。一般地说,同一粒组的土,其物理性质大致相同;不同粒组的土,其物理性质则有较大差别。《规范》对粒组的划分见表1—1。

(二) 用筛析法作土的颗粒大小分析

天然土是粒径大小不同的土粒的混合物,它包含着若干粒组的土粒。各粒组的质量占干土土样总质量的百分数叫做颗粒级配。颗粒大小分析的目的,就是确定土的颗粒级配,也就是确定土中各粒组颗粒的相对含量。颗粒级配是影响土(特别是无粘性土)的工程性质的主要因素,因此常被用来作为土的分类和定名的标准(见本章第六节)。根据铁道部《铁路工

程土工试验方法》(TBJ102—87)的规定, 颗粒大小分析可采用筛析法、比重计法和移液管法。筛析法适用于粒径大于0.1mm但不大于60mm的土, 比重计法和移液管法适用于粒径小于0.1mm的土。考虑到学习本课程的主要要求, 是将学得的知识用于解决桥涵和路基施工与设计的较简单的实际问题, 因此, 本书只介绍与路基和混凝土施工关系密切的筛析法。

土的颗粒分組 表 1—1

粒 组 名 称		粒 径 (mm)	一 般 特 性
漂石 (浑圆或圆棱) 或块石 (尖棱)	大	大于 800	无粘性, 孔隙大, 透水性大, 毛细上升高度极微, 不能保持水分, 强度大, 能承受很大静压, 压缩性小
	中	800~400	
	小	400~200	
卵石 (浑圆或圆棱) 或碎石 (尖棱)	大	200~60	
	中	60~40	
	小	40~20	
圆砾 (浑圆或圆棱) 或角砾 (尖棱)	大	20~10	
	中	10~5	
	小	5~2	
砂 粒	粗	2~0.5	无粘性, 易透水, 毛细上升高度不大, 遇水不膨胀, 干燥时不收缩且松散, 不呈现可塑性, 能承受较大静压, 压缩性较小
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.05	
粉 粒		0.05~0.005	湿润时出现轻微粘性, 透水性小, 遇水膨胀和干缩都不显著, 毛细上升较快, 上升高度较大
粘 土 粒		小于 0.005	粘性大, 几乎不透水, 湿润时呈可塑性, 遇水膨胀和干缩都较显著, 压缩性大

用筛析法作土的颗粒大小分析, 其主要设备是一套分析筛。这套筛子中的各筛按筛孔大小的不同由上至下排列 (最上层筛子的筛孔最大, 往下的筛子其筛孔依次减小), 上加顶盖, 下加底盘, 叠在一起。分析筛有粗筛和细筛两种。粗筛的孔径 (圆孔) 为60、40、20、10、7、5和2mm; 细筛的孔径为2、1.0、0.5、0.25和0.1mm。试样的用量为: 最大颗粒粒径小于2mm的土, 用100~300g; 最大颗粒粒径大于2mm但小于10、20、40mm的土, 分别用300~900、1000~2000和2000~4000g; 最大颗粒粒径大于40mm者, 用4000g以上。

试验时, 对于无粘性的土, 将烘干或风干的土样放入筛孔孔径为2mm的筛进行筛析, 分别称出筛上和筛下土的质量。取筛上的土样倒入依次叠好的粗筛最上层筛中筛析, 又将筛下粒径小于2mm的土样倒入依次叠好的细筛最上层筛筛析 (细筛可放在筛析机上摇筛, 摇筛时间一般为10~15min), 使细土分别通过各级筛孔漏下。称出存留在每层筛子和底盘内的土粒质量, 就可以计算出粒径小于 (或大于) 某一数值的土粒质量占土样总质量的百分数。表1—2是某土样颗粒大小分析试验的筛析成果记录。

对于含有粘土粒的砂类土的筛析方法, 《铁路工程土工试验方法》中另有规定, 本书从略。

对土的颗粒大小分析试验成果, 可用下列两种方式表达。

1. 表格法。列表说明土样中各粒组的土质量占土样总质量的百分数。表1—3就是根

据表 1—2 列出的该土样的颗粒级配表。

颗粒大小分析试验记录 (筛析法)

表 1—2

试验编号: 2°

风干土质量 = 1000g。 小于0.1mm的土总质量百分数 = 1.8%。					
2mm筛上土质量 = 403g。 小于2mm的土总质量百分数 = 59.7%。					
2mm筛下土质量 = 597g。 细筛分析时所取试样质量 = 100g。					
筛 号	孔 径 (mm)	累计留筛土质量 (g)	小于该孔径的土质量 (g)	小于该孔径的土质量 百分数 (%)	小于该孔径的土占总 土质量百分数 (%)
4	10	100	900	90.0	90.0
5	7	195	805	80.5	80.5
6	5	280	720	72.0	72.0
7	2	403	597	59.7	59.7
8	1	28.3	71.7	71.7	42.8
9	0.5	60.7	39.3	39.3	23.5
10	0.25	92.3	7.7	7.7	4.6
11	0.1	97	3.0	3.0	1.8
底盘总计		3			

复核: 张虹 1990 年 11月5日。计算: 李强 1990年11月5日。

试验: 王刚 1990 年 11月5日。

颗 粒 级 配

表 1—3

粒 径 (mm)	>10	10~7	7~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	<0.1
百 分 数 (%)	10.0	9.5	8.5	12.3	16.9	19.3	18.9	2.8	1.8

2. 颗粒级配曲线法。用曲线表示土样的颗粒级配。图 1—4 中的曲线 1, 就是按筛析法做试验后绘出的颗粒级配曲线。图中横坐标表示粒径, 用对数比例尺; 纵坐标表示小于某粒径的土质量百分数, 用普通比例尺。若颗粒级配曲线平缓, 表示土中各种粒径的土粒都有, 颗粒不均匀, 级配良好; 若曲线陡峻, 则表示土粒较均匀, 级配不好。在颗粒级配曲线上, 可以找到对应于颗粒含量小于10%、30%和60%的粒径 d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} , 这三个粒径组成级配指标:

不均匀系数 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

曲率系数 $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$

不均匀系数 C_u 愈大, 表示级配曲线愈平缓, 级配良好; 曲率系数 C_c 用以描述颗粒大小分布的范围。《铁路路基填土压实技术规则》规定, 当 $C_u \geq 5$ 、 $C_c = 1 \sim 3$, 可认为级配是良好的; 当 $C_u < 5$ 、 $C_c \neq 1 \sim 3$, 则认为级配是不良的。

前已介绍, 筛析法适用于粒径大于0.1mm的土。对于粒径小于0.1mm的土, 应采用比重计法或移液管法。根据比重计法或移液管法的试验结果, 同样可绘制颗粒级配曲线。图 1—

4 中的曲线 3 是根据比重计法的试验结果绘制的。若某土样中粒径大于 0.1mm 的土虽较多, 但粒径小于 0.1mm 的土仍超过土样总质量的 10%, 应采用筛析法和比重计法 (或筛析法和移液管法) 联合试验。图 1—4 中的曲线 2 是根据筛析法和比重计法联合试验的结果绘制的, 其中 AB 段用筛析法, BC 段用比重计法, 两段应连成一条光滑的曲线。

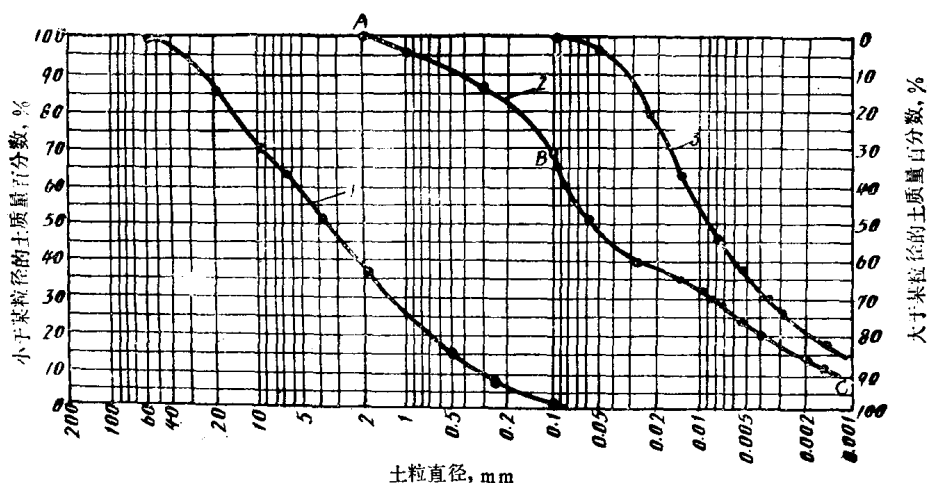


图 1—4 颗粒级配曲线

二、土 中 水

土的孔隙中通常含有水。土中的固体颗粒与水接触就相互起作用。试验证明, 土颗粒的表面带有负电荷。水分子 (H_2O) 是极性分子, 就是说带正电荷的 H^+ 和带负电荷的 OH^- 各位于水分子的两端见图 1—5 (a) 所示。这样的分子会被颗粒表面的负电荷吸引而定向地排列在颗粒的四周如图 1—5 (b) 和 (c) 所示, 离颗粒表面愈近, 吸引力愈大。土中水按其所受土粒的吸引力大小可分为下列几种形态。

1. 吸着水 (强结合水)。吸着水是被颗粒表面负电荷紧紧吸附在土粒周围很薄的一层水。这种水的性质接近于固体, 不冻结, 不因重力影响而移转, 不传递静水压力, 只有在 $105^\circ C$ 以上的温度烘烤时才能全部蒸发。这种水对土的性质影响较小。土粒可以从潮湿空气中吸附这种水。仅含吸着水的粘土呈干硬状态或半干硬状态, 碾碎则成粉末。砂类土也可能有极少量吸着水, 仅含吸着水的砂类土成散粒状。

2. 薄膜水 (弱结合水)。在吸着水外面一定范围内的水分子, 仍会受到颗粒表面负电荷的吸引力作用而吸附在颗粒的四周, 这种水称为薄膜水。显然, 离颗粒表面愈远, 水分子所受的电分子力就愈小, 因而薄膜水的性质随着离开颗粒表面距离的变化而变化, 从接近于吸着水至变为自由水。薄膜水从整体来说呈粘滞状态, 但其粘滞性是从内向外逐渐降低的。它仍不能传递静水压力, 但较厚的薄膜水能向邻近较薄的水膜缓慢转移。砂类土可认为不含薄膜水; 粘性土的薄膜水较厚, 且薄膜水的含量随粘粒增多而增大。薄膜水的多少对粘性土的性质影响很大, 粘性土的一系列特性 (粘性、塑性——土可以捏成各种形状而不破裂也不流动的特性、压实性等) 都和薄膜水有关。

3. 自由水。自由水是存在于颗粒表面负电荷吸附力作用范围以外的水, 它可以在土的孔隙中流动。土中含有较多的自由水时, 土就具有流动性。

自由水按其转移时所受作用力的不同，可分为重力水和毛细水。重力水是在自由水位（一般为地下水位）以下土粒的吸附范围以外的水，它在本身重力作用下可于土中自由流动，它能产生和传递静水压力，对土产生浮力。同时受表面张力和重力作用而移动的水叫毛细水，它能够通过土中连通的细孔隙上升到地下水位以上一定的高度；毛细水对地基或上坡稳定以及地基冻胀都有一定的影响。

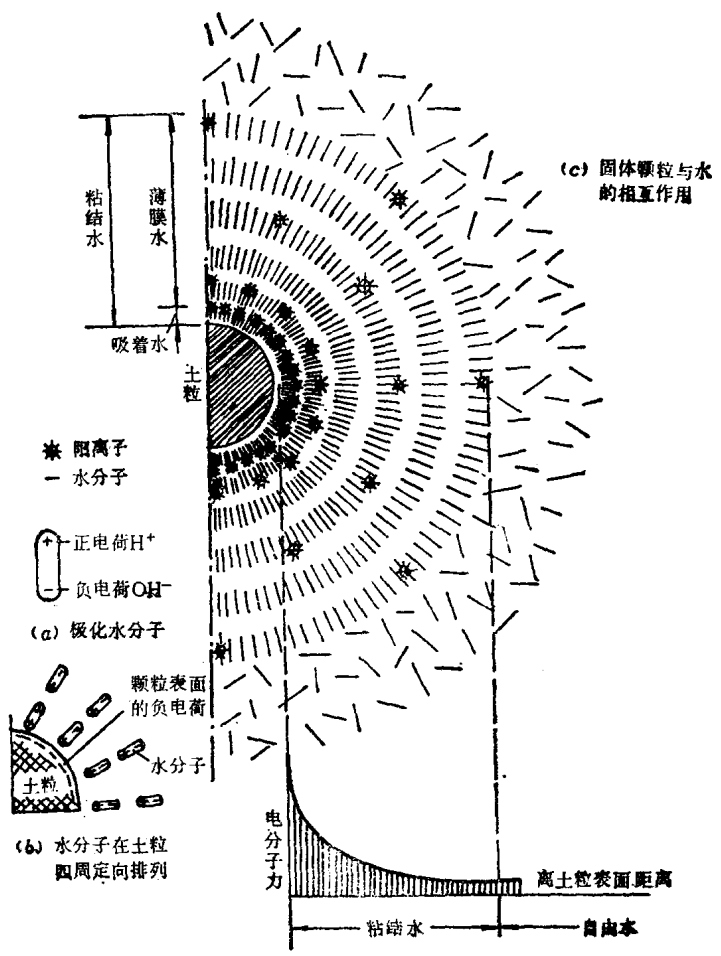


图 1—5 土中固体颗粒与水的相互作用

三、土中的气体

土中未被水占据的孔隙，都充满气体。土中气体分为两类：与大气相连通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体（气泡）。自由气体一般不影响土的性质；封闭气体的存在会增加土体的弹性，减小土的透水性。目前还未发现土中气体对土的性质有值得重视的影响，因此，在工程上一般都不予考虑。

第三节 土的物理性质指标

设计地基基础的关键问题之一，是确定地基容许承载力。地基容许承载力的大小主要决

定于土的性质,而土的物理性质则是土的最基本的性质。因此,必须对土的物理性质作研究。

前已介绍,土是由土粒、水和气体组成的三相体系。三相在体积和质量方面的相对比值,叫作三相比比例指标,也叫作土的物理性质指标。表达土的松密和软硬状况等的指标,叫作土的物理状态指标。本节先介绍土的物理性质指标。

为了说明和标记方便,将土中的土粒、水和气体三相分别集中起来,按其体积划分为固相、液相和气相三部分,绘成土的三相简图,如图 1—6 所示。图中符号的意义是:

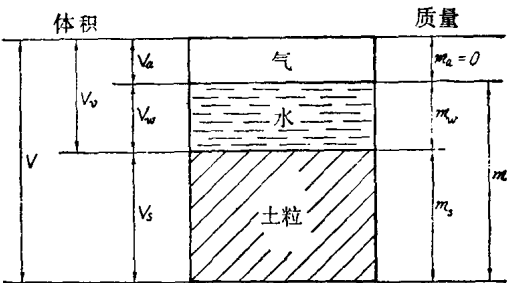


图 1—6 土的三相简图

- V ——土的总体积;
- V_s ——土中土粒的体积;
- V_v ——土中孔隙的体积;
- V_w ——土中水的体积;
- V_g ——土中气体的体积;
- m ——土的总质量;
- m_s ——土中土粒的质量(干土质量);
- m_w ——土中水的质量;
- m_g ——土中气体的质量(可认为 $m_g = 0$)。

社会救助
保险。
福利
抚恤

土的三相比比例指标,有一些必须通过试验直接测定,称为实测指标;另一些可以根据实测指标计算出来,称为导出指标。

一、实测指标

(一) 土的密度 ρ 和容重 γ

土在天然状态下的单位体积质量称为土的天然密度,简称土的密度,用下式表示

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_v} \quad \text{g/cm}^3 \quad (1-1)$$

在天然状态下,单位体积土所受的重力,叫做土的天然容重,简称容重,用下式表示

$$\gamma = \frac{W_r}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{(m_s + m_w)g}{V} \quad (1-1a)$$

式中 W_r ——土样的总重力;
 g ——重力加速度;
其他符号的意义同前。

容重的常用单位为 kN/m^3 。

应该明确,容重并不是实测指标。通常是实测土的密度 ρ 再算出容重 γ 。根据牛顿第二定律,可知 $m = \frac{W_r}{g}$,用体积 V 分别去除此式的左右侧,得土的密度和容重的关系式为

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{或} \quad \gamma = \rho \cdot g \quad (1-2)$$

可见,土的容重的物理意义是土的密度和重力加速度的乘积。密度为 1g/cm^3 的土,其容