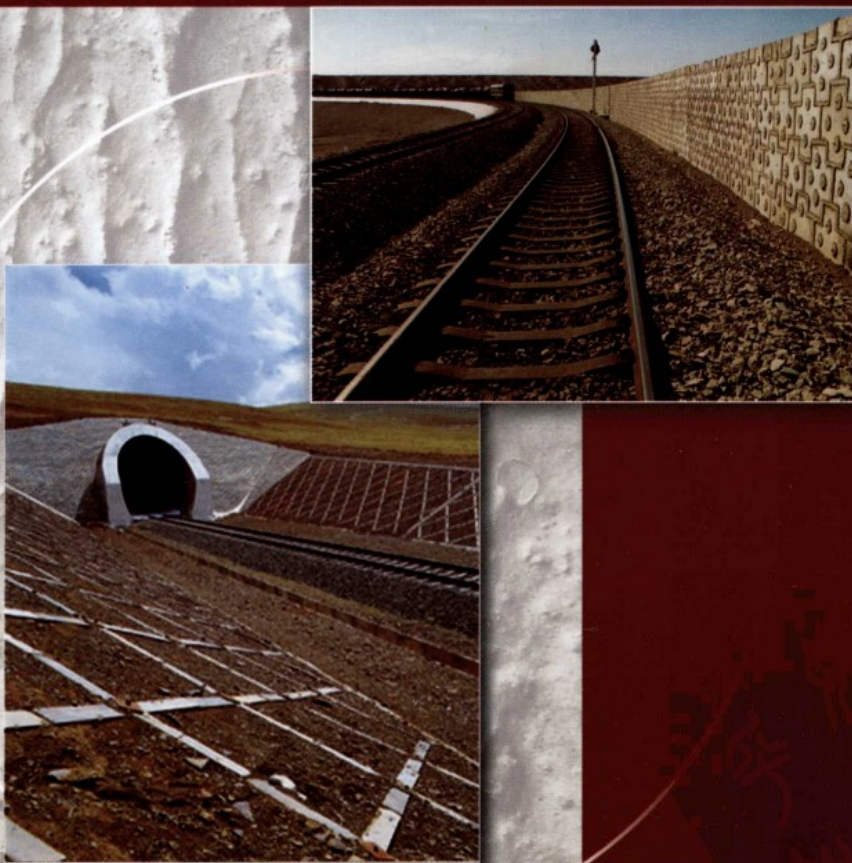




普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职)

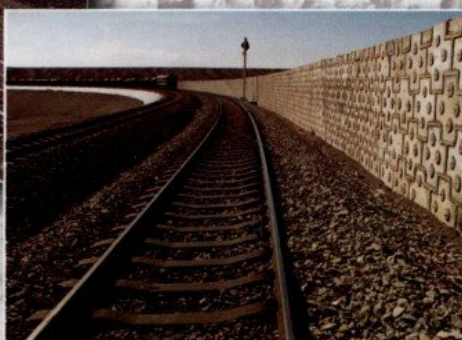
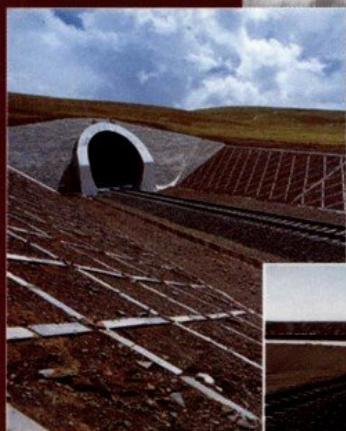
土力学与路基

李文英 张全良 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

责任编辑: 李丽娟



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址: 北京市宣武区右安门西街8号

邮编: 100054

网址: WWW.TDPRESS.COM

ISBN 978-7-113-08415-8



9 787113 084158 >

ISBN 978-7-113-08415-8/TU • 914

定 价: 38.50 元



内容简介

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高 职)

土力学与路基

李文英 张全良 主编

中国铁道出版社

2008年·北京

数字图书馆
PDG

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。书中系统地介绍了土力学与路基的基本知识。第一~第六章为土力学部分,内容包括土的物理性质及工程分类,土的渗透性,土中应力,土的压缩与地基变形计算,土的抗剪强度,地基承载力等。第七~十五章为路基部分,内容包括路基构造,路基排水,路基防护,路基支挡建筑物,复杂条件下的路基与路基病害防治,土工合成材料在铁路路基工程中的应用,路基施工与管理,路基防洪与抢修及高速重载铁路路基等。

本书为高职高专学校土木工程专业的教学用书,也可供中等专业学校和职工培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与路基/李文英,张全良主编. —2版. —北京:
中国铁道出版社,2008.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职)
ISBN 978-7-113-08415-8

I. 土… II. ①李…②张… III. ①土力学-高等学校-
教材②铁路路基-高等学校-教材 IV. TU43 U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 182466 号

书 名: 土力学与路基

作 者: 李文英 张全良 主编

策划编辑: 李丽娟

责任编辑: 李丽娟 电话: 51873135

封面设计: 马 利

责任校对: 张玉华

责任印制: 金洪泽

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 三河市华丰印刷厂

印 数: 1-3000 册

版 次: 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 21.75 字数: 518 千

书 号: ISBN 978-7-113-08415-8/TU · 914

定 价: 38.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

前 言

本书是根据铁道部高职高专建筑工程专业教学指导委员会建议，按照新的教学大纲编写的。

本教材编写时注重考虑了铁路施工及养护专业人员应具备的有关土的工程性质和路基设计与养护方面的专业知识、基本技能的要求。

本书分两部分内容，第一部分为土力学，扼要叙述了土力学的基础知识；第二部分为路基工程，系统地介绍了路基构造、排水、防护、支挡结构、施工、病害防治、防洪抢险等主要内容。同时，根据目前铁路发展趋势，本书还介绍了高速、重载铁路路基的特点、主要技术标准，以及土工合成材料在路基工程方面的应用。本书密切联系现场实际，编写时加强了基本知识，特别是基本技能方面的内容，适用性强。为便于现场有关工程技术人员学习和参考，同时根据教学需要编写了必要的算例。为帮助读者掌握各章内容，每章后均附有复习思考题。

本书可作为铁路施工与养护及相关专业高职、中专学生土力学和路基工程课程的教材，也可供从事路基施工及养护工作的人员自学或参考。

本书由天津铁道职业技术学院李文英、张全良主编，石家庄铁道学院杨广庆主审。参加编写的有李文英（第一至六章及附录一、附录二），张全良（第七至十二和第十四、十五章），石家庄铁道职业技术学院邢焕兰（第十三章）。在本书编写过程中，铁道部建筑工程专业教学指导委员会提出了许多宝贵意见，同时也得到了各有关部门的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中不免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 11 月

目 录

第一章 土的物理性质与工程分类	1
第一节 概 述	1
第二节 土的三相组成	2
第三节 土的物理性质指标	7
第四节 土的物理状态指标	14
第五节 土的结构与构造	20
第六节 土的工程分类及野外鉴别方法	22
第七节 土的击实性	26
复习思考题	29
第二章 土的渗透性	31
第一节 达西定律	31
第二节 渗透系数与渗透力	32
第三节 土的渗透变形	37
复习思考题	40
第三章 土体中的应力	41
第一节 土的自重应力计算	41
第二节 基底应力的分布与计算	43
第三节 地基附加应力计算	48
第四节 影响土中应力分布的因素	62
复习思考题	62
第四章 土的压缩与地基变形计算	64
第一节 土的压缩性	64
第二节 地基沉降量计算	72
第三节 基础的沉降差与倾斜	76
第四节 地基沉降随时间变化的计算	78
第五节 地基容许沉降量与减小沉降危害的措施	83
复习思考题	86
第五章 土的抗剪强度	88
第一节 土的抗剪强度和破坏理论	89
第二节 土的抗剪强度试验	96
第三节 不同排水条件的强度指标及测定方法	98

第四节 砂类土的振动液化	100
复习思考题	104
第六章 天然地基容许承载力	105
第一节 地基的破坏形态	105
第二节 按《铁路桥涵地基和基础设计规范》确定地基容许承载力	107
第三节 触探法确定地基容许承载力	119
第四节 几种确定地基承载力方法的比较	123
复习思考题	124
第七章 路基构造	126
第一节 路基横断面	127
第二节 路基面的形状和尺寸	131
第三节 路基边坡	138
复习思考题	139
第八章 路基排水	140
第一节 地面排水设备及其养护	140
第二节 地下排水设备及其养护	143
第三节 站场排水设备及其养护	149
复习思考题	151
第九章 路基防护	152
第一节 路基坡面防护	152
第二节 路基冲刷防护	159
复习思考题	163
第十章 路基支挡建筑物	164
第一节 概 述	164
第二节 土压力计算	168
第三节 重力式挡土墙的设计与检算	179
第四节 重力式挡土墙的构造与施工	190
第五节 挡土墙的养护维修	193
复习思考题	194
第十一章 复杂条件下的路基与路基病害防治	196
第一节 高填方与深挖方路基设计	196
第二节 浸水路基	204
第三节 软土地段路基	206
第四节 膨胀土路基	213
第五节 黄土路基	218
第六节 盐渍土路基	222
第七节 其他复杂条件下路基	224
第八节 基床病害及防治	230
第九节 崩塌落石及其防治	234

第十节 滑坡的形成及防治·····	238
第十一节 泥石流及其防治·····	242
复习思考题·····	244
第十二章 土工合成材料在铁路路基工程中的应用·····	245
第一节 概 述·····	245
第二节 基床加固与处理·····	248
第三节 路基防护·····	251
第四节 路基排水·····	253
第五节 加筋土工程·····	255
第六节 软土地基加固·····	257
第七节 EPS 材料在工程中的应用 ·····	258
复习思考题·····	260
第十三章 路基施工与管理·····	261
第一节 路基施工准备与土质调查·····	261
第二节 路堤填筑·····	265
第三节 路堑开挖·····	274
第四节 既有线改建和增建第二线路基施工·····	285
第五节 路基工程监理·····	291
复习思考题·····	294
第十四章 路基防洪与抢修·····	296
第一节 防洪准备工作·····	296
第二节 临险抢护·····	297
第三节 水害抢修·····	300
复习思考题·····	304
第十五章 高速重载铁路路基·····	305
第一节 概 述·····	305
第二节 高速重载铁路路基横断面·····	306
第三节 高速铁路路基基床及过渡段·····	313
复习思考题·····	316
附录一 各种边界条件下的库伦主动土压力公式·····	318
附录二 土工试验指导书·····	322
试验一 颗粒大小分析试验·····	322
试验二 土的含水率、密度试验和土粒相对密度试验·····	324
试验三 液、塑限试验·····	329
试验四 压缩（固结）试验·····	332
试验五 直接剪切试验·····	337
参考文献·····	340

第一章 土的物理性质与工程分类

第一节 概 述

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,即指覆盖在地表上松散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。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,称为物理风化。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,发生化学变化,产生更细的并与原来的岩石成分不同的颗粒,这个过程称为化学风化。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称为土。

物理风化不改变土的矿物成分,产生了像碎石和砂等颗粒较粗的土,这类土的颗粒之间没有黏结作用,呈松散状态,称为无黏性土。化学风化产生颗粒很细的土,这类土的颗粒之间因为有黏结力而相互黏结,干时结成硬块,湿时有黏性,称为黏性土。这两类土由于成因不同,因而物理性质和工程特性也不一样,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,就成为沉积土。沉积土是一种最常见的土。

实践经验表明,土的工程特性一方面取决于其原始堆积条件,使组成土的结构构造、矿物成分、粒度成分、孔隙中水溶液的性质不同,另一方面也取决于堆积以后的经历。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,黏土变成页岩等。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,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,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,对黏性土尤为明显。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黏土等,除了具有一般土的共性外,还各具有自己的特点。

《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB/10 002.5—2005)(以下简称《桥涵地基规范》)将狭义的土分为碎石类土、砂类土和粉土及黏性土,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黏性土。

第二节 土的三相组成

如前所述,土是由固体颗粒、水和气体三部分所组成的三相体系。固体部分一般由矿物质所组成,有时含有有机质(半腐烂和全腐烂的植物和动物残骸等),这一部分构成土的骨架,称为土骨架。土骨架间布满相互贯通的孔隙,这些孔隙有时完全被水充满,称为饱和土;有时一部分被水占据,另一部分被气体占据,称为非饱和土;有时也可能完全充满气体,就称为干土。水和溶解于水的物质构成土的液体部分。空气及其他一些气体构成土的气体部分。这三部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定着土的物理力学性质。因此,研究土的性质,首先必须研究土的三相组成。

一、固体颗粒

固体颗粒构成土骨架,它对土的物理力学性质起决定性的作用。研究固体颗粒就要分析粒径的大小及其在土中所占的百分比,称为土的粒径级配。另外,还要研究固体颗粒的矿物成分以及颗粒的形状。这三者之间又是密切相关的。

(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,如颗粒极细的黏土矿物。常见的有高岭土、伊里土和蒙脱土等,矿物成分对黏性土的性质影响很大,例如,黏性土中含有大量蒙脱土时,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。《桥涵地基规范》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体,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(特别是无黏性土)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。根据《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2004)的规定,颗粒大小分析可采用筛析法、密度计法和移液管法。筛析法适

表 1-1 土的颗粒分组

颗 粒 名 称	粒 径 $d(\text{mm})$	
	大	$d > 800$
漂石(浑圆、圆棱)或块石(尖棱)	中	$400 < d \leq 800$
	小	$200 < d \leq 400$
卵石(浑圆、圆棱)或碎石(尖棱)	大	$100 < d \leq 200$
	小	$60 < d \leq 100$
粗圆砾(浑圆、圆棱)或粗角砾(尖棱)	大	$40 < d \leq 60$
	小	$20 < d \leq 40$
细圆砾(浑圆、圆棱)或细角砾	大	$10 < d \leq 20$
	中	$5 < d \leq 10$
	小	$2 < d \leq 5$
砂 粒	粗	$0.5 < d \leq 2$
	中	$0.25 < d \leq 0.5$
	细	$0.075 < d \leq 0.25$
粉 粒	$0.005 \leq d \leq 0.075$	
黏 粒	$d < 0.005$	

用于粒径大于 0.075 mm 但不大于 60 mm 的土,密度计法和移液管法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。本书只介绍与路基和混凝土施工关系密切的筛析法。

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孔径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、5 和 2 mm,细筛的孔径为 2、1、0.5、0.25 和 0.075 mm。试样的用量为:最大颗粒粒径小于 2 mm 的土,用 100~300 g,最大颗粒粒径大于 2 mm 但小于 10、20、40 mm 的土,分别用 300~1 000 g、1 000~2 000 g、2 000~4 000 g,最大颗粒粒径大于 40 mm 小于 60 mm 的土,用 4 000 g 以上。试验时,对于无黏性土,将烘干或风干的土样放入筛孔孔径为 2 mm 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 2 mm 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 10~15 min),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。

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

对土的颗粒大小分析试验结果,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。

2. 颗粒级配曲线法

表 1-2 筛析法颗粒分析记录

试样编号:

风干土质量=1 000 g		小于 0.075 mm 的试样占总试样质量的百分数=1.8%			
2 mm 筛上试样质量=403 g		小于 2 mm 的试样占总试样质量的百分数=59.7%			
2 mm 筛下试样质量=597 g		细筛分析时所取试样质量=100 g			
筛号	孔 径 (mm)	累计留筛试样质量 (g)	小于该孔径试 样的质量 (g)	小于该孔径试样的 质量百分数(%)	小于该孔径试样占 总试样的质量 百分数(%)
4	10	100	900	90	90
5	5	280	720	72	72
6	2	403	597	59.7	59.7
7	1	28.3	71.7	71.7	42.8
8	0.5	60.7	39.3	39.3	23.5
9	0.25	92.3	7.7	7.7	4.6
10	0.075	97	3.0	3.0	1.8
底盘总计		3			

复核:张红 2006 年 11 月 5 日

计算:李强 2006 年 11 月 5 日

试验:王刚 2006 年 11 月 5 日

表 1-3 颗粒级配

粒径(mm)	>10	5~10	2~5	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.075~0.25	<0.075
百分数(%)	10.0	18.0	12.3	16.9	19.3	18.9	2.8	1.8

用曲线表示土样的颗粒级配。图 1-1 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:

$$\text{不均匀系数 } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

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

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。路基压实标准中认为,当 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 时,可认为级配是良好的;当 $C_u < 5$ 或 $C_c \neq 1 \sim 3$ 时,则认为级配是不良的。

前已介绍,筛析法适用于粒径小于或等于 60 mm,大于 0.075 mm 的土。对于粒径小于 0.075 mm 的土,应采用密度计法或移液管法。根据密度计法或移液管法的试验结果,同样可绘制颗粒级配曲线。图 1-1 中的曲线 3 是根据密度计法的试验结果绘制的。当土样中含有粒径大于和小于 0.075 mm 的颗粒各超过土样总质量的 10% 时,应采用筛析法和密度计法(或筛析法和移液管法)联合试验。图 1-1 中的曲线 2 是根据筛析法和密度计法联合试验的结果绘制的,其中 AB 段用筛析法,BC 段用密度计法,两段应连成一条光滑的曲线。

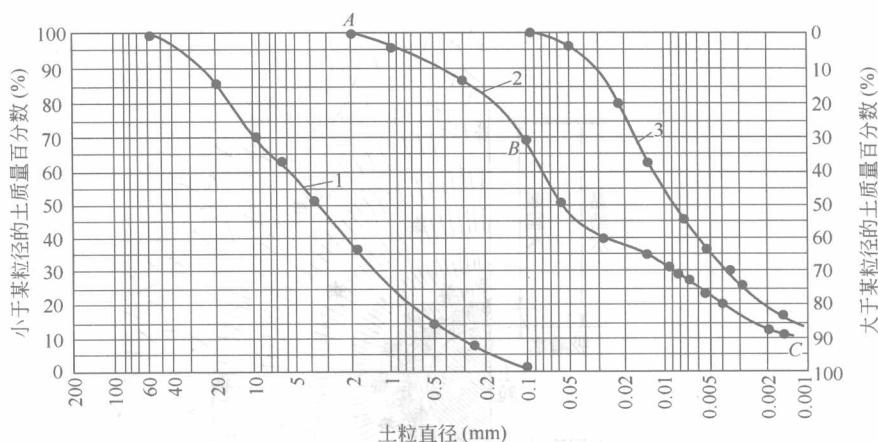


图 1-1 颗粒级配曲线

二、土中的水

在天然土的孔隙中通常含有一定量的水,它可以处于各种不同的状态。土中的细颗粒越多,土的分散度越大,水对土的性质影响越大。例如,含水量很大的黏性土比较干的黏性土软的多,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 1-2(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 1-2(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。

(一) 结合水

这部分水是借土粒的电分子引力吸引在土粒表面的水,对土的工程性质影响极大。它又可分为如下几种。

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;不因重力影响而转移,不传递静水压力,不导电,具有极大的黏滞性、弹性和抗剪强度,其剪切弹性模量达 20 MPa,只有在 105 °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。仅含吸着水的黏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,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黏滞状态,但其黏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,黏性土的薄膜水较厚,且薄膜水的含量随黏粒增多而增大。薄膜水的多少对黏性土的性质影响很大,黏性土的

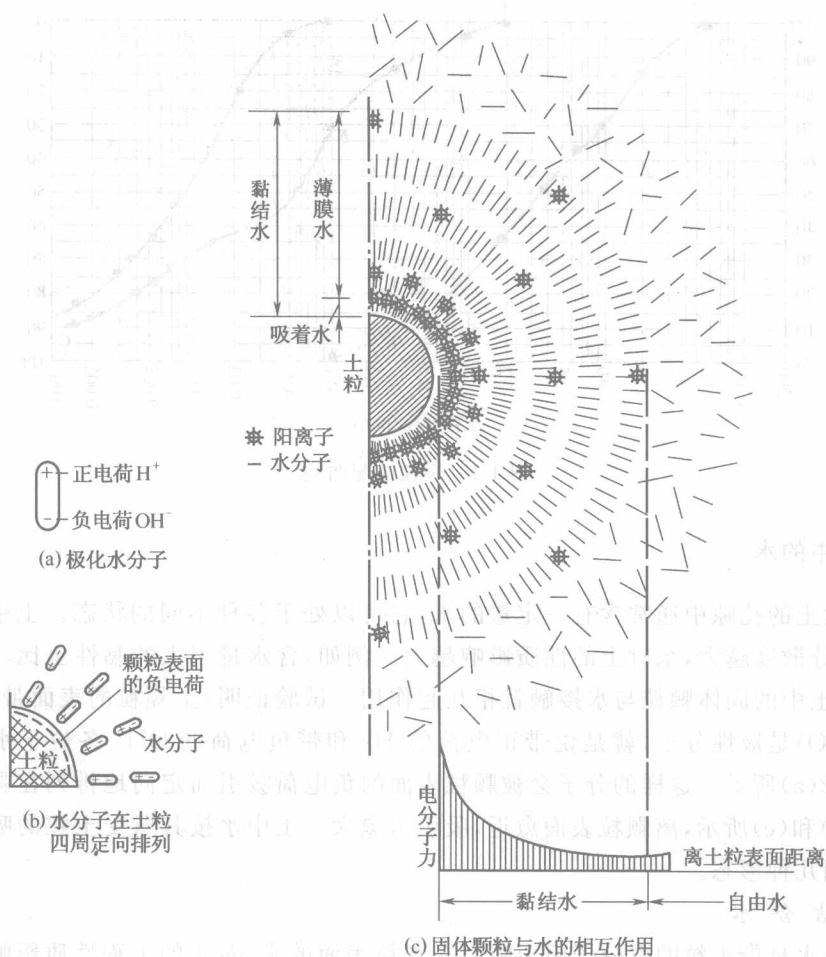


图 1-2 土中固体颗粒与水的相互作用

一系列特性(黏性、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。

(二) 非结合水

非结合水是土粒水化膜以外的液态水,虽土粒的吸引力对它有影响,但主要是受重力作用的控制,传递静水压力。按其转移时所受作用力不同,可分为毛细水和重力水。

1. 毛细水

土中存在着很多大小不一互相连通的微小孔隙,形成了错综复杂的通道,由于毛细表面张力的作用,形成了毛细水。毛细作用使毛细水从土的微细通道上升到高出自由水面以上。上升高度介于 0(砾石、卵石)到 5~6 m(黏土)之间。粒径 2 mm 以上的土颗粒间,一般认为不会出现毛细现象。由于毛细水高出自由水面,可以在地下水位以上一定高度内形成毛细饱水区,好像将地下水位抬高了一样。由于毛细水的上升可能引起道路翻浆、盐渍化、冻害等,导致路基失稳,因此,了解和认识土的毛细性,对土木工程的勘测、设计有重要意义。

2. 重力水

在自由水位以下,土粒吸附力范围以外的水。它在本身重力作用下,可在土中自由移

动,故称重力水。重力水在土中能产生和传递静水压力,对土产生浮力。在开挖基坑和修筑地下结构物时,由于重力水的存在,应采取排水、防水措施,土中应力的大小与重力水也有关系。

三、土中气体

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

土的三相组成的性质,特别是固体颗粒的性质,直接影响到土的工程特性。但是同一种土,密实时强度高,松散时强度低。对于细粒土,含水量少时则硬,含水量多时则软。这说明土的性质不仅决定于三相组成的性质,而且三相之间的比例关系也是一个很重要的影响因素。

因为土是三相体系,不能用一个单一的指标来说明三相间量的比例。对于一般连续性材料,例如钢或混凝土等,只要知道密度 ρ 就能直接说明这种材料的密实程度,即单位体积内固体的质量。对于三相体的土,同样一个密度 ρ ,单位体积内可以是固体颗粒的质量多一些,水的质量少一些,也可以是固体颗粒的质量少一些而水的质量多一些,因为气体的体积可以不相同。因此要全面表明土的三相量的比例关系,就需要有若干个指标。

一、土的三相图

为了使这个问题形象化,以获得清楚的概念,在土力学中,通常用三相草图表示土的三相组成,如图 1-3 所示。在三相图的左侧,表示三相组成的体积;在三相图的右侧,则表示三相组成的质量。

图中符号如下:

V ——土的总体积;

V_v ——土的孔隙部分体积;

V_s ——土的固体颗粒实体的体积;

V_w ——水的体积;

V_a ——气体体积;

m ——土的总质量;

m_w ——水的质量;

m_s ——固体颗粒质量。

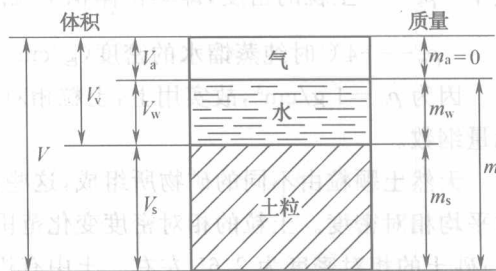


图 1-3 土的三相示意图

在上述的这些量中,独立的有 V_s 、 V_w 、 V_a 、 m_w 、 m_s 五个量。 1 cm^3 水的质量等于 1 g ,故在数值上 $V_w = m_w$ 。此外,当我们研究这些量的相对比例关系时,总是取某一定数量的土体来分析。例如取 $V = 1\text{ cm}^3$ 或 $m = 1\text{ g}$,或 $V_s = 1\text{ cm}^3$ 等等,因此又可以消去一个未知量。这样,对于这一定数量的三相土体,只要知道其中三个独立的量,其他各量就可以从图中直接算

出。所以,三相草图是土力学中用以计算三相量比例关系的一种简单而又很有用的工具。

二、确定三相比例关系的基本试验指标

为了确定三相草图各量中的三个指标:密度、相对密度和含水量,就必须通过实验室的试验测定。通常做三个基本物理性质试验。它们是:土的密度试验、土粒相对密度试验和土的含水量试验。有关试验方法参见土工试验规程或实验指示书。

1. 土的密度(ρ)

土的密度定义为土在天然状态下单位体积的质量,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,称为土的天然重度,简称重度,用下式表示:

$$\gamma = \frac{W_T}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{(m_s + m_w)g}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-2)$$

式中 g ——重力加速度($g=9.81 \text{ m/s}^2$,工程上有时为了计算方便,取 $g=10 \text{ m/s}^2$);

W_T ——土样的总重力。

其他符号意义同前。

应该明确,重度并不是实测指标。通常是实测土的密度 ρ 再算出重度 γ 。根据牛顿第二定律,可知 $m = \frac{W_T}{g}$,用体积 V 分别去除此式的左右两侧,得土的密度和重度的关系式为

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{或} \quad \gamma = \rho \times g \quad (1-3)$$

土的重度与土的含水率和密实度有关,一般土的重度为 $16 \sim 22 \text{ kN/m}^3$ 。

2. 土粒相对密度(或比密度)

土粒相对密度定义为土粒的质量与同体积纯蒸馏水在 4°C 时的质量之比,即

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \times \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-4)$$

式中 ρ_s ——土粒的密度,即单位体积土粒的质量, $\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$;

ρ_w —— 4°C 时纯蒸馏水的密度(g/cm^3)。

因为 $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$,故实用上,土粒相对密度在数值上即等于土粒的密度,即 $G_s = \rho_s$,是无量纲数。

天然土颗粒由不同的矿物所组成,这些矿物的相对密度各不相同。试验测定的是土粒的平均相对密度。土粒的相对密度变化范围不大。细粒土(黏性土)一般在 2.70 至 2.75 左右;砂土的相对密度为 2.65 左右。土中有机质含量增加时,土的相对密度减小。

单位体积土粒的重量称为土粒重度。土粒重度不是实测指标,通常是通过实测土粒相对密度 G_s 再算出土粒重度 γ_s ,由土粒重度的定义,可得出 G_s 与 γ_s 的关系式:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{m_s g}{V_s} = G_s \times g \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-5)$$

式中 W_s ——土样内土粒重力。

3. 土的含水率 w

土的含水率定义为土中水的质量与土粒质量之比,以百分数表示,即

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% = \left(\frac{m}{m_s} - 1 \right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 w ——土的含水率。

土的天然含水率变化很大。干的砂类土,含水率约为 $0 \sim 3\%$,饱和软黏土的含水率可达 $70\% \sim 80\%$ 。一般情况下,对同一类土,当含水率增大时,其强度就降低。

三、确定三相量比例关系的其他常用指标

测出土的密度 ρ ,土粒的相对密度 G_s 和土的含水率 w 后,就可以根据图 1-3 所示的三相草图,计算出三相组成各自在体积和重量上的数值。工程上为了便于表示三相含量的某些特征,定义如下几种指标。下面几个指标是根据其定义和三个实测指标换算得出,故称为导出指标。

1. 表示土中孔隙含量的指标

工程上常用孔隙比 e 或孔隙度 n 表示土中孔隙的含量。其定义为:

孔隙比 e 指孔隙体积与固体颗粒实体体积之比,表示为

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

孔隙比用小数表示。对同一类土,孔隙比越小,土越密实;孔隙比越大,土越松散。它是表示土的密实程度的重要物理性质指标。

由定义可知,孔隙比可能大于 1。

孔隙度 n 指孔隙体积与土体总体积之比,用百分数表示,亦即

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

由定义知,孔隙度恒小于 1。

下面根据孔隙比的定义和三个实测指标来推导孔隙比的换算关系式。

从三个实测指标的定义及其表达式可知,物理性质指标的计算结果与所取土样的体积(或质量)大小无关。因此,可假设土样的土粒体积 $V_s = 1$ 个单位体积,土样其余部分的体积和质量可用其他物理性质指标来表示。如图 1-4(a)所示。现对图 1-4(a)各部分的体积和质量的关系说明如下:假设 $V_s = 1$,根据式(1-4)可得土粒质量 $m_s = G_s$,再根据式(1-6),可得水的质量 $m_w = m - m_s = wm_s = wG_s$,故土的总质量 $m = m_s + m_w = G_s(1 + w)$ 。根据式(1-1),得土的总体积 $V = \frac{m}{\rho} = \frac{G_s(1 + w)}{\rho}$;而孔隙体积 $V_v = V - V_s = \frac{G_s}{\rho}(1 + w) - 1$;水的体积可根据

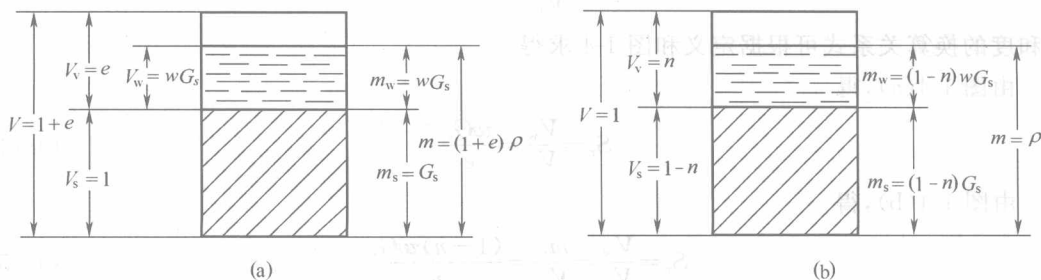


图 1-4 土的三相换算图