

铁路职业教育铁道部规划教材

铁路路基

TIELULUJI

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

解宝柱 主编

高职

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(高 职)

铁路路基

解宝柱 主 编
谢松平 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书分为两篇,第一篇为土力学及工程地质基础知识,主要讲述了和路基工程有关的土力学和工程地质的基本知识,如土的物理性质、状态指标,土的工程分类,土的压缩性和地基沉降计算,地质作用,工程地质勘测,地质图及地下水等内容。第二篇为路基工程,系统地介绍了路基构造、排水、防护、施工、防洪抢修、路基基床病害整治及支挡结构设计的基本方法。

本书为高职高专类土木工程专业教材,也可供从事路基施工及养护的人员自学及参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路路基 / 解宝柱主编:—北京:中国铁道出版社,2008.1

铁路职业教育铁道部规划教材·高职

ISBN 978-7-113-08567-4

I. 铁… II. 解… III. 铁路路基-高等学校:技术学校-教材 IV. U213.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第005482号

书 名:铁路路基
作 者:解宝柱 主编

责任编辑:李丽娟 电话:(010)51873135
封面设计:陈东山
责任校对:孙 玫
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:北京华正印刷有限公司

版 次:2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:18.75 字数:464千

书 号:ISBN 978-7-113-08567-4 / TU·920

定 价:37.00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

本书为铁路职业教育铁道部规划教材,是根据铁路高职教育铁路工程(工务)专业教学计划“铁路路基”课程教学大纲编写。编写时,注重铁路工务部门养修专业人员应具备的土力学、地质和路基方面的专业知识、基本技能的要求。

本书分两篇,第一篇为土力学及工程地质基础,扼要叙述了土力学和工程地质学的基础知识;第二篇为路基工程,系统地介绍了铁路路基构造及排水的基本知识,路基防护、施工、基床病害防治、防洪抢险的主要方法,支挡结构设计中重点介绍了重力式挡土墙的构造、设计、施工的基本方法,较详细地介绍了轻型挡土墙的有关知识。另外对高速、重载铁路路基的特点及主要技术标准也做了简要介绍。本书密切联系现场实际,力求反映当前路基工程的新技术、新工艺和新规范。编写时针对教学现状,加强了基本知识、特别是基本技能方面的内容。为便于自学,编者力求做到各章节内容循序渐进,叙述深入浅出,并根据教学需要编写了必要的算例和复习思考题。

本书由吉林铁道职业技术学院解宝柱主编,湖南交通工程职业技术学院谢松平主审。参加编写的有华东交通大学职业技术学院张元才(第一篇第一章),吉林铁道职业技术学院付德才(第一篇第二、三章)、解宝柱(绪论,第一篇第四、五章,第二篇第三~五章,第二篇第八章及附录)、李东侠(第二篇第一、二章)、闫晶(第二篇第六、七章)。在本书编写过程中,编者参考了大量相关优秀的教材、著作、文章,在此向相关编者、著者表示谢意。

由于编者水平所限,书中谬误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007年10月20日

目 录

101	绪 论	1
第一篇 土力学及工程地质基础		
101	第一章 土力学基础知识	3
107	第一节 土的形成与组成	3
109	第二节 土的三相图与土的物理性质指标	10
111	第三节 土的物理状态指标	15
111	第四节 土的工程分类	18
111	第五节 土中应力	22
111	第六节 土的压缩性和地基沉降计算	30
111	第七节 土的抗剪强度	37
111	复习思考题	43
120	第二章 矿物与岩石	45
120	第一节 概 述	45
124	第二节 主要造岩矿物	46
124	第三节 岩浆岩	50
124	第四节 沉积岩	53
124	第五节 变质岩	59
124	第六节 岩石的肉眼鉴定方法	62
124	第七节 岩石的主要工程性质	64
124	复习思考题	68
124	第三章 地质构造及地质作用	69
124	第一节 地质构造的基本形态	69
124	第二节 地质构造与工程的关系	78
124	第三节 地质作用	82
124	复习思考题	91
124	第四章 工程地质勘测与地质图	93
124	第一节 工程地质勘测简介	93
124	第二节 地质年代	95
124	第三节 地质图	100
124	复习思考题	106

第五章 地下水	107
第一节 地下水的基本概念	107
第二节 地下水的类型和特征	109
第三节 地下水对工程建筑物的影响	115
复习思考题	119
第二篇 路基工程	
第一章 路基构造	120
第一节 概 述	120
第二节 路基横断面的形式和组成	121
第三节 路基横断面的设计	124
第四节 路基标准横断面	132
复习思考题	136
第二章 路基排水	137
第一节 概 述	137
第二节 地面排水设备及其养护	137
第三节 地下排水设备及其养护	140
第四节 站场排水设备及其养护	146
复习思考题	147
第三章 路基防护	149
第一节 路基坡面防护	149
第二节 路基冲刷防护	162
第三节 土工合成材料在路基防护中的应用	171
复习思考题	175
第四章 路基基床病害及整治	176
第一节 基床病害的类型及特征	176
第二节 基床病害的预防	179
第三节 基床翻浆冒泥的整治	180
第四节 基床下沉及挤出病害的整治	184
第五节 基床冻害整治	188
复习思考题	191
第五章 挡 土 墙	193
第一节 挡土墙概述	193
第二节 土压力计算	195
第三节 重力式挡土墙的设计与检算	207
第四节 轻型挡土墙简介	222
第五节 挡土墙的施工及养护维修	226
复习思考题	228
第六章 路基施工	230
第一节 施工准备	230

第二节 路堤填筑	234
第三节 路堑开挖	241
第四节 路基防护施工工艺	243
第五节 路基机械化施工简介	247
第六节 改建既有线及增建第二线路基	254
第七节 路基整修和验收要求	257
第八节 土石方工程数量计算及调配	258
复习思考题	263
第七章 路基防洪与抢修	264
第一节 防洪准备工作	264
第二节 临险抢护	265
第三节 水害抢修	269
复习思考题	273
第八章 高速、重载铁路路基	274
第一节 概 述	274
第二节 高速铁路路基的主要技术标准	275
第三节 高速铁路路基基床及过渡段	279
第四节 高速铁路路基与桥梁过渡段	281
复习思考题	285
附录 各种边界条件下的库仑主动土压力公式	286
参考文献	290

绪 论

一、土力学及工程地质学与路基工程的关系

路基作为一种土工结构物,是铁路轨道铺设的基础。为确保列车安全、平稳运行,路基必须具有强度高,刚度大,稳定性、耐久性好,不易变形等优良性状。

路基主要由松散的土(石)材料所构成,或者直接以土(石)作建筑材料(例如路堤);或者直接建造在地层上(例如路堑、支挡建筑物等)。因此,路基强度及稳定性与土的成因、成分、结构、构造及土的各种力学性质,与路基所在地层的各种地质条件都有密切的关系。因此,对从事路基工程的技术人员而言,掌握土力学及工程地质的基本知识是十分必要的。

在路基工程中土力学的主要任务是:①根据土的物理性质及状态指标对路基土进行工程分类,为路基设计或施工提供依据;②设计支挡结构物时进行土压力计算及基底应力检算;③为路基其他工程计算提供理论依据或方法。

在路基工程中工程地质学的任务是:①查明对路基有影响的各种地质因素,如地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及各种地质作用等;②判断路基修建后可能发生的工程地质问题(基底下沉、边坡滑动坍塌、自然山体失稳等),为选择有利的线路位置、路基设计和施工方案提供地质依据;③对不良地质现象提出有效整治措施,保证路基坚固稳定,正常使用。

二、路基工程概述

路基是以天然土石修筑而成的条形建筑物,它分布在广阔的地区,处在各种地质、水文、气候等复杂的自然环境下,它的强度和稳定性受到地质条件及雨、雪、水流、气温等各种自然因素的影响。

水的活动是促使路基病害发生发展的重要原因。为使路基不致遭受地面水、地下水的侵蚀破坏,路基应有良好的排水、防护及加固建筑物。

既有铁路路基在列车荷载作用及各种自然因素的影响下,会产生各种变形和路基病害,因此,应对路基加强养护与维修,并对不稳定边坡进行防护与加固,以减弱或消除各种路基病害,保证路基稳定及行车安全与舒适。对于路基病害,必须贯彻“以防为主,防治结合”,“一次整治,不留隐患”的原则,采取合理的整治方案及有效的工程措施。

在雨季,铁路路基常受到洪水的侵袭,因此应加强路基的防洪工作,当路基发生水害,应根据水害的具体情况,采用合适的方法抢修。

路基的工程数量极为庞大,需用大量的劳动力、工程材料、施工机具和建设资金。在大量土石方集中地段,常常控制着整个铁路的施工期限。因此,在路基施工中应认真做好土石方调配,合理选择施工方法,以保证工程质量,加速施工进度,降低工程造价,提高经济效益。同时,在施工中还应注意节约用地,少占农田,少破坏自然地貌和植被,以免导致水土流失。

高速铁路运行速度快、技术标准高,对轨道变形有严格的要求,路基是轨道的基础,控制路基变形已成为高速铁路路基的最大特点。因此,高速铁路对路堤的地基条件、填料、压实标准、

基床和路桥过渡段的刚度等方面均提出了更高的要求。

三、本课程的内容、目的及学习方法

本课程主要讲述土力学、工程地质及铁路路基的基本知识,主要内容有:

(一) 土力学基础

主要叙述土的成因与组成,土的三相图与土的物理性质、状态指标,土的工程分类,土中应力,土的压缩性和地基沉降计算的基本知识及主要土工实验等。

(二) 工程地质基础

主要叙述与铁路路基工程有关的矿物、岩石、地质构造,地质作用,工程地质勘测,地质图及地下水等基础知识。

(三) 路基构造

主要叙述路基的作用,路基工程的特点、要求以及路基设计的基本知识;一般路基构造和主要技术标准;路基加宽的常用措施等知识。

(四) 路基排水

主要叙述路基排除地表水、地下水和车站排水设备的类型、构造、适用条件和一般要求,以及排水设备的养护维修基本知识。

(五) 路基防护

主要叙述路基坡面病害的主要类型;路基坡面防护和冲刷防护的常用方法以及防护工程的施工、养护维修的基本知识。

(六) 挡土墙

主要叙述支挡建筑物的基本知识;土压力计算的原理和方法;重力式挡土墙的设计、施工及养护维修的基本知识;轻型支挡结构的特点、构造等知识。

(七) 路基基床病害及防治

主要叙述基床病害的成因、分类及整治方法。

(八) 路基施工

主要叙述新线、既有线改建和增建二线路基施工的基本方法。

(九) 路基防洪与抢修

主要叙述路基防洪准备工作的主要内容以及路基临险抢护和水害抢修的常用方法。

(十) 高速、重载铁路路基

主要叙述高速、重载铁路对路基的技术要求;高速、重载铁路路基的主要技术标准及其基床和过渡段的基本知识。

本课程涉及工程地质、土力学及铁路路基设计、施工和养护维修等学科领域,内容广泛,综合性强。学习时必须理论联系实际,突出重点,兼顾全面。一方面要认真领会本课程的基本理论、基本概念;另一方面,要通过实验、实习和课程设计,认真动手动脑,反复练习。学会识别常见的矿物和岩石,辨别一般地质构造形态,分析各种地质构造与工程的关系;掌握路基构造、排水、加固与防护、施工、养护维修、防洪与抢修的基本知识和技能;能利用土压力计算图式计算作用在墙背上的主动土压力并据以进行重力式挡土墙的设计与检算;掌握土坡稳定检算的基本原理和方法;掌握各种路基病害的成因及防治措施。在学习过程中要注意锻炼自己的观察、计算和收集资料的能力,从而提高自己分析问题和解决问题的能力。

第一篇 土力学及工程地质基础

第一章

土力学基础知识

第一节 土的形成与组成

一、土的形成

地球表面 30 ~ 80 km 厚的范围是地壳。地壳表面广泛分布着的土体是原来完整坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用而瓦解的碎块或矿物颗粒,再经水流、风力或重力作用、冰川作用搬运在适当的条件下沉积而成的各种类型的土体。

土体不是一般土层的组合体,而是与工程建筑的稳定、变形有关的土层的组合体。

土体是由厚薄不等,性质各异的若干土层,以特定的上、下次序组合在一起的。

土体沉积后,靠近地表的土体,将经过生物化学及物理化学变化,即成壤作用,形成土壤;未形成土壤的土,继续受到风化、剥蚀、侵蚀而再破碎、再搬运、再沉积等地质作用。时代较老的土,在上覆沉积物的自重压力及地下水的的作用下,经受成岩作用,逐渐固结成岩,强度增高,成为“母岩”。

总之,土体的形成和演化过程,就是土的性质和变化过程,由于不同的作用或处于不同的作用阶段,土体就表现出不同的特点。

二、土的基本特征

从工程地质观点分析,土有以下共同的基本特征:

(一)土是自然历史的产物

土是由许多矿物自然结合而成的。它在一定的地质历史时期内,经过各种复杂的自然因素作用后形成,各类土的形成时间、地点、环境以及方式不同,各种矿物在质量、数量和空间排列上都有一定的差异,其工程地质性质也就有所不同。

(二)土是相系组合体

土是由固相、液相、气相所组成的体系。相系组成之间的变化,将导致土的性质改变。土的相系之间的质和量的变化是鉴别其工程地质性质的一个重要依据。它们存在着复杂的物理—化学作用。

(三) 土是多矿物的组合体

在一般情况下,土体中含有5~10种或更多的矿物,其中除原生矿物外,次生黏土矿物是主要成分。黏土矿物的粒径很小(小于0.005 mm),遇水呈现出胶体化学特性。

三、土的三相组成

土中固体颗粒、液体水和气体三部分称为土的三相组成。土中的固体矿物构成骨架,骨架之间贯穿着孔隙,孔隙中充填着水和空气,三相比例不同,土的状态和工程性质也不相同。

固体 + 气体(液体 = 0) 为干土,干黏土较硬,干砂呈松散状态;

固体 + 液体 + 气体为湿土,湿黏土多为可塑状态;

固体 + 液体(气体 = 0) 为饱和土,饱和粉细砂受震动可能产生液化;饱和黏土的地基沉降需很长时间才能稳定。

(一) 土的固体颗粒

土的固体颗粒构成土的骨架,土粒大小与其颗粒形状、矿物成分、结构构造存在一定关系。例如,粗颗粒往往是岩石经物理风化作用形成的碎屑,其形状呈块状或粒状,常形成单粒结构;而细小土粒主要是化学风化作用形成的次生矿物和有机质,多呈片状,形成蜂窝或絮状结构。

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(粒度成分)。此外,还要研究固体颗粒的矿物成分以及颗粒的形状。

1. 颗粒分组(粒度成分)

在自然界中没有由大小相同颗粒所组成的土,都是由大小不同的土粒所组成。而土粒大小及其矿物成分的不同,对土的物理力学性质影响很大。例如,当土粒粒径由粗到细逐渐变化时,土的性质相应地发生变化。因而,在研究土的工程特性时,应将土中不同粒径的土粒,按某一粒径范围,分为若干粒组。同一粒组的土,其物理力学性质应较为接近。

随着颗粒大小不同,土可以具有很不相同的性质。颗粒的大小通常以粒径表示。工程上按粒径大小分组,称为粒组,即某一级粒径的变化范围。

划分粒组的两个原则:

(1) 首先考虑到在一定的粒径变化范围内,其工程地质性质是相似的,若超越了这个变化幅度就要引起质的变化。

(2) 要考虑与目前粒度成分的测定技术相适应。

目前,我国广泛应用的粒组划分方案见表1-1-1所示。

表1-1-1 土的颗粒分组

颗粒名称	粒 径 d (mm)	
	大	中
漂石(浑圆、圆棱)或块石(尖棱)		$d > 800$
		$400 < d \leq 800$
		$200 < d \leq 400$
卵石(浑圆、圆棱)或碎石(尖棱)		$100 < d \leq 200$
		$60 < d \leq 100$
粗圆砾(浑圆、圆棱)或粗角砾(尖棱)		$40 < d \leq 60$
		$20 < d \leq 40$
细圆砾(浑圆、圆棱)或细角砾		$10 < d \leq 20$
		$5 < d \leq 10$
		$2 < d \leq 5$

续上表

颗粒名称	粒 径 $d(\text{mm})$	
	粗	$0.5 < d \leq 2$
砂 粒	中	$0.25 < d \leq 0.5$
	细	$0.075 < d \leq 0.25$
	$0.005 < d \leq 0.75$	
粉 粒	$0.005 < d \leq 0.75$	
黏 粒	$d \leq 0.005$	

将粒径由大至小划分为六个粒组:①漂石或块石组;②卵石(碎石)组;③砾石;④砂粒组;⑤粉粒组;⑥黏粒组。各粒组的界限粒径分别是 200 mm, 20 mm, 2.0 mm, 0.075 mm, 0.005 mm。其中,粗粒同一组别又依据表面形状再区分,如漂石与块石都是指 200 mm 以上的颗粒,但漂石表面浑圆,块石表面尖棱。

实际上,土常是各种大小不一的颗粒混合物,较笼统地说,以砾石和砂砾为主要组成的土为粗粒土,也称无黏性土。其特征为:孔隙大、透水性强,毛细上升,但高度很小,既无可塑性,也无胀缩性,压缩性极弱,强度较高。以粉粒、黏粒为主的土称为细粒土,也称为黏性土。其特征为:主要由原生矿物、次生矿物组成,孔隙很小,透水性极弱,毛细上升高度较高,有可塑性、胀缩性,强度较低。

2. 颗粒级配及颗粒级配分析方法

工程上使用的粒径级配的分析方法有筛分法和水分法两种。

(1)筛分法适用于颗粒大于 0.075 mm 的土。它是利用一套孔径大小不同的筛子,将事先称过质量的风干土样过筛,称留在各筛上的质量,然后计算相应的百分数。分析筛有粗筛和细筛两种。粗筛的孔径为 60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm;细筛的孔径为 2 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm。

试验时,对于无黏性土,将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的土的质量。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,使土样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。碎石类土与砂类土采用筛分法。

(2)水分法(静水沉降法),用于分析粒径小于 0.075 mm 的土,根据斯托克斯(Stokes)定理,球状的细颗粒在水中的下沉速度与颗粒直径的平方成正比, $v = Kd^2$ 。因此可以利用粗颗粒下沉速度快,细颗粒下沉速度慢的原理,把颗粒按下沉速度进行粗细分组。实验室常用密度计进行颗粒分析,称为密度计法。

【例题 1-1-1】从干砂样中取质量 1 000 g 的试样,放入 0.075 ~ 2.0 mm 的标准筛中,经充分振荡,称各级筛上留下来的土粒质量见表 1-1-2 第二行,试求土粒中各粒组的土粒含量。

表 1-1-2 筛分析试验结果

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	
各粒组的土粒含量(%)		10		25		30		10		5		

【解】(1)留在孔径 2.0 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于 2.0 mm 的土粒质量为 $1\ 000 - 100 = 900$ g,于是小于该孔径(2.0 mm)的土粒含量为 $900/1\ 000 = 90\%$ 。

同理可称得小于其他孔径的土粒含量,见表 1-1-2 第三行。

(2)因小于 2.0 mm 和小于 1.0 mm 孔径的土粒含量为 90% 和 80%,可得 2.0 mm 到 1.0 mm 粒组的土粒含量为 $0.90 - 0.80 = 10\%$ 。

同理可算得其他粒组的土粒含量见表 1-1-2 第四行。

3. 粒径级配曲线

将筛分析和密度计试验的结果绘制在以土的粒径(取常用对数)为横坐标,以小于某粒径之土的质量百分数(%)为纵坐标的图上,得到的曲线称为土的粒径级配累积曲线(如图 1-1-1)。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;反之,若曲线陡峻,则表示土粒均匀,级配不好。

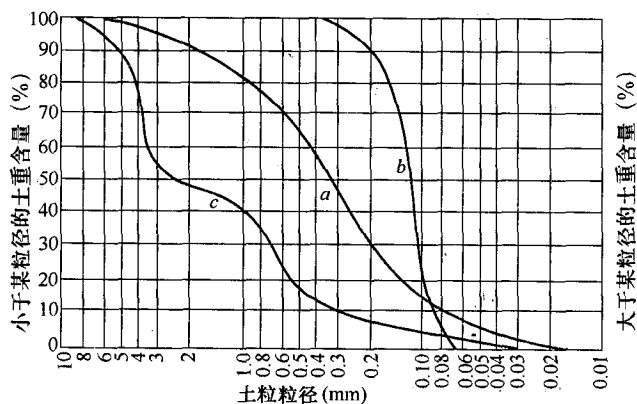


图 1-1-1 土的颗粒级配曲线

此外,粒径的级配表示方法还有列表法,如表 1-1-2 等。

4. 粒径级配累积曲线的应用

土的粒径级配累积曲线是土木工程颗粒分析最常用的曲线,从这条曲线上可以直接了解土的粗细、粒径分布的均匀程度和级配的优劣。

土的有效粒径(d_{10}):小于某粒径的土粒含量累计百分数为 10% 时,相应的粒径称为有效粒径(d_{10})。

中间粒径 d_{30} :小于某粒径的土粒含量累计百分数为 30% 时的粒径,用 d_{30} 表示。

土的控制粒径(d_{60})或称限定粒径:当小于某粒径的土粒含量累计百分数为 60% 时,该粒径称为控制粒径。

土的不均匀系数 C_u 为:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

土的粒径级配累积曲线的曲率系数 C_c 为:

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

不均匀系数 C_c 反映大小不同粒组的分布情况。 C_u 越大表示土粒大小的分布范围越大,颗粒大小越不均匀,级配越良好,作为填方工程的土料时,则比较容易获得较大的密实度。

曲率系数 C_c 描写的是累积曲线的分布范围,反映曲线的整体形状,或称反映累积曲线的斜率是否连续。

在一般情况下,工程上把 $C_u \leq 5$ 的土看做是均粒土,属级配不良; $C_u > 5$ 时,称为不均粒土。经验证明,当级配连续时, C_c 的范围约为 1~3; 因此当 $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时,均表示级配线不连续。

依据《铁路路基填土压实技术规则》, $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 的土,称为级配良好的土;不能同时满足上述两个要求的土,称为级配不良的土。

(二) 土粒矿物成分

土中固体部分的成分,绝大部分是矿物质,另外或多或少地有一些有机质,而土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化作用。不同的矿物成分对土的性质有着不同的影响,其中以细粒组的矿物成分尤为重要。

1. 原生矿物

由岩石经物理风化而成,其成分与母岩相同。包括:

- (1) 单矿物颗粒:如常见的石英、长石、云母、角闪石与辉石等,砂土为单矿物颗粒。
- (2) 多矿物颗粒:母岩碎屑,如漂石、卵石与砾石等颗粒为多矿物颗粒。

但总的来说,土中原生矿物主要有:①硅酸盐类矿物;②氧化物类矿物;③硫化物矿物;④磷酸盐类矿物。

2. 次生矿物

岩屑经化学风化而成,其成分与母岩不同,为一种新矿物,颗粒细。包括:①可溶性的次生矿物;②不可溶的次生矿物。

3. 黏土矿物

黏土矿物主要有蒙脱石、伊利石(水云母)、高岭石三种。

四、土中水

组成土的第二种主要成分是土中水。在自然条件下,土中总是含水的。土中水可以处于液态、固态或气态。土中细粒越多,即土的分散度越大,水对土的性质影响也越大。

研究土中水,必须考虑到水的存在状态及其与土粒的相互作用。

存在于土粒矿物的晶体格架内部或是参与矿物构造中的水称为矿物内部结合水,它只有在比较高的温度(80~680℃,随土粒的矿物成分不同而异)下才能化为气态水而与土粒分离,从土的工程性质上分析,可以把矿物内部结合水当作矿物颗粒的一部分。

存在于土中的液态水可分为结合水和自由水两大类,分布在土粒间的孔隙中。

(一) 结合水

是指受电分子吸引力吸附于土粒表面的土中水,这种电分子吸引力高达几千到几万个大气压,使水分子和土粒表面牢固的黏结在一起。试验证明,黏粒表面常带有负电荷。水分子是极性分子,带正电荷的氢离子和带负电荷的氢氧根离子各位于水分子的两端。水分子受黏土颗粒表面负电荷吸引而定向排列在颗粒的四周,如图 1-1-2 所示。

结合水因离颗粒表面远近不同,受电场作用力的大小也不同,所以分为强结合水和弱结合水。

1. 强结合水(吸着水)

系指紧靠土粒表面的结合水,它的特征是:没有溶解盐类的能力;不能传递静水压力;只有吸热变成蒸汽时才能移动。

这种水极其牢固地结合在土粒表面上,其性质接近于固体,密度约为 $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$,冰点为 -78°C ,具有极大的黏滞度、弹性和抗剪强度。

土粒越细,土的比表面积越大,则最大吸着度就越大。砂土的吸着水较少,为 1% 左右,黏

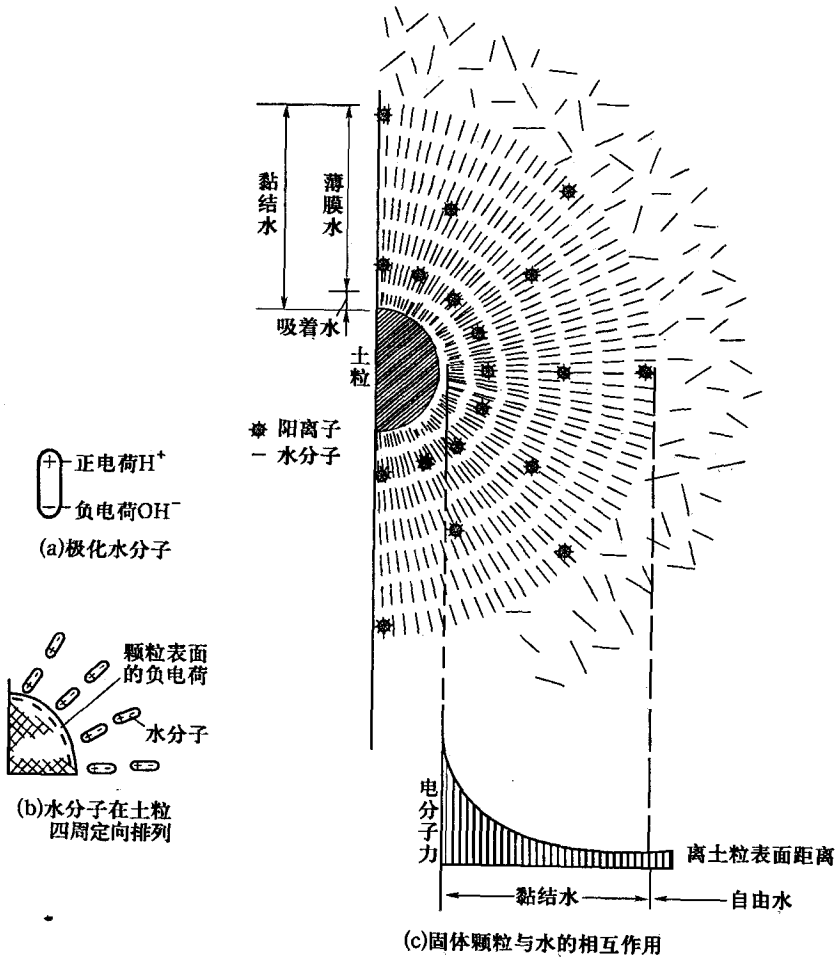


图 1-1-2 结合水分子定向排列简图

土可达百分之十几。当仅含吸着水时，黏土呈干硬状态或半干硬状态，砂土则呈散粒状。

2. 弱结合水(薄膜水)

弱结合水紧靠于强结合水的外围形成一层结合水膜。它仍然不能传递静水压力,但水膜较厚的弱结合水能向临近的较薄的水膜缓慢移动。

当土中含有较多的弱结合水时,土则具有一定的可塑性。砂土比表面积较小,几乎不具有可塑性,而黏土的比表面积较大,其可塑性范围较大。弱结合水对黏土的工程性质影响较大。

弱结合水离土粒表面愈远,其受到的电分子吸引力愈弱小,并逐渐过渡到自由水。

(二) 自由水

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水。它的性质和普通水一样,能传递静水压力,冰点为 0℃,有溶解能力。

自由水按其移动所受到作用力的不同,可以分为重力水和毛细水。

1. 重力水

重力水是存在于地下水位以下的透水土层中的地下水,它是在重力或压力差作用下运动的自由水,对土粒有浮力作用,重力水对土中的应力状态和开挖基槽、基坑以及修筑地下构筑

物时所应采取的排水、防水措施有重要的影响。

2. 毛细水

毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。其形成过程通常用物理学中毛细管现象解释。分布在土粒内部相互贯通的孔隙,可以看成是许多形状不一,直径各异,彼此连通的毛细管。按物理学概念,在毛细管周壁,水膜与空气的分界处存在着表面张力 T 。由于表面张力的作用,毛细管内的水被提升到自由水面以上高 h_c 处。由于毛细作用,土粒间会产生毛细压力。毛细压力可用图 1-1-3 来说明。图中两个土粒的接触面间有一些毛细水,由于土粒表面的湿润作用,使毛细水形成弯液面,在水和空气的分界面上产生的表面张力 T 沿着弯液面切线方向作用,它促使两个土粒互相挤紧,在土粒的接触面上产生一个压力,即毛细压力。

毛细升高 h_c 与毛细管半径 r 成反比。显然土颗粒的直径越小,孔隙的直径(毛细管直径)越细,则 h_c 愈大。

毛细水的工程地质意义:

(1) 产生毛细压力(p_c): $p_c = \frac{2T \cos \alpha}{r} = \gamma_w h_c$ 与一般静水

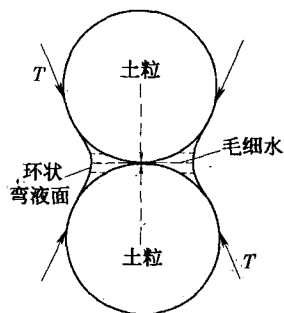


图 1-1-3 毛细压力示意图

压力的概念相同,它与水头高度 h_c 成正比。但自由水位以上,毛细区域内,颗粒间所受的毛细压力 p_c 呈倒三角形分布,弯液面处压力最大($h_c \gamma_w$),自由水面处为零。

(2) 毛细水对土中气体的分布与流通有一定影响,常是导致产生密闭气体的原因。

(3) 当地下水埋深浅时,由于毛细管水上升,可助长地基土的冰冻现象,引起基床病害,危害铁路路基。

五、土中气体

土的孔隙中没有被水占据的部分都是气体。

土体中气体对土的工程性质影响较小,在工程中不予考虑。

六、土的结构和构造

(一) 土的结构

土颗粒之间的相互排列和联结形式,称为土的结构。一般分为单粒结构、蜂窝结构、絮状结构。

1. 单粒结构

单粒结构由土粒在水中或空气中下沉而形成。全部由砂粒或更粗土粒组成的土常具有单粒结构。因其颗粒较大,在重力作用下下降到较为稳定的状态,土粒间的分子引力相对很小,土粒之间几乎没有相互联结,呈现散粒状。单粒结构可以是疏松的,也可以是紧密的。其密实性对其力学性能影响较大。

2. 蜂窝结构

蜂窝结构指当土颗粒较细(粒径在 0.005 ~ 0.05 mm),在水中单个下沉,碰到已沉积的土粒时,由于土粒之间的分子吸力大于颗粒自重,则土粒被吸引不再下沉,形成很大孔隙的蜂窝状结构。

3. 絮状结构

指粒径小于0.005 mm的黏土颗粒,在水中长期悬浮并在水中运动时,形成小链环状的土集粒而下沉。这种小链环碰到另一小链环时则被吸引,形成大链环状的絮状结构,此种结构在海积黏土中常见。

上述三种结构中,以密实的单粒结构土的工程性质最好,蜂窝状其次,絮状结构最差。后两种结构土,如因振动破坏天然结构,则强度降低,压缩性增大,基坑开挖时,应避免破坏基底土原状结构。

(二) 土的构造

同一土层中,土颗粒之间相互关系的特征称为土的构造。常见的有下列几种:

1. 层状构造

土层由不同颜色,不同粒径的土组成层理,平原地区的层理通常为水平层理。

层状构造是细粒土的一个重要特征。

2. 分散构造

土层中土粒分布均匀,性质相近,如砂、卵石层为分散构造。

3. 结核状构造

在细粒土中掺有粗颗粒或各种结核,如含砾石的冰碛土等,其工程性质取决于细粒土部分。

4. 裂隙状构造

土体中有很多不连续的小裂隙,如坚硬状态的黏土为此种构造。裂隙状构造强度低,渗透性高,工程性质差。

第二节 土的三相图与土的物理性质指标

土的物理性质就是研究土粒、水和空气三相的质量与体积间的相互比例关系以及固、液两相相互作用表现出来的性质。

土的物理性质指标可分为两类:一类是必须通过试验测定的,如含水率、密度;另一类是可以根据试验测定的指标换算,如孔隙比、孔隙率和饱和度等。

如图1-1-4所示,土的三相图是把土中的水、空气、土粒的体积、质量用图与符号表示出来。

一、土粒密度与相对密度

土粒密度是指固体颗粒的质量 m_s 与其体积 V_s 之比,即

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-1-1)$$

土粒相对密度 G_s 是指土粒密度与4℃时纯水密度之比,即

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-1-2)$$

土粒密度仅与组成土粒的矿物密度有关,而与土的孔隙大小和含水多少无关。实际上是

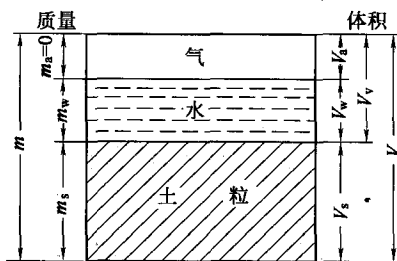


图 1-1-4 土的三相组成示意图