



高职交通运输与土建类专业规划教材

路基路面试验与检测

LU JI LU MIAN SHI YAN YU JIAN CE

主 编 张小利
副主编 唐 娴
主 审 万丽平



人民交通出版社
China Communications Press



高职交通运输与土建类专业规划教材

路基路面试验与检测

LU JI LU MIAN SHI YAN YU JIAN CE

主 编 张小利

副主编 唐 娴

主 审 万丽平



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书系统阐述了路基路面试验与检测内容。全书内容包括:公路路基工程检测、高速铁路路基工程检测、路面基层/底基层工程检测、水泥混凝土路面工程检测、沥青混凝土路面工程检测、公路工程质量检验评定,共六部分。

本书适于高职高专及各类成人教育公路与桥梁工程专业、铁道工程专业等交通运输与土建类相关专业学生选作教材使用,亦可供相关专业工程人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

路基路面试验与检测 / 张小利主编. —北京:人民交通出版社,2014.1

ISBN 978-7-114-11103-7

I. ①路… II. ①张… III. ①路基工程—检测—教材
②路面—道路工程—检测—教材 IV. ①U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 311861 号

书 名:路基路面试验与检测

著 作 者:张小利

责任编辑:杜 琛 卢 珊

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.5

字 数:385 千

版 次:2014 年 1 月 第 1 版

印 次:2014 年 1 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11103-7

定 价:34.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

“路基路面试验与检测”是一门理论结合实践应用,且实践性较强的专业课程。该课程的目的,在于使学生掌握公路路基工程检测、高速铁路路基工程检测、路面基层/底基层工程检测、水泥混凝土路面工程检测、沥青混凝土路面工程检测的方法和程序;了解公路路基工程、高速铁路路基工程、路面基层/底基层工程、水泥混凝土路面工程、沥青混凝土路面工程的特点、构造及施工工艺;具备解读规范,正确使用试验仪器和设备,根据检测数据对公路路基工程、高速铁路路基工程进行质量评定的能力。

教材在编写过程中,听取了企业专家、各兄弟院校的宝贵意见,汲取几年来本课程改革的经验与成果,在原校本讲义基础上增加公路路基工程、高速铁路路基工程、路面基层/底基层工程、水泥混凝土路面工程和沥青混凝土路面工程的特点、构造及施工工艺内容,使学生能够把所学知识同工程实际紧密地结合起来,达到学以致用目的。同时,教材中学习情境6——公路工程质量检验评定内容的编写,同交通运输部《公路水运工程试验检测人员考试大纲》紧密结合,可为学生上岗后的岗位拓展、资格证鉴定工作打下良好基础。教材中全部采用最新工程技术标准和规范,体现了编写的先进性、科学性、实用性要求。全书在知识阐述时尽力采用图解方式,选用大量的试验图片、表格,力求教材生动、形象,并更加贴近现场实际工作。

陕西铁路工程职业技术学院张小利任本书主编,负责全书的统稿工作。具体编写分工如下:学习情境1中任务一、任务三及任务四由陕西铁路工程职业技术学院张小利、中铁二十局集团第一工程有限公司赵西鹏编写,任务二由陕西铁路工程职业技术学院宁波编写;学习情境2由渭南市交通运输局唐娴编写;学习情境3中任务一、任务二、任务三由陕西铁路工程职业技术学院梁小英编写,任务四由长安大学公路学院周胜波博士编写;学习情境4由陕西铁路工程职业技术学院郭俊娥编写,学习情境5由陕西铁路工程职业技术学院赵丽萍编写;学习情境6由陕西铁路工程职业技术学院刘群编写。中国交通建设集团第三工程有限公司试验工程师万丽平坦任本书主审,提出了卓有建设的修改意见和编写建议,同时人民交通出版社编辑杜琛对本书提供了大力的支持和帮助,在此一并表示衷心地感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,书中不免存在错误与不妥之处,敬请读者批评指正,并将意见与建议及时反馈给我们,以便修订时完善,谢谢!

欢迎访问我们的网站://<http://jiaoxue.sxvi.net/>

编 者

2013年12月

目 录

学习情境1 公路路基工程检测	1
任务1 公路路基工程认知	2
任务2 公路路基工程施工准备 阶段试验检测	25
任务3 公路路基工程施工阶段 试验检测	43
任务4 公路路基工程竣工验收 阶段试验检测	60
综合练习题	61

学习情境2 高速铁路路基工程检测 ...	63
任务1 高速铁路路基工程认知	64
任务2 高速铁路路基工程施工 准备阶段试验检测	79
任务3 高速铁路路基工程施工 阶段试验检测	84
任务4 高速铁路路基工程竣工 验收阶段试验检测	103
综合练习题	103

学习情境3 路面基层、底基层工程 检测	104
任务1 路面基层、底基层工程 认知	105
任务2 路面基层、底基层工程 施工准备阶段试验检测 ...	122
任务3 路面基层、底基层工程 施工阶段试验检测	144
任务4 路面基层、底基层工程 竣工验收阶段试验检测 ...	145
综合练习题	145

学习情境4 水泥混凝土路面工程 检测	147
任务1 水泥混凝土路面工程认知 ...	148
任务2 水泥混凝土路面工程 施工准备阶段试验检测 ...	164
任务3 水泥混凝土路面工程 施工阶段试验检测	170
任务4 水泥混凝土路面工程 竣工验收阶段试验检测 ...	174
综合练习题	174

学习情境5 沥青混凝土路面工程 检测	176
任务1 沥青混凝土路面面层 工程认知	177
任务2 沥青混凝土路面面层 施工准备阶段试验检测 ...	186
任务3 沥青混凝土路面面层 施工阶段试验检测	190
任务4 沥青混凝土路面面层 竣工验收阶段试验检测 ...	192
综合练习题	212

学习情境6 公路工程质量检验评定 ...	214
任务1 公路工程质量检验评定 方法	215
任务2 路基土石方工程质量 检验评定	219
任务3 路面工程质量检验评定 ...	223
综合练习题	238

参考文献	240
------------	-----

学习情境 1

公路路基工程检测

情境描述

公路路基工程检测学习情境内容包括:公路路基工程认知、公路路基工程在施工准备阶段的试验检测、公路路基工程施工阶段的试验检测及公路路基工程竣工验收阶段的试验检测四个方面。本学习情境旨在通过四项不同的工作任务,帮助学生熟悉公路路基工程的特点、施工工艺,明确公路路基工程在各阶段中所需进行的检测项目,培养对公路路基工程在各阶段质量检验评定的能力。

任务1 公路路基工程认知

►► 任务分析

路基工程是道路工程的先行工序,道路工程的质量评定与检测贯穿于工程的全过程。为了掌握各阶段正确的检测方法,了解路基工程的特点及其施工工艺就显得尤为必要。

►► 任务实施

1.1 公路路基工程概述

一、公路的主要组成

道路是供各种(无轨)车辆和行人等通行的工程设施,其主要功能是作为城市与城市、城市与乡村、乡村与乡村之间的联络通道。

我国道路的发展有着漫长的历史,曾经创造了领先于世界的古代道路文化。道路的名称源于周朝,道路原为“导路”,后称为“驰道”、“驿道”、“大道”。清朝时将京都通往各省会的道路称为“官路”,省会之间的道路称为“大路”,市区街道称为“马路”。20世纪初,汽车出现之后则称为“公路”。

公路主要承受行车荷载的反复作用并经受各种自然因素的长期影响和破坏。因此,公路不仅要有平顺的线形、合适的纵坡,而且还要有坚实稳定的路基,平整、防滑、耐磨的路面,牢固耐用的桥涵和其他人工构造物以及不可缺少的附属工程设施,以满足交通的要求。

公路由线形和结构两大部分组成。

1. 线形组成

公路是一种线形带状的三维空间体,其中心线为一条空间曲线,这条中心线在水平面上的投影简称为公路路线的平面;沿着中心线竖直剖切公路,再把这条竖直曲面展开成直面,即为公路路线的纵断面;中心线上任意一点处公路的法向剖面称为公路路线在该点处的横断面。

公路线形在平面上由直线和曲线(圆曲线、缓和曲线)组成,在纵面上由坡道线和竖曲线组成。可见公路路线在平面和纵面上均是由直线和曲线构成。

2. 结构组成

公路的结构组成主要包括路基、路面、桥涵、隧道、排水系统、防护工程和沿线设施等。

1) 路基

公路路基是在天然地面上填筑成路堤(填方地段)或挖成路堑(挖方地段)的带状结构物,主要承受路面传递的行车荷载,是支撑路面的基础,如图1-1所示。设计时必须保证路基具有足够的强度、变形小和足够的稳定性,并防止水分及其他自然因素对路基本身的侵蚀和损害。

2) 路面

公路路面是用各种材料或混合料,分单层或多层铺筑在路基顶面供车辆行驶的层状结构物,如图1-2所示。设计时必须保证路面具有足够的强度、刚度、平整度和粗糙度,以满足车辆在其表面能安全、迅速、舒适地行驶。

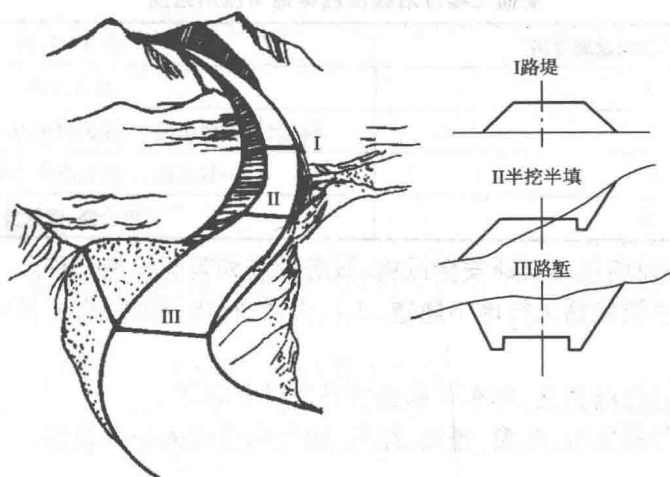


图 1-1 路基

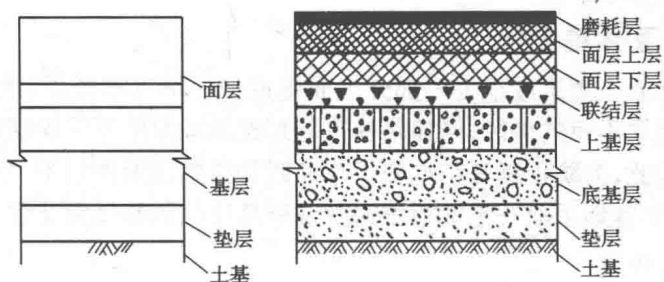


图 1-2 路面

3) 桥涵

桥梁是公路跨越河流、山谷或人工构造物而修建的建筑物。涵洞是为了排泄地面水流或满足农业需要而设置的横穿路基的小型排水构造物。当桥涵的单孔跨径大于或等于 5m、多孔跨径总长大于或等于 8m 时称为桥梁,反之则称为涵洞。

4) 隧道

隧道是公路根据设计需要为穿越山岭、地下或水底而建造的构造物。

5) 排水系统

公路排水系统是为了排除地面水和地下水而设置的,由各种拦截、汇集、疏导及排放等排水设施组成的构造物。除桥梁、涵洞外,排水系统主要有路基边沟、截水沟、排水沟、暗沟、渗沟、渗井、跌水与急流槽、倒虹吸管、渡槽及蒸发池等。

6) 防护工程

防护工程是为了加固路基边坡,确保路基稳定而修建的结构物。按其作用不同,可分为坡面防护、冲刷防护及支挡结构物等三大类。

7) 交通工程及沿线设施

交通工程及沿线设施的建设规模与标准应根据公路网规划、公路的功能、等级、交通量等确定,应按照“保障安全、提供服务、利于管理”的原则进行设计。交通工程及沿线设施等级分为 A、B、C、D 四级,各级公路交通工程及沿线设施等级与适用范围应符合表 1-1 规定。

交通工程及沿线设施等级与适用范围

表 1-1

交通工程及沿线设施等级	适用范围
A	高速公路
B	一级公路、二级公路作为干线公路时
C	一级公路、二级公路作为集散公路时
D	三级公路、四级公路

交通工程及沿线设施包括交通安全设施、服务设施和管理设施三种。

交通安全设施:主要包括人行地下通道、人行天桥、标志、标线、交通信号灯、护栏、防护网、反光标志等设施。

服务设施:主要包括服务区、停车区和公共汽车停靠站等。

管理设施:主要包括监控、收费、通信、配电、照明和管理养护等设施。

二、路基的基本要求

路基应满足下列基本要求:

1. 具有足够的整体稳定性

路基是直接在地面上填筑或挖去一部分地面建成的。路建成后,改变了原地面的天然平衡状态。在工程地质不良的地区,修建路基可能加剧原地面的不平衡状态,从而导致路基发生各种破坏现象。因此,为防止路基结构在行车荷载和自然因素作用下,不致发生不允许的变形或破坏,必须因地制宜地采取一定的措施来保证路基结构的整体稳定性。

2. 具有足够的强度

路基的强度是指在行车荷载和自然因素的作用下,路基抵抗变形和破坏的能力。因为行车荷载及路基路面的自重使路基下层和地基产生一定的压力,这些压力可使路基产生一定的变形,直接影响路面的使用品质。为保证路基在外力作用下,不致产生超过允许范围的变形,要求路基应具有足够的强度。

3. 具有足够的水稳定性

路基的水稳定性是指路基在水和温度的作用下保持其强度的能力。路基在地面水和地下水的作用下其强度将会显著降低。特别是季节性冰冻地区,由于水温状况的变化,路基将发生周期性冻融作用,形成冻胀和翻浆,使路基强度急剧降低,这就要求路基应具有一定的水稳定性。

三、路基工程的一般特点

(1)路线长,通过的地带类型多,技术条件复杂,受地形、气候和水文地质条件影响很大。

(2)土石方工程巨大,沿线分布不均,与路基排水、防护与加固工程相互制约,设计中需要综合考虑。

(3)路基工程的工程数量大,劳动力和机械用量多,涉及面较广,施工工期长。

(4)路基工程项目繁杂,涉及土方、石方、圬工砌体等多种结构的设计和施工,施工安排十分不易。

(5)路基工程对于原来的生态、水土保持和农田水利等环境影响巨大,工程方案应该经过仔细权衡并采取一定的技术措施以避免对于环境的破坏。

(6)路基工程的质量对于道路的使用品质和路面的使用寿命影响十分明显。路基的稳定与否,对路基工程质量影响较大,关系到公路的正常投入使用。实践证明,没有坚固稳定的路基,就没有稳固的路面,因此,做好路基工程设计、施工与养护,是保证路基发挥其功能的前提。

1.2 土的概念及基本物理性质指标

一、土的三相组成

土是指覆盖在地表的没有胶结或弱胶结的颗粒堆积物,是由岩石经过物理与化学风化作用的产物。

在建设工程施工过程中,土是路基工程最基本的建筑材料,常作为路堤的填料,也可作为隧道、涵洞及地下建筑物周围的介质或环境。因此,对土的试验和检测是设计、施工和科研必不可少的工作,从某种意义上讲是设计、施工和科研的基础。

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的,通常称为土的三相组成。

1. 土的固体颗粒

土中固体部分的成分,绝大部分是矿物质,另外或多或少有一些有机质,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压作用矿物颗粒由原生矿物和次生矿物组成。

原生矿物是指由岩石经物理风压而成,其成分与母岩相同,如石英、长石、云母等。原生矿物经化学风化作用后发生化学变化而形成新的次生矿物,如三氧化二铁、三氧化二铝、次生二氧化硅、黏土矿物、碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用可分为可溶的和不可溶的。可溶的按其溶解难易程度又可分为易溶的、中溶的和难溶的。次生矿物的成分和性质均较复杂,对土的工程性质也有较大影响。

在风化过程中,往往有微生物的参与,在土中产生有机成分,如多种复杂的腐殖质矿物。此外,在土中还会有动植物残骸体等有机残余物,如泥炭等。有机质对土的工程性质影响很大。

2. 土中水

组成土的第二种成分是土中水。在自然条件下,土中总是含水的。土中水可以处于液态。存在于土中的液态水可分为结合水和自由水两大类,分布于土粒间的孔隙中。

1) 结合水

当土粒与水相互作用时,土粒会吸附一部分水分子,在土粒表面形成一定厚度的水膜,称为表面结合水。它受土粒表面引力的控制而不服从静水力学规律。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。

如果将干燥的土移至天然湿度的空气中,则土的质量将增加,直到土中吸着的强结合水达到最大吸着度为止。土粒越细,土的比表面积越大,则最大吸着度就越大——砂土为1%左右,黏土可达百分之十几。

弱结合水紧靠于强结合水的外围形成一层结合水膜。它不能传递静水压力,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。

2) 自由水

自由水是存在于土粒表面由场影响范围以外的水,它受重力的控制而流动,能传递静水压

力,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。

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。

毛细水存在于地下水位以上透水层中,在重力与表面张力作用下可在土粒间空隙中自由移动。毛细水的形成过程通常用物理学中毛细管现象解释,即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。毛细管直径愈小,上升高度愈高。土中的毛细水也会从潜水面上升到一定的高度。毛细水对公路路基的干湿状态及冻害有重要的影响,对砂类土的强度也有一定的影响。

土中除结合水、自由水等液态水外,还可能有气态水(呈水蒸气形态的水)和固态水(呈冰形态的水)存在。不同形态的水,在一定条件下会相互转化,并对土的性质起着重要作用。

3. 土中气体

土的孔隙中没有被水占据的部分都是气体。土的含气量与含水率有密切关系。土孔隙中气体和水占比例不同,则土的性质有很大不同。

土中气体的成分与大气成分比较,主要的区别在于 CO_2 、 O_2 及 N_2 的含量不同。一般土中气体含有更多的 CO_2 ,较少的 O_2 ,较多的 N_2 。土中气体与大气的交换愈困难,两者的差别就愈大。

土中的气体可分为与大气连通和与大气不连通的两类。与大气连通的气体对土的工程性质影响不大。在受到外力作用时,这种气体能很快地从孔隙中被挤出。而与大气不连通的密封气体对土的工程性质影响较大。在受到外力作用时,随着压力的增大,这种气泡可能被压缩或溶解于水中,压力减少时,气泡会恢复原状或重新游离出来。

二、土的物理性质指标

土的物理性质是指土的各组成部分(固相、液相和气相)的数量比例、性质和排列方式等所表现出的物理状态,如轻重、干湿、松密程度等。反映三项比例关系的指标称为基本物理性质指标,它们是工程地质勘察报告中不可缺少的部分。利用物理性质指标可间接地评定土的

工程性质。

对于土体中的三相各自的质量、体积与总体积的相对比值,为了便于分析和计算,一般将土的三相关系用简图加以表达,如图 1-3 所示。

1. 土粒密度

土粒密度是指固体颗粒的质量 m_s 与其体积 V_s 之比,即单位体积土粒的质量:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$$

式中: ρ_s ——土粒密度(g/cm^3)。

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。实际上是土中

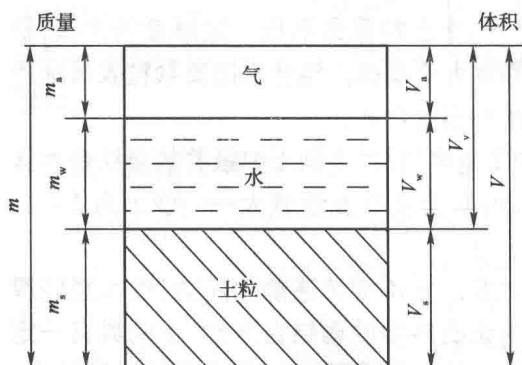


图 1-3 土的三相关系

m -土的总质量; m_a -土中空气质量; m_w -土中水的质量;
 m_s -土粒的质量; V_a -孔隙中气体的体积; V -土的总体积;
 V_w -土中水的体积; V_s -土粒的体积; V_v -土中孔隙的体积

各种矿物密度的加权平均值。一般土粒密度变化幅度不大,大都在 $2.67 \sim 2.724 \text{ g/cm}^3$ 之间。

2. 土的密度

土的密度是指土的总质量 m 与总体积 V 之比,也是土的单位体积的质量。依图 1-2 可知:

$$V = V_s + V_v$$

$$m = m_s + m_w$$

1) 天然密度(湿密度)

天然状态下土的密度称天然密度(g/cm^3)。其中,按孔隙中充水程度不同,有天然密度、干密度、饱和密度和浮密度之分。

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_v} \quad (1-2)$$

式中: ρ ——土的天然密度(g/cm^3);

其余符号意义同前。

由式(1-2)可知,土的密度取决于土粒的密度、孔隙体积的大小和孔隙中水的质量多少,它综合反映了土的物质组成和结构特征。一般土的密度在 $1.60 \sim 2.20 \text{ g/cm}^3$ 之间。

2) 干密度

土的孔隙中完全没有水时的密度称干密度(g/cm^3)。干密度是指单位体积土中土粒的质量,即固体颗粒的质量与土的总体积之比值。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-3)$$

式中: ρ_d ——土的干密度(g/cm^3);

其余符号意义同前。

土的干密度实际上是土中完全没有水时的密度,它是土的密度的最小值。土的干密度直接与土中所含土粒质量的多少有关,也就是与土结构的紧密程度有关,间接地与土粒的矿物成分有关,与土的含水率无关。因此,土的结构影响着干密度的值,干密度值越大,土越密实。干密度在一定程度上反映了土粒排列的紧密程度,因此在工程上常用它作为压实的控制指标。

3) 饱和密度

土的孔隙完全被水充满时的密度称为饱和密度,即土的孔隙中全部充满液态水时的单位体积质量(g/cm^3),可用式(1-4)表示:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-4)$$

式中: ρ_{sat} ——土的饱和密度(g/cm^3);

ρ_w ——水的密度(g/cm^3),工程计算中可取 1;

其余符号意义同前。

土的饱和密度的常见值为 $1.8 \sim 2.30 \text{ g/cm}^3$ 。

4) 浮密度

土的浮密度是指土在地下水面以下,单位体积的质量。土处于水面以下,孔隙全被水充满,同时又受到水的浮力作用,致使土粒质量减轻。这时的密度即为土粒质量加上孔隙中满水的质量再减去土的体积在水下产生的浮力之后,所得质量与土的总体积的比值。

$$\rho' = \frac{m_s + V_v \times \rho_w - V \times \rho_w}{V} = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} \quad (1-5)$$

式中: ρ' ——土的浮密度 (g/cm^3);

ρ_w ——水的密度 (g/cm^3), 工程计算中可取 1;

其余符号意义同前。

由此可见, 同一种土在体积不变的条件下, 它的各种密度在数值上有如下关系:

$$\rho_s > \rho_{\text{sat}} > \rho > \rho_d > \rho'$$

5) 土的相对密度(土的比重)

土的相对密度指土粒在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘至恒量时的质量与同体积纯水在 4°C 时的质量的比值。

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \times \rho_w} \quad (1-6)$$

式中: G_s ——土粒的相对密度;

ρ_w ——为水在 4°C 时蒸馏水的密度 (g/cm^3)。

其余符号意义同前。

土粒相对密度变化范围不大。细粒土(黏性土)一般为 $2.70 \sim 2.75 \text{g}/\text{cm}^3$; 砂土一般为 $2.65 \text{g}/\text{cm}^3$ 。土中有机质含量增加, 土粒相对密度则减小。

3. 土的含水性

土的含水性指土中含水情况, 反映土的干湿程度。

1) 含水率

土的含水率是指土中水分的质量与土粒质量之比, 以百分数表示。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中: w ——土的含水率(%);

其余符号意义同前。

天然状态下土的含水率称土的天然含水率。一般砂土天然含水率都不超过 40%, 以 10% ~ 30% 最为常见; 一般黏土大多在 10% ~ 80%, 常见值 20% ~ 50%。

土的孔隙全部被普通液态水充满时的含水率称饱和含水率:

$$w_{\text{sat}} = \frac{V_v \rho_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中: w_{sat} ——土的饱和含水率(%);

其余符号意义同前。

饱和含水率又称饱和水密度, 它既反映了土中孔隙充满普通液态水时的含水特性, 又反映了孔隙的大小。

2) 饱和度

土的饱和度是指土中孔隙水的体积与孔隙体积之比, 以百分数表示, 即

$$S_r = \frac{v_w}{v_v} \times 100\% \quad (1-9)$$

或天然含水率与饱和含水率之比:

$$S_r = \frac{w}{w_{\text{sat}}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中: S_r ——土的饱和度(%);

其余符号意义同前。

饱和度愈大,表明土的孔隙中充水愈多,其值在 $0 \sim 100\%$;干燥时 $S_r = 0$ 。孔隙全部为水充填时, $S_r = 100\%$ 。工程上用 S_r 作为砂土湿度划分的标准。

$0 \leq S_r \leq 50\%$ 稍湿的

$50\% < S_r \leq 80\%$ 很湿的

$80\% < S_r \leq 100\%$ 饱和的

工程研究中,一般将 S_r 大于 95% 的天然黏性土视为完全饱和土;而对于砂土,当 S_r 大于 80% 时就认为已达到饱和了。

4. 土的孔隙性

土的孔隙性指土中孔隙的大小、数量、形状以及连通情况等特征。土的孔隙性决定于土的粒度成分和土的结构,即土粒排列的松紧程度。

1) 孔隙率与孔隙比

(1) 孔隙率(孔隙度)

孔隙率指土的孔隙体积与土体积之比,或单位体积土中孔隙的体积,以百分数表示,即

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中: n ——土的孔隙率;

其余符号意义同前。

(2) 孔隙比

孔隙比指土中孔隙体积与土粒体积之比,以小数表示,即

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-12)$$

式中: e ——土的孔隙比;

其余符号意义同前。

孔隙比和孔隙率都是用以表示孔隙体积分量的概念。两者有如下关系:

$$n = \frac{e}{1+e} \text{ 或 } e = \frac{n}{1-n} \quad (1-13)$$

土的孔隙比或孔隙率都可用来表示同一种土的松密程度。它随土形成过程中所受的压力、粒径级配和颗粒排列的状况而变化。一般认为,粗粒土的孔隙率小,细粒土的孔隙率大。

孔隙比 e 是个重要的物理性指标,可以用来评价天然土层的密实程度。一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土; $e > 1.0$ 的土是疏松的高压缩性土。

饱和含水率是用质量比率来反映土的孔隙性结构指标的,它与孔隙率和孔隙比有如下关系:

$$n = w_{\text{sat}} \times \frac{\rho_d}{\rho_w} \quad (1-14)$$

$$e = w_{\text{sat}} \times \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-15)$$

2) 砂类土的相对密实度

相对密实度是反映土在天然状态下松密程度的指标。它在数值上等于砂土在最疏松状态和天然状态下孔隙比之差与最疏松状态和最密实状态下孔隙比之差的比值,即

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-16)$$

式中: D_r ——相对密实度;

$e_{\max}$ ——最大孔隙比;

$e_{\min}$ ——最小孔隙比;

e ——天然孔隙比。

相对密实度可以用来判断砂性土的密实状态及其是否有压密的可能性。当 $D_r = 1$ 时, 土体为密实的; $D_r = 0$ 时, 土为最疏松状态, 在外力作用下, 土体的压缩性很大。按 D_r 的大小, 砂性土可分为三种状态, 即

$0 < D_r \leq 0.33$ 疏松的

$0.33 < D_r \leq 0.66$ 中密的

$0.66 < D_r \leq 1$ 密实的

通常, 砂土的相对密度的实用表达式为:

$$D_r = \frac{(\rho_d - \rho_{d\min}) \rho_{d\max}}{(\rho_{d\max} - \rho_{d\min}) \rho_d} \quad (1-17)$$

式中: D_r ——相对密实度;

$\rho_{d\max}$ ——最大干密度;

$\rho_{d\min}$ ——最小干密度;

ρ_d ——土的干密度。

土的物理性质指标的相互关系, 可用三相图法换算。其中, 土的密度、土的比重、天然含水率是由试验测定的, 称为试验指标, 其余指标均可从这三个指标计算得到。三相指标的换算关系见表 1-2。

三相指标的换算关系

表 1-2

指 标	符 号	物理表达式	换算关系式
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{\rho_s(1+w)}{\rho} - 1$
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_s(1+w)}$
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho(\rho_s - \rho_w)}{\rho_s(1+w)} + \rho_w$
浮密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V}$	$\rho' = \frac{(G_s - 1)\rho_w}{1 + e}$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{\rho \rho_s w}{\rho_w [\rho_s(1+w) - \rho]}$

1.3 土的工程分类

一、概况

目前土的工程分类法还不统一, 这里仅简单介绍交通运输部颁布的《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 所列的分类标准。

(1) 土的工程分类目的:通过对土的鉴别、定名和描述,以便对土的性状作定性评价,为工程设计和施工提供依据。

(2) 土的分类依据如下。

①土颗粒组成特征;

②土的塑性指标:液限(w_L)、塑限(w_P)和塑性指数(I_P);

③土中有机质存在情况。

(3) 本分类法应按颗粒分析试验方法(筛分法)确定各粒组的含量;按液限塑限联合测定法确定液限和塑限。

(4) 土的颗粒应按表 1-3 所列粒组范围划分。

粒组划分图

表 1-3

巨粒组(mm)		粗粒组(mm)						细粒组(mm)	
≥ 200	200~60	60~20	20~5	5~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.002	≤ 0.002
漂石 (块石)	卵石 (小块石)	砾(角砾)			砂			粉粒	黏粒
		粗	中	细	粗	中	细		

(5) 本分类将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土,分类总体系如图 1-4 所示。

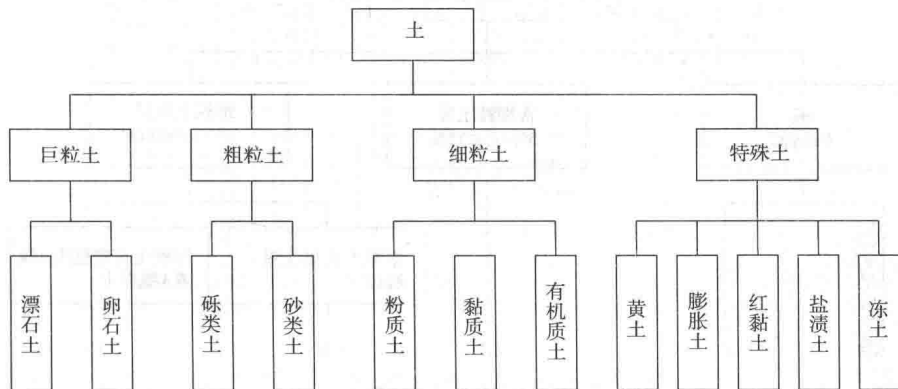


图 1-4 土分类总体系

(6) 土颗粒组成特征应以土的级配指标的不均匀系数(C_u)和曲率系数(C_c)表示。

不均匀系数 C_u 反映粒径分布曲线上的土粒分布范围,按式(1-18)计算:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-18)$$

曲率系数 C_c 反映粒径分布曲线上的土粒分布形状,按式(1-19)计算:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-19)$$

以上两式中: d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} ——土的特征粒径(mm),即在土的粒径分布曲线上,小于该粒径的土粒质量分别为总土质量的10%、30%、60%。

(7) 细粒土应根据塑性图分类。土的塑性图是以液限(w_L)为横坐标、塑性指数(I_P)为纵坐标构成的。

(8) 土的成分代号详见《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)。

二、巨粒土的分类

根据巨粒组的具体含量,可细分为漂(卵)石、漂(卵)石夹土及漂(卵)石质土,见表 1-4。

巨粒土分类表

表 1-4

巨粒土	漂(卵)石 (其中巨粒组质量 > 75%)	漂石(漂石粒组 > 卵石粒)	B
		漂石(漂石粒组 ≤ 卵石粒)	Cb
	漂(卵)石夹土 (其中巨粒组质量 > 50% 且 ≤ 75%)	漂石(漂石粒组 > 卵石粒)	BSI
		漂石(漂石粒组 ≤ 卵石粒)	CbSI
	漂(卵)石质土 (其中巨粒组质量 > 15% 且 ≤ 50%)	漂石质土(漂石粒组 > 卵石粒)	SIB
		卵石质土(漂石粒组 ≤ 卵石粒)	SiCb

三、粗粒土的分类

试样中巨粒组土粒质量小于或等于总质量 15%，且巨粒组土粒与粗粒组土粒质量之和多于总土质量 50% 的土称为粗粒土。而粗粒土中砾粒组质量多于砂粒组质量的土称砾类土，砾类土应根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系如图 1-5 所示。粗粒土中砾粒组质量小于或等于砂类组质量的土称砂类土。砂类土应根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系如图 1-6 所示。

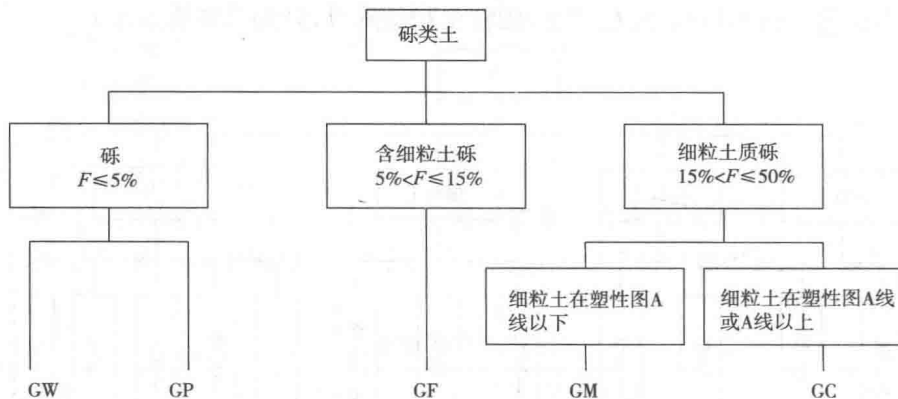


图 1-5 砾类土分类体系

注：砾类土分类体系中的砾石换成角砾，G 换成 Ga，即构成相应的角砾土分类体系

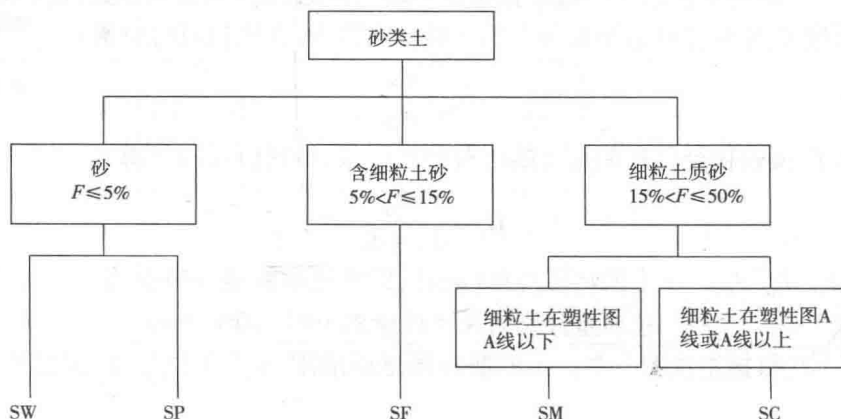


图 1-6 砂类土分类体系

注：需要时，砂可进一步细分为粗砂、中砂和细砂。粗砂——粒径大于 0.5mm 颗粒大于总质量 50%；中砂——粒径大于 0.25mm 颗粒大于总质量 50%；细砂——粒径大于 0.075mm 颗粒大于总质量 75%