

普通高等教育规划教材

公路工程 材料检测技术

>>> 武志芬 信志刚◎主编

Gonglu Gongcheng
Cailiao Jiance Jishu



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育规划教材

Gonglu Gongcheng Cailiao Jiance Jishu

公路工程材料检测技术

武志芬 信志刚 主 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为公路施工第一线试验检测培训教材,以公路工程现行技术规范、标准、试验规程为依据,主要介绍公路施工所用原材料及各种混合料的基本理论及检测方法。内容包括原材料如土、砂石、石灰、水泥、沥青、钢材、土工织物的定义、取样、试样制备及检测项目;基层所用无机结合料稳定土的定义、取样、试样制备、检测项目、配合比设计及算例;桥涵用水泥混凝土、路用混凝土试验检测方法、配合比设计及算例;沥青面层所用常用混合料试验检测方法及配合比设计算例;砂浆配合比计算;施工中试验数据的修约和处理;增设各种常用混合料配合比设计工程实例。书后附有思考题及近几年检测工程师考试题型及答案。

本书亦可供大中专院校相关专业教学使用,或为公路建设施工、监理及质量监督部门的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程材料检测技术 / 武志芬, 信志刚主编. —北京:
人民交通出版社, 2010.3
ISBN 978-7-114-08219-1

I. 公… II. ①武…②信… III. 道路工程—工程材料—
检测 IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 020085 号

书 名: 公路工程材料检测技术

著 作 者: 武志芬 信志刚

责任编辑: 曾 嘉

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.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.75

字 数: 419千

版 次: 2010年3月 第1版

印 次: 2010年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08219-1

印 数: 0001~3000册

定 价: 29.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

随着我国现代化建设事业的不断发展及社会主义市场经济体制的不断完善,我国公路建设事业有了长足的发展。近年来,公路的新建和改建,特别是高等级公路建设与发展取得了巨大成就,公路建设正朝着规划高起点、建设高标准、工程高质量的方向发展,与此相对应的交通建设行业对人才的需求也发生了显著的变化。首先,公路建设正逐步由粗放型向资金技术密集型转变,要求具有扎实的理论基础和熟练的操作技能的生产第一线的复合型人才已日趋迫切;其次,随着高等职业教育的大力发展,特别是国家就业制度的改革,高职毕业生已呈现出就业机制市场化、就业关系合同化的特点,这对高职院校及其学生来说都具有很大压力。

本书依托交通行业,面向施工第一线,以交通运输部最新颁发的公路工程技术标准、规范、规程为依据,让刚刚走出校门的学生很快掌握基本技能,适应公路施工的需要。

目前,国内有关材料检测的教材或著作较多,针对施工第一线的实用书籍很少。而现有的教材或著作大多根据以前的技术标准或设计规范编写,不能满足学生毕业后从事实际生产工作的需要。同时质检与路桥专业属于工程学科,加强实践性环节学习是提高学生动手能力的关键。多年的教学理论和教学实践使我们体会到,对学生进行综合性教学环节训练是关系到学生毕业后能否适应就业市场激烈竞争的关键。为此,我们编写了这本教材,其原则是加强新理论、新技术、新方法的介绍,注重反映最新的标准和规范,增加了工程实例以帮助读者理解消化。

全书共分八章,主要内容包括公路常用原材料检测、无机结合料稳定土、水泥混凝土、沥青混合料、沥青玛碲脂碎石混合料、建筑砂浆配合比设计、工程检测数据的处理及工程实例。

本书由内蒙古大学交通学院武志芬、信志刚主编。其中第一章、第六章、第七章由内蒙古大学交通学院信志刚编写;第二章、第三章、第四章、第五章、第八章由内蒙古大学交通学院武志芬编写。

笔者结合近几年的工程实践经验,本着理论与实际相结合原则,列举了各种混合料的工程设计算例,全书偏重于实践,理论知识浅显,通俗易懂,具有较好的适用性和可读性。本书可作为高等学校专科、高职、中专、函授及各类培训班公路与城市道路专业用参考书,也可作为试验检测工程师和检测人员考试用书。

由于编者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,诚请读者批评指正。

编者

2009年10月

目 录

第一章 公路常用原材料检测	1
第一节 公路用土	1
第二节 砂石材料	31
第三节 无机结合料	60
第四节 沥青材料	76
第五节 改性沥青	88
第六节 建筑钢材	90
第七节 土工合成材料	96
第二章 无机结合料稳定土	109
第一节 稳定土定义及分类	109
第二节 无机结合料稳定土对组成材料的要求	109
第三节 无机结合料稳定土混合料的配合比设计	111
第四节 无机结合料稳定土的检测项目	113
第五节 无机结合料稳定土配合比设计算例	120
第三章 水泥混凝土	122
第一节 普通水泥混凝土定义及分类	122
第二节 普通水泥混凝土对组成材料的要求	122
第三节 普通水泥混凝土的技术性质	126
第四节 混凝土的外加剂	130
第五节 水泥混凝土的配合比设计及算例	131
第六节 路用水泥混凝土配合比设计方法及算例	138
第七节 水泥混凝土的检测项目	144
第四章 沥青混合料	159
第一节 沥青混合料的含义和分类	159
第二节 热拌热铺沥青混合料种类	159
第三节 热拌热铺沥青混合料组成材料的技术要求	160
第四节 热拌热铺沥青混合料的技术性质和技术标准	163
第五节 热拌热铺沥青混合料配合比设计及算例	165
第六节 沥青混合料检测项目	174
第五章 沥青玛碲脂碎石混合料	199
第一节 SMA 的定义及发展与应用概况	199
第二节 SMA 的组成特点和形成机理	199
第三节 SMA 对材料的要求	202

第四节	SMA 混合料的配合比设计	202
第五节	SMA 混合料检测项目	206
第六节	SMA 表面层配合比设计算例	208
第七节	沥青稀浆封层混合料	213
第六章	建筑砂浆	217
第一节	砂浆的定义	217
第二节	砂浆的技术性质	217
第三节	砂浆的配合比设计	218
第四节	砂浆的检测项目	220
第七章	工程检测数据的处理	224
第一节	误差的基本理论	224
第二节	数据的处理与分析	226
第三节	抽样检验基础	228
第四节	可疑数据的取舍方法	231
第八章	公路常用混合料配合比设计工程实例	234
实例一	无机结合料稳定土	234
实例二	水泥混凝土	236
实例三	沥青混合料	237
实例四	砌筑砂浆	242
试验检测复习思考题		244
试验检测工程师参考试题		245
试验检测工程师参考试题答案		260
参考文献		262

第一章 公路常用原材料检测

第一节 公路用土

一、土的含义

土是指地壳表层的物质,在长期风化、搬运、磨蚀、沉积作用的过程中,形成大小不等、未经胶结的一切松散物质。它包括土壤、黏土、矿、岩块、岩屑和砾石等。土是填筑路基的常用材料,土质的性质直接影响路基的压实和强度。

二、土样的取样方法

1. 土样要求

采取原状土或扰动土应视工程对象而定。凡属桥梁、涵洞、隧道、挡土墙、房屋建筑物的天然地基以及挖方边坡渠道等,应采取原状土样;如为填土路基、堤坝、取土坑或只要求土的分类者,可取扰动土样。土样在试坑、平洞、竖井、天然地面及钻孔中采取原状土样时,必须保持土样的原状结构及天然含水率,并使土样不受扰动。用钻机取土时,土样直径不得小于 10cm 并使用专门的薄壁取土器;在试坑中或天然地面下挖取原状土时,可用有上、下盖的铁壁取土筒,打开下盖,扣在欲取的土层上,边挖筒周围土,边压土筒,翻转削平筒内土样。若周围有空隙,可用原土填满,盖好下盖,密封取土筒;采取扰动土时,应先清除层土,然后分层用四分法取样。

对于盐渍土,一般应在 0~0.05mm、0.05~0.25mm、0.25~0.5mm、0.5~0.75mm、0.75~1.0mm 垂直深度处,分层取样。同时,应测记采样季节、时间和气温。

2. 取样数量

见表 1-1 所示。

各试验取样数量 表 1-1

试验项目	土样类别	土样状态	最大粒径(mm)	土样质量或体积	备 注
含水率	砂类土	扰动		30~50g	在现场以铝盒取样时必须现场称铝盒及湿土质量
	细粒土	扰动		30~50g	
密度	砂类土	原状		10cm ³	
	细粒土	原状		10cm×20cm	
颗粒分析	砂砾	扰动	2	0.5~7kg	
	砂类土	扰动	<2	200~500g	
	细粒土	扰动		100~400g	

续上表

试验项目	土样类别	土样状态	最大粒径(mm)	土样质量或体积	备 注
液塑限	砂类土	扰动		500g	
	细粒土	扰动		500g	
土的击实	细粒土	扰动		3kg	指试筒容积为 997cm ³
	砂类土	扰动		3kg	

3. 土样的包装和运输

土样应用塑料袋包装。应粘上“取样记录簿”标签,土样运到试验单位,应主动附送样委托书。

三、土样的制备

将扰动土样进行土样描述,如土类、气味及杂物,如有需要,将扰动土样充分拌匀,取代表土样进行含水率测定。将扰动土样放在橡皮板上用木碾或粉碎机碾散。根据试验所需土样数量,将碾散后的土样过筛。

四、公路用土检测项目

(一)含水率试验

1. 烘干法

(1)目的及适用范围

土的含水率是指土在 105℃~110℃ 温度下烘至恒重时所失去的水分质量和达恒重后干土质量的比值,以百分数表示。

测定土的含水率,以了解土的含水情况,是计算土的孔隙比、液性指数、饱和度和其他物理力学性质不可缺少的一个基本指标。

(2)试验原理

含水率反映土的状态,含水率的变化将使土的一系列物理力学性质指标随之而异。这种影响表现在各个方面,如反映在土的稠度方面,使土成为坚硬的、可塑的或流动的;反映在土内水分的饱和程度方面,使土成为稍湿、很湿或饱和的;反映在土的力学性质方面,能使土的结构强度增加或减小,紧密或疏松,构成压缩性及稳定性的变化。测定含水率的方法有烘干法、酒精燃烧法、炒干法、微波法、比重法等。

(3)仪器设备

①烘箱:采用温度能保持在 105℃~110℃ 的烘箱。

②天平:称量 500g,分度值 0.01g。

③其他:干燥器、称量盒等。

(4)操作步骤

①湿土称量:选取具有代表性的试样 15~20g,放入盒内,立即盖好盒盖,称出盒与湿土的总质量。

②烘干冷却:打开盒盖,放入烘箱内,在温度 105℃~110℃下烘干至恒重后,将试样取出,盖好盒盖放入干燥器内冷却,称出盒与干土质量。烘干时间随土质不同而定,对黏质土不少于 8h;砂类土不少于 6h。

(5)结果计算

按下式计算土的含水率:

$$w=\frac{m_w}{m_s}\times 100\%=\frac{m_1-m_2}{m_2-m_0}\times 100\% \tag{1-1}$$

式中: w ——含水率,精确至 0.1%;

m_0 ——盒质量(g);

m_1 ——盒加湿土质量(g);

m_2 ——盒加干土质量(g);

m_1-m_2 ——土中水质量(g);

m_1-m_0 ——干土质量(g)。

(6)试验注意事项

①刚烘干的土样要等冷却后再称重。

②称重时精确至小数点后二位。

(7)试验记录

含水率(烘干法)

表 1-2

土样 编号	盒号	盒质量 (g)	盒+湿土质量 (g)	盒+干土质量 (g)	水质量 (g)	干土质量 (g)	含水率 (%)	
		m_0	m_1	m_2	m_1-m_2	m_2-m_0	单值	平均值

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

(8)精度要求

含水率试验需进行二次平行试验,取其平行差值。

含水率小于 10%时,平行差不得大于 0.5%;含水率为 10%~40%时,平行差不得大于 1.0%;含水率大于 40%时,平行差不得大于 2.0%,取其算术平均值。

2.酒精燃烧法

(1)目的及适用范围

本试验方法适用于快速测定细粒土的含水率。

(2)试验原理

土样中倒入酒精,在燃烧的过程中水分被烧干,从而将水分含量快速测出。但有机质土或二灰稳定土不采用此法。

(3)仪器设备

①称量盒。

②酒精:纯度 95%。

③滴管、火柴、调土刀等。

(4) 试验步骤

①取代表性试样放入称量盒内,称湿土质量。

②用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中,直至盒中出现自由液面为止。为使酒精在试样中充分混合均匀,可将盒底在桌面上轻轻敲击。

③点燃盒中酒精,燃至火焰熄灭。

④将试样冷却数分钟,按本试验方法重新燃烧两次。

待第三次火焰熄灭后,盖好盒盖,立即称于土质量,精确至 0.01g。

其余同烘干法。

(二) 颗粒分析试验

1. 筛析法(筛分法)

(1) 目的及适用范围

测定干土各粒组占该土总质量的百分数,以便了解土粒的组成情况。供砂类土的分类、判断土的工程性质及建材选料之用。

(2) 试验原理

土的颗粒组成在一定程度上反映了土的性质,工程上常依据颗粒组成对土进行分类,粗粒土主要是依据颗粒组成进行分类的,细粒土由于矿物成分、颗粒形状及胶体含量等因素,则不能单以颗粒组成进行分类,而要借助于塑性图或塑性指数进行分类。颗粒分析试验可分为筛析法和密度计法,对于粒径大于 0.075mm 的土粒可用筛析法测定,而对于粒径小于 0.075mm 的土粒则用密度计法来测定。筛析法是将土样通过各种不同孔径的筛子,并按筛子孔径的大小将颗粒加以分组,然后再称量并计算出各个粒组占总量的百分数。

(3) 仪器设备

①标准筛(圆孔筛):孔径 10、5、2、1.0、0.5、0.25、0.075mm。

②天平:称量 1000g,分度值 0.1g。

③台秤:称量 5kg,分度值 1g。

④其他:毛刷、木碾等。

(4) 操作步骤

①备土:从大于粒径 0.075mm 的风干松散的非黏性土中,用四分对角法取出代表性的试样。

②取土:取干砂 300~500g 称量准确至 0.2g。

③摇筛:将称好的试样倒入依次叠好的筛,然后按照顺时针或逆时针进行筛析。振摇时间一般为 10~15min。

④称量:逐级称取留在各筛上的质量。

(5) 计算及制图

①按下列计算小于某颗粒直径的土质量百分数:

$$X = \frac{m_A}{m_B} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: X ——小于某颗粒直径的土质量百分数(%);

m_A ——小于某颗粒直径的土质量(g);

m_B ——所取试样的总质量(500g)。

②用小于某粒径的土质量百分数为纵坐标,颗粒直径(mm)的对数值为横坐标,绘制颗粒大小分配曲线。土的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 按下式计算

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$
$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \tag{1-3}$$

式中: d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} ——通过量为 10%、30%、60% 的粒径(mm); d_{10} 称为有效粒径; d_{60} 称为限制粒径。

不均匀系数 C_u 反映粒径分布曲线上的土粒的分布范围。 C_u 越大,土粒分布范围越大。一般认为 $C_u < 5$ 时为匀粒土;曲率系数 C_c 反映粒径分布曲线的整体形状。 C_c 越大,细粒越多,越小,粗粒越多。同时满足 $C_u > 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 的土,为级配良好的土。

(6)注意事项

- ①将土样倒入依次叠好的筛子中进行筛析。
- ②筛析法采用振筛机,在筛析过程中应能上下振动,水平转动。

(7)试验记录

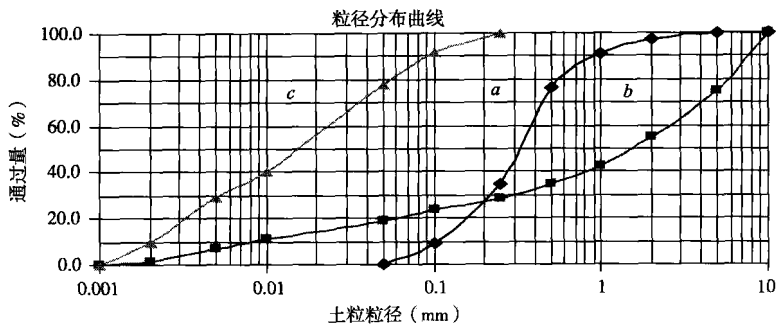
见表 1-3 所示。

颗粒分析(筛析法) 表 1-3

土样编号14-2		干土质量500g		土样说明		粗砂			
孔径 (mm)		留筛土质量 (g)		累积留筛土质量 (g)		小于该孔径的土质量 (g)		小于该孔径的土质量 百分数(%)	
20		0.0		0.0		500.0		100.0	
10		17.0		17.0		483.0		96.6	
5		45.0		62.0		438.0		87.6	
2		65.5		127.5		372.5		74.5	
1		85.0		212.5		287.5		57.5	
0.5		100.5		313.0		187.0		37.4	
0.25		122.0		435.0		65.0		13.0	
0.075		60.0		495.0		5.0		1.0	
底盘总计		5.0		500.0					
土的粒度成分									
孔径 (mm)		土 样 A		土 样 B		土 样 C			
		分计筛余(%)	通过量(%)	分计筛余(%)	通过量(%)	分计筛余(%)	通过量(%)		
10			100.0	0.0	100.0				
5		0.0	100.0	25.0	75.0				
2		3.1	96.9	20.0	55.0				

续上表

孔径 (mm)	土 样 A		土 样 B		土 样 C	
	分计筛余(%)	通过量(%)	分计筛余(%)	通过量(%)	分计筛余(%)	通过量(%)
1	6.0	90.9	12.3	42.7		
0.5	14.4	76.5	8.0	34.7		
0.25	41.5	35.0	6.2	28.5	0.0	100.0
0.10	26.0	9.0	4.9	23.6	8.0	92.0
0.05	9.0	0.0	4.6	19.0	14.4	77.6
0.01			8.1	10.9	37.6	40.0
0.005			4.2	6.7	11.1	28.9
0.002			5.2	1.5	18.9	10.0
0.001			1.5	0.0	10.0	0.0
d_{10}	0.11		0.009		0.0020	
d_{30}	0.22		0.30		0.0053	
d_{60}	0.38		2.6		0.024	
C_u	3.455		288.889		12.000	
C_c	1.158		3.846		0.585	



试验者_____ 计算者_____ 复核者_____ 试验日期_____

(8)精度要求

- ①称重后干砂总重精确至±2g。
- ②试验误差小于1%。

2. 密度计法(比重计法)

(1)目的及适用范围

测定小于某粒径的颗粒占土总质量的百分数,以便了解土粒的大小分配情况,并作为黏性土分类的依据及土工建筑选材之用。

(2)试验原理

密度计法,是将一定量的土样(粒径<0.075mm)放在量筒中,然后加蒸馏水,经过搅拌,使土的大小颗粒在水中均匀分布,当土粒在液体中靠自重下沉时,较大的颗粒下沉较快,而较小的颗粒下沉则较慢。在土粒沉降过程中,用密度计测出在悬液中对应于不同时间的不同悬液密度,根据密度计读数和土粒的下沉时间,就可计算出粒径小于某一粒径 d (mm)的颗粒占

土样的百分数。

(3) 仪器设备

①密度计：目前通常采用的密度计有甲、乙两种，现介绍甲种密度计。

②甲种密度计刻度自 0~60，最小分度单位为 1.0，如图 1-1 所示。

③量筒：容积 1000mL。

④天平：称量 200g，分度值 0.01g。

⑤搅拌器：轮径 50mm，孔径 3mm。

⑥煮沸设备：电热器、三角烧瓶等。

⑦分散剂：4%六偏磷酸钠或其他分散剂。

⑧其他：温度计、蒸馏水、烧杯、研钵和秒表等。

(4) 操作步骤

①称取试样：取有代表性的风干或烘干土样 100~200g，放入研钵中，用带橡皮头的研棒研散，将研散后的土过 0.075mm 筛，均匀拌和后称取试样 30g。

②浸泡试样：将称好的试样小心倒入烧瓶中，注入 200mL 蒸馏水对试样进行浸泡，浸泡时间不少于 18h。

③煮沸分散：将浸泡好后的试样稍加摇荡后，放在电热器上煮沸。煮沸时间从沸腾时开始，黏土约需要 1h，其他土不少于半小时，对教学试验，浸泡试样及煮沸分散均由实验室准备。

④制备悬液：土样经煮沸分散冷却后，倒入量筒内。然后加浓度为 4%的六偏磷酸钠约 10mL 于溶液中，再注入蒸馏水，使筒内的悬液达到 1000mL。

⑤搅拌悬液：用搅拌器在悬液深度上下搅拌 1min，往复各 30 次，使悬液内土粒均匀分布。

⑥定时测读：取出搅拌器，立即开动秒表，测定经过 1、5、30、120、1440min 时的密度计读数。每次测读完后，立即将密度计取出，放入盛水量筒中，同时测记悬液温度，精确至 0.5℃。

(5) 计算及制图

①由于刻度、温度与加入分散剂等原因，密度计每一次读数须先经弯液面校正后，由实验室提供的 $R-L$ 关系图，查得土粒有效沉降距离，计算颗粒的直径 d ，按简化公式计算：

$$d = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (1-4)$$

式中： d ——颗粒直径(mm)；

K ——粒径计算系数(由试验室提供的资料查得)；

L ——某时间 t 内的土粒沉降距离(由试验室提供的资料查得)；

t ——沉降时间(s)。

②将每一读数经过刻度与弯液面校正、温度校正、土粒比重校正和分散剂校正后，按下式计算小于某粒径的土质量百分数：

$$X(\%) = \frac{100}{m_s} C_s (R + m_t + n - C_D) \quad (1-5)$$

式中： X ——小于某粒径的土质量百分数(%)；

m_s ——试样干土质量(30g)；

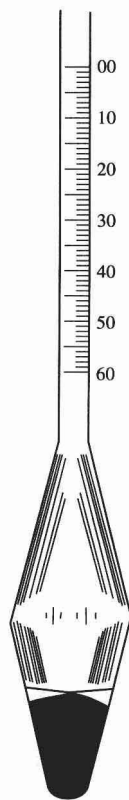


图 1-1 甲种密度计

C_s ——土粒比重校正系数,可查甲种密度计的土粒比重校正值表(由试验室提供的资料查得);

R ——甲种密度计读数;

m_t ——温度校正值,可查甲种密度计的温度校正值表(由试验室提供的资料查得);

n ——刻度及弯液面校正值(由试验室提供的图表中查得);

C_D ——分散剂校正值(由试验室提供资料)。

③用小于某粒径的土质量百分数 $X(\%)$ 为纵坐标,粒径 $d(\text{mm})$ 的对数为横坐标,绘制颗粒大小级配曲线。

(6) 注意事项

①5min 时的读数是包括 1min 读数的时间,其余 30、120、1440min 的读数时间也是如此累加。

②读数后甲种密度计必须立即从量筒里取出,否则会阻碍土粒下沉的速度。

(7) 试验记录

见表 1-4 所示。

颗粒分析(密度计法)

表 1-4

土样编号 _____ 密度计号 _____ 干土质量 $m_s = 30\text{g}$
量筒号 _____ 土粒比重 _____ 比重计校正值 _____

下沉 时间 $t(\text{min})$	悬液 温度 $T(^{\circ}\text{C})$	密度计 读数 R	温度 校正 值 m_t	刻度弯液 面校正 值 n	分散剂 校正 值 C_D	$R_m = R + m_t +$ $n - C_D$	$R_H = R_m \times$ C_s	土粒 落距 $L(\text{cm})$	粒径 $d(\text{mm})$	小于某孔径 的土质量百 分数($\%$)
1										
5										
30										
120										
1440										

试验者 _____ 计算者 _____ 校核者 _____ 试验日期 _____

(三) 密度试验

1. 环刀法

(1) 目的及适用范围

测定土的湿密度,以了解土的疏密和干湿状态,供换算土的其他物理性质指标和工程设计以及控制施工质量之用。

(2) 试验原理

土的湿密度 ρ 是指土的单位体积质量,是土的基本物理性质指标之一,其单位为 g/cm^3 。环刀法是采用一定体积环刀切取土样并称土质量的方法,环刀内土的质量与体积之比即为土的密度。密度试验方法有环刀法、蜡封法、灌水法和灌砂法等。对于细粒土,宜采用环刀法;对于易碎裂、难以切削的土,可用蜡封法;对于现场粗粒土,可用灌水法或灌砂法。

(3) 仪器设备

①环刀:内径 6~8cm,高 2~3cm,壁厚 1.5~2cm。

②天平:称量 500g,分度值 0.01g。

③其他:切土刀、钢丝锯、凡士林等。

(4)操作步骤

①量测环刀:取出环刀,称取环刀的质量,并涂一薄层凡士林。

②切取土样:将环刀的刀口向下放在土样上,然后用切土刀将土样削成略大于环刀直径的土柱,将环刀垂直下压,边压边削使土样上端伸出环刀为止,然后将环刀两端的余土削平。

③土样称量:擦净环刀外壁,称出环刀和土的质量。

(5)结果计算

按下列计算土的湿密度:

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{m_1-m_2}{V}$$

(1-6)

式中: ρ ——密度,精确至 0.01g/cm³;

m ——湿土质量(g);

m_1 ——环刀加湿土质量(g);

m_2 ——环刀质量(g);

V ——环刀体积(cm³)。

(6)注意事项

①称取环刀前,把土样削平并擦净环刀外壁。

②如果使用电子天平称重时则必须预热电子天平,称重时精确至小数点后两位。

(7)试验记录

见表 1-5 所示。

密 度(环刀法)

表 1-5

测点桩号	环刀号	环刀加湿土质量 m_1 (g)	环刀质量 m_2 (g)	湿土质量 m (g)	环刀体积 V (cm ³)	含水率 w (%)	密度 ρ (g/cm ³)

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

(8)精度要求

密度试验需进行二次平行测定,其平行差值不得大于 0.03g/cm³,取其算术平均值。

2. 灌砂法

(1)目的及适用范围

适用于在现场测定基层、砂石路面及路基上的各种材料压实层的密度和压实度,也适用于沥青表处、沥青贯入式,不适用于填石路堤。集料的最大粒径小于 15mm,测定层厚度不超过 150mm 时,采用 100mm 小灌砂筒;最大粒径大于 15mm 但小于 40mm,厚度大于 150mm 但小于 200mm 时,采用 150 灌砂筒;最大粒径大于 40mm 时采用 200mm 加大筒。

(2)试验原理

通过在结构层上挖坑,灌入已知密度的量砂,可求出试坑的体积,用挖出的土除以试坑的体积得到碾压层的密度。

(3) 仪器设备

① 灌砂筒: 储砂筒筒层中心有一个圆孔, 下部装一倒置的圆锥形漏斗, 漏斗上端开口, 直径与储砂筒的圆孔相同, 储砂筒筒底与漏斗之间设有开关, 有大(直径 150mm)、小(直径 100mm)两种。

② 标定罐、基板。

③ 量砂: 粒径 0.3~0.6mm 及 0.25~0.5mm 清洁干燥的均匀砂, 使用前须洗净、烘干, 并放置使其与空气的湿度达到平衡。

④ 天平或台秤(感量 5g)。

⑤ 盛砂的容器、凿子、改锥、铁锤、长把勺、小簸箕、毛刷等。

(4) 试验步骤

① 确定灌砂筒下部锥体内砂的质量, 其步骤如下:

a. 在储砂筒内装满砂, 筒内砂的高度与筒顶的距离不超过 15mm, 称取筒内砂的质量 m_1 , 准确至 1g, 每次标定及以后的试验都应维持这个质量不变。

b. 将开关打开, 让砂流出, 并使流出的砂的体积与工地所挖试洞的体积相当(或等于标定灌的体积)然后关上开关, 并称量筒内砂的质量 m_5 , 准确至 1g。

c. 将灌砂筒放在玻璃板上, 将开关打开, 让砂流出, 直到储砂筒内砂不再下流时, 将开关关上, 并细心地取走灌砂筒。

d. 收集并称量留在玻璃上的砂或称量筒内的砂, 准确到 1g, 玻璃板上的砂就是填满灌砂筒下部锥体的砂。

e. 重复上述测量, 至少 3 次。最后取其平均值 m_2 , 准确至 1g。

② 确定量砂的密度 ρ_s (g/cm³)。其步骤如下:

a. 用水确定标定罐的容积 V (cm³)。方法如下: 将空罐放在台秤上, 使罐的上口处于水平位置, 读记罐质量 m_7 , 准确至 1g。向标定罐中灌水, 注意不要将水弄到台秤上或罐的外壁。将一直尺放在罐顶, 当罐中水面快要接近直尺时, 用滴管往罐中加水, 直到水面接触直尺。移去直尺, 读记罐和水的总质量 m_8 。重复测量时, 仅需用吸管从罐中取出少量水, 并用滴管重新将水加满到接触直尺。标定罐的体积按下式计算:

$$V = m_8 - m_7 \quad (1-7)$$

b. 在储砂筒中装入质量为 m_1 的砂, 将灌砂筒放在标定罐上, 将开关打开, 让砂流出(在整个流砂过程中, 不要碰动灌砂筒)。直到储砂筒的砂不再下流时, 将开关关闭。拿下灌砂筒, 称量筒内余砂的质量, 准确至 1g。

c. 重复上述测量, 至少 3 次。最后取其平均 m_3 , 准确至 1g。

d. 由下式计算填满标定罐所需砂的质量 m_a (g):

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (1-8)$$

式中: m_1 ——灌砂流入标定罐前, 筒内砂的质量(g);

m_2 ——灌砂筒下部锥体内砂的平均质量(g);

m_3 ——灌砂流入标定罐后, 筒内剩余砂的质量(g)。

e. 用下式计算砂的单位重 ρ_s (g/cm³):

$$\rho_s = \frac{m_a}{V} \quad (1-9)$$

式中: V ——标定罐的体积(cm³)。

③操作步骤

a. 在试验地点,选取一块约 40cm×40cm 的平坦表面,并将其清扫干净。

b. 将基板放在此平坦表面上。如此表面的粗糙度较大(路面的某一结构层施工完毕后,经过一段时间的交通,有可能出现这种情况),则将盛有量砂 m_5 的灌砂筒放在基板中间的圆孔上。将灌砂筒的开关打开,让砂流入基板的中孔内,直到储砂筒内的砂不再下流时关闭开关。取下灌砂筒,并称量筒内砂的质量 m_6 ,准确至 1g。

c. 取走基板,并将留在试验地点的量砂收回,重新将表面清扫干净。

d. 将基板放在清扫干净的表面上,沿基板中孔凿洞(洞的直径 100mm)。凿洞过程中,应注意不使凿出的材料丢失,并随时将凿松的材料取出放入已知质量的塑料袋内并密封。试洞的深度应等于碾压层厚度(应尽可能使试洞下部的尺寸与上部的尺寸相同,否则会影响试验的结果。在挖洞的过程中,应注意勿使洞壁松动,或过分挤压洞壁)。凿洞毕,称此塑料袋中全部试样质量,准确至 1g。减去已知塑料袋质量后,即为试样的总质量 m_t 。

e. 从挖出的全部材料中取出代表性的样品,放在铝盒内,测定其含水率 w 。样品的数量,对于细粒土,不少于 100g;对于各种粗粒土,不少于 500g(如试验的水泥稳定土或石灰稳定土的密度,可将全部取出的材料烘干并称量),准确至 1g。

f. 将基板安放在试筒上,将灌砂筒安放在基板中间(储砂筒内放满砂到恒重 m_1)使灌砂筒的下口对准基板的中孔及试洞。打开灌砂筒的开关,让砂流入试洞内。在此期间,应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时,关闭开关,仔细取走灌砂筒,并称量筒内余砂的质量 m_4 ,准确至 1g。

g. 如清扫干净的平坦表面的粗糙度不大(一般碾压完的路基或路面结构属于这种情况),则不需要进行第 2 步和第 3 步的操作。在试洞挖好后,将灌砂筒直接对准在洞口上,中间不需要放基板。打开筒的开关,让砂流入试洞内。在此期间,应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时,关闭开关。仔细取走灌砂筒,并称量筒内余砂的质量 m'_4 ,准确至 1g。

h. 取出试筒内的量砂,过筛,以备下次试验时再用。若量砂的湿度已发生变化或量砂中混有杂质,则应重新烘干,过筛,并放置一段时间,使其与空气的湿度达到平衡后再用。

如试洞中有较大孔隙,量砂可能进入孔隙时,则应按试洞外形、松弛地放入一层柔软的纱布,然后再进行灌砂的工作。

(5)结果计算

①用下式计算填满试洞所需的质量 m_b (g)。

灌砂时,试洞上放有基板的情况:

$$m_b = m_1 - m_4 - (m_5 - m_6) \quad (1-10)$$

灌砂时,试洞上不放基板的情况:

$$m_b = m_1 - m'_4 - m_2 \quad (1-11)$$

式中: m_1 ——灌砂入试洞前筒内砂的质量(g);

m_2 ——灌砂筒下部圆锥体内入砂的平均质量(g);

m_4 、 m'_4 ——灌砂入试洞后,筒内剩余砂的质量(g);

$m_5 - m_6$ ——灌砂筒下部圆锥体内及基板和粗糙表面间砂的总质量(g)。

②用下式计算试验地点或稳定土的湿密度 ρ (g/cm³)。

$$\rho = \frac{m_t}{m_b} \times \rho_s \quad (1-12)$$