



QUANGUO JIAOTONG ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO TONGYONG JIAOCAI

公路工程现场测试技术

(公路施工与养护专业用)

周若愚
栾享乐

主编
主审



人民交通出版社

全国交通中等职业技术学校通用教材

Gonglu Gongcheng Xianchang Ceshi Jishu

公路工程现场测试技术

(公路施工与养护专业用)

周若愚 主编

栾享乐 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共有七章,其主要内容有:公路工程质量控制、压实度测定、平整度测定、CBR测定、回弹弯沉值的测定、路面抗滑性能测定、混凝土无损测强等工程常用质控测试指标的测试方法、步骤以及结果评定方法。

本书为全国交通中等职业技术学校公路施工与养护专业的通用教材,亦可作为公路类职工中专、职业高中以及相关工种的职业资格培训用书,更适合在职技术工人自学用。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程现场测试技术/周若愚主编. —北京:人民交通出版社,2001.4

ISBN 7-114-03899-2

I. 公… II. 周… III. 道路工程—工程质量—测试技术 IV. U415.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 19427 号

全国交通中等职业技术学校通用教材

公路工程现场测试技术

(公路施工与养护专业用)

周若愚 主编

栾亨乐 主审

版式设计:涂 浩 责任校对:梁秀青 责任印制:张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:6 字数:140 千

2001 年 5 月 第 1 版

2001 年 11 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数:9001—14000 册 定价:11.00 元

ISBN 7-114-03899-2

U · 02839

交通职业教育教学指导委员会公路(技工)学科委员会
和交通技术教育研究会公路专业委员会名单

柯爱琴、周以德、袁仕礼、刘传贤、杨士范
卞志强、朱小茹、李时鸣、毕经邦、梁柱义
高连生、张 浩、赵新民、孙 立、易连英
李志攸、智文尧、姚先祥、任义学、杨 平
陈 丹、李文时、乔 杰、李 标、吴世耕

前 言

原交通部教育司在 1987 年成立了交通技工学校教材编审委员会。公路专业编审组和技工教育研究会公路专业委员会共同编写了筑路机械、公路施工和公路养护三个专业的内部使用教材,初步解决了各学校缺专业教材的难题。

近年来,全国的汽车工业迅速发展,公路建设日益加快,筑路机械更新换代,以及先进的施工方法、养护手段不断出现等,对公路施工现代化建设的人才提出了更高的要求,原来编写的内部教材已不适应现有的培养日标。

1999 年 3 月改选的公路专业委员会与公路学科委员会在卢荣林理事长的支持和柯爱琴、周以德两位主任的主持下,共同组织制定了新一轮的筑路机械驾驶与修理和公路施工与养护两个专业的教学计划与教学大纲。经过四川、河南、杭州等多次会议的修改,确定了教学改革和教材改革的模式;文字通俗易懂,以图代文、图文并茂,体现技工学校的特色,突出技能教学,使之坚持知识、能力、素质等方面的协调发展,拓宽教材的使用面,增加教学的适应性。教材的编写工作于 1999 年 10 月启动,2000 年 12 月交稿。这是全国公路类培养技工的第一套正式出版的教材。其特点为:

- 1.教材通俗易懂,改变了旧教材偏多、偏深、偏难的模式,理论融于实践,便于学生自学
- 2.教材内容适应现代化施工和养护的基本要求,既概括了当前先进的施工方法和养护手段,又列举了先进的筑路机械新机型,以及新技术,新工艺等,并专设一门“筑路机械新技术”课程,使学生能掌握更多的新知识,满足学用结合。教材全部采用部颁最新工程技术标准和规范,符合先进性、科学性、实用性的要求。
- 3.拓宽了教材的适应性,教材内容理论和实践相结合,既可作为全国交通中等职业技术学校公路专业通用教材,也可用于相关工种的职业资格培训和各类在职培训,又适用于公路类职业中专的教学,更适合在职技术工人自学。
- 4.教材与作业、题库配套。教材强化了系列配套功能,各课程均编写了“习题集和答案”,汇成题库和题解,供学生做作业和练习,也可供命题作参考。

本教材是根据“公路施工与养护专业”《公路工程测试技术》教学计划、教学大纲编写而成。本课程是公路施工与养护专业技术课,内容主要介绍压实度、平整度、承载比、回弹弯沉、路面抗滑性能、混凝土无损测强度等工程常用质控测试指标的测试方法、步骤以及结果评定方法。

本教材由江苏交通高级技工学校周若愚主编,山东省公路技工学校栾享乐主审。其中,第一、三、四、五章由江苏交通高级技工学校杨延华编写,第二、六、七章由周若愚编写。

本教材由袁仕礼担任责任编辑。

本轮教材在编写过程中,共有 18 个省(市)的公路类技校 60 多名有高、中级技术职称的专业技术人员参与了教材的编、审工作,并得到一些学校领导的大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于我们的业务水平和教学经验有限,书中不妥之处难免,恳切希望使用本书的教师和读者批评指正。

交通职业教育教学指导委员会公路(技工)学科委员会

交通技工教育研究会公路专业委员会

2000 年 12 月

目 录

第一章 公路工程质量控制	1
课题 1.1 公路工程主要测试指标	1
课题 1.2 质量检验评定中数据统计计算	2
第二章 压实度测定	6
课题 2.1 环刀法测定土体密度	9
课题 2.2 灌砂法测定压实层密度	10
课题 2.3 钻孔取芯测试路面材料密度	14
课题 2.4 核子密度湿度仪法	15
课题 2.5 压实度计算及结果评定	17
课题 2.6 结构层厚度的测试及评定	18
第三章 平整度测定	22
课题 3.1 3m 直尺测定路基及路面平整度	22
课题 3.2 连续式平整度仪测定路面平整度	25
第四章 承载比(CBR)测定	30
第五章 回弹弯沉值测定	35
课题 5.1 路基路面回弹弯沉值的测定	35
课题 5.2 路基路面回弹弯沉值的计算及评定	38
第六章 路面抗滑性能测定	42
课题 6.1 路面抗滑摆值的测定	43
课题 6.2 路面纹理构造深度的测定	45
第七章 混凝土无损测强	49
课题 7.1 回弹法测定混凝土抗压强度	49
课题 7.2 超声一回弹综合法测定混凝土抗压强度	55
课题 7.3 超声一回弹综合法测定水泥混凝土路面抗弯强度	65
课题 7.4 钻孔取芯法测定混凝土抗压强度	67
课题 7.5 钻孔取芯法测定水泥混凝土路面劈裂抗拉强度	73
附录 测区混凝土强度换算表	75
主要参考文献	87

第一章 公路工程质量控制

公路是国民经济的重要命脉,由于其特有的优越性和灵活性,发挥着其他运输方式所不可替代的作用。公路建设又是国家最主要的基础产业之一,它的迅速发展,对于促进国民经济的发展,拉动其他相关产业发展有着非常重要的意义。

质量是公路建设永恒的主题。在公路建设投资大幅度增加、建设步伐不断加快的新形势下,如何能够确保工程质量,是一个非常突出而且非常急迫的问题。我们作为未来公路建设的生力军,具备一定的公路工程质量控制的相关知识是非常必要的。

课题 1.1 公路工程主要测试指标

道路的功能是为汽车行驶提供具有足够强度和稳定性以及抗滑性能的平整路面,使车辆在各种气候条件下都能安全通行。而要达到这一要求,在施工中既要注意材料的严格质量管理,更要注重施工过程中各个环节的质量控制。公路工程质量控制主要测试的指标有:平整度、压实度、弯沉、承载比(CBR)、路面抗滑性能、水泥混凝土强度无损测试等内容。

一、平整度

路面平整度是路面质量评定的一个重要指标。所谓路面平整度就是以几何平面为基准,测定路表面纵向的凹凸量。它既是一个整体性指标,又是衡量路面质量及现有路面破坏程度的一个重要指标。

不平整的路面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用。这种振动作用会造成行车颠簸,影响行车的速度和安全、驾驶的平稳和乘客的舒适,同时振动作用还会对路面施加冲击力,从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损,并增大油料的消耗,而且不平整路面还会积滞雨水,加速路面的破坏。所有这些都会使路面使用的社会效益降低。因此,为了减少车辆荷载的冲击力,提高行车速度和行车舒适性、安全性,路面应保持一定的平整度。

二、压实度

生产实践中发现,未压实的土方工程,在自然因素和外荷载作用下,会产生很大的变形和破坏,这种情况在暴雨地区或季节性冰冻地区尤其严重。前者会出现大规模的水毁,甚至整段被冲垮、流失;后者则发生严重的冻胀和翻浆,严重影响道路的使用品质,造成很大的浪费。与此相反,密实的路基路面不但可以减少大规模的破坏,还可显著减少变形。综上所述,要保证路基路面的使用品质,首先需要解决的问题就是如何使修筑的路基路面的密实度达到要求。

公路上判定路基路面的密实度是否满足要求,是以压实度来判别的。

压实度是工地实测干密度与标准干密度的比值。测定压实度的方法较多,我们将在以后的课题中做详细阐述。

三、弯沉

所谓弯沉是指在规定的标准轴载作用下,路面表面轮隙位置产生的总垂直变形(总弯沉)或垂直变形回弹量(回弹弯沉)。它是反映路基路面整体抗压强度的一个综合指标。在同一荷载作用下,路表的弯沉值大,说明路面抵抗垂直变形的能力小,即强度低;反之,路面的弯沉值小,说明路基路面抵抗垂直变形的能力大,即强度高。路面弯沉值不仅能反映路面强度,同时也能在某种程度上表示路面的耐久性。在设计施工中,将路面的弯沉值控制在一定的范围内,就可避免路面产生某些破坏,从而延长路面的使用寿命。

四、承载比(CBR)

CBR 又称加州承载比,是 California Bearing Ration 的缩写,由美国加利福尼亚州公路局首先提出来,用于评定路基土和路面材料的强度指标。在国外多采用 CBR 作为路面材料和路基土的设计参数。

我国现行沥青和水泥混凝土路面设计规范,对路面、路基的设计参数采用回弹模量指标,而在援外及国际投标修建的公路工程中多采用 CBR 指标。为了进一步积累经验用于实际,以促进国际学术交流,参考国内外的情况,将 CBR 指标列入《公路路基设计规范》(JTJ 013—95)和《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95),作为路基填料选择的依据。

五、路面抗滑性能

路面抗滑性能是指车辆轮胎受到制动时沿路面滑移所产生的力。通常抗滑性能被看作是路面的表面特性,并用轮胎与路面间的摩擦系数来表示。表面特性包括路表面细观构造和宏观构造。影响抗滑性能的因素有路面表面特性、路面潮湿程度和行车速度。

路表面细观构造是指集料表面的粗糙度。它随车轮的反复磨耗作用而逐渐被磨光,通常采用石料磨光值(PSV)来表征抗磨光的性能。细观构造在低速(30~50km/h 以下)时对路表抗滑性能起决定作用,而高速时主要起作用的是宏观构造,它是由路表外露集料间形成的构造,功能是使车轮下的路表水迅速排除,以避免形成水膜。宏观构造由构造深度表示。

抗滑性能测试方法有:制动距离法、偏转轮拖车法(横向力系数测试)、摆式仪法、纹理深度测试法(手工铺砂法、电动铺砂法、激光构造深度仪法)。

六、混凝土无损测强

混凝土无损测强是不损坏混凝土的构造而利用一定的仪器和方法测得混凝土构造的强度。

混凝土的强度在《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)中是以试件抗压强度为准,但在实际中如果所做试件不能反映工程实际的情况,我们则可以采取混凝土不破损的方法测定混凝土的强度。它的测试方法有:回弹法、超声回弹法、射钉法等多种检测方法,我们将在以后的学习中学到,这里就不一一赘述。

课题 1.2 质量检验评定中数据统计计算

一、算术平均值

算术平均值是表示一组数据集中最有用的统计特征量,经常用样本的算术平均值来代表总体的平均水平。总体的算术平均值用 μ 表示,样本的算术平均值则用 $\bar{x}$ 表示,如果 n 个样本数据为 $x_1, x_2, \dots, x_n$,那么,样本的算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1)$$

例 1-1 某路沥青混凝土面层抗滑性能检测,摩擦系数的检测值(共 10 个测处)分别为:58、56、60、53、48、54、50、61、57、55(摆值),求摩擦系数的算术平均值。

解:由式(1-1)可知,摩擦系数的算术平均值为:

$$\bar{F}_B = \frac{1}{10}(58 + 56 + 60 + 53 + 48 + 54 + 50 + 61 + 57 + 55) = 55.2(\text{摆值})$$

当样本数据很多时,可用等距分组相加法求算术平均值。

二、标准偏差

标准偏差有时也称标准离差、标准差或称均方差,它是衡量样本数据波动性(离散程度)的

指标。在质量检验中,总体的标准偏差 σ 一般不易求得,样本的标准偏差 S 按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1-2)$$

例 1-2 用例 1-1 的数据,求样本标准偏差 S 。

解:由式(1-2)可知,样本标准偏差为:

$$S = \left\{ \frac{1}{10-1} [(58-55.2)^2 + (56-55.2)^2 + (60-55.2)^2 + (53-55.2)^2 + (48-55.2)^2 + (54-55.2)^2 + (50-55.2)^2 + (61-55.2)^2 + (57-55.2)^2 + (55-55.2)^2] \right\}^{1/2} = 4.13(\text{摆值})$$

三、变异系数

标准偏差是反映样本数据的绝对波动状况,当测量较大的量值时,绝对误差一般较大,而测量较小的量值时,绝对误差一般较小。因此,用相对波动的大小,即变异系数更能反映样本数据的波动性。

变异系数用 C_V 表示,是标准偏差 S 与算术平均值 $\bar{x}$ 的比值,即:

$$C_V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1-3)$$

例 1-3 若甲路段沥青混凝土面层的摩阻系数算术平均值为 55.2(摆值),标准偏差为 4.13(摆值);乙路段的摩阻系数算术平均值为 60.8(摆值),标准偏差为 4.27(摆值),则两路段的变异系数为:

甲路段 $C_V = \frac{4.13}{55.2} = 7.48\%$

乙路段 $C_V = \frac{4.27}{60.8} = 7.02\%$

四、测定值代表值

计算一个评定路段的代表值时,对单侧检验的指标,按式(1-4)计算;对双侧检验的指标,按式(1-5)计算。

$$x' = \bar{x} \pm S \cdot \frac{t_a}{\sqrt{n}} \quad (1-4)$$

$$x' = \bar{x} \pm S \cdot \frac{t_{a/2}}{\sqrt{n}} \quad (1-5)$$

式中: x' ——一个评定路段内测定值的代表值;

t_a 或 $t_{a/2}$ —— t 分布表中随自由度和置信水平(保证率)而变化的参数(表 1-1)。

$t_a/\sqrt{n}$ 及 $t_{a/2}/\sqrt{n}$ 的值

表 1-1

测定数 N	双侧置信水平				
	$\alpha/2$		α		
	保证率 95%	保证率 90%	保证率 99%	保证率 95%	保证率 90%
2	8.985	4.465	22.501	4.465	2.176
3	2.484	1.686	4.021	1.686	1.089
4	1.591	1.177	2.270	1.177	0.819
5	1.242	0.953	1.676	0.935	0.686
6	1.049	0.823	1.374	0.823	0.603
7	0.925	0.734	1.188	0.734	0.544

续上表

测定数 λ	双侧置信水平				
	$\alpha/2$		α		
	保证率 95%	保证率 90%	保证率 99%	保证率 95%	保证率 90%
8	0.836	0.670	1.060	0.670	0.500
9	0.769	0.620	0.966	0.620	0.466
10	0.715	0.580	0.892	0.580	0.437
11	0.672	0.546	0.833	0.546	0.414
12	0.635	0.518	0.785	0.518	0.339
13	0.604	0.494	0.744	0.494	0.376
14	0.577	0.473	0.708	0.473	0.361
15	0.554	0.455	0.678	0.455	0.347
16	0.533	0.438	0.651	0.348	0.335
17	0.514	0.423	0.626	0.423	0.324
18	0.497	0.410	0.605	0.410	0.314
19	0.482	0.398	0.586	0.398	0.305
20	0.468	0.387	0.568	0.387	0.297
21	0.445	0.376	0.552	0.376	0.289
22	0.443	0.367	0.537	0.367	0.282
23	0.442	0.358	0.523	0.358	0.275
24	0.432	0.350	0.510	0.350	0.269
25	0.413	0.342	0.498	0.342	0.264
26	0.404	0.335	0.487	0.335	0.258
27	0.396	0.328	0.477	0.328	0.253
28	0.388	0.322	0.467	0.322	0.248
29	0.380	0.316	0.458	0.316	0.244
30	0.373	0.310	0.449	0.310	0.239
40	0.320	0.266	0.383	0.266	0.206
50	0.284	0.237	0.340	0.237	0.184
60	0.258	0.216	0.308	0.216	0.167
70	0.238	0.199	0.285	0.199	0.155
80	0.223	0.186	0.266	0.186	0.145
90	0.209	0.177	0.249	0.175	0.136
100	0.198	0.166	0.236	0.166	0.129

五、绝对误差

绝对误差是指实测值与被测之量的真值之差,即:

$$\Delta L = L - L_0 \quad (1-6)$$

式中: ΔL ——绝对误差;

L ——实测值;

L_0 ——被测之量的真值。

绝对误差具有以下性质:

- (1)它是有单位的,与测量时采用的单位相同;
- (2)它能表示测量的数字值是偏大还是偏小及偏离程度;

(3)它不能确切地表示测量所达到的精确程度
一个评定段内的绝对误差为:

$$m_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1-7)$$

式中: m_x ——一个评定段内的绝对误差。

六、试验精度

精度表示在相同条件下对某一物理量或几何量进行多次量测,各次量测结果彼此符合程度或彼此的重复性如何。

一个评定路段内测定值的试验精度按下式计算:

$$P_x = \frac{m_x}{\bar{x}} \times 100 \quad (1-8)$$

式中: P_x ——评定段内测定值的试验精度, %;

$\bar{x}$ ——评定路段内测定值的算术平均值。

第二章 压实度测定

路基、路面压实质量是道路工程施工质量管理最重要的内在指标之一,只有对路基、路面结构层进行充分压实,才能保证路基、路面的强度、刚度及路面的平整度,并可以保证及延长路基、路面工程的使用寿命。

现场压实质量用压实度表示,对于路基土及路面基层,压实度是指工地实际达到的干密度与室内标准击实试验所得的最大干密度的比值;对沥青路面的压实度是指现场实际达到的密度与室内标准密度的比值。

一、标准密度(最大干密度)和最佳含水量的确定方法

由于筑路材料结构层次等因素的不同,确定室内标准密度的方法也多样化,有些方法需在实践中进一步完善。最大干密度是指在标准击实曲线(驼峰曲线)上最大的干密度值,该值对应的含水量即为最佳含水量。

(一)路基土的最大干密度和最佳含水量确定方法

路基受到的荷载应力,随深度面迅速减少,所以路基上部的压实度应高一些。另外,公路等级高,其路面等级也高,对路基强度的要求则相应的提高,所以对路基压实度的要求也应高一些。因此,高速、一级公路路基的压实度标准,对于路床 0~80cm 应不小于 95%,路堤 80~150cm 应不小于 93%,150cm 以下不小于 90%;对于零填及路堑、路槽底面以下 0~30cm 应不小于 95%。

在平均年降雨量少于 150mm,且地下水位低的特殊干旱地区(相当于潮湿系数 ≤ 0.25 地区)的压实度标准可降低 2%~3%。因为这些地区雨量稀少,地下水位低,天然土的含水量大大低于最佳含水量,要加水到最佳含水量情况下进行压实的确有很大困难,压实度标准适当降低也不致影响路基的强度和稳定性。在平均年降雨量超过 2000mm,潮湿系数 >2 的过湿地区和不能晾晒的多雨地区,天然土的含水量超过最佳含水量 5%时,要达到上述的要求极为困难,应进行稳定处理后再压实。

由于土的性质、颗粒的差别,确定最大干密度的方法也有区别,除了一般土的击实法以外,还有粗粒土和巨粒土最大干密度的确定方法。不同性质土的最大干密度确定方法及各方法的适用范围见表 2-1。

土的最大干密度确定方法比较

表 2-1

试验方法	适用范围	土的粒组
轻型、重型 击实法	小试筒适用于粒径不大于 25mm 的土 大试筒适用于粒径不大于 38mm 的土	细粒土 粗粒土
振动台法	①本试验规定采用振动台法测定无粘性自由排水粗粒土和巨粒土(包括堆石料)的最大干密度; ②本试验方法适用于通过 0.074mm 标准筛的干颗粒质量百分数不大于 15%的无粘性自由排水粗粒土和巨粒土; ③对于最大粒径大于 60mm 的巨粒土,因受试筒允许最大粒径的限制,宜按相似级配法的规定处理	粗粒土 巨粒土
表面振动 压实仪法	同上	粗粒土 巨粒土

击实试验由于击实功的不同,可分为重型和轻型击实,两个试验的原理和基本规律相似,但重型击实试验的击实功提高了4.5倍。击实试验中按采集土样的含水量,分湿土法和干土法;按土能否重复使用,也分为两种,即土能重复使用和不能重复使用。选择时应根据下列原则进行:根据工程的具体要求,按击实试验方法种类中规定选择轻型或重型试验方法;根据土的性质选用干土法或湿土法,对于高含水量土宜选用湿土法;对于非高含水量土则选用干土法;除易击碎的试样外,试样可以重复使用。

振动台法与表面振动压实仪法均是采用振动方法测定土的最大干密度。前者是整个土样同时受到垂直方向的振动作用,而后者是振动作用自土体表面垂直向下传的。研究结果表明,对于无粘聚性自由排水土这两种方法最大干密度试验的测定结果基本一致,但前者试验设备及操作较复杂,后者相对容易,且更接近于现场振动碾压的实际状况。因此,在使用时,可根据试验设备拥有情况择其一即可,但推荐优先采用表面振动压实仪法。

已有的国内外研究结果表明,对于砂、卵、漂石及堆石料等无粘聚性自由排水土而言,一致公认采用振动方法而不是普通击实法。因此,建议采用振动方法测定无粘聚性自由排水土的最大干密度。

各试验方法的仪器设备、试验步骤等内容,详见《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)。

(二)路面基层混合料最大干密度及最佳含水量确定方法

常见的路面基层材料有半刚性基层及粒料类基层。粒料类基层最大干密度的确定可参照粗粒土和巨粒土的振动法。半刚性基层材料按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)执行,用标准击实法求得,但当粒料含量高(50%以上)时,由于击实筒空间的限制,现行方法就不能得出真正的最大干密度。若以此为准,按施工规范要求的压实度成型,所测得的强度和有关参数太小,据此进行设计,势必造成浪费。同样,如以此为准进行施工质量控制,必然要求太低,不能保证施工质量。因此,需要寻求更科学的方法。下面介绍一种确定最大干密度、最佳含水量的方法,即理论计算法。

1. 石灰土、二灰稳定粒料

根据室内试验测得结合料的最大干密度 ρ_1 和集料的相对密度 γ ,把已确定的结合料与集料的质量比换算为体积比 $V_1 : V_2$,则混合料的最大干密度 ρ_0 为:

$$\rho_0 = V_1 \rho_1 + V_2 \gamma \quad (2-1)$$

石灰土、二灰稳定粒料的最佳含水量 w_0 是结合料的最佳含水量 w_1 和集料饱水裹覆含水量 w_2 的加权值,可按下式计算:

$$w_0 = w_1 A + w_2 B \quad (2-2)$$

式中: A 、 B ——结合料和集料的质量百分比,以小数计。

饱水裹覆含水量是指把集料浸水饱和后取出,不擦去表面裹覆水时的含水量。除吸水率特大的集料外,此值对于砾石可以取3%,碎石可取4%。

2. 水泥稳定粒料

此类材料的最大干密度 ρ_0 与集料的最大干密度 ρ_G 和水泥硬化后的水泥质量有关,即:

$$\rho_0 = \frac{\rho_G}{1 - \frac{(1+k)a}{100}} \quad (2-3)$$

式中: ρ_G ——集料在振动台上加载振动而得到的最大干密度, g/cm^3 ;

a ——水泥含量, %;

k ——水泥水化时水的增量,视水泥品种不同而异,一般为水泥质量的 10% ~ 25%,以小数计。

水泥加水拌匀后,在 105℃烘箱烘干,称试验前水泥质量和烘干后硬化的水泥质量,即可求得水泥水化的水增量。

因水泥中有水化水,故用烘箱法不能正确测出水泥稳定粒料的最佳含量。根据对比试验,水泥稳定粒料的最佳含水量 w_0 由水泥的水化水、集料的饱水裹覆含水量以及拌和水泥所需要的水(水灰比为 0.5)三者组成,即:

$$w_0 = (0.5 + k)a + w_2 \left(1 - \frac{a}{100}\right) \quad (2-4)$$

式中: a ——水泥含量, %;

w_2 ——集料饱水裹含水量, %, 同式(2-2)中规定;

k ——水泥水化时水的增量,以小数计,同式(2-3)中规定。

(三)沥青混合料标准密度确定方法

沥青混合料标准密度,以沥青拌和厂取样试验的马歇尔密度或者试验段密度为准,当采用前者方法时,压实度标准比后者高(详见第二章)。无论是用哪种方法,均存在对试件(马氏试件或芯样试件)测密度的问题。在进行密度试验时,应根据混合料本身的特点,可采用下列方法之一:

(1)水中重法:本法仅适用于密实的 I 型沥青混凝土试样,不适用于采用了吸水性大的集料的沥青混合料试件。

(2)表干法:本法适用于表面较粗但较密实的 I 型或 II 型沥青混凝土试件,但不适用于吸水率大于 2% 的沥青混合料试件。

(3)蜡封法:本法适用于吸水率大于 2% 的 I 型或 II 型沥青混凝土试件以及沥青碎石混合料试件,不能用水中重法或表干法测密度时,应用蜡封法测定。

(4)体积法:本法适用于空隙率较大的沥青碎石混合料及大空隙透水性开级配沥青混合料试件。

具体的试验方法见《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)。

二、现场密度试验检测方法

现场密度主要检测方法及各方法的适用范围见表 2-2。

现场密度检测方法及其适用范围比较

表 2-2

试验方法	适用范围
灌砂法	适用于在现场测定基层(或底基层)、砂石路面及路基土的各种材料压实层的密度和压实度,也适用于沥青表面处治、沥青贯入式面层的密度和压实度检测,但不适用于填石路堤等有大孔洞或大孔隙材料的压实度检测
环刀法	适用于细粒土及无机结合料稳定细粒土的密度测试,但对无机结合料稳定细粒土,其龄期不宜超过 2d,且宜用于施工过程中的压实检验
核子法	适用于现场用核子密度仪以散射法或直接透射法测定路基材料的密度和含水量,并计算施工压实度,适用于施工质量的现场快速评定,不宜用作仲裁试验或评定验收试验
钻芯法	适用于检验从压实的沥青路面上钻取的沥青混合料芯样试样的密度,以评定沥青面层的施工压实度,同时适用于龄期较长的无机结合料稳定类基层和底层的密度检测

课题 2.1 环刀法测定土体密度

环刀法是测量现场密度的传统方法。国内习惯采用的环刀容积通常为 200cm^3 , 环刀高度通常约 5cm 。用环刀法测得的密度是环刀内土样所在深度范围内的平均密度。它不能代表整个碾压层的平均密度。由于碾压土层的密度一般是从上到下减小的, 若环刀取在碾压层的上部, 则得到的数值往往偏大; 若环刀取的是碾压层的底部, 则所得的数值将明显偏小。就检查路基土和路面结构层的压实度而言, 我们需要的是整个碾压层的平均压实度, 而不是碾压层中某一部分的压实度。因此, 在用环刀法测定土的密度时, 应使所得密度能代表整个碾压层的平均密度。然而, 这在实际检测中是比较困难的, 只有使环刀所取的土恰好是碾压层中间的土, 环刀法所得的结果才可能与灌砂法的结果大致相同。另外, 环刀法适用面较窄, 对于含有粒料的稳定土及松散性材料无法使用。

1. 仪器与材料

(1) 人工取土器或电动取土器: 人工取土器包括环刀、环盖、定向筒和击实锤系统(导杆、落锤、手柄)。环刀内径 $6\sim 8\text{cm}$, 高 23cm , 壁厚 1.52mm 。

电动取土器由底座、行走轮、立柱、齿轮箱、升降机构、取芯头等组成。

电动取土器主要技术参数为: 工作电压 $\text{DC}24\text{V}(36\text{Ah})$; 转速 $5\ 070\text{r}/\text{min}$, 无级调速; 整机质量约 35kg 。

(2) 天平: 感量 0.1g (用于取芯头内径小于 70mm 样品的称量), 或 1.0g (用于取芯头内径 100mm 样品的称量)。

(3) 其他: 镐、小铁锹、修土刀、毛刷、直尺、钢丝锯、凡士林、木板及测定含水量设备等。

2. 试验方法与步骤

(1) 用人工取土器测定粘性土及无机结合料稳定细粒土密度:

① 擦净环刀, 称取环刀质量 m_2 , 准确至 0.1g 。

② 在试验地点, 将面积约 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 的地面清扫干净, 并将压实层铲去表面浮动及不平整的部分, 达到一定深度, 使环刀打下后, 能达到要求的取土深度, 但不得扰动下层。

③ 将定向筒齿钉固定于铲平的地面上, 顺次将环刀、环盖放入定向筒内, 并与地面垂直。

④ 将导杆保持垂直状态, 用取土器落锤将环刀打入压实层中, 至环盖顶面与定向筒上口齐平为止。

⑤ 去掉击实锤和定向筒, 用镐将环刀及试样挖出。

⑥ 轻轻取下环盖, 用修土刀自边至中削去环刀两端余土, 用直尺检测, 直至修平为止。

⑦ 擦净环刀外壁, 用天平称取环刀及试样合计质量 m_1 , 准确至 0.1g 。

⑧ 自环刀中取出试样, 取具有代表性的试样, 测定其含水量。

(2) 用人工取土器测定砂性土或砂层密度:

① 如为湿润的砂土, 试验时不需要使用击实锤和定向筒。在铲平的地面上, 细心挖出一个直径较环刀外径略大的砂土柱, 将环刀刃口向下, 平置于砂土柱上, 用两手平衡地将环刀垂直压下, 直至砂土柱突出环刀上端约 2cm 时为止。

② 削掉环刀口上的多余砂土, 并用直尺刮平。

③ 在环刀上口盖一块平滑的木板, 一手按住木板, 另一只手用小铁锹将试样从环刀底部切断, 然后将装满试样的环刀转过来, 削去环刀刃口上部的多余砂土, 并用直尺刮平。

④ 擦净环刀外壁, 称环刀与试样合计质量 m_1 , 精确至 0.1g 。

⑤从环刀中取具有代表性的试样测定其含水量。

⑥干燥的砂土不能挖成砂土柱时,可直接将环刀压入或打入土中。

(3)用电动取土器测定无机结合料细粒土和硬塑土密度:

①装上所需规格的取芯头。在施工现场取芯前,选择一块平整的路段,将四只行走轮打起,四根定位销钉采用人工加压的方法,压入路基土层中。松开锁紧手柄,旋动升降手轮,使取芯头刚好与土层接触,锁紧手柄。

②将电瓶与调速器接通,把调速器的输出端接入取芯机电源插口。指示灯亮,显示电路已通;启动开关,电动机工作,带动取芯机构转动。根据土层含水量调节转速,操作升降手柄,上提取芯机构,停机,移开机器。由于取芯头圆筒外表有几条螺旋状突起,切下的土屑排在筒外顺螺纹上旋抛出地表,将取芯套筒套在切削好的土芯立柱上,摇动即可取样品。

③取出样品,立即按取芯套筒长度用修土刀或钢丝锯修平两端,制成所需规格土芯,如拟进行其他试验项目,装入铝盒,送试验室备用。

④用天平称量土芯带套筒质量 m_1 ,从土芯中心部分取试样测定含水量。

3. 计算

按下式分别计算试样的湿密度 ρ_w 及干密度 ρ_d :

$$\rho_w = \frac{4 \times (m_1 - m_2)}{\pi d^2 h} \quad (2-5)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01w} \quad (2-6)$$

式中: ρ_w ——试样的湿密度, g/cm^3 ;

ρ_d ——试样的干密度, g/cm^3 ;

m_1 ——环刀或取芯套筒与试样合计质量, g ;

m_2 ——环刀或取芯套筒质量, g ;

d ——环刀或取芯套筒直径, cm ;

h ——环刀或取芯套筒高度, cm ;

w ——试样的含水量, %。

课题 2.2 灌砂法测定压实层密度

灌砂法是利用均匀颗粒的砂去置换试洞的体积。该方法可用于测试各种土或路面材料的密度,也是当前最通用的方法,很多工程都把灌砂法列为现场测定密度的主要方法。它的缺点是:需要携带较多量的砂,而且称量次数较多,因此它的测试速度较慢。

采用此方法时,必须符合下列规定:

(1)集料的最大粒径小于 15mm、测定层的厚度不超过 150mm 时,宜采用 $\phi 100mm$ 的小型灌砂筒测试。

(2)当集料的粒径等于或大于 15mm,但不大于 40mm,测定层的厚度超过 150mm,但不超过 200mm 时,应用 $\phi 150mm$ 的大型灌砂筒测试。

1. 仪器与材料

(1)灌砂筒:有大小两种,根据需要采用。形式和主要尺寸见图 2-1 及表 2-3。储砂筒筒底中心有一个圆孔,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。漏斗焊接在一块铁板上,铁板中心有一圆孔与漏斗上开口相接。储砂筒筒底与漏斗之间设有开

