

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几项内容。

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阻系数来表示。表面特性包括路面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。

路面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, 功能是在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, 摩阻系数的检测值 (共 10 个测处) 分别为: 58、56、60、53、48、54、50、61、57、55 摆值) 求摩阻系数的算术平均值。

解: 由式 (1-1) 可知, 摩阻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。

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

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

式中： x' —— 一个评定路段内测定值的代表值；

t_α 或 $t_{\alpha/2}$ —— 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)。

$t_\alpha/\sqrt{n}$ 及 $t_{\alpha/2}/\sqrt{n}$ 的 值 表 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 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%
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，随深度而迅速减少，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	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； 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； 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,可按下列式计算:

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

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:

擦净环刀,称取环刀质量 m_2 准确至 0.1g 。

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。

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。

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。

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:

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。

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。

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：

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。

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，送实验室备用。

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

关，开关铁板上也有一个相同直径的圆孔。

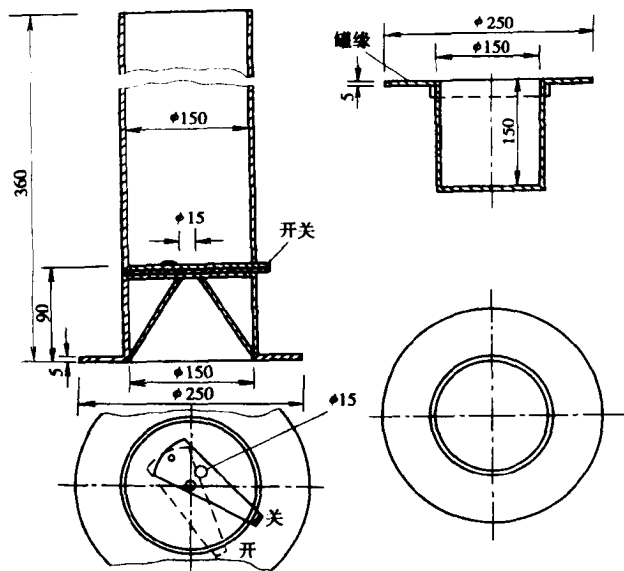


图 2-1 灌砂仪示意图 尺寸单位：mm)

(2)金属标定罐：用薄铁板制作的金属罐，上端周围有一罐缘。

灌砂仪的主要尺寸

表 2-3

结 构		小型灌砂筒	大型灌砂筒
储砂筒	直径(mm)	100	150
	容积(cm ³)	2120	4600
流砂孔	直径(mm)	10	15
金属标定罐	内径(mm)	100	150
	外径(mm)	150	200
金属方盘基板	边长(mm)	350	400
	深(mm)	40	50
	中孔直径(mm)	100	150

注：如集料的最大粒径超过 40mm，则应相应地增大灌砂筒和标定罐的尺寸；如集料的最大粒径超过 60mm，灌砂筒和现场试洞的直径应为 200mm。

(3)基板 用薄铁板制作的金属方盘 盘的中心有一圆孔。

(4)玻璃板 边长为 500~600mm 的方形板。

(5)试样盘：小筒挖出的试样可用铝盒存放，大筒挖出的试样可用 300mm×500mm×40mm 的搪瓷盘存放。

(6)天平或台称 称量 10~15kg 感量不大于 1g。用于含水量测定的天平精度，对细粒土、中粒土、粗粒土宜分别取 0.01g、0.1g、1.0g。

(7)含水量测定器具 如铝盒、烘箱等。

(8)量砂 粒径 0.30~0.60mm 及 0.25~0.50mm 清洁干燥的均匀砂 约 2 040kg 使用前须

洗净、烘干，并放置足够长的时间，使其与空气的湿度达到平衡。

(9)盛砂的容器：塑料桶等。

(10)其他 凿子、螺丝刀、铁锤、长把勺、小簸箕、毛刷等。

2. 试验方法与步骤

(1)灌砂筒下部圆锥体内砂的质量：

在灌砂筒筒口高度上，向灌砂筒内装砂至距筒顶 15mm 左右为止。称取装入筒内砂的质量 m_1 准确至 1g。以后每次标定及试验都应该维持装砂高度与质量不变。

②开关打开，让砂自由流出，并使流出砂的体积与工地所挖试坑内的体积相当（可等于标定罐的容积）然后关上开关 称灌砂筒内剩余砂质量 m_5 准确至 1g。

不晃动储砂筒的砂，轻轻地将灌砂筒移至玻璃板上，将开关打开，让砂流出，直到筒内砂不再下流时，将开关关上，并细心地取走灌砂筒。

收集称量留在板上的砂或称量筒内的砂，准确至 1g。玻璃板上的砂就是填满锥体的砂 m_2 。

③重复上述测量三次 取其平均值。

(2)标定量砂的单位质量 γ_s ：

用水确定标定罐的容积 V 准确至 1mL。

在储砂筒中装入质量为 m_1 的砂 并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 不要碰灌砂筒 直至砂不再下流时 将开关关闭。取下灌砂筒 称取筒内剩余砂的质量 m_3 准确至 1g。

按式(2-7)计算填满标定罐所需砂的质量 m_a ：

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (2-7)$$

式中： m_a ——标定罐中砂的质量，g；

m_1 ——装入灌砂筒内砂的总质量，g；

m_2 ——灌砂筒下部圆锥体内砂的质量，g；

m_3 ——灌砂入标定罐后 筒内剩余砂的质量，g。

重复上述测量三次，取其平均值。

按式(2-8)计算量砂的单位质量：

$$\gamma_s = \frac{m_a}{V} \quad (2-8)$$

式中： γ_s ——量砂的单位质量，g/cm³；

V ——标定罐的体积，cm³。

(3)试验步骤：

在试验地点 选一块平坦表面 并将其清扫干净 其面积不得小于基板面积。

将基板放在平坦表面上。当表面的粗糙度较大时，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，并称量筒内的质量 m_6 准确至 1g。当需要检测厚度时 应先测量厚度后再进行这一步骤。

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。

将基板放回清扫干净的表面上（尽量放在原处）沿基板中孔凿洞 洞的直径与灌砂筒一致，在凿洞过程中 应注意勿使凿出的材料丢失 并随时将凿出的材料取出装入塑料袋中 不

使水分蒸发，也可放在大试样盒内。试洞的深度应等于测定层厚度，但不得有下层材料混入，最后将洞内的全部凿松材料取出。对土基或基层，为防止试样盘内材料的水分蒸发，可分几次称取材料的质量。全部取出材料的总质量为 m_w 准确至 1g。

⑤从挖出的全部材料中取出有代表性的样品，放在铝盒或洁净的搪瓷盘中，测定其含水量 (w 以 % 计)。样品的数量如下：用小灌砂筒测定时，对于细粒土，不小于 100g 对于各种中粒土，不少于 500g。用大灌砂筒测定时，对于细粒土，不少于 200g；对于各种中粒土，不少于 1 000g；对于粗粒土或水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定材料，宜将取出的全部材料烘干，且不少于 2 000g 称其质量 m_d 准确至 1g。若为沥青表面处治或沥青贯入结构类材料时，则少去测定含水量步骤。

⑥将基板安放在试坑上，将灌砂筒安放在基板中间（储砂筒内放满砂质量 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，让砂流入试坑内。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。小心取走灌砂筒，并称量筒内剩余砂的质量 m_4 准确至 1g。

⑦如清扫干净的平坦表面的粗糙度不大，也可省去上述 和 的操作。在试洞挖好后，将灌砂筒直接对准放在试坑上，中间不需要放基板。打开筒的开关，让砂流入试坑内。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，并关闭开关。小心取走灌砂筒，并称量剩余砂的质量 m'_4 准确至 1g。

⑧仔细取出试筒内的量砂，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，则应该重新烘干、过筛，并放置一段时间，使其与空气的温度达到平衡后再用。

3. 计算

(1)按式 (2-9)或 (2-10)计算填满试坑所用砂的质量 m_b ：

灌砂时，试坑上放有基板时：

$$m_b = m_1 - m_4 - (m_5 - m_6) \quad (2-9)$$

灌砂时，试坑上不放基板时：

$$m_b = m_1 - m_4 - m_2 \quad (2-10)$$

式中： m_b ——填满试坑所需砂的质量，g；

m_1 ——灌砂前灌砂筒内砂的质量，g；

m_2 ——灌砂筒下部圆锥内砂的质量，g；

m_4 、 m'_4 ——灌砂后 灌砂筒内剩余砂的质量，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合计质量，g。

(2)按下式计算试坑材料的湿密度 ρ_w ：

$$\rho_w = \frac{m_w}{m_b} \times \gamma_s \quad (2-11)$$

式中： m_w ——试坑中取出的全部材料的质量，g；

γ_s ——量砂的单位质量，g/cm³。

(3)按下式计算试坑材料的干密度 ρ_d ：

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{(1 + 0.01w)} \quad (2-12)$$

式中： w ——试坑材料的含水量，%。

(4)水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定土 可按下式计算干密度 ρ_d :

$$\rho_d = m_d / m_v \times \gamma_s \quad (2-13)$$

式中: m_d ——试坑中取出的稳定土的烘干质量, g。

当试坑材料组成与击实试验的材料有较大差异时, 可以试坑材料作标准击实, 求取实际的最大干密度。

4. 试验中应注意的问题

灌砂法是施工过程中最常用的试验方法之一。此方法表面上看起来较为简单, 但实际操作时常常不好掌握, 并会引起较大误差; 又因为它是测定压实度的依据, 故经常是质量检测监督部门与施工单位之间发生矛盾或纠纷的环节, 因此应严格遵循试验的每个细节, 以提高试验精度。为使试验做得准确, 应注意以下几个环节:

(1)量砂要规则。量砂如果重复使用, 一定要注意晾干, 处理一致, 否则影响量砂的松方密度。

(2)每换一次量砂, 都必须测定松方密度, 漏斗中砂的数量也应该每次重做。因此, 量砂宜事先准备较多数量。切勿到试验时临时找砂, 又不作试验, 仅使用以前的数据。

(3)地表面处理要平整, 只要表面凸出一点(1mm)使整个表面高出一薄层 其体积也算到试坑中去了, 会影响试验结果。因此, 本方法一般宜采用放上基板先测定一次粗糙表面消耗的 量砂 按式(2-9)计算填坑的砂量, 只有在非常光滑的情况下方可省去此操作步骤。

(4)在挖坑时试坑周壁应笔直, 避免出现上大下小或上小下大的情形, 这样就会使检测密度偏大或偏小。

(5)灌砂时检测厚度应为整个碾压层厚, 不能只取上部或者取下一个碾压层中。

课题 2.3 钻孔取芯测试路面材料密度

沥青混合料面层的施工压实度是指按规定方法测得的混合料试样的毛体积密度与标准密度之比, 以百分率表示。对沥青混合料, 国内外均以取样测定作为标准试验方法。

1. 仪器与材料

(1)路面取芯钻机;

(2)天平 感量不大于 0.1g;

(3)溢流水槽;

(4)吊篮;

(5)石蜡;

(6)其他:卡尺、毛刷、小勺、取样袋(容器)、电风扇。

2. 试验方法与步骤

1) 钻取芯样

按路面钻孔及切割取样方法钻取路面芯样, 芯样直径不宜小于 $\phi 100\text{mm}$ 。当一次钻孔取得芯样包含有不同层位的沥青混合料时, 应根据结构组合情况切割机将芯样沿各层结合面锯开分层进行测定。

2) 测定试件密度

(1)将钻取的试件在水中用毛刷轻轻刷净粘附的粉尘。如试件边角有松散颗粒, 应仔细清除。

(2)将试件晾干或用电风扇吹干不少于 24h 直至恒重。

按现在《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的沥青混合料试件密度试验方法测定试件的视密度或毛体积密度。当试件的吸水率小于 2% 时,采用水中重法或表干法测定,当吸水率大于 2% 时,用蜡封法测定。对空隙率很大的透水性混合料及开级配混合料用体积法测定。

3. 计算

(1)当计算压实的沥青混合料的标准密度采用马歇尔击实试件成型密度或试验路段钻孔取样密度时,沥青面层的压实度按下式计算:

$$K = \frac{\rho_s}{\rho_0} \times 100 \quad (2-14)$$

式中: K ——沥青面层的压实度, %;

ρ_s ——沥青混合料芯样试件的视密度或毛体积密度, g/cm^3 ;

ρ_0 ——沥青混合料的标准密度, g/cm^3 。

(2)由沥青混合料实测最大密度计算压实度时,应按式(2-15)进行空隙率折算,作为标准密度,再按式(2-14)计算压实度:

$$\rho_0 = \rho_t \times \left[\frac{(100 - VV)}{100} \right] \quad (2-15)$$

式中: ρ_t ——沥青混合料的实测最大密度, g/cm^3 。具体试验方法见《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000);

ρ_0 ——沥青混合料的标准密度, g/cm^3 ;

VV ——试件的空隙率, %。

4. 试验检测中应注意的问题

压实度的大小取决于实测的压实密度,同样也与标准密度的大小有关,但目前对标准密度的规定并不统一,有些工程在压实度达不到时,便重新进行马歇尔试验,调整标准密度,使压实度达到要求,这样实际上是弄虚作假。为防止这种情况,新的检测方法规定了三种标准密度,一种是马歇尔击实试件密度;另一种是试验路段钻孔取样密度;第三种是由实测最大密度按空隙率折算的标准密度。在进行检测时,应结合工程实际情况,采用相应的标准密度。

课题 2.4 核子密度湿度仪法

核子密度湿度仪法是利用放射性元素(通常是 γ 射线和中子射线)测量土或路面材料的密度和含水量。这类仪器的特点是测量速度快,需要人员少。该方法适用于测量各种土或路面材料的密度和含水量,有些进口仪器可贮存打印测试结果。它的缺点是,放射性物质对人体有害,另外需要打洞的仪器,在打洞过程中使洞壁附近的结构遭到破坏,影响测定的准确性。对于核子密度湿度仪法,可作施工控制使用。

1. 仪器和材料

(1)核子密度湿度仪:符合国家规定的关于健康保护和安全使用标准,密度的测定范围为 $1.12 \sim 2.73 \text{g}/\text{cm}^3$,测定误差不大于 $\pm 0.03 \text{g}/\text{cm}^3$,含水率测量范围为 $0 \sim 0.64 \text{g}/\text{cm}^3$,测定误差不大于 $\pm 0.015 \text{g}/\text{cm}^3$ 。它主要包括下列部件:

① γ 射线源:双层密封的同位素放射源,如铯—137、钴—60 或镅—226 等。

中子源:如镅(241)—铍等。

探测器: γ 射线探测器或中子探测器等。

读数显示设备：如液晶显示器、脉冲计数器、数率表或直接读数表。

标准板：提供检验仪器操作和散射计数参考标准用。

⑥ 安全防护设备：符合国家规定要求的设备。

⑦ 刮平板、钻杆、接线等

(2) 砂：0.15 ~ 0.3mm。

(3) 天平或台称。

(4) 其他 毛刷等。

2. 试验方法与步骤

本方法用于测定沥青混合料面层的压实密度时，在表面用散射法测定，所测定沥青面层的层厚应不大于根据仪器性能决定的最大厚度。用于测定土基层或基层材料的压实密度及含水量时，打洞后用直接透射法测定，测定层的厚度不宜大于 20cm。

1) 准备工作

(1) 每天使用前按下列步骤用标准板测定仪器的标准值：

接通电源，按照仪器使用说明书建议的预热时间，预热测定仪。

在测定前，应检查仪器性能是否正常，在标准板上取 34 个读数的平均值建立原始标准值，并与使用说明书提供的标准值校对，如标准读数超过使用说明书规定的界限时，应重复此标准的测量；若第二次标准计数仍超出规定的界限时，需视作故障并进行仪器检查。

(2) 沥青混合料压实层密度测定前，应用核子法对钻孔取样的试件进行标定；测定其他材料密度时，宜与挖坑灌砂法的结果进行标定。标定步骤如下：

选择压实的路表面，按要求的测定步骤用核子仪测定密度，记录读数；

② 在测定的同一位置用钻机钻孔法或挖坑灌砂法取样，测量厚度，按规定的标准方法测定材料的密度；

对同一种路面厚度及材料类型，在使用前至少测定 15 处，求取两种不同方法测定密度的相关关系，其相关系数应不小于 0.9。

(3) 测试位置的选择

按照随机取样的方法确定测试位置，但与距路面边缘或其他物体的最小距离不得小于 30cm 核子仪距其他射线源不得少于 10m。

② 当用散射法测定时，应用细砂填平测试位置路表结构凹凸不平的空隙，使路表面平整，能与仪器紧密接触。

当使用直接透射法测定时，应在表面上用钻杆打孔，孔深略深于要求测定的深度，孔应竖直圆滑并稍大于射线源探头。

(4) 按照规定的时间，预热仪器。

2) 测定步骤

(1) 如用散射法测定时，应按图 2-2 的方法将核子仪平稳地置于测试位置上。

(2) 如用直接透射法测定时，应按图 2-3 的方法将放射源棒放下插入已预先打好的孔内。

(3) 打开仪器，测试员退出仪器 2m 以外，按照选定的测定时间进行测量，到达测定时间后，读取显示的各项数值，并迅速关机。

各种型号的仪器具体操作步骤略有不同，可按照仪器使用说明书进行。

3 使用安全注意事项

(1) 仪器工作时，所有人员均应退到距仪器 2m 以外的地方。

(2) 仪器不使用时，应将手柄置于安全位置，仪器应装入专用的仪器箱内，放置在符合核辐射安全规定的地方。

(3) 仪器应由有关部门审查合格的专人保管，专人使用。对从事仪器保管及使用的人员，应遵照有关核辐射检测的规定。不符合核防护规定的人员，不宜从事此项工作。

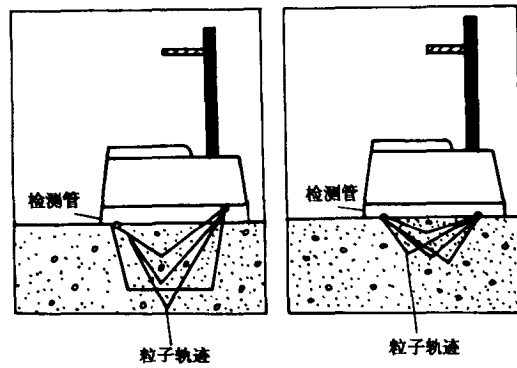


图 2-2 用散射法测定的方法

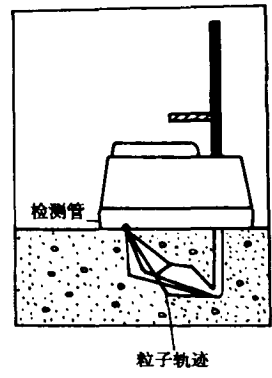


图 2-3 用透射法测定的方法

课题 2.5 压实度计算及结果评定

路基、路面压实度以 1 ~ 3km 长的路段为检验评定单元，按要求的检测频率及方法进行现场压实度抽样检查 求算每一测点的压实度 K_i 。

压实度检验评定要求见表 2-4。

压实度评定要点是：

- (1) 控制平均压实度的置信下限，以保证总体水平；
- (2) 规定单点极值不得超出给定值，防止局部隐患；
- (3) 规定扣分界限以区分质量优劣。

检验评定段的压实度代表值 K 算术平均值的下置信界限 为：

$$K = \bar{K} - t_\alpha S / \sqrt{n} \geq K_0 \tag{2-16}$$

式中： K ——检验评定段内各测点压实度的平均值；

t_α —— t 分布表中随测点数的保证率（或置信度 α ）而变的系数（见表 1-1） 高速、一级公路 基层、底基层为 99% 路基、路面面层为 95% 其他公路 基层底基层为 95%，路基、路面面层为 90%；

S ——检测值的均方差；

n ——检测点数；

K_0 ——压实度标准值。

路基、基层和底基层 当 $K \geq K_0$ 且单点压实度 K_i 全部大于等于规定值减 2 个百分点时 评定路段的压实度可得规定满分 当 $K \geq K_0$ ，且单点压实度全部大于等于规定极值时，对于测定值低于规定值减 2 个百分点的测点 按其占总检查点数的百分率计算扣分值 当 $K < K_0$ 或某一单点压实度 K_i 小于规定极值时 该评定路段压实度为不合格 评为零分。

路堤施工段落短时，分层压实度要点符合要要求，且实际样本数不小于 6 个。

沥青面层 当 $K \geq K_0$ 且全部测点大于等于规定值减 1 个百分点时 评定路段的压实度可得规定的满分 当 $K \geq K_0$ 时 对于测定值低于规定值减 1 个百分点的测点，按其占总检查点