

式中: V ——试件的毛体积(cm^3);
 d ——圆柱体试件的直径(cm);
 h ——试件的高度(cm)。

4.2 棱柱体试件的毛体积按式(T 0708-2)计算。

$$V = l \times b \times h \quad (\text{T 0708-2})$$

式中: l ——试件的长度(cm);
 b ——试件的宽度(cm);
 h ——试件的高度(cm)。

4.3 试件的毛体积密度按式(T 0708-3)计算,取3位小数。

$$\rho_s = \frac{m_a}{V} \quad (\text{T 0708-3})$$

式中: ρ_s ——用体积法测定的试件的毛体积密度(g/cm^3);
 m_a ——干燥试件的空中质量(g)。

4.4 试件的毛体积相对密度按式(T 0708-4)计算,取3位小数。

$$\gamma_s = \frac{\rho_s}{0.9971} \quad (\text{T 0708-4})$$

式中: γ_s ——用体积法测定的试件的25℃条件的毛体积相对密度,无量纲。

将毛体积密度除以25℃时的水密度,得到体积法测定的25℃条件下试件毛体积相对密度。

4.5 按本规程 T 0705 的方法计算试件的理论密度、空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

本试验记录格式可参照表 T 0708a。

表 T 0708a 沥青混合料密度(体积法)试验记录表

试样 编号	干燥试件的 空中质量 m_a (g)	直径 d /长度 l (cm)			高度 h (cm)					宽度 b (cm)				试件的 毛体积 V (cm^3)	试件的毛体积 密度测值 $\rho_s = m_a/V$ (g/cm^3)	
		1	2	平均	1	2	3	4	平均	1	2	3	平均			

T 0709—2011 沥青混合料马歇尔稳定度试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于马歇尔稳定度试验和浸水马歇尔稳定度试验,以进行沥青混合料的配合比设计或沥青路面施工质量检验。浸水马歇尔稳定度试验(根据需要,也可进行真空饱水马歇尔试验)供检验沥

青混合料受水损害时抵抗剥落的能力时使用,通过测试其水稳定性检验配合比设计的可行性。

1.2 本方法适用于按本规程 T 0702 成型的标准马歇尔圆柱体试件和大型马歇尔圆柱体试件。

马歇尔试验是目前沥青混合料中最重要的一个试验方法。为区别试验时浸水条件的不同,将其分别称为标准马歇尔试验、浸水马歇尔试验及真空饱水马歇尔试验。使用大型试件时称为大型马歇尔试验。

2 仪器与材料技术要求

2.1 沥青混合料马歇尔试验仪:分为自动式和手动式。自动马歇尔试验仪应具备控制装置、记录荷载一位移曲线、自动测定荷载与试件的垂直变形,能自动显示和存储或打印试验结果等功能。手动式由人工操作,试验数据通过操作者目测后读取数据。

对用于高速公路和一级公路的沥青混合料宜采用自动马歇尔试验仪。

马歇尔试验是沥青混合料配合比设计及沥青路面施工质量控制的最重要的试验项目,数据的真实性十分重要。本规程规定对用于高速公路和一级公路的沥青混合料,宜采用计算机或 X-Y 记录仪自动测定的自动马歇尔试验仪进行试验,在出具报告时附上荷载—变形曲线原件或自动打印结果。但是也有很少单位或在低等级道路上可能仍然在使用手动马歇尔试验仪,因此本次仍然保留了这部分内容。

2.1.1 当集料公称最大粒径小于或等于 26.5mm 时,宜采用 $\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件,试验仪最大荷载不得小于 25kN,读数准确至 0.1kN,加载速率应能保持 $50\text{mm}/\text{min} \pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。钢球直径 $16\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$,上下压头曲率半径为 $50.8\text{mm} \pm 0.08\text{mm}$ 。

2.1.2 当集料公称最大粒径大于 26.5mm 时,宜采用 $\phi 152.4\text{mm} \times 95.3\text{mm}$ 大型马歇尔试件,试验仪最大荷载不得小于 50kN,读数准确至 0.1kN。上下压头的曲率内径为 $\phi 152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,上下压头间距 $19.05\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。大型马歇尔试件的压头尺寸如图 T 0709-1 所示。

对于室内击实成型试件,原规程对于大于 26.5mm 混合料,当用于配合比设计等目的需要在试验室制件时,需要采用替代法,把大于 26.5mm 的集料筛去,用小一档的料替代,这与实际工程中混合料的级配是不一样的。本次根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的要求对该方法进行了修订,即对于大于 26.5mm 粒径的沥青混合料,需要采用大马歇尔试模成型试件,取消采用替代法。

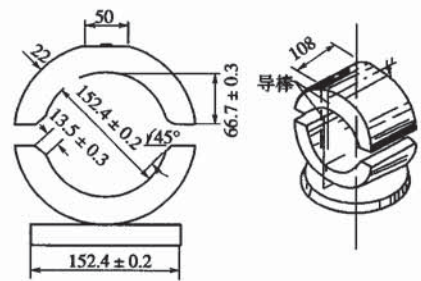


图 T 0709-1 大型马歇尔试验的压头(尺寸单位: mm)

2.2 恒温水槽:控温准确至 1°C ,深度不小于 150mm。

2.3 真空饱水容器:包括真空泵及真空干燥器。

2.4 烘箱。

2.5 天平:感量不大于 0.1g。

2.6 温度计:分度值 1°C 。

2.7 卡尺。

2.8 其他:棉纱、黄油。

3 标准马歇尔试验方法

3.1 准备工作

3.1.1 按 T 0702 标准击实法成型马歇尔试件,标准马歇尔试件尺寸应符合直径 $101.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、高 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的要求。对大型马歇尔试件,尺寸应符合直径 $152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、高 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 的要求。一组试件的数量不得少于 4 个,并符合 T 0702 的规定。

3.1.2 量测试件的直径及高度:用卡尺测量试件中部的直径,用马歇尔试件高度测定器或用卡尺在十字对称的 4 个方向量测离试件边缘 10mm 处的高度,准确至 0.1mm,并以其平均值作为试件的高度。如试件高度不符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 要求或两侧高度差大于 2mm,此试件应作废。

试件直径及高度必须合乎规范要求。马歇尔试验变异性与试件的成型高度关系很大,尤其是空隙率可能相差较大,所以制件时要很好地控制试件高度,对高度不符合要求的试件一定要剔除。试验规程规定的试件高度修正系数,只适用于现场钻取试件的情况,在室内试验制件时是不允许的。对高度不合格的试件应重新制作试件。

3.1.3 按本规程规定的方法测定试件的密度,并计算空隙率、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等体积指标。

3.1.4 将恒温水槽调节至要求的试验温度,对黏稠石油沥青或烘箱养生过的乳化沥青混合料为 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$,对煤沥青混合料为 $33.8^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$,对空气养生的乳化沥青或液体沥青混合料为 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

试验温度为 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的混合料,包括改性沥青和黏稠石油沥青或烘箱养生过的乳化沥青和改性乳化沥青混合料。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件置于已达规定温度的恒温水槽中保温,保温时间对标准马歇尔试件需 30 ~ 40min,对大型马歇尔试件需 45 ~ 60min。试件之间应有间隔,底下应垫起,距水槽底部不小于 5cm。

3.2.2 将马歇尔试验仪的上下压头放入水槽或烘箱中达到同样温度。将上下压头从水槽或烘箱中取出擦拭干净内面。为使上下压头滑动自如,可在下压头的导棒上涂少量黄油。再将试件取出置于下压头上,盖上下压头,然后装在加载设备上。

3.2.3 在上压头的球座上放妥钢球,并对准荷载测定装置的压头。

3.2.4 当采用自动马歇尔试验仪时,将自动马歇尔试验仪的压力传感器、位移传感器与计算机或 X-Y 记录仪正确连接,调整好适宜的放大比例,压力和位移传感器调零。

3.2.5 当采用压力环和流值计时,将流值计安装在导棒上,使导向套管轻轻地压住上压头,同时将流值计读数调零。调整压力环中百分表,对零。

3.2.6 启动加载设备,使试件承受荷载,加载速度为 $50 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ mm/min}$ 。计算机或 X-Y 记录仪自动记录传感器压力和试件变形曲线并将数据自动存入计算机。

由于路面材料存在明显的非线性,加载速率对稳定度试验结果影响较大,稳定度试验宜采用快速加载模式,加载速率为 $50 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ mm/min}$,使其尽量与路面动态荷载的加载速率相一致。

3.2.7 当试验荷载达到最大值的瞬间,取下流值计,同时读取压力环中百分表读数及流值计的流值读数。

3.2.8 从恒温水槽中取出试件至测出最大荷载值的时间,不得超过 30s。

4 浸水马歇尔试验方法

浸水马歇尔试验方法与标准马歇尔试验方法的不同之处在于,试件在已达规定温度恒温水槽中的保温时间为 48h,其余步骤均与标准马歇尔试验方法相同。

5 真空饱水马歇尔试验方法

试件先放入真空干燥器中,关闭进水胶管,开动真空泵,使干燥器的真空度达到 97.3 kPa (730 mmHg) 以上,维持 15min;然后打开进水胶管,靠负压进入冷水流使试件全部浸入水中,浸水 15min 后恢复常压,取出试件再放入已达规定温度的恒温水槽中保温 48h。其余均与标准马歇尔试验方法相同。

对浸水马歇尔试验在原方法中规定将成型好的试件在 60°C 热水中浸 48h 后试验,ASTM 及日本等大多数国家的标准均是这样规定的。但实践证明,除非是酸性石料,用此法测定的浸水马歇尔试验残留稳定度很少有达不到标准规定的 75% 要求的情况,甚至有大于 100% 的情况。为此第 17 届世界道路会议推荐把试件浸入 25°C 水中达 7d 后进行马歇尔试验,测量马歇尔稳定度的降低和体积变化,以此评价水对混合料的影响。壳牌石油公司中央研究所经多年研究修订了浸水马歇尔试验,先经真空饱水后再在 60°C 浸水 48h 试验,由于试件中先浸入冷水且浸的水量较多,故浸入热水后膨胀严重,稳定度损失较大,更能反映抗水浸蚀的稳定性。

由于浸水 7d 的方法过于麻烦,实际上很难做到,而真空饱水后浸水则很方便,故本试验法采用真空饱水马歇尔试验。

6 计算

6.1 试件的稳定度及流值

6.1.1 当采用自动马歇尔试验仪时,将计算机采集的数据绘制成压力和试件变形曲线,或由 X-Y 记录仪自动记录的荷载—变形曲线,按图 T 0709-2 所示的方法在切线方向延长曲线与横坐标相交于 O_1 ,将 O_1 作为修正原点,从 O_1 起量取相应于荷载最大值时的变形作为流值 (FL),以 mm 计,准确至 0.1mm。最大荷载即为稳定度 (MS),以 kN 计,准确至 0.01kN。

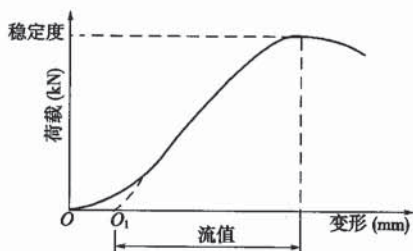


图 T 0709-2 马歇尔试验结果的修正方法

马歇尔试验仪的加工质量应该引起注意,如有的仪器在试件和压头之间出现透亮的孔隙,即试件与压头不密合的情况较多,从而使得开始试验时荷载尚未增加,流值计已经出现较大的变形,这一部分变形实际上是使试件与压头密合过程中的变形,是不应该计算到流值之中的。因此,需要进行原点修正,采用原点修正后的流值作为试验结果。

在工程上有时出现马歇尔试验的荷载—变形曲线的顶部很平坦的现象,即荷载增加很小,变形却持续不断增大,改性沥青和

SMA 混合料也经常出现这种情况,致使对应于最大荷载(稳定度)处的变形(流值)很大。在这种情况下,可以以最大荷载的 98% 对应的变形值作为流值,但应该在试验报告中如实说明。

6.1.2 采用压力环和流值计测定时,根据压力环标定曲线,将压力环中百分表的读数换算为荷载值,或者由荷载测定装置读取的最大值即为试件的稳定度(MS),以 kN 计,准确至 0.01kN。由流值计及位移传感器测定装置读取的试件垂直变形,即为试件的流值(FL),以 mm 计,准确至 0.1mm。

6.2 试件的马歇尔模数按式(T 0709-1)计算。

$$T = \frac{MS}{FL} \quad (\text{T 0709-1})$$

式中: T ——试件的马歇尔模数(kN/mm);

MS——试件的稳定度(kN);

FL——试件的流值(mm)。

6.3 试件的浸水残留稳定度按式(T 0709-2)计算。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (\text{T 0709-2})$$

式中: MS_0 ——试件的浸水残留稳定度(%);

MS_1 ——试件浸水 48h 后的稳定度(kN)。

6.4 试件的真空饱水残留稳定度按式(T 0709-3)计算。

$$MS'_0 = \frac{MS_2}{MS} \times 100 \quad (\text{T 0709-3})$$

式中: MS'_0 ——试件的真空饱水残留稳定度(%);

MS_2 ——试件真空饱水后浸水 48h 后的稳定度(kN)。

7 报告

7.1 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时,该测定值应予舍弃,并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 时, k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

马歇尔试验的变异性往往较大,按美国 NCAT 最近 41 个单位联合试验测定,同一试验室试验结果的标准差:稳定度为 814N,空隙率为 0.6%,VMA 为 0.4%;而不同的试验室之间试验结果的标准差:稳定度为 2 553N,空隙率为 1.0%。我国试验结果也有类似情况。故几个试件结果的平均值计算方法常有疑问,此问题在国外也无明确的规定。本方法根据实践经验,对此作了统一的规定。

例题:进行马歇尔试验,一组 4 个试件,测得的稳定度 8.2kN、8.5kN、9.6kN、14.0kN,请计算该组马歇尔试件的最后平均稳定度(试验数目为 4 时,其 k 值取 1.46)。

(1) 测值由小到大排序:8.2kN、8.5kN、9.6kN、14.0kN。

(2) 计算特征值: $\bar{x} = 10.075\text{kN}$ $S = 2.685\text{kN}$ 。

(3) 计算统计值: $g_{(1)} = \frac{\bar{x} - x_{(1)}}{s} = \frac{10.075 - 8.2}{2.685} = 0.698$

$$g_{(4)} = \frac{x_{(4)} - \bar{x}}{s} = \frac{14 - 10.075}{2.685} = 1.462$$

(4) 判别 $g_4 > g_{(0)}$, 所以 $x_{(4)} = 14.0\text{kN}$ 为异常值。

(5) 平均稳定度为 $\frac{8.2 + 8.5 + 9.6}{3} = 8.76\text{kN}$ 。

表 T 0709a 沥青混合料马歇尔稳定度试验记录表

试件编号	油石比 (%)	试件高度 (mm)	直径 (mm)		试件空中质量 (g)	试件水中质量 (g)	试件表干质量 (g)	封端后试件空中质量 (g)	封端后试件水中质量 (g)	相对密度		沥青体积百分率 VA (%)	空隙率 VV (%)	粗料间隙率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)	稳定度 MS (kN)	残留稳定度 (%)	流值 FL (0.1mm)	马氏模数 (kN/mm)	备注		
			平均	实际						理论												
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
最终测试值																						
结论:																						

7.2 报告中需列出马歇尔稳定度、流值、马歇尔模数,以及试件尺寸、密度、空隙率、沥青用量、沥青体积分率、沥青饱和度、矿料间隙率等各项物理指标。当采用自动马歇尔试验时,试验结果应附上荷载—变形曲线原件或自动打印结果。

本试验记录格式可参照表 T 0709a。

T 0710—2011 沥青路面芯样马歇尔试验

1 目的与适用范围

本方法适用于从沥青路面钻取的芯样进行马歇尔试验,供评定沥青路面施工质量是否符合设计要求或进行路况调查。标准芯样钻孔试件的直径为 100mm,适用的试件高度为 30~80mm;大型钻孔试件的直径为 150mm,适用的试件高度为 80~100mm。

从沥青路面钻取的芯样与室内成型制作的试件不同,高度很可能不符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 的要求,故进行马歇尔试验的方法也不同,为此专列一个试验方法。

关于试件尺寸容许误差,国外标准未见有规定。由于钻头直径往往是 100mm 及 150mm 的,所以试件直径必然小于 101.6mm 或 152mm 的要求。由于直径偏小,不可能与马歇尔试验仪的压头吻合。这是矛盾的,因此本方法的试验结果并不能作为检验沥青路面是否合格的依据。

2 仪器与材料技术要求

本方法所用的仪器与材料与本规程 T 0709 沥青混合料马歇尔试验相同。

3 方法与步骤

3.1 按现行《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60)的方法钻取压实沥青混合料路面芯样试件。

对沥青路面钻取的芯样作了规定,要求清理干净;对多层沥青混合料联结的芯样,提出了分离方法;规定了试件存放条件,见 3.2~3.3 条。

3.2 试验前必须将芯样试件黏附的黏层油、透层油和松散颗粒等清理干净。对与多层沥青混合料联结的芯样,宜采用以下方法进行分离:

3.2.1 在芯样上对不同沥青混合料层间画线作标记,然后将芯样在 0°C 以下冷却 20~25min。

3.2.2 取出芯样,用宽 5cm 以上的凿子对准层间画线标记处,用锤子敲打凿子,在敲打过程中不断旋转试件,直到试件分开。

3.2.3 如果以上方法无法将试件分开,特别是层与层之间的界线难以分清时,宜采用切割方法进行分离。切割时需要连续加冷却水切割,并注意观察切割后的试件不能含有其他层次的混合料。

对现场钻取的多层沥青混合料芯样,采用切割法很难分清不同的混合料结构层状况,因此,本次修订参考 ASTM 和 AASHTO 的方法,先将芯样在 0°C 以下冷却 20~25min,然后用凿子敲打试件,直到试件分开。如果试件不完整或有破碎情况,该试件作废。当采用以上方法无法将试件分开,特别是层与层之间的界线难以分清时,宜采用切割方法进行分离,并注意切割后的试件不能含有其他层次的混合料。

3.3 试件宜在阴凉处存放(温度不宜高于 35°C),且放置在水平的地方,注意不要使试件产生变形等。