

# 马歇尔试件均匀性及其影响因素的试验研究

曹林涛 刘松 张译文 代杰 潘欣

湖北高科交通工程咨询有限公司 (武汉 430051)

**摘要** 我国现行的沥青混合料配合比设计方法采用马歇尔设计方法,以马歇尔试件的空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度等作为控制指标。在成型马歇尔试件时沥青混合料的均匀性会对这些体积指标有很大影响,因此马歇尔试件的均匀性是沥青混合料配合比设计的基础。着重分析了质量损失、温度离析和材料离析对马歇尔试件均匀性的影响,提出了保证马歇尔试件均匀性的措施。

**关键词** 马歇尔试件 均匀性 质量损失 离析

我国现行沥青混合料设计方法主要是马歇尔法,重点是考察马歇尔试件的毛体积密度、空隙率(VV)、沥青饱和度(VFA)、稳定度(MS)和流值(FL)等参数。通常起控制作用的是VV和VFA。研究表明<sup>[1]</sup>,VV与沥青混合料的各项性能指标密切相关,因此,同组马歇尔试件VV参数的均匀性对配合比设计至关重要。由于马歇尔试件依靠击实法采用击实功控制,在马歇尔试件成型时只是检验试件高度(h)是否符合 $(63.5 \pm 1.3) \text{ mm}$ <sup>[2]</sup>,而非检验VV指标是否合乎要求,无疑增加了马歇尔方法配合比设计的不确定性。目前,已经认识到马歇尔试件均匀性的重要性,但有关这方面研究较少。为此,本研究对击实法成型马歇尔试件的均匀性进行了试验研究,探讨了影响马歇尔试件均匀性的因素,并提出相应的预防措施。

## 1 质量损失的影响及预防措施

### 1.1 质量损失的影响因素分析

由毛体积密度和VV计算公式可知,试件质量的均匀性是决定试件VV均匀性的影响因素之一,而质量损失与质量均匀性密切相关。通常情况下,试验人员会考虑一次拌和五、六个马歇尔试件的沥青混合料,然后再分别称取一个马歇尔试件相应的份额,接着进行装模,并伴随着插捣以利于密实,最后才是击实,此过程中均伴随着质量损失,而损失的质量多为沥青裹覆的细集料,

而这一部分材料主要是填充粗集料形成的空隙,它们的损失无疑影响了试件的体积结构。

表1是SUP-12.5级配两组马歇尔试件的击实结果,其中A组相对于B组损失10g沥青裹覆的细集料,拌和温度175℃,击实温度160℃,双面击实各75次,每组试件成型四个,油石比取4.9%。理论密度由计算法确定,毛体积密度由表干法实测,主要考察试件空隙率的变化。

表1 细集料质量损失对马歇尔试件参数的影响

序号	损失/g	空气中质量/g	h/mm	毛体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	VV, %	VFA, %
A	-10	1 271.6	62.1	2.598	3.1	79.4
B	0	1 282.2	62.2	2.605	2.8	80.9

从表1中看出,质量损失10g后的平均击实高度为62.1mm,质量没有损失时的平均击实高度为62.2mm,这表明击实过程中细集料一定程度的损失对试件击实高度的影响并不显著。质量损失10g后,击实试件的毛体积密度相应降低,VV相应增大0.4%,VFA相应减小1.5%。究其原因,可能在于试件的击实高度由沥青混合料的

收稿日期:2005-08-02。

作者简介:曹林涛,男,硕士。2004年毕业于同济大学道路与机场工程系,现在湖北随州市孝襄高速公路指挥部中心试验室工作。

阻力决定,当击实次数和击实温度一定时,则主要受粗集料的骨架程度决定,细集料的轻微损失无法改变粗集料的骨架程度,仅仅可以改变粗集料间的空隙特征,也就是说,细集料本应该均匀填充在试件的内部,损失以后,试件的闭口空隙可能增加,从而VV增大。因此,在称取单个马歇尔试件的质量时,务必取样均匀。

### 1.2 预防质量损失的措施

分料、装模和击实过程中,沥青混合料从一种容器转移到另一种容器,细集料会存在一定的质量损失,减少不必要的损失或保证损失的等同性,对试件的均匀性至关重要。用于分料的钵容器统一化,可以使钵容器边壁上的质量损失基本相同;转移过程中,把容器边壁和捣棒或铲刀上粘的残余材料清除干净一并转移,可以减少不必要的质量损失;装模前,试模加热到一定温度或者涂刷油类,甚至初步压实试模里的沥青混合料,可以减少击实过程中的质量损失;同批次转移和装模由同一人操作,可以减少不同人员操作的系统损失。

### 2 温度离析的影响和措施

沥青混合料的击实质量与温度密切相关。对于相同质量的沥青混合料,温度越高,达到规定高度需要的击实功越小;温度越低,达到规定高度需要的击实功越大;当同一组马歇尔试件沥青混合料的击实温度不一致,即材料的温度离析,在同等击实功下,会导致温度较高者击实后的高度和空隙率较小。如果在初始试打试件时,没有注意保持前后沥青混合料温度的一致性,试打试件的高度会反复波动,难以确定单个马歇尔试件的所需质量。如果发生在同组油石比内部,那么同组试件体积等指标的平行性难以保证。如果温度离析发生在不同油石比之间,即不同批次沥青混合料发生了离析,还可能连带影响毛体积密度和VV随油石比变化曲线的趋势,从而影响最佳油石比的确定。

#### 2.1 温度离析对体积性能的影响

表2中给出了SUP-12.5级配四组马歇尔试件的击实结果。拌和温度175℃,四组均采用相同质量的沥青混合料,每组成型4个,理论密度由计算法确定,毛体积密度由表干法实测,主要考察温度偏差对试件体积性能的影响。

表2 温度离析对试件体积参数的影响

击实温度/ C	h/ mm	毛体积密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	VV, %	VMA, %	VFA, %
170	62.3	2.581	3.7	15.4	76.1
160	62.8	2.563	4.4	16.0	72.5
150	63.4	2.550	4.8	16.4	70.5
145	64.2	2.544	5.1	16.6	69.5

从表2中数据看出:当温差在10℃时,h增加约0.5mm,VV和矿料间隙率(VMA)增加约0.5%,VFA降低约3%;当温差在15℃时,h增加约1.4mm,VV和VMA增加约0.7%,VFA大约降低约3%;当温差大于等于20℃时,h增加1mm以上,VV和VMA大约增加1%以上,VFA降低5%以上。这说明:①随着击实温度的降低,试件的击实高度趋于增大,VV和VMA趋于增大,VFA趋于减小;②温差对马歇尔击实试件的内在质量影响显著,应该避免击实过程中的温度离析。

#### 2.2 温度离析对抗水损害性能的影响

沥青混合料的压实温度发生偏差以后,由于实行路面标高控制,沥青混合料的松铺厚度一致,使得温度较高处相对较好压实,温度较低处相对难以压实,不同位置的VV发生较大的波动,致使局部压实混合料的饱水性和透水性增大,长时间在动水压力作用下,集料易于剥落,中面层强度也会弱化,从而发生诸如坑槽类的水损害。

表3中给出了SUP-12.5级配四组马歇尔试件的击实结果:拌和温度175℃。四组试件均采用相同质量的沥青混合料,理论密度由计算法确定,毛体积密度由表干法实测,主要考察温差对试件冻融劈裂强度和劈裂强度以及冻融劈裂试验强度比(TSR)的变化。

表3 温度离析对TSR的影响

击实温度/ C	VV, %	劈裂强度/MPa		TSR, %
		非冻	冻融	
170	3.7	1.03	0.96	93.7
160	4.4	0.98	0.91	91.9
150	4.8	0.88	0.81	91.1
145	5.1	0.84	0.75	89.3

由表 3 中数据可知:当温差小于等于 10℃ 时,温差对劈裂强度的影响小于等于 10%,对 *TSR* 的影响小于 2%;当温差大于等于 15℃ 时,对劈裂强度的影响大于等于 15%,对 *TSR* 的影响亦大于等于 2.5%;当温差大于等于 25℃ 时,对劈裂强度的影响大于 20%,对 *TSR* 的影响大于 4.5%。这说明:对于相同质量或松铺厚度、相同击实功或压实功的沥青混合料,随着击实或压实温度的降低,成型后的混合料趋于松散,抗拉能力减弱,抗水损害性能趋于减弱。随着成型温度的降低,成型混合料的 *VV* 增大,水分渗入结构内部的通道增多并且饱水量增大,从而在动水压力作用下,抗水损害性能减弱。

通过试验研究发现:温差在 10℃ 时,温差对成型混合料的质量有一定影响(偏差接近或位于平行试验允许偏差的边缘);温差在 15℃ 时,温差对成型混合料质量的影响开始显著;温差在 20℃ 以上时,温差对成型混合料的质量影响显著。为此把击实混合料的温差控制在 10℃ 意义明显;施工现场温差控制在 15℃ 以内比较理想。

### 2.3 预防温度离析的措施

由于各种原因,分料称料结束后沥青混合料的温度有较大的损失,可能达不到待击实温度。受 SUPERPAVE 操作手册<sup>[3]</sup>预老化措施的启发,考虑在成型前引入“预养护”措施,具体操作如下:首先在钵类容器中称量好一定质量的沥青混合料,接着在混合料中插入温度计(一般每个钵中插入一支温度计),再把盛装混合料的钵移入设定好温度的烘箱(烘箱温度一般略高于待击实温度 5~10℃),养护一段时间后,注意检查温度计的温度是否略高于待击实温度 5℃ 左右(装模过程中,也有一定的温度损失,主要受环境温度和装模时间影响);达到此要求,即刻装模击实。一般来说,装模结束后检查混合料的温度缺乏可操作性,为此,需要强调装模的温度、通风条件一致性,同时强调装模耗费时间的一致性。

有关试模与垫块温度也可能影响待击实沥青混合料的温度。我国现规范中规定“试模、套筒及击实座等置 100℃ 左右烘箱中加热 1 h 备用”;实际操作中一般把试模随意放在烘箱中预热,对预热温度并不关心,有些就放在加热集料的烘箱中与集料一并加热(集料加热温度一般高于拌和

温度 15℃),而对套筒和垫块并不预热。尽管如此,100℃ 的预热温度与沥青混合料待击实温度(一般 130~160℃)仍存在较大的偏差,可能导致试模边壁附近沥青混合料的温度离析。SUPERPAVE 操作手册除要求集料和沥青的加热外,其它拌和设施(试模等)也应该加热,加热温度与压实温度一致。显然,这有助于消除试模温度与待击实温度不一致所导致的试模边壁沥青混合料的温度离析,当然也有便于脱模的因素。由此可见,在马歇尔试件成型操作中,规定试模和垫块的预热温度与击实温度相当是可以借鉴的。

## 3 材料离析的影响和预防措施

### 3.1 材料离析对体积特性的影响

选取粗级配 AC-13C 型混合料进行试验,一次性称取大约 6 个马歇尔试件的矿料,按 4.8% 的油石比在拌和锅内拌和。拌和停止后,不人为辅助拌和,即刻分料称料,选取拌和锅的中上部为一组,拌和锅的底部和周边为一组,进行马歇尔击实,每个试件质量相同,每组 3 个试件。表 4 给出了材料离析对体积指标的影响,毛体积密度采用表干法测定,最大理论密度采用真空实测。

表 4 材料离析对马歇尔试件体积参数的影响

取样位置	<i>h</i> / mm	理论密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	<i>VV</i> , %	<i>VMA</i> , %	<i>VFA</i> , %
中上部	63.3	2.763	5.0	16.7	69.9
底部和周边	61.2	2.719	2.4	14.2	83.4

由表 4 可以看出:在粗集料相对富集的拌和锅中上部取样的击实试件,*VV* 和 *VMA* 偏大,*VFA* 偏小;在细集料相对富集的拌和锅底部和周边取样的击实试件,*VV* 和 *VMA* 偏小,*VFA* 偏大。这说明材料离析的结果之一是致使击实、压实沥青混合料的体积参数在较大范围内发生波动,丧失沥青混合料的体积均匀性。现实操作中,通常一锅沥青混合料成型 4~6 个试件,部分操作人员在拌和锅中直接分料,可能导致人为取样离析。事实上,集料在拌和叶片的快速搅动下,粗细集料由于动力特性的差异出现分离,粗细集料向拌和锅的中部和表面移动,细集料向拌和锅的底部和周边移动,如果不辅助拌和,对于粗级配混合料,很容易在分料时导致材料离析。有必要指

出的是,当把以上两组击实试件烘散并挑拣出破碎混合料后发现:较粗的中上部混合料在击实作用下破碎率较大,大约为较细混合料破碎率的8倍。这不得不引起重视,因为破碎面上,没有沥青裹覆,矿料间的粘结能力会因此下降,从而也会加速水损害的发生。

### 3.2 材料离析对沥青含量的影响

由工地现场取回 AC-25C 型混合料,加热后在平盘中堆成小堆,人为地让集料发生离析。把滚落至料堆周边的粗料分为一组,称为粗组,把料堆中部的较细料分为一组,称为细组。经过燃烧炉抽提筛分,考察粗、细两组混合料级配和油石比的变化,见表5。

表5 AC-25C 离析后通过百分率与油石比的变化 %

级配类型	筛孔尺寸/mm						油石比
	26.5	13.2	4.75	2.36	0.6	0.075	
设计级配	99	68.5	31.3	21.3	15.5	7.4	3.6
粗组级配	95.9	36.8	20.8	16.2	12	4.8	2.8
细组级配	98	68.1	36.1	27.8	22.1	13.1	4.0

由表5可以看出:当集料离析后,分为粗、细两组混合料,偏粗组级配细集料明显减少并且实际沥青含量有了较大的减少,偏细组级配细集料明显增多并且实际沥青含量有了较大的增加,这是材料离析的又一主要特征。出现这一特征的原因是:如果材料拌和均匀,沥青均匀覆着于矿料表面,拌和时设计油石比一定,没有发生偏差,那么粗、细集料分离后,由于细集料的比表面积相对较大,则偏细级配混合料的沥青含量必然高于偏粗级配混合料的沥青含量。

### 3.3 材料离析对沥青路面的危害机理

对于局部偏粗级配,细集料减少并且沥青含量减少,从而沥青胶砂的粘结力减弱,同时集料间空隙较大,必然弱化混合料的承载能力和抗剥落性,再加上四周围空隙较小,形成一个盆状渗透柱,如果碰上长时间降雨,此处路面处于饱水态,在强大的行车荷载动水压力作用下,中面层强度逐步疲劳弱化进而松散,表面层开始下陷,集料开始剥落,最终形成坑槽,这也正是严重水损害剥落至中面层的深层次原因。对于局部偏细级配,细集料增多并且沥青含量增大,沥青膜厚度

相对富有,从而沥青胶砂的高温粘结力减弱,同时混合料的内摩阻角减小,依库伦定律,必然弱化混合料的高温抗剪性能,如果在炎热的夏日,并且正好位于轮迹带上,在行车荷载的反复作用下,此处路面将面临车辙、拥包危险。因此,应该避免沥青混合料发生较为严重的材料离析。

### 3.4 减少材料离析的预防措施

规范规定“当一次拌和几个试件时,宜将其倒入经预热的金属盘中,用小铲适当拌和均匀分成几份,分别取用”;SUPERPAVE 操作手册用于老化的容器采用浅底平盘装料。由此可见,在某一容器中的辅助拌和是不可或缺的,浅底平盘分料具有独到的优势。它的高度在7cm左右,当把沥青混合料平铺于浅底平盘里时,好比现场摊铺;可以保证一定的作业面积(50cm×40cm),便于人为观察判断、辅助拌和与合理取样分料。具体操作如下:首先把拌和锅里的沥青混合料快速铲入平盘里,然后手工辅助拌和平铺,并主观判断是否均匀(高度和粒径),接着大致分成均匀的4~6块,最后每次从其中的一块称取单个马歇尔试件的所需质量。

## 4 结束语

a) 集料质量损失对试件击实高度影响较小,但对VV指标有一定影响;

b) 温度离析会导致试件体积指标发生较大波动,从而影响混合料的抗水损害性能,把击实时的温差控制在10℃;施工现场温差控制在15℃比较理想;

c) 材料离析的特征是试件体积指标和沥青含量在较大范围内发生波动,丧失均匀性,导致局部路面发生坑槽、车辙和拥包等病害;

d) 马歇尔试件成型过程中,应该采取措施,控制或减少质量损失、温度离析和材料离析对马歇尔试件均匀性的不利影响。

### 参考文献

- 1 孙立军. 沥青路面结构行为理论. 同济大学出版社, 2003, 79~100
- 2 JTJ 052--2000. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- 3 Asphalt Institute. SUPERPAVE Mix Design. (SP-2), 1996 Printing 56~57

## Laboratory Study on Homogeneity and Its Influence of Marshall Sample

Cao Lintao Liu Song Zhang Zewen Dai Jie Pan Xin

*Hubei High-Tech Traffic Engineering Consultation Co., Ltd. (Wuhan 430051)*

**Abstract:** The present asphalt mixtures design method is Marshall method, which is based on air voids, voids of mineral aggregate and voids of mineral aggregate that are filled with asphalt etc. The homogeneity of asphalt mixtures will do great influence to these volume indexes while Marshall samples are made. So the homogeneity of Marshall sample is the key of mixtures design. Influences of weight loss, temperature segregation and material segregation on homogeneity of Marshall sample were conducted. Preventive measures were given in this study accordingly.

**Keywords:** Marshall sample; Homogeneity; Weight loss; Temperature segregation; Material segregation

### · 短讯 ·

#### 沪苏浙高速公路江苏段开工建设

2005 年 7 月 28 日, 沪苏浙高速公路江苏段在苏州吴江黎里开工建设, 该项目全长 49.88 km, 概算总投资 38.8 亿元。沪苏浙高速公路江苏段是上海至武威国家干线公路的重要路段, 全线采用双向六车道高速公路标准建设, 路基宽 35 m, 设计速度 120 km/h, 建设工期为四年, 计划于 2009 年 7 月建成通车。

(沥青情报站供稿)

#### 交通部将对全国道路用产品质量 进行监督检查

为适应公路交通基础设施建设快速发展的需要, 促进道路用产品质量的提高, 从 8 月份开始至年底, 交通部将对全国道路用产品质量进行监督检查, 重点抽查道路用沥青、道路用标线涂料、高速公路波形梁钢护栏等产品的质量。本次抽查范围为全国部分重点高等级公路、实施“安保工程”的主要路段及部分企业使用、生产的产品。抽查内容及检验项目主要有: 公路施工现场未拆装(封)或沥青储存罐中沥青产品的密度、软化点等, 道路用标线涂料的涂膜颜色、外观、耐磨性、耐水性等, 高速公路波形梁钢护栏的外观质量、镀

层厚度等。抽查检测工作将分别由交通部公路工程检测中心、交通部交通工程监理检测中心、交通部交通工程检测中心分别承担。

(沥青情报站供稿)

#### 废旧轮胎生成胶粉、再生胶 技术研讨会召开

中国轮胎翻修利用协会与交通部公路科学研究所联合召开了废旧轮胎生成胶粉、再生胶技术研讨会。随着我国汽车工业的快速发展和轮胎使用量的猛增, 废旧轮胎的产量每年以两位数速度增长。到 2010 年, 废旧轮胎的产生将达到 2 亿多条, 其重量可达 5.20 Mt。因此如何充分利用废旧轮胎资源, 提高利用水平是当务之急, 胶粉作为改性沥青的原材料之一, 在高等级公路、城市道路的初步试验成功, 为胶粉开辟了重要的应用渠道。发达国家使用胶粉改性沥青铺设道路的成功经验证明, 胶粉改性沥青是一种新型的道路建筑材料, 克服了传统沥青路面夏季高温泛油、拥包, 冬季低温开裂的缺陷, 增加了防滑性, 提高了安全系数, 还可降低噪音、延长公路寿命、减少环境污染。发达国家的实践证明, 用胶粉改性沥青铺设道路取得了良好的社会环境与综合的经济效益。

(沥青情报站供稿)