

# 试验室压实方法对热拌沥青混合料 空隙率及力学性能的影响

冯新军, 康起 编译

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**马歇尔和 Superpave 沥青混合料设计法都是主要基于体积参数,但是这两种方法确定最佳沥青用量均很大程度上受试验室压实方法的影响,该文主要评价压实方法对沥青混合料空隙率和力学性能的影响。试验方法包括马歇尔和 Superpave 沥青混合料设计法(两种试件尺寸)、法国旋转剪切压实机(PCG)压实法以及 LCPC 法国碾压机碾压法。对压实方法、试件尺寸和旋转压实次数对空隙率和最佳沥青用量、力学性能、永久变形和疲劳性能的影响进行了评价。在中、重交通下,对于公称最大粒径 $\leq 12.5$  mm 的沥青混合料,推荐采用直径 100 mm 的 SGC 试件;如果旋转压实次数小于该文采用的 100 次,则建议采用直径 150 mm 的 SGC 试件。

**关键词:** 沥青混合料; 压实法; 空隙率; 车辙; 疲劳

## 1 前言

热拌沥青混合料和路面结构设计的目的就是在可用资源范围内提供更高的路面使用性能,并为用户提供安全性和舒适性。为了满足这些性能应减少沥青路面的主要病害类型:疲劳开裂和车辙。

热拌沥青混合料设计方法通常来自试验室试验过程,主要是确定沥青结合料与集料设计级配的比例,从而在现场应用时可获得令人满意的性能。

试验室压实制备的试件应和现场碾压成型的试件内部结构相似,在美国配合比设计方法中,试验室压实过程应模拟现场碾压整个过程,直到最后一遍碾压,最后的碾压指的是在施工碾压之后再经过两年的交通荷

载压实。因为不能真实模拟压路机碾压,传统的马歇尔方法已经被一些研究所质疑。

据研究,在其他条件相同的情况下,对于相同的沥青用量,不同的试验室压实方法也可以得到不同体积特征的试件。一些研究者认为,碾压法是最好的模拟道路压实的方法,用此法得到的试件力学性能和现场路面压实相似。

尽管试验室压实法存在差异,但是试件的体积设计是所有混合料设计过程中的重要环节,试件压实程度不同,却具有相似的体积特性,一旦试件内部的结构产生变化,就可能有不同的力学性能。

法国混合料设计方法中采用了力学试验,以便在混合料设计阶段模拟道路状况,根据多年室内外试验研究分为以下水平:水平1是对法国旋转剪切压实机

性能的影响[J]. 交通运输工程学报,2014(4).

[6] 曹恒涛,李鑫,成钢. 融雪剂对沥青混合料路用性能的影响研究[J]. 公路与汽运,2017(4).

[7] 李长雨. 氯盐融雪剂对沥青混合料路用性能影响研究[J]. 中外公路,2016(2).

[8] 孙健,钱振东,罗桑. 融冰化雪型沥青混合料路用性能的试验评价[J]. 公路,2013(12).

[9] 王明,陈华鑫. 融雪剂对沥青混合料性能的影响[J]. 交通科学与工程,2013(3).

[10] 查旭东,任旭,傅广文. 氯盐融雪剂对 SBS 改性沥青混合

料路用性能的影响分析[J]. 交通科学与工程,2012(1).

[11] 龙颖辉. 融雪剂对沥青路面水稳定性的影响[J]. 筑路机械与施工机械化,2017(3).

[12] 刘嵩,郑南翔,杨军,等. 融雪剂融冰能力及其对沥青混合料抗剥落性能的影响(英文)[J]. Journal of Southeast University(English Edition),2016,32(3):327-332.

[13] 张羽,陈晓冬,单丽岩. 氯盐类融雪剂对沥青混合料水稳定性的影响分析[J]. 公路,2016(6).

[14] 郭平,马朝鲜,周雄. 融雪剂对沥青混合料低温性能影响研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2015(10).

(PCG)压实的沥青混合料空隙率( $V_a$ )和水损害的评价;水平 2 包括上一水平的试验和碾压法制作的车辙板永久性变形评价,法国规范根据所评价的沥青混合料类型确定了永久变形极限;水平 3 包括之前的试验、复数模量试验和梯形试件的疲劳测试。

Superpave 混合料压实法的优点是测定各旋转压实次数的毛体积密度。然而,已经发现 Superpave 旋转压实仪(SGC)制作的试件力学性能不同于现场压实试件,有研究指出用这种方法设计的混合料会出现沥青用量降低并且沥青层会出现早期裂缝的情况。

SGC 试件的直径和高度影响了空隙率的分布,空隙率也随着试件的高度呈现纵向不均匀增加,但是,这种影响被认为不具有统计学显著特征。

另一个相关方面是旋转压实次数与 SGC 混合料的密实度关系。Barral 等确定旋转压实 100 次相当于 AC-16 密级配沥青混合料在 160 °C 下用马歇尔击实法击实 75 次;Watson 等发现 SGC 旋转压实 66 次达到的压实水平,与集料最大公称粒径不同的密级配沥青混合料在现场实测的水平相似。在 Superpave 和 Marshall 设计方法的比较中,Nascimento 认为,每一个沥青用量的确定应取决于压实功。在该研究中,为达到 12.5 mm NMS 沥青混合料最佳沥青用量相同,SGC 需旋转压实 50~62 次,相当于马歇尔法击实 75 次。不过,Zamorano 等不建议用马歇尔击实法得到的压实水平来确定 SGC 的旋转压实次数,因为旋转压实次数取决于沥青类型和混合料。在该研究中,对 AC-16 密级配沥青混合料和一种断级配沥青混合料(BBTM11B)进行了研究。

最后,无论是马歇尔还是 Superpave 法都没有考虑在配合比试验中再现现场压实效果。尽管在材料性能和路面设计方面的技术水平很高,但这些沥青混合料设计方法仍然将空隙率作为评价沥青混合料和确定沥青用量的主要标准。

目前中国具有代表性的沥青混合料设计方法有马歇尔法(Marshall)和美国公路战略研究计划(SHRP) Superpave 设计法。其中,马歇尔设计法是中国应用最广泛的一种设计方法。马歇尔设计法物理指标明确,试验简单方便,易于室内和施工现场操作。但是随着交通量、轮胎压力和轴载的迅速增长,新材料、新工艺和新结构的不断涌现,这种方法逐渐显现出它的局限性,主要体现在:击实方法没有模拟实际路面的压实,击实次数与实际路面材料的碾压功及交通量大小不匹配,导致室内混合料密度偏低,且必须满足

VMA、VFA、VV 的要求,又使得沥青用量偏高,易出现泛油、车辙等病害;马歇尔稳定度和流值与路用性能之间相关性较差,不能保证设计出的沥青混合料具有较好的路用性能等。Superpave 设计法是一套全新的设计方法,该方法在试件成型、油石比确定等方面与现场实际结合紧密,但由于设备比较昂贵等原因,目前只在科研机构使用,在中国尚未大面积推广应用。

该文的主要目的是评价试验室压实方法对空隙率以及密级配热拌沥青混合料(HMA)力学性能的影响,并考虑 SGC 压实参数和结合料类型的影响。

## 2 材料和试验方法

研究采用的集料为花岗岩碎石,对于 Superpave (SPV 12.5 mm),集料级配满足集料最大公称粒径 12.5 mm,并且符合 Bailey 法的标准,以确保碎石的嵌挤,有利于抵抗永久变形。使用的沥青结合料是:① SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯)改性沥青结合料;② 通过针入度分级 50/70(50/70 PEN)的普通结合料。试验过程分为 3 个步骤,如图 1 所示。

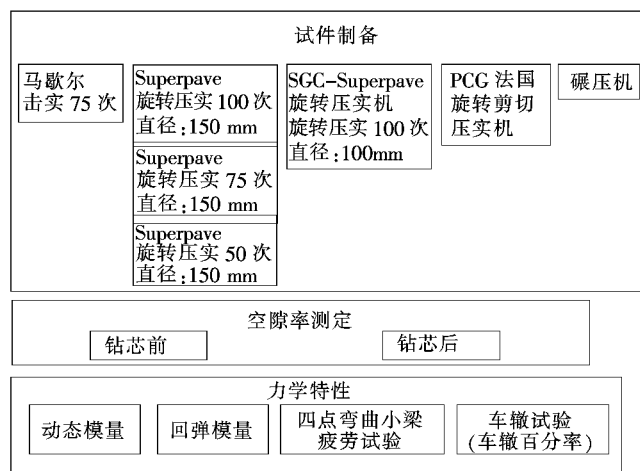


图 1 试验方法流程图

第一步包括马歇尔和 Superpave 沥青混合料设计法,另外还研究了不同的压实方法、Superpave 试件尺寸和 SGC 旋转压实次数对试件空隙率的影响,交通量为  $3 \times 10^6$  ESALs,这就需要双面击实 75 次成型马歇尔试件以及旋转压实 100 次成型 Superpave 试件。选择最佳沥青用量应满足 4% 的空隙率标准,还应满足沥青研究机构对 VMA(矿料间隙率)和 VFA(有效沥青饱和度)要求的范围。

Superpave 沥青混合料设计法的影响因素:① 试件直径(100 和 150 mm);② 旋转压实次数(50、75 和

100次);③对钻芯和切割(将 Superpave 试件缩小到马歇尔试件尺寸大小)的过程进行了空隙率的评价以及沥青最佳用量的评价。除了马歇尔和 Superpave 压实比较外,还对法国旋转剪切压实机(PCG)和法国碾压机的试件进行了比较。每个压实试件大小的示意图如图2所示,并对钻芯切割试件进行评价。

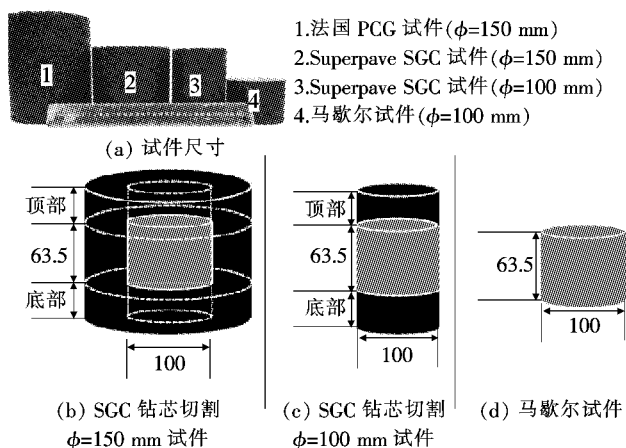


图2 试件尺寸、取芯和切割过程(单位:mm)

法国混合料体积设计法与马歇尔和 Superpave 方法完全不同,没有规定具体的空隙率以确定最佳沥青用量,相反,它建议在规定的空隙率范围内,混合料应该呈现一定的旋转压实次数。对于该研究中选择的集料级配,旋转压实80次后的范围为4%~9%,因为这种级配符合 BBSG 0/14 (Béton Bitumineux Semi-Grenu)的集料尺寸要求。

第二步,对马歇尔试件和从 SGC 试件钻芯切割后的试件以及车辙板进行了回弹模量试验。根据 AASHTO T342-11,旋转压实一组新的直径150 mm的SGC试件进行动态模量试验。

第三步,对不同沥青用量的试件进行永久变形和疲劳试验,但要保持压实功和集料公称最大粒径一致。根据 AFNOR NF EN 12697-33 规范,采用法国碾压机制作的试件要经过30 000次循环加载试验。

四点弯曲疲劳试验所用的小梁试件是从法国碾压机制备的车辙板上获得,根据 ASTM D-7460 规范,在应变控制模式下进行试验,条件温度和疲劳试验性能都是20℃,施加荷载的频率为10 Hz,所使用的应变水平为300、500、700  $\mu\epsilon$ 。根据 ASTM D-7460 规范,用于表征试件破坏的标准是初始刚度降低了40%。

### 3 试验结果和讨论

试验结果分为5个部分:①压实方法对试件空隙

率的影响;② Superpave 试件钻芯切割后得到的空隙率结果;③ SGC 旋转压实次数对空隙率的影响;④ 压实方法对混合料刚度的影响;⑤ 永久变形和疲劳寿命分析。

#### 3.1 压实方法和试件尺寸对试件空隙率的影响

采用不同压实方法和不同的沥青混合料设计方法可能导致不同的配合比设计体积参数和最佳沥青用量(OAC)。表1为根据不同压实方法和试件尺寸得到的试验结果。

表1 结合料试验结果

结合料类型	压实方法及试件尺寸	空隙率/%	VMA/%	VFA/%	OAC/%
SBS	马歇尔	4.0	16.9	75	5.8
	Superpave 100 mm	4.0	16.6	75	5.8
	Superpave 150 mm	4.0	15.6	74	5.2
PEN 50/70	马歇尔	4.2	17.0	74	5.5
	Superpave 100 mm	4.3	16.9	75	5.5
	Superpave 150 mm	4.0	15.8	74	5.1

从表1可以看出:马歇尔和直径100 mm Superpave 法产生的空隙率和最佳沥青用量是相同的,但是,较大试件尺寸(150 mm)的OAC更低,说明试件尺寸对OAC有影响。表2是为了获得与马歇尔击实法相同的最佳沥青用量,SGC需要的旋转压实次数。

表2 为了获得与马歇尔设计方法相同的最佳沥青含量,SGC等效旋转次数(NGeq)

沥青结合料	试件直径/mm	$V_a$ (马歇尔)/%	NGeq/次
SBS	100	4.0	83
	150	4.0	50
PEN 50/70	100	4.2	83
	150	4.2	66

从表2可得到:在标准设计条件下,要达到和马歇尔最佳沥青用量相同,Superpave 沥青混合料(试件直径150 mm)的旋转压实次数的范围为50~66次,尽管直径100 mm Superpave 设计方法的体积参数与马歇尔试验试件相当,但因为不管采用什么结合料,等效旋转压实次数都为83,所以旋转100次偏高。

“集料骨架点”(LP)定义为集料结构开始嵌挤的点,并且继续增加旋转压实次数导致集料破坏的可能性更高。该研究中,LP被定义为在一组相同高度下3次连续旋转中的第一次旋转,在此之前,还有一组相同高度的两次旋转。表3、4分别为SBS沥青混合料和

普通沥青混合料  $LP$  值等效的旋转压实次数,所得结果是 3 次重复试验的平均值。

从表 3、4 中可以看出:无论结合料类型如何, $LP$  值都高于它们各自的等效旋转次数(表 2 的  $NG_{eq}$ )。因此,在等效旋转次数和混合料的  $LP$  值之间,集料结构间的嵌挤还有待提高。

表 3 与 SGC 直径 100、150 mm SBS 沥青混合料  $LP$  值等价的旋转压实次数

试件直径/mm	旋转次数/次	结合料含量/%									设计含量预估	估算设计用量
		4			5			6			$LP$ 值	$G_{mm}/\%$
		$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$	$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$	$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$		
100	100	85	2.0	90.8	86	4.4	92.7	88	0.0	96.1	88	95.4
150	100	85	1.5	91.6	86	2.5	95.0	73	8.1	97.8	83	95.6

注: $C_v=3$  次重复的变异系数; $LP$ =集料骨架点; $G_{mm}$ =最大理论比重。

表 4 与 SGC 直径 100、150 mm PEN 50/70 沥青混合料  $LP$  值等价的旋转压实次数

试件直径/mm	旋转次数/次	结合料含量/%									设计含量预估	估算设计用量
		4			5			6			$LP$ 值	$G_{mm}/\%$
		$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$	$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$	$LP$ 值	$C_v$	$G_{mm}$		
100	100	95*	0.9	92.1*	95	1.2	93.9	94	1.9	96.8	95	95.4
150	100	89	3.8	92.3	91	2.4	95.6	88	3.6	97.7	91	95.8

注: $C_v=3$  次重复的变异系数; $LP$ =集料骨架点; $G_{mm}$ =最大理论比重。\* 表示结合料 PEN 50/70 的含量为 4.5% 的值。

与直径 100 mm 试件相比,直径 150 mm 试件的最低  $LP$  导致该试件集料颗粒破碎的可能性更大,这是因为较大直径试件对颗粒运动的限制较小。

图 3 为通过碾压成型的车辙板的空隙率平均值以及马歇尔和 Superpave 旋转压实仪(SGC:100 和 150 mm 直径)及法国压实法(PCG:直径 150 mm)制备的试件空隙率平均值。

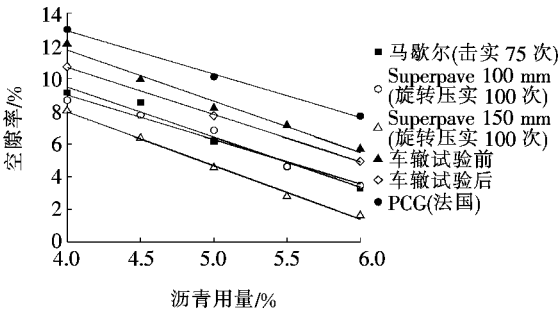


图 3 不同压实方法下试件的平均空隙率(SBS 改性沥青)

从图 3 中可以看出:试件尺寸对 Superpave 法的空隙率产生了相当大的影响。直径 150 mm 试件平均值低于马歇尔和 Superpave 100 mm 试件的平均值。对于两种评价过的沥青结合料都观察到了相同的力学特性。

按马歇尔法最佳沥青用量(5.8%),在车辙板中压实产生了 6% 的空隙率,相当于 98% 的压实度。对于 SGC 直径 150 mm 的沥青混合料,相应的沥青设计用量(5.2%)将产生 8% 的空隙率,相当于 96% 的压实度。

虽然 SGC 和 PCG 压实基于相同的原理(旋转压实),但两种方法的旋转角度和试件高度是不同的,所以 PCG 和法国碾压法试件的空隙率较大。对于相同的沥青用量,SGC 比 PCG 的空隙率会更低(相同的试件直径)。

SGC 和 PCG 在压实结束时的压实度差异可以用美国和法国体系之间的差异来解释。SGC 的目的是表示经过施工碾压和 2~3 年的交通荷载压实的压实度水平,PCG 则是法国沥青混合料设计方法的第一步,它尽力呈现出沥青路面施工后不久的压实度。

3.2 SGC 钻芯后空隙率评价

为了获得沥青混合料的力学性能和参数,许多国家机构仍然使用常规的试验,并要求试件大小要和马歇尔击实试验的试件大小相似。SGC 法直径 150 mm 的试件在钻芯后直径变为约 100 mm,然后接着切割顶部和底部,使所得高度约为 63.5 mm。根据 ASTM D 6925-09 的建议,SGC 法直径 100 mm 的试件已被压实至 115 mm,只需要切割顶部和底部。

图 4 为尺寸减小前后试件的平均空隙率值与 SBS 改性沥青用量的函数关系图。直径 150 mm SGC 试件的钻芯和切割过程明显减少了空隙率,而对于 SGC 100 mm 的试件并没有显著影响,因此,将直径 150 mm Superpave 试件空隙率的减少归因于取样过程,并显示了试件侧面的空隙率浓度,也称为边缘效应。用 X 射线计算机断层摄影术也验证了这一趋势。

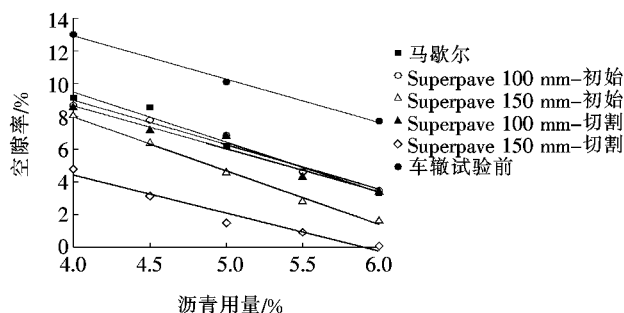
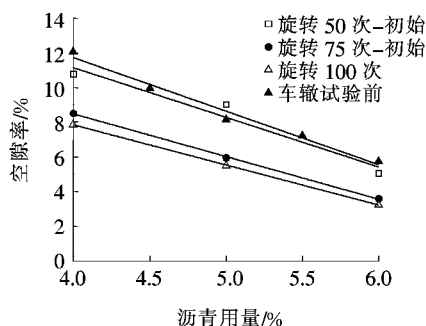


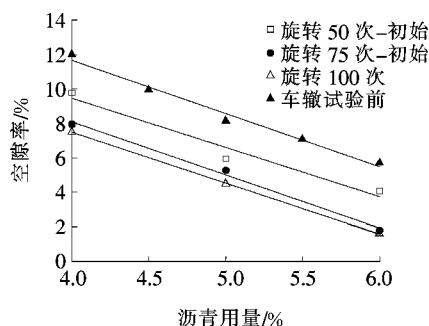
图4 试件钻芯切割前后平均空隙率变化(SBS改性沥青)

### 3.3 SGC 旋转压实次数对空隙率的影响

根据对试件进行的一定旋转压实次数的体积评价,制作了 Superpave 热拌沥青混合料,所以旋转压实次数对试验室试件空隙率非常重要。图5为直径100、150 mm的试件,在旋转压实50、75和100次情况下试件平均空隙率随沥青用量的变化。在这个阶段,每个沥青用量制作4~5个试件,在这些图中,还显示了在车辙试验前车辙板的空隙率值。

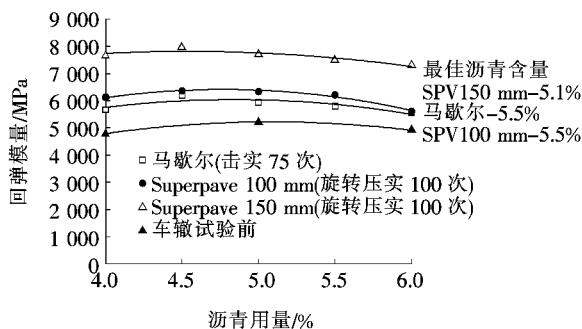


(a) 100 mm SGC SBS 改性结合料

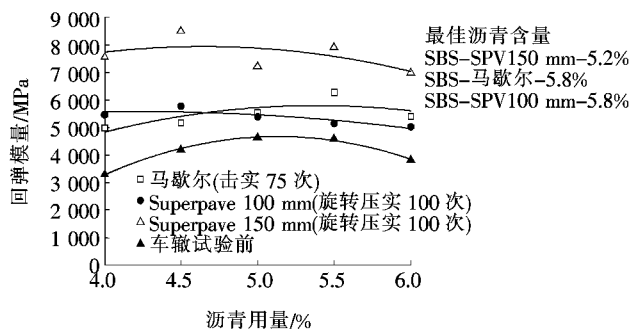


(b) 150 mm SGC SBS 改性结合料

图5 旋转50、75和100次的空隙率平均值变化



(a) 50/70 普通沥青结合料



(b) SBS 改性沥青结合料

图6 不同压实方法下回弹模量的变化

另外,还对直径150 mm Superpave 试件进行了动态模量试验以获得不同温度和频率下的混合料刚度。图6为普通沥青混合料(PEN50/70)和SBS改性沥青混合料的回弹模量( $M_r$ )平均值。图6中,回弹模量数值表示为不同类型压实沥青用量的函数:马歇尔,

一般来说,对两种直径但沥青用量相同的试件,旋转压实次数的增加会造成空隙率减少,旋转压实次数从50次增加到75次会造成空隙率平均值减少大约2.2%(1.7倍)(例如,沥青用量为4%时,空隙率从旋转50次时的9.9%减少到旋转75次时的8.0%),而在75到100次时,减少量约为0.3%(1.1倍)。因为“集料骨架点”主要发生在旋转80次之后,这种趋势说明沥青混合料的压实度范围非常接近。对于直径150 mm的试件,车辙板的空隙率与 Superpave 设计旋转压实次数下的空隙率差异也是显著的。

### 3.4 压实法对试件刚度的影响

马歇尔、Superpave(直径100和150 mm)和法国碾压法制备的试件通过回弹模量试验对力学性能进行评价。法国旋转式压实仪制备的试件表现出较高的空隙率,并且它们不用于力学性能试验,法国旋转式压实仪通常用于评价沥青混合料在设计过程中的压实能力。

Superpave(直径100和150 mm)和LPC法国压实机。

从图6中可以看出:不同压实方法的回弹模量曲线形状相似。由于空隙率较高,所钻取的样芯模量值明显低于其他压实方法的模量值,且直径150 mm的 Superpave 试件空隙率较小,所以有着更高的刚度,故

钻芯对试验结果有影响。

大多数情况下, PEN 50/70 沥青混合料、直径 150 mm Superpave 试件的回弹模量平均值比直径 100 mm Superpave 试件高 20%~30%。事实证明, 改性沥青混合料对试件直径比较敏感, 直径较大的试件回弹模量值比较小的试件高 30%~50%。

马歇尔和 Superpave 100 mm 的试件具有相似的回弹模量值, PEN 50/70 沥青混合料, 在 25 °C 下测试时, 回弹模量的平均值高于改性沥青混合料, 这是因为改性沥青混合料有较高的弹性恢复率, 所以弹性模量值偏低。图 7 为 SBS 改性沥青混合料和普通 (PEN 50/70) 沥青混合料回弹模量试验的位移—时间曲线比较, 这些结果有一个范围以便确定回弹模量值。普通沥青混合料回弹变形较低, 所以弹性模量更高。

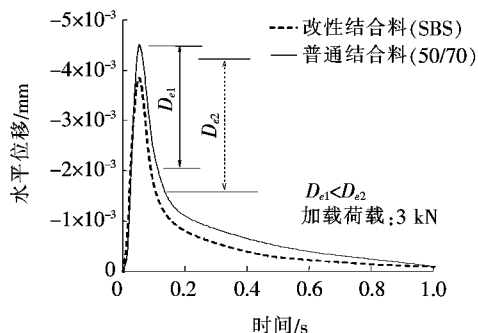


图 7 回弹模量试验产生的位移—时间曲线

图 8 为不同沥青用量的动态模量主曲线。由于试件压实中使用的旋转压实次数相同 (旋转 100 次), 所以空隙率随着沥青用量变化。从图 8 可以看出: 与普通沥青结合料相比, 改性沥青结合料对温度和频率的敏感性更低, 在频率较低的情况下, 改性沥青结合料刚度较高, 就永久变形而言, 在更高的温度 (或者更低的加载频率) 下表现出更好的可能性。

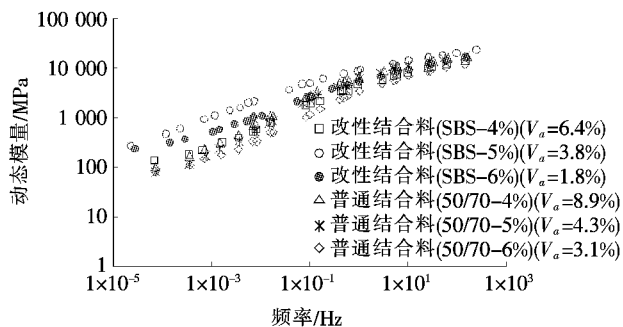


图 8 普通混合料和改性混合料的动态模量主曲线

### 3.5 对永久变形和疲劳的评价

采用不同压实方法和不同混合料设计方法得到不同的最佳沥青用量, 因此, 较低的沥青用量导致沥青混

合料对永久变形更有抵抗力, 但也更易受潮湿损害和疲劳开裂问题; 在沥青用量较高的情况下, 就疲劳寿命而言, 沥青混合料使用寿命更长, 但也更容易出现车辙和沥青泛油。

考虑到沥青混合料设计是为了得到更耐久的路面结构层, 故图 9 是 3 种沥青结合料 (PEN 50/70) 和相同级配 SBS 改性沥青混合料的比较, 其永久变形取决于循环次数。

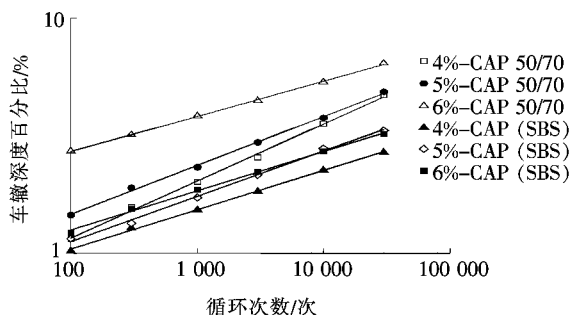


图 9 普通沥青混合料和改性沥青混合料与车辙深度的关系

由图 9 可以看出, SBS 改性沥青混合料的永久变形和沥青用量的关系不大, 在 30 000 次循环后, 最高和最低永久变形之间的变化可以忽略不计 (0.6%), 最大车辙百分比为 3.3%, 低于法国 LPC 2007 沥青混合料设计指南规定的 5% 的车辙限值。这种力学特性归因于改性沥青的质量, 也归因于其密度和密级配结构, 所以其级配良好且高度嵌挤。

对于含量为 4% 和 5% 的普通沥青结合料, 永久变形增加, 但在 30 000 次循环结束时, 车辙深度低于法国规范的最大极限 5%。然而, 6% 的沥青混合料的车辙深度值为 6.4%, 这个结果仍然在法国规范的重交通范围之内, 可以看出嵌挤和集料类型对抵抗永久变形的重大贡献。

采用应变控制四点弯曲法对棱柱梁进行了疲劳试验, 从法国 LPC 压实机制备的车辙板上取得梁样 (380 mm × 50 mm × 63 mm)。图 10 为不同沥青用量的疲劳模型, 每个点为 3 个试件的平均值。根据 ASTM D-7460 规范, 试件破坏的循环次数 ( $N_f$ ) 为达到初始刚度的 40%。

在沥青用量范围内增加沥青用量, 使混合料的疲劳寿命增加了 4 倍, 然而, 当沥青用量从 5% 增加到 6%, 由于空隙率减少较少, 所以疲劳寿命增加较慢。因此, 当沥青用量增加超过 6% 时, 对于疲劳寿命增加也许没有贡献。

对于抗永久变形和抗疲劳性能进行综合分析, 图 11 为车辙深度结果和  $100 \times 10^{-6} (N_{100})$  的拉伸应变的

循环次数,根据欧洲标准 EN 12697-24,这是典型的柔性沥青路面。车辙深度结果为比率 1/% 车辙深度,表示抗永久变形能力;法国方法标准中 5%、7% 和 10% 分别对应于 0.20、0.14 和 0.10 的比率。垂直虚线表示不同设计方法的最佳沥青用量。

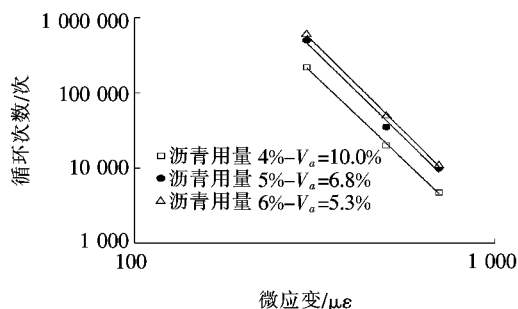


图 10 根据不同普通沥青 (PEN 50/70) 用量的循环次数,通过四点弯曲梁试验得到疲劳寿命

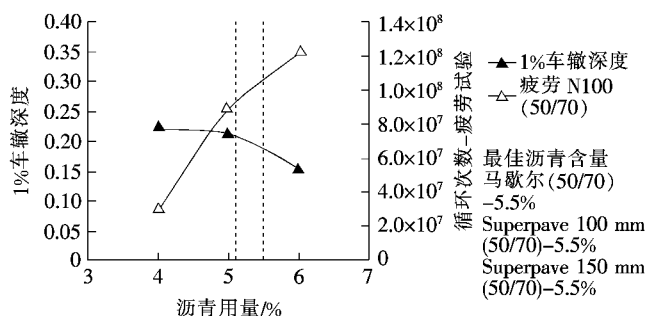


图 11 普通结合料用量的永久变形和疲劳寿命

对于该研究的参数(材料、集料尺寸和旋转压实次数/击实次数),Superpave 混合料设计方法 150 mm 试件可以获得更好的抗永久变形性能,但会影响疲劳寿命,使用其他方法(马歇尔和 100 mm Superpave)会有更好的疲劳寿命,在法国方法中,重交通状况下抵抗永久变形的能力令人满意。

在 Superpave 压实法中,调整直径 150 mm 试件的旋转压实次数可以提高疲劳寿命,而不会造成永久变形的显著增加。因此,在沥青路面上,进一步研究找到提供让两种病害机理平衡的旋转压实次数非常重要。

## 4 结论

热拌沥青混合料的设计是为了在集料设计级配中找到合适的沥青用量,使路面的疲劳裂纹和车辙现象有良好的改善。对于不同的热拌沥青混合料设计方法

和不同的压实方法,就有不同的最佳沥青用量,所以研究结果是根据压实方法对空隙率和密级配沥青混合料力学性能的影响得到的,具体如下:

(1) 直径 150 mm SGC 试件最佳沥青用量要比马歇尔试件和直径 100 mm SGC 试件低,可能是沥青混合料空隙率较大从而导致直径 150 mm SGC 试件集料的流动性较高造成的。

(2) 相同沥青用量下,直径 150 mm SGC 试件的压实度要比法国 LCPC 压实试件好,但也造成现场压实和实现设计空隙率的难度更大。

(3) 因为试件旋转角度和高度的差异,所以 SGC 比 PCG 有着更高的效率和压实度。

(4) 回弹模量值反映了芯样与 SGC 试件压实度的差异,马歇尔试件和直径 100 mm SGC 试件压实度的相似也造成了回弹模量的相似,但与直径 150 mm 芯样相差甚远。沥青混合料在现场的力学性能也是内部结构的作用。

(5) SBS 改性沥青混合料车辙深度百分比较低,但用普通沥青结合料代替可能会增加永久变形,然而,如果选择合适的集料形状、表面特征以及级配,则采用普通沥青混合料是可行的。

(6) 与直径 150 mm SGC 试件相比,直径 100 mm SGC 试件和马歇尔最佳沥青结合料更可靠,具有更好的疲劳性能,而且不会影响永久变形。

(7) 解决直径 150 mm SGC 试件空隙率低的办法是采用更少的设计旋转压实次数或采用较小尺寸的试件进行压实。因为更好地表现了现场碾压过程,所以使用直径 100 mm Superpave 旋转压实仪代替马歇尔击实可行。

## 参考文献:

- [1] Rodrigo Pires Leandro, Kamilla L. Vasconcelos, Liedi Légi Bariani Bernucci. Evaluation of the Laboratory Compaction Method on the Air Voids and the Mechanical Behavior of Hot Mix Asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2017, 156: 424-434.
- [2] 陈骁,朱春阳. 不同沥青混合料设计方法对比评价分析[J]. 中外公路, 2007(4).
- [3] 王昌衡,龚平. Superpave 与马歇尔法沥青混合料设计方法对比研究[J]. 中外公路, 2005(2).
- [4] 李晓明. Superpave 与 Marshall 沥青混合料设计方法的探讨[J]. 北方交通, 2012(11).