

SBS 改性沥青混合料 Sup13 在热-氧条件下 老化性能研究

刘志前¹, 黄世禄², 孟凡涛¹

(1.山东交通职业学院, 山东 潍坊 261206; 2.广西公路工程集团有限公司)

摘要: 该文基于 Superpave 设计方法,通过室内模拟 SBS 改性沥青混合料在热-氧联合作用下的长-短期老化行为,并对试验结果进行分析与研究,从而评价其老化后的性能。试验结果表明:SBS 改性沥青经老化后,沥青的黏性增加、低温抗裂性变差;沥青加热后,沥青车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 逐渐下降,抗变形能力减弱;随加热时间的延长,沥青的脆性和硬度增加;SBS 改性沥青混合料的空隙率和 VMA 增大,VFA 逐渐下降,导致动稳定度略有增加,低温抗拉强度明显降低,水稳定性变差。

关键词: 老化; SBS 改性沥青混合料; Superpave 设计方法

SBS 改性沥青混合料以其优良的路用性能被广泛应用,但随着中国基础设施建设步伐的加快,沥青路面已由建设期进入养护维修期,热拌沥青混合料无论是从生产、施工以及到后期的养护,都是在热-氧联合作用条件下的一个慢老化过程,因此开展 SBS 改性沥青混合料老化性能的研究对沥青路面设计和施工具有重要意义。

目前,美国 SHRP 评价沥青混合料老化性能的方法主要有短期老化(烘箱老化法、延时拌和法、微波加热法)和长期老化[压力老化试验(PAV)]。短期老化是薄膜加热试验和旋转薄膜加热试验模拟短期的老化行为,主要是拌和、运输及摊铺过程中的老化,对比试验前后沥青的质量损失,残留物的针入度、黏度、延度及脆点等指标的变化,以评定沥青的耐老化性能。长期老化是将经 RTFOT 老化后的沥青样品置于温度为 90~100℃ 压力老化箱中 20 h,以模拟路面表层沥青老化 5 年的情况,长期老化主要分为两种:① 自然老化法,即铺装好的沥青路面承受自然环境及行车荷载

作用,一定年限后回收取样,做相关测试;② 加速模拟老化,即在试验室内对沥青实施强制老化,其老化条件一般说来比外界作用更加严酷,能在较短时间内获得大量数据。

该文基于 Superpave 设计方法,以试验为基础,依据江苏省道 S324 养护大中修工程路面上面层 SBS 改性沥青混合料 Sup-13 进行热-氧联合作用下的老化性能研究,为 SBS 改性沥青混合料的设计、施工及后期路面的养护处理提供依据。

1 老化试验方案

在实际施工过程中,热拌沥青混合料从拌和、运输到后期的摊铺,都是在经历一个短期的热老化过程,而在试验室内可以使用不同的试验方法模拟沥青不同时期的老化行为。不同的老化方式决定沥青混合料的老化程度,该文主要研究 SBS 改性沥青和 SBS 改性沥青混合料分别在短期和长期老化下的性能,并与江苏省

- *****
- [6] 王秋维,王志伟,陶毅,等.配合比及养护制度对活性粉末混凝土强度影响的试验研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2017(3).
- [7] 陈广智,孟世强,阎培渝.养护条件和配合比对活性粉末混凝土变形率的影响[J].工业建筑,2003(9).

- [8] Rong ZD, Sun W, Zhang Y S. Influence of Steel Fiber Volume Fraction and Strain Rate on Spalling Behavior of Ultra-High Performance Cementitious Composites[J]. J PLA Univ Sci Technol(Nat Sci Ed), 2009(6).

收稿日期:2019-01-10

作者简介:刘志前,男,硕士,E-mail:49761972@qq.com

道 S324 养护大中修工程所用 SBS 改性沥青混合料 Sup-13 的试验结果进行比较,为后续 SBS 改性沥青混合料的设计和现场施工质量控制提供参考。根据江苏省高速公路交通量的现状,该文将旋转压实次数 $N_{设计}$ 定为 100 次,具体老化实施方案见表 1。

表 1 老化实施方案

类别	具体实施方案
SBS 改性沥青(未老化)	未作老化处理
SBS 改性沥青混合料(未老化)	未作老化处理
SBS 改性沥青(短期老化)	经过旋转薄膜烘箱加热老化(RTFOT)
SBS 改性沥青混合料(短期老化)	经过烘箱短时间加热老化
SBS 改性沥青(长期老化)	经过压力老化容器老化(PAV)
SBS 改性沥青混合料(长期老化)	经过烘箱长时间加热老化(烘箱加热 20 h)
SBS 改性沥青混合料 Sup13	经过拌和、运输、摊铺后

2 不同老化试验方案对 SBS 改性沥青及混合料性能的影响分析

2.1 不同老化试验方案对 SBS 改性沥青性能的影响分析

采用成品 SBS 改性沥青,在室内进行沥青热-氧联合作用下的长-短期老化模拟试验研究,短期老化采用沥青旋转薄膜烘箱老化试验方法,时间分别为 0、180、300、420 min,温度为 163 ℃;长期老化采用压力老化试验(PAV)法,时间为 1 200 min,温度为 100 ℃。经过不同条件老化后,测定以下指标:老化后的针入度、延度、软化点、135 ℃的黏度,四组分变化,试验结果如表 2、3 所示。江苏省道 S324 养护大中修工程所用 SBS 改性沥青老化过程中四组分的变化见表 4。在高温下(64、70、76、82 ℃)、不同时间老化后 SBS 改性沥青抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 的测试结果如表 5、6 所示。

从表 3、4 可以看出:不论是实际工程中使用的 Sup13 改性沥青还是模拟试验所用的沥青,在相同的温度下,随着老化时间的增长,沥青各组分会不断递变,低分子化合物将逐步转变成高分子物质,即饱和

表 2 老化前后沥青三大指标及黏度试验结果

时间/ min	针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	5 ℃ 延度/cm	135 ℃黏度/ (MPa·s)
0	67.5	64.5	51.4	1 652.4
180	36.9	72.0	10.8	2 705.6
300	28.6	76.5	8.3	3 578.7
420	26.7	80.5	6.8	3 989.1
1 200	25.1	83.0	3.1	4 356.6

表 3 SBS 改性沥青老化过程中组分的变化

温度/ ℃	组分	不同老化时间(h)的组分变化/%			
		0	72	120	168
64	沥青质	5.3	5.5	5.5	5.6
	胶质	39.1	43.6	42.7	40.3
	饱和分	23.4	22.9	23.1	21.6
	芳香分	27.8	23.1	22.5	22.8
	质量损失	0	+0.02	+0.06	+0.07
82	沥青质	5.2	5.5	5.4	5.5
	胶质	43.7	42.9	39.4	41.2
	饱和分	24.3	22.0	21.7	22.3
	芳香分	26.1	22.9	23.7	23.2
	质量损失	0	+0.03	+0.05	+0.06

表 4 Sup13 改性沥青老化过程中组分的变化 %

项目	沥青质	胶质	饱和分	芳香分	质量损失
未老化	5.3	39.1	23.4	27.8	0
RTFOT-5 h	12.8	44.6	22.8	25.1	+0.02

表 5 不同温度下 SBS 改性沥青 $G^*/\sin\delta$ 试验结果

项目	不同温度(℃)下($G^*/\sin\delta$)/kPa			
	64	70	76	82
老化前	6.48	4.31	2.72	0.15
老化后	13.64	7.86	3.15	0.67

表 6 不同老化时间下 SBS 改性沥青 $G^*/\sin\delta$ 试验结果

老化时间/d	($G^*/\sin\delta$)/kPa	老化时间/d	($G^*/\sin\delta$)/kPa
0	0.97	5	6.73
3	2.16	7	8.97

分、芳香分和胶质逐渐减少,而沥青质逐渐增多,从而使沥青流动性和塑性逐渐减小,硬脆性逐渐增大,导致针入度和延度明显降低,而软化点显著升高(由于在试验时采取的老化时间和温度的不同,Sup13 改性沥青

中四组分的变化程度明显大于老化时间较长、温度较低的 SBS 改性沥青);沥青 135 ℃ 的黏度随着老化时间的延长,由 1 652.4 增加到 3 989.1 MPa · s,出现了较大的增长,这将会显著提升沥青混合料的高温稳定性,但会增加沥青混合料拌和难度,对于路面的摊铺和碾压等工艺带来了不利影响。

由表 5、6 可以得到:

(1) 在高温条件下,沥青车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 呈现下降趋势,显然温度对 $G^*/\sin\delta$ 影响较为明显,表明随温度的逐渐升高,沥青流动性降低,抗永久变形能力逐渐下降。

(2) 由于沥青老化后,沥青中的四组分发生了相应的转化,使得沥青质含量增加,随着时间的增长,沥青车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 呈增加趋势,外观表现为沥青的脆化和硬化现象,这样就增加了沥青抵抗剪切变形的能力,提高了沥青混合料的抗车辙能力。

2.2 不同老化试验方案对 SBS 改性沥青混合料性能的影响分析

中国国内沥青混合料配合比设计的主要方法是马歇尔试验法,在国外采用的是 Superpave 法,为了更好地模拟路面实际施工过程,使集料级配更趋向于骨架

一密实结构,对沥青混合料采用旋转压实法成型试件。

Sup13 沥青混合料的各种原材料的配合比例为:(5~15) mm 集料:(3~10) mm 集料:机制砂:石屑:矿粉=35:30:8:26:10。

采用 Sup13 沥青混合料作为研究对象,得到沥青混合料老化前后(短期和长期)的物理-力学指标如表 7 所示。

从表 7 可以看出:不论是短期老化还是长期老化均对沥青混合料的物理-力学指标有着重大的影响。沥青混合料开始加热后,较多的轻物质转化成沥青质,沥青的脆性和硬度增加,首先是包裹在集料表面的自由沥青开始老化,其最终老化程度要大于结构沥青,致使沥青薄膜厚度减小,空隙率变大,随着沥青浸入集料的数量进一步增加,矿料占沥青混合料体积相对减少,出现了沥青混合料矿料间隙率增大、沥青饱和度减小的情况。从表 7 中数据增加或减小的幅度,可以看出长期老化的影响程度要明显大于短期老化。因此从路面施工角度讲,为了防止短期老化的加剧,要严格控制沥青混合料拌和、摊铺和碾压的时间;此外,在沥青混合料设计和试验过程中,要充分考虑老化时间的影响,因此 Superpave 法更接近实际。

表 7 Sup13 沥青混合料物理-力学指标

类别	沥青用量/%	计算理论最大相对密度	空隙率 VV/%	矿料间隙率 VMA/%	沥青饱和度 VFA/%	粉胶比
未老化	4.7	2.538	4.0	14.0	71.4	1.30
短期老化	4.7	2.538	4.2	15.3	69.3	1.30
长期老化	4.7	2.539	4.6	16.4	67.9	1.31

2.3 不同老化试验方案对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响分析

为更好地对比分析 SBS 改性沥青混合料在老化

前后各项指标的变化,现对沥青混合料的路用性能做进一步试验。

(1) 高温稳定性评价(表 8)

表 8 车辙试验测试结果

类别	沥青用量/%	动稳定度/(次 · mm ⁻¹)			
		1	2	3	平均值
未老化	4.7	7 245.7	8 028.4	8 656.1	7 976.7
短期老化(Sup13)	4.7	9 487.3	10 264.9	9 096.8	9 616.3
长期老化	4.7	8 754.1	8 015.6	7 914.8	8 228.2

从表 8 可以看出:沥青混合料经老化后,动稳定度出现了一定程度的增长,并且短期老化对其影响结果更大,主要是在一定的温度和剪切速率下,SBS 改性沥

青与矿料的黏结力增强,黏度增大,再者沥青老化后,沥青变脆硬,混合料间的整体强度提升,动稳定度随之增加。

(2) 低温稳定性评价(表 9)

从表 9 可以看出:沥青老化后,沥青中的油分等轻物质挥发,而酮和羧酸等比较活跃的组分主要发生氧化反应,导致胶结料黏度下降,对应的沥青混合料的强度相应降低,其变形也表现了相同的变化,所以在低温时更容易发生破坏。

(3) 水稳定性评价(表 10、11)

表 9 小梁弯曲试验测试结果

类别	沥青用量/%	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变/ $\mu\epsilon$	极限劲度模量/MPa
未老化	4.7	9.254	2 578	3 541.4
短期老化 (Sup13)	4.7	8.957	2 245	3 935.6
长期老化	4.7	8.726	2 178	4 083.7

表 10 冻融劈裂试验检测结果

类别	沥青用量/%	劈裂强度/MPa		冻融劈裂抗拉强度比/%
		冻融	未冻融	
未老化	4.7	0.712	0.804	90.7
短期老化 (Sup13)	4.7	0.746	0.837	89.1
长期老化	4.7	0.723	0.821	88.1

表 11 浸水马歇尔试验检测结果

类别	沥青用量/%	稳定度/kN		残留稳定度比/%
		非常规	常规	
未老化	4.7	14.78	16.49	91.9
短期老化 (Sup13)	4.7	13.52	15.21	79.7
长期老化	4.7	11.76	13.27	81.1

从表 10、11 可以看出:沥青混合料老化后水稳定性变差,考虑其主要因素是沥青的性质发生了变化,小分子量的饱和分和芳香分挥发引起质量损失,导致黏性下降;其次是由于氧化反应形成羧基官能团,这种官能团受水影响极其敏感,所以经过老化后沥青混合料

的水稳定性变差。

3 结 论

依据实际工程,基于 Superpave 设计方法,在热-氧联合作用条件下,通过对 SBS 改性沥青混合料老化后物理-力学特性、高温、低温和水稳定性等几个方面的研究,得出如下结论:

(1) SBS 改性沥青经过不同的老化方式后,沥青的黏性增加、低温抗裂性变差,这些情况对沥青混合料的拌和和碾压等工艺带来不利影响。

(2) 沥青加热后,沥青车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 逐渐下降,抗变形能力减弱;随着加热时间的延长,抗车辙因子逐渐增加,沥青表现出来的脆性和硬度增加。

(3) 经老化后,空隙率和 VMA 均有不同程度的增大,VFA 却逐渐下降,动稳定度略有增加,低温抗拉强度明显降低,水稳定性变差,因此在施工过程中,要充分考虑设计理念和实际现场相结合的因素。

(4) 传统的马歇尔设计方法未考虑温度、氧气和搅拌时间对老化程度的影响,Superpave 方法充分考虑实际施工时各种因素的影响,更具优越性和靶向性。

参考文献:

[1] 高诗龙,洪盛祥.基于 Superpave 设计方法的橡胶沥青混合料老化特征研究[J].中外公路,2016(6).
[2] 李瑞红,陈向阳,高苏,等.Superpave 配合比设计方法应用研究[J].低温建筑技术,2015(9).
[3] 尹麒.SBS 改性沥青热老化过程中四组分变化规律研究[J].化学工程与装备,2013(7).
[4] 李卫华.Superpave 沥青混合料设计方法研究[J].交通世界,2013(1).
[5] 冉龙飞.热、光、水耦合条件下 SBS 改性沥青老化机理研究及高性能再生剂开发[D].重庆交通大学博士学位论文,2016.
[6] 刘攀飞.LDHs/SBS 改性沥青混合料紫外老化性能及工程应用研究[D].武汉理工大学博士学位论文,2014.
[7] 张保立.沥青与沥青混合料光热老化路用性能研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2010.