

DOI:10.19951/j.cnki.1672-9331.20220330006

文章编号:1672-9331(2023)01-0048-10

引用格式:高林丽,李文凯,邵景干,等.不同热氧老化环境下SBS改性沥青及其混合料性能研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(1):48-57.

Citation: GAO Linli, LI Wenkai, SHAO Jinggan, et al. Study on SBS modified asphalt and its mixture performance under different thermal oxygen aging environment[J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2023, 20(1): 48-57.

不同热氧老化环境下 SBS 改性沥青及其混合料性能研究

高林丽¹, 李文凯^{2,3}, 邵景干^{2,3}, 孔凌宇^{2,3}

(1. 河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 河南交院工程技术集团有限公司, 河南 郑州 450046; 3. 绿色高性能材料应用技术交通运输行业研发中心, 河南 郑州 450046)

摘要:【目的】探寻沥青及沥青混合料逐渐老化对沥青路面路用性能的影响。【方法】对不同热氧老化环境下 SBS (I-D) 聚合物改性沥青的常规指标、流变性能及其制备的 AC-13C 沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及单轴压缩动态模量开展试验研究。【结果】随着热氧老化程度的不断加深, 沥青黏韧性及抗塑性变形的能力逐渐降低, 脆性逐渐增强; 随着热储存时间的增加, 沥青软化点、5℃延度和针入度先升高后降低, 135℃黏度逐渐升高; 随着热氧老化程度的不断加深, 沥青混合料高温抗车辙能力逐渐提高, 低温抗开裂及抗水损害能力逐渐降低; 沥青混合料动态模量随着温度的升高而降低, 随着热氧老化程度的加深及加载频率的增大而升高, 但温度为 35、50℃时其变化趋势有所改变。【结论】随着热氧老化程度的不断加深, 沥青混合料高温性能得到改善, 低温及水稳定性降低, 该研究成果在实际工程应用中具有一定的价值。

关键词: 热氧老化; 热储存时间; SBS 改性沥青; 马歇尔试验; 路用性能

中图分类号: U414.01

文献标志码: A

0 引言

沥青及沥青混合料在生产、运输、施工及后期运营阶段因受到温度、光照、雨水及车辆荷载等因素的综合作用而不断老化, 性能衰退。沥青性能的衰退是沥青路面性能衰减的根本原因。老化后的沥青黏韧性降低, 脆性增强, 与矿料间的黏附性降低。黏韧性降低导致沥青路面低温抗开裂性能下降; 黏附性降低使沥青胶浆极易从骨料之间剥落。随着科技的快速发展, 施工工艺的不断成熟, 高质量的沥青路面不仅要满足路用性能及运营年限的要求, 同时对混合料抗老化性能提出了新的要求。因此, 对不同热氧老化环境下 SBS 改性沥

青及其混合料性能开展研究具有一定的意义。

美国公路战略研究计划选用的温度及老化条件能较好地反映沥青路面老化的实际情况。沥青性能与温度密切相关, 选用动态分析法研究沥青老化过程能弥补经验的不足^[1]。老化反应动力学方程可以根据老化温度及时间预测沥青老化后性能的变化趋势^[2]。杨倡珍等^[3]通过短期老化和长期老化试验制备了不同老化程度的 AC-13 橡胶/SBS 复合改性沥青混合料试件并对其进行路用性能研究, 发现橡胶粉和 SBS 的最佳掺量分别为 15% 和 3%。王立军等^[4]研究了紫外老化后的沥青混合料低温性能及力学性能, 发现紫外老化后混合料低温性能降低, 弹性模量增大。徐世法等^[5]研究了紫外光及温度老化对冷拌冷铺乳化沥青混

收稿日期: 2022-03-30; 修回日期: 2022-05-12; 接受日期: 2022-05-22

基金项目: 河南省交通运输科技计划项目(2022-5-1); 河南交院工程技术集团有限公司研发项目(2022JK-01)

通信作者: 高林丽(1980—)(ORCID: 0000-0003-4512-5344), 女, 高级工程师, 主要从事道路规划设计方面的研究。

E-mail: 1412850842@qq.com

投稿网址: <http://cslgxbzk.csust.edu.cn/cslgdxxbzk/home>

合料性能的影响,发现紫外光老化对冷拌沥青混合料(cold mix asphalt,CMA)的低温抗裂性能影响最大,温度老化对 CMA 的水稳定性影响最大。殷丹丹等^[6]基于数字图像相关(digital image correlation,DIC)技术分析研究老化前后温拌胶粉改性沥青混合料的开裂特性,发现随着热老化程度的加深,温拌沥青混合料(warm mix asphalt,WMA)和热拌沥青混合料(hot mix asphalt,HMA)的抗损伤性能和抗开裂性能逐渐变差,且 WMA 的抗开裂性能和抗老化性能均比 HMA 的更优。潘晓峰等^[7]通过对全气候沥青混合料中老化沥青的微观性能非线性模型的研究,发现沥青玛蹄脂混合料 SMA-13 的抗老化性能较沥青混合料 SUP-13 和 AC-13 的更佳。

室内常规热氧老化试验不能完全模拟沥青路面运营阶段实际老化情况,难以建立不同热氧老化环境与 SBS 聚合物改性沥青性能变化的对应关系。因此,有必要开展不同热氧老化对 SBS 聚合物改性沥青及其沥青混合料性能影响的研究。已有研究主要对单一老化条件下沥青及其混合料性能进行研究,而组合老化条件下的研究较少。因此,本研究在不同热氧老化及不同热储存时间条件下对 SBS 聚合物改性沥青开展性能试验,研究其老化前后的性能变化规律,并对不同热氧老化程度的 SBS 聚合物改性沥青与矿料拌制的沥青混合料进行相关路用性能研究,评价其性能的变化规律。

合理选用沥青原材料对不同热氧老化环境下沥青及其混合料性能的研究至关重要。研究不同热氧老化条件下 SBS 聚合物改性沥青及其混合料性能,为指导及改善沥青路面路用性能及延长使用寿命有实际意义。

1 老化方式对沥青性能的影响

热氧老化是室内试验模拟沥青短期老化常用的方式之一,而长期老化是引起沥青路面病害形成的关键因素^[8]。影响沥青混合料热氧老化的因素有多种,而单一采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中的沥青薄膜加热试验(thin film oven test,TFOT)或沥青加速老化试验(pressurized aging vessel,PAV)难以模拟沥青在

运营阶段的实际老化过程^[9-10]。本研究在 TFOT 及 PAV 试验的基础上,通过调整 TFOT 及 PAV 老化次数,定量评价沥青在不同热氧老化环境下的性能变化规律。

1.1 沥青性能

沥青质量对沥青路面的性能起着决定性作用,本研究选用中石油燃料油有限公司生产的 SBS (I-D) 聚合物改性沥青,其主要技术指标见表 1。

表 1 SBS (I-D)聚合物改性沥青主要技术指标
Table 1 Main technical indexes of SBS (I-D) polymer-modified asphalt

检测项目		技术要求	试验结果
针入度(25℃)/(0.1 mm)		40~60	49
软化点/℃		≥60	64.5
延度(5 cm/min,5℃)/cm		≥20	24
闪点/℃		≥230	248
135℃黏度/(Pa·s)		≤3	1.78
25℃弹性恢复率/%		≥75	84
贮存稳定性离析,48 h 软化点差/℃		≤2.5	1.5
旋转薄膜加热试验后残留物	质量变化/%	±1.0	-0.31
	针入度比(25℃)/%	≥65	71
	残留延度(5℃)/cm	≥15	19

1.2 不同热氧老化试验方法

本研究选用 TFOT 模拟沥青短期热氧老化,试验步骤如下:将(50.0±0.5) g 沥青倒入高为 9.5~10.0 mm、直径为(140±1) mm 的盛样皿,然后放入(163.0±1.0)℃薄膜加热烘箱内,以(5.5±1.0) r/min 的速度旋转 5 h 进行短期老化,最后测定老化后沥青的相关指标。选用 PAV 模拟沥青长期热氧老化,试验步骤如下:将 TFOT 短期热氧老化后的沥青倒入盛样皿中,控制沥青试样厚度为 3.2 mm,然后放入压力老化装置中,在温度为 100℃、装置内压力为 2.1 MPa 的环境下老化 20 h,最后测定老化后沥青的相关指标。

本研究不同热氧老化组合的设计如下:1 次 TFOT、2 次 TFOT、1 次 TFOT+1 次 PAV 及 2 次 TFOT+2 次 PAV。

1.3 不同热氧老化后的沥青常规指标试验

软化点在一定程度上能够体现沥青的高温稳定性能;针入度体现沥青的稠度;延度体现沥青的黏韧性;黏度体现沥青在车辆轴载作用下抵抗剪

切变形的能力。不同热氧老化后的SBS (I-D) 聚合物改性沥青常规指标见表2。

由表2可知,经1次TFOT、2次TFOT、1次TFOT+1次PAV、2次TFOT+2次PAV老化后的沥青针入度和5℃延度依次降低,软化点和135℃黏度依次升高。

表2 不同热氧老化后的SBS (I-D) 聚合物改性沥青常规指标

Table 2 Conventional indexes of SBS (I-D) polymer-modified asphalt after different thermal oxygen aging

老化方式	针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	5℃ 延度/cm	135℃黏度/ (Pa·s)
未老化	49	69.5	31	2.643
1次TFOT	44	71.0	23	3.367
2次TFOT	40	72.5	18	4.282
1次TFOT+1次PAV	28	74.5	6	6.543
2次TFOT+2次PAV	23	76.0	4	7.997

1.4 不同热氧老化后的沥青流变性能试验

复数模量用沥青应力与应变的比值表征,反映沥青抵抗剪切的能力;相位角用沥青损失模量与储存模量的比值表征,反映沥青抵抗塑性变形的能力。不同热氧老化后的SBS (I-D) 聚合物改性沥青在不同温度下复数模量及相位角的试验结果分别如图1和图2所示。

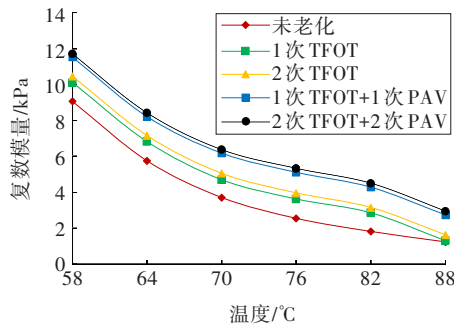


图1 不同热氧老化后的沥青在不同温度下的复数模量

Fig.1 Complex modulus of asphalt after different thermal oxygen aging at different temperatures

由图1~2可以看出,在相同试验温度条件下,经1次TFOT、2次TFOT、1次TFOT+1次PAV及2次TFOT+2次PAV老化后的沥青复数模量依次升高,相位角依次降低。

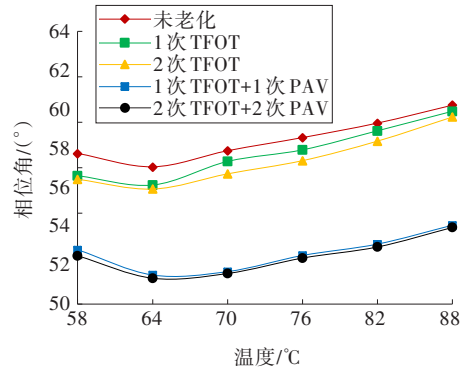
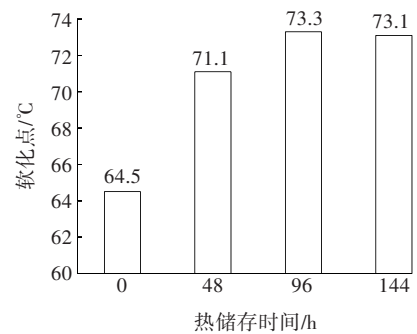


图2 不同热氧老化后的沥青在不同温度下的相位角

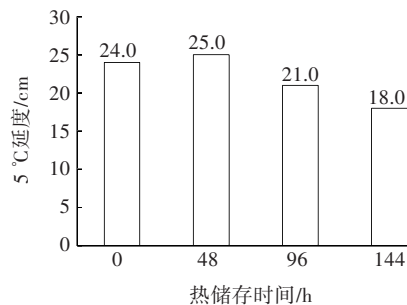
Fig.2 Phase angle of asphalt after different thermal oxygen aging at different temperatures

1.5 不同热储存时间后沥青常规指标试验

本研究根据《公路工程沥青及混合料试验规程》(JTG E20—2011)中的相关规定,首先把50.0 g 沥青过0.3 mm筛后注入4个25.0 mm(直径)×140.0 mm(高)的铝管中,将铝管开口端捏成薄片,折叠两次以上密封,然后将其放入(163.0±5.0)℃烘箱,分别静置0、48、96和144 h后将铝管内的沥青试样全部取出备用^[11],最后对不同静置时间的沥青试样进行软化点、5℃延度、针入度及135℃黏度试验,试验结果如图3所示。



(a) 软化点



(b) 5℃延度

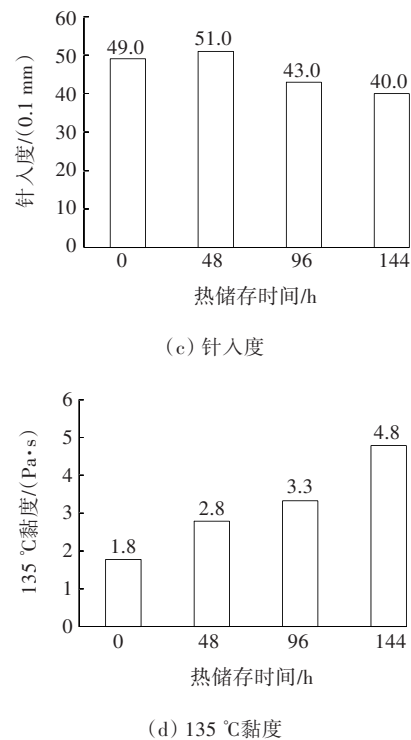


图3 不同热储存时间下SBS改性沥青常规指标
Fig.3 Conventional indexes of SBS modified asphalt with different storage time

由图3可以看出,随着热储存时间的增加,沥青的软化点、5℃延度、针入度均先升高后降低,而135℃黏度持续升高。软化点在热储存时间为96 h时达到最大,为73.3℃,在热储存时间为144 h时略有降低;5℃延度和针入度在热储存时间为48 h时均达到最大,分别为25.0 cm和5.1 mm,而5℃延度在热储存时间为144 h时达18.0 cm,已不能满足SBS(I-D)聚合物改性沥青5℃延度不低于20.0 cm的要求,这表明此时沥青已严重老化。

2 路用性能

沥青面层作为沥青路面最顶层的结构层,受到光照、雨水及车辆轴载等综合因素的长期作用,需具有良好的路用性能及耐久性能才能保证行车安全和较长的使用寿命。本试验采用经过1次TFOT、2次TFOT、1次TFOT+1次PAV和2次TFOT+2次PAV不同热氧老化后的沥青,制备不同沥青混合料试件并对其进行高温抗车辙、低温

抗开裂、抗水损害及单轴动态模量试验,评价不同热氧老化条件下沥青混合料路用性能的变化规律。

2.1 配合比设计

本研究选用AC-13C密级配沥青混合料,其粗骨料为10~15、5~10和3~5 mm的石灰岩碎石,细骨料为0~3 mm的石灰岩机制砂,填料为石灰岩磨细的矿粉,粗、细骨料及矿粉技术指标均满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中的相关规定。沥青选用SBS(I-D)聚合物改性沥青,AC-13C矿料级配设计见表3,最佳油石比及马歇尔试验结果见表4。

表3 AC-13C矿料级配设计

Table 3 AC-13C mineral aggregate grading design		%								
混合料	类型	通过下列筛孔(mm)的质量分数								
		13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13C	上限	100.0	85.0	68.0	50.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0
	下限	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0
	设计级配	94.5	75.8	54.9	38.2	27.4	17.3	12.6	9.9	7.2

表4 最佳油石比及马歇尔试验结果

Table 4 Optimum asphalt aggregate ratio and Marshall test results							
混合料	最佳油石比/%	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料间空隙率/%	沥青饱和度/%	马歇尔稳定度/kN	流值/mm
AC-13C	4.9	2.438	4.9	15.4	68.7	14.21	3.2

2.2 高温稳定性

高温稳定性是沥青路面最重要的性能之一。沥青路面是一种柔性结构层,在夏季高温天气,路表温度往往会超过60℃,局部炎热地区甚至会超过70℃,在车辆轴载作用下易出现永久性塑性变形。车辙、泛油、拥包及推移等病害是沥青路面高温稳定性差的主要表现形式,这些病害的出现严重影响车辆行车安全^[12-14]。本文选用室内60℃车辙试验对不同热氧老化条件下的沥青混合料开展高温抗车辙性能研究,车辙深度及动稳定度试验结果分别如图4和图5所示。

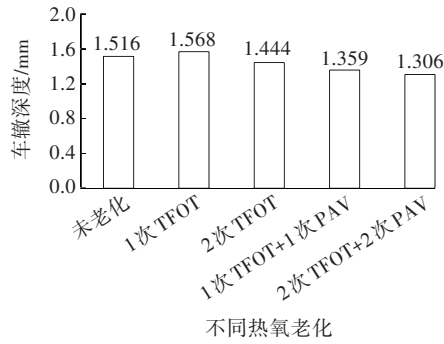


图4 不同热氧老化后沥青混合料车辙深度

Fig.4 Rutting depth of asphalt mixture after different thermal oxygen aging

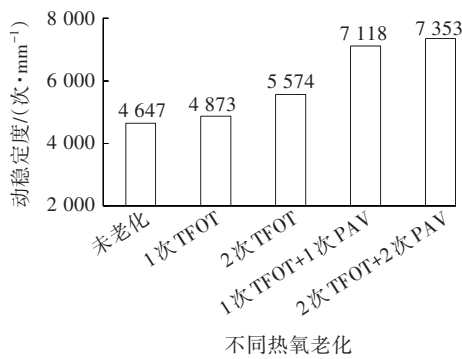


图5 不同热氧老化后沥青混合料动稳定度

Fig.5 Dynamic stability of asphalt mixture after different thermal oxygen aging

由图4~5可以看出,随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料的动稳定度逐渐增大,这与不同热氧老化后SBS(I-D)聚合物改性沥青软化点变化规律一致;车辙深度除经1次TFOT老化后略有增大外,其余均逐渐减小。经1次TFOT老化后的沥青混合料动稳定度较未老化的仅提高了4.9%,而经1次TFOT+1次PAV老化后的沥青混合料动稳定度较未老化的提高了53.2%。

2.3 低温抗裂性

沥青混合料对温度较为敏感,低温环境下,混合料变得硬而脆,当混合料内部的允许拉应力小于温缩应力时,沥青路面就会产生轻微裂缝,如不加以处治就会形成更为严重的块状裂缝甚至龟裂等严重病害^[15-17]。冬春季节交替时,沥青路面往往会出现很多裂缝,裂缝的出现是混合料低温抗开裂能力差的主要表现形式。本文选用-10℃小梁弯曲试验对不同热氧老化条件下的沥青混合料开展低温抗开裂性能研究,其弯曲破坏应变试验结果如图6所示。

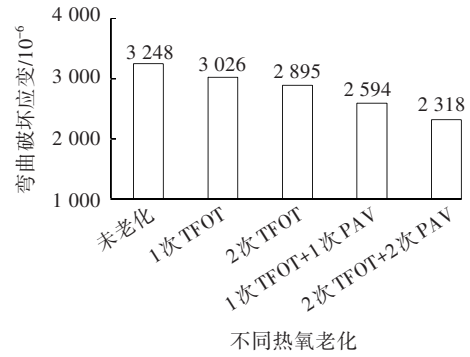


图6 不同热氧老化后沥青混合料弯曲破坏应变

Fig.6 Bending failure strain of asphalt mixture after different thermal oxygen aging

由图6可以看出,随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料的弯曲破坏应变逐渐降低,经1次TFOT、2次TFOT、1次TFOT+1次PAV、2次TFOT+2次PAV热氧老化后的沥青混合料弯曲破坏应变较未老化的依次降低6.83%、10.87%、20.14%和28.63%。经2次TFOT+2次PAV热氧老化后的沥青混合料弯曲破坏应变为 2.318×10^{-3} ,已不能满足冬冷区改性沥青混合料变曲破坏应变不小于 2.500×10^{-3} 的要求。

2.4 水稳定性

水损害是夏季多雨地区沥青路面最常见的病害。沥青路面在雨水、车辆轴载及冻融循环作用下,其结构层内部的孔隙水不断形成的动水压力,或真空导致的负压抽吸作用,使水分渗透到沥青与骨料之间,降低了沥青与骨料之间的黏附性能,沥青胶浆极易从骨料表面剥落^[18-20]。松散、坑槽等病害的出现是沥青路面水稳定性差的主要表现形式,本文选用浸水马歇尔试验及冻融劈裂试验对不同热氧老化条件下的沥青混合料开展抗水损害性能研究,浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂残留强度比试验结果分别如图7和图8所示。

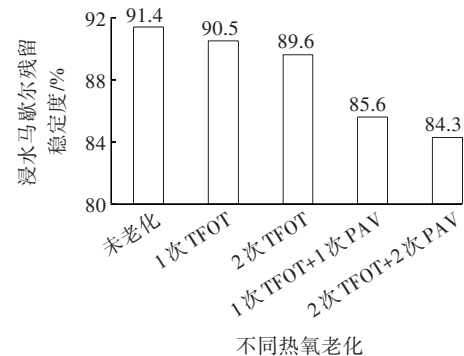


图7 不同热氧老化后沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度

Fig.7 Immersion Marshall residual stability of asphalt mixture after different thermal oxygen aging

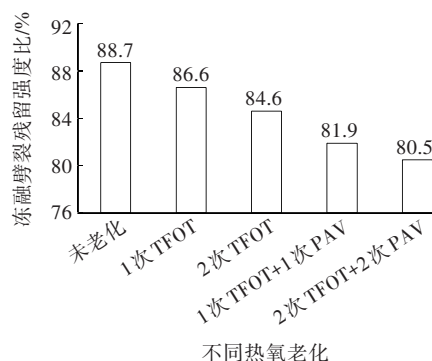


图8 不同热氧老化后沥青混合料冻融劈裂残留强度比

Fig.8 Freeze-thaw splitting residual strength ratio of asphalt mixture after different thermal oxygen aging

由图7~8可以看出,随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂残留强度比均逐渐降低,且降低幅度逐渐增大,经1次TFOT+1次PAV热氧老化后的沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂残留强度比较未老化的分别降低了6.35%和7.67%。

2.5 单轴压缩动态模量

为改善沥青路面路用性能,不仅需要对沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及水稳定性开展研究,对其在动荷载作用下的力学性能开展研究也尤为重要^[21-23]。单轴压缩动态模量试验适宜在混合料为线黏弹性时进行,试验温度范围为-10~50℃,每间隔15℃为一个温度梯度,同一温度梯度内加载频率分别为0.1、0.5、1.0、5.0、10.0和25.0 Hz。本研究选用SYD-0730A多功能全自动沥青压力试验机开展试验,试件为直径(100.0±2.0) mm、高(150.0±2.5) mm的圆柱体。不同试验温度、不同热氧老化环境下沥青混合料单轴压缩动态模量试验结果如图9~13所示。

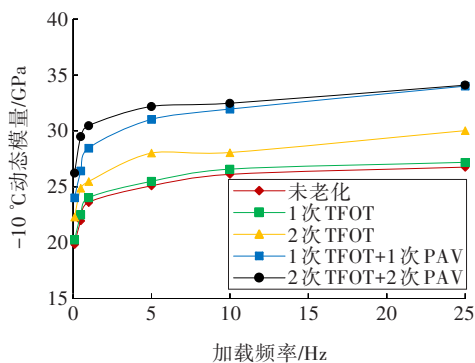


图9 -10℃单轴压缩动态模量

Fig.9 Dynamic modulus of uniaxial compression at -10 °C

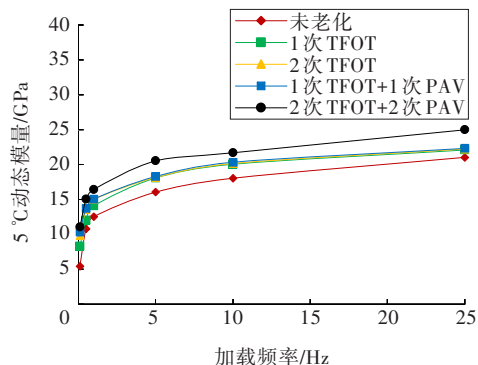


图10 5℃单轴压缩动态模量

Fig.10 Dynamic modulus of uniaxial compression at 5 °C

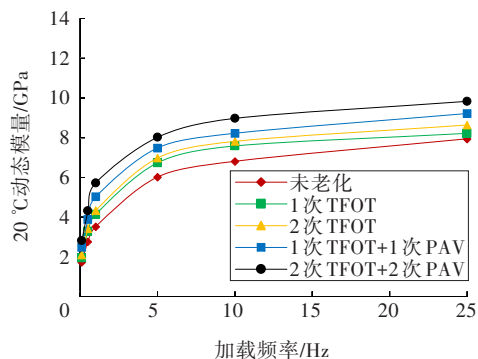


图11 20℃单轴压缩动态模量

Fig.11 Dynamic modulus of uniaxial compression at 20 °C

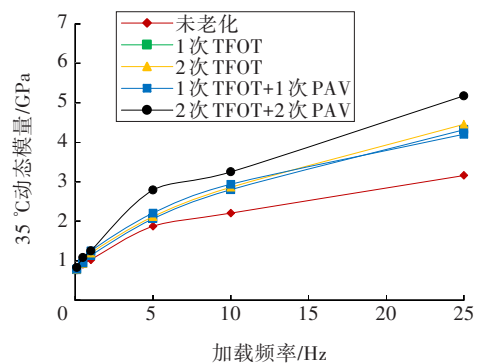


图12 35℃单轴压缩动态模量

Fig.12 Dynamic modulus of uniaxial compression at 35 °C

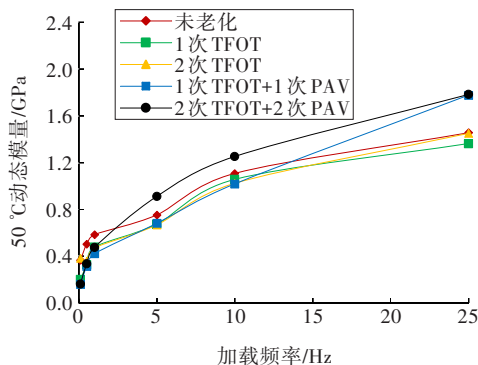


图13 50℃单轴压缩动态模量

Fig.13 Dynamic modulus of uniaxial compression at 50 °C

由图9~11可以看出,在热氧老化程度及加载频率相同时,随着试验温度的增加,沥青混合料动态模量逐渐降低;在热氧老化程度及试验温度相同时,随着加载频率的增加,沥青混合料动态模量整体呈升高趋势;在试验温度及加载频率相同时,随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料动态模量整体呈升高趋势,但在试验温度为35和50℃时,沥青混合料动态模量并不严格遵循此趋势。

3 讨论

为了研究沥青在生产、运输、施工及运营阶段因受到温度、光照、雨水及车辆轴载等外界环境的作用逐渐老化对沥青路面路用性能产生的影响,本文对不同热氧老化环境下的SBS(I-D)聚合物改性沥青及AC-13C SBS改性沥青混合料的性能进行了试验分析。

1) 经不同热氧老化后的SBS(I-D)聚合物改性沥青针入度和5℃延度降低,软化点和135℃黏度升高;在相同试验温度条件下,随着热氧老化程度的加深,沥青复数模量逐渐升高,相位角降低。这表明老化后的沥青黏韧性降低,脆性增强,高温性能得到改善,分子间内摩擦阻力增加,黏度增大,且随着老化时间的增加,黏度的增大效果越来越明显。试验结果表明:随着热氧老化程度的加深,沥青抗剪切能力逐渐增强,抗塑性变形能力逐渐降低。

2) 随着热储存时间的增加,沥青的软化点、5℃延度和针入度均呈先升高后降低的趋势,而135℃黏度则逐渐升高。其原因可能为:基质沥青是一种黏弹性材料,SBS改性剂的掺入对其产生吸附溶胀作用,破坏了原有结构的平衡;高温储存时,SBS(I-D)聚合物改性沥青芳香分、饱和分含量降低,沥青质、胶质含量增加,黏弹性体系进一步被破坏,老化程度加剧。

3) 随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料动稳定度逐渐增大,这表明短期热氧老化对混合料高温抗车辙能力影响较小,为更好地模拟实际中长期老化对沥青路面高温性能的影响,研究混合料的长期热氧老化尤为重要。

4) 随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料弯曲破坏应变逐渐降低,低温抗开裂能力逐渐下降,这与不同热氧老化后的SBS(I-D)聚合物改性沥青低温延度变化规律一致。

5) 随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂残留强度比均逐渐降低,且降低幅度逐渐增大,这主要是因为短期热氧老化后沥青充分裹覆骨料,沥青与骨料之间渗透进来的水分减少,水稳定性降低幅度不大;而长期热氧老化后,沥青与骨料之间的黏附性大幅降低,导致水分极易渗透到沥青与骨料之间,水稳定性降低幅度较大。

6) 在不同的热氧老化程度、加载频率和试验温度等条件下,沥青混合料的动态模量变化趋势存在较大差异,这是因为沥青混合料对试验温度较为敏感,较高的试验温度对混合料动态模量影响较大;另外PAV老化过程剧烈,导致SBS(I-D)聚合物改性沥青性能变化复杂。

4 结论

本研究通过对不同热氧老化后的SBS(I-D)聚合物改性沥青及AC-13C SBS改性沥青混合料开展试验并对其性能变化进行分析,得出以下结论:

1) 随着热氧老化程度的不断加深,沥青的针入度和5℃延度逐渐降低,软化点和135℃黏度逐渐升高,沥青抗剪切能力逐渐增强,但抗塑性变形的能力逐渐降低;随着热储存时间的增加,沥青的软化点、5℃延度和针入度均呈先升高后降低的趋势,135℃黏度逐渐升高。

2) 随着热氧老化程度的不断加深,沥青混合料高温抗车辙能力逐渐提高,而低温抗开裂及抗水损害能力逐渐降低。短期热氧老化对沥青混合料性能影响较小,为更好地模拟实际中长期老化对沥青路面性能的影响,研究混合料的长期热氧老化尤为重要;沥青混合料动态模量随着温度的升高而降低,随着热氧老化程度的加深及加载频率的增大而升高,但试验温度为35和50℃时,沥青混合料动态模量并不严格遵循此趋势。

〔参考文献〕

- [1] 薛理辉,黄鑫,徐雄,等.SBS改性沥青胶结料的老化与再生研究[J].武汉理工大学学报,2017,39(8):15-19,27. DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2017.08.003.
XUE Lihui, HUANG Xin, XU Xiong, et al. Investigation on aging and regeneration of SBS modified bitumen binder[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2017, 39(8): 15-19, 27. DOI: 10.3963/j.issn. 1671-4431. 2017.08.003.
- [2] 陈华鑫,周燕,王秉纲.SBS改性沥青老化后的动态力学性能[J].长安大学学报(自然科学版),2009,29(1):1-5. DOI:10.19721/j.cnki.1671-8879.2009.01.001.
CHEN Huaxin, ZHOU Yan, WANG Binggang. Dynamic mechanics performance of aged SBS modified-asphalt [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2009, 29(1): 1-5. DOI: 10.19721/j. cnki. 1671-8879.2009.01.001.
- [3] 杨倡珍,张允宝.老化CR/SBS复合改性沥青混合料弯曲疲劳特性试验研究[J].中外公路,2020,40(4):311-318. DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.04.066.
YANG Lyuzhen, ZHANG Yunbao. Bending fatigue properties of aged CR/SBS composite modified asphalt mixture[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2020, 40(4): 311-318. DOI: 10.14048/j. issn. 1671-2579.2020. 04.066.
- [4] 王立军,胡耀宗.紫外老化对沥青混合料低温性能及力学性能的影响研究[J].路基工程,2018(1):56-59. DOI:10.13379/j.issn.1003-8825.2018.01.13.
WANG Lijun, HU Yaozong. Study on influence of ultraviolet aging on low temperature and mechanical property of asphalt mixture[J]. Subgrade Engineering, 2018(1): 56-59. DOI: 10.13379/j. issn. 1003-8825.2018. 01.13.
- [5] 徐世法,卢兆洋,房聪,等.紫外光及温度老化对冷拌冷铺乳化沥青混合料的性能影响评价[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2022,38(1):111-119. DOI: 10.11717/j.issn:2095-1922.2022.01.14.
XU Shifa, LU Zhaoyang, FANG Cong, et al. Evaluation of the influence of temperature and UV aging on the properties of cold mix emulsified asphalt mixture[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2022, 38(1): 111-119. DOI: 10.11717/j. issn: 2095-1922.2022.01.14.
- [6] 殷丹丹,常春清,王岚,等.基于DIC技术分析老化前后温拌胶粉改性沥青混合料的开裂特性[J].材料导报,2021,35(24):24088-24094. DOI: 10.11896/cldb.20090308.
YIN Dandan, CHANG Chunqing, WANG Lan, et al. Based on DIC technology, the cracking resistance of asphalt mixture modified by warm mixing powder before and after aging[J]. Materials Reports, 2021, 35(24): 24088-24094. DOI:10.11896/cldb.20090308.
- [7] 潘晓峰,祝鸿,石鹏程,等.全气候沥青混合料中老化沥青的微观性能非线性模型[J].建筑材料学报,2019,22(5):780-785. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-9629.2019.05. 016.
PAN Xiaofeng, ZHU Hong, SHI Pengcheng, et al. Nonlinear models of micro-properties of recovered asphalt binders in weathered asphalt mixtures[J]. Journal of Building Materials, 2019, 22(5): 780-785. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9629.2019.05.016.
- [8] 于江,程龙,李林萍,等.KSHD温拌剂对新疆岩沥青改性沥青老化动力特性的影响[J].材料导报,2018,32(7):2418-2424. DOI:10.11896/j.issn.1005-023X.2018.14.017.
YU Jiang, CHENG Long, LI Linping, et al. Effect of KSHD warm additives on aging kinetics characteristics of Xinjiang rock-modified asphalt[J]. Materials Reports, 2018, 32(7): 2418-2424. DOI: 10.11896/j. issn. 1005-023X.2018.14.017.
- [9] 于江,赵群,叶奋,等.热老化作用下橡胶改性沥青的低温流变性能[J].西南交通大学学报,2021,56(1):108-115. DOI:10.3969/j.issn.0258-2724.20180987.
YU Jiang, ZHAO Qun, YE Fen, et al. Low temperature rheological performance analysis of rubber modified asphalt under heat aging process[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(1): 108-115. DOI:10.3969/j. issn.0258-2724.20180987.
- [10] 阳尧林,赵梦珍.测力延度在胶粉改性沥青低温性能评价中的应用[J].石油沥青,2019,33(1):45-49.
YANG Yaolin, ZHAO Mengzhen. Application of force ductility test in crumb rubber modified asphalt low-temperature performance evaluation[J]. Petroleum Asphalt, 2019, 33(1): 45-49.
- [11] 陈军,于新,孟令国.SBS改性沥青热存储性能衰减规律研究[J].中外公路,2017,37(1):204-208. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2017.01.045.
CHEN Jun, YU Xin, MENG Lingguo. Study on attenuation law of thermal storage performance of SBS modified asphalt[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2017, 37(1): 204-208. DOI: 10.14048/j. issn. 1671-2579.2017.01.045.
- [12] 李志刚.DXG-1抗车辙剂沥青混合料路用性能研究[J].河南科学,2020,38(8):1264-1269.
LI Zhigang. The road performance of asphalt mixture with DXG-1 anti-rutting agent[J]. Henan Science, 2020, 38(8): 1264-1269.
- [13] 陈振华.基于高温稳定性能的橡胶沥青混合料应用技术研究[D].西安:长安大学,2017.
CHEN Zhenhua. Study on applied technology of asphalt

- rubber mixture based on high temperature stability[D]. Xi'an:Chang'an University,2017.
- [14] 戚林玲,龚建君,王晓菲,等.基于抗车辙性能提升的复合高模量沥青混合料研究[J].工程技术研究,2019,4(2):9-11.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.02.005. QI Linling,GONG Jianjun,WANG Xiaofei,et al.Study on composite high modulus asphalt mixture based on rutting resistance improvement[J]. Engineering and Technological Research,2019,4(2):9-11.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.02.005.
- [15] 齐小飞,邹晓翎,阮鹿鸣,等.高RAP掺量下热再生混合料水稳定性影响因素研究[J].中外公路,2018,38(2):248-252.DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2018.02.053. QI Xiaofei,ZOU Xiaoling,RUAN Luming,et al.Study on the influence factors of the hot in-place recycled asphalt mixture water stability with high RAP content[J].Journal of China & Foreign Highway,2018,38(2):248-252.DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2018.02.053.
- [16] 陈安京.温拌高模量沥青混合料性能试验研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021,18(1):33-39.DOI: 10.19951/j.cnki.cslgdxzbkb.2021.01.005. CHEN Anjing. Experimental research on the performance of warm mix high-modulus asphalt mixture [J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2021, 18(1):33-39.DOI: 10.19951/j.cnki.cslgdxzbkb.2021.01.005.
- [17] 孔令绅,李雪萍,冯志强.超黏精薄层罩面沥青混合料性能研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021, 18(4):9-15.DOI: 10.19951/j.cnki.cslgdxzbkb.2021.04. 002. KONG Lingshen,LI Xueping,FENG Zhiqiang.Study on performance of super viscous fine thin-layer overlay asphalt mixture[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science),2021,18(4):9-15.DOI:10.19951/j.cnki.cslgdxzbkb.2021.04.002.
- [18] 代霞.不同工艺制备的SBS改性沥青混合料性能研究[J].公路与汽运,2020(6):53-56,60. DAI Xia.Study on performance of SBS modified asphalt mixture prepared by different processes[J].Highways & Automotive Applications,2020(6):53-56,60.
- [19] 姚文霞.废胶粉与废塑料复合改性沥青混合料性能研究[J].交通科学与工程,2021,37(2):8-13.DOI:10. 16544/j.cnki.cn43-1494/u.2021.02.002. YAO Wenxia. Performance study of waste tire rubber and waste plastic composite modified asphalt[J].Journal of Transport Science and Engineering,2021,37(2):8-13. DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2021.02.002.
- [20] 颜鑫,郑翔南.稳定型胶粉与SBS复合改性沥青及沥青混合料性能研究[J].公路工程,2021,46(2):195-200, 233.DOI:10.19782/j.cnki.1674-0610.2021.02.031. YAN Xin,ZHENG Xiangnan. Study on properties of stabilized rubber powder and SBS composite modified asphalt and asphalt mixture[J]. Highway Engineering, 2021, 46(2): 195-200, 233. DOI: 10.19782/j. cnki. 1674-0610.2021.02.031.
- [21] 周兴业,蒋勇,王旭东,等.基于温度与应变参数的沥青混合料动态模量依赖模型研究[J].公路交通科技, 2019, 36(3):7-13.DOI:10.3969/j.issn.1002-0268.2019. 03.002. ZHOU Xingye,JIANG Yong,WANG Xudong,et al.Study on dynamic modulus dependent model of asphalt mixture based on temperature and strain parameters[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36(3): 7-13. DOI: 10.3969/j. issn. 1002-0268.2019.03.002.
- [22] 宋小金,曾梦澜,樊亮.沥青路面反算模量与沥青混合料动态模量的关系[J].土木工程学报,2019,52(4): 121-128.DOI:10.15951/j.tmgxb.2019.04.011. SONG Xiaojin,ZENG Menglan,FAN Liang.Relationship between back-calculated modulus of asphalt pavement and dynamic modulus of asphalt mixture[J].China Civil Engineering Journal, 2019, 52(4): 121-128. DOI: 10. 15951/j.tmgxb.2019.04.011.
- [23] 周彦鋆.PR.P高模量沥青混合料的动态模量及疲劳性能研究[J].中外公路,2017,37(6):292-295.DOI:10. 14048/j.issn.1671-2579.2017.06.064. ZHOU Yanjun.Study on dynamic modulus and fatigue performance of PR.P high modulus asphalt mixture[J]. Journal of China & Foreign Highway,2017,37(6):292-295.DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2017.06.064.

Study on SBS modified asphalt and its mixture performance under different thermal oxygen aging environment

GAO Linli¹, LI Wenkai^{2,3}, SHAO Jinggan^{2,3}, KONG Lingyu^{2,3}

(1.Henan Communications Planning & Design Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China; 2.Henan Jiaoyuan Engineering Technology Group Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China; 3.Research and Development Center of Green High Performance Material Application Technology in Transportation Industry, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: [Purposes] This work aims to explore the influence of asphalt and asphalt mixture aging on the road performance of pavement exposed. [Methods] The conventional indexes and rheological properties of SBS (I-D) polymer modified asphalt exposed to different thermal and oxygen aging environments, and the high temperature stability, low-temperature crack resistance, water stability and uniaxial compression dynamic modulus of AC-13C asphalt mixture prepared with SBS (I-D) polymer modified asphalt were studied. [Findings] With the increasing degree of thermal oxygen aging, the viscosity toughness and plastic deformation resistance of asphalt gradually decrease, while the brittleness gradually increases. With the increase of hot storage time, the softening point, 5 °C ductility and penetration of asphalt first increased and then decreased, and the 135 °C rotational viscosity gradually increased. With the deepening of thermal oxygen aging, the high-temperature rutting resistance of asphalt mixture gradually increases, the low temperature cracking resistance and water damage resistance gradually decreases, the dynamic modulus decreases with the increase of temperature, increases with the deepening of thermal oxygen aging and the increase of loading frequency. However, the dynamic modulus changes at 35 °C and 50 °C. [Conclusions] With the deepening of thermal oxidation aging, the high-temperature performance of asphalt mixture improved, and the low temperature and water stability reduced. The research results have certain value in practical engineering applications.

Key words: thermal oxygen aging; hot storage time; SBS modified asphalt; Marshall test; road performance

Manuscript received: 2022-03-30; **revised:** 2022-05-12; **accepted:** 2022-05-22

Foundation item: Project (2022-5-1) supported by Henan Transportation Science and Technology Plan; Project (2022JK-01) supported by R & D of Henan Jiaoyuan Engineering Technology Group Co., Ltd.

Corresponding author: GAO Linli (1980—)(ORCID: 0000-0003-4512-5344), female, senior engineer, research interest: road planning and design. E-mail: 1412850842@qq.com

(责任编辑:刘平;校对:石月珍;英文编辑:田湘)