

基于室内模拟试验的SBS改性沥青混合料 抗老化性能评价

隋严春

济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101

摘要:为准确评价苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(styrene-butadiene-styrene, SBS)改性沥青混合料在长期服役过程中的老化问题,结合路面所处的气候环境条件,提出基于环境因素的室内模拟老化评价方法,对SBS改性沥青混合料进行室内加速老化试验,通过低温弯曲小梁试验、车辙试验及冻融劈裂试验评价老化后SBS改性沥青混合料的低温性能、抗永久变形能力及水稳定性。试验结果表明:在长期服役过程中,紫外-热氧耦合老化对SBS改性沥青混合料路用性能的影响比独立热氧老化更大,热氧老化对低温性能的影响大于紫外老化,紫外老化对高温、水稳定性的影响均比热氧老化大,因此采用紫外-热氧耦合老化模拟试验方法更能真实反映夏季户外路面状态,比热氧老化评价方法更合理。

关键词:SBS改性沥青混合料;紫外-热氧耦合老化;路用性能;抗老化性能评价

中图分类号:U414

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)03-0109-06

引用格式:隋严春. 基于室内模拟试验的SBS改性沥青混合料抗老化性能评价[J]. 山东交通学院学报, 2022, 30(3): 109-114.

SUI Yanchun. Aging resistance evaluation of SBS modified asphalt mixture based on the laboratory simulation test[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(3): 109-114.

0 引言

在光照、温度、氧气和降水等环境因素作用下,沥青路面产生不可逆的老化反应,沥青与集料间的黏结力下降,影响沥青混合料的物理力学性能^[1-2]。研究人员通过多种老化试验分析沥青混合料路用性能的演变规律。谭忆秋等^[3]发现紫外老化对沥青混合料的流变特性影响比热氧老化更显著。Wu等^[4]发现紫外辐照显著降低沥青混合料的自愈合性能,路用性能显著下降。Fan等^[5]发现沥青路面老化的不均匀性随路面服役时间延长和温度升高而增大。贾坚等^[6]研究发现水杨酸苯酯、2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮复合改性沥青较单改性沥青具有更好的抗光氧老化能力。唐新德等^[7]发现蒙脱土与苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(styrene-butadiene-styrene, SBS)复合改性沥青的抗老化性能较SBS单改性沥青更优。姜鹏等^[8]采用正交试验研究了沥青基碳纤维质量分数和拌和时间的变化对改性沥青3个性能指标的影响,发现当沥青基碳纤维质量分数为1%、拌和时间为60 min时,SBS改性沥青的抗老化性能最佳。王树杰等^[9]通过薄膜烘箱老化试验(thin film oven test, TFOT)和沥青加速老化试验(pressurized aging vessel, PAV),研究了不同老化方式对基质沥青和SBS改性沥青3个性能指标的影响,发现SBS改性沥青的抗老化性能优于基质沥青。孙科^[10]采用旋转薄膜烘箱老化试验(rolling thin film oven test, RTFOT)和PAV分析高黏改性沥青的力学性能。

收稿日期:2022-04-06

基金项目:山东省交通运输厅科技项目(2019B61)

作者简介:隋严春(1980—),男,山东莱阳人,高级工程师,工学硕士,主要研究方向为道路与桥梁设计, E-mail: jngghy62321319@qq.com。

采用室内模拟老化评价方法对现役沥青路面抗老化性能的研究还处于起步阶段。本文采用室内加速老化试验模拟沥青路面在使用过程中所处的环境条件,结合老化后的多项路用性能试验研究 SBS 改性沥青混合料的抗老化性能,分析不同老化条件对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响,以期对 SBS 改性沥青混合料的性能提升及推广应用提供理论基础。

1 原材料与配合比

1.1 沥青胶结料

采用 SBS 改性沥青胶结料,主要技术指标如表 1 所示。

表 1 沥青胶结料主要技术指标

项目	25 °C 针入度/(0.1mm)	软化点/°C	5 °C 延度/cm	RTFOT 后的残留物		
				质量变化/%	针入度比/%	5 °C 残留延度/cm
技术标准	30~70	>65	>20	≤ ±1.0	≥65	≥15
检测结果	58	71	33	0.29	77	22
试验方法	T0604	T0606	T0605	T0609	T0604	T0605

由表 1 可知 SBS 改性沥青胶结料的性能符合文献[11]相关要求。

1.2 矿料

集料为石灰岩,填料为石灰岩矿粉,矿料合成级配如表 2 所示。二者的技术指标均满足文献[11]的相关要求。

表 2 矿料合成级配

筛孔直径/mm	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100.0	90.4	73.7	38.2	27.5	19.2	13.0	10.8	8.8	6.6

由表 2 可知矿料合成级配符合文献[11]中的相关要求。

1.3 配合比

沥青混合料级配范围如表 3 所示。根据文献[11]中的相关方法和要求,确定最佳油石比为 5.4%。

表 3 沥青混合料级配范围

筛孔直径/mm	>10~15	>5~10	0~5	矿粉
通过率/%	45	13	38	4

2 试验设计

2.1 室内模拟老化试验

根据沥青路面所处的环境条件设计室内模拟试验,采用光热耦合老化和热氧老化的方法对 SBS 改性沥青混合料试件进行老化处理,结合老化后的路用性能试验,研究温度和紫外线等对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响。

夏季高温条件下,沥青胶结料受热易引发氧化反应,即热氧老化,日光中的紫外线辐照能力较强,沥青胶结料在日光辐照下发生分子链断裂或基团脱落等光化学反应,即紫外老化。调查发现,中国夏季沥青路面温度可达 60 °C 左右,为模拟沥青路面在服役过程中的老化现象,采用紫外老化耐候仪对沥青混合

料试件进行紫外辐照老化,辐照度为 $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,试验温度为 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,老化 1~3 周,模拟沥青路面实际服役时的紫外-热氧耦合老化。同时,采用 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 强制通风烘箱进行同步的独立热氧老化试验。

2.2 老化后路用性能

1) 低温抗裂性

沥青路面须在长期使用过程中保持良好的抗低温性能,低温开裂是寒冷地区沥青路面的常见病害,根据文献[12]的相关试验要求,选用低温弯曲小梁试验对沥青混合料进行低温抗裂性能评价,采用轮碾法成型试件,并切割成 $250 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$ 的长方体试件,采用 MTS 万能试验机测试 $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下不同老化阶段的小梁试件低温性能。

2) 抗永久变形

通过沥青混合料车辙试验测定老化后沥青混合料试件的动稳定度,评价沥青混合料抵抗永久变形能力。参照文献[12]相关要求,采用轮碾法成型试件,并切割成 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的长方体试件,试验时轮胎压强为 0.7 MPa ,试验温度为 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,碾压频率为 $42 \text{ 次}/\text{min}$ 。

3) 水稳定性

沥青路面服役时,环境中的水汽使得胶结料发生降解和溶胀,荷载作用下的动水压力和冲刷力容易导致胶结料和集料的黏结力变小,最终引起路面破坏。特别是夏季、冬季温差大,降水多,沥青路面内水温变化频繁,为准确地模拟沥青路面在实际使用过程中的水温变化情况,采用冻融循环试验对老化后的沥青混合料试件进行处理。参照文献[12]相关要求,采用 T0729 冻融劈裂试验方法,将待测试件真空保水。

3 试验结果与分析

3.1 低温抗裂性

在 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 热氧老化和紫外-热氧耦合老化 2 种条件下,经过不同老化时间后 SBS 改性沥青混合料的最大弯拉应变如表 4 所示。

由表 4 可知:2 种老化条件下 SBS 改性沥青混合料的最大弯拉应变均呈衰减趋势。老化 3 周后,紫外-热氧耦合作用和 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 热氧老化作用下 SBS 改性沥青混合料最大弯拉应变分别衰减了 28%、17%,说明紫外-热氧耦合老化对 SBS 改性沥青混合料低温性能的影响比单独热氧老化大。原因主要是沥青胶结料内部分子链在高温下发生氧化反应,部分化学键断裂,材料抗低温性能下降;紫外线可深入到材料内部微观结构,长期辐照导致聚氨酯内大部分化学键断裂,自由基逐渐固化,低温下材料的刚性增大而柔韧性降低,抗弯拉性能下降^[13-15]。

3.2 抗永久变形能力

在 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 热氧老化和紫外-热氧耦合老化 2 种条件下,不同老化时间后 SBS 改性沥青混合料的动稳定度如表 5 所示。

由表 5 可知:在 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 热氧老化和紫外-热氧耦合老化 3 周后,SBS 改性沥青混合料的动稳定度分别约降低 20%、46%,说明紫外-热氧耦合老化对 SBS 改性沥青混合料抗永久变形能力的影响比单独热氧老化更大。原因是在热氧环境下,沥青和改性剂发生老化和裂解,沥青老化后黏结性下降,变硬变脆,动稳定度增加;改性剂裂解后,改性剂在沥青中的网状结构遭

表 4 不同老化条件和老化时间的 SBS 改性沥青混合料最大弯拉应变 10^{-6}

老化时间/周	60 °C 热氧老化	紫外-热氧耦合老化
0	2723	2723
1	2612	2431
2	2462	2270
3	2263	1973

表 5 不同老化条件和老化时间的 SBS 改性沥青混合料的动稳定度 MPa

老化时间/周	60 °C 热氧老化	紫外-热氧耦合老化
0	6640	6640
1	7183	5836
2	6244	4731
3	5313	3588

到破坏,改性剂在沥青中的骨架作用减小,动稳定度减小;随老化时间的延长,改性剂裂解对动稳定度的影响大于沥青老化,同时,紫外老化加剧改性剂的裂解,使得紫外-热氧耦合对 SBS 改性沥青混合料的老化作用大于热氧老化^[16-21]。

3.3 水稳定性能

在 60 °C 热氧老化和紫外-热氧耦合老化 2 种条件下,不同老化时间后 SBS 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比如表 6 所示。

由表 6 可知:在 60 °C 热氧老化和紫外-热氧耦合老化 3 周后,SBS 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比约降低 16%、34%,说明紫外-热氧耦合老化对 SBS 改性沥青混合料水稳定性的影响比单独热氧老化更大。原因是随老化时间的延长,沥青内部官能团发生氧化反应,饱和分和芳香分转化为沥青质,生成羟基官能团、亚砷基等极性或两性官能团,沥青的劲度模量增大,低温性能下降。同时,紫外老化使上述过程更加严重,紫外-热氧耦合老化后 SBS 改性沥青混合料的水稳定性比 60 °C 热氧老化低,水稳定性随时间的延长呈下降趋势^[22-25]。

表 6 不同老化条件和老化时间的

SBS 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比 %

老化时间/周	60 °C 热氧老化	紫外-热氧耦合老化
0	86.15	86.15
1	76.92	72.01
2	74.11	64.03
3	72.08	56.79

4 结论

采用室内老化试验,分析和评价 SBS 改性沥青混合料在长期服役的环境老化后的低温抗裂性能、抗永久变形性能和水稳定性能,提出室外环境因素对 SBS 改性沥青混合料作用的室内模拟方法,采用 60 °C 强制通风烘箱模拟路表高温作用下的热氧老化,采用紫外老化耐候仪模拟沥青路面使用过程中的紫外-热氧耦合老化。

1) 根据低温弯曲小梁试验结果,紫外-热氧耦合老化和 60 °C 热氧老化 3 周后,SBS 改性沥青混合料的最大弯拉应变分别约减少 28%、17%,主要原因是高温作用下 SBS 改性沥青混合料的部分化学键断裂,紫外线使自由基逐渐固化,抗弯拉性能下降。

2) 根据车辙试验结果,紫外-热氧耦合老化和 60 °C 热氧老化 3 周后,SBS 改性沥青混合料的动稳定度分别约降低 46%、20%,主要原因是改性剂裂解对动稳定度的影响大于沥青老化,紫外老化加剧改性剂的裂解。

3) 根据冻融劈裂试验结果,紫外-热氧耦合老化和 60 °C 热氧老化 3 周后,SBS 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比分别约降低 34%、16%,主要原因是紫外老化加剧沥青内部官能团的氧化反应,增加了重质组分的比例,沥青的劲度模量增大,低温性能随之降低。

老化试验结果表明紫外-热氧耦合老化后 SBS 改性沥青混合料的各项路用性能指标均小于热氧老化,SBS 改性沥青混合料在老化时受到温度和紫外线的双重影响。因此,采用紫外-热氧耦合老化模拟试验方法更能真实反映夏季户外路面状态,比热氧老化评价方法更合理。

参考文献:

- [1] 郭猛,任鑫,焦峪波,等. 沥青及沥青混合料老化与抗老化研究综述[J]. 中国公路学报: 2022(3):1-29.
GUO Meng, REN Xin, JIAO Yubo, et al. Review on aging and anti-aging of asphalt and asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport: 2022(3):1-29.
- [2] 董文龙,刘黎萍,江涛,等. 添加剂剂量对改善沥青紫外线老化作用的影响分析[J]. 山东交通学院学报, 2006, 14(4):58-62.
DONG Wenlong, LIU Liping, JIANG Tao, et al. Analysis of additives dosage to asphalt ultraviolet radiation anti-aging performance[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2006, 14(4):58-62.
- [3] 谭忆秋,王佳妮,冯中良,等. 沥青结合料紫外老化机理[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1):19-24.

- TAN Yiqiu, WANG Jian, FENG Zhongliang, et al. Ultraviolet aging mechanism of asphalt binder[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008,21(1):19-24.
- [4] WU Shaopeng, YE Yong, LI Yuanyuan, et al. The effect of UV irradiation on the chemical structure mechanical and self-healing properties of asphalt mixture[J]. Materials, 2019,12(15):2424.
- [5] FAN Y, MARTIN A E, ARÁMBULA-MERCADO E, et al. Characterization of non-uniform field aging in asphalt pavements[J]. Construction and Building Materials, 2017,153: 607-615.
- [6] 贾坚, 王彦敏, 刘芝敏, 等. 抗光氧老化改性沥青的制备及其性能[J]. 山东交通学院学报, 2018, 26(1):66-73.
JIA Jian, WANG Yanmin, LIU Zhimin, et al. Preparation and properties of anti-light oxygen aging modified asphalt[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2018, 26(1):66-73.
- [7] 唐新德, 韩念凤, 贺忠国, 等. 蒙脱土/SBS复合改性沥青性能研究[J]. 建筑材料学报, 2010, 13(4):550-555.
TANG Xinde, HAN Nianfeng, HE Zhongguo, et al. Research on the property of Montmorillonit/SBS composite modified asphalt[J]. Journal of Building Materials, 2010, 13(4):550-555.
- [8] 姜鹏, 孙华东, 丁永玲, 等. 沥青基碳纤维改性沥青老化性能影响因素研究[J]. 山东交通学院学报, 2020, 28(2):70-76.
JIANG Peng, SUN Huadong, DING Yongling, et al. Study on influencing factors of aging property of carbon fiber modified asphalt[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2020, 28(2):70-76.
- [9] 王树杰, 朱辉, 樊亮. 基于不同老化方式的沥青评价指标研究[J]. 山东交通科技, 2014(4):14-16.
WANG Shujie, ZHU Hui, FAN Liang. The research based on the different ways of aging asphalt evaluation parameters[J]. Shandong Jiaotong Technology, 2014(4):14-16.
- [10] 孙科. 不同老化方式对高黏沥青性能的影响研究[J]. 山东交通科技, 2020(4):46-48.
SUN Ke. Research on the influence of different aging methods on the performance of high viscosity asphalt[J]. Shandong Jiaotong Technology, 2020(4):46-48.
- [11] 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [12] 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E200—2011[J]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [13] 苏红亮. 橡胶沥青混合料的低温抗裂性研究[J]. 山东交通科技, 2016(2):41-44.
SU Hongliang. Research on low temperature cracking resistance of rubber asphalt mixture[J]. Shandong Jiaotong Technology, 2016(2):41-44.
- [14] 刘涛, 郝培文. 沥青混合料低温抗裂性评价方法研究[J]. 同济大学学报, 2002, 30(12):1468-1471.
LIU Tao, HAO Peiwen. Comparison study of evaluation method for low temperature anti-cracking performance of hot mix asphalt[J]. Journal of Tongji University, 2002, 30(12):1468-1471.
- [15] 李国平. 废橡胶沥青混合料的路用性能研究[J]. 山东交通科技, 2016(2):96-98.
LI Guoping. Research on pavement performance of waste rubber asphalt mixture[J]. Shandong Jiaotong Technology, 2016(2):96-98.
- [16] 栗培龙, 张争奇, 王秉纲. 沥青混合料组合结构车辙变形及力学特性研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2010, 31(6):55-59.
LI Peilong, ZHANG Zhengqi, WANG Binggang. Research on permanent deformation and mechanical properties of composite structure asphalt mixture[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2010, 31(6):55-59.
- [17] 王永锋, 王立志. 复合型蓄盐沥青混合料的抑冰与抗滑性能[J]. 筑路机械与施工机械化, 2018, 35(6):69-72.
WANG Yongfeng, WANG Lizhi. Research on anti-icing and skid resistance of asphalt mixture with complex salt[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2018, 35(6):69-72.
- [18] 杨川, 李前林, 林实辉. 炉渣沥青混合料配合比设计及其性能研究[J]. 交通节能与环保, 2022, 18(87):80-83.
YANG Chuan, LI Qianlin, LIN Shihui. Study on mix proportion design and performance of slag asphalt mixture[J]. Transport Energy Conservation and Environmental Protection, 2022, 18(87):80-83.
- [19] 任岐岗. 不同岩性细集料对沥青混合料路用性能的影响研究[J]. 路基工程, 2020(5):65-68.
REN Qigang. Study on the influence of fine aggregates of different lithology on pavement performance of asphalt mixture[J]. Subgrade Engineering, 2020(5):65-68.
- [20] 何琛, 仰建岗, 周巍, 等. 级配对就地热再生沥青混合料高温稳定性影响分析[J]. 交通节能与环保, 2019, 15(73):

- 89-92.
- HE Chen, YANG Jiangang, ZHOU Wei, et al. Influence analysis of high temperature stability of graded paired geothermally recycled asphalt mixture[J]. *Transport Energy Conservation and Environmental Protection*, 2019, 15(73):89-92.
- [21] 王国忠, 张岩, 冯晓波, 等. 橡胶颗粒沥青混合料修正的动稳定度研究[J]. *中外公路*, 2019, 39(2):244-248.
- WANG Guozhong, ZHANG Yan, FENG Xiaobo, et al. Research on dynamic stability of rubber particles modified asphalt mixture[J]. *Sino-Foreign Highway*, 2019, 39(2):244-248.
- [22] 刘佳. 纤维对厂拌热再生沥青混合料水稳定性影响研究[J]. *交通节能与环保*, 2022, 18(2):83-87.
- LIU Jia. Research on the effects of fiber on moisture stability of hot central plant recycling asphalt mixture[J]. *Traffic Energy Conservation and Environmental Protection*, 2022, 18(2):83-87.
- [23] 吴振宏. 沥青混合料水稳定性评价方法的研究[J]. *黑龙江交通科技*, 2022(1):45-46.
- WU Zhenhong. Study on evaluation method of water stability of asphalt mixture[J]. *Heilongjiang Jiaotong Technology*, 2022(1):45-46.
- [24] 吴小恋. 沥青混合料水稳定性改善研究[J]. *石油沥青*, 2021, 35(1):57-60.
- WU Xiaolian. Study on improving the water stability of asphalt mixture[J]. *Petroleum Asphalt*, 2021, 35(1):57-60.
- [25] 程景芳. 集料含泥量对沥青混合料水稳定性影响探究[J]. *工程建设与设计*, 2020(9):203-205.
- CHENG Jingfang. Study on influence of aggregate mud content on water stability of asphalt mixture[J]. *Construction and Design for Project*, 2020(9):203-205.

Aging resistance evaluation of SBS modified asphalt mixture based on the laboratory simulation test

SUI Yanchun

Jinan City Planning and Design Institute, Jinan 250101, China

Abstract: In order to exactly evaluate the aging problem of styrene-butadiene-styrene (SBS) modified asphalt mixture in the long-term service process, combined with the climatic and environmental conditions of the pavement, the laboratory simulation test based on environmental factors is proposed. Laboratory accelerated aging test of SBS modified asphalt mixture is carried out, and the low temperature performance, anti-permanent deformation ability and water stability of the aging SBS modified asphalt mixture are evaluated by low temperature bending girder test, rutting test and freeze-thaw cleavage test. The experimental results show that in the long-term service process, the influence of UV-thermal coupling aging on the performance of SBS modified asphalt mixture is greater than that of independent thermal oxygen aging, the impact of thermal oxygen aging on its low temperature performance is greater than that of ultraviolet aging, and the impact of UV aging on its high temperature and water stability is greater than that of thermal oxygen aging. The simulation test method of UV-thermal coupling aging can more truly reflect the outdoor pavement state in summer, which is more reasonable than the evaluation method of thermal oxygen aging.

Keywords: SBS modified asphalt concrete; UV-thermal coupling aging; road performance; evaluation of aging resistance

(责任编辑:王惠)