

# 紫外老化对废食用植物油再生沥青性能的影响

季 节<sup>1,2</sup>, 郭晨伟<sup>1</sup>, 张 奥<sup>3</sup>, 索 智<sup>1,2</sup>

(1. 北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 100044; 2. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044; 3. 北京市道路工程质量监督站, 北京 100076)

**摘 要** 目的 研究紫外老化对70#和SBS两种废食用植物油再生沥青性能的影响,为沥青路面再生技术的实际工程提供指导性建议. 方法 利用动态剪切流变仪(Dynamic Shear Rheological test, DSR)的温度扫描和频率扫描以及弯曲梁流变仪(Bending Beam Rheometer, BBR)分别测试了不同紫外老化时间后废食用植物油再生沥青的抗疲劳性能、弹性恢复性能和低温性能. 结果 随着紫外老化时间的延长,两种再生沥青抗疲劳性能和弹性恢复能力逐渐下降,但对其低温性能的影响不明显. 结论 相对于SBS再生沥青,紫外老化对70#再生沥青的抗疲劳性能、弹性恢复性能和低温性能的影响更为显著.

**关键词** 紫外老化; 废食用植物油; 再生沥青; DSR; BBR

中图分类号 TU528.42; U414

文献标志码 A

## Study on Effect of Ultraviolet Aging on the Properties of Waste Vegetable Oil Recycled Asphalt

Ji Jie<sup>1,2</sup>, GUO Chenwei<sup>1</sup>, ZHANG Ao<sup>3</sup>, SUO Zhi<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, China, 100044; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing, China, 100044; 3. Beijing Road Engineering Quality Supervision Station, Beijing, China, 100076)

**Abstract:** In order to study the effect of ultraviolet aging on the properties of 70# and SBS modified waste vegetable oil recycled asphalt for providing advice in practical engineering of pavement regeneration technology. The temperature and frequency sweep of DSR (Dynamic Shear Rheological) test and BBR (Bending Beam Rheometer) test were applied to measure the resistance to fatigue, elastic recovery and low-temperature cracking under doing different UV aging times. The test results show that with the UV aging time increases, the resistance to fatigue and elastic recovery capacity of two kinds of asphalts are declined. However, the effect of UV aging on the low-temperature cracking is very little. Compared with the SBS modified asphalt, the effect of UV aging on the resistance to fatigue, elastic recovery and low-temperature cracking of the 70# asphalt is more significant.

收稿日期: 2018-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51478028, 51778038); 科技创新服务能力建设项目(02058418008)

作者简介: 季节(1972—), 女, 教授, 主要从事道路工程材料方面研究.

**Key words:** UV aging; waste vegetable oil; recycled asphalt; DSR; BBR

近年来,我国在道路工程建设领域产生了大量的废旧沥青混合料,面对日益增长的环境和资源压力,如果这些废旧沥青混合料得不到正确处理,会带来严重社会和环境问题.因此,如何高效再生利用废旧沥青混合料是道路界一直关注的问题<sup>[1-2]</sup>.

传统的再生方式是利用矿物油再生剂对废旧沥青进行再生,但存在许多弊端,如矿物油再生剂只能在短期内降低老化沥青的黏度且自身易挥发,在高温下组分易散失,再生过程中也会产生大量的有害气体等<sup>[3-4]</sup>.同时,石油资源日益枯竭,造成矿物油再生剂成本不断提高,因此,急需开发一种代替矿物油的再生剂来缓解此矛盾<sup>[5-6]</sup>,国内外学者提出了利用废食用植物油作为再生剂的想法.冷滨滨<sup>[7]</sup>通过对 SBS 改性沥青、50#、70#三种沥青添加不同掺量废食用植物油进行再生,研究再生剂掺量对沥青的抗疲劳能力以及组成结构的影响规律,发现适宜掺量的废食用植物油可提高沥青的抗疲劳性能.满琦<sup>[8]</sup>发现在添加相同再生剂掺量的条件下,废食用植物油再生沥青比矿物油再生沥青的低温等级提高了1个等级且成本大幅度降低.季节<sup>[9]</sup>利用 DSR、BBR 和旋转黏度(RV)试验来测试再生沥青的高低温性能,结果表明添加6%~8%植物油再生剂能有效降低老化沥青的黏度和刚度,有利于提高再生沥青的高低温和抗疲劳性能. M. Zaumanis<sup>[10]</sup>研究了5种(废弃植物油、废蔬菜油脂、有机油、蒸馏妥尔油、芳香提取物)不同废食用植物油再生剂及其再生混合料的性能,发现废食用植物油可将沥青 PG 等级从 PG94-12 降到 PG64-22,且再生混合料具有很好的抗车辙能力.谭忆秋<sup>[11]</sup>对紫外老化后的5种沥青进行了 DSR、BBR 以及红外光谱试验,发现胶质和芳香分是影响沥青紫外老化的主要因素.祁欣<sup>[12]</sup>分析了橡胶硫化沥青在紫外老化

过程中性能的变化规律,发现其延度和软化点降低速率小于基质沥青,说明橡胶硫化沥青具有较强抗紫外老化的性能.王佳妮<sup>[13]</sup>利用红外光谱和紫外光谱分析了紫外老化过程中沥青组分的迁移和胶体结构的变化,发现随着紫外老化时间的延长,沥青胶体结构由溶胶向凝胶转变.

由此可见,国内外已经通过大量的试验来研究废食用植物油再生沥青的性能,但研究紫外光对废食用植物油再生沥青性能影响的相对较少.基于此,笔者以紫外光作为老化因素,在室内进行模拟 70#和 SBS 两种废食用植物油再生沥青紫外老化试验,通过控制不同的紫外老化时间,重点研究紫外光对废食用植物油再生沥青性能的影响规律;试验表明:与紫外老化之前的废食用植物油再生沥青相比,经过紫外老化后,其低温性能变化不明显,而抗疲劳性能和弹性恢复能力降低.

## 1 试验方法与材料

### 1.1 DSR 试验

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中的 DSR(T0628)试验要求,主要进行温度扫描和频率扫描试验<sup>[14]</sup>.

#### 1.1.1 温度扫描

试验温度为4~31℃,以3℃为温度的变化梯度,转子类型选用8mm,间隙为2mm,频率设置为固定值10rad/s.

#### 1.1.2 频率扫描

试验温度为25℃,转子类型选用8mm,间隙为2mm,频率设置0.05~628rad/s.

### 1.2 BBR 试验

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中规定<sup>[14]</sup>,进行 BBR(T0627)试验.其中:试验温度为-6℃、-12℃以及-18℃.

1.3 试验材料

1.3.1 原样沥青  
选用 70#基质沥青和 SBS 改性沥青.

1.3.2 废食用植物油再生剂  
采用废食用大豆油作为再生剂,其基本性能见表 1.

表 1 废食用大豆油再生剂基本性能

Table 1 The physical properties of waste soy bean oil			
pH 值	$\rho/(g \cdot mL^{-1})$	60℃黏度/(Pa·s)	闪点/℃
7±0.5	0.92	0.156	233

1.3.3 老化沥青  
分别对两种原样沥青进行旋转薄膜烘箱试验(RTFOT)和压力老化试验(PAV)得到不同老化沥青.

1.3.4 再生沥青  
利用废食用大豆油对老化沥青进行再生,掺量为 4%,其制备过程如图 1 所示.

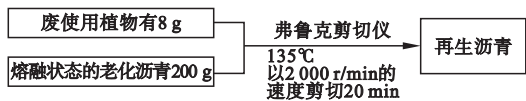


图 1 再生沥青制备过程  
Fig.1 Reclaimed asphalt preparation process

1.3.5 紫外老化再生沥青  
利用紫外加速耐候仪(UV)对再生沥青进行紫外老化,紫外老化温度为 60℃(模拟路面的温度情况),辐照强度为 1.6 W/m<sup>2</sup>(根据拉萨地区平均日辐照量计算),由于紫外老化的发生主要集中在前期,后期老化比较缓慢<sup>[15]</sup>,以 24 h 为一个老化周期(1 T),老化时间分别取 1 T 的 1/4、1/2、2 倍、4 倍及 6.25 倍,即紫外老化时间分别为 6 h、12 h、24 h、48 h、96 h、150 h. 图 2、图 3 为正在进行紫外老化以及经过紫外老化后的沥青试样.



图 2 正在紫外老化的沥青  
Fig.2 Asphalt samples being UV aged



图 3 紫外老化后的沥青试样  
Fig.3 Asphalt samples after UV aged

2 试验结果与讨论

2.1 DSR 试验

2.1.1 温度扫描  
图 4 为经过不同紫外老化时间后的 70#和 SBS 改性再生沥青的疲劳因子( $G^* \cdot \sin\delta$ )与温度之间的关系.

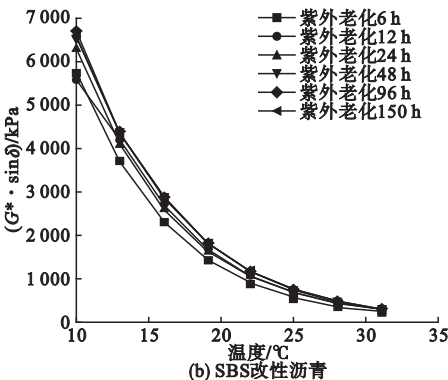
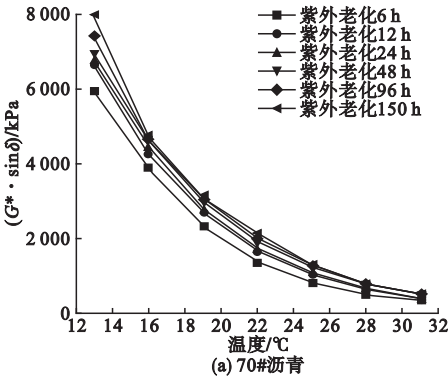


图 4 不同紫外老化时间后沥青的疲劳因子随温度的变化  
Fig.4 Fatigue factor over temperature after different UV aging times

表 2 为经过不同紫外老化时间的 70#和 SBS 改性再生沥青的疲劳极限温度.

表2 疲劳极限温度  
Table 2 Fatigue limit temperature

紫外老化时间/h	疲劳极限温度/℃	
	70#沥青	SBS 改性沥青
6	14.75	10.96
12	15.09	11.10
24	15.19	11.23
48	15.43	11.36
96	15.62	11.45
150	15.74	11.56

由图4和表2可知:

(1)无论是70#还是SBS改性再生沥青,在同一温度下,随着紫外老化时间的不断增加,两种再生沥青的疲劳因子在不断下降,但疲劳极限温度却在逐渐增加,说明紫外老化时间的增加会降低再生沥青的疲劳性能。

(2)相对于SBS改性沥青,70#沥青经过不同紫外老化时间后,其疲劳因子下降幅度

要高于SBS改性沥青,如在19℃时,经过紫外老化6h与150h后的70#沥青,其疲劳因子的下降幅度了800MPa,而对于SBS改性沥青,其疲劳因子的下降幅度为375MPa,仅为70#沥青的50%左右。

(3)当紫外老化时间小于48h时,70#沥青的疲劳极限温度增加0.68℃,变化幅度为70%,而SBS改性沥青的疲劳极限温度却增加0.4℃,变化幅度为65%。当紫外老化时间大于48h时,SBS改性沥青的疲劳极限温度变化幅度仅为70#沥青的2/3,说明紫外老化对70#沥青的疲劳性能影响大。

2.1.2 频率扫描

图5为经过不同紫外老化时间后的70#和SBS改性再生沥青的相位角与频率之间的关系。

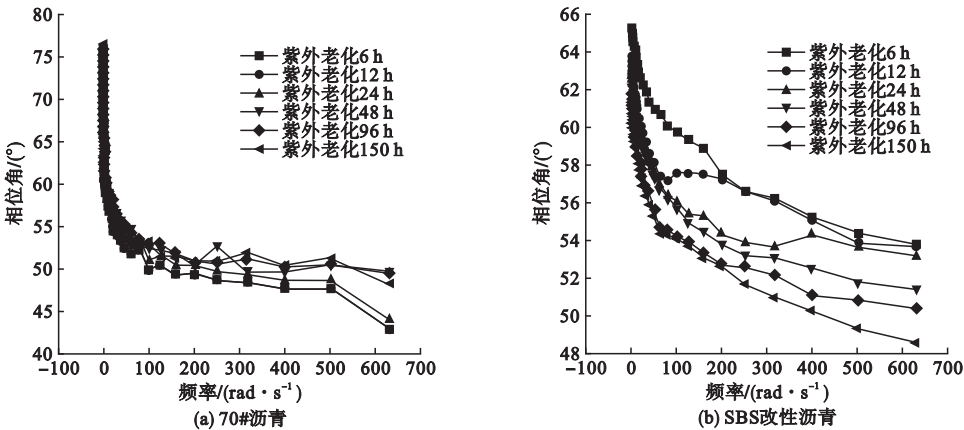


图5 不同紫外老化时间后沥青的相位角随频率的变化

Fig. 5 Phase angle over frequency after different UV aging times

由图5可知:

(1)相同频率下,无论是70#沥青还是SBS改性沥青,随着紫外老化时间的增加,沥青的相位角在逐渐减小,说明随着紫外老化时间的增加,沥青的弹性恢复能力逐渐降低。

(2)同一紫外老化时间下,无论是70#沥青还是SBS改性沥青,其相位角随频率的增加下降幅度先快后慢,如在0~100rad/s内,70#沥青相位角的下降幅度为80%,而在100~628rad/s内,相位角下降幅度仅仅为

20%,说明随着频率的增加,70#沥青的弹性恢复能力先急速降低,后缓慢趋于平稳。而对于SBS改性沥青,其相位角下降幅度比70#沥青平稳,如在0~628rad/s内,相位角下降幅度均为50%,没有明显的转折点,说明SBS改性沥青弹性恢复能力下降幅度较为缓慢。

(3)相同频率下,随着紫外老化时间的增加,70#沥青相位角下降幅度比SBS改性沥青相位角下降的幅度大。如在200rad/s

时,70#沥青经过 6 h 和 150 h 的紫外老化后,相位角下降幅度为 10°,而对于 SBS 改性沥青,相位角下降幅度为 6°,仅为 70#沥青的 60%,说明 70#沥青相位角的变化对紫外老化时间更加敏感.

**2.2 BBR 试验**

图 6、图 7 为经过不同紫外老化时间的 70#和 SBS 改性再生沥青蠕变劲度  $S$  和蠕变速率  $m$ -值随温度的变化.

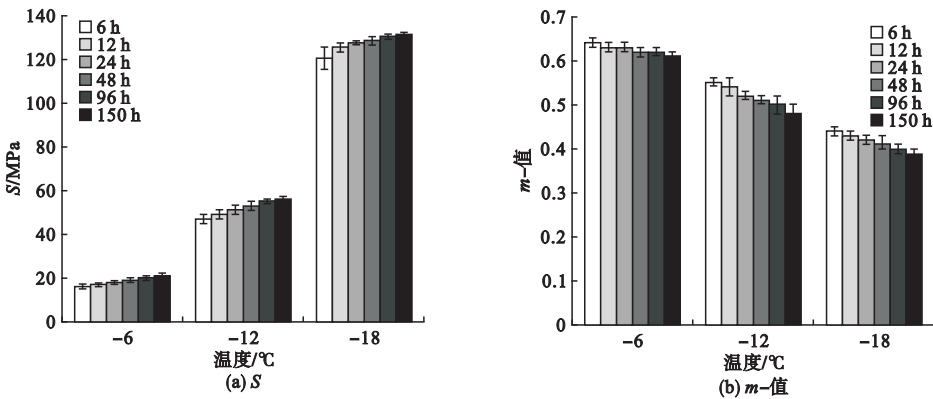


图 6 不同紫外老化时间后的  $S$  和  $m$ -值随温度的变化(70#沥青)

Fig. 6 The  $S$  and  $m$ -value over temperature after different UV aging times(70# asphalt)

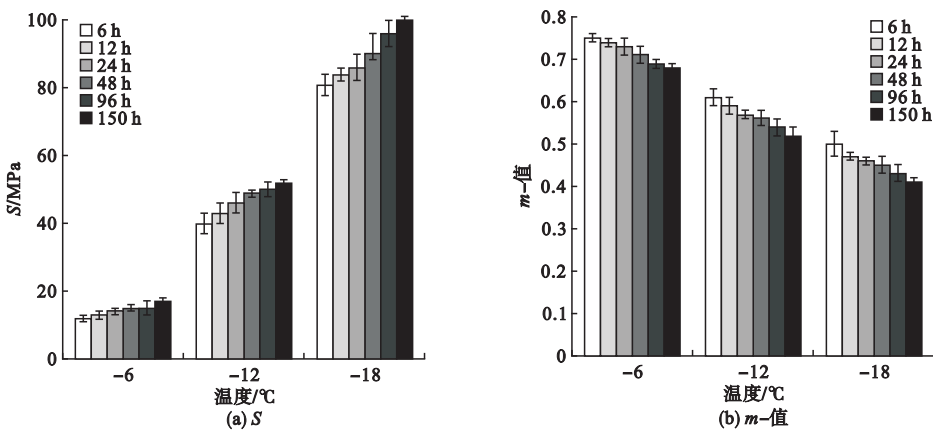


图 7 不同紫外老化时间后的  $S$  和  $m$ -值随温度的变化(SBS 改性沥青)

Fig. 7 The  $S$  and  $m$ -value over temperature after different UV aging times(SBS modified asphalt)

由图 6、图 7 可以看出,同一温度下,无论是 70#还是 SBS 改性沥青在经过不同紫外老化后,其  $S$  和  $m$ -值变化不显著,如对于 70#沥青,在 -6 °C 时,经过 6 h 和 150 h 紫外老化后,其  $S$  差值在 5MPa 以内,变化幅度小于 5%,而  $m$ -值差值也仅在 0.05 以内,变化幅度小于 1%,这种现象也同样存在在 SBS 改性沥青中,说明紫外老化对再生沥青低温性能影响不明显.

3 结 论

- (1)相同温度下,随着紫外老化时间的增加,再生沥青疲劳因子逐渐增加,说明再生沥青的抗疲劳性能随老化时间的延长而不断下降.相对于 SBS 改性沥青,紫外老化对 70#沥青抗疲劳性能的影响更为显著.
- (2)相同频率下,随着紫外老化时间的增加,再生沥青的相位角不断降低,说明随着紫外老化时间的增加,沥青的弹性恢复能力逐渐降低.相对于 SBS 改性沥青,70#沥青相



位角降低的幅度大,说明紫外老化对70#沥青弹性恢复能力的影响更为明显。

(3)无论是70#沥青还是SBS改性沥青,随着紫外老化时间的增加,再生沥青的 $S$ 和 $m$ -值变化幅度都在5%以内,说明紫外老化对于两种沥青的低温性能影响较小。

## 参考文献

- [1] 吕伟民. 沥青再生原理与再生剂的技术要求[J]. 石油沥青, 2007(6): 1-6.  
(Lü Weimin. Repair principle of asphalt and technical requirements of regenerant [J]. Petroleum asphalt, 2007(6): 1-6.)
- [2] 倪小军, 陈仕周, 凌天清. 沥青路面再生利用技术综述[J]. 重庆交通学院学报, 2004(5): 39-42.  
(NI Xiaojun, CHEN Shizhou, LING Tianqing. Technology of asphalt pavement recycling [J]. Journal of Chongqing jiaotong university, 2004(5): 39-42.)
- [3] 余国贤, 周晓龙, 金亚清, 等. 废旧沥青再生剂的实验研究[J]. 石油学报, 2006(5): 96-100.  
(YU Guoxian, ZHOU Xiaolong, JIN Yaqing, et al. Experimental research on waste asphalt regenerant [J]. Acta petrologica sinica, 2006(5): 96-100.)
- [4] 蔡恒吉, 程斌, 彭大海, 等. 我国废矿物油再生工艺的现状及未来的发展方向[J]. 化工管理, 2017(24): 83-85.  
(CAI Hengji, CHENG Bin, PENG Dahai, et al. Review and future development of waste mineral oil recycling processes in China [J]. Chemical management, 2017(24): 83-85.)
- [5] 张瑜. 沥青的老化机理研究及再生剂开发[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.  
(ZHANG Yu. Aging mechanism of bitumen and development of regenerant [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013.)
- [6] 李振海, 王国峰, 魏建明. 再生剂制备技术及再生沥青的评价[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(5): 152-156.  
(LI Zhenhai, WANG Guofeng, WEI Jianming. Preparation technology of regenerant and evaluation of recycled asphalt [J]. Journal of China university of petroleum (science and technology), 2011, 35(5): 152-156.)
- [7] 冷滨滨, 陈美祝, 吴少鹏. 废食用植物油再生沥青的物理性能研究[J]. 公路, 2014, 59(2): 175-179.  
(LENG Binbin, CHEN Meizhu, WU Shaopeng. Research on the physical properties of waste edible vegetable oil recycled asphalt [J]. Highway, 2014, 59(2): 175-179.)
- [8] 索智, 季节, 满琦, 等. 植物油再生沥青的性能研究[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(7): 1062-1065.  
(SUO Zhi, JI Jie, MAN Qi, et al. Performance evaluation of regenerated asphalt with vegetable oil [J]. Journal of Beijing university of technology, 2016, 42(7): 1062-1065.)
- [9] JI Jie, YAO Hui, SUO Zhi, et al. Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt binders [J]. Journal of materials in civil engineering, 2016.
- [10] ZAUMANIS M, MALLICK R B, POULIKAKOS L, et al. Influence of six rejuvenators on the performance properties of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures [J]. Construction and building materials, 2014, 71: 538-550.
- [11] 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(1): 19-24.  
(TAN Yiqiu, WANG Jiani, FENG Zhongliang, et al. Ultraviolet aging mechanism of asphalt binder [J]. China journal of highway and transportation, 2008(1): 19-24.)
- [12] 祁欣, 武光明, 尹亮. 橡胶硫化改性路用沥青紫外老化过程的研究[J]. 北京石油化工学院学报, 2011, 19(3): 38-42.  
(QI Xin, WU Guangming, YIN Liang. A study on the UV aging process of rubber vulcanization modified road asphalt [J]. Journal of Beijing institute of petrochemical technology, 2011, 19(3): 38-42.)
- [13] 王佳妮, 薛忠军, 谭忆秋. 紫外老化对沥青力学行为及聚集态的影响[J]. 中国公路学报, 2011, 24(1): 14-19.  
(WANG Jiani, XUE Zhongjun, TAN Yiqiu. Influence of ultraviolet aging on mechanical behavior and aggregate states of asphalt [J]. China journal of highway and transportation, 2011, 24(1): 14-19.)
- [14] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.  
(Ministry of Transport of the People's Republic of China. Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering: JTG E20—2011 [S]. Beijing: China Communication Press, 2011.)
- [15] 王佳妮. 模拟紫外环境下沥青流变行为及老化机理的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.  
(WANG Jiani. Study on aging mechanism and rheologic behavior of asphalt under simulate ultraviolet environment [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.)