

不同紫外光照时长对沥青胶浆流变性能的影响*

黄乾晋¹, 钱国平^{1,2}, 金大中¹, 肖婷¹, 白献萍¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.特殊环境道路工程湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要: 通过针入度试验、低温延度试验、动态剪切流变试验和低温弯曲试验检测沥青与沥青胶浆老化前后的性能指标,分析不同紫外光照时长对沥青胶浆流变性能的影响。结果表明,随着紫外光老化时长的增加,沥青胶浆的复数剪切模量与车辙因子不断上升、相位角逐渐减少、老化指数不断增加、劲度模量越来越大、蠕变速率越来越小,沥青胶浆的粘性成分减少,高温稳定性得到改善而低温性能逐渐降低。

关键词: 公路;紫外光老化;沥青胶浆;流变性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671—2668(2019)03—0057—03

沥青在自然条件和交通荷载作用下会发生老化,导致沥青路面出现裂缝、坑槽等病害。根据胶浆理论,沥青与集料、矿物填料通过物理化学吸附作用形成相对稳定的空间网状结构的分散体系。针对沥青胶浆老化前后的路用性能,Recasens R. M.等认为填料的添加对沥青混合料的抗老化性能有着不可忽视的作用;王秉纲等分析矿粉对沥青老化性能的影响,认为沥青胶浆在热氧条件下粉胶比含量不应超过 1.5;谭忆秋从填料与沥青相互作用的角度,通过动态剪切流变仪(DSR)与弯曲流变仪(BBR)试验得出基质沥青最佳粉胶比为 0.9~1.4。实际工程中,尤其是在中国西部紫外光光照时长较长、紫外辐射强度较大的地区,紫外光照是导致道路沥青老化的主要因素。沥青材料在紫外光辐射下发生老化导致材料性能发生衰变,在交通荷载等作用下沥青路面发生病害。为满足中国西部地区实际工程需要,同时更深入地了解沥青胶浆紫外老化变化情况,该文开展不同紫外光照时长对沥青胶浆流变性能的影响研究。

1 材料制备及性能检测

1.1 沥青胶浆制备

基质沥青采用中国石化生产的东海牌 70# 道路石油沥青,其主要技术指标见表 1。沥青胶浆是沥青和填料组成的均匀二元体系,决定沥青混合料的路用性能及耐久性。将基质沥青与矿粉(其主要技术指标见表 2)混合制备沥青胶浆,粉胶比为 1.0。

制备胶浆样品前,先将基质沥青在 150 ℃烘箱中预热 30 min 确保沥青具有一定的流动性,矿粉在 150 ℃烘箱中烘干确保填料达到混合温度;高速剪切仪预热 5 min 后倒入填料与沥青进行搅拌,搅拌速度为 1 500 r/min,搅拌时长为 1 h。为保障沥青与填料搅拌均匀,搅拌中每隔 10 min 调节叶片高度。

表 1 基质沥青的主要技术指标

试验项目	测定值	规范要求
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	71	60~80
延度(15 ℃,5 cm/min)/cm	76.6	≥15
软化点 $T_{R\&B}$ /℃	47.6	≥46
溶解度(三氯乙烯)/%	99.89	≥99.5
闪点/℃	319	200
RTFOT 残留针入度比(25 ℃)/%	64.8	≥61
后 残留延度(10 ℃)/cm	11.6	≥61

表 2 矿粉的基本性能指标

试验项目	测定值	规范要求
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.787	≥2.50
亲水系数	0.85	<1
	<0.6 mm	100
粒度范围/%	<0.15 mm	91.2
	<0.075 mm	76.6
		75~100
外观	—	合格

1.2 沥青胶浆样品老化

根据 ASTM D1754(ASTM2014),通过旋转薄膜烘箱将沥青胶浆样品在 163 ℃下保持 5 h 进行短

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51778071)

期老化。

1.3 紫外老化模拟试验

根据室内紫外光老化时长与室外紫外光辐射总量相等的原则,采用自制紫外光老化环境箱进行紫外光老化室内模拟试验。先通过 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》测定沥青密度,根据 TFOT 老化后沥青密度及设定的试样厚度得到试样质量,制备试样将其加温至 150℃使其保持流动状态;将试样放入紫外光老化环境箱中,选用波长 365 nm 的紫外光源,在 25℃温度、强度 5 mW/cm²下进行老化,老化结束后取出试样。

2 试验结果分析

2.1 针入度试验结果分析

感温性是表征沥青材料性质随温度变化的指标,是反映沥青路面施工质量和使用性能的重要指标,常用针入度指数表征。将老化前后的基质沥青与沥青胶浆在 15、25、30℃温度下进行针入度试验,结果见表 3。

表 3 基质沥青与沥青胶浆老化前后针入度试验结果

沥青类型		不同温度(℃)下的针入度/(0.1 mm)		
		15	25	30
基质沥青	老化前	28	71	98
	老化后	17	55	74
沥青胶浆	老化前	23	67	85
	老化后	15	47	62

由表 3 可知:基质沥青与沥青胶浆在老化前后的针入度都随温度上升而上升,呈现正相关的变化规律。而针入度与沥青的稠度呈负相关,针入度越大,沥青稠度越小,沥青越来越软,沥青高温稳定性变差。与基质沥青相比,加入矿粉后的沥青胶浆具有更好的高温稳定性;沥青胶浆的针入度下降速率低于基质沥青,说明矿粉对沥青老化具有一定抑制作用。

2.2 延度试验结果分析

延度是评定沥青塑性的重要指标,通过延度试验可快速测试沥青的低温抗裂性能,反映沥青抵抗拉伸破坏的能力。将短期老化前后的基质沥青与沥青胶浆在 15℃下进行延度试验,结果见图 1。

由图 1 可知:不论是沥青胶浆还是基质沥青,在 15℃条件下老化后其延度均下降。试验中,各组沥青胶浆试样中央逐渐变细,最后尖端部分突然断裂。

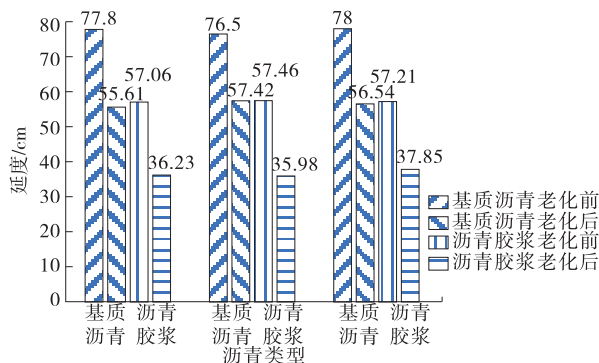


图 1 15℃条件下基质沥青与沥青胶浆老化前后

延度试验结果

但由于加入了矿粉填料,沥青从均匀体变为分散体,内部胶体结构更复杂,沥青分子间粘结力下降,稠度降低。老化后延度下降说明老化使沥青变得更脆,低温时更易受力破坏。

2.3 动态剪切流变试验结果分析

DSR 是 SHRP 评价沥青粘弹性的标准方法,可模拟沥青在集料间接触点受到的剪切作用。通过相位角 δ 、复数剪切模量 G^* 表征沥青的粘性和弹性。相位角 δ 反映沥青材料中粘、弹性成分的多少,其值越大,材料中粘性成分越多;低温时相位角 δ 越高,沥青的流动性越好,可减少沥青的低温开裂。老化指数 AI 为沥青紫外老化后复数模量与老化前复数模量之比,表征沥青的老化程度。车辙因子是评价沥青高温流变性能的重要指标,反映沥青抵抗永久变形的能力,其值越大,沥青抗车辙的性能越好。

选用 25 mm 振荡板,频率为 10 rad/s,对紫外老化 30、60、90、120 h 后的沥青胶浆和原样沥青胶浆试样进行温度扫描,结果见图 2。

由图 2 可知:1) 随着温度的升高,沥青胶浆老化前后的复数剪切模量均不断减小。原样沥青胶浆的复数剪切模量最小,在相同光照强度下,随着紫外辐射时长的增加,沥青胶浆的复数剪切模量增大,其中紫外光照 120 h 后的复数剪切模量和老化指数最大。2) 52℃时,随着紫外光照时长的增加,沥青胶浆的相位角逐渐减少,沥青胶浆的流动性降低。随着温度的上升,老化前后沥青胶浆的相位角均逐渐增大。原样沥青胶浆的相位角最大,紫外老化 120 h 后的相位角最小,说明沥青胶浆老化后粘性成分减少。3) 随着温度的升高,老化前后沥青胶浆的车辙因子均不断减少,其中原样沥青胶浆的车辙因子最小。在相同温度条件下,随着紫外光照时长的增

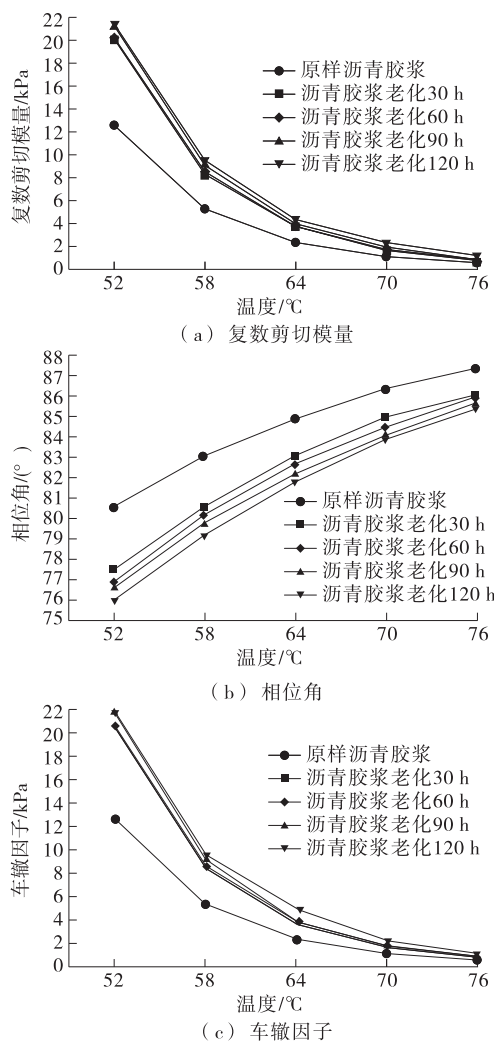


图 2 沥青胶浆老化前后 DSR 试验结果

加,沥青胶浆的车辙因子不断增大,其中光照 120 h 后的车辙因子最大,表明其抗车辙性能最强。

2.4 低温弯曲梁流变试验结果分析

BBR 试验用于评价沥青的低温性能,可测得极限状态下沥青劲度模量 S 和蠕变速率 m 。通过 BBR 测定 -12 、 -18 $^{\circ}\text{C}$ 条件下不同紫外辐射时长时沥青胶浆试样的 S 和 m ,再通过这两个指标与沥青老化程度之间的关系分析不同紫外老化时长下沥青胶浆的老化规律,试验结果见表 4。

由表 4 可知:1) 沥青胶浆经过不同时长的紫外辐射后,在不同温度条件下,其劲度模量均增大,其中光照 120 h 后的劲度模量最大。紫外光照时间越长,劲度模量越大,表明沥青胶浆的老化程度越大,其低温性能越差。可预测随着紫外光照时间的延长,劲度模量会越来越大,沥青的低温性能也会越来越差。2) 随着沥青材料紫外光照时间的延长,其蠕

表 4 不同老化时长下沥青胶浆 BBR 试验结果

老化 时长/h	不同温度($^{\circ}\text{C}$)下的 蠕变速率 m		不同温度($^{\circ}\text{C}$)下的 劲度模量 S/MPa	
	-12	-18	-12	-18
0	0.439	0.303	115	338
30	0.410	0.288	130	363
60	0.390	0.285	135	379
90	0.380	0.281	146	386
120	0.371	0.279	150	395

变速率不断减小,其中光照 120 h 后的蠕变速率最小。可推断紫外光照时间越长,沥青的蠕变速率越小,沥青材料的老化程度越大,其低温性能越差。

3 结论

(1) 对比老化前后沥青胶浆和基质沥青的针入度,矿粉的加入可降低沥青胶浆的针入度。

(2) 随着紫外老化时长的增加,沥青胶浆的复数剪切模量和车辙因子均增大,其中光照 120 h 后的复数剪切模量和车辙因子最大,随着老化时长的增加,沥青胶浆的高温性能增强。

(3) 紫外辐射时长增加会加剧沥青胶浆的老化现象,紫外光照时长越长,沥青胶浆老化越严重,沥青胶浆的老化过程遵循“时长等效”原则。

(4) 随着紫外光照时长的增加,沥青胶浆的劲度模量越来越大,蠕变速率越来越小,低温性能越来越差。

参考文献:

[1] Zeng Wenbo, Wu Shaopeng, Wen jin, et al. The temperature effects in aging index of asphalt during UV aging process[J]. Construction and Building Materials, 2015, 93.

[2] 王强,袁野,欧阳春发,等.废旧橡胶改性沥青的老化研究现状[J].高分子通报,2015(6).

[3] Recasens R M, Martinez A, Jimenez F P, et al. Effect of filler on the aging potential of asphalt mixtures[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005(1901).

[4] 王秉纲,李平,张争奇,等.矿粉对沥青老化性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(4).

[5] 李平.基于胶浆特性的沥青混合料设计[D].西安:长安大学,2007.

[6] Tan yiqiu, Li zhihui, Zhang xiaoyan, et al. Research on

病害,设计、施工中应引起重视,加强防水设计。该文通过对临水路基垮塌工程实例的分析,找到主要诱发因素,进而确定有针对性的处治措施,可为类似工程提供参考。临水路基的设计要点是准确进行稳定性分析,充分考虑影响稳定的主要因素,综合采取临水侧路基防护、加固等措施,保证路基有足够的安全储备。

参考文献:

- [1] 杨刚毅.福州市某公路工程沿河高路堤处置方案[J].福建交通科技,2018(2).
- [2] 孟宝华,邓宇,章宁,等.加筋土柔性结构在深厚填方边坡治理工程中的应用[J].土工基础,2018,32(4).
- [3] 丹增平措,肖亚军.西藏昌都地区沿河公路路基水毁抢修措施探讨[J].西藏科技,2017(10).
- [4] 黄良娟,贺春,沈士军.沿河路基拼宽方案设计[J].中国水运:下半月,2014,14(5).
- [5] 蒲增刚.福厦铁路玉塘洋特大桥台尾路基垮塌原因分析及处理措施[J].路基工程,2014(6).
- [6] 徐东伟.沿河路基冲刷机理与防护措施初探[J].北方交通,2013(3).
- [7] 葛海军,江明明.广东某高速公路沿河路堤边坡处治设计方案[J].江苏建筑,2013(1).
- [8] 陈远川,陈洪凯.山区沿河公路路基洪水毁损过程及机理研究[J].公路,2012(11).
- [9] 窦彦磊,阎宗岭,王敏.复合加筋土挡墙在沿河路基中的应用[J].路基工程,2010(5).
- [10] 柴贺军,李海平,王俊杰.山区公路斜坡地形路基病害类型及处治方法[J].公路交通技术,2008(6).
- [11] 杨烨.山区公路沿河路基稳定性分析评价与设计[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [12] 朱孟坤.临水高填土路堤加宽加高边坡稳定性分析[D].南京:南京林业大学,2011.
- [13] 赵庆如,王更贵.浅谈在河道整治工程中石笼的应用[J].智能城市,2018,4(7).
- [14] 黄保荣,徐仁山.浅谈加筋格宾挡墙在高填土边坡中的应用[J].低碳世界,2017(34).
- [15] 丁莲姬.浅谈沿河路堤防护设计措施[J].科技创新导报,2011(34).
- [16] 路云,王亚玲,宋路娟.沿河路基坡脚处防护措施的综合应用[J].北方交通,2010(7).

收稿日期:2018—10—17

(上接第 59 页)

- high and low-temperature properties of asphalt-mineral filler mastic[J].Journal of Materials in Civil Engineering,2010,22(8).
- [7] 叶奋,黄彭.强紫外线辐射对沥青路用性能的影响[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(7).
- [8] 余建英,庞凌,吴少鹏.沥青材料老化与防老化[M].武汉:武汉理工大学出版社,2012.
- [9] 谭忆秋.沥青及沥青混合料[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.
- [10] 李祖仲,吴江龙,陈栓发,等.沥青胶浆中矿粉沉降的影响因素及沉降检验[J].长安大学学报:自然科学版,2012,32(4).
- [11] 李丽.沥青胶浆技术性能及评价方法研究[D].西安:长安大学,2004.

收稿日期:2018—11—22

(上接第 65 页)

- [3] 王宝峰.车辆制动对沥青路面结构影响分析[J].公路,2016(2).
- [4] 郑木莲.水平荷载作用下高模量沥青混凝土路面力学响应数值分析[J].公路,2013(9).
- [5] 沈金安.沥青及沥青混合料路用性能[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [6] 钱振东,杨宇明.低速与变速动载作用下沥青路面动力响应[J].中南大学学报:自然科学版,2015,46(3).
- [7] 李江.不同车速下沥青路面结构的动力响应[J].公路交通科技,2015,32(8).
- [8] 杨博.基于有限元方法的沥青路面车辙影响因素分析及应用研究[D].西安:长安大学,2010.
- [9] 廖公云,黄晓明.ABAQUS 有限元软件在道路工程中的应用[M].南京:东南大学出版社,2008.
- [10] 李皓玉.车辆与路面相互作用下路面结构动力学研究[D].北京:北京交通大学,2011.
- [11] 龙超.车辆与路面相互作用下路面结构动力分析[D].长沙:湖南大学,2013.
- [12] 王保实.移动荷载作用下半刚性基层沥青路面结构的动力响应研究[D].西安:西安建筑科技大学,2011.

收稿日期:2018—10—23