

文章编号:1005-0523(2012)02-0015-06

氙灯加速老化对沥青混合料性能的影响

何文华,郭韦韦,杨群

(同济大学交通运输工程学院,上海 201804)

摘要:为考察沥青混合料的性能受光照的影响,对三种级配类型及四种沥青的沥青混合料进行氙灯加速老化试验。用马歇尔稳定度和流值、紫外光老化前后马歇尔稳定度和流值的变化分别评价沥青混合料的高温稳定性和抗紫外光老化能力。结果表明木质素纤维能够有效改善沥青混合料的高温稳定性及抗紫外光老化性能。不同级配类型的沥青混合料的高温稳定性和抗紫外光老化性能各有差异:密级配受影响程度最小,半开级配次之,开级配最差。这些特点可以为沥青混合料紫外光老化的研究提供有益的参考,也为紫外线辐射强烈的西部地区沥青混合料的评价与选择提供依据。

关键词:沥青混合料;高温稳定性;抗紫外光老化;级配类型;木质素纤维

中图分类号:U414

文献标志码:A

在紫外线辐射强烈的高寒地区,沥青路面中的沥青结合料易被紫外线辐射而过早老化及衰变,从而影响沥青路面的路用性能和使用寿命。因此在高寒地区评价与选择沥青路面时,应考虑沥青混合料的紫外光老化产生的影响。

当前对沥青老化的研究以热老化为主^[1],主要研究手段为旋转薄膜烘箱/薄膜烘箱(RTFOT/TFOT)和压力老化试验(PAV)。而紫外光老化和热老化机理并不同,因此有必要对沥青的紫外光老化进行探讨。Glotova等建立了沥青光氧老化的机理雏形,发现沥青光氧化的速度取决于辐射类型^[2]。谭忆秋等研究了紫外光老化沥青机理^[3],认为沥青对热老化和紫外线辐射的敏感度不同。叶奋等的研究表明丁苯橡胶能有效提高沥青抗紫外光老化性能的作用^[4]。吴欢和梁乃兴对热拌沥青混合料进行光照老化对比实验^[5],以劈裂强度为指标,发现SBR改性沥青混合料比基质沥青混合料表现出更好的抗紫外光线老化性。

上述文献研究了紫外光老化沥青的机理,针对紫外光对沥青的老化,提出添加SBR可以提高沥青混合料的抗紫外光老化性能,但对其他改性沥青混合料抗紫外光老化性能的研究较少,也未提出其他改善改性沥青混合料抗紫外光老化性能的方法。

有鉴于此,本文从紫外光对沥青混合料性能影响的角度出发,利用氙灯老化试验箱模拟沥青混合料受太阳光照作用的老化,采用加速老化的方法对沥青混合料进行老化,以马歇尔稳定度和流值、紫外光老化前后马歇尔稳定度和流值的变化分别评价沥青混合料的高温稳定性和抗紫外光老化能力。研究不同级配类型、不同沥青、木质素纤维对沥青混合料后对沥青混合料抗紫外光老化性能的影响,为紫外线辐射强烈的西部高寒地区的沥青路面设计和养护提供理论依据和应用指导。

1 沥青混合料设计

采用的沥青分4种:PE改性沥青中加纤维(PE+纤维)、PE改性沥青(PE)、基质沥青加纤维(纤维)、基质沥青。采用3种不同级配类型:密级配沥青混合料、半开级配沥青混合料、开级配沥青混合料。混合料的制备有添加纤维和不添加纤维两种方案,总共有24种不同的设计,每种试件的数量为4个。

收稿日期:2012-02-14

作者简介:何文华(1983—),男,硕士研究生,研究方向为道路材料。

1.1 原材料

1.1.1 沥青

基质沥青采用东海 AH-70 #基质沥青,PE 改性沥青选用重庆智翔公司生产的热塑性树脂类聚乙烯(PE)改性沥青,技术指标见表 1。

表 1 沥青主要技术指标
Tab.1 Testing values of asphalt

材料	针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1 mm	延度(10℃,5 cm/min)/cm	软化点/℃	含蜡量/%	TFOT后残留物质量变化/%
基质沥青	72.3	16.3	50.5	1.7	-0.10
PE 改性沥青	92	9.8	47.5	2.6	-0.04

1.1.2 集料

本试验所用粗集料均为重庆地区玄武岩,石料洁净、干燥、无风化、无杂质,所用细集料以及填料包括石屑、矿粉,经试验测定质量符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中规定的质量技术要求。

1.1.3 纤维

本实验采用的纤维是松散状路用木质素纤维,其主要技术指标如表 2。

表 2 木质素纤维的主要技术指标
Tab.2 Main technical indicators of cellulose fiber

参数	纤维直径/ μm	纤维长度/mm	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	颜色	比表面积/ $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$	耐热性/℃	抗拉强度/MPa
测试值	5~20	2~7	0.9	浅灰	11 000	170	300

1.2 矿料级配设计

采用 3 种矿料级配,其配合比数据见表 3。

表 3 沥青混合料矿料级配通过率
Tab.3 Passing rates of mineral aggregate gradation of asphalt mixture %

矿料级配	筛孔尺寸/mm									
	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
密级配	100.0	95.0	70.0	43.0	30.0	21.0	14.0	9.5	6.5	6.0
半开级配	100.0	95.0	65.0	32.5	18.0	12.0	9.0	7.5	6.0	4.0
开级配	100.0	95.0	50.0	25.0	14.0	10.0	8.0	6.0	5.0	3.0

通过试验确定密级配沥青混合料、半开级配沥青混合料、开级配沥青混合料的最佳油石比分别为 5.1%,4.4%,4.0%。

2 紫外光老化试验

加速老化试验采用江苏艾默生科技有限公司生产的氙灯老化试验箱 SN-900,用于模拟材料曝露在阳光下所产生的变化,评估材料组成变化后的耐用性变化等。在目前已知的人工光源中,氙灯老化试验箱所获得的光源谱线与太阳光的光谱分布比较接近^[6],采用氙灯可以很好地模拟太阳光。

由于室内强紫外线照射时间长短会直接影响试验结果的准确性,故将室外强日光紫外线辐射时间(或量)换算成室内强紫外线辐射时间(或量)。室外参考标准取自青海省果洛州的大武镇,其总强日光紫外线辐射量为 $35\text{ kJ}\cdot(\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$ 。通过计算得出单位试件表面的紫外线辐射强度,并由此将室外强日光紫外线辐射时间换算成室内强紫外线辐射时间,换算结果见表 4。

表 4 室内外紫外线辐射时间换算表

Tab.4 Conversion chart of indoor and outdoor ultraviolet radiation

室外紫外线辐射时间/a	0.3	0.4	0.5	1	1.5
室内紫外线辐射工作日/d	3.6	4.8	6	12	18

氙灯老化试验箱参数设定:黑板温度 60 ℃ ;箱内湿度 80 % ;光照强度 580 w·m⁻²;工作日定时 10 h。设定氙灯老化试验箱每天照射 10 h,间隔 12 h,即设备的 12 个工作日的总辐射量相当于室外 1 年总辐射量。

将制备好的 24 种马歇尔试件分为两组,一组试件不进行紫外光老化,另外一组进行紫外光老化试验,连续光照时间为 12 个工作日(120 h)。

3 马歇尔稳定度试验结果

按最佳油石比配制沥青混合料,进行马歇尔试验测得马歇尔稳定度和流值。计算沥青混合料马歇尔稳定度和流值经过紫外光老化后相对于紫外光老化前的下降比。所得值为负值,说明稳定度和流值上升。

3.1 密级配沥青混合料

对密级配沥青混合料,试验结果见表 5 和图 1,2。

表 5 密级配沥青混合料马歇尔试验结果
Tab.5 Marshall test results of dense-graded asphalt mixture

指标	是否紫外光老化	PE+纤维	PE	纤维	基质沥青
稳定度/kN	否	8.47	8.32	8.74	8.31
	是	8.09	5.99	7.94	7.43
稳定度下降比/%	-	4.5	28.0	9.2	10.6
流值/mm	否	3.83	3.33	1.96	2.97
	是	3.65	3.59	1.91	3.17
流值下降比/%	-	4.7	-7.8	2.6	-6.7

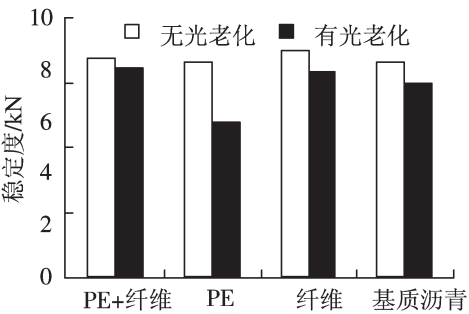


图 1 密级配沥青混合料马歇尔稳定度对比分析图
Fig.1 Marshall stability comparative analysis of dense-graded asphalt mixture

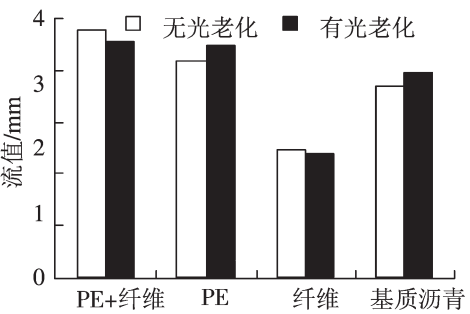


图 2 密级配沥青混合料流值对比分析图
Fig.2 Flow value comparative analysis of dense-graded asphalt mixture

从图 1 可以看出,经过紫外光老化后的密级配沥青混合料的稳定度都产生了不同程度的下降。从表 5 稳定度的变化可以看出,经过紫外光老化后,添加纤维后的稳定度下降(为 4.5%)远小于未加纤维的 PE 改性沥青混合料的稳定度的下降(为 28.0%);添加纤维之后基质沥青混合料紫外光老化后的稳定度只有轻微的下降。这说明添加纤维有利于减少密级配沥青混合料的稳定度的下降,但对于基质沥青混合料的减小幅度远不如 PE 改性沥青混合料明显。

从图 2 可以看出不同沥青种类的密级配沥青混合料经过紫外光老化后的流值变化规律复杂。在未添加纤维时,PE 改性沥青和基质沥青混合料紫外光老化后的流值都增大了,添加纤维之后的 PE 改性沥青和基质沥青混合料经紫外光老化后的流值都有所下降,下降幅度分别为 4.7%和 2.6%。

从以上分析可以发现添加纤维有利于提高密级配沥青混合料抗紫外光老化性能。

3.2 半开级配沥青混合料

对于半开级配沥青混合料,试验结果见表 6 和图 3,4。

从图 3 可以看出,经过紫外光老化后,半开级配沥青混合料的稳定度下降较为接近。通过对表 6 的分

析得,经过紫外光老化后,添加纤维的PE改性沥青混合料的稳定度的下降(为9.9%)小于未加纤维的PE改性沥青混合料的稳定度下降(为12.2%);添加纤维的基质沥青混合料紫外光老化后的稳定度下降(为8.5%)也小于未加纤维的基质沥青混合料紫外光老化后的稳定度下降(为13.8%)。

表6 半开级配沥青混合料马歇尔试验数据

Tab.6 Marshall test results of half open-graded asphalt mixture

指标	是否紫外光老化	PE+纤维	PE	纤维	基质沥青
稳定度/kN	否	10.58	9.37	8.23	7.75
	是	9.53	8.23	7.53	6.68
稳定度下降比/%	-	9.9	12.2	8.5	13.8
流值/mm	否	5.41	5.03	4.15	3.08
	是	3.02	2.94	2.82	2.24
流值下降比/%	-	44.2	41.6	32.0	27.3

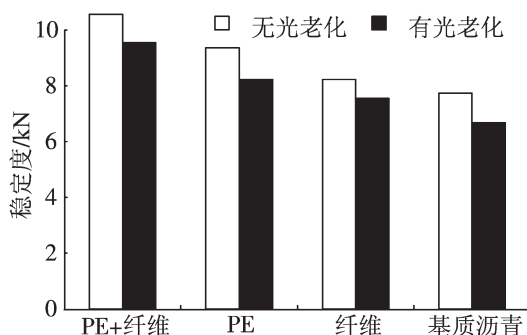


图3 半开级配沥青混合料马歇尔稳定度对比分析图
Fig.3 Marshall stability comparative analysis of half open-graded asphalt mixture

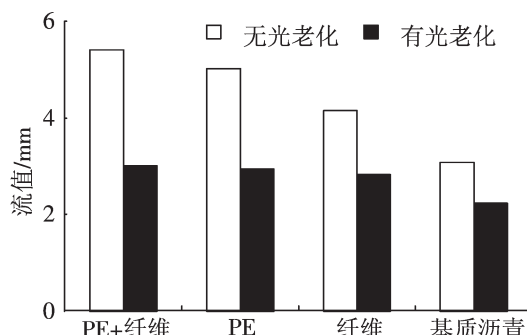


图4 半开级配沥青混合料流值对比分析图
Fig.4 Comparative analysis of flow value of semi-open-graded bituminous paving mixtures

从图4可以看出,经过紫外光老化后,半开级配沥青混合料的流值都发生了较大的下降。从表6的计算可以看出,紫外光老化之后,未添加纤维的PE改性沥青混合料的流值下降为41.6%,接近于添加纤维之后流值的下降幅度(44.2%);在添加纤维前后,基质沥青混合料紫外光老化后的流值下降分别为27.3%,32.0%。

通过上述分析,纤维的添加减少了半开级配沥青混合料紫外光老化后稳定度的下降幅度,而流值在紫外光老化之后的下降幅度并没有变大,可以认为添加纤维没有显著提高半开级配沥青混合料的抗紫外光老化性能。

3.3 开级配沥青混合料

对开级配沥青混合料,试验结果见表7和图5,6。

从图5可以看出,经过紫外光老化后,开级配沥青混合料的稳定度都下降了。从表7可以得出,未添加纤维的PE改性沥青混合料紫外光老化后的稳定度下降反而比添加纤维之后的稳定度下降幅度要大;未添加纤维之前,基质沥青混合料紫外光老化后的稳定度下降了23.6%,添加纤维之后的稳定度下降了4.7%。

从图6可以看出,经过紫外光老化后,不同沥青种类的开级配沥青混合料的流值也都下降了。从表7可以看到,未添加纤维的PE改性沥青混合料紫外光老化后的流值下降远小于比添加纤维之后的稳定度下降幅度,分别为2.3%和14.7%;未添加纤维之前,基质沥青混合料紫外光老化后的流值下降了14.2%,添加纤维之后的流值下降了9.1%。

可以看出,添加纤维增大了PE沥青混合料紫外光老化后的稳定度和流值的下降幅度,但添加纤维后,基质沥青混合料紫外光老化后的稳定度和流值的下降幅度明显。

表 7 开级配沥青混合料马歇尔试验数据

Tab.7 Marshall test results of open-graded asphalt mixture

指标	是否紫外光老化	PE+纤维	PE	纤维	基质沥青
稳定度/kN	否	7.08	6.55	5.49	4.24
	是	6.37	6.17	5.23	3.24
稳定度下降比/%	-	10.0	5.8	4.7	23.6
流值/mm	否	3.00	3.00	2.86	2.53
	是	2.56	2.93	2.60	2.17
稳定度下降比/%	-	14.7	2.3	9.1	14.2

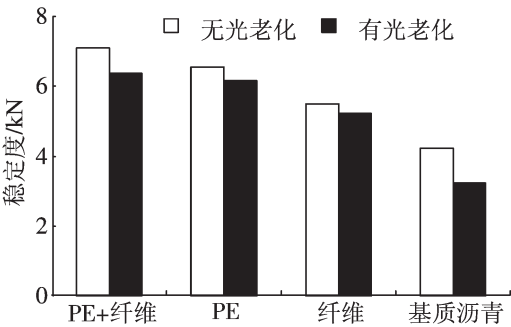


图5 开级配沥青混合料马歇尔稳定度对比分析图
Fig.5 Marshall stability comparative analysis of open-graded asphalt mixture

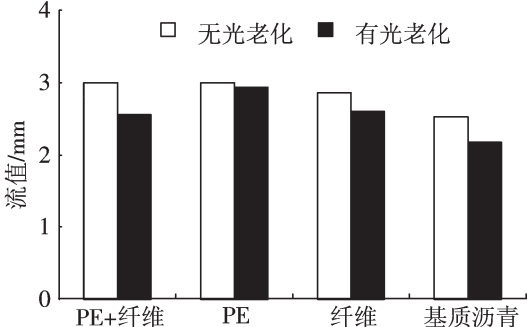


图6 开级配沥青混合料流值对比分析图
Fig.6 Flow value comparative analysis of open-graded asphalt mixture

4 分析与讨论

用马歇尔稳定度和流值评价沥青混合料的高温稳定性。从表5~7的数据及图1~6可以看出,对于相同级配类型的沥青混合料,无论是否添加纤维,PE改性沥青混合料的马歇尔稳定度和流值一般都大于基质沥青混合料。说明改性PE沥青的高温稳定性优越于基质沥青。

对于密级级配沥青混合料,马歇尔稳定度和流值按大小次序表现为:PE<PE+纤维。对于半开级配和开级配沥青混合料,马歇尔稳定度和流值按大小次序基本上符合以下规律:基质沥青<纤维<PE<PE+纤维。这说明掺加纤维能够有效改善沥青混合料的高温稳定性。

从级配类型出发,无论是否添加纤维,对于不同级配的PE改性沥青混合料的马歇尔稳定度和流值大小次序为:开级配<密级配<半开级配。对于不同级配的基质沥青混合料的马歇尔稳定度和流值大小次序为:开级配<半开级配<密级配。

用沥青混合料紫外光老化后的马歇尔稳定度和流值的变化(主要是下降)评价沥青混合料的抗紫外光老化能力。紫外光老化后,混合料的马歇尔稳定度和流值下降越小,表明混合料的抗紫外光老化能力越强。对比添加纤维前后不同级配的沥青混合料的抗紫外光老化能力,纤维对沥青混合料的抗紫外光老化改善程度大小次序为:开级配<半开级配<密级配。而对于不同的级配,密级配的空隙率最小,开级配的空隙率最大,半开级配的空隙率居中。

出现上述结论的原因可能是,模拟太阳光的氙灯同样包含频率不一的长短波,一般高分子材料的敏感波段在290~400 nm,而波长为200~400 nm的紫外线可使沥青的分子链处于激发态,在氧的存在下发生自动光氧反应,而高温将加速光氧老化过程^[7],使得材料的力学性能明显下降,这一短波中紫外线占最主要的部分。试件空隙率较大,紫外线光照更容易穿过沥青膜,穿透到试件的一定深度,而较大空隙率的试件与空气接触更充分,紫外光老化也就更严重。

添加木质素纤维后沥青混合料的抗紫外光老化性能有了不同程度的提高,这种现象的出现可能与木

质素的紫外光谱的特征吸收峰有关。木质素的紫外光谱的特征吸收峰,首先是在280 nm附近很强的吸收,其实是在210 nm附近的吸收;另外在230 nm及310~350 nm附近有弱的吸收峰^[8],这使得木质素纤维对紫外光有强烈的吸收。纤维沥青混合料中木质素纤维尽管被沥青结合料所裹覆,但木质素纤维依然能吸收一定量的从沥青膜穿透的紫外线,从而在一定程度上改善沥青混合料的抗紫外光老化性。

5 结语

1) 用马歇尔稳定度和流值评价沥青混合料的高温稳定性。改性PE沥青的高温稳定性优越于基质沥青。从级配类型出发,无论是否添加纤维,PE改性沥青混合料的高温稳定性的大小次序为:开级配<密级配<半开级配。基质沥青混合料的高温稳定性的大小次序为:开级配<半开级配<密级配。

2) 用沥青混合料紫外光老化后的马歇尔稳定度和流值的变化(主要是下降)评价沥青混合料的抗紫外光老化能力。掺加纤维可以有效提高沥青路面的高温稳定性及抗紫外光老化性能,说明在高寒地区的公路建设中可以考虑应用木质素纤维来提高路面的路用性能。

3) 纤维对不同级配类型的沥青混合料的抗紫外光老化改善程度大小次序为:开级配<半开级配<密级配。从高温稳定性和抗紫外光老化性能出发,可以认为密级配沥青混合料相对比其它两种级配更适合于紫外线辐射强烈的西部高寒地区的应用。

参考文献:

- [1] 庞凌. 沥青紫外光老化特性研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008:4-6.
- [2] GLOTOVA N A, KATS B I, GROSHKOV V S. Photooxidation of asphalts in thin films[J]. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 1974, 10(11): 876-879.
- [3] 谭忆秋, 王佳妮, 冯中良, 等. 沥青结合料紫外光老化机理[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 19-24.
- [4] 叶奋, 孙大权, 黄彭, 等. 沥青强紫外线紫外光老化性能分析[J]. 中国公路学报, 2006, 19(6): 34-39.
- [5] 吴欢, 梁乃兴. SBR改性沥青混合料紫外光照老化分析[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(2): 72-74.
- [6] 邵若燕. 连续氙灯在太阳模拟器中的应用研究[J]. 光源与照明, 2008, 12(4): 18-20.
- [7] 魏荣梅, 余剑英, 吴少鹏, 等. 紫外光老化对沥青化学族组成和物理性能的影响[J]. 石油沥青, 2006, 20(1): 6-10.
- [8] 蒋挺大. 木质素[M]. 2版. 北京:化学工业出版社, 2009: 58-59.

Effect of Xenon Lamp Accelerated Aging on the Performance of Asphalt Concrete

He Wenhua, Guo Weiwei, Yang Qun

(School of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Asphalt concretes with three gradation types and four kinds of asphalts are aged with the xenon lamp to study the performance of modified asphalt exposed to sunlight. Marshall stability and flow value and the change are used to evaluate respectively the high temperature stability and anti-ultraviolet aging ability. The results show that lignin fiber can improve high temperature stability and anti-ultraviolet aging ability of asphalt concretes. High temperature stability and anti-ultraviolet aging ability of asphalt concretes with different gradation types is different. High temperature stability and ultraviolet light resistance aging performance of different gradation types of asphalt mixture have differences: influence of dense gradation is the smallest, half-open gradation is the second smallest, and open gradation the worst. These features can provide helpful reference for asphalt mixture ultraviolet aging research, and provide the evaluation and selection of the asphalt mixture in the western region of ultraviolet radiation.

Key words: asphalt concrete; high temperature stability; anti-ultraviolet aging; gradation type; lignin fiber