

文章编号:1671-6833(2014)03-0094-04

基于室内模拟老化试验对沥青性能的研究

许培俊^{1,2}, 刘建飞^{1,2}, 丛培良^{1,2}, 陈拴发^{1,2}

(1. 长安大学 材料科学与工程学院 陕西 西安 710064; 2. 交通铺面材料教育部工程研究中心, 陕西 西安 710064)

摘 要: 沥青材料抗老化性能是影响沥青路面耐久性的关键因素, 试验室模拟老化试验是研究沥青抗老化性能的重要方法. 通过对沥青进行旋转薄膜烘箱老化试验、针入度测试、软化点测试和动态旋转流变分析, 探讨了不同老化条件对沥青性能的影响及沥青老化的机理. 结果表明: 延长老化时间, 提高老化温度会使沥青质量损失加大, 软化点提升, 针入度降低, 沥青混合料耐疲劳性减弱; 老化时间和温度的改变可以较大幅度的改变沥青的流动性; 当提高剪切速率时, 沥青的流变性指数降低.

关键词: 道路沥青; 老化性能; 旋转薄膜烘箱老化; 老化条件; 室内模拟

中图分类号: U416.217 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.023

0 引言

沥青的抗老化性是影响沥青路面长期使用性能的主要因素^[1-2]. 室内老化模拟试验可以较为精确的控制试验条件, 加速老化进程, 是评价沥青老化特性的常用手段^[3]. 国内外学者已进行大量的沥青模拟老化试验研究, 认为热氧老化是沥青老化的最主要因素^[4-5]. 相关研究人员采用旋转薄膜烘箱试验(RTFOT)模拟沥青的短期老化过程^[6], 研究沥青的老化行为, 并探讨了沥青的短期和长期老化性能、路用性能、流变特性, 以及老化对沥青黏弹性的影响. 虽然国内外对沥青老化的相关研究已经很多, 但对影响沥青老化规律的因素研究不够全面, 未能建立不同老化条件与沥青性能的对应关系. 为了更为真实地模拟路面沥青的老化状态, 笔者进行条件各异的热氧老化模拟试验, 参考实际可能出现的环境进行测试, 探讨它们之间的等效关系, 对掌握沥青老化规律, 评价沥青路面的耐久性具有重要意义.

1 试验

1.1 试验材料

试验采用道路石油基质沥青, 针入度等级为 70#, 针入度指数 PI 为 -1.68 , 质量损失为 0.05% , 软化点为 $48\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.2 试验方法

采用室内短期老化试验模拟沥青在现场施工拌和铺筑过程中的老化情况. 使用 85 型沥青旋转薄膜烘箱, 依据《JTGE20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程》, 分别对道路石油基质沥青进行 3 个温度(135 , 150 和 $163\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和 3 个老化时间(40 , 80 和 120 min) 的老化试验, 使用 LT-2806G 全自动沥青软化点试验仪测试沥青的软化点, 使用 SYD-2801C 型针入度试验仪测试沥青的针入度; 采用普费提出的针入度指数评价沥青的感温性; 用动态剪切流变法(DSR)试验测沥青的流变特性. 试验设计方案流程图如图 1 所示.

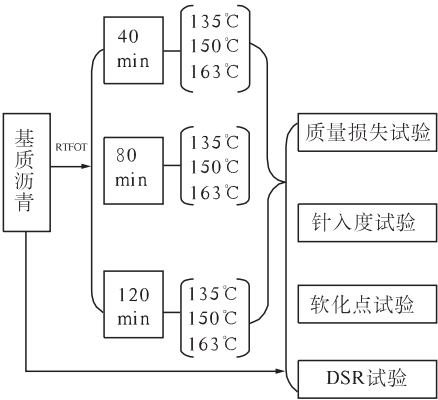


图 1 试验流程图

Fig. 1 The flow chart of experimental procedure

收稿日期:2014-01-11; 修订日期:2014-02-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51208050); 中国博士后基金资助项目(2013M530413).

通信作者:许培俊(1984-), 男, 甘肃兰州人, 长安大学讲师, 博士, 主要从事高分子材料合成与改性、沥青铺面材料高性能化等研究工作, E-mail: xupei jun@ chd. edu. cn.

2 结果与分析

2.1 常规测试结果

沥青的相关性能指标质量损失、针入度和软化点的测试结果分别如图 2(a)、(b)、(c) 所示。在 RTFOT 试验中,老化时间的延长和老化温度的提升都会增大质量损失(图 2(a)). 高温条件下沥青经短期老化后挥发量显著提升,老化时间对挥发的影响比在低温条件下大. 在老化过程中,轻质油分挥发使沥青变轻,但沥青又会与空气中的氧气发生化学反应而增重. 但在 135~163℃ 温度范围内,由挥发所损失的质量大于由氧化而增加的质量.

老化时间的延长和老化温度的提升也会降低沥青的针入度(图 2(b)). 在 135~163℃ 温度范围内,温度越低,针入度的降低幅度越小,在同一老化温度下,随着时间的延长针入度逐渐减小.

老化时间的延长和温度的提高可以提升沥青的软化点(图 2(c)). 有文献提到短期老化可以作为一种改善沥青混合料性能的有效方法,通过铺筑高硬沥青混凝土路面来提高抗车辙性,但老化沥青在低温天气里的疲劳开裂现象非常明显.

2.2 温度敏感性

温度敏感性可用于表征沥青随温度发生性质变化的程度. 沥青性质随温度变化幅度小,则沥青的感温性好,反之则感温性差. 目前国内较多使用针入度指数(PI)表征沥青的感温性^[7]. PI 是评价沥青感温性应用最广泛的指标,数值越小,表示沥

青的温度敏感性越强. 如果知道在 25℃ 时的软化点和标准针入度,PI 就可以通过式(1)和式(2)计算出来. 假定在软化点的针入度为 800.

$$A = [\log 800 - \log (P_{25})] / (TRB - 25). \tag{1}$$

$$PI = (20 - 500A) / (1 + 50A). \tag{2}$$

基于 60℃ 温度和 0.4/s 的剪切速率,老化指数 AI 可通过式(3)计算.

$$AI = (\eta_{aged} - \eta_{unaged}) / \eta_{unaged}. \tag{3}$$

表 1 为老化沥青和原始沥青在 135℃、150℃ 和 163℃ 下的老化指数和针入度指数.

从表 1 中可以看出,经薄膜烘箱老化后的沥青,PI 大都有大幅降低. 在同等温度下,老化时间越长,PI 越大,此时沥青的感温性较弱,而在同等时间下,老化温度对沥青的感温性影响规律并不明显. 在一定温度范围内,老化时间会影响沥青的感温性,且随着时间的延长沥青温度敏感性越弱,老化温度的影响相对不明显.

2.3 流变性

2.3.1 动态剪切黏度测试结果

随着老化时间的延长和老化温度的提高,沥青黏度大幅度提升,表明老化条件影响沥青的流动性,其原因是沥青复模量提高了. 另外,剪切速率提高时黏度系数反而降低,经长时间高温老化的沥青剪切变稀的现象比较明显,表明老化和硬化使沥青的线性黏弹性向高温范围转变.

图 3 更清晰地展示了搅拌时间和搅拌温度对沥青黏性的影响. 结果表明,低温(135℃)长期老化是无害的,而在高温尤其在 163℃ 时老化较为

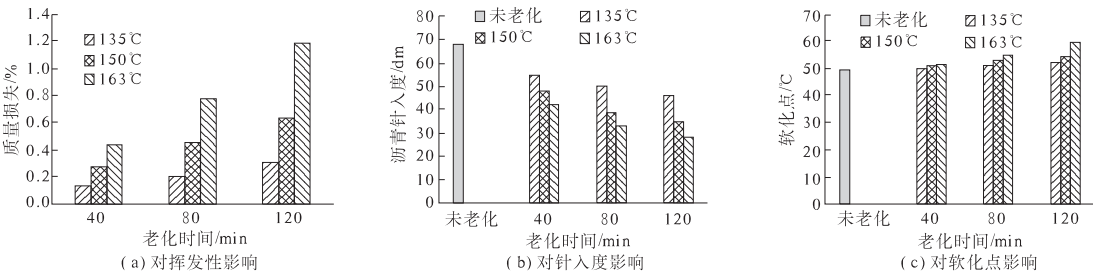


图 2 老化时间和温度对挥发性针入度及软化点的影响

Fig. 2 The influence of aging time and temperature for volatility & penetration & softening point

表 1 老化沥青和原始沥青的老化指数和针入度指数

Tab. 1 Aging index and penetration index of aging asphalt and original asphalt

老化条件	未老化	135℃			150℃			163℃		
		40 min	80 min	120 min	40 min	80 min	120 min	40 min	80 min	120 min
PI	-0.61	-1.05	-0.98	-0.83	-1.04	-1.08	-0.99	-1.27	-0.98	-0.37
ΔPI	0.00	-0.45	-0.37	-0.22	-0.43	-0.47	-0.38	-0.66	-0.38	0.24
AI	0	25	26	68	127	122	369	125	306	758

严重.假设以旋转薄膜烘箱中的暴露时间作为沥青厂生产沥青流程中搅拌时间的模拟,由表 1 和图 5 可以看出,搅拌时间延长为原来的 1.5 倍(从 80 min 增长到 120 min,在 163 ℃下),老化指数增长了 1.5 倍(从 306% 增长到 758%).另外对比在 150 ℃下经 120 min 老化的沥青与在 163 ℃下经 80 min 老化的沥青,后者黏度更高.

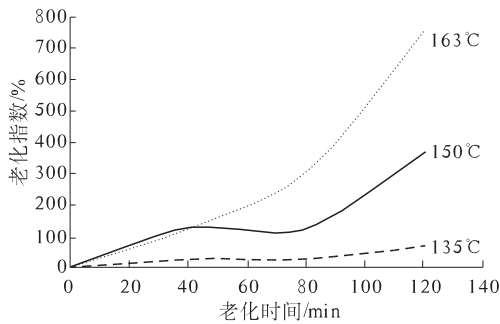


图 3 老化条件对老化指数的影响

Fig. 3 The influence of aging time for aging index

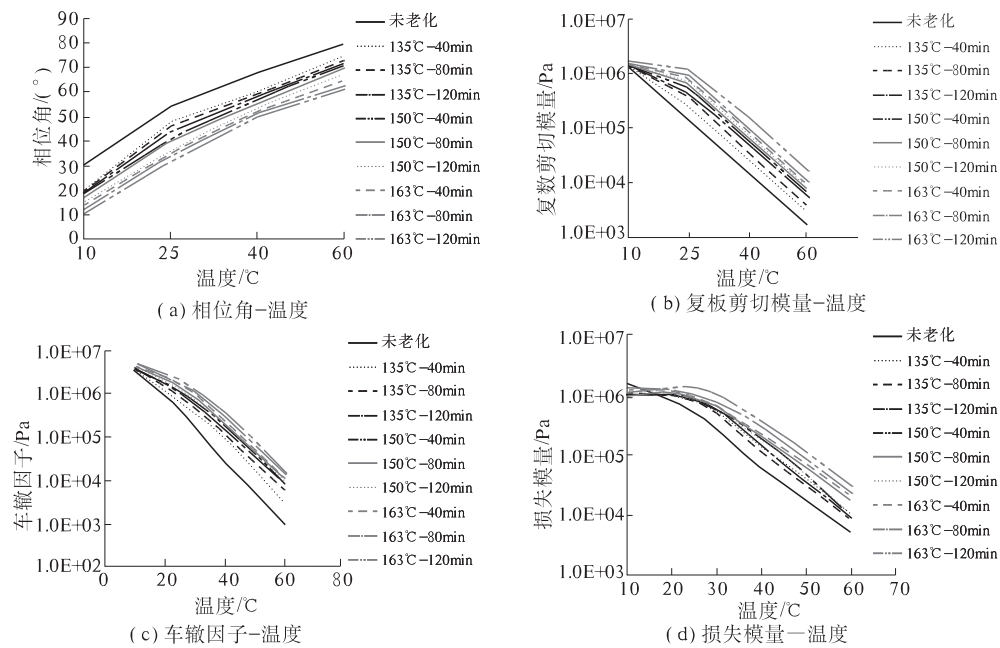


图 4 不同条件老化后的沥青的复数剪切模量 G^* , 车辙因子 G' , 损失模量 G'' 和相位角 δ 与温度的影响

Fig. 4 The effect of temperature for G^* , G' , G'' and δ of aging asphalt by different condition

2.5 老化沥青混合料的耐疲劳性

沥青混合料在 25 ℃ 下的疲劳参数如图 6 所示.转速为 10 rad/s 时的 $G^* \sin \delta$ 被认为是沥青在变形过程中不可恢复部分的能量损失,值越大荷载作用下的剪切损失越快,可利用的能量越少.结果表明,在一定的温度范围内,沥青的老化时间越短、温度越低,越能提高耐疲劳性.这一结论与相关文献中提到的经低温混合压实所得到的沥青混合料较常温下的沥青混合料抗疲劳性更好论点相

2.3.2 DSR 测试结果

沥青的复数剪切模量 G^* ,车辙因子 G' ,损失模量 G'' 和相位角 δ 与温度的关系如图 4 所示.通过对沥青流变参数与试验温度的回归分析可知,经不同时间和温度老化的沥青,复数剪切模量都有所增加.从沥青混合料抗车辙角度看,老化沥青的使用性能比原始沥青要好.但沥青刚度的提高会使其低温环境下的道路使用性能变差,弹性的缺失,沥青开裂的可能性提高.而沥青刚度的增大也可减弱混合料在高温时的永久变形.

2.4 老化沥青混合料的抗车辙性能

作为抗车辙性的一个数值指标,车辙因子 ($G^* / \sin \delta$) 反映了沥青材料的永久变形能力,值越高,高温时流动变形越小,抵抗车辙能力就越强.沥青混合料在 60 ℃ 和 40 ℃ 的车辙参数如图 5 所示,图中标识“130 - 40”表示 130 ℃,40 min.结果表明,增加沥青在旋转薄膜烘箱中的老化时间和温度可以提升抗车辙能力.

一致.

3 沥青老化机理分析

沥青的老化过程非常复杂伴有多种物理化学变化,很难直观地进行描述.在沥青的老化过程中,其饱和组分是相对比较稳定的,在整个老化过程中变化不大,而芳香分较易发生氧化聚合反应,胶质中含极性官能团的组分通过分子间的聚合与缩合作用转变为沥青质.即沥青组分大致按芳香

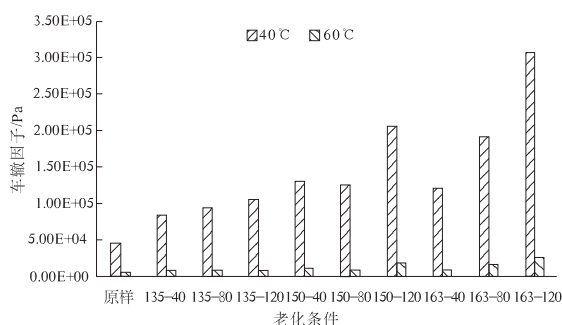


图5 老化条件对抗车辙性能的影响

Fig. 5 The influence of aging conditions for the rutting resistance

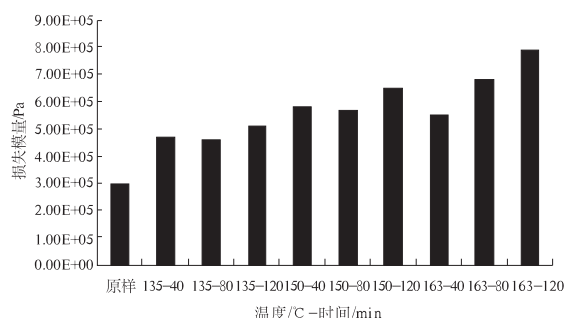


图6 25 °C下老化条件对沥青混合料耐疲劳性的影响

Fig. 6 The influence of aging conditions for asphalt mixture fatigue resistance at 25 °C

分→胶质→沥青质的路线向重质化的方向转化。因此,沥青老化的过程可以认为是沥青化学组分移行的结果^[8]。沥青的氧化速度主要受温度影响,当温度高于100 °C时,氧与沥青中的活性基团化合速度迅速增加,生成含氧羰基官能团,同时有明显的脱氢缩合现象,并产生水与二氧化碳;温度较低时,氧化反应较为缓慢,氧被吸收存于沥青中,参与沥青中酯类活性基团的聚合、转化,生成大分子极性含氧基团。沥青受热老化主要是因为沥青中的轻质油组分挥发,改变了沥青的原有结构组分;尤其是在较高的温度下,沥青发生变质,组分中含有的不饱和键消逝,改变了沥青的结构链接。

4 结论

通过旋转薄膜烘箱老化、针入度、软化点测试和DSR试验,研究了老化时间和老化温度对沥青流变性能的影响,得出以下结论:

- (1) 延长老化时间,提高老化温度会使基质沥青的质量损失增大,软化点提升,针入度降低。
- (2) 老化使沥青的温度敏感性变差,但在某

一老化温度下,延长老化时间可以提升沥青的温度敏感性。在160 °C下经40 min老化的沥青具有最高的温度敏感性,其PI为-1.27;在163 °C下经120 min老化的沥青具有最低的温度敏感性,其PI为-0.37。

(3) 通过流变性参数可以看出老化时间和温度的改变可以较大幅度的改变沥青的流动性。当提高剪切速率时,沥青的流变性指数降低;经过高温长时间老化的沥青,剪切稀化现象明显,硬化使沥青的线性黏弹性范围向高温区域转变。

(4) 在10 °C到60 °C范围内的任一温度,老化使复剪切模量提高。从复模量指数可以看出,在低温条件下,老化使沥青柔韧性降低,高温开裂的可能性增大。适当的延长老化时间、提高老化温度可以提升沥青混合料的抗车辙能力。温度为163 °C经120 min老化的沥青所制备的混合料抗车辙能力最强。

(5) 在25 °C时的疲劳参数表明提高旋转薄膜烘箱的固化时间和老化温度使混合料的耐疲劳性降低;基质沥青混合料具有最好的耐疲劳性。

参考文献:

- [1] 赵永利,顾凡,黄晓明. 基于FTIR的SBS改性老化特性分析[J]. 建筑材料学报,2011,14(5):620-623.
- [2] 廖公云,黄晓明,巴桑顿珠. 适应西藏高原环境的沥青抗紫外线老化试验研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,2008,24(4):503-507.
- [3] 栗培龙,张争奇,王秉纲,等. 道路沥青热氧老化模拟试验研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2008,29(1):119-123.
- [4] 陈华鑫,陈拴发,王秉纲. 基质沥青老化行为与老化机理[J]. 山东大学学报:工学版,2009,39(2):125-130.
- [5] 李宁利,李铁虎,裴建中,等. 沥青抗老化研究现状[J]. 材料导报,2007,21(10):84-86.
- [6] 李平,张争奇,王秉纲. 薄膜烘箱试验对于改性沥青适用性探讨[J]. 河北工业大学学报,2007,36(1):106-109.
- [7] 王翠红,王子军,龙军. 针入度试验对沥青针入度指数的影响[J]. 石油沥青,2005(4):14-17.
- [8] 李海军,黄晓明,曾凡奇. 道路沥青老化性状分析及评价[J]. 公路交通科技,2005(4):5-8.

(下转第110页)