

高粘改性沥青受太阳辐射老化的行为机理研究

冯宇飞

上海浦东路桥(集团)有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20267

[摘要] 通过全气候老化、温度扫描、零剪切粘度、衰减全反射傅里叶红外光谱等试验,研究太阳光辐射老化高粘度改性沥青前后的流变性能、分子量、微观形貌等指标,得知在太阳辐射-热耦合老化下,高粘度改性沥青具有明显的老化深度梯热分布效应,其表面老化速率最快,随着深度增加,逐渐减缓;随着太阳辐射的影响,高粘改性沥青聚合物形态在不同老化深度下具有显著的变化,在表面,具有连续的微裂纹并且聚合物相结构几乎完全降解。

[关键词] 高粘; 改性沥青; 太阳; 辐射; 老化; 行为机理; 基团; 聚合物; 相结构

中图分类号: TV442+.1 文献标识码: A

Study on the Behavioral Mechanism of High Viscosity Modified Asphalt Aged by Solar Radiation

Yufei Feng

(shanghai Pudong Road and Bridge (Group) Co. LTD)

[Abstract] Through experiments such as full-climate aging, temperature scanning, zero shear viscosity, and attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy, the rheological properties, chemical composition, molecular weight, and microscopic morphology of high-viscosity modified asphalt before and after solar radiation aging were studied. It was found that under solar radiation-thermal coupling aging, high-viscosity modified asphalt exhibits a significant aging depth gradient thermal distribution effect, with the surface aging rate being the fastest and gradually slowing down with increasing depth. With the influence of solar radiation, the polymer morphology of high-viscosity modified asphalt changes significantly at different aging depths. On the surface, there are continuous micro-cracks and the polymer phase structure is almost completely degraded. As the aging depth increases, the degradation rate of the polymer phase structure gradually slows down, and the influence of solar radiation gradually decreases.

[Key words] high viscosity; modified asphalt; sun radiation; aging; behavioral mechanism; radical; polymer phase structure.

引言

太阳辐射是沥青路面材料老化不可避免的因素之一。一些研究人员发现紫外线对沥青老化影响较大^[1],也有一些研究聚焦于树脂类沥青的抗老化特性,紫外光与环境温度耦合作用也是研究重点之一,其整体上能加快沥青老化速度。然而,经大量调研,知悉目前尚未有关于高粘度改性沥青受太阳辐射影响而老化的专项研究,尤其基于某国产高粘度改性剂A改性的沥青研究更是空白。

因此,为了探究太阳辐射导致高粘度改性沥青老化的行为机理,课题组通过开展全气候老化、温度扫描、零剪切粘度、衰减全反射傅里叶红外光谱等试验,对老化前后高粘度改性沥青的流变性能、分子量、微观形貌变化情况进行了研究与分析。

1 试验材料

试验材料为70#基质沥青、SBS改性沥青和高粘改性沥青(掺入12%高粘改性剂A)。上海浦东路桥沥青材料有限公司研制和生产的高粘改性剂A及各种沥青的性能指标分别见表1-1和表1-2。

表1-1 高粘改性剂A的基本性能指标要求

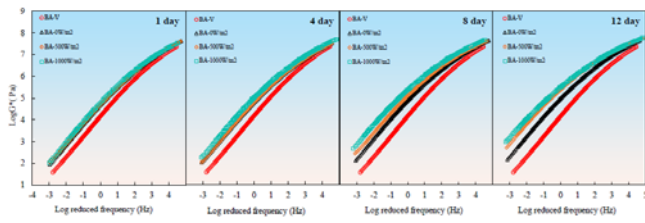
测试指标	单位	技术要求
灰分	%	≤0.5
硬度	A	≥50
300%定伸应力	MPa	≥1.0
伸长率	%	≥800
熔体流动速率	g/10min	≥3.0
密度	g/cm ³	0.95~1.02
气味	-	无刺激性气味

表1-2 沥青的基本性能指标

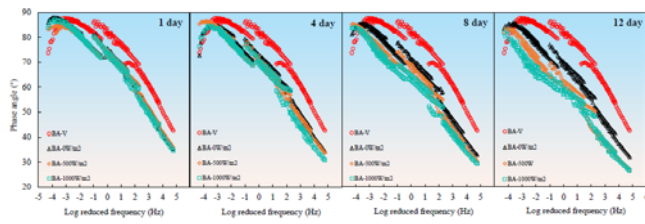
沥青类型	测试指标	温度	测试结果
70#基质沥青	延度/cm	15° C	>100
	针入度/0.1mm	25° C	74.6
	软化点/°C	-	51.6
12%高粘改性沥青	延度/cm	5° C	52.8
	针入度/0.1mm	25° C	39.9
	软化点/°C	-	86.3

2 高粘改性沥青试验结果

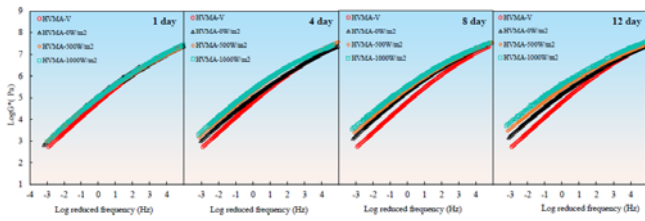
2.1 流变主曲线试验结果



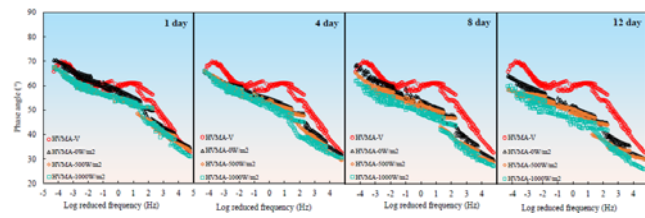
(a) 70#基质沥青-复数模量主曲线



(b) 70#基质沥青-相位角主曲线



(c) 高粘改性沥青-复数模量主曲线



(d) 高粘改性沥青-相位角主曲线

图2-1 不同太阳辐射强度下的流变主曲线试验结果

由图2-1可见,随着太阳辐射强度和气候老化时间的增加,70#基质沥青和高粘改性沥青复数模量与相位角主曲线分别上移和下移。这说明气候老化作用会导致这两种沥青的硬度变大。70#基质沥青和高粘改性沥青复数模量变化范围分别

约为101-108Pa和103-108Pa,相位角主曲线变化范围分别是26°-87°和25°-70°。聚合物的存在主要影响着高粘改性沥青的低频复数模量(由103减小到101)和低频相位角(由87°减小到70°),而对高频复数模量和相位角的影响则并不明显^[2]。

就复数模量主曲线而言,老化作用对高粘改性沥青的低频区影响更加显著,而在高频区则会形成一个交差点^[3]。70#基质沥青复数模量主曲线也表现出相似规律。就相位角主曲线而言,在气候老化作用前,高粘改性沥青的相位角主曲线存在着明显地聚合物控制平台区(10-4~102Hz),这是由于高粘改性沥青存在着丰富的交联聚合物相网状结构,进而影响高粘改性沥青的低频流变能。随着气候老化进行,高粘改性沥青相位角平台区逐渐开始消失,表明其中的聚合物相态结构逐渐被破坏。这是由于在热和UV辐射作用下,聚合物中所包含碳碳双键聚丁二烯嵌段容易被氧化,进而导致聚合物链的破坏和分子降解。作为对比,70#基质沥青的相位角主曲线便不存在这种相位平台区。

当太阳辐射强度为0W/m²时,70#基质沥青和高粘改性基质沥青的复数模量主曲线和相位角的变化主要是由于热老化所引起。当太阳辐射强度0W/m²增长到500W/m²和1000W/m²时,70#基质沥青和高粘改性的复数模量主曲线和相位角的变化则是由于太阳辐射老化或-热耦合老化导致。因此,可以发现太阳辐射作用对流变性能的老化效果基本与热老化效果一致。此外,随着太阳辐射强度的增加,70#基质沥青流变主曲线变化幅度明显大于高粘改性沥青,这表明,聚合物的参加能够降低沥青流变性能对老化作用的敏感性^[4-5]。

2.2 MSCR试验结果

图2-2(a)和图2-2(b)给出了高粘改性沥青的R_{0.1}和R_{3.2}结果。可以发现,随着试验温度增加,高粘改性沥青R值逐渐减小,因为高粘改性沥青是感温材料。高粘改性沥青R_{0.1}值均大于R_{3.2}值,说明较大的蠕变应力不利于高粘改性沥青的弹性恢复性能。随着气候老化进行,高粘改性沥青的R_{0.1}值和R_{3.2}值均呈先减小后增大的变化趋势,气候老1d是应变恢复率(R)发生变化的老阶段转折点。在不同的太阳辐射强度作用下,高粘改性沥青的R_{0.1}值和R_{3.2}值变化幅度并不相同。在下降阶段(0-1天),高粘改性沥青在0W/m²下的R下降幅度最大,其次是500W/m²,高粘改性沥青在1000W/m²下的R下降幅度最小。在0-1天,聚合物应变恢复率的减小是由于相主导作用。然而此时沥青的氧化也会对R的变化具有贡献。在1000W/m²下,高粘改性沥青中氧化最显著,因此提供了最好弹性恢复,故此时高粘沥青在1000W/m²下的弹性恢复衰减幅度最小。在上升阶段(1-12天),高粘改性沥青在1000W/m²下的R值最大,其次是500W/m²,高粘改性沥青在0W/m²的R值最小。

图2-2(c)和图2-2(d)为高粘改性沥青在不同太阳辐射老化作用下的不可恢复蠕变柔量(J_{nr})结果。随着温度的升高,高粘改性沥青的J_{nr}明显增大,表明其高温抗变形能力差。高粘改性沥青在3.2kPa蠕变应力下的J_{nr}均大于在0.1kPa蠕变应力下的J_{nr},表明所施加蠕变应力的增加会降低其高温性能。随着气候老化时间的增加,高粘改性沥青的J_{nr}总体上呈先增大后减小的变化趋势。

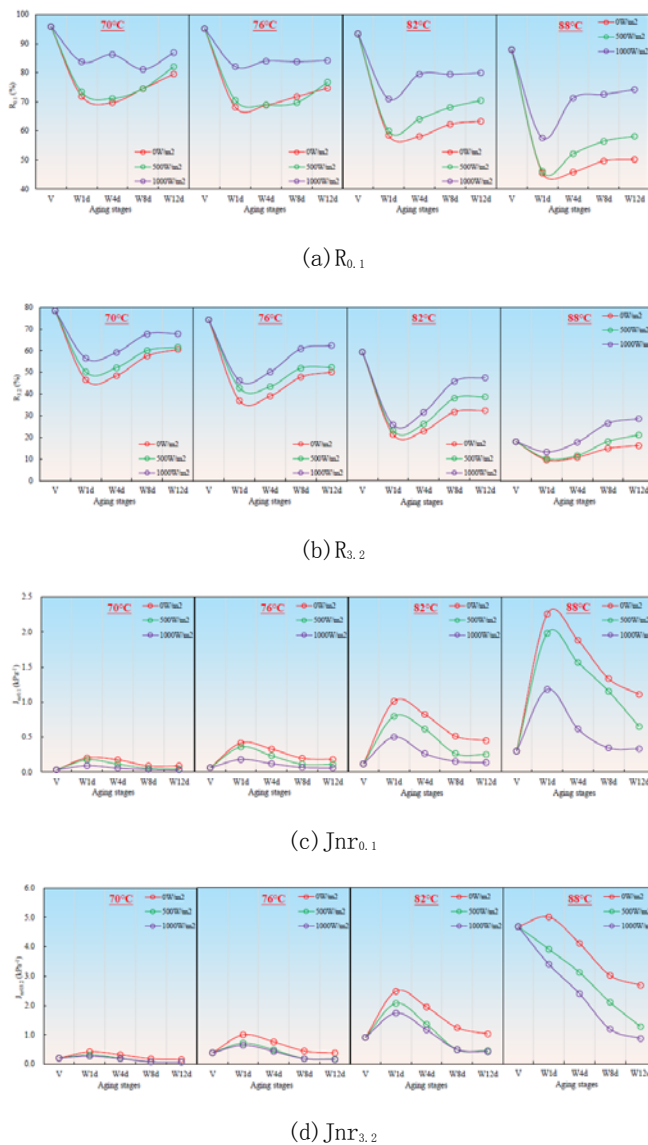


图2-2不同辐射强度作用下的MSCR试验结果

2.3 零剪切粘度试验结果

随着剪切速率的增加,高粘改性沥青的剪切粘度逐渐减小(剪切变稀特性)。气候老化作用会导致高粘改性沥青的剪切粘度增加。这是因为在气候老化过程中,高粘改性沥青重分子量组分不断增加,而起润滑作用的组分减少所致。随着气候老化时间的增加,高粘改性沥青的零剪切粘度逐渐增大,表明气候老化作用会导致高粘改性沥青的高温性能增强。在 $0W/m^2$ 辐射强度下,高粘改性沥青在气候老化中零剪切粘度的增加主要是由于热老化导致的。因此,可以发现热老化导致的高粘改性沥青零剪切粘度的增加幅度很小(图中红线)。当太阳辐射强度由 $0W/m^2$ 增加到 $500W/m^2$ 和 $1000W/m^2$ 时,高粘改性沥青的零剪切粘度大幅增加,这主要是由于太阳辐射和热的耦合老化作用所致。此外,随着辐射强度的增加,HVMA的零剪切粘度随气候老化时间增长速率明显加快,这进一步表明,太阳辐射强度的增大会显著加快高粘改性沥青的气候老化进程。

3 分子量变化情况

随着气候老化时间与太阳辐射强度的增加,高粘改性沥青中聚合物峰变小、沥青质含量增加,说明在气候老化过程中,高粘改性沥青中发生了聚合物降解与氧化,增加太阳辐射强度会加速高粘改性沥青在老化中的组分变化(聚合物降解,软沥青向沥青质转变)。

在 $0W/m^2$ 辐射强度下,不同深度范围的高粘改性沥青分子量分布差异性小。当辐射强度增加到 $500W/m^2$ 时,在前1d时老化时间范围内,不同深度范围高粘改性沥青分子量差异仍比较小,当老化时间增加至4d时,与较深高粘改性沥青相比,较浅深度两组(A组合B组)高粘改性沥青的聚合物峰已小幅度减少,且沥青质峰同时也轻微向左移;当老化时间延长至8d-12d时,前述两种趋势更加明显。

当辐射强度增加到 $1000W/m^2$ 时,气候老化的深度效应愈加显著,且随着老化时间增加,这种老化深度效应更加明显。

4 微观相态形貌变化

在 $0W/m^2$ 辐射强度下,高粘改性沥青的聚合物相结构比较丰富,且伴随着老化时间延长,高粘改性沥青的聚合物相结构会逐渐衰减。在 $500W/m^2$ 和 $1000W/m^2$ 辐射强度下,高粘改性沥青的聚合物相结构明显衰减。随着辐射强度的增加,高粘改性沥青的聚合物相结构衰减更加明显。在太阳辐射作用下,高粘改性沥青的表面($0\mu m$)产生裂纹。随着老化时间的延长,表面便会开裂并不断扩展。当老化深度为 $100\mu m$ 时,高粘改性沥青开始出现小且多的聚合物相颗粒,表明该深度处也发生着物的大量降解。随着老化深度增加,聚合分子尺寸逐渐变大,表明太阳辐射的影响逐渐减弱。

5 结论

(1)在单独的热老化作用下,高粘改性沥青没有显示出明显深度梯分布效应。然而,在太阳辐射-热耦合老化下具有明显的老化深度梯分布效应。高粘改性沥青在表面上具有最快的老化速率,随着深度增加,其老化速率逐渐减缓。(2)随着太阳辐射的影响,高粘改性沥青聚合物形态在不同老化深度下具有显著的变化。在表面,具有连续的微裂纹并且聚合物相结构几乎完全降解。随着老化深度的增加,聚合物相结构降解速率逐渐减慢,太阳辐射的影响逐渐降低。(3)随着太阳辐射强度的增加,高粘改性沥青表面老化更显著,并且老化作用向下的传播速率也显著增加。这两个方面共同导致高粘改性沥青的宏观流变性能加速劣化。

【参考文献】

[1]鹿凌.沥青紫外光老化特性研究[D].武汉理工大学,2008.
 [2]齐亚妮.新疆强紫外线地区橡胶沥青室内模拟老化实验研究[D].新疆大学,2011.
 [3]李力.内蒙古西北部地区沥青混合料抗紫外线老化试验研究[D].西安建筑科技大学,2013.
 [4]程经纬.环氧树脂基混凝土的冲击和老化性能研究[D].华南理工大学,2016.
 [5]徐震.低温与强紫外线辐射耦合作用下沥青路用性能研究[D].兰州交通大学,2024.

作者简介:

冯宇飞(1979--),男,汉族,山东日照人,高级工程师,硕士,主要从事市政、水利水电等工程领域技术管理与工程管理。