

植物基生物质油对老化沥青再生效果研究

李宁利^{1,2}, 冯丽平¹, 栗培龙^{*2}

(1. 河北工业大学 土木与交通学院, 天津 300401;

2. 长安大学 道路结构与材料交通运输行业重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要: 为了探究生物质油作为再生剂的可行性, 研究不同种类生物质油对老化沥青的再生效果. 通过沥青三大指标试验和布氏旋转黏度试验对生物质油再生沥青的物理性能进行评价; 通过傅里叶变换红外光谱试验分析不同种类生物质油的官能团结构, 探究生物质油再生效果存在差异性的原因. 结果表明: 老化沥青中掺入 10% 的生物质油能有效改善其物理性能, 提高针入度与延度, 降低软化点与黏度. 不同种类生物质油对老化沥青的再生效果不同, 蓖麻类和果木类生物质油的再生效果最好, 稻壳类和毛竹类生物质油次之, 棉籽类生物质油的再生效果最差. 红外光谱试验表明 5 种生物质油含有相同的官能团结构, 蓖麻类和果木类生物质油含有较多的芳香族化合物, 芳香族化合物的强度影响再生效果. 5 种生物质油对 70 号老化沥青的推荐掺量应控制在 10% 以下; 对于 90 号老化沥青, 蓖麻类与果木类生物质油的掺量应控制在 10% 以下, 稻壳类、棉籽类与毛竹类生物质油的掺量需提高.

关键词: 道路工程; 再生沥青; 傅里叶变换红外光谱; 生物质油

中图分类号: U414

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb202303010

0 引言

沥青老化是道路耐久性所面临的巨大问题, 道路因老化出现坑槽、裂缝等病害, 维修养护产生了大量的废旧沥青混合料^[1-2]. 由于传统的再生剂多为矿物油, 易对人体与环境造成危害, 且价格较高^[3], 导致废旧沥青混合料再生利用率较低. 生物质油由生物质经过压榨与萃取、热解、酸解、醇解等工艺制得^[4], 根据来源的不同, 可分为 3 类: 猪粪等动物粪便类; 木屑、秸秆等植物类; 餐饮废油、废弃油脂等地沟油类^[5]. 生物质油不仅来源广泛、价格低廉, 而且所含的化学元素与石油沥青相似, 二者具备相似相溶性和稳定性^[6]. 近年来, 研究人员对生物质油再生老化沥青的可行性进行了研究, 发现生物质油能显著提高老化沥青的针入度与延度, 降低其软化点与黏度^[7-9]. Fini 等^[10-11]、Hill 等^[12]、Oldham 等^[13]利用猪粪制备生物质油, 发现其能改善老化沥青的流变性能, 提高低温性能.

Lo Presti 等^[14]和 Borghi 等^[15]研究了松木油对老化沥青再生性能的影响, 发现松木油能够恢复老化沥青的物理性能与流变性能. 曾梦澜等^[16]发现随着蓖麻油掺量的增加, 再生沥青针入度增大, 软化点降低, 肖庆一等^[17]亦发现植物油具备相同的规律. Zargar 等^[18]和 Nciri 等^[19]研究发现废食用油与废弃油脂能提高老化沥青的针入度与延度, 降低其软化点与黏度; Zahoor 等^[20]亦综述废食用油再生沥青的可行性, 发现了相同的再生规律, 但油的酸值及含水量对再生效果有不利影响. 张雪飞等^[21-22]和彭样^[23]研究了木焦油基和桐油再生沥青, 发现二者具有较好的抗老化性. 李君峰^[24]亦发现蓖麻油再生沥青的抗老化性不低于原样沥青, 表明生物质油能提高沥青的抗老化性.

综上所述, 研究人员对生物质油再生老化沥青进行了大量研究, 但缺乏对不同种类生物质油再生效果的综合对比, 对生物质油再生效果存在

收稿日期: 2022-03-29; 修回日期: 2023-03-07.

基金项目: 天津市科技计划项目(18JCTPJC55800); 长安大学重点科研平台开放基金资助项目(300102210510).

作者简介: 李宁利(1977—), 女, 博士, 副教授, E-mail: lnl808@hebut.edu.cn; 栗培龙*(1980—), 男, 博士, 教授, E-mail: lipeilong@chd.edu.cn.

差异性的原因尚未明确.因此,本文主要以 4 种短期老化沥青为研究对象,采用 5 种不同种类的生物质油来恢复老化沥青的性能.通过三大指标试验和布氏旋转黏度试验比较 5 种生物质油对 4 种老化沥青性能的恢复效果.通过傅里叶变换红外光谱试验研究生物质油再生效果的差异性,为生物质油作为再生剂提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)沥青

本文选用 4 种沥青进行研究,分别为鑫海 70 号、伦特 70 号、壳牌 70 号和伦特 90 号沥青,4 种沥青物理性能指标见表 1.

表 1 沥青物理性能指标
Tab.1 Physical performance index of asphalt

沥青种类	25 ℃针入度/ 0.1 mm	软化点/℃	10 ℃延度/ cm	135 ℃黏度/ (Pa·s)	RTFOT 试验后(T0610—2011)		
					质量变化/%	残留针入度比/%	残留延度/cm
鑫海 70 号	70.6	49.2	>100	0.381	—0.185	61.05	9.3
伦特 70 号	65.0	47.4	>100	0.406	—0.205	62.50	8.8
壳牌 70 号	63.7	49.5	40	0.400	—0.190	67.80	6.5
伦特 90 号	89.1	48.4	61.9	0.337	—0.210	63.20	7.8

(2)生物质油

本研究选用的 5 种生物质油由衡水前进油脂有限责任公司、新疆普朗克能源有限公司、禾乐生物质燃料(唐山)有限公司以及温州甬文设备提供,原材料为稻壳、蓖麻、棉籽、毛竹和果木,均通过快速热裂解的方式制备.5 种生物质油分别记为稻壳类生物质油(A)、蓖麻类生物质油(B)、棉籽类生物质油(C)、毛竹类生物质油(D)和果木类生物质油(E),其技术指标见表 2.

表 2 生物质油技术指标
Tab.2 Technical index of biomass oil

生物质油 种类	密度/ (g·cm ⁻³)	60 ℃黏度/ (Pa·s)	常温状态	气味
A	1.141	0.225	黑色黏稠液态	秸秆燃烧气味
B	1.042	0.175	棕色黏稠膏状	刺鼻油脂气味
C	1.038	0.400	黑色膏状	刺鼻油脂气味
D	1.131	0.375	黑棕色液态	酸腐气味
E	1.018	0.188	黑色膏状	木材燃烧气味

1.2 老化沥青的制备

采用现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[25](以下简称试验规程)T0610 中 RTFOT 的方式制备短期老化沥青,其物理性能指标见表 3.

表 3 短期老化沥青物理性能指标

Tab.3 Physical performance index of short-term aged asphalt

沥青种类	25 ℃针入度/ 0.1 mm	软化点/ ℃	10 ℃延度/ cm	135 ℃黏度/ (Pa·s)
鑫海 70 号 老化沥青	43.1	54.7	9.3	0.742
伦特 70 号 老化沥青	40.6	53.8	8.8	0.588
壳牌 70 号 老化沥青	43.2	54.5	6.5	0.600
伦特 90 号 老化沥青	56.3	53.5	7.8	0.538

1.3 再生沥青的制备

生物质油中含有一定的水分,如果直接使用,搅拌过程中会出现大量气泡,导致沥青出现轻微喷溅现象,同时随着水分蒸发,生物质油的掺量会出现误差,影响生物质油的再生效果.为了避免沥青喷溅,减少水分对生物质油再生效果的影响,需要对生物质油进行预处理.预处理的温度为 100 ℃,试验过程中发现:当温度低于 100 ℃时,处理时间过长;高于 100 ℃时,蒸发过程中不仅去除了水分,还会使少量的轻质组分挥发,过高的温度使得果木类生物质油出现细小结块现象,破坏了生物

质油本身的性质.参考朱洪洲等^[26]的处理方式,确定本文的预处理方式如下:将生物质油置于烧杯中,用电炉进行加热,并用玻璃棒不断搅拌,温度控制在100℃,直到生物质油中无气泡产生.

一些研究者^[27-28]发现生物质油掺量在10%以下,老化沥青的再生效果较好.Fang等^[29]综述了生物质油再生老化沥青的应用,总结了生物质油再生沥青的制备工艺范围:剪切温度130~145℃;剪切时间10~30 min;剪切速率1 000~3 000 r/min.结合现有的研究成果,确定本文的制备方式如下:将预处理得到的生物质油按10%(外掺)加入老化沥青中,在135℃下,采用“手动+剪切机”的搅拌方式将二者充分混合,手动搅拌20 min,剪切机以2 000 r/min剪切10 min,最终制得生物质油再生沥青.

1.4 试验方法

1.4.1 三大指标试验 对原样沥青、老化沥青和生物质油再生沥青进行25℃针入度、10℃延度和软化点测试,均按照试验规程中T0604、T0605和T0606执行.

1.4.2 布氏旋转黏度试验 采用黏度仪(Brookfield DV-Ⅱ+Pro型)对原样沥青、老化沥青和生物质油再生沥青,在115、125、135、145和155℃下进行黏度测试,并绘制黏温曲线,评价生物质油对老化沥青黏度的影响.

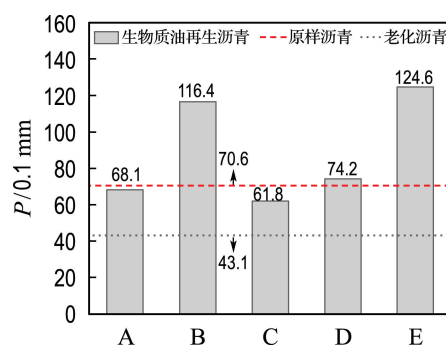
1.4.3 傅里叶变换红外光谱试验 通过傅里叶变换红外光谱试验对5种生物质油进行官能团结构分析,探究不同种类生物质油再生效果存在差异性的原因.

2 结果与讨论

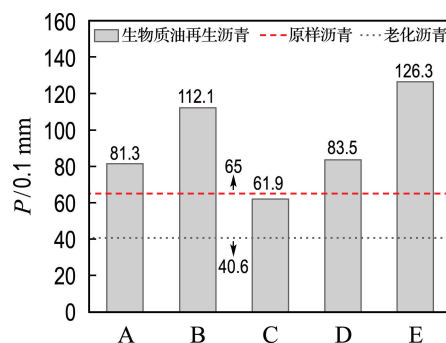
2.1 生物质油对老化沥青三大指标的影响

2.1.1 针入度 针入度是我国沥青标号划分的主要依据,能表征沥青的软硬程度,针入度越大,沥青越软;反之,沥青越硬.不同种类生物质油对老化沥青针入度的影响如图1所示.

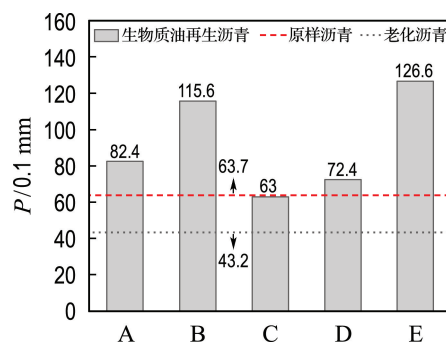
以原样沥青和老化沥青的针入度作为参考线,由图1(a)~(c)可知:3种70#沥青老化后,针入度降低;加入10%的生物质油再生,针入度显著提高.针入度的提高可能是生物质油中富含的芳香分与饱和分发挥了软化、稀释的作用^[30].



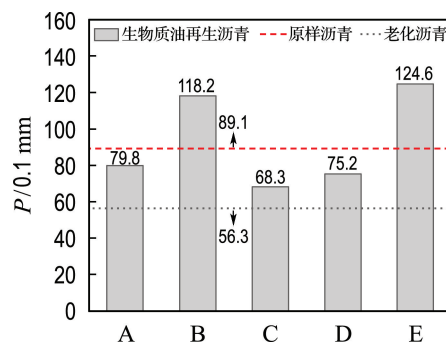
(a) 鑫海 70#



(b) 伦特 70#



(c) 壳牌 70#



(d) 伦特 90#

图1 不同种类生物质油对短期老化沥青针入度的影响

Fig. 1 Influence of different kinds of biomass oils on penetration of short-term aged asphalt

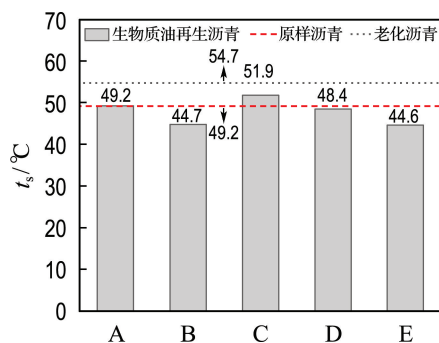
不同种类生物质油对老化沥青针入度的恢复程度有所差异:生物质油 A 能使伦特 70# 与壳牌 70# 老化沥青的针入度恢复至原样沥青状态,显著提高鑫海 70# 老化沥青的针入度;生物质油 B、D、E 可以使老化沥青针入度恢复至原样沥青状态,其中生物质油 B、E 使 70# 老化沥青针入度的增幅超过 160%;生物质油 C 是 5 种生物质油中再生效果最差的,虽然能使老化沥青的针入度提高,但未达到原沥青针入度的要求。

《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ F40—2004)(以下简称规范)^[31]规定 70# 石油沥青的针入度为 60~80(0.1 mm)。当生物质油掺量为 10% 时,生物质油 A 使伦特 70# 与壳牌 70# 老化沥青的针入度超出规范范围;生物质油 D 使伦特 70# 老化沥青的针入度超出规范范围;生物质油 B、E 再生沥青的针入度也超出规范范围,生物质油 E 再生沥青针入度竟高达 120(0.1 mm),远远大于规范要求。相同掺量下,生物质油 C 再生沥青的针入度均满足规范要求。因此,对于 70# 老化沥青,生物质油的掺量应控制在 10% 以下。根据生物质油对 70# 老化沥青针入度恢复情况,得出生物质油再生效果排序:生物质油 B、E 再生效果最佳,生物质油 A、D 次之,生物质油 C 再生效果最差。

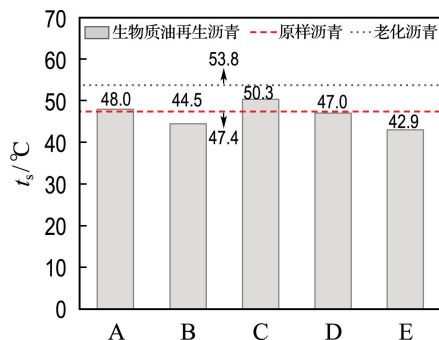
根据图 1(d)可知,伦特 90# 沥青老化后,针入度下降了 36.8%,加入生物质油后,针入度提高。规范中规定 90# 石油沥青的针入度为 80~100(0.1 mm)。在 10% 的掺量下,生物质油 B、E 使老化沥青的针入度恢复至 118(0.1 mm)以上,远远超出了规范范围,并且高于原沥青的针入度。相同掺量下,生物质油 A、C、D 只能在一定程度上提高老化沥青的针入度,再生沥青的针入度不满足规范要求,表明生物质油 A、C、D 的再生效果劣于生物质油 B、E。

2.1.2 软化点 软化点反映了石油沥青高温稳定性的好坏。5 种生物质油对 4 种老化沥青软化点的影响如图 2 所示。

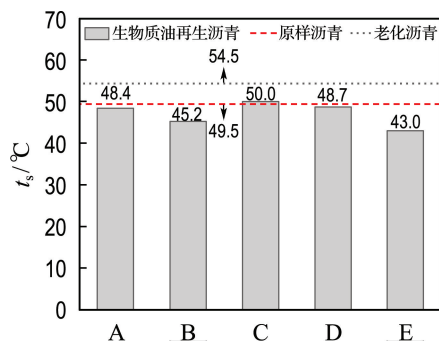
由图 2(a)~(c)可知:70# 老化沥青的软化点随着生物质油的掺加而降低,但降低幅度因生物质油种类的不同而存在差异。生物质油 B、E 的降低幅度最大,生物质油 A、D 次之,生物质油 C



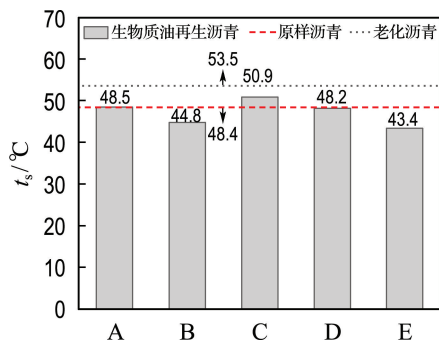
(a) 鑫海 70#



(b) 伦特 70#



(c) 壳牌 70#



(d) 伦特 90#

图 2 不同种类生物质油对短期老化沥青软化点的影响

Fig. 2 Influence of different kinds of biomass oils on softening point of short-term aged asphalt

降幅最小. 规范中规定 70 号石油沥青软化点应高于 44 ℃. 生物质油 E 掺量为 10% 时, 伦特 70 号与壳牌 70 号再生沥青的软化点低于 44 ℃, 不满足规范要求. 相同掺量下, 生物质油 A、B、C、D 再生沥青软化点满足规范要求.

根据图 2(d) 可知: 伦特 90 号沥青老化后, 软化点提高. 相同掺量下, 不同种类生物质油对伦特 90 号老化沥青软化点的降幅与 70 号老化沥青软化点的降幅规律相同. 在 10% 的掺量下, 5 种生物质油再生沥青的软化点满足规范要求, 均高于 43 ℃. 因此, 生物质油的掺量应控制在 10% 以下, 过量掺入会影响再生沥青的高温稳定性.

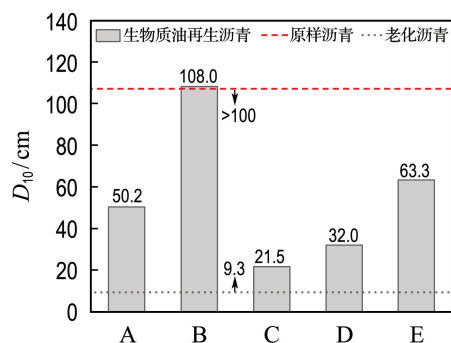
2.1.3 延度 延度是表征石油沥青低温性能的重要指标. 图 3 反映了生物质油对老化沥青延度的影响.

由图 3(a)~(c) 可知, 生物质油改善了 70 号老化沥青的延度, 不同种类生物质油对老化沥青延度的改善效果存在差异. 生物质油 B、E 改善效果最好, 生物质油 A、C、D 的改善效果稍差. 规范中规定 70 号石油沥青的延度不低于 15 cm, 生物质油再生沥青的延度均能满足规范要求. 在 10% 的掺量下, 生物质油 B 的改善能力最好, 能使鑫海 70 号与壳牌 70 号老化沥青的延度恢复至原样沥青状态, 有效地改善了沥青的低温性能. 其他 4 种生物质油的改善效果较弱, 再生后的沥青低温性能较差.

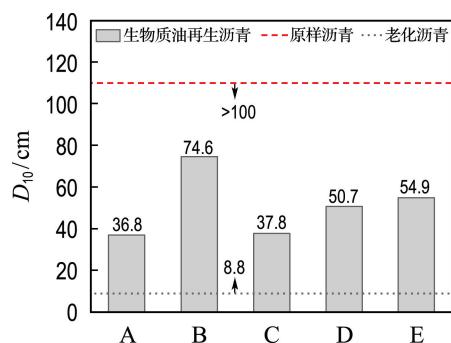
由图 3(d) 可以看出, 生物质油对伦特 90 号老化沥青延度的改善能力弱于对 70 号老化沥青的. 相同掺量下, 生物质油 A、C、D 对伦特 90 号老化沥青的改善效果较差; 生物质油 B 对延度的改善效果最好, 生物质油 E 次之. 规范中规定 90 号沥青的延度不低于 15 cm, 生物质油 C 再生沥青的延度不符合规范要求, 其余 4 种再生沥青的延度满足规范要求.

2.2 生物质油对老化沥青黏度的影响

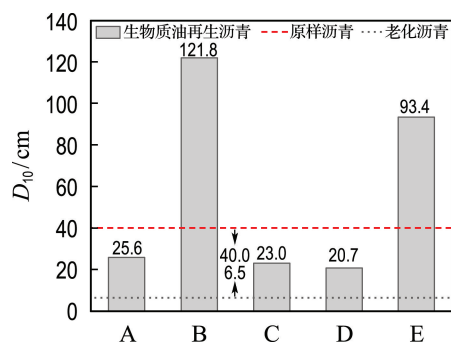
黏度是表征沥青在外力作用下抵抗剪切变形的能力^[7], 可以用来确定沥青混合料施工拌和温度与压实温度. 135 ℃ 下的布氏旋转黏度通常用来表征沥青的施工性能^[32]. 图 4 表明了沥青在不同温度下的黏度.



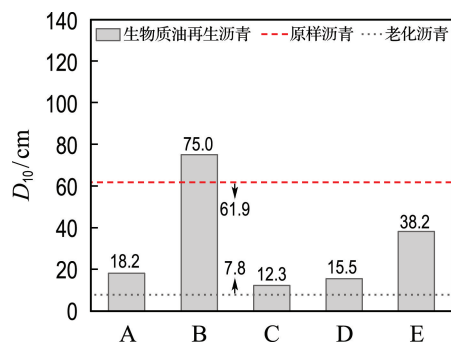
(a) 鑫海 70 号



(b) 伦特 70 号



(c) 壳牌 70 号



(d) 伦特 90 号

图 3 不同种类生物质油对短期老化沥青延度的影响

Fig. 3 Influence of different kinds of biomass oils on ductility of short-term aged asphalt

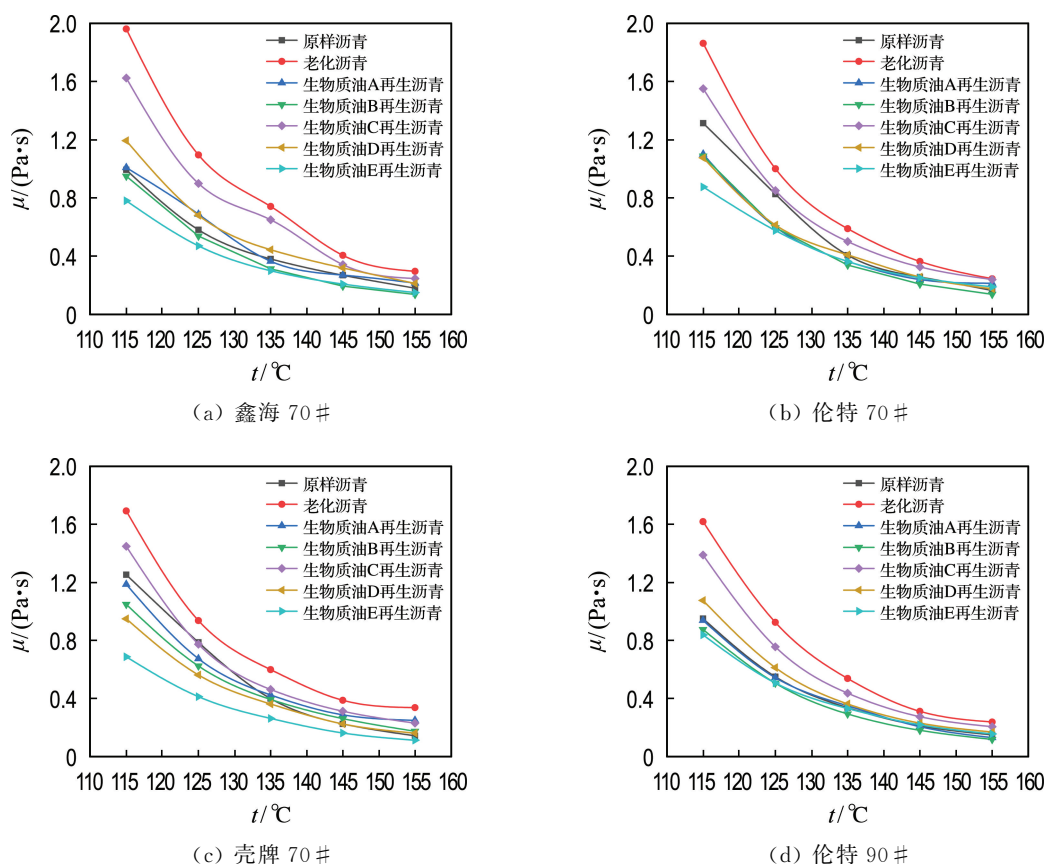


图 4 不同种类生物质油对短期老化沥青黏度的影响

Fig. 4 Influence of different kinds of biomass oils on viscosity of short-term aged asphalt

由图 4 可知:沥青老化后,黏度显著提高,导致沥青变硬;随着温度的升高,老化沥青的黏度逐渐下降.相同温度下,随着生物质油的加入,老化沥青的黏度显著降低.再生沥青的黏度与原样沥青、老化沥青具有相同的变化规律,均随温度的升高呈现下降的趋势.

生物质油 A 掺量为 10% 时,鑫海 70 #、伦特 70 #、壳牌 70 # 与伦特 90 # 再生沥青的黏度比老化沥青在 135 °C 下的黏度分别降低了 50.8%、38.3%、29.2% 和 34.9%;相同掺量及温度下,掺加生物质油 B 的再生沥青黏度降幅为 57.8%、42.5%、34.3% 和 45.4%,掺加生物质油 C 的再生沥青黏度降幅为 12.4%、15.0%、22.8% 和 18.8%,掺加生物质油 D 的再生沥青黏度降幅为 40.2%、30.6%、39.5% 和 32.5%,掺加生物质油 E 的再生沥青黏度降幅为 59.6%、38.3%、56.2% 和 38.5%.5 种生物质油对老化沥青具有较好降黏效果.在 135 °C 时,除生物质油 C 再生

沥青外,其他 4 种生物质油再生沥青的黏度均接近或低于原样沥青的黏度;其中,生物质油 B、E 的降黏效果最好,生物质油 A、D 次之,生物质油 C 降黏效果最差,与生物质油再生沥青的三大指标恢复效果一致.

2.3 生物质油红外变换光谱结果分析

采用德国 Bruker 公司生产的傅里叶变换红外光谱仪对 5 种生物质油进行红外光谱检测,探究不同种类生物质油对老化沥青再生效果存在差异性的原因.生物质油红外光谱图如图 5 所示.

由图 5 可知:5 种生物质油在红外光谱图上吸收峰的位置几乎一致,主要包括:3 084、2 926、2 852、1 709、1 601、1 584、1 465、1 376、1 225、932、836、777、623 和 445 cm^{-1} ,生物质油 B 比其他 4 种生物质油多出一个吸收峰 724 cm^{-1} ,表明 5 种生物质油含有相同的官能团结构.

在红外光谱图中,4 000~2 500 cm^{-1} 的吸收峰主要由游离酸中的羟基伸缩振动引起^[7],

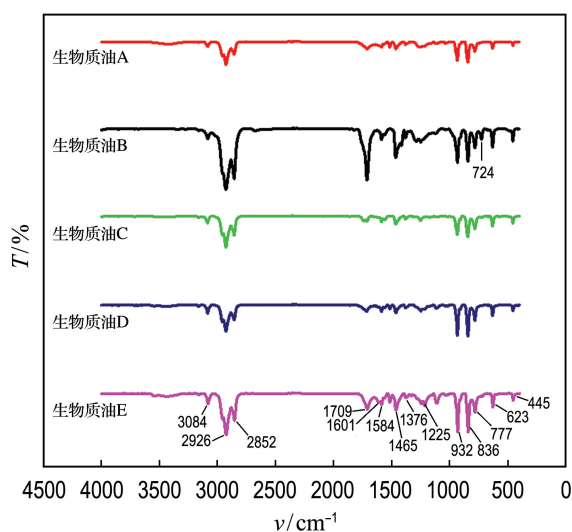


图5 生物质油红外光谱图

Fig. 5 Infrared spectrum of biomass oil

3 084 cm^{-1} 的吸收峰由烯烃中 $=\text{CH}_2$ 的反对称伸缩振动引起, 2 926 cm^{-1} 的吸收峰由饱和烃 $-\text{CH}_2$ 中 $\text{C}-\text{H}$ 的不对称伸缩振动引起, 2 852 cm^{-1} 的吸收峰由 $-\text{CH}_2$ 中 $\text{C}-\text{H}$ 的对称伸缩振动引起; 1 601 cm^{-1} 的吸收峰由苯环骨架中共轭 $\text{C}=\text{C}$ 共振引起, 在 1 465 cm^{-1} 与 1 376 cm^{-1} 附近的吸收峰分别由甲基中 $\text{C}-\text{H}$ 的非对称弯曲振动和对称弯曲振动引起, 724 cm^{-1} 附近的吸收峰则是苯环中 $\text{C}-\text{H}$ 面外弯曲振动引起^[32-33]。1 709 cm^{-1} 附近的吸收峰代表着芳香酮的碳氧双键 ($\text{C}=\text{O}$), 是含有羰基的芳香族化合物^[34]。此外, 芳香族化合物在红外光谱中主要呈现 $=\text{C}-\text{H}$ 伸缩、 $\text{C}=\text{C}$ 伸缩、 $\text{C}-\text{H}$ 面外变形以及 1 225~950 cm^{-1} 谱区 4 个峰区^[35], 生物质油 B 与 E 在此 4 个峰区内吸收强度比生物质油 A、C、D 强, 说明生物质油 B、E 含有较多的芳香族化合物, 与沥青的相容性较好^[23]。生物质油 A、D 在 1 225~932 cm^{-1} 谱区内有很多微小的吸收峰, 吸收峰的强度也高于生物质油 C, 表明二者的芳香族化合物含量多于生物质油 C, 宏观表现为再生效果优于生物质油 C。而生物质油 B 比 E 多出了 724 cm^{-1} 吸收峰, 同时在芳香酮 1 709 cm^{-1} 处的吸收强度高于生物质油 E, 表明生物质油 B 所含的芳香族化合物多于 E, 再生效果更好一些。综合 5 种生物质油对老化沥青物理性能的影响, 生物质油 B、E 的再生效果最好, A、D 次之, 生物质油 C 再生效果最差; 生物质

油 B、E 的再生效果明显优于生物质油 A、C、D, 因此, 生物质油中芳香族化合物的强度影响着再生效果。

3 结 论

(1) 生物质油能有效恢复老化沥青的物理性能。老化沥青中掺入 10% 的生物质油, 其针入度与延度显著提高, 软化点与黏度明显降低, 改善了老化沥青硬脆的现象。

(2) 生物质油对老化沥青的再生效果存在差异性, 蓖麻类和果木类生物质油的再生效果最好, 稻壳类和毛竹类生物质油次之, 棉籽类生物质油再生效果最差。

(3) 5 种生物质油含有相同的官能团结构, 蓖麻类和果木类生物质油所含的芳香族化合物多于稻壳类、棉籽类和毛竹类生物质油, 生物质油中的芳香族化合物强度影响着再生效果。

(4) 对于 70# 老化沥青, 5 种生物质油的掺量应控制在 10% 以下; 对于 90# 老化沥青, 蓖麻类和果木类生物质油的掺量应控制在 10% 以下, 稻壳类、棉籽类和毛竹类生物质油掺量需提高。

参考文献:

- [1] 张海林. 热氧及紫外老化下硬质沥青与 SBS 改性沥青多尺度特性对比研究 [J]. 中外公路, 2020, 40(6): 305-310.
ZHANG Hailin. Comparative study of multi-scale characteristics of hard-grade asphalt and SBS modified asphalt under thermal oxygen and ultraviolet aging [J]. *Journal of China and Foreign Highway*, 2020, 40(6): 305-310. (in Chinese)
- [2] 张泽浩. 高等级公路沥青混凝土路面老化系数对力学性能影响研究 [J]. 公路工程, 2018, 43(6): 247-251, 273.
ZHANG Zehao. Study on influence of aging coefficient of asphalt concrete pavement on mechanical properties of high-grade highway [J]. *Highway Engineering*, 2018, 43(6): 247-251, 273. (in Chinese)
- [3] 王永刚, 廖克俭, 闫 锋, 等. 废旧沥青再生剂的开发 [J]. 精细石油化工进展, 2003, 4(8): 18-21.
WANG Yonggang, LIAO Kejian, YAN Feng, et al.

- Development of regenerant for waste asphalt [J]. **Advances in Fine Petrochemicals**, 2003, **4**(8): 18-21. (in Chinese)
- [4] 邓庆忠. 生物制油与生物沥青概述 [J]. 石油沥青, 2016, **30**(4): 68-72.
- DENG Qingzhong. Overview of bio-oil and bio-asphalt [J]. **Petroleum Asphalt**, 2016, **30**(4): 68-72. (in Chinese)
- [5] 鲁童, 孙国强, 庞琦, 等. 不同生物质来源的生物沥青制备方法及其性能综述 [J]. 石油沥青, 2017, **31**(3): 60-66.
- LU Tong, SUN Guoqiang, PANG Qi, *et al.* Review for the performance of bio-asphalt with different biomass sources [J]. **Petroleum Asphalt**, 2017, **31**(3): 60-66. (in Chinese)
- [6] YANG Xu, YOU Zhanping, DAI Qingli. Performance evaluation of asphalt binder modified by bio-oil generated from waste wood resources [J]. **International Journal of Pavement Research and Technology**, 2013, **6**(4): 431-439.
- [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 physical properties of recycled asphalt with waste vegetable oil [J]. **Highway**, 2014, **59**(2): 175-179. (in Chinese)
- [8] 曹雪娟, 胡森, 曹芯芯, 等. 植物油再生老化沥青胶结料性能研究 [J]. 应用化工, 2019, **48**(3): 571-574.
- CAO Xuejuan, HU Sen, CAO Xinxin, *et al.* Study on properties of bio-oil recycled aging asphalt binder [J]. **Applied Chemical Industry**, 2019, **48**(3): 571-574. (in Chinese)
- [9] 邓子逸, 石津金, 吴英彪, 等. 不同废食用油对回收沥青物理性能的影响 [J]. 武汉工程大学学报, 2020, **42**(5): 558-562.
- DENG Ziyi, SHI Jinjin, WU Yingbiao, *et al.* Effects of different waste cooking oils on physical properties of recycled asphalt [J]. **Journal of Wuhan Institute of Technology**, 2020, **42**(5): 558-562. (in Chinese)
- [10] FINI E H, KALBERER E W, SHAHBAZI A, *et al.* Chemical characterization of biobinder from swine manure: Sustainable modifier for asphalt binder [J]. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 2011, **23**(11): 1506-1513.
- [11] FINI E H, AL-QADI I L, YOU Zhanping, *et al.* Partial replacement of asphalt binder with bio-binder: Characterisation and modification [J]. **International Journal of Pavement Engineering**, 2012, **13**(6): 515-522.
- [12] HILL B, OLDHAM D, BEHNIA B, *et al.* Low-temperature performance characterization of biomodified asphalt mixtures that contain reclaimed asphalt pavement [J]. **Transportation Research Record**, 2013, **2371**(1): 49-57.
- [13] OLDHAM D, HUNG A, PARAST M M, *et al.* Investigating bitumen rejuvenation mechanisms using a coupled rheometry-morphology characterization approach [J]. **Construction and Building Materials**, 2018, **159**: 37-45.
- [14] LO PRESTI D, DEL BARCO CARRIÓN A J, AIREY G, *et al.* Towards 100% recycling of reclaimed asphalt in road surface courses: Binder design methodology and case studies [J]. **Journal of Cleaner Production**, 2016, **131**: 43-51.
- [15] BORGHI A, DEL BARCO CARRIÓN A J, LO PRESTI D, *et al.* Effects of laboratory aging on properties of biorejuvenated asphalt binders [J]. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 2017, **29**(10): 04017149.
- [16] 曾梦澜, 李君峰, 夏颖林, 等. 生物沥青再生沥青结合料使用性能 [J]. 北京工业大学学报(自然科学版), 2019, **45**(1): 61-67.
- ZENG Menglan, LI Junfeng, XIA Yinglin, *et al.* Experimental study on performance of bioasphalt rejuvenated asphalt binder [J]. **Journal of Beijing University of Technology**, 2019, **45**(1): 61-67. (in Chinese)
- [17] 肖庆一, 赵鹏, 孙博伟, 等. 废植物油再生沥青结合料性能研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, **40**(6): 92-98, 111.
- XIAO Qingyi, ZHAO Peng, SUN Bowei, *et al.* Properties of waste vegetable oil recycled asphalt binder [J]. **Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)**, 2021, **40**(6): 92-98, 111. (in Chinese)

- [18] ZARGAR M, AHMADINIA E, ASLI H, *et al.* Investigation of the possibility of using waste cooking oil as a rejuvenating agent for aged bitumen [J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2012, **233-234**: 254-258.
- [19] NCIRI N, SHIN T, KIM N, *et al.* Towards the use of waste pig fat as a novel potential bio-based rejuvenator for recycled asphalt pavement [J]. **Materials**, 2020, **13**(4): 1002.
- [20] ZAHOOR M, NIZAMUDDIN S, MADAPUSI S, *et al.* Sustainable asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review [J]. **Journal of Cleaner Production**, 2021, **278**: 123304.
- [21] 张雪飞, 朱俊材, 吴超凡, 等. 木焦油基再生沥青及其混合料性能研究 [J]. 新型建筑材料, 2020, **47**(5): 145-149, 154.
- ZHANG Xuefei, ZHU Juncai, WU Chaofan, *et al.* Research for properties of wood tar base rejuvenated asphalt binder and its mixture [J]. **New Building Materials**, 2020, **47**(5): 145-149, 154. (in Chinese)
- [22] 刘克非, 张雪飞, 蒋康, 等. 木焦油基再生沥青混合料耐久性能研究 [J]. 公路, 2021, **66**(6): 308-312.
- LIU Kefei, ZHANG Xuefei, JIANG Kang, *et al.* Durability of wood tar-based rejuvenated asphalt mixture [J]. **Highway**, 2021, **66**(6): 308-312. (in Chinese)
- [23] 彭样. 桐油和废食用油再生沥青及其混合料性能对比研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2020.
- PENG Yang. A comparative study on properties of tung oil and waste cooking oil rejuvenated asphalt and its mixture [D]. Changsha: Hunan University, 2020. (in Chinese)
- [24] 李君峰. 生物沥青再生沥青结合料使用性能研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
- LI Junfeng. Performance evaluation of bioasphalt rejuvenated asphalt binder [D]. Changsha: Hunan University, 2018. (in Chinese)
- [25] 交通运输部公路科学研究院. 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.
- Research Institute of Highway, Ministry of Transport. Standard Test Methods of Bitumen and Bituminous Mixtures for Highway Engineering: JTG E20-2011 [S]. Beijing: China Communications Press, 2011. (in Chinese)
- [26] 朱洪洲, 钟伟明, 万逸秋, 等. 生物重油再生沥青物理性能试验研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, **37**(8): 23-28.
- ZHU Hongzhou, ZHONG Weiming, WAN Yiqiu, *et al.* Experimental study on physical properties of heavy bio-oil recycled asphalt [J]. **Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)**, 2018, **37**(8): 23-28. (in Chinese)
- [27] 唐伯明, 曹芯芯, 朱洪洲, 等. 生物油再生沥青胶结料路用性能分析 [J]. 中国公路学报, 2019, **32**(4): 207-214.
- TANG Boming, CAO Xinxin, ZHU Hongzhou, *et al.* Pavement properties of bio-oil rejuvenated asphalt binder [J]. **China Journal of Highway and Transport**, 2019, **32**(4): 207-214. (in Chinese)
- [28] 索智, 陈欢, 张奥, 等. 废植物油再生沥青紫外老化机理及路用性能 [J]. 材料导报, 2021, **35**(S1): 662-668.
- SUO Zhi, CHEN Huan, ZHANG Ao, *et al.* UV aging mechanism and road performance of waste vegetable oil recycled asphalt [J]. **Materials Reports**, 2021, **35**(S1): 662-668. (in Chinese)
- [29] FANG Ying, ZHANG Zhengqi, YANG Jianhua, *et al.* Comprehensive review on the application of bio-rejuvenator in the regeneration of waste asphalt materials [J]. **Construction and Building Materials**, 2021, **295**: 123631.
- [30] 曹雪娟, 李小龙, 刘誉贵, 等. 木屑热液化制备生物重油及生物沥青研究 [J]. 应用化工, 2019, **48**(6): 1374-1377, 1381.
- CAO Xuejuan, LI Xiaolong, LIU Yugui, *et al.* Study on preparation of biological heavy oil by thermal liquefaction of sawdust and bio-asphalt [J]. **Applied Chemical Industry**, 2019, **48**(6): 1374-1377, 1381. (in Chinese)
- [31] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- Institute of Highway Science, Ministry of Communications. Technical Specifications for Construction of Highway Asphalt Pavements: JTG

- F40-2004 [S]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese)
- [32] 冷滨滨. 废食用植物油对老化沥青物理化学及流变性能的影响 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- LENG Binbin. Influence of waste edible vegetable oil on physical, chemical and rheological properties of aged asphalt binders [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [33] 张 皓. SBS 改性沥青再生性能研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019.
- ZHANG Hao. Study on regeneration performance of SBS modified asphalt binder [D]. Xi'an: Chang'an University, 2019. (in Chinese)
- [34] 易星宇. 废食用油脱硫胶粉沥青再生剂及性能初探 [D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- YI Xingyu. Properties investigation of a desulfurized rubber rejuvenator contained waste cooking oil [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019. (in Chinese)
- [35] 胡皆汉, 郑学仿. 实用红外光谱学 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- HU Jiehan, ZHENG Xuefang. **Infrared Spectrometry** [M]. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)

Research about regeneration effect of plant based biomass oil on aged asphalt

LI Ningli^{1,2}, FENG Liping¹, LI Peilong^{*2}

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Key Laboratory of Highway Structure and Materials, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: To explore the feasibility of using biomass oil as a regenerating agent, the regeneration effect of different kinds of biomass oils on aged asphalt is studied. Firstly, the physical properties of biomass oil recycled asphalt are evaluated by three main indexes test and Brinell rotational viscosity test. Then, Fourier transform infrared spectroscopy is used to analyze the functional group structure of different kinds of biomass oils and explore the reason for the difference in the regeneration effect of biomass oil. The results indicate that adding 10% biomass oil into the aged asphalt can effectively improve its physical properties, improve the penetration and ductility, and reduce the softening point and viscosity. Different kinds of biomass oils have diverse regeneration effects on aged asphalt. The regeneration effects of castor and fruit tree biomass oils are the best, followed by rice hull and bamboo biomass oils, and cottonseed biomass oil is the worst. Infrared spectroscopy shows that the five kinds of biomass oils have the same functional group structure. Castor and fruit tree biomass oils contain more aromatic compounds, and the intensity of aromatic compounds affects the regeneration effect. The recommended dosage of five kinds of biomass oils to 70 # aged asphalt should be controlled within 10%. For 90 # aged asphalt, the mixing amount of castor and fruit tree biomass oils should be controlled within 10%, and the mixing amount of rice hull, cottonseed and bamboo biomass oils should be increased.

Key words: road engineering; recycled asphalt; FTIR; biomass oil