

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.05.011

引用格式:王翔,王宁,单景松,等.微波加热条件下新旧沥青融合效果研究[J].公路与汽运,2024,40(5):67-70+77.

Citation:WANG Xiang,WANG Ning,SHAN Jingsong,et al.Study on fusion effect of old and new asphalt under microwave heating[J].Highways & Automotive Applications,2024,40(5):67-70+77.

微波加热条件下新旧沥青融合效果研究

王翔¹,王宁¹,单景松²,刘伟¹,韩威林²

(1.山东省路桥集团有限公司,山东 济南 250014;2.山东科技大学,山东 青岛 266590)

摘要: 沥青混合料的再生利用涉及新旧沥青的融合问题,对其进行定量评价有利于深入探索新旧沥青的融合程度和融合机制。新旧沥青的表面自由能和官能团有一定差别,可通过表面自由能和傅里叶红外光谱试验进行研究。文中采用微波加热条件,掺加纳米 SiC、Fe₂O₃ 两种吸波剂,比较分析新旧沥青融合界面表面自由能和官能团的变化。结果表明,与单独掺入纳米 SiC 或 Fe₂O₃ 相比,同时掺入两种吸波剂的新旧沥青表面自由能、羰基指数和亚砷基指数下降更明显,更接近新沥青的指标,新旧沥青的融合效果更好。

关键词: 公路;新旧沥青融合;官能团;红外光谱;表面自由能;微波加热

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)05-0067-04

为解决逐年增多的废旧沥青混合料(RAP),寻求 RAP 的有效处理途径成为当务之急。岳喜兵结合具体工程案例,分析了 RAP 再利用的经济性和环保性^[1]。李家伟研究了 RAP 再生利用技术,实现 RAP 的再生利用^[2]。

相关研究表明,随着 RAP 掺量的增加,再生沥青路面整体性能急剧下降,其原因是 RAP 再生过程中新旧沥青局部融合并不完美,高掺量 RAP 会对再生沥青路面性能带来负面影响。Van Dao D.等指出 RAP 掺量较高时需控制混合料的抗裂性能,以保证沥青路面的耐久性^[3]。Zaremotekhas F.等研究发现利用温拌沥青技术可使较高掺量 RAP 再生沥青混合料拥有较高的抗裂性能^[4]。Park B.等根据 RAP 特性确定了聚合物改性沥青混合料中最大 RAP 掺量^[5]。张智裕发现在高掺量 RAP 情况下加入橡胶粉可改善沥青混合料的性能^[6]。上述研究不同程度地优化了高掺量 RAP 沥青混合料的性能。

新旧沥青的融合程度对再生混合料的性能起决定性作用,深入观测新旧沥青的融合过程具有实际意义^[7]。姜严旭借助傅里叶红外光谱、凝胶渗析色谱、原子力显微镜等微观测试手段,对不同老化程度再生沥青的微观结构进行全方位测试,分析了再生沥青的微观结构特性^[8]。孙建诚等利用傅里叶红外

光谱分析仪对废旧沥青路面材料热再生过程中新旧沥青的融合程度进行了定量分析^[9]。陈龙等通过动态剪切流变试验,基于细观尺度实测研究了新旧沥青界面再生融合规律,并通过耗散粒子动力学,基于介观尺度模拟研究了新旧沥青界面再生融合机制^[10]。Jiang Y. X.等通过微观技术试验,对热拌沥青混合料中 RAP 与原沥青混合料的混合程度进行观测,发现随着 RAP 掺量的提高,旧黏结剂和老化黏结剂的共混程度降低^[11]。Xu G. J.等采用三层模型研究再生剂在新沥青和老化沥青中的扩散过程,结果表明再生剂改善了新沥青和老化沥青的融合扩散过程^[12]。本文通过表面自由能和傅里叶红外光谱试验观测新旧沥青的融合程度,分析添加纳米 SiC、Fe₂O₃ 对新老沥青融合程度的影响。

1 试件制备

将在烘箱中烘烤后的沥青放入压力老化容器中进行老化,将老化处理后沥青置于玻璃盘中放入预热至 160 ℃后断电的烘箱中自然冷却,以保证沥青表面光滑平整,得到老化沥青;将新沥青放入烘箱中加热至 160 ℃,之后和吸波剂一起倒入小烧杯中并搅拌^[13];将新沥青倾倒在老化沥青表面,表面平整并自然冷却后,用微波加热至 160 ℃,之后放入预热至 160 ℃后断电的烘箱中自然冷却,得到新旧沥青

混合物;最后往沥青中加入一些水用于冷冻,保证沥青切割时新旧沥青界面不被破坏。试件分组见表 1。

表 1 试件分组

试件 编号	名称	新沥青 质量/g	旧沥青 质量/g	吸波剂	
				类型	质量/g
1	新沥青-新沥青	100	—	—	—
2	新沥青-老化 沥青	50	50	—	—
3	SiC 新沥青-老 化沥青	50	50	纳米 SiC	0.50
4	Fe ₂ O ₃ 新沥青- 老化沥青	50	50	纳米 Fe ₂ O ₃	1.00
5	复合吸波剂新 沥青-老化沥青	50	50	纳米 SiC+ Fe ₂ O ₃	0.25+0.50
6	老化沥青-老 化沥青	50	50	—	—

2 表面能测定及结果分析

采用滴法,利用德国生产的 Kruss DSA30 接触角仪测试沥青的接触角。在室温 20℃ 时进行试验,先把试件切块擦干净,安置在载玻片上;将载玻片放置在光学接触角测试仪的滴定平台上,控制电脑滴液。滴定液体选用甲酰胺、丙三醇、蒸馏水,每种滴液测 3 次,待液体稳定后进行接触角测量,取 3 次测试结果的均值作为试验结果。表面自由能用 γ 表示, γ_1^p 、 γ_1^d 分别表示液体表面自由能的色散分量和极性分量。

表面自由能试验结果见表 2。从表 2 可以看出:1) 新沥青(1[#] 试件)与老化沥青(6[#] 试件)的表面自由能差别很大,老化沥青的表面自由能约为新沥青的 1.7 倍。沥青老化后表面自由能明显提升,可利用表面自由能定量评价沥青的老化程度。2) 对比 2[#]~5[#] 试件的试验结果,2[#] 试件未参加吸波剂,其表面自由能接近老化沥青;3[#] 试件、4[#] 试件分别参加了纳米 SiC、Fe₂O₃,其表面自由能有所下降,说明吸波剂有促进新旧沥青融合的作用;5[#] 试件复合参加了 SiC、Fe₂O₃ 两种吸波剂,其表面自由能明显降低,为老化沥青的 74%,说明掺入复合吸波剂更能促进新旧沥青的融合。

表 2 各组试件的沥青表面自由能 单位:mJ/m²

组号	γ	γ_1^p	γ_1^d
1	14.92	3.73	11.19
2	23.81	1.18	22.63
3	19.75	4.23	15.06
4	20.77	1.84	18.93
5	18.83	4.29	14.54
6	25.45	1.53	23.93

3 官能团指数测试及结果分析

采用 Nicolet iS5 型傅里叶红外光谱仪测定沥青的官能团^[14-17],光谱测试范围为 4 000~500 cm⁻¹,扫描次数为 32 次,分辨率为 4 cm⁻¹。将试件切成小片后放入三氯乙烯中使其溶解,然后将不同沥青上层溶液分瓶填装到滴瓶中,静置 24 h,制得用于红外光谱测试的新旧沥青融合样品试液(见图 1)。

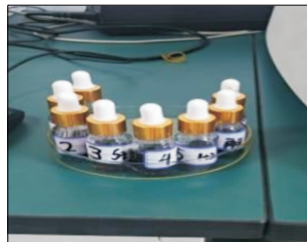


图 1 新旧沥青融合样品试液

采用压片法制作扫描试验试样,主要成分为 KBr。分别取 1~2 滴新旧沥青融合样品试液滴于 KBr 薄片中央,放入干燥箱,待三氯乙烯挥发后取出,固定在红外光谱仪中进行扫描,采集数据并计算羰基指数($I_{C=O}$)与亚砷基指数($I_{S=O}$),定量评价新旧沥青的融合程度。

沥青中的碳元素和硫元素会被空气中的氧气氧化为羰基(C=O)、亚砷基(S=O),沥青老化越严重,这两种官能团指数越高。羰基、亚砷基的吸收峰分别为 1 700 cm⁻¹、1 030 cm⁻¹ 左右。羰基指数和亚砷基指数计算公式分别为:

$$I_{C=O} = A_C / A_T \quad (1)$$

$$I_{S=O} = A_S / A_T \quad (2)$$

式中: A_C 为 1 700 cm⁻¹ 羰基特征峰面积(%); A_T 为 2 000~600 cm⁻¹ 总峰区间面积(%); A_S 为 1 030 cm⁻¹ 亚砷基特征峰面积(%)。

峰面积计算见图 2。以峰两侧的最低点的切线确定吸收峰面积的基线,计算切线所围成的面积得

到最终峰的面积。

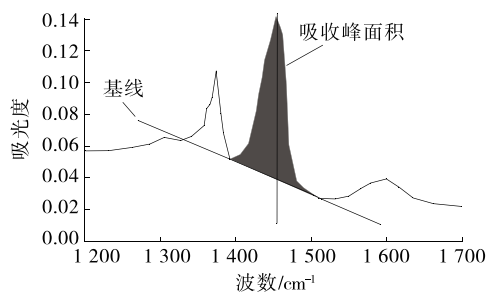


图 2 峰面积计算示意图

图 3、图 4 为新沥青(1[#] 试件)和老化沥青(6[#] 试件)的红外光谱图。从图 3、图 4 可以看出:在 1700 cm^{-1} 和 1030 cm^{-1} 附近,新沥青、老化沥青的峰大小存在较大差异,说明新老沥青中羰基和亚砷基含量存在差异。

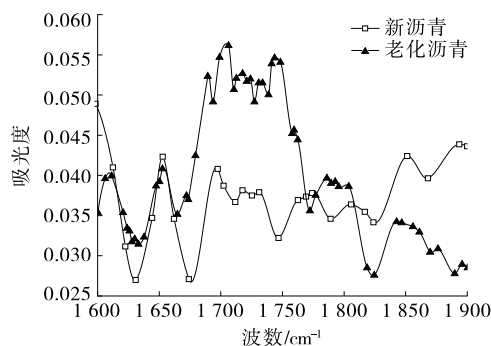


图 3 新旧沥青羰基位置处的红外光谱图

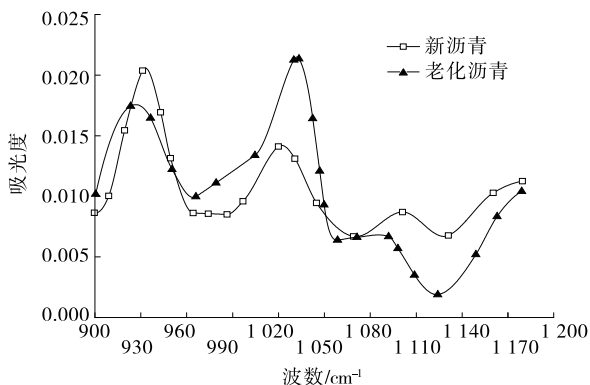


图 4 新旧沥青亚砷基位置处的红外光谱图

分别按式(1)、式(2)计算新旧沥青的羰基指数和亚砷基指数,结果见图 5、图 6。从图 5、图 6 可以看出:新沥青的羰基指数、亚砷基指数远小于老化沥青,羰基指数为老化沥青的 25% 左右,亚砷基指数为老沥青的 38% 左右。新旧沥青的羰基指数和亚砷基指数存在较大差异,可以通过对比融合沥青的羰基指数和亚砷基指数定量评价新旧沥青的融合程度。

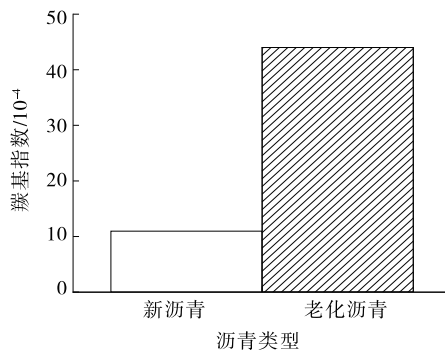


图 5 新旧沥青的羰基指数

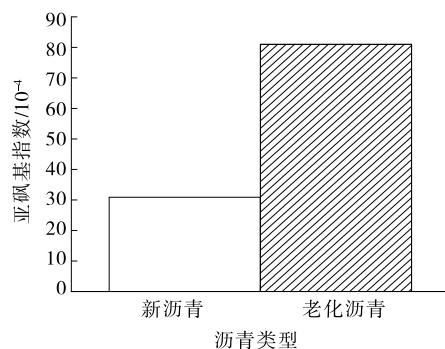


图 6 新旧沥青的亚砷基指数

融合沥青(2[#] ~ 5[#] 试件)羰基($\text{C}=\text{O}$)、亚砷基($\text{S}=\text{O}$)位置处的红外光谱图分别见图 7、图 8,羰基指数、亚砷基指数见图 9、图 10。

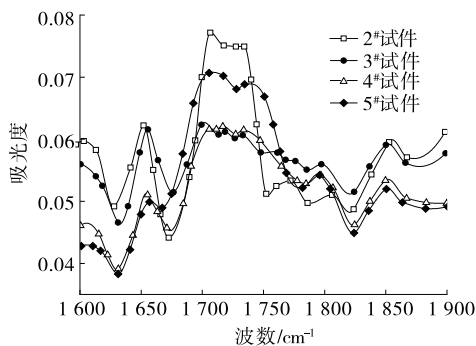


图 7 融合沥青羰基位置处的红外光谱图

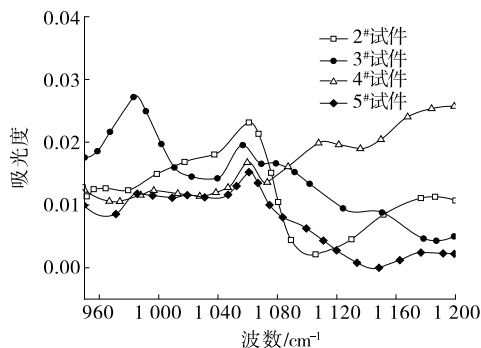


图 8 融合沥青亚砷基位置处的红外光谱图

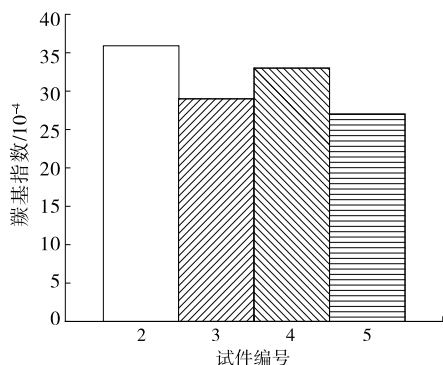


图9 融合沥青的碳基指数

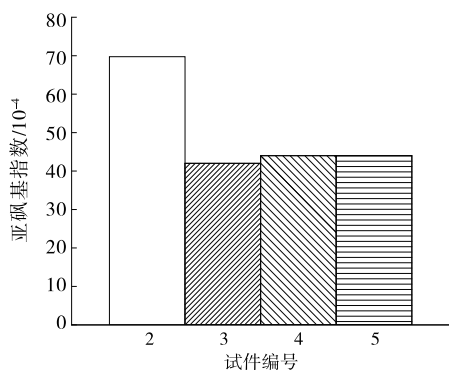


图10 融合沥青的亚砷基指数

从图7、图8可以看出:未参加吸波剂的2#试件的碳基峰和亚砷基峰最大,掺加吸波剂后峰的大小明显下降。

从图9~10可看出:掺加纳米SiC、Fe₂O₃吸波剂试件的碳基指数和亚砷基指数均有所下降,其中复掺两种吸波剂对降低碳基指数的效果最佳,单掺纳米吸波剂与复掺两种吸波剂在降低亚砷基指数方面的表现较接近,3#试件的效果相对较好。综合来看,掺加吸波剂后,新旧沥青的融合程度明显提升。

4 结论

本文通过表面自由能和红外光谱试验评价微波加热条件下新老沥青的融合程度,主要结论如下:

(1) 新老融合沥青的表面自由能、碳基指数和亚砷基指数均明显小于老化沥青,借助表面自由能和红外光谱试验可实现新老沥青融合程度的定量描述。

(2) 单掺纳米SiC或Fe₂O₃后,新老融合沥青界面表面自由能均有所下降,SiC对表面自由能的下降作用更明显。复合掺加纳米SiC和Fe₂O₃对表面自由能的下降作用相比单掺更显著,复掺吸波剂更有利于促进新旧沥青的融合。

(3) 掺加纳米SiC、Fe₂O₃吸波剂后,新旧沥青的碳基指数和亚砷基指数均有所下降,复掺两种吸波剂对降低碳基指数的效果最佳,单掺和复掺在降低亚砷基指数方面的表现差别不明显。

参考文献:

- [1] 岳喜兵.废旧沥青砼再利用方案经济性与环保性比选研究[J].公路与汽运,2020(5):163-166.
- [2] 李家伟.道路废旧沥青混合料再利用试验探讨[J].四川水泥,2016(5):36.
- [3] VAN DAO D, NGUYEN N L, NGUYEN M H, et al. Evaluation of cracking resistance of warm mix asphalt incorporating high reclaimed asphalt pavement content[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 2022, 236(12): 2550-2560.
- [4] ZAREMOTEKHASES F, SADEK H, HASSAN M, et al. Impact of warm-mix asphalt technologies and high reclaimed asphalt pavement content on the performance of alternative asphalt mixtures[J]. Construction and Building Materials, 2022, 319: 126035.
- [5] PARK B, ZOU J, ROQUE R, et al. Development of characteristic-based guidelines to determine maximum allowable reclaimed asphalt pavement content in polymer-modified asphalt mixture[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2022, 23(8): 2856-2869.
- [6] 张智裕.橡胶粉对高掺量RAP再生沥青混合料性能的影响[J].北方交通,2021(6):42-46.
- [7] 郭鹏,鲁承慧,谢凤章,等.微观尺度下温拌再生混合料新旧沥青界面融合特性[J].中国公路学报,2021, 34(10): 89-97.
- [8] 姜严旭.热再生沥青混合料沥青再生与融合微观机制及性能评价研究[D].南京:东南大学,2018.
- [9] 孙建诚,张伟丁,王真,等.基于红外光谱仪的新旧沥青融合程度量化表征[J].科学技术与工程,2022, 22(10): 4143-4151.
- [10] 陈龙,支鹏飞,李晋,等.新旧沥青界面融合实测与耗散粒子动力学模拟[J].山东大学学报(工学版), 2022, 52(3): 61-69+79.
- [11] JIANG Y X, GU X Y, ZHOU Z, et al. Laboratory observation and evaluation of asphalt blends of reclaimed asphalt pavement binder with virgin binder using SEM/EDS[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2018, 2672(28): 69-78.

(下转第77页)