

新型温再生剂的制备及性能研究

王冠¹,石南¹,范文森²,尹利洋³,王鑫洋⁴,赵品晖^{3*}

(1.山东高速建设管理集团有限公司,山东 济南 250098;2.山东省交通规划设计院集团有限公司,山东 济南 250031;3.山东建筑大学 交通工程学院,山东 济南 250101;4.大宗固废材料在交通领域循环利用行业研发中心,山东 济南 250003)

摘要:在温再生沥青混合料的生产与应用中,温再生剂对沥青混合料的性能具有至关重要的影响。该文基于原材料温拌剂、再生剂和渗透剂的功能,通过对老化沥青性能影响规律研究确定合适的掺配比例,采用复配方式开发出一种新型温再生剂,并对其再生效果和混合料性能进行评价。结果表明:再生剂可以恢复老化沥青的性能,掺量为8%时最接近原样沥青;温拌剂对沥青性能影响较小,主要通过界面润滑作用达到降温效果,随着掺量增加,沥青的接触角减少,综合常规性能确定温拌剂掺量为0.4%;掺加0.5%渗透剂的温再生剂与普通再生剂相比具有更为优异的渗透性能,可以更快地渗透进入老化沥青内部,改善老化沥青的性能。当新型温再生剂掺量为8%时,老化沥青各性能再生率为63.5%~101.2%,综合再生率为90.1%,再生效果良好。与热再生沥青混合料相比,新型温再生剂可以有效降低沥青混合料的拌和压实温度22℃,且温再生沥青混合料的高温性能略有降低,低温性能有所改善,水稳定性变化较小,各项指标均满足规范要求。

关键词:温再生;温再生剂;老化沥青;再生沥青;温再生沥青混合料

中图分类号:U414

文献标志码:A

0 引言

交通运输行业是国民经济发展的先行官,公路作为交通行业的重要组成部分,近年来发展迅猛。截至2021年4月,中国已经建成全球最大的高速公路网络,高速公路总里程达16万km,稳居世界第一。沥青路面由于具有表面平整、舒适性好、耐用性强和维修方便等优点,在中国公路尤其是高速公路中应用最为广泛^[1]。由于早期修建的高速公路经过长时间的使用,在自然环境和车辆荷载的共同作用下,部分沥青路面产生了大量车辙、裂缝等病害,严重危害行车安全,需要对破损的路面进行维修和养护,中国因此已经由公路的快速建设时期转为大规模的维修养护时期。随着维修养护公路里程的逐年增加,废弃的沥青路面材料也不断增加。据统计,中国每年在道路维修工程中产生的废弃沥青路面材料超过1.5

亿t,不仅造成资源浪费,而且污染环境,深入研究沥青路面再生利用技术成为中国交通运输行业所要面临的新挑战^[2]。

再生沥青混合料(Reclaimed Asphalt Pavement, RAP)是指将旧沥青路面经过翻挖、回收、破碎、筛分后,与再生剂、新集料等按一定比例重新拌和成的混合料。现有的再生混合料技术主要包括热再生技术、冷再生技术和温再生技术。其中,热再生技术指在较高温度下将沥青结合料、RAP、新集料(如需)进行拌和与摊铺的生产技术,由于该工艺最为成熟,且生产的再生沥青混合料性能接近或相当于新拌沥青混合料性能,因此该类技术应用最为广泛,但该技术也存在拌和压实温度高、易导致沥青结合料老化、有害气体排放量大和环境污染严重等问题;冷再生技术指在常温下将乳化沥青或泡沫沥青与RAP、新集料(如需)在常温下进行拌和与摊铺的生产技术,该技术虽然克服了高温施工带来的沥青二

收稿日期:2023-01-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51608511);山东省高等学校青创科技支持计划项目(编号:2019KJG004)

作者简介:王冠,男,硕士,高级工程师.E-mail:1756750482@qq.com

*通信作者:赵品晖,男,博士,副教授.E-mail:zhaopinhui08@163.com

次老化、能源和环境污染问题,但是也存在生产的再生混合料路用性能较差等不足。温再生技术是近年来兴起的一种新的再生技术,它是将热再生技术与温拌技术相结合且集合了两者优势的一种技术,既能降低拌和与摊铺温度,又能保障再生混合料性能与热拌沥青混合料相当。因此,研究温再生技术是解决路面再生问题的有效途径^[3-5],具有广阔的应用前景。在温再生技术中,温再生剂对再生沥青混合料的性能有着至关重要的影响,是温再生技术的核心和关键,温再生剂不仅可以有效恢复老化沥青的性能,而且可以降低沥青混合料的拌和及压实温度,在保证沥青混合料性能的同时,达到节能减排和提高RAP掺量的效果,其在沥青路面的再生过程中,起到了非常重要的作用^[6-9]。

目前市场常用的温再生剂主要是由温拌剂和再生剂作为主要原料制备而成。其中,使用较多的温拌剂主要是表面活性剂类温拌剂,这类温拌剂品种较为单一且目前主要依赖于进口,成本较高^[10-11];常用的再生剂主要是以一些轻组分的油类为主,虽然可以恢复老化沥青的性能,但由于其扩散性能有限,使得在沥青混合料拌和过程中,并没有有效渗透进旧沥青包裹层,可能会造成“黑石”现象^[12-14]。因此,研发一种性能优良的温再生剂,对于温再生技术的推广应用具有重要意义。

为了解决以上问题,本研究以试验室自主合成的咪唑啉型表面活性剂型温拌剂(IMDL)、矿物油再生剂和渗透剂为原材料制备了一种原材料廉价易得、温拌和再生效果好的新型温再生剂(WRAP-adv)。为了达到以上目的,本文分别根据原料的主要功能考察3种原材料对回收老化沥青的相关性能影响规律,确定出每种原材料的合适掺量,通过复配调和的方式制备得到新型温再生剂,对其温再生效果进行评价。最后,研究新型温再生剂对沥青混合料混合与压实温度的影响以及对温再生沥青混合料高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性性能的影响。

1 试验材料

1.1 基质沥青

试验选用的基质沥青为秦皇岛AH-70^{*}沥青,将其作为原样沥青进行对比,按《公路沥青路面施工技

术规范》(JTGF40—2004)要求对基质沥青的各项基本性能指标进行测试,结果如表1所示。

表1 秦皇岛AH-70^{*}沥青性能指标

检测指标	单位	试验结果	规范要求	试验方法
针入度	0.1 mm	70.1	60~80	T0604
针入度指数		-1.1	-1.5~1.0	T0604
软化点	℃	50.2	≥46	T0606
10℃延度	cm	45.3	≥20	T0605
60℃动力黏度	Pa·s	287	≥180	T0620
密度	g/cm ³	1.054	实测	T0603
溶解度	%	99.99	≥99.5	T0607

1.2 老化沥青的回收及性能分析

本文所采用的RAP料来源于京台高速公路泰安至枣庄四标段路面铣刨料,对回收的RAP料进行破碎、分档和抽提筛分处理。在抽提时采用德国生产的超声波一体化沥青混合料抽提仪对RAP料进行抽提,回收得到老化沥青。参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTGE20—2011)对老化沥青的各项基本性能指标进行测试,结果如表2所示。

表2 老化沥青的性能指标

项目	25℃针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	10℃延度/ cm	135℃黏度/ (Pa·s)
老化沥青	21.9	65.4	0.11	1.760
规定值	>20	实测	实测	实测

由表2可知:沥青路面经过长期的环境作用及行车荷载作用后,路面沥青老化较为严重,其性能存在一定程度的下降,但针入度仍然满足《公路沥青路面再生技术规范》(JTGT5521—2019)中关于回收沥青针入度>20(0.1 mm)的要求,表明回收的旧沥青仍然具有再生的价值。

1.3 温拌剂、再生剂和渗透剂

本文选用的温拌剂为试验室自主开发的咪唑啉表面活性剂型温拌剂IMDL^[15]。该温拌剂以十六酸和四乙烯五胺为原料,通过酰胺化和环化脱水两个阶段化学反应合成,在常温下为棕褐色的可流动液体,如图1(a)所示;选用的再生剂为矿物油再生剂[图1(b)],常温下为墨绿色的可流动液体,主要由抽出油和溶剂油调和而成;选用的渗透剂[图1(c)]是一种非离子表面活性剂,在常温下为无色透明的可流动液体。

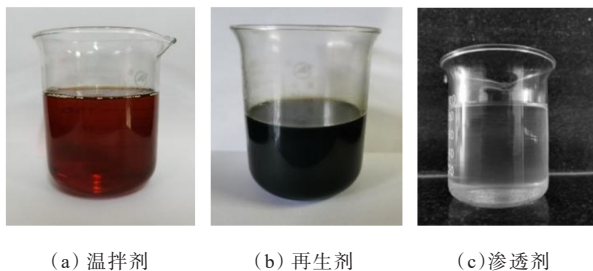


图 1 试验原材料

1.4 新型温再生剂的制备

采用搅拌工艺制备新型温再生剂,制备方法如图 2 所示,首先将再生剂加热到 100 ℃,按照一定比例加入温拌剂搅拌 30 min;最后加入一定比例的渗透剂,保持 100 ℃继续搅拌 30 min,制备得到新型温再生剂(图 3)。

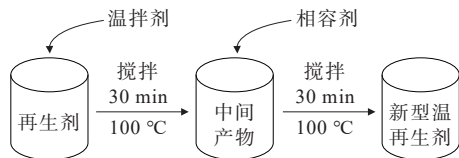
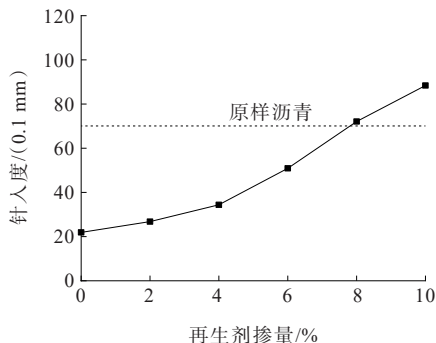
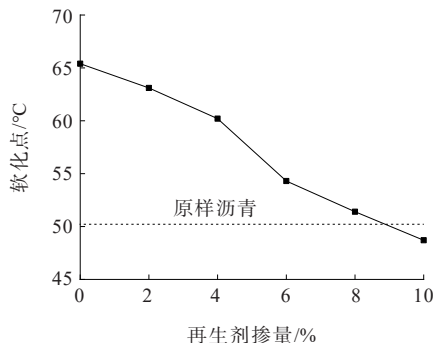


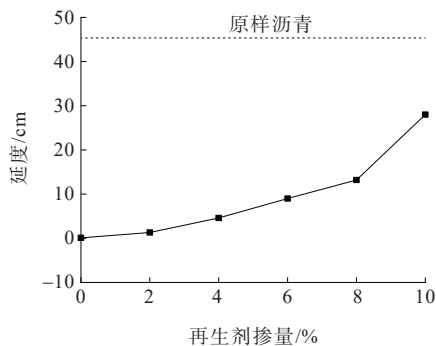
图 2 新型温再生剂的制备流程



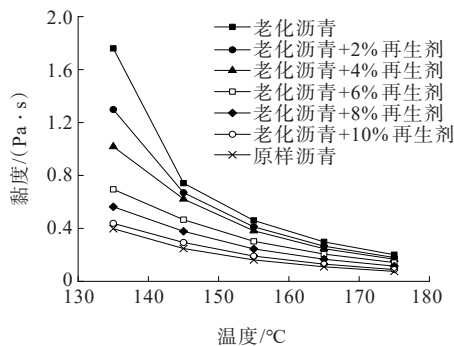
(a) 针入度



(b) 软化点



(c) 延度



(d) 黏度

图 4 老化沥青的性能随着再生剂掺量的变化规律

由图 4 可知:随着再生剂掺量的增加,老化沥青的针入度和延度逐渐增大,软化点和黏度逐渐降低,沥青的性能得到了恢复。为了更加直观地反映再生剂的掺量与沥青三大指标之间的关系,引入指标变

2 新型温再生剂的制备及性能研究

2.1 再生剂对老化沥青的性能影响规律研究

在温再生剂中,再生剂的主要作用是恢复老化沥青的性能^[16]。本文通过考察再生剂对老化沥青三大指标和黏度的影响规律,确定合适的再生剂掺量,结果如图 4 所示。

化率 K [式(1)]对其进行分析,结果如表 3 所示。

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1)$$

式中: K 为沥青的三大指标变化率; Δy 为再生剂掺量

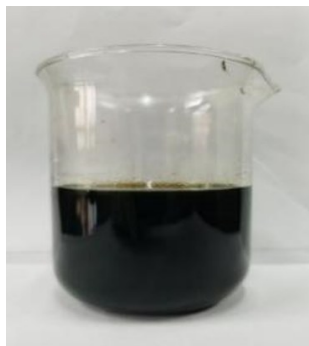


图 3 新型温再生剂

范围内沥青的各项性能指标的差值; Δx 为再生剂掺量的差值。

表3 不同再生剂掺量下沥青各指标的变化率K

再生剂掺量/ %	变化率		
	针入度 K_1	软化点 K_2	延度 K_3
0~2	2.5	1.4	0.6
2~4	3.8	1.5	1.7
4~6	8.3	3.0	2.2
6~8	10.6	1.5	2.1
8~10	8.2	1.4	7.4

结合图4和表3,与原样沥青对比发现:①随着再生剂掺量的增加,针入度变化率先增大后减小,当掺量为6%~8%时达到最大,表明在此掺量下再生剂对老化沥青针入度的恢复效率最高,此时再生沥青的针入度为72(0.1 mm),最接近原样沥青;②软化点变化率先增大后减小,当掺量为4%~6%时变化率达到最大,表明在此掺量下再生剂对老化沥青软化点的恢复效率最高,当掺量为8%时,再生沥青的软化点最接近原样沥青;③延度变化率也随着再生剂掺量的增加逐渐增大,但当再生剂掺量为10%时,再生沥青的延度为28 cm,与原样沥青相比还是有很大差距,可能是由于老化沥青的结构组成发生

了变化,这种结构组成引起了沥青韧性的变化。同一温度下,再生沥青的黏度随着再生剂掺量的增加逐渐减小,当掺量为10%时,再生沥青的黏度最接近原样沥青。

综上所述,加入再生剂之后,老化沥青的性能逐渐恢复,再生沥青的各项性能逐渐接近原样沥青,说明再生剂中含有较多的轻组分,加入再生剂会提高老化沥青中芳香分和饱和分的含量,降低胶质和沥青质的相对含量,使老化沥青逐渐变软。通过对老化沥青性能分析,综合各性能和使用成本,推荐使用的再生剂掺量为8%。

2.2 温拌剂对老化沥青的性能影响规律研究

2.2.1 温拌剂对老化沥青常规物理性能的影响

在温再生剂中,温拌剂的主要作用是降低再生沥青混合料的施工温度,本文基于所选用的咪唑啉表面活性剂型温拌剂IMDL的作用机理确定其掺量范围。首先向老化沥青中加入不同掺量的表面活性剂型温拌剂0.2%、0.4%、0.8%、1.6%,探究温拌剂对老化沥青三大指标和黏度的影响规律,试验结果如图5所示。

由图5可知:①温拌剂的加入使老化沥青的针入度先减小后增加,在掺量0.2%时针入度最小;

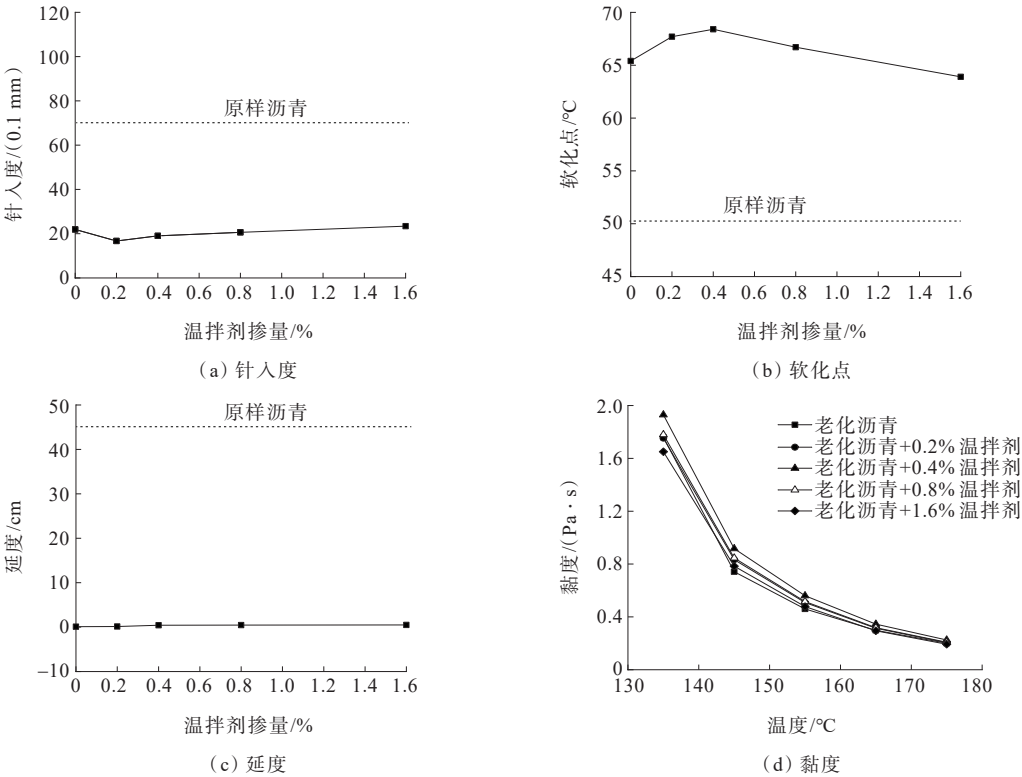
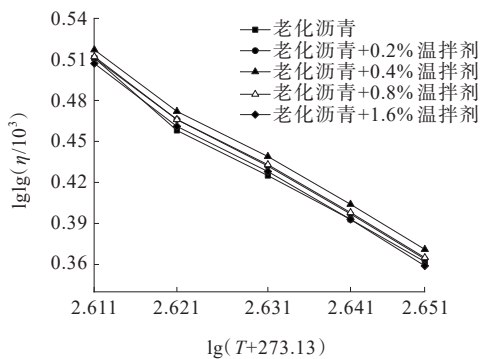


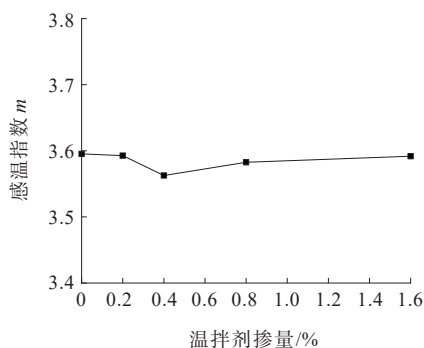
图5 老化沥青的性能随着温拌剂掺量的变化规律

② 软化点呈现先上升后下降的趋势,在掺量 0.4% 时软化点达到最大值,在测试范围内,老化沥青的软化点降低幅度仅 1.5℃,表明温拌剂对沥青的高温性能影响较小;③ 老化沥青的延度几乎不发生变化,表明温拌剂对老化沥青的低温性能影响非常小;④ 同一温度下,随着温拌剂掺量的增加,老化沥青黏度变化幅度很小,表明温拌剂对老化沥青的高温黏度影响较小。

为了更加直观地表现沥青的黏度与温度之间的关系,使用 Saal 公式进行拟合得到沥青的黏-温曲线[图 6(a)],并计算得到拟合曲线的斜率,即感温指数 m [图 6(b)], m 的绝对值越小,沥青感温性越好。因此,可以根据 m 值的大小定量表征温拌剂掺量对老化沥青感温性能的影响,对于指导温拌剂用量的选择具有重要意义。



(a) 利用 Saal 公式拟合的沥青黏-温曲线



(b) 不同温拌剂掺量下老化沥青的感温指数

图 6 老化沥青感温指数及拟合后的沥青黏-温曲线

由图 6 可知:老化沥青的感温指数 m 随着温拌剂掺量的增加先减小后增大,总体变化幅度较小,表明温拌剂对老化沥青的温度敏感性影响较小,当掺量为 0.4% 时老化沥青的温度敏感性最小。加入温拌剂后,通过 Saal 公式拟合得到的黏-温曲线与

文中黏-温曲线的规律一致,进一步说明温拌剂对老化沥青的高温黏度影响较小,没有明显的降黏作用。

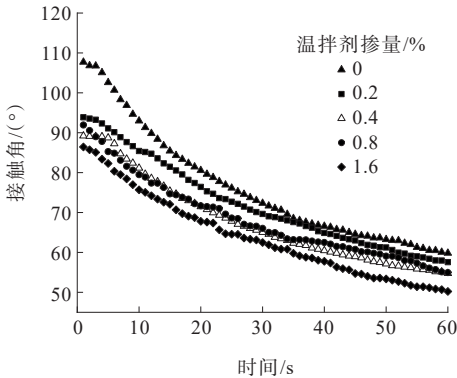
2.2.2 温拌剂对老化沥青接触角的影响

以上分析表明,所选用的温拌剂对老化沥青并未起到降黏作用,根据已有的研究结果:表面活性剂型温拌剂可能会改善沥青的润滑性能,在集料表面更容易铺展^[17]。为此,本文通过进一步采用接触角测量仪采用座滴法测量不同温度下沥青与集料的接触角。首先将沥青加热至流动状态,取适量置于载玻片上,并使用端口平整的刮刀将沥青面涂抹平整、均匀,冷却至室温;进行测试时将准备好的沥青样品载玻片置于接触角分析仪平台上,用注射器挤出 1~5 μL 测试液体,使之与沥青表面接触形成躺滴,测试液滴与沥青表面所成夹角即为接触角,总测量时长为 1 min,间隔 1 s 测量一次接触角,共测定 60 个接触角数据,温度选定为 80℃、100℃、120℃和 140℃。根据所得数据作出沥青和集料的接触角随时间扩散曲线,结果如图 7 所示。

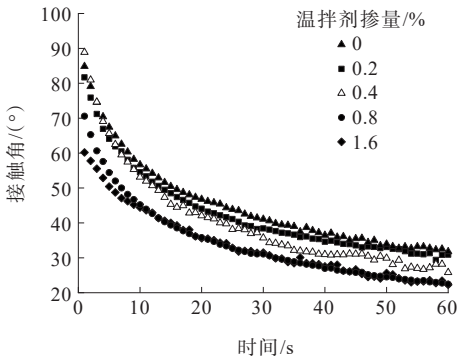
由图 7 可以看出:沥青和集料的接触角与温拌剂的掺量和温度有关。① 相同温拌剂掺量下,温度越高,沥青和集料的接触角越小,沥青在集料表面的铺展速率越快;② 相同温度,温拌剂的加入使得沥青和集料的接触角减小,且随温拌剂掺量的增加呈现减小趋势,加快了沥青在集料表面的铺展速率。为了更直观地反映在不同温度下沥青和集料的接触角随温拌剂掺量的变化规律,使用指数函数对散点图进行拟合,结果如表 4 所示。

由表 4 可知:接触角-时间的变化规律呈指数型函数曲线关系: $y = ab^x + c$ 。在各温度下,随着温拌剂掺量的增加,沥青在集料表面的初始接触角和最终接触角逐渐减小,铺展速率先增大后减小,当温拌剂掺量为 0.4% 时铺展速率达到最大。

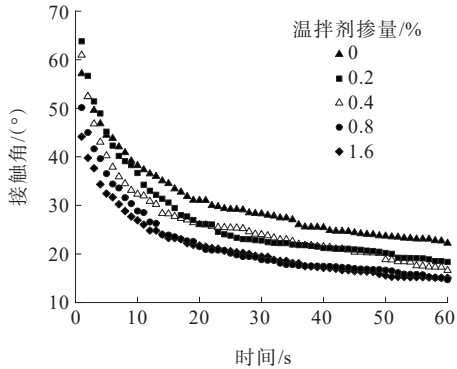
综合以上分析可知:选用的温拌剂作用机理并非通过降低沥青黏度来实现,而是通过改善沥青和集料的作用界面,降低微观界面间的摩擦作用进而达到降低混合料生产温度的作用。通过研究温拌剂对沥青常规性能的影响规律,并应用指数函数对不同温度下接触角-时间散点图进行拟合,确定温拌剂的最佳掺量为 0.4%。在此掺量下,沥青在集料表面的铺展速率最大,对沥青的温度敏感性影响最小。



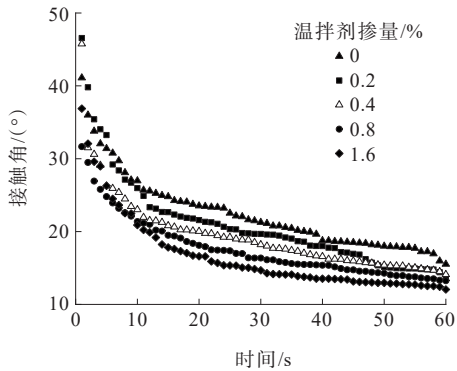
(a) 80 °C



(b) 100 °C



(c) 120 °C



(d) 140 °C

图7 不同温度下沥青与集料的接触角扩散曲线

表4 不同温度下接触角-时间拟合方程($y = ab^x + c$)

温度/ °C	温拌剂 掺量/%	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i> ²
80	0	56.553	0.976	55.487	0.999
	0.2	49.919	0.975	51.439	0.998
	0.4	40.879	0.966	46.824	0.995
	0.8	44.312	0.968	48.212	0.998
	1.6	45.942	0.973	41.593	0.998
100	0	50.311	0.937	32.612	0.987
	0.2	49.044	0.933	31.249	0.991
	0.4	58.256	0.926	28.291	0.984
	0.8	45.454	0.935	23.422	0.988
	1.6	38.362	0.954	21.209	0.992
120	0	32.715	0.932	23.092	0.971
	0.2	44.235	0.905	19.977	0.976
	0.4	37.488	0.905	20.018	0.949
	0.8	34.540	0.907	16.367	0.973
	1.6	26.999	0.924	15.792	0.978
140	0	20.270	0.940	17.264	0.957
	0.2	27.100	0.910	16.418	0.939
	0.4	23.167	0.891	16.258	0.892
	0.8	16.612	0.932	13.881	0.981
	1.6	23.694	0.901	13.082	0.988

注:*a* + *c* 为沥青与集料的初始接触角;*b* 为沥青在集料表面的铺展速率;*c* 为沥青与集料的最终接触角。

2.3 渗透剂对老化沥青的性能影响规律研究

在温再生剂中,渗透剂的主要作用是在再生剂和老化沥青中间起到媒介作用,降低再生剂与老化沥青之间的界面张力,有利于再生剂渗透入老化沥青中,从而有效发挥再生作用。在确定的再生剂掺量为8%、温拌剂掺量为0.4%条件下,根据生产厂家的指导性建议,确定渗透剂的最佳掺量为0.5%,制备得到新型温再生剂。为了评价新型温再生剂的渗透效果,分别通过针入度法、软化点法和布什黏度法对自主制备的新型温再生剂和普通再生剂进行对比试验,探究新型温再生剂的渗透性能。

2.3.1 基于针入度法的渗透性能研究

将老化沥青倒入针入度试模中(图8),向试模中分别滴入新型温再生剂和普通再生剂,利用针入度法对其渗透性能进行评价,测试了不同保温时长的再生沥青的针入度,结果如图9所示。

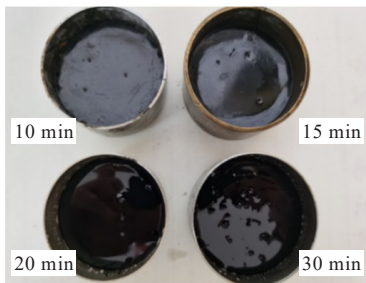


图 8 针入度试模

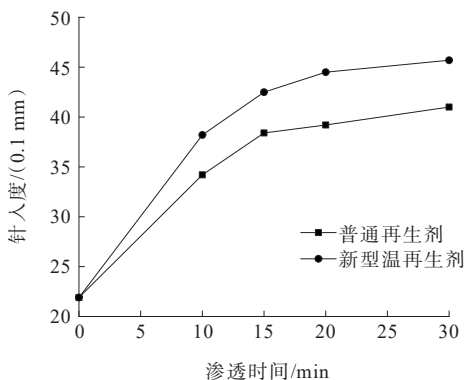


图 9 再生沥青针入度渗透变化曲线

由图 9 可知:随着渗透时间的增加,两种再生沥青的针入度均逐渐增大,在渗透初期 10 min 内,针入度增长速率最大,随着渗透的继续进行,针入度的增加趋势逐渐变缓,可能原因是随着再生剂的扩散,再生剂在沥青中的浓度差逐渐减小,减弱了再生剂在老化沥青中的扩散动力。当渗透时间相同时,加入新型温再生剂的再生沥青的针入度大于加入普通再生剂的再生沥青的针入度,无论是渗透初期还是后期,自主合成的新型温再生剂都体现出高效的渗透性能。

2.3.2 基于软化点法的渗透性能研究

将老化沥青分别倒入两根铝管中,并将铝管、新型温再生剂和普通再生剂放入 135 °C 的烘箱中保温 30 min 后将两种再生剂分别以 8% 的掺量均匀滴加至老化沥青表面,继续保温 10 min,保温完成后取出试样,在室温下冷却 90 min 待试样稳定后分别测试了试模(图 10)上、中、下部再生沥青的软化点,试验结果如图 11 所示。

由图 11 可以看出:加入再生剂后,按照试模上、中、下顺序老化沥青的软化点逐渐升高,表明再生剂在老化沥青中起到了渗透作用。其中,无论是试模上、中还是下部,加入新型温再生剂的再生沥青的软

化点均小于加入普通再生剂的再生沥青的软化点。对试模下部进行比较,加入普通再生剂的再生沥青的软化点为 65.2 °C,与老化沥青基本相同,而加入新型温再生剂的再生沥青的软化点为 64.2 °C,低于老化沥青,表明普通再生剂渗透能力较弱,在相同的条件下没有渗透进入试模下部,而新型温再生剂的渗透性能较好,渗透进入试模的下部,改善了老化沥青的性能。



图 10 软化点试模

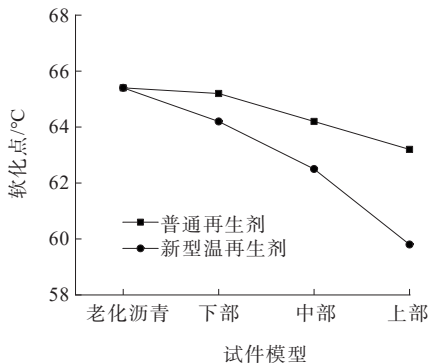


图 11 再生沥青软化点渗透变化曲线

2.3.3 基于布什黏度法的渗透性能研究

利用布什黏度法对新型温再生剂和普通再生剂的渗透性能进行评价,试模制备方法同软化点试验,分别测试了试模(图 12)上、下部再生沥青的 135 °C 黏度,试验结果如图 13 所示。

由图 13 可以看出:加入再生剂后,试模上部和下部的 135 °C 黏度均小于老化沥青,且试模上部的黏度小于试模下部的黏度,表明再生剂在老化沥青中起到了渗透作用。相比于普通再生剂,加入新型温再生剂的再生沥青的黏度更小,且试模上下部分黏度之差仅为 0.217 Pa·s,远大于加入普通再生剂的试模上下部分黏度之差,表明新型温再生剂的渗透能力更强,可以快速扩散至试模下部将老化沥青软化。



图 12 布什黏度试模

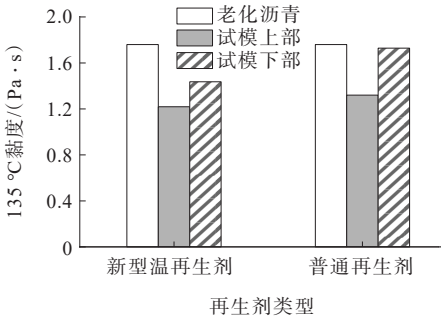


图 13 再生沥青 135 °C 黏度渗透变化曲线

2.4 温再生剂效果评价

综合以上分析,确定的较为优化的新型温再生剂的配比为:再生剂:温拌剂:相容剂=20:1:1.25,该新型温再生剂的各项性能指标均满足《公路沥青路面再生技术规范》(JTG/T 5521—2019)的要求,如表5所示。

表 5 新型温再生剂的各项性能指标

检验项目	单位	温再生剂	规范要求	试验方法
60 °C黏度	mm ² /s	150	50~175	T0619
闪点	°C	230	≥220	T0611
饱和分含量	%	15	≤30	T0618
芳香分含量	%	48	实测记录	T0618
薄膜烘箱试验黏度比	%	1.3	≤3	T0619
薄膜烘箱试验质量变化	%	-1.35	-4~4	T0609

本文通过再生率 φ [式(2)]这一指标评价新型温再生剂的再生效果,通过对比原样沥青、路面老化沥青和再生沥青的各个性能指标,测试新型温再生剂掺量为6%、8%和10%时的再生率 φ ,得到原样沥青、老化沥青和再生沥青的各性能指标如表6所示。

$$\varphi = \frac{R - A}{O - A} \times 100\% \tag{2}$$

式中: φ 为再生率(%); R 为再生沥青性能指标; O 为原样沥青性能指标; A 为老化沥青性能指标。

表 6 不同新型温再生剂掺量下沥青各项性能指标及再生率 φ

项目	温再生剂 掺量/%	25 °C针入度/ (0.1 mm)	软化点/ °C	10 °C 延度/cm	135 °C黏度/ (Pa·s)
原样沥青	0	70.1	50.2	45.3	0.398
旧沥青	0	21.9	65.4	0.1	1.760
再生沥青	6	52.4	52.7	18.4	0.675
	8	69.2	50.6	28.8	0.547
	10	94.8	47.5	34.3	0.392
再生率/%	6	63.3	83.6	40.5	79.7
	8	98.1	97.4	63.5	101.2
	10	151.2	117.8	75.7	98.6

由表6可以看出:温再生沥青的各项性能指标随着新型温再生剂掺量的增加逐渐恢复,其中,温再生剂对沥青针入度、软化点和黏度的再生效果最好,但是对延度的再生效果较差。当温再生剂掺量为6%时,再生沥青的各项性能指标较差,再生率为40.5%~83.6%,对各项性能指标的再生率取平均值,综合再生率为66.8%;当温再生剂的掺量为8%时,再生沥青的各项性能指标均接近原样沥青,再生率为63.5%~101.2%,综合再生率为90.1%;当温再生剂掺量为10%时,除延度外,再生沥青的各项性能指标均超过原样沥青,再生率为75.7%~151.2%,综合再生率为110.8%。

综上所述,确定新型温再生剂的掺量为8%,在该掺量下温再生剂不仅对老化沥青有较好的再生效果,而且避免了温再生剂过量造成的浪费。

3 温再生沥青混合料性能评价

通过上文对新型温再生剂再生效果的评价,本文以秦皇岛AH-70[#]沥青和新型温再生剂掺量为8%的温拌沥青为胶结料,制备沥青混合料。选用沥青路面下面层常用的AC-25型沥青混合料,RAP掺量为70%,参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的要求,对温再生沥青混合料进行级配设计,级配曲线如图14所示。

通过马歇尔试验,参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)并结合以往工程经验,在目标空隙率为4.2%的基础上,确定了最佳温再生沥青的含量为4.0%。本研究所有评价的沥青混合料都具有相同的级配和最佳沥青含量。

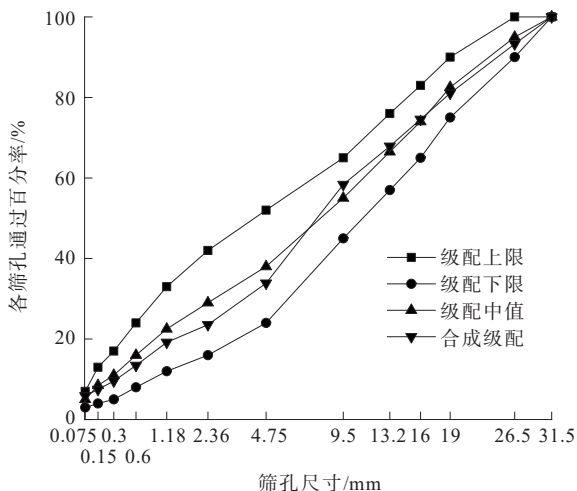


图 14 70%RAP 掺量的 AC-25 级配曲线

3.1 压实温度的确定

研究表明:在给定的沥青黏结剂、集料、压实方法和压实功下,沥青混合料的体积参数是温度的函数。因此,采用空隙率确定温再生沥青混合料的压实温度,并与热再生沥青混合料进行对比。首先测量了制备的温再生沥青混合料和热再生沥青混合料在不同压实温度下的空隙率(制备过程中,拌和温度比压实温度高 10℃),得到空隙率-温度曲线(图 15),对曲线进行拟合,计算空隙率为 4.2% 时所对应的温度,得到了温再生沥青混合料和热再生沥青混合料的平均压实温度分别为 122℃ 和 144℃,降温幅度达 22℃,降温效果明显。

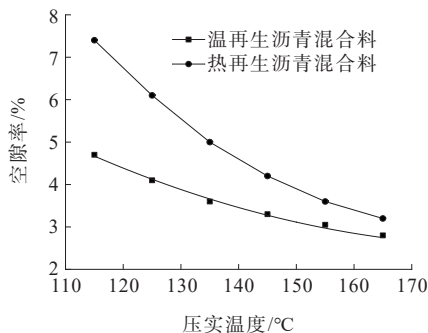


图 15 沥青混合料空隙率随温度的变化曲线

3.2 高温稳定性能

沥青路面在高温环境下受到车辆荷载的反复作用使得路面强度下降产生车辙等一系列病害,对路面的使用性能造成很大影响。本文采用 60℃ 高温车辙试验中的动稳定度对温再生沥青混合料和热再生沥青混合料的高温稳定性能进行评价,试验结果如图 16 所示。

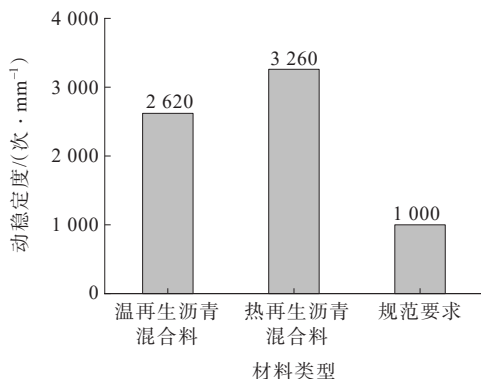


图 16 沥青混合料高温稳定性试验结果

由图 16 可知:温再生沥青混合料的动稳定度比热再生沥青混合料低 19.6%,但试验结果均能满足规范要求,表明虽然温再生剂可以降低拌和压实温度,但温再生沥青混合料的高温性能与热再生沥青混合料还有一定的差距。

3.3 低温抗裂性能

采用低温小梁弯曲试验对沥青混合料的抗低温开裂性能进行评价,长 250 mm、宽 30 mm、高 35 mm 的小梁试件在 -10℃ 温度、50 mm/min 的加载速率下进行试验,低温抗裂性试验结果如图 17 所示。

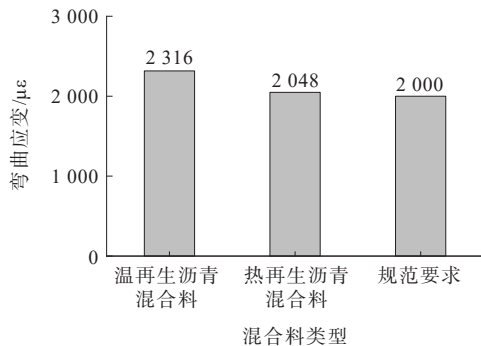


图 17 沥青混合料低温抗裂性试验结果

由图 17 可知:与热再生沥青混合相比,温再生沥青混合料在低温下破坏时的最大弯曲应变值升高了 13.1%,表明温再生剂的加入提高了沥青混合料在低温状态下抵抗荷载变形的能力,即温再生剂中的温拌剂和渗透剂成分会提高沥青的低温性能。

3.4 水稳定性能

采用冻融劈裂试验对沥青混合料的水稳定性进行评价,在马歇尔试验的基础上对试件进行冻融循环后,对混合料稳定度进行检测,进而分析沥青在恶劣环境下的抗水损害能力,水稳定性试验结果如图 18 所示。

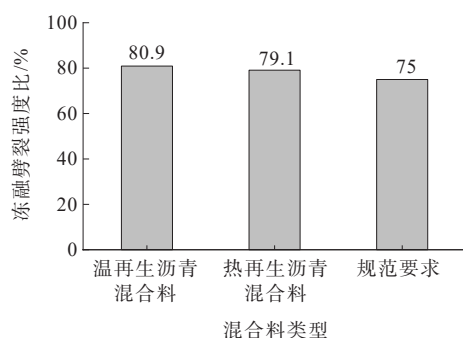


图18 沥青混合料水稳定性试验结果

由图18可以看出:温再生沥青混合料的冻融劈裂强度略高于热再生沥青混合料,表明温再生剂的掺入改善了沥青与集料之间的黏附性,提高了再生沥青混合料的水稳定性能。

4 结论

本文基于原材料温拌剂、再生剂和渗透剂的功能,分别研究3种原材料对老化沥青性能影响规律,确定了合适的掺配比例,复配调和出一种新型温再生剂,并对其再生效果和温再生沥青混合料的路用性能进行评价,得出如下结论:

(1) 老化沥青三大指标和黏度试验结果表明:再生剂可以有效恢复老化沥青的性能,随着再生剂掺量的增加,老化沥青的针入度和延度逐渐增大,软化点和黏度逐渐降低,再生剂掺量为8%时,老化沥青性能最接近原样沥青。

(2) 温拌剂对沥青性能影响较小,主要通过界面润滑作用,降低沥青和集料之间的接触角,达到降低拌和压实温度效果;应用指数函数 $y = ab^x + c$ 对不同温度下接触角-时间散点图进行拟合,综合常规性能确定温拌剂最佳掺量为0.4%。

(3) 采用针入度法、软化点法和布什黏度法对0.5%渗透剂掺量的新型温再生剂渗透性能进行评价,并与普通再生剂对比,加入新型温再生剂后再生沥青的针入度显著增大,试模各部的软化点和黏度明显降低,表明0.5%渗透剂掺量的温再生剂与普通再生剂相比具有更为优异的渗透性能,可以更快速地渗透进入老化沥青内部,改善老化沥青性能。

(4) 采用再生率 φ 对新型温再生剂的再生效果进行评价,结果表明:当新型温再生剂掺量为8%时,老化沥青各性能再生率为63.5%~101.2%,综合再

生率为90.1%,再生效果良好,同时避免了温再生剂过量造成的浪费。

(5) 新型温再生剂可以有效降低沥青混合料拌和压实温度22℃,制备的温再生沥青混合料与热再生沥青混合料相比,高温性能略有降低,低温性能有所改善,水稳定性影响较小,各项指标均满足规范要求。

参考文献:

- [1] 任瑞波,范文森,冯美军,等.沥青混合料再生技术研究进展[J].石油沥青,2020,34(4):9-12,23.
- [2] 林翔.沥青路面再生利用关键技术研究[D].北京:北京工业大学,2010.
- [3] 李渠源,梁乃兴,杨卓林,等.不同类型温拌沥青混合料长期性能研究[J].中外公路,2022,42(5):189-193.
- [4] 吴伟民.沥青路面就地热再生技术在公路养护中的应用[J].智能城市,2021,7(11):93-94.
- [5] 杨涟,徐周聪,周浩南,等.掺加BFS的乳化沥青冷再生混合料路用性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2022,41(2):124-130.
- [6] 李煜彬,王端宜,郭秀林.基于沥青荧光强度的再生沥青融合效果评价[J].中外公路,2022,42(1):193-198.
- [7] 陈华鑫,崔宇,尹艳平,等.再生剂类型对沥青抗老化性能的影响[J].中国科技论文,2022,17(6):589-594.
- [8] 郭乃胜,谭忆秋,赵颖华.温拌再生沥青混合料路用性能关键因素影响分析[J].公路交通科技,2015,32(2):1-7.
- [9] 谢远光,殷鹏.基于新型再生剂的SBS改性沥青的流变特性及微观机制[J].新型建筑材料,2021,48(6):95-100.
- [10] 宋云连,蒋宇,刘恒.温拌剂及沥青类型对混合料动态模量的影响研究[J].中外公路,2022,42(6):215-220.
- [11] 宋云连,丁楠,刘恒,等.温拌剂种类及掺量对不同沥青流变性能的影响[J].复合材料学报,2018,35(2):451-459.
- [12] 郭乃胜,尤占平,赵颖华,等.考虑再生剂作用的温拌再生沥青混合料路用性能[J].建筑材料学报,2015,18(4):674-681.
- [13] 祁文洋,李立寒,黄毅.沥青再生剂扩散程度评价与影响因素研究[J].建筑材料学报,2014,17(6):1020-1024.
- [14] 周志刚,杨银培,张清平,等.再生剂对旧沥青的再生行为[J].交通运输工程学报,2011,11(6):10-16.
- [15] ZHAO P H, REN R B, ZHOU H, et al. Preparation and properties of imidazoline surfactant as additive for warm mix asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2021, 273:121692.
- [16] 杨彦海,胡艳丽,刘岩,等.温拌沥青路面实体工程病害调查与分析评价[J].中外公路,2020,40(4):43-47.
- [17] ZHAO P H, DONG M L, YANG Y S, et al. Research on the mechanism of surfactant warm mix asphalt additive-based on molecular dynamics simulation[J]. Coatings, 2021, 11(11): 1303.