

尚海龙. Evotherm 温拌再生沥青流变特性[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(1): 56-61. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.008

Shang H L. Rheological Properties of Evotherm Warm Mix Recycled Asphalt Binders [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2020, 35(1): 56-61. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.008

Evotherm 温拌再生沥青流变特性

尚海龙*

(内蒙古交通设计研究院有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:为探究 RAP 料中回收沥青掺量对温拌再生沥青流变性能的影响,在 Evotherm 温拌沥青中分别掺量 0%, 10%, 20%, 30%, 40% 和 50% 的回收沥青制备温拌再生沥青.采用粘度试验、温度扫描试验和弯曲梁流变试验分别对温拌和热拌再生沥青的流变性能进行对比研究,并对温拌再生混合料的路用性能进行了验证.试验结果表明:Evotherm 温拌再生沥青的流变性能优于热拌再生.随着回收沥青结合料掺量的增加,温拌再生沥青的粘度值、车辙因子、破坏温度值和蠕变劲度 S 值逐渐增大,而蠕变速率 m 逐渐变小,说明 Evotherm 温拌再生沥青和易性变差,高温性能变好,而低温抗裂性能变差.另外,掺加 40% RAP 料的温拌再生沥青混合料具有优良的路用性能.并建议回收沥青结合料的掺量为 40%.

关键词:温拌沥青;再生沥青;流变性能;掺量

中图分类号:U414.1

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2020)01-0056-06

Rheological Properties of Evotherm Warm Mix Recycled Asphalt Binders

Shang Hailong

(Inner Mongolia communication Design & Research Institute Co., Ltd., Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to investigate the effect of recycled asphalt content on the rheological properties of warm-mix asphalt, the warm-mix recycled asphalt was prepared by adding 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% recycled asphalt to Evotherm warm-mix asphalt. The rheological properties of warm mix and hot mix recycled asphalt were studied by viscosity test, temperature sweep test and bending beam test, and then the pavement performance of warm mix recycled mixture was verified. The results show that the rheological property of Evotherm warm mix asphalt is better than that of hot mix recycled asphalt. With the increase of recycled asphalt binder, the viscosity value, rutting factor, failure temperature and creep stiffness S value of warm mix recycled asphalt increased gradually, while the creep rate m decreased gradually, indicating the high temperature performance of Evotherm warm mix recycled asphalt becomes better, but its workability and low temperature crack resistance becomes worse. In addition, the warm mix recycled asphalt mixture with 40% RAP material has excellent road performance. It is suggested that the content of recycled asphalt binder is 40%.

Keywords: warm-mix asphalt; recycled asphalt; rheological properties; content

目前,随着环保理念的强化和可持续发展思想的深入推进,以及全寿命周期成本理念的逐渐完善进

收稿日期:2017-05-22

基金项目:山西省基础研究计划项目(2015021074)

*通信作者, E-mail: 1722403558@qq.com

步.节能减排和实现可循环利用、低污染、少破坏的科技和经济发展模式已经成为未来社会发展的必然趋势.于交通行业而言,沥青路面材料的高度再生利用既可以减少破坏,又实现了资源循环利用的要求.因此努力研究和探索旧沥青路面的再生利用是社会经济实现和谐、绿色发展的要求.目前沥青路面再生技术能生产应用的主要有热再生和冷再生两种.而温拌再生技术兼具二者的优点,此技术起步较晚,在我国仍未成熟的广泛应用.

我国对温拌再生关键技术的研究更晚一些,但近几年呈现迅速发展的态势.2015年,Marisa Dinis-Almeida等^[1]研究发现温拌再生沥青比温拌沥青具有更高的劲度模量,而在抗水损害性能方面与热拌沥青和温拌沥青接近;黄宝山等^[2]研究发现,随着RAP掺量(0%,10%,30%,40%,50%)的逐渐增加,温拌沥青再生混合料的高温抗车辙性能和抗水损害性能则增加;黄立葵、章顺风等^[3]对掺加20%RAP料的Evotherm温拌沥青再生混合料性能进行了研究,发现其动稳定度可以达到2500次/mm以上,此指标对于夏热、夏凉地区来说具有很好的应用价值,表明其具有良好的高温性能;季节、刘明珠等^[4]则研究了Sasobit温拌沥青再生混合料路用性能,证实了RAP的加入能有效提高沥青混合料的高温稳定性能,但降低了低温抗开裂性能,并根据研究结果建议RAP材料掺量的上限为35%;李振、郭鹏等^[5-6]通过对Sasobit温拌沥青再生混合料性能的研究,也证实温拌沥青再生混合料的高温抗车辙性能、抗水损害性能和疲劳性能,均随着RAP掺量的增加而增强,且当RAP掺量为30%时,混合料的性能出现质的转变;肖飞鹏等^[7]分别对掺加20%,30%,40%和50%回收沥青的温拌再生沥青的流变性能研究,同样证实了回收沥青能够提高温拌再生沥青胶结料的高温抗车辙性能,但是会降低温拌再生沥青胶结料的疲劳性能.

通过以上研究结果表明,沥青结合料流变性能和RAP料的掺量决定了再生混合料的品质.因此,文章针对掺加0%,10%,20%,30%,40%和50%回收沥青的Evotherm温拌再生沥青的流变性能进行分析,以确定回收沥青的合适掺量,并对掺量40%RAP料的温拌再生混合料的路用性能进行了验证,借此希望为路面再生技术发展提供更广泛的探讨.

1 试验材料与研究方法

1.1 试验原材料的准备

本研究选用Evotherm作为温拌剂,所用的基质沥青为70号道路石油沥青,其性能技术指标如表1所示.首先在选择好的沥青中添加10%(温拌剂占沥青和温拌剂总质量的比例)的Evotherm温拌剂制备温拌沥青材料,所用的旧料为某公路上面层的铣刨料.

表1 试验采用沥青基本性能

测试项目	技术要求	测试结果
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	60~80	69.4
延度(15℃,5cm/min)/cm	≥100	134
软化点/℃	≥46	47.6
闪点(开口)/℃	≥230	255
含蜡量/%	≤3	1.81
密度(15℃)/(g/cm ³)	实测记录	1.032
溶解度(三氯乙烯)/%	≥99.5	99.9
旋转薄膜老化试验 163℃,75min		
质量损失/%	≤0.8	0.4
针入度比/%	≥58	72
延度(15℃)/cm	≥15	31

再对铣刨料进行抽提得到抽提液,而后利用矿粉沉淀仪对提取液的矿粉等进行沉淀,最后采用旋转蒸发器对沥青进行回收,所得的回收沥青结合料的性能指标如表2所示.

1.2 温拌再生沥青制备

将前面得到的回收沥青结合料和温拌70号道路石油沥青分别预热至130和150℃,按照比例0%,

10%, 20%, 30%, 40%, 50% (回收沥青占总质量比) 将两种沥青结合料进行混合直至搅拌均匀. 搅拌温度为 140 °C, 搅拌速率 3 000 r/min, 搅拌时间 45 min.

表 2 回收沥青的技术指标

测试项目	测试结果	新沥青规范要求
针入度(25 °C)/0.1 mm	49	60~80
延度(15 °C)/cm	13.1	≥100
软化点/°C	50.7	≥46
密度(15 °C)/(g/cm ³)	1.031	实测记录
60°C 动力粘度/Pa.s	324	≥180
溶解度(三氯乙烯)/%	99.5	≥99.5

1.3 试验方法

粘度是胶结料一个很重要的指标,因为它反映了胶结料在施工拌合时的和易性.本次研究采用 Brookfield 粘度计,它具有操作方便、灵敏度高、重现性好的特点,可以较为精确地反映回收沥青结合料掺量对温拌石油沥青粘度的影响.试验温度选择 120, 135 °C 两种.

本试验采用加载频率为 10 rad/s, 应变值为 12%, 温度分别选择了 58, 64, 70, 76, 82 °C. 在进行评价回收沥青结合料掺量对温拌 70 号道路石油沥青高温性能的影响时,采用 (DSR) 动态剪切流变试验^[8]. 在有关 Superpave 沥青规范中,沥青的高温性能评价指标为车辙因子 $G^*/\sin\delta$. 本试验通过 DSR 温度扫描获得了 58~82 °C 范围时的温度 (T) 对应的车辙因子 ($G^*/\sin\delta$) 数值, 依此得到车辙因子对数值 ($\log(G^*/\sin\delta)$) ~ 温度对应 T 曲线图, 再对该曲线进行回归分析, 得到不同结合料在 $G^*/\sin\delta = 1.0$ kPa 时的破坏温度. 试验结果结果显示破坏温度 (fail temperature) 值越大, 混合沥青的高温性能越好^[9].

在有关 SHRP 沥青结合料规范里是采用弯曲梁流变试验来评价沥青结合料的低温性能, 评价指标为蠕变劲度 S 和蠕变速率 m ^[10], 分别表示沥青结合料抵抗荷载的能力和结合料劲度随时间的变化率. 本试验选用在 -12, -18 °C 的蠕变劲度 S 和蠕变速率 m 评价回收沥青结合料掺量对温拌 70 号道路石油沥青低温性能的影响.

2 试验结果与分析

2.1 粘度试验

按照规范要求, 分别对不同回收沥青结合料掺量下的热拌再生和温拌再生沥青结合料的粘度进行测试, 试验温度采用 120, 135 °C. 最终的试验结果如图 1 所示.

从图 1 的曲线变化可以清晰地看出, 在相同的回收沥青掺量、同一试验温度下: 热拌再生沥青的粘度值大于温拌再生沥青, 证明 Evotherm 温拌剂可以降低再生沥青的粘度, 提高其和易性. 在相同的回收沥青结合料掺量下, 热拌再生沥青和温拌再生沥青

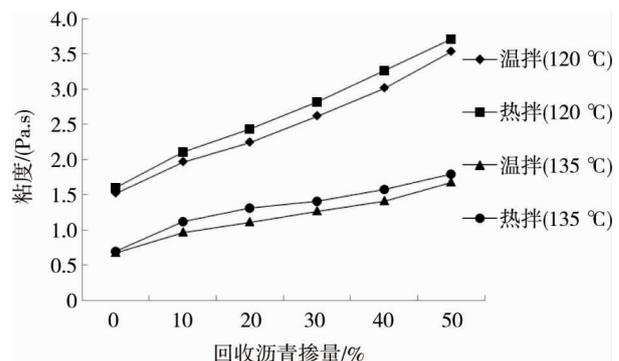


图 1 温拌再生沥青粘度

在 135 °C 时的粘度值明显小于 120 °C 时的粘度值, 说明温拌再生沥青结合料在 135 °C 时的和易性更好. 在同一试验温度下, 温拌再生沥青和热拌再生沥青结合料的粘度随着回收沥青结合料掺量的增加而逐渐增大, 说明回收沥青的掺加使得温拌再生沥青的和易性变差, 回收沥青结合料的掺量不宜过大.

2.2 温度扫描试验

分别对不同回收沥青结合料掺量下的热拌再生和温拌再生沥青结合料进行动态剪切流变 (DSR) 试验, 得到不同温度下的车辙因子 $G^*/\sin\delta$, 而后确定不同再生沥青试样的破坏温度. 试验得到温拌、热拌再生沥青结合料的车辙因子与温度的关系图如图 2~图 3 所示, 计算所得的破坏温度值如图 4 所示.

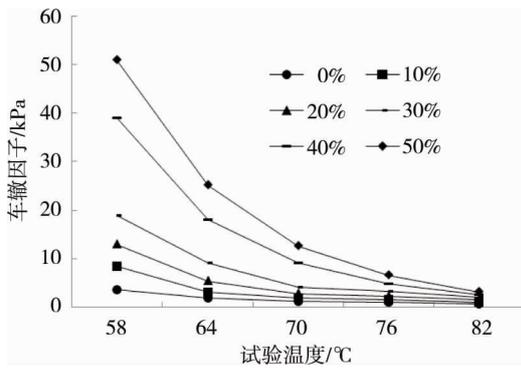


图 2 温拌再生沥青车辙因子

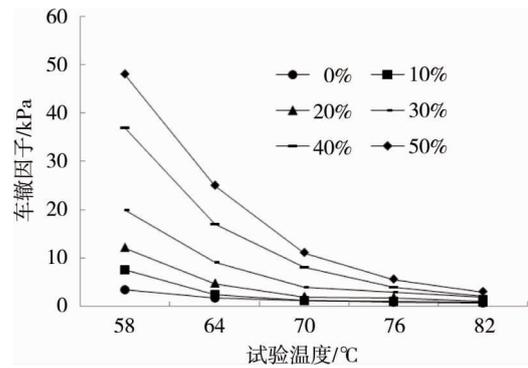


图 3 热拌再生沥青车辙因子

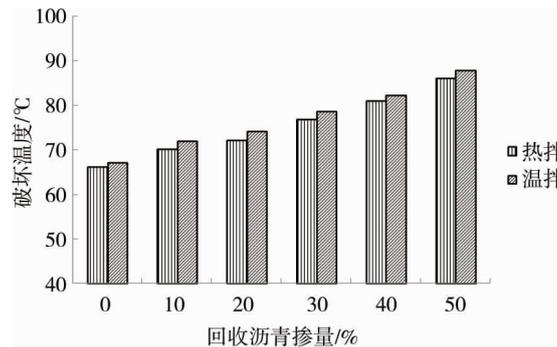


图 4 再生沥青破坏温度值

从图 2 和图 3 中数据可以看出,回收沥青结合料掺量相同、或测试温度相同时,热拌再生沥青的车辙因子均小于温拌,说明温拌再生沥青的高温性能优于热拌再生沥青.在同一回收沥青结合料的掺量下,热拌再生和温拌再生沥青的车辙因子均随着温度的升高而降低;当温度不变时,随着回收沥青结合料掺量的增加,热拌与温拌再生沥青的车辙因子均随之逐渐增大,说明回收沥青结合料的掺加能够提高温拌和热拌再生沥青的高温性能.

分析图 4 中数据(每一组竖向柱状图左侧为热拌、右侧为温拌):温拌再生沥青的破坏温度值均大于热拌再生,说明 Evotherm 温拌剂可以提高再生沥青结合料的高温性能.当回收沥青结合料掺量增加时,热拌与温拌再生沥青的破坏温度值均逐渐增大,说明掺加回收沥青结合料能够提高温拌和热拌再生沥青的高温性能.

2.3 BBR 试验

分别对不同回收沥青结合料掺量下的热拌、温拌再生沥青进行 BBR 试验,获取在 $-12, -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的蠕变劲度 S 和蠕变速率 m .其中, S 值越小, m 值越大,说明结合料的低温抗裂性越好.在 $-12, -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 60 s 时 S, m 值分别如图 5 和图 6 所示.

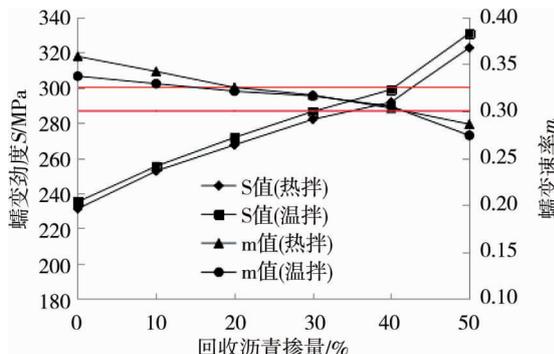


图 5 试验 60 s 的 S 和 m 值(-12°C)

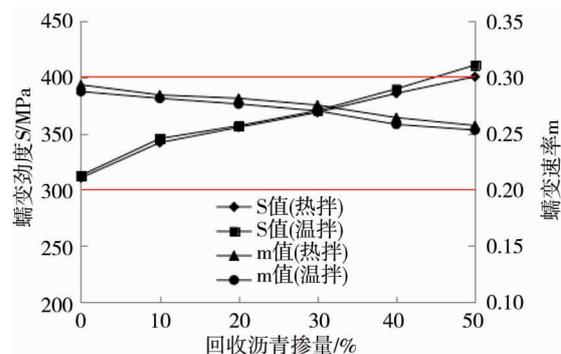


图 6 试验 60 s 的 S 和 m 值(-18°C)

分析图5和图6中数据:温拌再生沥青的蠕变劲度 S 值均小于热拌再生,说明温拌再生沥青的低温性能优于热拌再生. Evotherm温拌剂的添加提高了再生沥青的低温性能.在温度不变时,随着回收沥青结合料掺量的增加,温拌和热拌再生沥青的蠕变劲度 S 值逐渐升高,而蠕变速率 m 逐渐变小,表明再生沥青结合料试样的低温抗裂性随着回收沥青掺量的增加而逐渐降低.

在有关 Superpave 的设计规范中要求 60 s 的蠕变劲度 $S \leq 300$ MPa 和蠕变速率 $m \geq 0.3$, 如图 5 和图 6 中红线所示. 从图 6 中可以看出, 在 -18 °C 的试验条件下, 再生沥青无论热拌还是温拌, 其低温性能指标均不能达到规范要求值. 从图 5 中数据可以看出, 在 -12 °C 的试验条件下, 当回收沥青结合料的掺量 $\leq 40\%$ 时, 温拌再生沥青的蠕变劲度 S 和劲度模量 m 均能满足规范要求. 当回收沥青的掺量为 50% 时, 温拌再生沥青的蠕变劲度 S 值为 330.7 MPa, 大于 300 MPa, 劲度模量 m 值为 0.286, 小于 0.3, 均不能满足规范要求. 因此, 从温拌再生沥青低温性能角度考虑, 回收沥青结合料的掺量不宜大于 40%.

3 混合料性能验证

3.1 原材料与级配

按照规范对试验所用集料的密度进行测试, 试验结果如表 3 所示. 对 RAP 料 (0~16 mm) 进行抽提, 所得的油石比为 5.3%. 温拌剂采用前文所述的 Evotherm 温拌剂, 掺量为 10%. 采用此矿料对 AC-20 温拌再生沥青混合料进行配合比设计, 设计 1 号、2 号矿料温拌剂配比为 21%, 3 号矿料温拌剂配比为 10%, 4 号矿料温拌剂配比为 8%, RAP 矿料温拌剂配比为 40%, 最后所得的油石比为 2.5%.

表 3 集料基本性能指标

矿料	视密度/(g/cm ³)	毛体积密度/(g/cm ³)	吸水率/%
1号料	2.713	2.699	0.19
2号料	2.722	2.698	0.33
3号料	2.714	2.691	0.31
4号料	2.705	2.625	1.13
RAP料	2.708	2.639	0.97
矿粉	2.703	/	/

3.2 混合料路用性能

采用上文设计的级配, 按照比例进行配料, 混合料拌合温度 140 °C, 成型温度 130 °C. 按照规范要求, 对温拌再生沥青混合料的高温、低温、水稳定 and 疲劳性能进行测试^[11], 试验结果如下表 4 所示.

表 4 温拌再生混合料路用性能

路用性能	评价指标	试验均值	规范要求
高温性能	动稳定度/(次/mm)	1 811	$\geq 1\ 000$
低温性能	破坏应变 $\mu\epsilon$	2 218.1	$\geq 2\ 000$
	劈裂值/kN	7.21	/
水稳定性能	抗拉强度/MPa	0.73	/
	TSR/%	82	≥ 75
疲劳性能	疲劳寿命(次)(1 000 $\mu\epsilon$ 控制应变)	52 120	/
	变异系数/%	6.25	/

分析表 4 中数据可知, 温拌再生沥青混合料的动稳定度为 1 811 次/mm, 大于规范要求值, 其低温破坏应变值、TSR 值均能满足规范要求, 同时温拌再生沥青混合料的疲劳寿命也达到 52 120 次. 说明掺加 40% RAP 料的温拌再生沥青混合料具有优良的路用性能.

4 结论

1) 热拌再生沥青的粘度值大于温拌再生, 二种再生沥青结合料的粘度随着回收沥青结合料掺量的增加而逐渐增大, 说明回收沥青的掺加使得温拌再生沥青的和易性变差.

2) 温拌再生沥青的高温性能优于热拌再生沥青.热拌再生和温拌再生沥青的车辙因子与破坏温度值均随着回收沥青结合料掺量的增加而逐渐增大,说明回收沥青结合料中沥青质含量较多,能够提高温拌和热拌再生沥青的高温性能.

3) 温拌再生沥青的蠕变劲度 S 值均小于热拌再生,其低温性能优于热拌再生.在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的试验条件下,当回收沥青结合料的掺量 $\leq 40\%$ 时,温拌再生沥青的蠕变劲度 S 和劲度模量 m 均能满足规范要求,从温拌再生沥青低温性能角度考虑,回收沥青结合料的掺量不宜大于 40% .

4) 掺加 40% RAP料的温拌再生沥青混合料的路用性能可以满足现行规范要求,综合温拌再生沥青结合料的流变特性与RAP料的利用率,建议回收沥青结合料的掺量为 40% .

参考文献:

- [1] Dinis-Almeida M, Afonso M L. Warm mix recycled asphalt—a sustainable solution[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 107: 310–316.
- [2] Zhao S, Huang B, Shu X, et al. Laboratory performance evaluation of warm-mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement[J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2294 (1): 98–105.
- [3] 章顺风. Evotherm 温拌再生沥青混合料技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- [4] 刘明珠. Sasobit 温拌再生沥青混合料路用性能评价[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
- [5] 李根, 李振, 徐世法, 等. 掺加旧料对温拌沥青混合料疲劳性能的影响分析[J]. 北京建筑工程学院学报, 2011, 27 (3): 1–6.
- [6] 郭鹏, 唐伯明, 成志强, 等. 温拌再生沥青混合料压实特性[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(7): 42–45.
- [7] Xiao F, Putman B, Amirkhanian S. Rheological characteristics investigation of high percentage RAP binders with WMA technology at various aging states[J]. Construction and Building Materials, 2015, 98: 315–324.
- [8] 孙大权, 林添坂. 改性剂对沥青自愈合能力的影响[J]. 公路, 2015(4): 224–228.
- [9] Amirkhanian J S S. The influence of crumb rubber modifier (CRM) microstructures on the high temperature properties of CRM binders[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2005, 6(4): 265–271.
- [10] 张得文, 冯小伟. 蠕变试验下的橡胶沥青粘弹性研究[J]. 公路工程, 2014(5): 119–121.
- [11] 杨锡武, 熊世银, 角述兵, 等. 硫磺改性沥青混合料性能及机理研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2009, 24 (3): 61–67.