

制备工艺对高黏直投改性沥青性能的影响

易品

(长沙理工大公路工程试验检测中心, 湖南 长沙 410076)

摘要: 通过正交试验分析高黏直投剂掺量、搅拌速度、搅拌时间、加热温度等制备工艺对高黏直投改性沥青黏滞性、塑性、温度敏感性和高温路用性能的影响, 对比湿法高黏直投改性沥青和干法直投高黏沥青混合料的性能。结果表明, 搅拌速度对沥青黏滞性、温度敏感性和高温路用性能影响最大, 直投改性剂掺量对塑性影响最大, 推荐的制备工艺参数组合为高黏直投剂掺量 4%、搅拌速度 1 000 r/min、搅拌时间 10 min、加热温度 180 ℃; 湿法高黏直投改性沥青混合料的性能优于干法直投高黏沥青混合料, 可通过优化搅拌速度和搅拌时间或采用高黏直投湿法改性方法提高干法直投混合料的性能。

关键词: 公路; 高黏沥青; 高黏直投改性剂; 制备工艺; 湿法改性; 干法直投

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0068-04

高黏沥青是近年来出现的一种改性沥青, 根据 GB/T 30516—2014《高黏高弹道路沥青》的定义, 其 60 ℃动力黏度大于 20 000 Pa·s, 被广泛应用于路面薄层罩面(磨耗层)、桥面铺装、排水降噪路面、应力吸收层等建设和养护工程中。高黏沥青根据生产工艺分为湿法改性和干法直投改性 2 种, 相较于湿法改性, 干法直投使用高黏直投改性剂直接投放于混合料拌合缸内, 使用简单、可操作性强, 且能克服湿法改性工艺中沥青老化、离析、热分解等问题, 具有明显的应用优势。其本质与湿法改性相同, 不同的是, 其应用效果(混合料的性能)受搅拌时间、温度、速度等制备工艺的影响较大。因此, 研究制备工艺对高黏直投改性沥青改性效果的影响, 对于高黏直投改性剂的应用和性能评价具有显著的现实意义。该文研究不同制备工艺对高黏直投改性沥青性能的影响, 对比湿法高黏沥青和干法直投高黏沥青混合料的性能, 为高黏直投改性剂的应用提供参考。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

采用上海骞众新材料科技有限责任公司生产的 ZT-101 型高黏直投改性剂, 它是通过在分子链上接枝功能化单体, 辅以稳定剂等材料熔融造粒而成的一种米黄色改性剂, 其主要性能指标(见表 1)满足 JT/T 860.2—2013《沥青混合料改性添加剂 第 2 部分 高黏度添加剂》的要求。基体沥青采用 SBS 改性沥青(通过在 SBS 改性沥青中加入一定掺量的

高黏直投剂制备高黏沥青), 其主要性能指标见表 2, 满足 JTGF40—2004《公路沥青路面施工技术规范》中 I 类 SBS 改性沥青的要求。

表 1 ZT-101 型高黏直投改性剂的主要性能指标

试验项目	技术要求	试验结果
外观	颗粒状, 均匀, 饱满	颗粒状, 均匀, 饱满
单颗粒质量/g	≤0.03	0.02
密度/(g·cm ⁻³)	≤1.0	0.6
熔融指数/ [g·(10 min) ⁻¹]	≥2.0	5.2
灰分含量/%	≤1.0	0.3

表 2 SBS 改性沥青的主要性能指标

试验项目	技术要求	试验结果
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	60~80	65
软化点(R&B)/℃	≥55	64.2
延度(5 ℃, 5 cm/min)/cm	≥30	33.6
60 ℃动力黏度/(Pa·s)	—	6 200
质量变化/%	±1.0	0.2
TFOT 后 针入度比/%	≥60	87
延度(5 ℃)/cm	≥20	23.1

集料采用满足 JTGF40—2004《公路沥青路面施工技术规范》要求的玄武岩碎石、石屑和石灰岩矿粉, 级配类型为 AC-13(见表 3), 油石比为 5%。

1.2 试验方法

高黏沥青制备方法是將 SBS 改性沥青加热至 170 ℃左右, 搅拌使高黏直投剂与 SBS 改性沥青混合融化(根据试验设计, 搅拌速度、搅拌时间和加热

表 3 AC-13 级配

筛孔尺 寸/mm	通过百分 率/%	筛孔尺 寸/mm	通过百分 率/%
16.00	100.0	1.180	26.5
13.20	95.0	0.600	19.0
9.50	76.5	0.300	13.5
4.75	53.0	0.150	10.0
2.36	37.0	0.075	6.0

温度各有不同)。高黏沥青混合料的制备方法分为

干法和湿法 2 种(见图 1),湿法是利用制备好的高黏沥青按 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行混合料试件制作;干法是先加

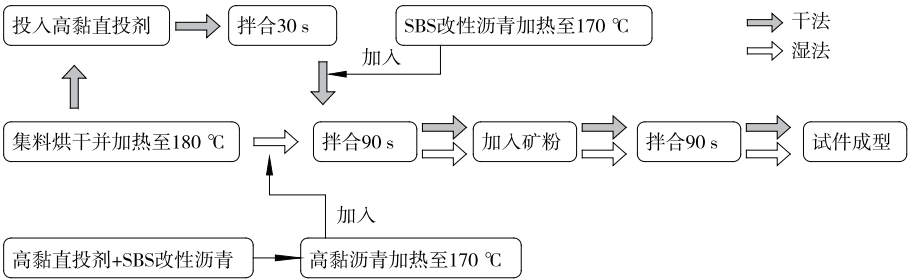


图 1 高黏沥青混合料制备流程

2 试验结果与分析

2.1 正交试验

高黏直投改性剂发挥作用的关键是其均匀分散于基体沥青中并作用于基体沥青,实现高黏改性,因而高黏直投剂掺量、搅拌速度、时间、加热温度等制备工艺对高黏直投改性剂的应用具有显著影响。为分析制备工艺对高黏沥青性能的影响,以直投剂掺量、搅拌速度、搅拌时间及加热温度为因素变量,以

针入度、软化点、延度及 60℃动力黏度作为评价指标,进行四因素三水平 L9(3⁴)正交试验。高黏直投剂掺量分别取 3%、4%、5%,分别对应 1、2、3 水平;搅拌速度分别取 60(人工搅拌)、1 000(SLY 液体强力搅拌机)、4 000 r/min(BK-BRS-300 高剪切乳化机),分别对应 1、2、3 水平;搅拌时间分别取 5、10、20 min,分别对应 1、2、3 水平;加热温度分别取 160、180 和 200℃,分别对应 1、2、3 水平。正交试验设计及试验结果见表 4,极差分析结果见表 6~8。

表 4 正交试验设计及试验结果

试验号	制备工艺				试验结果			
	直投剂掺量/%	搅拌速度/(r·min ⁻¹)	搅拌时间/min	加热温度/℃	针入度/(0.1 mm)	软化点/℃	延度/cm	60℃动力黏度/(Pa·s)
1	4	60	5	160	69	68.5	34.3	20 200
2	4	1 000	10	180	55	90.6	31.5	85 400
3	4	4 000	20	200	46	93.0	28.1	82 600
4	3	4 000	5	180	53	80.1	36.4	66 200
5	3	60	10	200	64	77.2	33.6	48 800
6	3	1 000	20	160	52	80.6	29.4	68 800
7	5	1 000	5	200	45	86.6	18.7	74 400
8	5	4 000	10	160	52	84.9	26.1	87 000
9	5	60	20	180	65	79.3	19.8	53 600

表 5 针入度正交试验极差分析

参数	直投剂掺量	搅拌速度	搅拌时间	加热温度	参数	直投剂掺量	搅拌速度	搅拌时间	加热温度
I _j /K _j	56.3	66.0	55.7	57.7	Ⅲ _j /K _j	54.0	50.3	54.3	51.7
Ⅱ _j /K _j	56.7	50.7	57.0	57.7	D _j	2.3	15.7	1.3	6.0

注: I_j、Ⅱ_j、Ⅲ_j 分别表示第 j 列 1、2、3 水平所对应的试验指标之和, j 对应针入度、软化点、延度、60℃动力黏度 4 列, 分别取 1、2、3、4; K_j 表示第 j 列同一水平出现的次数(为 3 次); D_j 表示第 j 列的极差。下同。

表6 软化点正交试验极差分析 $^{\circ}\text{C}$

参数	直投剂掺量	搅拌速度	搅拌时间	加热温度
I_j/K_j	79.3	75.0	78.4	78.0
II_j/K_j	84.0	85.9	84.2	83.3
III_j/K_j	83.6	86.0	84.3	85.6
D_j	4.7	11.0	5.9	7.6

表7 延度正交试验极差分析 cm

参数	直投剂掺量	搅拌速度	搅拌时间	加热温度
I_j/K_j	33.13	29.23	29.80	29.93
II_j/K_j	31.30	26.53	30.40	29.23
III_j/K_j	21.53	30.20	25.77	26.80
D_j	11.60	3.67	4.03	3.13

表8 60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度正交试验极差分析 $\text{Pa} \cdot \text{s}$

参数	直投剂掺量	搅拌速度	搅拌时间	加热温度
I_j/K_j	61 266.7	40 866.7	53 600.0	58 666.7
II_j/K_j	62 733.3	76 200.0	73 733.3	68 400.0
III_j/K_j	71 666.7	78 600.0	68 333.3	68 600.0
D_j	10 400.0	35 333.3	14 733.3	9 933.3

2.2 制备工艺对高黏沥青性能的影响

沥青主要技术性能包括黏滞性、塑性、温度敏感性、大气稳定性等,采用针入度、延度、软化点等指标来评价。总体来看,直投高黏改性剂在搅拌、加热的作用下,在基体沥青(SBS改性沥青)中熔融、溶胀,对基体沥青进行高黏改性,体现在性能指标上是针入度和延度指标降低、软化点和60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度指标提高,即沥青的黏滞性和高温路用性能提高,而塑性、温度敏感性降低。

(1) 对针入度的影响。半固体或固体沥青的黏滞性通过针入度表示,反映沥青的软硬、黏稠程度和抵抗剪切破坏的能力。由表4、表5可知:1) 不同制备工艺下,各组沥青的黏滞性几乎都增大,即针入度降低,最大幅度超过20 (0.1 mm);2) 4个制备工艺因素中,影响黏滞性的制备工艺因素的大小排序为搅拌速度>加热温度>直投剂掺量>搅拌时间,其中搅拌速度的极差达到15.7 (0.1 mm),表明搅拌速度对高黏直投改性剂制备高黏沥青的黏滞性影响较大。此外,由于温度较高、时间较长,沥青老化,针入度降低。

(2) 对软化点的影响。沥青的温度敏感性采用软化点来评价。由表4和表6可知:不同制备工艺下,软化点均得到提升;高黏直投剂制备高黏沥青的工艺中,搅拌速度对温度敏感性影响最大,加热温度次之;极差 D_j 值均较大,表明沥青的温度敏感性对

于制备工艺较敏感。

(3) 对延度的影响。沥青的塑性是指其在外力作用下产生变形不破坏,除去外力后仍能保持形状不变的性质,可为沥青的抗开裂等性能提供参考依据。由表4和表7可知:直投剂掺量直接影响高黏沥青的塑性指标(延度),高黏直投剂的掺入影响基体沥青的组分组成和比例关系,造成延度指标降低;随着直投剂的增加,沥青中不均匀细小颗粒增加,在受力时易发生应力集中现象,从而容易被拉断,造成塑性指标降低。因而延度指标可用作确定高黏直投改性剂掺量上限的重要参考。搅拌速度、搅拌时间和加热温度对塑性的影响相当。

(4) 对60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度的影响。60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度是高黏沥青的关键指标,主要反映沥青材料的高温性能。由表4和表8可知:60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度指标均大于20 000 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,最高值接近90 000 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,表明高黏直投剂可显著提高基体沥青的60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度,即提高高温路用性能。制备工艺各因素的影响大小与黏滞性相似,60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度随着直投剂掺量、搅拌速度的增大而增加。

综合来看,高黏沥青的黏滞性、温度敏感性和高温路用性能受制备工艺影响大小的排序和规律较为一致,其中搅拌速度的影响最大。究其原因,一方面是因为搅拌速度因素水平设置跨度较大,导致性能指标有较大波动;另一方面是因为搅拌速度对高黏直投剂能否均匀有效地分散于基体沥青中具有关键影响,从而影响高黏沥青的性能。需注意的是,搅拌速度从1 000 r/min变化到4 000 r/min时,针入度、软化点、60 $^{\circ}\text{C}$ 动力黏度等指标变化幅度较小,表明1 000 r/min转速的制备条件可满足高黏直投改性剂的制备工艺需求。综合制备工艺的影响大小和规律,推荐湿法制备高黏沥青的工艺参数组合为高黏直投剂掺量4%、搅拌速度1 000 r/min、搅拌时间10 min、加热温度180 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 高黏直投干、湿法沥青混合料性能对比

为更为直观地描述制备工艺对直投高黏改性剂应用的影响,采用湿法(采用第2组试验制备的高黏沥青)和干法直投工艺分别制成高黏沥青混合料试件,测试其性能,结果见表9。

由表9可知:湿法改性高黏沥青混合料的性能优于干法工艺制备的混合料,表明采用图1所示干法制备工艺未能充分发挥高黏直投剂的最佳效果,可通过优化制备工艺进一步提高混合料的性能水

表9 高黏沥青混合料性能测试结果

制备工艺	稳定度/kN	流值/mm	残留稳定度/%	劈裂抗拉强度比/%	飞散损失/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
湿法	13.53	3.60	92	90	1.2	10 233
干法	10.66	4.22	89	87	1.8	8 360

平。此外,由于高黏直投剂干法应用中拌合楼无法像湿法一样准确控制制备因素,且直投于SBS改性沥青的制备工艺比传统胶体磨式高黏沥青制备方法更简便和经济,可考虑采用湿法工艺进行高黏直投改性剂应用,以获取更好的性能。

3 结论

(1) 高黏直投改性剂可显著提高基体沥青的黏滞性、高温路用性能,降低温度敏感性,但对基体沥青的塑性有不利影响,可根据黏滞性、温度敏感性、塑性等要求来确定高黏直投剂应用时的合理掺量。

(2) 在直投剂掺量、搅拌速度、搅拌时间、加热温度4个制备工艺因素中,高黏沥青的黏滞性、温度敏感性和高温路用性能受搅拌速度的影响最大,采用1 000 r/min的制备工艺可使直投剂较充分地熔融,对基体沥青进行有效改性;高黏沥青的塑性受直投剂掺量的影响最大,在高黏直投改性剂应用中,应优先保证搅拌速度和控制直投剂的掺量来保证应用效果;湿法制备高黏改性沥青时,推荐采用4%的高黏直投剂掺量、1 000 r/min左右的搅拌速度、10 min的搅拌时间和180℃左右的加热温度。

(3) 干法直投改性制备的高黏沥青混合料的性能差于湿法高黏沥青混合料,可通过提高干法搅拌速度、延长搅拌时间或采用湿法直投的形式来获得更好性能的干法直投高黏沥青混合料。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通运输部.2019年交通运输行业发

展统计公报[EB/OL].[2020-05-12].http://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3321335.html.

- [2] XIAO Chen, CHANG Li, YAN Jiang, et al. Comparisons with high viscosity additive effects on base and modified asphalt[J]. Petroleum Science and Technology, 2019, 37(11): 1331-1337.
- [3] 梅晨悦, 刘子铭, 祁静, 等. 小粒径排水型超薄罩面路用性能研究[J]. 公路与汽运, 2019(2): 84-87+92.
- [4] 王仕峰, 马庆丰, 李剑. 新排水路面用高黏度改性沥青的研究与应用进展[J]. 石油沥青, 2012, 12(1): 1-8.
- [5] 黄志义, 胡晓宇, 王金昌, 等. 高黏沥青中高温感温性评价方法的适用性[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015, 49(8): 1448-1454+1486.
- [6] 刘宁, 钟海燕, 蔺亚敏, 等. 直投式改性沥青混合料的拌合工艺研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2020, 37(7): 28-31.
- [7] 冯海燕. 干法直投式SBS改性沥青技术应用[J]. 交通世界, 2018(22): 136-137.
- [8] 刘霞. 直投式高黏度改性沥青混合料的试拌及拌和均匀性[J]. 中国市政工程, 2018(4): 67-70+111.
- [9] 陈志源, 李启令. 土木工程材料[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2013.
- [10] 孔彩力. 高黏沥青超薄层罩面的降噪性与耐久性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- [11] 杨建新, 梅李贵子, 卢健, 等. 沥青60℃动力黏度的试验方法比较研究[J]. 石油沥青, 2010, 24(1): 15-20.

收稿日期: 2021-01-18

(上接第67页)

- [8] 黄维蓉, 任海生. 沥青发泡机理及发泡效果评价指标研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(6): 36-41.
- [9] MA Wangyu, RANDY West, NAM Tran, et al. Optimising water content in cold recycled foamed asphalt mixtures[J]. Road Materials and Pavement Design, 2017, 18(4): 58-78.
- [10] MAREK Iwański, ANNA Chomicz-Kowalska, KRZYSZTOF Maciejewski. Application of synthetic wax for improvement of foamed bitumen parameters[J]. Con-

struction and Building Materials, 2015, 83: 62-69.

- [11] 拾方治, 赫振华, 吕伟民, 等. 沥青发泡原理及发泡特性的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2004, 7(2): 183-187.
- [12] 徐金枝. 泡沫沥青及泡沫沥青冷再生混合料技术性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- [13] 王启超. 沥青发泡工艺参数试验与仿真研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [14] 张银宣. 泡沫沥青胶浆的流变特性、微观结构及热特性研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2018.

收稿日期: 2020-10-29