

预处理废胶粉复合改性沥青制备工艺探讨*

熊梦日, 王辉

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为探究预处理废胶粉复合改性沥青最佳制备工艺, 以剪切温度、剪切时间、SBS 掺量、稳定剂掺量为影响因素进行四水平正交试验, 采用极差分析法分析各因素对沥青针入度、软化点、延度三大指标及弹性恢复、布氏黏度、离析等性能的影响, 提出预处理废胶粉复合改性沥青最佳制备工艺参数为剪切温度 180 °C、剪切时间 30 min、SBS 掺量 1%、稳定剂掺量 0.5%。

关键词: 公路; 预处理废胶粉; 改性沥青; 制备工艺; 正交试验; 极差分析

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)01-0051-03

将采用废旧轮胎加工得到的废胶粉作为改性剂添加到沥青中制得胶粉改性沥青, 能有效改善沥青低温柔性、提高沥青黏度等, 且符合绿色交通发展的需求。但目前常规胶粉改性沥青常存在储存性能不足等缺点, 影响其应用。何兆益等研究发现将硫化胶粉中的 S—S 键、S—C 键断开, 达到脱硫效果, 使其更具有活性, 胶粉与沥青更易充分溶胀, 反应更完全, 稳定性更好。徐希娟等研究发现工艺因素(剪切温度、剪切时间)和材料因素(胶粉掺量、目数)对改性沥青性能均有影响。将普通胶粉进行脱硫预处理并添加一定软化剂和活化剂制得预处理胶粉, 能改善改性沥青的储存稳定性, 提升路用性能。但预处理胶粉与硫化胶粉性质不同, 导致二者对沥青的改性机理存在差异, 进而影响制备工艺。因此, 有必要研究预处理胶粉改性沥青制备工艺。该文通过四因素四水平正交试验, 测试沥青的主要性能指标, 采用极差分析法考察各因素水平对沥青性能的影响, 探讨最佳制备工艺参数。

1 试验材料

选用双龙 70# A 级基质沥青作为试验材料, 其相关技术指标见表 1。

预处理废胶粉为经半脱硫化学预处理后添加软化剂与活化剂的成品胶粉, 目数为 40 目。SBS 采用星型结构 SBS。稳定剂以硫磺为主要成分, 添加丁基橡胶、三元乙丙橡胶等掺配而成。

表 1 双龙 70# A 级基质沥青的技术指标

项目	试验结果	技术要求
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	68.5	60~80
软化点(环球法)/°C	46.3	≥45
延度(10 °C)/cm	46.4	≥20
延度(15 °C)/cm	126.0	≥100

2 制备工艺探讨

预处理废胶粉复合改性沥青由基质沥青、SBS、预处理废胶粉和稳定剂按顺序掺入, 经高温剪切制成。胶粉沥青改性过程中影响改性效果的因素有很多, 其中: 剪切温度、剪切时间是影响胶粉与基质沥青相互反应和相容的重要因素, 若剪切温度过低、时间短, 则胶粉得不到充分溶胀而分散不均匀, 高温性能和储存性能差; SBS 能吸附沥青中的轻质组分, 打破基质沥青原有胶体结构的平衡, 建立新的胶体结构体系, 在沥青中形成弹性网络结构, 使改性沥青的弹性、塑性和延展性得到改善; 稳定剂能结合沥青形成网状结构, 增加其热稳定性、坚韧性。因此, 选取剪切温度、胶粉剪切时间、SBS 掺量及稳定剂掺量为主要考察因素进行研究。

因预处理胶粉活性较强, 改性时用量可适量提高。根据前期研究, 选用沥青质量 31.5% 掺量进行改性。改性时, 胶粉颗粒通过剪切机高速剪切而磨碎, 故剪切速率不宜过小, 否则颗粒结块聚集。选用 4 500 r/min 转速。制备工艺为先将基质沥青加热

* 基金项目: 湖南省交通运输厅科技进步与创新计划项目(201825; 201513); 湖南省交通运输厅地方标准制修订计划项目(B202112); 长沙市科技计划项目(KQ2004067); 长沙理工大学校级专业学位研究生“实践创新与创业能力提升项目”(SJCX201915)

至 170~180 °C → 加入一定量 SBS, 以 3 000 r/min 转速剪切 5 min → 缓慢加入沥青质量 31.5% 的预处理废胶粉并搅拌均匀 → 在选定的高温条件下以 4 500 r/min 的转速剪切规定时间 → 加入稳定剂高速剪切 3 min, 制得预处理胶粉复合改性沥青。

选择 A(剪切温度)、B(剪切时间)、C(SBS 掺量)和 D(稳定剂掺量)4 个因素进行正交试验, 通过 $L_{16}(4^4)$ 正交表对预处理废胶粉复合改性沥青各因素进行试验方案设计, 各因素分别拟定 4 个水平。正交设计方案见表 2。

16 组预处理废胶粉复合改性沥青的制备按上述流程进行。16 组成品改性沥青除正交表中 4 种因素不同外, 其他条件均相同。对成品沥青进行沥青三大指标及弹性恢复、180 °C 布氏黏度、离析测试, 结果见表 3。

表 2 正交试验方案

试验号	A/°C	B/min	C/%	D/%
1	170	15	0.25	0.1
2	170	30	0.50	0.3
3	170	45	0.75	0.5
4	170	60	1.00	0.7
5	180	15	0.50	0.5
6	180	30	0.25	0.7
7	180	45	1.00	0.1
8	180	60	0.75	0.3
9	190	15	0.75	0.7
10	190	30	1.00	0.5
11	190	45	0.25	0.3
12	190	60	0.50	0.1
13	200	15	1.00	0.3
14	200	30	0.75	0.1
15	200	45	0.50	0.7
16	200	60	0.25	0.5

表 3 正交试验结果

试验号	针入度/(0.1 mm)	软化点/°C	5 °C 延度/mm	弹性恢复率/%	180 °C 布氏黏度/(MPa·s)	离析/软化点差/°C
1	42.1	64.1	100.4	73.0	2 430	3.0
2	37.5	69.1	101.5	81.0	2 540	3.6
3	34.5	73.6	111.2	81.0	3 025	4.2
4	43.2	73.8	135.2	82.0	2 330	2.4
5	39.2	70.2	99.8	81.5	2 560	3.1
6	35.7	70.4	103.5	78.0	3 095	1.5
7	39.1	69.5	112.6	76.0	2 650	2.2
8	42.6	70.1	98.1	82.0	2 580	2.4
9	39.9	67.5	143.1	80.0	2 670	1.9
10	32.9	69.4	165.9	73.0	2 930	3.7
11	36.2	68.1	137.6	67.0	2 780	4.1
12	36.3	69.5	142.1	72.0	1 955	3.0
13	52.2	69.9	150.6	77.0	1 890	4.6
14	37.6	70.2	159.2	78.0	2 190	3.8
15	43.1	69.5	137.5	72.0	1 750	2.4
16	44.4	63.8	155.6	73.0	1 890	2.3

对试验结果进行极差分析, 确定制备工艺及改性剂掺量最佳组合, 分析结果见表 4。

表 4 极差分析

性能指标	因素	K_1	K_2	K_3	K_4	R
25 °C 针入度	A	39.325	39.150	36.325	44.325	8.000
	B	43.350	35.925	38.225	41.625	7.425
	C	39.600	39.025	38.650	41.850	3.200
	D	38.775	42.125	37.750	40.475	4.375
软化点	A	70.150	70.050	68.625	67.450	2.700
	B	67.925	69.775	69.275	69.300	1.850
	C	66.600	68.675	70.350	70.650	4.050
	D	68.325	69.300	69.250	69.400	1.075

续表 4

性能指标	因素	K_1	K_2	K_3	K_4	R
5 °C 延度	A	112.075	103.500	147.175	150.725	47.225
	B	123.475	132.525	124.725	132.750	9.275
	C	124.275	120.225	127.900	141.075	20.850
	D	128.575	121.950	133.125	129.825	11.175
180 °C 布氏黏度	A	2 581.250	2 721.250	2583.750	1 930.000	791.250
	B	2 387.500	2 688.750	2551.250	2 188.750	500.000
	C	2 548.750	2 201.250	2616.250	2 450.000	1 415.000
	D	2 306.250	2 447.500	2601.250	2 461.250	295.000
离析	A	3.300	2.300	3.175	3.275	1.000
	B	3.150	3.150	3.225	2.525	0.700
	C	2.725	3.025	3.075	3.225	0.500
	D	3.000	3.675	3.325	2.050	1.625

由表 4 可知:1) 对于针入度, A 因素极差最大, 剪切温度的影响最大。针入度不宜过大, 否则稠度过小, 混合料包裹不均匀, 容易松散; 也不宜太小, 否则稠度太大, 不易施工。根据针入度数据分析得出最佳组合为 A1/A2B3/B4C1/C2D1/D4。2) 对于软化点, SBS 掺量是影响最大的因素。一般情况下, 软化点越高, 高温性能越好。根据软化点数据分析得出最佳组合为 A1B2C4D4。3) 对于 5 °C 延度, 剪切温度是影响最大的因素。5 °C 延度指标主要用来评价沥青的低温性能, 提升延度可提升沥青的塑性变形能力。根据 5 °C 延度数据分析得出最佳组合为 A4B4C4D3。4) 对于沥青布氏黏度, 剪切温度是影响最大的因素。沥青材料的黏度表征沥青抵抗流动和变形的能力, 黏度越大, 沥青材料的抗疲劳能力越强, 高温下对荷载作用的抗变形能力越好, 弹性恢复能力也越强。但黏度过大不利于路面混合料施工, 路面难以压实。从这个角度考虑, 根据布氏黏度数据分析得出最佳组合为 A1/A3B1/B3C1/C4D2/D4。5) 对于沥青离析, 稳定剂掺量是影响最大的因素。软化点差值越大, 沥青材料上下部差距越大, 均质性越弱。根据沥青离析数据分析得出最佳组合为 A2B4C1D4。根据 5 个指标数据分析得出的最佳组合均有所不同, 考虑 5 个指标分别对应的最佳组合中各水平出现的频率和各影响因素对 5 个指标的影响程度大小等, 确定最佳制备工艺组合为 A2、B2、C4、D3。

综上, 通过正交试验最终确定的预处理废胶粉复合改性沥青最佳制备工艺组合为温度 180 °C、剪切时间 30 min、SBS 掺量 1%、稳定剂掺量 0.5%。最佳制备工艺流程见图 1。

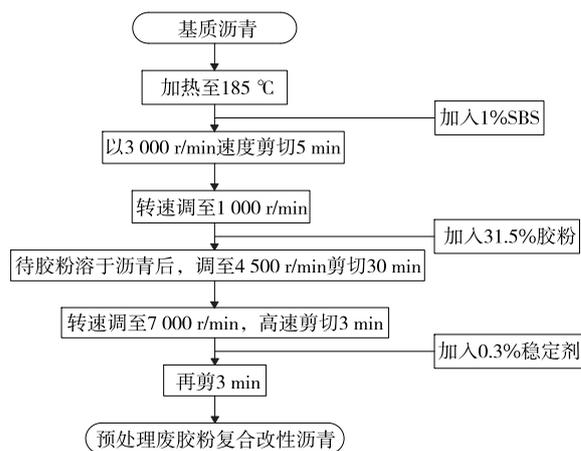


图 1 最佳制备工艺技术流程

3 结论

根据剪切温度、剪切时间、SBS 掺量、稳定剂掺量 4 个因素四水平正交试验结果, 对针入度、5 °C 延度、布氏黏度影响最大的因素为剪切温度, SBS 掺量对软化点的影响最大。稳定剂对离析的影响最大。考虑到混合料的施工要求, 预处理废胶粉复合改性沥青的最佳制备工艺为剪切温度 180 °C、剪切时间 30 min、SBS 掺量 1%、稳定剂掺量 0.5%。

参考文献:

- [1] 张恒龙, 段海辉, 唐俊成, 等. 不同抗剥落剂对胶粉改性沥青性能的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2020, 40(5): 1-14.
- [2] 夏娟, 吴旷怀, 凌宏杰. 脱硫过程对废胶粉改性沥青粘度的影响[J]. 石油沥青, 2009, 23(3): 21-24.
- [3] MULL M A, STUART K, YEHIA A. Fracture resist-

由图 22 可知:填料弹性模量为 80~90 MPa 时,列车轮重减载率无明显变化;填料弹性模量为 90~110 MPa 时,随填料弹性模量增大,列车轮重减载率逐渐降低,与填料弹性模量为 90 MPa 时相比,填料弹性模量为 120 MPa 时轮重减载率减小 31.34%;填料弹性模量为 110~150 MPa 时,轮重减载率无明显变化,趋于平稳;填料弹性模量大于 150 MPa 时,轮重减载率随着填料弹性模量的增大而逐渐增大。

由图 23 可知:列车脱轨系数随填料弹性模量增加而逐渐减小;填料弹性模量为 100~120、130~140 MPa 时,脱轨系数趋于平缓;填料弹性模量为 80、90 MPa 时,脱轨系数较大,分别为 0.469、0.464,均未超过容许限度。

由图 24 可知:填料弹性模量为 80~120 MPa 时,随着填料弹性模量的增大,列车垂向加速度减小,与填料弹性模量为 80 MPa 时相比,填料弹性模量为 120 MPa 时列车垂向加速度降低 58.62%;填料弹性模量为 120~140 MPa 时,列车垂向加速度趋于平缓;填料弹性模量大于 150 MPa 时,列车垂向加速度略有增加。

4 结论

(1) 路桥过渡段长度为 0~20 m 时,轨道和列车的动力响应随着路桥过渡段长度的增大逐渐降低;过渡段长度大于 20 m 时,列车和轨道的动力响应随着过渡段长度的继续增大无明显变化。

(2) 随着过渡段填料弹性模量的增大,列车脱

轨系数逐渐减小;过渡段填料弹性模量为 80~110 MPa 时,其他动力响应随填料弹性模量的增大逐渐降低;过渡段填料模量大于 140 MPa 时,列车动力响应增大。

参考文献:

[1] 李双龙,魏丽敏,徐长红,等.压路机激励下重载铁路路桥过渡段动力特性研究[J].振动与冲击,2021,40(4):120-129.

[2] 常文浩,蔡小培,罗必成,等.严寒地区路桥过渡段无砟轨道结构变形及损伤[J].中国铁道科学,2021,42(1):15-24.

[3] 李泰澧,韩自力,陈锋,等.35~40 t 轴重铁路泡沫轻质土路桥过渡段力学特性试验研究[J].铁道建筑,2020,60(4):140-144.

[4] 周文涛,涂鹏,陈宪麦.CRTS II 型板式无砟轨道路桥过渡段动力响应研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(12):3050-3059.

[5] 殷允垚.车-轨耦合条件下路桥过渡段优化问题研究[D].兰州:兰州交通大学,2020.

[6] 蔡成标,翟婉明,王开云.遂渝线路基上板式轨道动力性能计算及评估分析[J].中国铁道科学,2006,27(4):17-21.

[7] 赵磊.大单元双块式无砟轨道路桥过渡段路基上拱影响研究[J].铁道学报,2018,40(10):127-134.

[8] 蔡嘉升,陈进杰,王建西,等.单元化后高速铁路桥上 CRTS II 型板式无砟轨道结构纵向力分布规律研究[J].铁道标准设计,2021,65(9):45-51.

收稿日期:2021-05-07

(上接第 53 页)

ance characterization of chemically modified crumb rubber asphalt pavement[J].Journal of Materials Science,2002,37(3):557-566.

[4] 何兆益,危接来,吴宏宇,等.废胎胶粉改性沥青性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009,28(6):1025-1027.

[5] 肖建军,邱祖民,周伟,等.废旧橡胶脱硫再生及其在塑料中的应用研究进展[J].化工新型材料,2015,43(4):223-226.

[6] 徐希娟,李晓娟,周新锋.基于高温性能的轮胎橡胶粉沥青结合料适用性研究[J].筑路机械与施工机械化,2016,33(9):62-64.

[7] LIN P, HUANG W D, TANG N P, et al. Performance

characteristics of terminal blend rubberized asphalt with SBS and polyphosphoric acid[J].Construction and Building Materials,2017,141:171-182.

[8] 徐安花,王小雯,熊锐,等.橡胶粉改性沥青制备及性能试验研究[J].硅酸盐通报,2017,36(4):1326-1332+1344.

[9] KÖK B V, ÇOLAK H. Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt[J].Construction and Building Materials,2011,25(8):3204-3212.

[10] 贾彦.CR/SBS 复合改性沥青制备与性能研究[D].西安:长安大学,2019.

收稿日期:2021-04-26