

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.01.012

胶粉与 SBS 复合改性沥青制备与性能研究

陈海龙

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 为优化胶粉与 SBS 复合改性沥青制备参数,通过正交试验探讨 SBS 嵌段比、胶粉目数、SBS 掺量及胶粉掺量对复合改性沥青高、低温性能及黏度的影响,进行影响因素与沥青性能 Pearson 相关性分析,最后采用傅里叶变换红外光谱分析仪研究改性机理。结果表明,高嵌段比 SBS 与高胶粉掺量会提升复合改性沥青的高温性能,但不利于复合改性沥青的低温性能;提高胶粉目数可降低复合改性沥青的黏度,提高 SBS 掺量对改善复合改性沥青的高、低温性能均能起到积极作用;SBS 嵌段比对复合改性沥青的高温性能影响显著,胶粉掺量对沥青黏度影响显著;胶粉与 SBS 对沥青的改性过程主要为物理改性。

关键词: 公路;胶粉改性沥青;SBS 改性剂;正交试验;红外光谱分析

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)01-0060-04

胶粉改性沥青与 SBS 改性沥青是目前常见的道路黏结材料^[1]。胶粉改性沥青不仅具有降低路面行车噪声、提高路面抗老化性能等技术优势,还拥有价格低廉、绿色环保等优势^[2-3]。但胶粉改性沥青存在储存稳定性不良、黏度较高导致施工温度较高、和易性不佳等技术缺陷^[4-7]。SBS 改性沥青具有优良的高、低温性能及抗老化性能,但 SBS 改性剂价格高昂。由此可见,采用胶粉或 SBS 制成的单一改性沥青存在技术缺陷或不具备较好的经济性^[8-9]。研究表明,将胶粉与 SBS 进行复合改性,既可降低胶粉掺量改善沥青的技术性能,又能降低 SBS 掺量提高沥青的经济性^[10-12]。本文针对胶粉与 SBS 复合改性沥青展开研究,以制备技术性能、经济性均优良的新型沥青混合料胶结料。

1 原材料与制备工艺

1.1 原材料

(1) 沥青。沥青中轻质组分含量越高,越利于改性剂的溶解。选用中石化生产的饱和芬和芳香芬

含量均较高的东海牌 70A 级沥青作为基质沥青,其技术性能指标见表 1。

表 1 基质沥青的技术性能指标

试验项目	检测结果
15℃延度/cm	>100
针入度(25℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)	671
软化点(R&B)/℃	46.7
闪点/℃	267
溶解度/%	99.9
相对密度	1.012
饱和芬/%	14.6
芳香芬/%	46.8
胶质/%	24.6
沥青质/%	14.0
质量变化/%	-0.425
RTFOT 残留针入度(25℃)/%	72
后残留物 残留延度(10℃)/cm	15

(2) 改性剂。选用岳阳石化生产的 3 种不同嵌段比的线型 SBS 及 3 种目数的胶粉作为改性剂,其技术性能指标分别见表 2、表 3。

表 2 SBS 改性剂的技术性能指标

SBS 型号	嵌段比 (S/B)	灰分/ %	熔体流动速率/ [g·(10 min) ⁻¹]	拉断伸 长率/%	300%定伸 应力/MPa	拉伸强 度/MPa
YH-796	20/80	≤0.2	1~50	≥800	≥1.4	≥8
YH-791	30/70	≤0.2	5~50	≥750	≥2.0	≥15
YH-792	40/60	—	<1	≥700	≥2.8	≥32

注:嵌段比是指 SBS 中聚苯乙烯链段与聚丁二烯链段含量的比,其中聚丁二烯链段为非极性链段,聚苯乙烯链段为极性链段。

表 3 胶粉改性剂的技术性能指标

目数/目	相对密度	纤维含量/%	水分/%	灰分/%	金属含量/%
30	1.32	0	0.6	3	0.003
40	1.25	0	0.6	5	0.003
60	1.27	0	0.6	4	0.003
技术标准	实测	0	<1.0	<6	<0.030

注:目数是指胶粉的粒径;技术标准为 GB/T 19208—2008《硫化橡胶粉》对公路改性沥青用橡胶粉的技术要求。

1.2 复合改性沥青的制备工艺

将基质沥青加热至 160 ℃,使其呈熔融状态。先掺入 SBS 改性剂,采用高速剪切机以 5 000 r/min 的速率剪切 30 min;再将沥青温度升至 180 ℃,加入胶粉改性剂,以同样的速率剪切 30 min;最后放入 160 ℃烘箱中溶胀 30 min,制得复合改性沥青。

2 复合改性沥青制备研究

采用正交试验方法,以 SBS 嵌段比、胶粉目数、SBS 掺量及胶粉掺量为研究因素,分别设置 3 个水平(见表 4)进行复合改性沥青制备研究。

表 4 研究因素水平表

因素	SBS	胶粉目	SBS 掺量/	胶粉掺量/
水平	嵌段比	数/目	%	%
1	20/80	30	2	12
2	30/70	40	3	16
3	40/60	60	4	20

注:掺量为改性剂与基质沥青的质量比。

2.1 正交试验设计

对表 4 中研究因素及水平进行正交试验设计,正交试验方案见表 5。

表 5 复合改性沥青制备正交试验设计方案

试验组别	嵌段比	胶粉目数/目	SBS 掺量/%	胶粉掺量/%
1	20/80	30	2	12
2	20/80	40	3	16
3	20/80	60	4	20
4	30/70	30	3	20
5	30/70	40	4	12
6	30/70	60	2	16
7	40/60	30	4	16
8	40/60	40	2	20
9	40/60	60	3	12

2.2 正交试验结果与分析

2.2.1 试验结果

参照表 5 中改性剂掺量,按照前文复合改性沥

青制备工艺制备胶粉与 SBS 复合改性沥青,并采用 DSR 单点测试模式测定沥青的 64 ℃车辙因子,采用 BBR 测定沥青 -24 ℃条件下 60 s 蠕变劲度模量,采用布洛克菲尔德黏度计测定沥青 175 ℃布氏黏度,试验结果见表 6。

表 6 复合改性沥青正交试验结果

试验组别	车辙因子/kPa	60 s 蠕变劲度模量/MPa	175 ℃布氏黏度/(Pa·s)
1	60.2	281.5	2.14
2	67.2	257.2	2.42
3	72.5	289.7	2.67
4	74.3	303.2	2.78
5	77.6	262.1	2.48
6	70.8	323.8	2.36
7	78.6	305.3	2.85
8	76.3	313.6	2.59
9	75.1	309.5	2.31

采用均值分析法对试验结果进行分析。均值分析法以单一影响因素为对象,求得其不同水平下试验结果的均值,以该均值表征该因素水平对试验对象的影响。均值分析法处理结果见图 1~3。

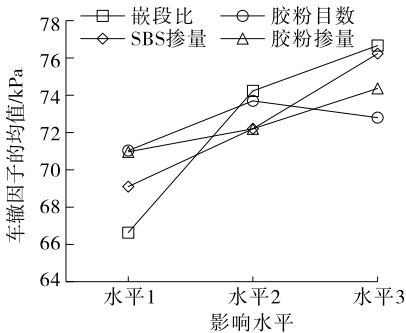


图 1 各因素对胶粉与 SBS 复合改性沥青车辙因子的影响

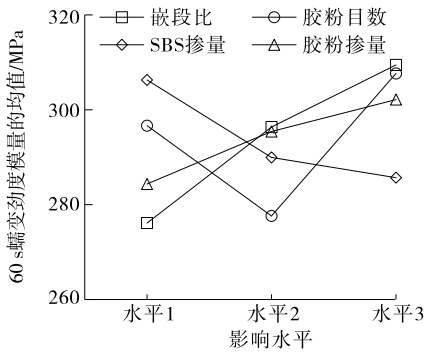


图 2 各因素对胶粉与 SBS 复合改性沥青 60 s 蠕变劲度模量的影响

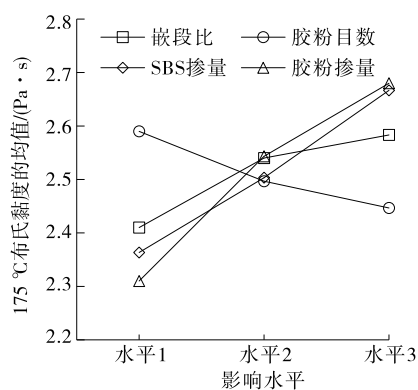


图3 各因素对胶粉与SBS复合改性沥青175℃布氏黏度的影响

2.2.2 试验结果分析

(1) 高温性能。由图1可知:1) 随着SBS嵌段比的提高、SBS与胶粉掺量的增加,复合改性沥青的车辙因子上升,其高温性能得到提升。这是因为嵌段比越高,SBS中聚苯乙烯链段含量越高,这种极性链段分子间作用力较大,采用这种改性剂制备的改性沥青通常劲度较高,因而沥青高温性能得到改善;SBS掺量增加使沥青中产生了更多限制沥青流动的网络结构,胶粉掺量增加使沥青中更多轻质组分被胶粉吸附,沥青变得浓稠,导致高温性能提升。2) 随着胶粉目数的增大,复合改性沥青的车辙因子先上升后略微下降,沥青的高温性能先提升后降低。这可能是因为胶粉目数适宜时,胶粉在沥青中充分溶胀反应,形成稳定骨架结构,而胶粉目数越大,胶粉粒径越小,反而不利于自身在沥青中形成骨架结构,容易导致高温失稳。

(2) 低温性能。由图2可知:1) 随着SBS掺量的提高,复合改性沥青的60s蠕变劲度模量降低,沥青低温性能得到改善,提高SBS掺量,可提升复合改性沥青的低温性能。这是因为SBS改性剂在沥青中生成网络交联结构,可以很好地消散低温拉应力,从而提高沥青的低温性能。2) 随着胶粉目数的增大,60s蠕变劲度模量先减小后增大,复合改性沥青的低温性能先提升后降低,胶粉目数过大,不利于沥青低温性能提升。这可能是因为胶粉目数过大,胶粉颗粒过细,不利于形成稳定的骨架结构,导致沥青低温性能随胶粉目数增大先提升后降低。3) 随着嵌段比与胶粉掺量的增大,复合改性沥青的蠕变劲度模量增大,沥青的低温性能劣化,采用高嵌段比SBS及高胶粉掺量制备的复合改性沥青的低温性能较差。嵌段比增加,SBS中聚丁二烯链段含量

降低,而聚丁二烯链段属于非极性链段,具有较好的柔性,因而采用高嵌段比SBS制备的沥青的低温抗裂性能减弱;高胶粉掺量导致沥青中的轻质组分含量较低,沥青变形能力较差,低温性能降低。

(3) 黏度。由图3可知:1) 随着嵌段比、SBS掺量、胶粉掺量的增大,175℃布氏黏度提高,提高嵌段比、SBS掺量与胶粉掺量均可提高沥青黏度。这是因为嵌段比越高,SBS中极性链段含量越高,极性链段分子间作用力较强,采用高嵌段比SBS制备的沥青黏度较大;提高SBS掺量与胶粉掺量均导致沥青中轻质组分较少,沥青流动性降低,黏度增大。2) 随着胶粉目数的提高,沥青的175℃黏度降低,提高胶粉目数可降低复合改性沥青的黏度。这可能是因为胶粉目数越大,胶粉颗粒粒径越小,在沥青中发育越好,导致胶粉表面沥青膜更厚,因而沥青流动性增加,黏度降低。

2.3 Pearson相关性分析

为研究嵌段比、胶粉目数、SBS掺量与胶粉掺量对复合改性沥青性能影响的显著性,对表6中试验结果进行Pearson相关性分析,计算结果见表7。

表7 Pearson相关性分析结果

影响因素	相关性指标	各指标的相关性分析结果		
		车辙因子	60 s蠕变劲度模量	175℃布氏黏度
嵌段比	r	0.696	0.595	0.273
	S_{ig}	0.037	0.091	0.477
	个案数	9	9	9
胶粉目数	r	0.100	0.303	-0.254
	S_{ig}	0.797	0.428	0.509
	个案数	9	9	9
SBS掺量	r	0.532	-0.386	0.567
	S_{ig}	0.141	0.305	0.111
	个案数	9	9	9
胶粉掺量	r	0.253	0.334	0.692
	S_{ig}	0.511	0.380	0.039
	个案数	9	9	9

注: r 的绝对值越接近1,表示因素对指标影响越显著; S_{ig} 小于0.05时,表现为显著影响。

由表7可知:1) 根据 r 值,各因素对复合改性沥青车辙因子和60s蠕变劲度模量的影响程度排序为嵌段比>SBS掺量>胶粉掺量>胶粉目数,对175℃布氏黏度的影响程度排序为胶粉掺量>SBS掺量>嵌段比>胶粉目数。嵌段比与SBS掺量对

复合改性沥青高、低温性能的影响显著,胶粉掺量对复合改性沥青黏度的影响显著。2) 嵌段比对车辙因子的 S_{18} 值为 0.037,胶粉掺量对黏度的 S_{18} 值为 0.039,均小于 0.05,说明嵌段比对复合改性沥青的高温性能有显著影响,胶粉掺量对复合改性沥青的

黏度有显著影响。

根据上述正交试验结果与 Pearson 相关性分析结果,在制备胶粉与 SBS 复合改性沥青时,推荐选择 YH-791 型 SBS(嵌段比为 30/70)、40 目橡胶粉、3% SBS 掺量、16% 胶粉掺量(见表 8)。

表 8 各影响因素水平优选

性能指标	嵌段比	胶粉目数	SBS 掺量/%	胶粉掺量/%
车辙因子	30/70~40/60	不显著	3~4	不显著
60 s 蠕变劲度模量	20/80~30/70	不显著	3~4	不显著
175 ℃ 布氏黏度	不显著	不显著	2~3	12~16

3 复合改性机理研究

为研究胶粉与 SBS 改性剂对沥青的改性机理,采用傅里叶变换红外光谱仪对基质沥青与复合改性沥青进行红外光谱分析。沥青中不同分子会吸收相应振动波长的红外线,并使分子自身振动,能级增加而产生跃迁,红外光谱仪可捕捉这种振动,判断是否产生新的分子。基质沥青、胶粉与 SBS 复合改性沥青的红外光谱测试结果分别见图 4、图 5。

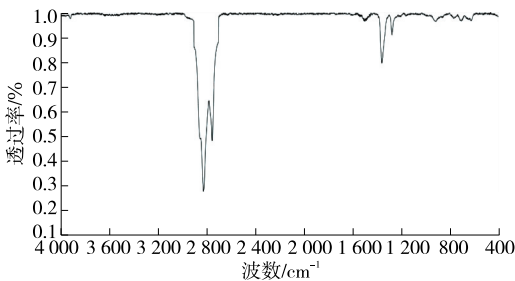


图 4 基质沥青的红外光谱图像

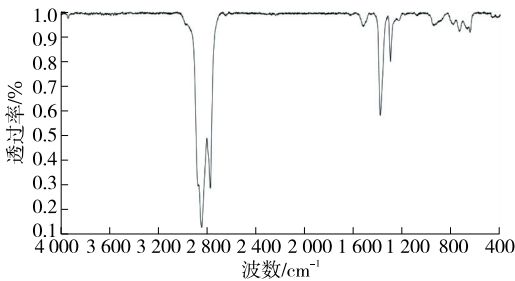


图 5 胶粉与 SBS 复合改性沥青的红外光谱图像

由图 4、图 5 可知:两种沥青均在 $2\,800\text{ cm}^{-1}$ 、 $2\,700\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,350\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,300\text{ cm}^{-1}$ 处出现较强的特征吸收峰,胶粉与 SBS 复合改性沥青在 950 cm^{-1} 处出现相对较强的吸收峰,这可能是由 SBS 改性剂

中的 C=C 双键吸收红外线所致。两种沥青的红外光谱图像特征峰位置一致性较高,曲线变化基本吻合,说明胶粉与 SBS 改性剂对沥青的改性过程中没有产生新的化学分子,改性过程以物理改性为主。

4 结论

(1) 高嵌段比 SBS 与高胶粉掺量有利于提高复合改性沥青的高温性能,提高 SBS 改性剂掺量对改善复合改性沥青的高、低温性能起到正向作用,提高胶粉目数有利于降低复合改性沥青的黏度,但目数过高会劣化其高、低温性能。

(2) SBS 嵌段比对复合改性沥青高温性能的影响显著,胶粉掺量对沥青黏度的影响显著。通过相关性分析,推荐选择 YH-791 型 SBS(嵌段比为 30/70)、40 目橡胶粉、3% SBS 掺量、16% 胶粉掺量作为复合改性沥青制备参数。

(3) 基质沥青与复合改性沥青的红外光谱图像特性峰基本一致,胶粉和 SBS 改性剂对沥青的复合改性过程基本为物理改性。

参考文献:

[1] 莫耀.橡胶粉/SBS 复合改性沥青在超薄磨耗层中应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.

[2] LIU L, LIU Z, HONG L, et al. Effect of ultraviolet absorber (UV-531) on the properties of SBS-modified asphalt with different block ratios[J]. Construction and Building Materials, 2020, 234: 117388.

[3] 宋亮,王朝辉,舒诚,等. SBS/胶粉复合改性沥青研究进展与性能评价[J]. 中国公路学报, 2021, 34(10): 17-33.

(下转第 74 页)

- [12] 丁敏,张永兴.基于改进遗传算法的土钉支护结构优化设计[J].土木工程学报,2011,44(S1):171-176.
- [13] WU K M,FANG J M.A study on the method of stability calculation of soil nailing expansive soil slope [J].IOP Conference Series:Earth and Environmental Science,2019,218:012028.
- [14] 宋鹏.柔性面层土钉墙支护体系研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.
- [15] 杨育文.土钉墙中土压力探究[J].地下空间与工程学报,2010,6(2):300-305.
- [16] 宋二祥,陈肇元,崔京浩,等.深基开挖的土钉支护技术(三):设计方法[J].地下空间,1996(2):64-75.
- [17] 杨茜,张明聚,孙铁成.复合土钉支护面层设计分析方法研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(7):1259-1266.
- [18] PAPAGIANNAKIS A T,BIN-SHAFIQUE S,LY-TTON R L.Retaining structures in expansive clays [J].Geotechnical and Geological Engineering,2014,32(6):1405-1414.
- [19] QI S C,VANAPALLI S K.Influence of swelling behavior on the stability of an infinite unsaturated expansive soil slope [J].Computers and Geotechnics,2016,76:154-169.
- [20] 陈永贵,雷俊,贾灵艳,等.圆饼状高压实膨润土膨胀力各向异性特征研究[J].土木工程学报,2019,52(1):99-107.
- [21] 张颖钧.挡墙后裂土膨胀压力分布与设计计算方法[J].铁道学报,1995,17(1):93-102.
- [22] 张锐,赵旭,郑健龙,等.膨胀土侧向膨胀力试验研究与应用[J].中国公路学报,2020,33(9):22-31.
- [23] 中国水利水电科学研究院.水工建筑物抗震设计规范:SL 203-97[S].北京:中国水利水电出版社,1997.
- 收稿日期:2022-02-21

(上接第 63 页)

- [4] 陈鹏,邹玲,庄明,等.苯乙烯丁二烯苯乙炔嵌段共聚物改性沥青贮存稳定性评价方法[J].科学技术与工程,2021,21(31):13505-13509.
- [5] 冯德成,崔世彤,易军艳,等.EBBR 试验下沥青结合料低温性能评价指标[J].交通运输工程学报,2021,21(5):94-103.
- [6] 刘门阔.常祁高速公路胶粉/SBS 复合改性沥青混合料性能评价与应用[D].长沙:长沙理工大学,2021.
- [7] 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.
- [8] 马庆伟,郭忠印,李文博,等.不同因素对橡胶复合改性沥青高温性能影响分析[J].中外公路,2022,42(3):225-230.
- [9] 杨光.季冻区工厂化废橡胶粉/SBS 复合改性沥青(CR/SBSCMA)及混合料性能研究[D].西安:长安大学,2016.
- [10] TUR RASOOL R,WANG S F,ZHANG Y,et al.Improving the aging resistance of SBS modified asphalt with the addition of highly reclaimed rubber[J].Construction and Building Materials,2017,145:126-134.
- [11] 董泽蛟,周涛,栾海,等.SBS/橡胶粉复合改性 SH 型混合生物沥青工艺及机理[J].中国公路学报,2019,32(4):215-225.
- [12] 孙禧亭.红外光谱多元分析理论、方法及应用研究[D].北京:北京化工大学,2020.
- 收稿日期:2022-08-16

(上接第 68 页)

- [2] 欧孝夺,唐迎春,崔伟,等.h 型抗滑桩模型试验及数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2012,31(9):1936-1943.
- [3] 王羽,赵波,王强,等.基于有限差分法的 h 型抗滑桩结构计算模型[J].防灾减灾工程学报,2015,35(4):464-470.
- [4] 柳治国.ANSYS 在 h 形抗滑桩设计中的应用[J].公路工程,2013,38(3):144-147+154.
- [5] 王晨涛,刘欣,张尧禹,等.h 型抗滑桩的分析方法及在滑坡治理工程中的应用[J].路基工程,2020(5):132-136.
- [6] 何志俊.基于数值模拟的 h 型抗滑桩优化设计研究[J].山西交通科技,2020(4):8-11.
- [7] 詹智麒,徐光黎.不同布桩方式对 h 型双排桩支护结构影响的数值模拟[J].安全与环境工程,2020,27(3):193-199.
- [8] 罗勇,姜波,李春峰,等.h 型抗滑桩滑坡治理中的变形特性及内力研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(6):1702-1710.
- [9] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB 50021-2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- 收稿日期:2021-10-12