

文章编号: 1673-5196(2021)02-0138-06

复合改性乳化沥青的制备及其微表处混合料路用性能

石福周*, 贾小军, 王震, 刘晓佩, 吴佳云

(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 为解决普通乳化沥青在微表处混合料中存在的路用性能不足的问题, 采用先乳化后改性的工艺制备高性能改性乳化沥青. 利用延度与软化点指标确定改性剂添加方法及改性剂掺配比例, 并以其作为微表处混合料的胶结料. 通过湿轮磨损试验(WTAT)验证其抗水损与耐磨耗性能, 通过劈裂试验与高温车辙试验验证其抗裂与抗剪性能. 结果表明, 复合改性乳化沥青的软化点和延度均明显优于普通乳化沥青, 当掺配比例为 3.5% SBR 与 2.5% 环氧时, 延度和软化点可分别达到 400 mm 和 70 °C 以上. 混合料性能试验表明, 采用改性乳化沥青制成的微表处混合料与普通微表处混合料相比, 在抗水损/耐磨耗、抗裂及抗剪等方面具有显著的优势.

关键词: 复合改性; 微表处; 抗水损; 耐磨耗; 抗裂性能; 抗剪性能

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

Preparation of composite emulsified asphalt and its properties of micro-surface mixtures

SHI Fu-zhou, JIA Xiao-jun, WANG Zhen, LIU Xiao-pei, WU Jia-yun

(College of Civil Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to improve the road performance of ordinary emulsified asphalt in the micro surface mixture, the emulsified asphalt with high performance was prepared by the method of emulsification first and then modification. The addition method of modifier and the proportion of modifier blending were determined by using the indexes of ductility and softening point, and then it is used as cementing material for the micro-surface mixture. The performance of resistance to water damage and wear resistance of the wet wheel were verified by the wear test (WTAT), and its crack resistance and shear resistance were verified by splitting test and high-temperature rut test. The results show that the softening point and ductility of the composite modified emulsified asphalt are better than ordinary emulsified asphalt, while the blending ratio of SBR with waterborne epoxy resin is 3.5% to 2.5%, ductility and softening point can reach 400 mm and above 70 °C. The performance test of the mixture showed that the micro surface mixture made of modified emulsified asphalt had significant advantages in water loss resistance/wear resistance, crack resistance and shear resistance compared with the ordinary micro surface mixture.

Key words: composite modification; micro-surfacing; performance of resistance to water damage; wear resistance; cracking resistance; the shear performance

随着越来越多的道路进入养护期, 微表处养护技术的运用越来越广泛. 但是, 就目前所使用的改性乳化沥青而言, 多采用 SBR 胶乳为改性剂, 品种单一, 高温稳定性不够理想. SBS 改性乳化沥青的效果

虽然较好, 但由于生产要求高、难度大, 制约着其大范围的使用^[1-3]. 水性环氧树脂是一种水溶性绿色环保有机高分子材料, 能够较好溶于乳化沥青溶液中, 与乳化沥青发生交联反应, 从而提高乳化沥青部分性能^[4-6]. 2007 年, 广东工业大学^[7]对水性环氧改性乳化沥青进行了改性前后的性能对比, 经水性环氧树脂乳液改性后的乳化沥青, 其高低温性能、耐老化性能等均优于普通乳化沥青. 广州大学王伟明等^[8]

收稿日期: 2019-12-03

基金项目: 国家自然科学基金(51668041), 甘肃省自然科学基金(1508RJZA073)

通讯作者: 石福周(1973-), 男, 甘肃白银人, 博士, 副教授.

Email: sfz562236220@163.com

对 Sasobit 和 SBR 胶乳进行复合改性,研制了新型 SBR 复合改性乳化沥青,沥青含量提高(达 70%),高低温性能良好,各项性能指标均优于普通乳化沥青和 SBR 改性乳化沥青。北京化工大学李胜杰^[9]选用蒙脱土丁苯橡胶复合材料,研究制备了 MMT/SBR 复合改性乳化沥青,结果表明,MMT/SBR 相比单一改性剂 SBR 和 SBS 更好地改善了沥青的低温使用性能,极大地改善了沥青的低温延度,更适合在严寒地区推广应用。

综上所述,乳化沥青的改性由单一性能向综合性能发展。而在目前的研究中,对于环氧与 SBR 的复合改性的研究鲜有报道,SBR 对低温性能的优势与环氧对高温性能、耐老化的优势使得开发这一改性乳化沥青显得很有意义。因此,本次研究首先将水性环氧树脂与 SBR 复合改性制备高性能改性乳化沥青,采用延度与软化点指标对改性乳化沥青蒸发残留物性能进行判定,然后通过湿轮磨耗试验、劈裂试验、高温车辙试验与普通微表处混合料对比,验证其性能优劣。

1 原材料和仪器设备选择

1.1 基质沥青

采用韩国 SK-90 基质沥青,性能指标见表 1。

表 1 SK-90 基质沥青部分参数指标

Tab.1 Some parameters of sk-90 matrix asphalt

指标	针入度 (25℃) /0.1 mm	软化点 (环球法) /℃	延度 (15℃) /cm	延度 (15℃) /cm
测试值	83	52	54	125
技术要求	80~100	≥45	≥45	≥100
试验方法	T0604-2011	T0606-2011	T0605-2011	T0607-2011

1.2 乳化剂

BZ160 型阳离子慢裂快凝型乳化剂,褐色黏稠液体,性能指标见表 2。

表 2 乳化剂主要性能指标

Tab.2 Main performance indexes of emulsifier

活性物含量(质量分数)/%	pH 值	溶解性	气味
≥75	8~10	溶于温水	无刺激性气味

1.3 改性剂

改性剂有 SBR 胶乳改性剂和环氧树脂改性剂,其中 SBR 改性剂为 RZ461 型改性剂,白色乳状液体。环氧采用苏州梅果望地坪材料有限公司生产的水性环氧树脂 WG827 和环氧固化剂 WG802,其添加的质量比例为 2:1.5。

1.4 主要仪器设备

试验用到的主要仪器设备有 SYD-4508C 沥青延度试验仪、SYD-2801F 型低温针入度试验仪、SYD-2806E 全自动沥青软化点试验仪、PINK 试验胶体磨、湿轮磨耗试验仪、车辙试样成型机、自动车辙试验仪等,部分设备见图 1。



(a) PINK 试验胶体磨



(b) 沥青延度试验仪

图 1 主要仪器设备

Fig.1 Main equipment

2 改性乳化沥青制备

采用先乳化后改性的生产工艺,先制备沥青质量分数为 60% 的微表处用普通乳化沥青,再掺入 SBR 与水性环氧树脂进行复合改性。

2.1 乳化沥青的制备

乳化沥青的制备采用 PINK 胶体磨进行,单次最大可制备 1.5 kg 乳化沥青。

1) 取质量分数 2% 的乳化剂于烧杯中,加入煮沸的饮用水 350 g,搅拌 2 min,待乳化剂充分溶解后,用盐酸调至 pH 值 2.0~2.5,加水至 400 g,保温至 75℃ 备用。

2) 加适量开水至胶体磨中,预热 1 min,然后放掉预热的水,将先前制好的皂液倒入胶体磨中。

3) 打开胶体磨开关,将预先烘好的 145℃ 热沥青匀速缓缓加入胶体磨的皂液中,边加边搅拌皂液,

待沥青加入量为 600 g 时,停止加入,0.5 min 后关闭胶体磨开关,将制好的乳化沥青接入壶中,制备完成。

2.2 乳化沥青的复合改性

乳化沥青的复合改性分为两部分,改性剂添加方式的选取与改性剂掺加比例的确定。

1) 添加方式选取

先加入质量分数 3.5% 的 SBR 改性剂搅拌均匀,然后对质量分数 2.5% 环氧树脂的不同添加方法与时机进行对比试验,分别通过 4 种方法:1) 环氧固化剂分别加入,搅拌均匀即刻检验试样;2) 环氧固化剂分别加入,搅拌均匀静置 1 d,检验试样;3) 环氧固化剂提前混合均匀 20 min 后加入,搅拌均匀即刻检验试样;4) 环氧固化剂提前混合均匀 20 min 后加入,静置 1 d,检验试样。测得其延度和软化点如图 2 所示^[10]。

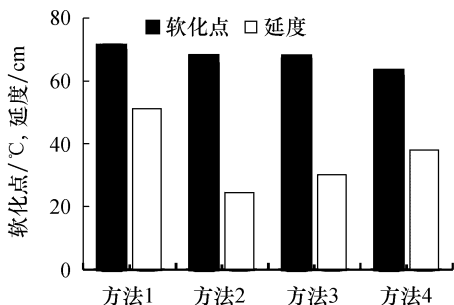


图 2 不同改性方法的乳化沥青指标

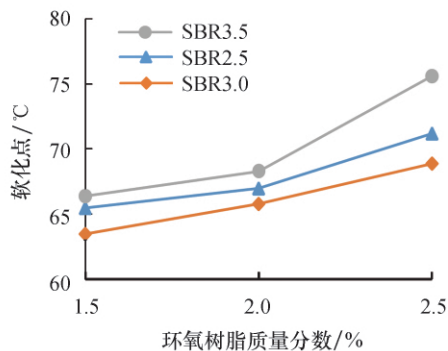
Fig.2 Emulsified asphalt of different modification methods

图 2 中,采用方法一,即水性环氧树脂和环氧树脂固化剂分别加入,搅拌均匀即刻检验试样的方法,得到的改性乳化沥青的综合性能最优;而采用方法二得到的改性乳化沥青的延度最差。这是因为改性剂在静置 1 d 后交联固化反应过大,反而降低了延度的改性效果。这也从侧面反应出方法一即时改性即刻使用的重要性,故选取方法一作为改性剂添加方法。

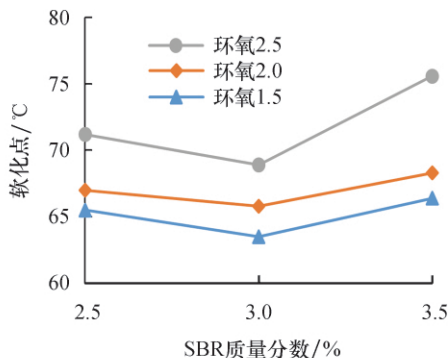
2) 配比试验

分别改变 SBR 质量分数为 2.5%、3.0%、3.5% 与环氧树脂质量分数为 1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 得 12 组试验^[11],试验结果见图 3。当环氧树脂质量分数为 3.0% 时,在蒸发脱水过程中,沥青结团,未能得到蒸发残留物沥青试样。

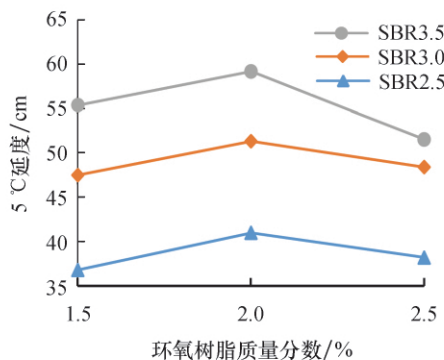
(1) 软化点。如图 3a、b 所示,当固定 SBR 掺加质量时,随着环氧改性剂掺加质量的增加,软化点呈明显的递增趋势,在环氧改性剂质量分数达到 2.5% 时,软化点达 70 °C 以上;当固定环氧改性剂掺加质量时,随着 SBR 改性剂掺加质量的增加,软化点先



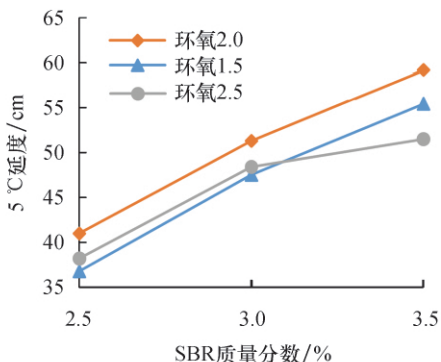
(a) SBR掺加质量不变环氧树脂变化时的软化点指标



(b) 环氧树脂掺加质量不变SBR变化时的软化点指标



(c) SBR掺加质量不变环氧树脂变化时的延度指标



(d) 环氧树脂掺加质量不变SBR变化时的延度指标

图 3 不同配比的乳化沥青指标

Fig.3 Emulsified asphalt of different proportions

减小后增大,而软化点在环氧树脂质量分数 2.5% 与 SBR 质量分数 3.5% 下最大。

分析原因,环氧树脂对乳化沥青的改性主要是交联固化作用,环氧树脂与乳化沥青混合后,环氧树脂微粒和固化剂微粒之间聚结并相互向内部渗透扩散交联,在沥青分子间形成不完全交联、非均相的固化体系,使沥青微粒间的分子作用力增强,沥青从固态向液态转变属于物理变化,分子间作用力的大小决定了这一变化的难易程度。因此,不同环氧树脂掺加质量对高温稳定性的改性效果显著;但当环氧树脂质量分数达到 3.0% 时,过大的交联固化作用使得乳化沥青在蒸发制样时,即开始脱水结团,得不到可用于检测的沥青试样。

(2) 延度。如图 3c、3d 所示,当固定 SBR 改性剂掺加质量时,随着环氧树脂改性剂掺加质量的增加,延度先增加后减小,环氧树脂质量分数为 2.0% 时,延度最大;当固定环氧改性剂掺加质量时,随着 SBR 改性剂掺加质量的增加,延度呈明显的递增趋势。

分析原因,少量的环氧树脂增加了分子间的作用力,使其延度增大,但当环氧树脂掺加质量过大时,其交联固化作用过大,进而延展度减小;而 SBR

改性剂对沥青分子间的交联固化作用要比环氧树脂微弱许多,增加了沥青的延展度。

通过以上分析,当 SBR 改性剂质量分数为 3.5%,环氧改性剂质量分数为 2.5% 时,其软化点和延度均可以达到理想指标。

3 微表处混合料路用性能分析研究

试验选取普通乳化沥青微表处、3.5% SBR 质量分数的改性乳化沥青微表处、2.5% 环氧树脂质量分数的改性乳化沥青微表处以及 3.5% SBR 与 2.5% 环氧树脂质量分数的复合改性乳化沥青微表处 4 种不同乳化沥青的微表处混合料,分别简记为混合料 1、混合料 2、混合料 3、混合料 4,通过湿轮磨耗试验、劈裂试验以及高温车辙试验来评价其抗水损与耐磨耗性、抗裂与抗剪性能^[12-18]。

试验所用粗集料玄武岩取自兰州市西果园料场;细集料石灰岩与矿粉均取自兰州市永登某料场。各项检测指标均符合规范要求,其指标见表 3 和表 4。

微表处混合料通过配合比试验选择 MS-III 型级配中值、外加水质量分数 11%、油石比 7.5%、水泥质量分数 2%,采用外掺法。

表 3 粗集料技术指标

Tab.3 Technical specifications of coarse aggregate

指标	压碎值 (质量分数)/%	洛杉矶磨耗率 (质量分数)/%	表观相 对密度	粗集料坚固性 (质量损失率)/%	吸水率 (质量分数)/%	针片状颗粒含量 (质量分数)/%	磨光值 (质量分数)/%
试验值	18	11.5	2.721	9	0.6	14.0	49.1
技术要求	≤26	≤28	≥2.6	≤12	≤2.0	≤15	≥42
试验方法	T0316-2 000	T0317-2005	T0304-2005	T0314-2000	T0304-2005	T0312-2005	T0321-2000

表 4 细集料技术指标

Tab.4 Technical specifications of fine aggregate

指标	表观相 对密度	细集料坚固性 (质量损失率)/%	砂当量 (质量分数)/%
试验结果	2.671	12.9	69
规范要求	≥2.50	≥12	≥65
试验方法	T0328	T0340	T0334

3.1 抗水损/耐磨耗性能分析

1) 试验方法

抗水损/耐磨耗性分析研究采用湿轮磨耗试验,试验参照“T0752-2011 稀浆混合料湿轮磨耗试验”规范进行,试验选取 MS-III 型级配中值、外加水质量分数 12%、矿粉质量分数 4%、水泥质量分数 2%、油石比 7.5% 进行试验,且每组试样进行 3 次平行试验。

2) 试验结果分析

试验结果见图 4。

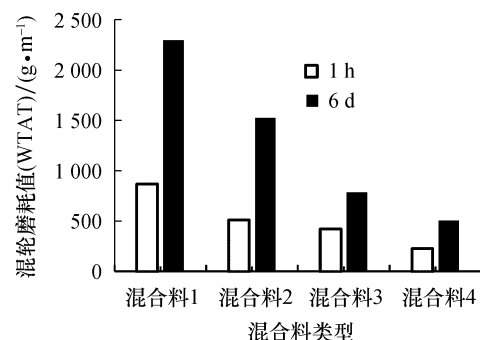


图 4 湿轮磨耗试验结果

Fig.4 Experimental results of wet wheel wear

图 4 中,不论是 1 h 湿轮磨耗还是 6 d 湿轮磨耗,随着混合料 1~4 变化,磨耗值均呈现一种递减的趋势,即耐磨耗性越来越好。通过计算,3 种改性方式对耐磨耗性的改善作用分别达到 41%、51%、74%,其中采用微表处混合料 4 的改性效果最佳,达到了 74%,改善效果显著。

3.2 抗裂性能分析研究

1) 试验方法

抗裂性能分析研究采用劈裂试验进行分析,试验先拌和上述混合料 1~4 的 4 种不同的微表处混合料,然后迅速将其均匀倒入马歇尔模具中,达到马歇尔试件规定的尺寸,然后放入 60 °C 烘箱中养生 3 d,待时间满足要求后脱膜,冷却至室温后进行劈裂试验,见图 5.



图 5 劈裂试验

Fig.5 Splitting experiment

2) 试验结果及分析

试验结果见表 5.

表 5 劈裂试验结果

Tab.5 Split test results

试样	试验荷载最大值/kN	劈裂强度/MPa
混合料 1	0.28	0.018
混合料 2	0.30	0.019
混合料 3	0.56	0.035
混合料 4	0.63	0.040

表 5 中,4 种不同乳化沥青的微表处混合料劈裂强度呈现明显的递增趋势.其中 SBR 改性对微表处混合料劈裂强度的提升效果不明显,而环氧树脂改性使微表处混合料的劈裂强度提升了一倍,复合改性的效果更为优越,提升了 1.25 倍.同时体现了文献中通过环氧树脂制备高强度混凝土的科学性.

3.3 抗剪性能分析研究

抗剪性能分析研究采用高温车辙试验进行,试验先利用车辙仪成型车辙深度约 7 mm 的车辙板,然后取出车辙板放入深度约 7 cm 的车辙模板中,先对车辙处摊铺微表处混合料进行车辙处治,再分 3 层摊铺 9 mm 微表处混合料,每次摊铺后均在 25 °C 室温下养生 24 h 后,方可进行上层摊铺.待试件成型后按照车辙试验规范进行高温车辙试验,车辙试验见图 6,试验结果见表 6.

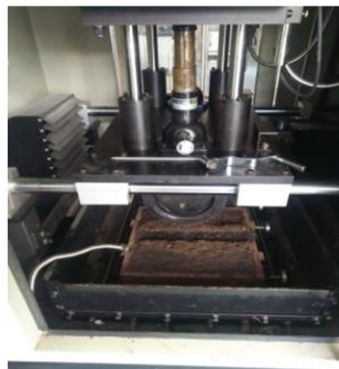


图 6 高温车辙试验

Fig.6 High temperature rut experiment

表 6 高温车辙试验结果

Tab.6 High temperature rut test results

试样	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
混合料 1	1 272.727
混合料 2	1 448.276
混合料 3	1 863.905
混合料 4	2 647.059

表 6 中,SBR 改性乳化沥青的动稳定度提升不明显,不到 13.8%;环氧改性的动稳定度提升较明显,达到了 46%;SBR 与环氧复合改性的效果最明显,动稳定度提升了 108%.出现上述情况的原因也与目前乳化沥青界的研究相符.通过分析还可以得出,不管是采用普通乳化沥青微表处混合料,还是复合改性微表处混合料,动稳定度均较小,微表处对车辙深度 20 mm 以上(需要 2 层以上分层施工治理车辙)的处治效果不明显,这与微表处级配颗粒过小,不能治理严重车辙的行业常识相符.

4 结论

1) 通过配合比试验确定了 SBR 与环氧树脂的最佳掺配比例,当掺配比例为 3.5 : 2.5 时,改性乳化沥青蒸发残留物的延度和软化点最优,分别可达到 400 mm 和 70 °C 以上,且改性剂添加采用随用随添加,改性效果更好.

2) 采用复合改性乳化沥青制得地微表处混合料比普通微表处混合料的耐磨耗与抗水损性能提高 74%,而单纯 SBR 改性与环氧树脂改性的改善效果为 41%和 51%,复合改性效果明显.

3) 劈裂试验表明,SBR 改性对微表处混合料劈裂强度的提升不明显,而环氧改性使微表处混合料的劈裂强度提升了一倍,复合改性的效果更为优越,提升了 1.25 倍.

4) 高温车辙试验表明,SBR 改性乳化沥青的动

稳定度提升不明显,不到 13.8%;环氧改性的动稳定度提升较明显,达到了 46%;SBR 与环氧复合改性的效果最明显,动稳定度提升了 108%。

参考文献:

- [1] 韩春来. 沥青路面预防性养护理念及技术 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [2] 王朝辉, 胡中华, 周本岳. SBR 改性乳化沥青的研制 [J]. 石油沥青, 2009, 23(5): 41-43.
- [3] 赵毅, 陈玉欣, 秦旻, 等. SBR 改性沥青混合料低温稳定性研究 [J]. 公路工程, 2014, 39(2): 269-273.
- [4] 陈楚洲, 张荣辉. 水性环氧树脂在桥梁维护中的应用 [J]. 广东公路交通, 2007, 33(1): 47-49.
- [5] DESTREI M D G, VOGELSANG J, FEDRIZZI L. Water uptake evaluation of new waterborne and high solid epoxy coatings Part II: electro chemical impedance spectroscopy [J]. Progress in Organic Coatings, 1999, 37: 69-81.
- [6] 常卫平. 水性环氧乳化沥青的应用研究 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2016.
- [7] 何远航, 张荣辉. 水性环氧树脂改性乳化沥青在公路养护中的应用 [J]. 新型建筑材料, 2007, 34(5): 37-40.
- [8] 王伟明, 吴旷怀, 王凤华, 等. 新型 SBR 复合改性乳化沥青研制与性能研究 [J]. 中外公路, 2014, 34(5): 235-240.
- [9] 李胜杰. 蒙脱土丁苯橡胶复合改性乳化沥青的制备及性能研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [10] 交通部公路科学研究所. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [11] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [12] 孙晓立, 张肖宁. SBS 改性乳化沥青的研制及路用性能室内试验研究 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 867-870.
- [13] 王海有. 微表处特殊性能分析及其合理应用 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2011, 7(2): 69-72.
- [14] 孙晓立, 张肖宁, 蔡旭, 等. 基于加速加载试验的微表处长期路用性能 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 691-695.
- [15] SON H J, KIM Y J, BAEK J E, *et al.* Influences of curing time on polymer-modified emulsion used for slurry seal and micro-surfacing mixes [C]//ASCE International Conference on Sustainable Civil Infrastructure. Reston, US: ASCE, 2014: 35-42.
- [16] SON H J, KIM Y J, BAEK J E, *et al.* Field performance evaluation of micro-surfacing method and polymer slurry seal method used in national highway [J]. International Journal of Highway Engineering, 2015, 17(1): 17-24.
- [17] 张庆, 郝培文, 白正宇, 等. 水性环氧树脂改性微表处性能影响及评价研究 [J]. 公路, 2015, 60(6): 250-252.
- [18] 周启伟, 徐光红, 王庆珍, 等. 水性环氧乳化沥青性能及其微表处修复车辙效果评价 [J]. 公路工程, 2017, 42(5): 247-251.