

高黏高弹改性乳化沥青性能评价及 超黏磨耗层应用研究^{*}

龙翔¹, 许志东¹, 张新¹, 项彦茂¹, 陈园园¹, 黄文通²

(1.广州市北二环交通科技有限公司, 广东 广州 510540; 2.东莞理工学院 生态环境与建筑工程学院, 广东 东莞 523808)

摘要:为提高预防性养护磨耗层与原路面的黏结能力及使用耐久性,制备高黏高弹改性乳化沥青用于预防性养护磨耗层,同时研究适用于预防性养护磨耗层的矿料级配。试验结果表明,添加 4.5% SBS+1.0% 增黏剂的高黏高弹改性乳化沥青的软化点达 88 ℃,延度为 57 cm,拉拔黏结强度为 1.3 MPa,其路用性能优于传统改性乳化沥青。采用冷拌冷铺施工工艺铺筑超黏磨耗层进行性能验证,通车 6 个月后的检测结果表明超黏磨耗层与下承层黏结牢固无脱落,平整度和抗滑性能良好。

关键词:公路;高黏高弹改性乳化沥青;预防性养护;超黏磨耗层

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)04-0054-04

在交通荷载和环境因素的共同作用下,沥青路面的功能逐步衰减,承载能力、平整度、抗滑能力下降,还出现各种病害。为延长沥青路面使用寿命,减少维修次数,降低全寿命周期建设成本,采用预防性养护技术进行处理。但采用常规预防性养护技术处理后路面易出现早期脱落、松散、噪声大及使用寿命短等问题,提高预防性养护磨耗层与下承层的黏结力尤为重要。

近年来,预防性养护薄层罩面和超薄层罩面成为一种研究趋势。为节省能耗,减少有害气体排放,冷拌冷铺工艺的预防性养护技术成为研究热点。奚晨晨研究了高黏改性沥青的黏-温特性、流动性能及高温性能,基于分子扩散理论评价高黏改性沥青的自愈合程度,发现高黏改性剂对提高沥青的瞬时愈合性能具有良好作用。杨国卿等对比分析超黏磨耗层与微表处的路用性能,发现超黏磨耗层混合料的湿轮磨耗值比微表处混合料降低约 16%,抗剪强度比微表处提升约 75%。袁东东等分析 SBS、橡胶和高黏改性沥青的流变性能,结果表明高黏改性沥青的温度敏感性最低,高低温性能最优。高性能乳化沥青及稀浆混合料是实施冷拌冷铺工艺的基础,王晶等研究高黏改性乳化沥青抗剪强度和拉拔强度,发现高黏改性乳化沥青用于层间黏结具有良好

的性能。祝轩等从水性环氧掺量、油石比、水泥掺量方面进行了冷拌超薄磨耗层沥青混凝土优化设计。Xu Bin、Sheng Xiaohui、Liu Fuqiang 等研究了聚氨酯改性、水性环氧树脂-SBR 复合改性乳化沥青的改性机理和黏结性能。但对高性能改性乳化沥青及铺装层层间黏结性能的研究还有待深入和提高。该文研制高黏高弹改性乳化沥青并用于沥青路面预防性养护磨耗层,通过铺筑实体工程进行路用性能验证。

1 原材料

1.1 沥青

采用茂名石化 70 号 A 级道路石油沥青,其技术指标见表 1。采用独山子 T161B 线型 SBS 改性剂、阳离子慢裂快凝型乳化剂、增黏剂、稳定剂等制备高黏高弹改性乳化沥青。

表 1 A-70 道路石油沥青的技术指标

技术指标	测试值
软化点/℃	48
针入度/(0.1 mm)	66
延度 (10 ℃)/cm	31
60 ℃动力黏度/(Pa·s)	251

^{*} 基金项目: 广东省自然科学基金面上项目(2021A1515010564); 东莞市社会科技发展重点项目(2020507140155); 东莞理工学院大学生创新创业训练计划项目(202011819078)

1.2 集料

用于沥青路面预防性养护磨耗层的集料应坚硬、耐磨、黏附性高。为降低路面噪声、减少预防性养护磨耗层厚度,超黏磨耗层矿料的最大粒径采用

8 mm,三档集料分别为 5~8 mm 碎石、3~5 mm 碎石和 0~3 mm 机制砂。通过对比分析辉绿岩、玄武岩、闪长岩、花岗岩 4 种集料的技术性能(见表 2、表 3),选择辉绿岩开展后续研究。

表 2 不同粗集料的性能对比

粗集料	压碎 值/%	洛杉矶磨 耗损失/%	表观相 对密度	毛体积相 对密度	吸水 率/%	<0.075 mm 颗粒含 量(水洗法)/%	与普通沥青的 黏附性/级	与改性沥青的 黏附性/级	磨光值/ BPN
辉绿岩	11.8	12.5	2.925	2.862	0.61	0.2	5	5	48
玄武岩	15.0	17.2	2.839	2.710	1.68	0.5	5	5	44
闪长岩	12.5	14.9	2.818	2.726	1.20	0.4	4	5	45
花岗岩	12.7	13.9	2.773	2.711	0.83	0.1	2	3	44

表 3 不同细集料的性能对比

细集料	表观相 对密度	毛体积相 对密度	含泥量/ %	砂当量/ %
辉绿岩	2.915	2.824	0.3	73
玄武岩	2.816	2.704	0.6	63
闪长岩	2.786	2.654	0.4	64
花岗岩	2.738	2.664	0.3	68

1.3 填料

添加 P.O32.5 复合硅酸盐水泥,提高稀浆混合料的强度及稳定性,同时调整稀浆混合料的可拌合时间、成浆状态和成型速度。

1.4 沥青性能分析

高黏高弹改性沥青的制备流程:将 70 号 A 级道路石油沥青加热至 155 ℃,添加独山子 T161B 线型 SBS 改性剂、增黏剂、糠醛抽出油及其他助剂,搅拌 1.5 h;继续升温至 175 ℃,采用高速胶体磨剪切 70 min,添加稳定剂后搅拌 60 min;继续升温至 180 ℃,采用高速胶体磨剪切 70 min,剪切完后搅拌发育熟化 60 min,得到高黏高弹改性沥青成品。添加剂掺量分别为 2.5% SBS、3.5% SBS、4.5% SBS、3.5% SBS+0.5% 增黏剂、4.5% SBS+1.0% 增黏剂。

不同 SBS 改性剂和增黏剂掺量高黏高弹改性沥青的技术指标见图 1~3。由图 1~3 可知:1) 添加 SBS 改性剂和增黏剂后,沥青的软化点大幅提高,添加 4.5% SBS 和 1.0% 增黏剂后改性沥青的软化点达到 89 ℃。SBS 改性剂和增黏剂的掺量越大,改性沥青的软化点越高。2) 增黏剂对提高沥青动力黏度的作用明显,添加 4.5% SBS 和 1.0% 增黏剂后改性沥青的 60 ℃ 动力黏度达到 260 000 Pa·s。考虑到改性沥青的 60 ℃ 动力黏度太大,需要更高的加热温度才能满足施工和易性要求,实际应用中控

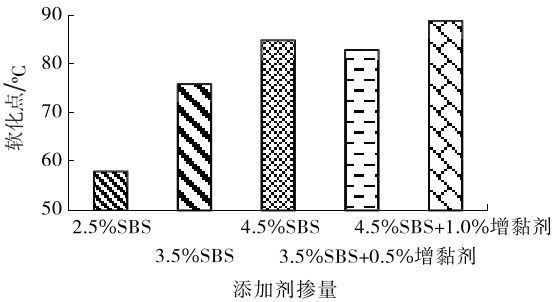


图 1 高黏高弹改性沥青的软化点

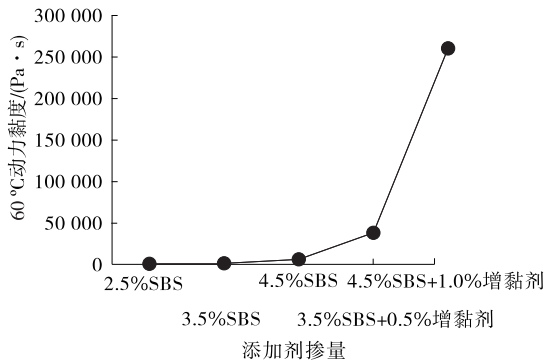


图 2 高黏高弹改性沥青的动力黏度

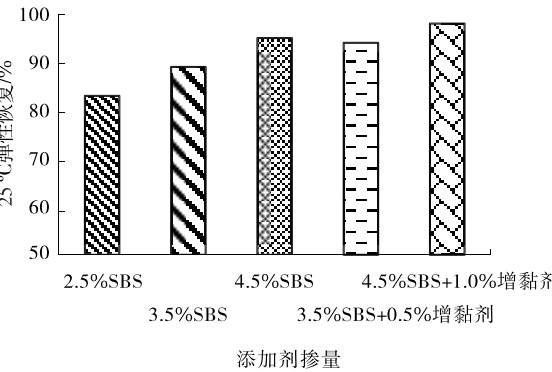


图 3 高黏高弹改性沥青的弹性恢复性能

制增黏剂掺量为 0.5%~1.0%。3) 弹性恢复指标

表征沥青的抗疲劳性能和抗反射裂缝能力。添加 4.5% SBS 和 1.0% 增黏剂后改性沥青的弹性恢复性能最优,达到 98%。

在 50~60 ℃ 温度下将乳化剂溶于水,掺加盐酸及其他助剂配制成皂液,调整 pH 值为 2~3,然后将 SBS 改性沥青升温到 160 ℃ 进行乳化,制得高黏高弹改性乳化沥青。高黏高弹改性乳化沥青蒸发残留物的三大指标检测结果见图 4~6。从图 4~6 可看出:随着 SBS 改性剂和增黏剂掺量的增大,高黏高弹改性乳化沥青蒸发残留物的针入度下降,软化点上升,延度增大。对比乳化前后高黏高弹改性沥青,其主要技术指标的变化趋势基本一致,乳化后高黏高弹改性沥青的性能稳定。

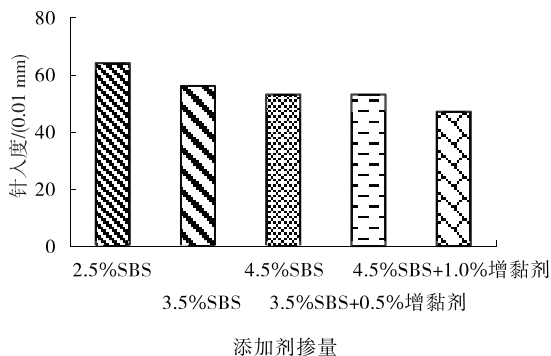


图 4 高黏高弹改性乳化沥青的针入度

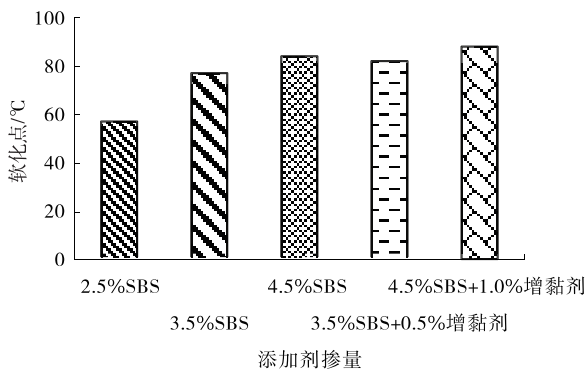


图 5 高黏高弹改性乳化沥青的软化点

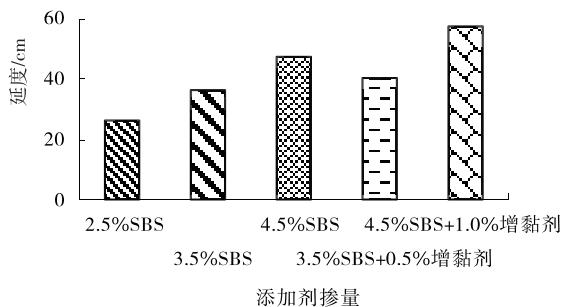


图 6 高黏高弹改性乳化沥青的延度

采用常规微表处养护技术处理后,路面容易出现脱落、麻面、掉粒等病害。脱落是由层间黏结能力不足所引起,增强预防性养护磨耗层与下承层的黏结能力尤为重要。将高黏高弹改性乳化沥青作为层间黏结材料进行层间拉拔试验,下承层为沥青混凝土路面,试验结果见图 7。从图 7 可看出:高黏高弹改性乳化沥青能提供优良的层间黏结能力,SBS 改性剂和增黏剂掺量越大,拉拔黏结强度越高。实际应用中,高黏高弹改性乳化沥青能上升进入到上部沥青混合料结构间隙中起到封层的作用,防止水分进入破坏层间黏结。

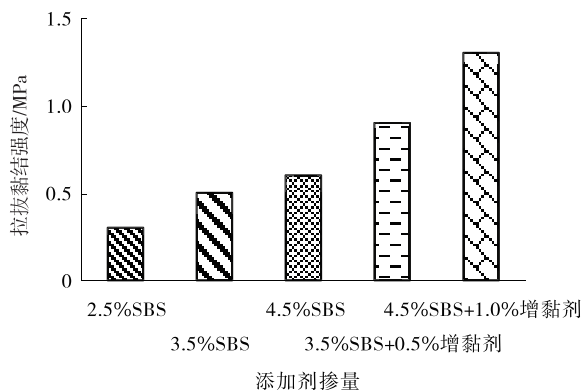


图 7 高黏高弹改性乳化沥青的拉拔强度

2 配合比设计

对比 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》中微表处和稀浆封层矿料级配及《北京市预防性养护技术指南》、法国 NovaChip® 超薄磨耗层和美国超薄磨耗层混合料的矿料级配,根据骨架密实型级配设计原则进行矿料级配降噪优化设计,要求形成石—石嵌挤结构。

超薄磨耗层矿料级配与传统微表处矿料级配相比,4.75 mm 以上粗集料部分适当减少,2.36~4.75 mm 碎石用量相应提高。2.36~4.75 mm 碎石用量提高不仅有助于增加路表纹理构造,而且有利于提升路表平整度,保证超薄磨耗层的宏观构造深度及良好的抗滑性能,使路表更均匀密实、平整,减少表面粗集料凸起,增加轮胎有效接触点,从而降低路面噪声。集料最大粒径为 8 mm,相比传统微表处最大粒径 9.5 mm 有所减小,可减少超薄磨耗层表面大颗粒集料凸起,有助于提高平整度、降低噪声。基于上述设计理念设计的矿料级配见表 4。

根据材料技术性能,设计 3 组超薄磨耗层混合料目标配合比,各材料用量见表 5。

表 4 超黏磨耗层混合料矿料级配设计

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	9.5	8	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
级配上限	100	100	80.0	52.0	38.0	28.0	22.0	15.0
级配下限	100	100	60.0	32.0	20.0	13.0	10.0	6.0
设计级配 1	100	100	64.0	37.9	28.0	19.4	13.9	9.5
设计级配 2	100	100	67.0	41.2	30.5	21.1	15.1	10.2
设计级配 3	100	100	70.9	44.5	32.9	22.6	16.0	10.5

表 5 超黏磨耗层混合料配合比设计

配合比	骨料/ %	道路硅酸 盐水泥/%	高黏高弹改性 乳化沥青/%	添加 剂/%	水/%
配合比 1	100	1.0	12	2	5
配合比 2	100	1.5	10	1	6
配合比 3	100	1.0	11	2	8

3 试验结果分析

依照设计的混合料配合比,开展超黏磨耗层混合料拌合时间、稠度、湿轮磨耗、黏聚力和负荷轮黏砂试验,同时与微表处和稀浆封层进行比较,结果见表 6。

表 6 超黏磨耗层混合料的技术指标

养护措施	拌合时 间/s	稠度/ mm	黏聚力/(N·m)		湿轮磨耗值/(g·m ⁻²)		负荷轮碾压黏附 砂量/(g·m ⁻²)	负荷轮碾压轮迹 宽度变化率/%
			30 min	60 min	浸水 1 h	浸水 6 d		
超黏磨 耗层	配合比 1	145	24	1.7	3.2	175	198	246
	配合比 2	128	21	2.1	3.4	189	222	225
	配合比 3	137	25	1.8	2.9	185	231	239
微表处	140	—	2.0	2.4	231	359	93	—
稀浆封层	145	—	1.5	2.1	182	387	293	—
技术要求	>120	—	≥1.2	≥2.0	<540	<800	≤450	<5.0

从表 6 可看出:3 种超黏磨耗层混合料配合比均满足稀浆混合料的技术要求;超黏磨耗层、微表处和稀浆封层的拌合时间较接近,满足施工和易性要求;超黏磨耗层配合比 2 的 30 min、60 min 黏聚力最大;浸水 6 d 的超黏磨耗层混合料的湿轮磨耗损失小于微表处和稀浆封层,表明超黏磨耗层混合料的配伍性和抗水损害能力优于微表处和稀浆封层;全部稀浆混合料负荷轮黏砂试验结果均满足技术要求。

4 性能验证

在某高速公路沥青混凝土路面和水泥混凝土桥面分别铺筑超黏磨耗层试验段,分别在养护 4 h、通车 6 个月后进行路面构造深度、平整度、摩擦系数、车辙深度等现场测试,测试结果见表 7。由表 7 可知:构造深度从 0.62 mm 增长到 1.12 mm,说明长时间行车碾压会将超黏磨耗层表面细颗粒带走,造成构造深度增大。采用高黏高弹改性乳化沥青制备的超黏磨耗层稀浆混合料的各项技术指标良好,可

应用于各等级公路沥青路面的预防性养护磨耗层。

表 7 超黏磨耗层试验段路面检测结果

检测项目	技术要求	检测结果	
		养护 4 h	通车 6 个月
构造深度/mm	≥0.6	0.62	1.12
平整度/mm	≤3	1.9	3.7
摆值/BPN	≥50	56	61
车辙深度/mm	—	3.6	3.7

5 结论

(1) 添加 4.5% SBS+1.0% 增黏剂制备的改性乳化沥青的蒸发残留物的软化点高达 88℃,拉拔黏结强度为 1.3 MPa,稀浆混合料的高温性能及与下承层的黏结力得到提高。

(2) 超黏磨耗层混合料矿料级配范围设计合理,铺筑的实体工程通车 6 个月后的平整度、抗滑性能、高温性能良好。

(下转第 62 页)