

橡胶沥青在灌入式半柔性路面中的应用

凌天清¹,董 强¹,董营营¹,赵之杰²,李昌铸²

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院,重庆 400074; 2. 北京新桥技术发展有限公司,北京 100088)

摘 要:针对高温潮湿地区重载交通路面技术要求,对废橡胶粉改性沥青半柔性路面(AR-SFAC)的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性等性能进行了室内试验研究,并与橡胶沥青混凝土(RAC-16)进行了对比分析。结果表明,相同橡胶沥青拌制的橡胶沥青半柔性路面混合料AR-SFAC-20的动稳定度比橡胶沥青混凝土 RAC-16 高很多,其残留稳定度和冻融劈裂强度比分别比橡胶沥青混凝土大 18.2%和 14.1%,且其温度在-10℃下的破坏拉伸应变较大,劲度模量较小。

关键词:道路工程;半柔性路面;橡胶沥青;高温稳定性;低温抗裂性;水稳定性

中图分类号:U416.217 **文献标志码:**A

Application of asphalt-rubber to pouring semi-flexible pavement

LING Tian-qing¹, DONG Qiang¹, DONG Ying-ying¹, ZHAO Zhi-jie², LI Chang-zhu²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Beijing Limited Company of Xinqiao Technology Development, Beijing 100088, China)

Abstract: Considering the technical requirements of heavy load pavement in hot and moist areas, the performances of semi-flexible pavement with asphalt-rubber(AR-SFAC), such as the high temperature stability, low temperature anti-cracking and moisture susceptibility, are tested. The characteristics of AR-SFAC are compared with those of the asphalt-rubber concrete mix (RAC). The results show that: with the same binder, the dynamic stability of semi-flexible pavement mixture with asphalt-rubber (AR-SFAC-20) is much larger than that of rubber asphalt concrete (RAC-16), and the retained stability and indirect split tensile strength after freeze-thaw of AR-SFAC-20 are higher than those of RAC-16 by 18.2% and 14.1% respectively; the tensile strain at failure of the AR-SFAC-20 binders at -10℃ is higher than that of the RAC-16, but the stiffness modulus of the AR-SFAC-20 is smaller than that of the RAC-16. 10 tabs, 7 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; semi-flexible pavement; asphalt-rubber; high temperature stability; low temperature anti-cracking; moisture susceptibility

0 引 言

半柔性路面通常是指在开级配大空隙基体沥青混合料中填充以水泥为主要成分的特殊水泥胶浆而形成的兼具沥青路面与水泥混凝土路面特点的复合

材料路面^[1-3],日本等国将其广泛用于需要提高沥青路面抗推移能力的路段。本文在灌入式半柔性路面研究成果的基础上,考虑到废橡胶沥青节能环保的特点^[4-6],对废橡胶粉改性沥青半柔性路面混合料的路用性能与应用技术进行研究,以填补中国在将橡胶

沥青用于半柔性路面领域的空白,提高半柔性路面的路用性能,拓展废旧轮胎橡胶粉的应用范围。

1 废橡胶沥青半柔性混合料的配合比

1.1 原材料性能分析

(1)废橡胶粉为常温粉碎自然级配橡胶粉,其级配组成见表 1。

表 1 废橡胶粉级配组成

| | | | | | | |
|---------|-------|------|------|------|------|-------|
| 筛孔尺寸/mm | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 通过率/% | 100.0 | 97.3 | 61.4 | 20.6 | 6.5 | 2.7 |

(2)橡胶沥青由基质沥青 AH-70^[7] 加工而成,其性能指标见表 2。

表 2 橡胶沥青性能检测结果

| 试验项目 | 设计要求 | 检测值 |
|-----------------------------|---------|-----|
| 掺量(质量分数)/% | | 21 |
| 针入度(25 ℃)/0.1 mm | 35~55 | 42 |
| 软化点/℃ | >60 | 71 |
| 25 ℃弹性恢复/% | >70 | 79 |
| 旋转粘度(180 ℃,20 r/min)/(Pa·s) | 2.0~5.0 | 4.1 |

(3)采用重庆 42.5R 普通硅酸盐水泥、II 级粉煤灰、长江特细砂、石灰岩碎石(粗集料)、石灰岩石屑(细集料)和石灰石矿粉做填料,材料性质符合《公路沥青路面施工技术规范》。

1.2 水泥基砂浆配合比设计

本文研究的水泥基砂浆是由普通硅酸盐水泥、粉煤灰、矿粉、长江特细砂、水和外加剂组成(彩色型砂浆外加色粉)。按日本相关规范的技术要求,确定水泥基砂浆的配合比见表 3。

表 3 水泥基砂浆配合比

| 类 别 | 水灰比 | 特细砂/% | 矿粉/% | 粉煤灰/% | 色粉/% | 流动度/s | 7 d 强度/MPa | |
|-----|------|-------|------|-------|------|-------|------------|------|
| | | | | | | | 抗折 | 抗压 |
| 普通型 | 0.65 | 14 | 9 | 7 | | 11.2 | 4.2 | 17.3 |
| 彩色型 | 0.68 | 14 | 9 | 7 | 4 | 11.8 | 4.5 | 18.2 |

1.3 橡胶沥青基体混合料配合比设计

橡胶沥青半柔性路面材料属于骨架-密实结构,而橡胶沥青基体混合料属于骨架-空隙结构,即在形成骨架的同时,提供足够大的空隙,以使水泥砂浆充分灌入。基体沥青混合料的体积特征对半柔性路面的力学性能可产生重大的影响。因此,在基体沥青混合料的设计过程中,要突出混合料的体积特征,使其具有良好的路用性能。半柔性路面用橡胶沥青基体混合料的设计空隙率要求在 20%~28%之间,沥青用量(质量分数)为 3.0%~5.0%,见表 4。

表 4 基体沥青混合料的设计要求

| 指标 | 密度/(g·cm ⁻³) | 空隙率/% | 击实次数/次 | 沥青用量/% | 稳定度/kN | 流值/0.1 mm |
|----|--------------------------|-------|--------|---------|--------|-----------|
| 要求 | ≥1.9 | 20~28 | 双面各 50 | 3.0~5.0 | ≥3.0 | 20~50 |

1.3.1 确定基体沥青混合料级配

由于橡胶沥青形成的沥青膜比较厚,基体沥青混合料的空隙率比基质沥青空隙率小,为保证水泥砂浆的充分灌入,在配合比设计过程中偏向级配下限设计,其合成级配如图 1 所示。

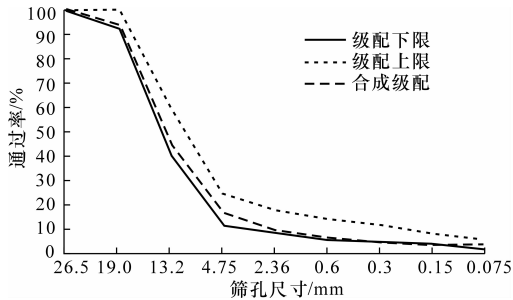


图 1 矿料合成级配曲线

1.3.2 确定基体沥青混合料最佳油石比

按合成级配,变化 5 种沥青用量,试验结果见表 5。由油石比与肯塔堡飞散损失量(质量分数)的关系绘成曲线如图 2 所示,曲线拐点处最小油石比为 3.5%;油石比与析漏量的关系如图 3 所示,曲线拐点处最大油石比为 3.7%。在此油石比范围内,根据目标空隙率,确定最佳油石比为 3.6%。

表 5 不同沥青用量下的各项指标

| 油石比/% | 飞散损失量/% | 析漏量/% | 空隙率/% | 稳定度/kN | 流值/0.1 mm |
|-------|---------|-------|-------|--------|-----------|
| 3.0 | 41.7 | 0.15 | 23.1 | 7.4 | 41.3 |
| 3.3 | 30.3 | 0.27 | 22.8 | 7.3 | 45.6 |
| 3.6 | 23.8 | 0.58 | 22.1 | 6.9 | 47.2 |
| 3.9 | 20.4 | 1.04 | 21.8 | 5.8 | 48.4 |
| 4.2 | 19.1 | 1.53 | 21.7 | 5.4 | 44.7 |

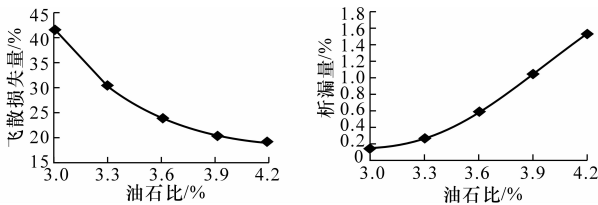


图 2 油石比与飞散损失量的关系 图 3 油石比与析漏量的关系

2 橡胶沥青半柔性混合料的路用性能

2.1 高温稳定性

将橡胶沥青半柔性路面混合料 AR-SFAC-20 与橡胶沥青混合料(橡胶沥青混凝土)RAC-16 的车辙试验结果进行对比,对比结果见下页表 6。

表 6 车辙试验结果的对比

| 混合料类型 | 不同试验时间(min)的车辙/mm | | | 动稳定度/ (次·mm ⁻¹) |
|------------|-------------------|-------|-------|--------------------------------|
| | 1 | 45 | 60 | |
| AR-SFAC-20 | 0.262 | 0.802 | 0.842 | 15 700 |
| RAC-16 | 0.635 | 1.972 | 2.249 | 2 325 |

由表 6 可以看出,相同橡胶沥青拌制的橡胶沥青混合料 RAC-16 的动稳定度在 2 000 次/mm 左右,而橡胶沥青半柔性路面混合料 AR-SFAC-20 的动稳定度高于 15 000 次/mm,可见橡胶沥青半柔性路面混合料具有优良的高温抗车辙性能。

2.2 水稳定性

2 种混合料的水稳定性试验结果见表 7。

表 7 水稳定性试验结果

| 混合料类型 | 浸水马歇尔试验 | | | 冻融循环劈裂试验 | | |
|------------|------------|------------------|-----------|----------------|----------------|-----------|
| | 未浸水的稳定度/kN | 浸水 48 h 后的稳定度/kN | 浸水残留稳定度/% | 未冻融循环的劈裂强度/MPa | 冻融循环后的劈裂强度/MPa | 冻融劈裂强度比/% |
| AR-SFAC-20 | 20.79 | 21.02 | 101.1 | 1.10 | 1.05 | 95.5 |
| RAC-16 | 10.03 | 8.32 | 82.9 | 1.02 | 0.83 | 81.4 |

由表 7 可以看出,AR-SFAC-20 的残留稳定度和冻融劈裂强度比分别比 RAC-16 的大 18.2%和 14.1%,说明其抗水侵害能力比橡胶沥青混合料强。由于灌入的水泥基砂浆起了很大的作用,增加了混合料的刚性,同时也阻塞了水进入混合料中的通道。试验中还发现,混合料浸泡 48 h 后的稳定度大于浸泡前的稳定度。这是因为灌入基体沥青混合料中水泥基砂浆在高温和湿度很大的环境下,其中的水泥水化作用大大提高,强度得到较大增长,所以半柔性路面混合料 48 h 浸水稳定度比未浸水的要高。这也从另一个角度说明了橡胶沥青半柔性路面混合料的水稳定性能良好。

2.3 低温抗裂性

通过间接拉伸试验对低温性能进行研究,结果见表 8。

表 8 低温抗裂性试验结果

| 试验条件 | 混合料类型 | 劈裂抗拉强度/MPa | 破坏拉伸应变/10 ⁻⁶ | 破坏劲度模量/MPa |
|------------------------|------------|------------|-------------------------|------------|
| 温度为-10℃,加载速率为 1 mm/min | AR-SFAC-20 | 2.18 | 5 140 | 870 |
| | RAC-16 | 3.83 | 3 400 | 1 320 |

由表 8 可以看出,AR-SFAC-20 型橡胶沥青半柔性路面混合料与 RAC-16 相比,劈裂抗拉强度较小,破坏拉伸应变较大,破坏劲度模量较小,因此其低温抗裂性能要稍好一些。其因是半柔性路面的沥

青膜厚度较薄,受温度的影响相对较小。

3 依托工程实施概况

依托工程为重庆某厂区水泥路面整治工程。该工程车辆轴载较大(后轴载 500 kN),道路纵坡大(最大纵坡达 14.3%),平面线形差(平曲线半径最小为 10 m)。在路面使用过程中,随着降水的浸入,路面出现不同程度的断板、沉陷等损坏。破损的路面虽已进行过几次局部修补,但路面通行质量日趋下降,局部地段已影响到行车安全。依托工程修筑半柔性路面,路段长 800 m,宽 9 m,共 7 200 m²。在处理破损后的水泥路面上铺筑 1 层厚约 1 cm 的橡胶沥青应力吸收层(AR-SAMI),再在其上面铺筑 4 cm 厚的橡胶沥青半柔性路面,施工工艺如下。

(1)橡胶沥青应力吸收层施工。施工主要包括:将基层表面进行全面清扫;推荐橡胶沥青洒布量为 2.0~2.6 kg/m²,碎石撒布量为(16±2)kg/m²;采用 25 t 以上的胶轮压路机进行压实;清除没有粘结的松散碎石。

(2)橡胶沥青基体混合料的铺筑。橡胶沥青半柔性路面是在基体沥青混合料中灌入水泥砂浆而形成的路面结构,因此在基体沥青混合料的铺设中,要严格控制骨架空隙率,施工工艺参数见表 9。

表 9 橡胶沥青基体混合料施工工艺参数

| 施工过程 | 参数 | 控制值 |
|------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 橡胶沥青的生产和加工 | 基质沥青温度/℃ | 170 |
| | 橡胶沥青温度/℃ | 180~200 |
| | 搅拌(300 r/min) | 45~60 |
| | 反应时间/min | |
| 拌和 | 橡胶沥青温度/℃ | 170~190 |
| | 混合料温度/℃ | 180 |
| | 总拌和时间/s | 40 |
| 运输 | 出料料车温度 | 190~200 |
| | 摊铺现场料车温度 | 175~200 |
| 摊铺 | 摊铺速度/(m·min ⁻¹) | 1~3 |
| | 松铺系数 | 1.16~1.18 |
| | 摊铺温度/℃ | 不低于 160,低于 140 废弃 |
| 碾压 | 碾压组合 | 重型双钢轮压路机高频低振方式复压 3 遍,双钢轮压路机静压终压 1 遍。 |

(3)水泥砂浆的制作。通常使用水泥砂浆拌和机或人工拌和现场制作水泥砂浆。其加料顺序为:矿粉、水泥、粉煤灰、细砂、早强剂、水。加水之前应将其他材料拌和 1~2 min 至均匀,加水再拌和 2~3

min,直至材料搅拌均匀一致,即可制成水泥砂浆。如要求水泥砂浆达到与橡胶沥青混合料基本同样的颜色(图 4),可以加入一定成分的色粉(黑色)进行拌和,以达到更好的景观效果。

(4)水泥基砂浆的灌入。首先钻芯取样,测定橡胶沥青基体混合料的空隙率,作为计算水泥砂浆用量和技术指标设计的依据,控制水泥砂浆的流动度,以保证水泥基砂浆的渗入。灌浆时,使用橡胶路耙将水泥基砂浆反复在基体沥青混合料铺装层表面摊铺,使其自然漫透。同时,为了使灌入的水泥基砂浆更加均匀、密实,帮助水泥基砂浆渗透,应及时采用小型振动压路机碾压,或采用平板振动器帮助渗透(图 5),使浆料能充分均匀地渗入基体沥青混合料骨架空隙中。当路面有纵向坡度时,要从低处向高处撒铺浆料,以防止水泥砂浆因快速流动而造成渗透效果不好。

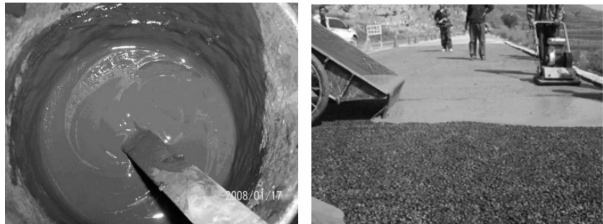


图 4 黑色水泥砂浆 图 5 平板振动器灌浆施工

(5)表观处理。灌浆完毕后,用路耙将残余在表面的水泥基砂浆清除干净,以暴露出基体沥青混凝土表面的凹凸不平为宜。由于基体沥青混合料中灌入水泥基砂浆,可能在一定程度上影响路面外观,为达到理想路面构造深度,将缓凝剂喷洒在路表面上(图 6),最后在内部水泥基砂浆终凝以后,表面水泥基砂浆终凝以前,将表面的水泥基砂浆冲洗干净。这样,既可以保证下层水泥基砂浆的强度,又能保证路表面色泽的均匀性和理想的表面构造深度。

(6)养生。养生时间视水泥基砂浆的性质而不同,见表 10;成型后路面如图 7 所示。

表 10 半柔性路面开放交通时间

| 水泥砂浆类型 | 大约养生时间/h |
|--------|----------|
| 普通型 | 72 |
| 早强型 | 24 |
| 超速硬化型 | 3 |

橡胶粉改性沥青半柔性路面竣工已 2 年,经受后轴载 500 kN 的重载作用后,表现出比一般橡胶沥青路面更加优良的抗推移和抗车辙的能力。

4 结 语

(1)橡胶粉改性沥青半柔性路面混合料 AR-

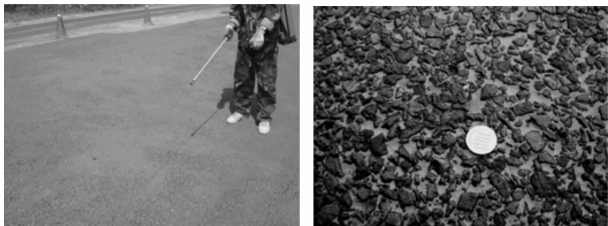


图 6 喷洒缓凝剂 图 7 养生后路面效果

SFAC-20 的动稳定度高于 15 000 次/mm,表现出极强的高温稳定性,同时其残留稳定度和冻融劈裂强度比分别比 RAC-16 的高 18.2%和 14.1%,且其低温(−10 ℃)抗裂性能(破坏拉伸应变、劲度模量)比 RAC-16 又稍好;表明废旧轮胎橡胶粉用于修筑橡胶沥青半柔性路面是一种经济合理、技术可行且具有良好的路用性能的路面面层材料。

(2)采用本文提出的施工工艺修筑橡胶沥青半柔性路面是成功的,证明橡胶沥青半柔性路面是一种非常适合作为重载交通条件下的新型路面结构。

参考文献:

References:

[1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
[2] 日本道路协会. アスファルト舗装工事共通仕様書解説[M]. 東京:丸善株式会社出版事业部,1992.
[3] 董营营. 高性能半柔性路面设计参数及施工工艺研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2008.
[4] 杨志峰,李美江,王旭东. 废旧橡胶粉在道路工程中的应用的历史和现状[J]. 公路交通科技,2005,22(7):19-22.
YANG Zhi-feng, LI Mei-jiang, WANG Xu-dong. The history and status quo of rubber powder used in road-building[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(7): 19-22.
[5] Rubber Pavement Association. How to sell asphalt-rubber, marketing workshop [M]. Arizona: Paradise Valley, 2000.
[6] 黄 彭,吕伟民,张福清,等. 橡胶粉改性沥青混合料性能与工艺技术研究[J]. 中国公路学报,2001,14(增刊):4-7.
HUANG Peng, LU Wei-min, ZHANG Fu-qing, et al. Research on performance and technology of the rubber powder modified asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(S): 4-7.
[7] 郝培文,程 磊,林 立. 半柔性路面混合料路用性能[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(2):1-6.
HAO Pei-wen, CHENG Lei, LIN Li. Pavement performance of semi-flexible pavement in laboratory[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(2): 1-6.