

文章编号:1671-8879(2019)06-0049-08

应力吸收层温拌橡胶沥青混合料性能

潘 睿

(哈尔滨学院 黑龙江省地下工程技术重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:为解决半刚性基层沥青路面和旧路加铺沥青层存在的反射裂缝问题,提出设置温拌橡胶沥青混合料应力吸收层防治反射裂缝的产生。针对寒冷地区低温特点,对用作应力吸收层的 SAK-I 温拌橡胶沥青混合料进行了组成设计,通过正交试验确定橡胶沥青的最优组合和生产工艺,确定混合料的原材料、配合比和级配,采用旋转压实法成型混合料试件;通过车辙试验确定混合料的高温性能,根据低温弯曲试验和约束试件温度应力试验确定混合料的低温性能,依据浸水马歇尔稳定度试验和冻融劈裂试验确定混合料的水稳定性能,对用作应力吸收层的 SAK-I 温拌橡胶沥青混合料的性能进行系统研究,并将 SAK-I 温拌橡胶沥青混合料与热拌橡胶沥青混合料、Saso-bit 温拌橡胶沥青混合料的路用性能进行对比。研究表明:SAK-I 温拌剂能够使温拌橡胶沥青混合料在拌和温度与压实温度降低 30 ℃ 的情况下,仍具有较好的高温稳定性能、低温抗裂性能和水稳定性能,其路用性能优良;冻断温度比破断强度、转折点温度和温度-应力曲线斜率更能准确评价温拌橡胶沥青混合料的低温抗开裂能力,冻断温度可作为评价温拌橡胶沥青混合料低温抗裂性能指标;SAK-I 温拌橡胶沥青混合料的路用性能比 SBS 改性沥青混合料的路用性能高,更适合在寒冷地区应力吸收层中推广使用。

关键词:道路工程;应力吸收层;温拌橡胶沥青混合料;性能

中图分类号:U414

文献标志码:A

DOI:10.19721/j.cnki.1671-8879.2019.06.006

Performance of warm mixed rubber asphalt mixture of stress absorbing layer

PAN Rui

(Heilongjiang Province Urban Underground Space engineering Key Laboratory, Harbin University,
Harbin 150086, Heilongjiang)

Abstract: In order to solve the problem of reflection cracks of semi-rigid based asphalt and old asphalt pavements, a method to prevent the occurrence of reflective cracks by setting the stress-absorbing layer of warm rubber asphalt mixture was suggested. The composition of SAK-I mixed rubber asphalt mixture which used as stress absorbing layer was designed, according to the low temperature characteristics of cold regions. The optimal combination and production process of rubber asphalt were determined by orthogonal test. The raw materials, the mixing ratio and gradation of the mixture were determined, and the mixture specimen was formed by rotary compaction method. The performance of SAK-I warm mixed rubber asphalt mixture as stress

收稿日期:2019-06-16

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(E2015070);哈尔滨学院青年博士科研基金项目(HUDF2017203)

作者简介:潘 睿(1969-),女,黑龙江齐齐哈尔人,副教授,工学博士,E-mail:panrui999@163.com。

absorbing layer was systematically studied, the high-temperature performance of the mixture was determined by the rutting test, and the low-temperature performance of the mixture was determined by the low-temperature bending test and the constrained specimen temperature stress test, and the water-stability performance of the mixture was determined by the immersed Marshall stability test and the freeze-thaw splitting test. The road performance of SAK- I warm rubber asphalt mixture, hot rubber asphalt mixture and Sasobit warm rubber asphalt mixture was compared. The results show that the SAK- I warming agent still has better high temperature stability, low temperature crack resistance and water stability, the road performance is good, when the mixing temperature and compacted temperature decreased by 30 °C of warm mixed rubber asphalt mixture. Compared with the breaking strength, turning point temperature and the slope of temperature stress curve, the freeze-breaking temperature can more accurately evaluate the anti-cracking ability of warm rubber asphalt mixture at low temperature, and it can be used to evaluate the low temperature cracking resistance of warm rubber asphalt mixture. The road performance of SAK- I warm mix rubber asphalt mixture is better than that of SBS modified asphalt mixture, and it is more suitable application and use in stress absorption layer in cold regions. 10 tabs, 2 figs, 22 refs.

Key words: road engineering; stress absorbing layer; warm mix rubber asphalt mixture; performance

0 引言

反射裂缝是半刚性基层沥青路面和旧路加铺沥青层存在的主要问题,防治反射裂缝产生的一种有效方法是设置橡胶沥青混合料应力吸收层。应力吸收层铺设在沥青面层与旧路面或基层之间,可对沥青面层层底荷载应力及温度应力起到降低作用,能减缓接缝或反射裂缝处的应力集中现象,延缓反射裂缝在沥青面层中的形成和扩展速度,延长沥青面层的使用寿命^[1]。20 世纪 60 年代,美国亚利桑纳州率先使用橡胶沥青应力吸收层,后逐渐在美国、南非、澳大利亚得到推广^[2]。早期的橡胶沥青应力吸收层是在路面上喷洒橡胶沥青结合料,然后撒布单一粒径的集料覆盖,经碾压形成结合料膜。若在此层以上加铺沥青混合料面层,橡胶沥青薄膜层就成为应力吸收夹层,该层能够吸收和消散下承层传来的应力,起到防止雨水下渗的作用。在橡胶沥青薄膜上加铺沥青面层,则变成类似于表面处治或者封层技术,其耐疲劳和耐久性比普通表面处治好^[3]。经过几十年发展,美国橡胶沥青应力吸收层技术逐渐形成应力吸收薄膜、应力吸收薄膜夹层、厂拌 SAM 混合料、铺有厂拌开级配混合料底层的 SAM 等 4 种情况^[4]。橡胶沥青应力吸收层的应用效果受到许多因素影响,这些因素包括橡胶沥青混合料的配合比设计,沥青加铺层的级配组成,旧水泥混凝土

路面的构造情况等,都需要重点关注^[5]。中国近年来也开展了相关的理论研究和大量的试验路铺筑,但如何控制好反射裂缝的产生和扩展,依然是道路工程的一大难题^[6]。20 世纪 80 年代后期,同济大学提出加铺一层土工织物在半刚性基层和沥青面层之间作为应力吸收膜中间层的方法,但夹层材料薄,不具备增强结构和改善排水等功能,并不理想。为了防止渗水,应将减缓反射裂缝和加强层间结合,相关规范提出在改建路面设计时宜设置厚度 20~25 mm 的聚合物改性沥青应力吸收层。中国在 20 世纪 80 年代末引进了橡胶沥青应力吸收层技术,并在河北正定和广东惠州铺设了试验路段。2009 年宁夏中孟(中宁—孟家湾)高速公路中卫段基层上铺筑了橡胶沥青应力吸收层试验路段。2011 年泗许(泗洪—许昌)高速公路成为首条大规模应用橡胶沥青应力吸收层的高速公路,泗许高速亳州段在基层顶部采用橡胶沥青应力吸收层取代常见的稀浆封层材料^[7]。橡胶沥青应力吸收层试验段也在深汕(深圳—汕头)高速公路 K279~K280 段铺筑^[8]。2010 年荣乌(荣城—乌海)高速公路烟台绕城段采用橡胶沥青应力吸收层铺设试验路^[9]。中国橡胶沥青应力吸收层主要包括橡胶沥青封层技术、洒布法橡胶沥青应力吸收层、拌和式橡胶沥青应力吸收层^[10]。目前,橡胶沥青应力吸收层被广泛应用在复合路面反射裂缝的防治中,混凝土路面白加黑改造的模式已

逐渐形成,但主要是采用前 2 种方法,采用拌和式橡胶沥青应力吸收层施工方法的研究见诸于实际工程及文献较少。李昆等对应力吸收层密实型橡胶沥青混合料及力学性能进行研究,得出橡胶沥青混合料和 STRATA 混合料的体积参数性质和力学性能基本相近,可用作应力吸收层的结论^[11]。黄卫东等对连续密级配应力吸收层橡胶沥青混合料和其他应力吸收层混合料进行对比研究,得出橡胶沥青混合料应力吸收层有较好的疲劳性能、高温稳定性、经济优势较明显的结论^[12]。陈龙等提出应力吸收层橡胶沥青混合料的设计方法^[13]。陈亮以浙江平阳县 104 国道水泥混凝土路面加铺罩面实际工程为背景,与普通沥青混合料性能进行对比,评价橡胶沥青混合料的路用性能和疲劳寿命,得出应力吸收层橡胶沥青混合料的松弛性能和承载能力更好的结论^[14]。可见,橡胶沥青应力吸收层具有延缓反射裂缝产生和防水的作用,但橡胶沥青的应用仍存在需要解决的问题。橡胶沥青混合料(RAM)生产能耗高,摊铺、碾压温度要比普通沥青混合料高出 20 ℃~30 ℃,高温使橡胶沥青的施工能耗和成本增加,加剧了刺激性气体排放,施工环境差。橡胶沥青对温度的要求高,缩短了有效施工时间,对推广该技术不利。目前,中国对寒冷地区应力吸收层温拌 RAM 材料的研究基本上还处于空白,需要找出一种兼具高温稳定性、低温抗裂性、抗疲劳、水稳定性好的适合寒冷地区的温拌 RAM。为此,本文引进温拌技术,应用在寒冷地区应力吸收层中,克服 RAM 高温生产的缺点,加快了 RAM 在应力吸收层中的应用。

1 SAK- I 温拌橡胶沥青混合料组成

1.1 橡胶沥青的制备

采用湿法工艺来制备橡胶沥青,沥青选用盘锦 90 号道路石油沥青。胶粉选用废旧轮胎常温粉碎磨制的路用橡胶粉。通过正交试验分析确定橡胶沥青的最优组合是胶粉掺量(质量分数,下同)22%、胶粉粒径小于 0.425 mm、搅拌温度为 200 ℃、搅拌时间为 75 min,见表 1。橡胶沥青是在 90 号的基质沥青中加入 22%的胶粉,1 000 r/min 的速率高速搅拌 75 min 后制成,试验如图 1 所示。橡胶沥青性能检验结果如表 2 所示,测试参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)。

分析橡胶沥青在不同温拌剂掺量下的各项指标及性能,确定温拌剂 SAK- I 的最佳掺量为 3%。SAK- I 温拌剂是在 Sasobit 基础上发展起来的新型

表 1 因素水平

Tab. 1 Factor level

水平因素	胶粉 掺量/%	胶粉 粒径/mm	搅拌 时间/min	搅拌 温度/℃
1	18	0.850	30	160
2	20	0.425	45	180
3	22	0.250	60	200
4	24	0.180	75	220



图 1 温拌 RAM 冻断试验过程

Fig. 1 Freezing breaking test process of warm rubber asphalt mixture

表 2 橡胶沥青性能检验结果

Tab. 2 Performance test results of rubber asphalt

检测 项目	针入度(25 ℃, 5 s, 100 g)/0.1 mm	延度 (5 cm·min ⁻¹)/ cm	软化 点/℃	黏度/ (Pa·s)	弹性恢 复/%
数值	67	17.9	63.1	2.400	89

普适高效温拌沥青改性剂,其形态为淡黄色颗粒,能够显著提高沥青混合料的高温性能,减少黏合剂的黏度,并降低施工温度约 30 ℃。橡胶沥青加入温拌剂后搅拌 15 min,搅拌温度为 150 ℃,制成温拌橡胶沥青。经试验测定,SAK- I 温拌剂使橡胶沥青的黏度降低,软化点显著提高,针入度降低,延度值缓慢降低,SAK- I 温拌橡胶沥青的感温性能、耐老化性能和低温变形性能均好于橡胶沥青。

1.2 集料的选择

对集料进行选择 and 检验是为了保证温拌橡胶沥青混合料的使用性能,由于应力吸收层防治反射裂缝和阻隔雨水下渗的需要,参考国内外常用集料,采取 0~3、3~5 mm 等偏小的集料粒径,并加上矿粉进行搅拌,依据《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2015)对每种集料进行分别的检验^[15]。本文中粗集料选用强度较高、针片状含量较少的玄武岩,细集料选用 0~3 mm 的机制砂。

1.3 矿料级配的确定

应力吸收层温拌 RAM 所用集料级配为悬浮密

实结构。在 AC-5 级配范围基础上,根据美国 Koch 材料公司推荐的应力吸收层系统级配范围^[16],结合中国寒冷地区工程现状,参考国内外混合料集料级配要求相关规定,给出应力吸收层温拌 RAM 的集料组成和工程控制矿料级配,用综合图解法求出矿料掺配比例,温拌 RAM 合成级配见表 3。

表 3 适合寒冷地区应力吸收层的温拌 RAM 合成级配

Tab. 3 Synthetic gradations of warm mix rubber asphalt mixture suitable for stress absorbing layer in cold regions

级配	不同尺寸筛孔孔径(mm)的通过率/%							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配Ⅰ	100.0	98.0	62.4	43.2	29.6	18.5	12.9	8.4
级配Ⅱ	100.0	98.9	71.6	49.7	34.2	21.8	15.4	10.2
级配Ⅲ	100.0	99.1	73.9	51.7	35.8	23.0	16.4	11.0

1.4 最佳沥青用量的确定

参考 Superpave 沥青混合料体积设计方法,采用旋转压实(SGC)成型混合料,设置设计旋转压实次数 $N_{des}=50$,设置控制压实度水平的旋转压实次数 $N_{lift}=25^{[17]}$,参考美国公路战略研究计划(SHRP)沥青混合料设计步骤,确定应力吸收层 SAK-I 温拌 RAM 最佳沥青用量为 8.9%,与热拌 RAM 最佳沥青用量相比,其基本没有发生变化。

1.5 最佳拌和及击实温度的确定

根据黏温准则和黏温半对数曲线回归方程^[18],确定温拌 RAM 的拌和温度范围为 165℃~175℃,本文拌和温度为 170℃;通过在不同成型温度下的毛体积密度曲线,确定温拌橡胶沥青混合料的旋转压实温度为 150℃,与热拌 RAM 相比压实温度可降低 30℃左右。

2 SAK-I 温拌橡胶沥青混合料性能

测定 SAK-I 温拌 RAM 的路用性能,并与热拌 RAM 和 Sasobit 温拌 RAM 路用性能的试验结果进行对比。其中,3 种 RAM 经测定优选级配Ⅱ,热拌 RAM 和 Sasobit 温拌 RAM 的最佳沥青用量和最佳拌和及击实温度由试验测定。

2.1 高温稳定性

2.1.1 车辙试验

混合料应力吸收层实际的工作温度环境和沥青面层不同,其处在半刚性基层之上,沥青面层之下,厚度一般只有 2 cm 左右。夏季高温时,面层受大气和行车的直接作用,其温度能升到 60℃左右,而距离大气表面大约 10 cm 的应力吸收层,其温度则相对低些,小于 60℃。高温条件的基层平均温度可近

似用气温来表示,温拌 RAM 应力吸收层的温度可以近似用基层温度表示。东北地区夏季炎热,因此,将车辙试验温度调整为 45℃,混合料成型方法和试验参数设置与 60℃车辙试验相同。3 种不同 RAM 的车辙试验结果如表 4 所示。

表 4 3 种不同 RAM 车辙试验结果比较

Tab. 4 Comparisons of rutting test results of three different rubber asphalt mixtures

RAM 类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
热拌 RAM	3 822
SAK-I 温拌 RAM	4 874
Sasobit 温拌 RAM	4 080

从表 4 可以看出:掺加温拌剂 Sasobit 后,混合料的动稳定度提高较小,提高 6.75%;而掺加 SAK-I 温拌剂后,尽管拌和与压实温度较低,混合料的动稳定度却提高较大,提高 27.5%,二者均满足规范要求,这与胶粉颗粒增加了混合料间的摩阻和嵌挤作用,以及 SAK-I 在橡胶沥青中形成的网络晶格结构有关;在级配相同而结合料不同时,SAK-I 温拌 RAM 比其他 2 种 RAM 高温稳定性能更优,这与 SAK-I 温拌橡胶沥青结合料具有较高的软化点和良好的弹性恢复能力相关,SAK-I 温拌 RAM 更适合应用在寒冷地区应力吸收层之中。

2.1.2 结构车辙试验

沥青路面高温抗车辙性能的影响因素包括材料因素和结构因素,为进一步比较热拌橡胶粉沥青混合料、SAK-I 温拌橡胶沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料作为应力吸收层组成材料高温稳定性能,通过增加沥青混合料结构层的方法进行组合结构车辙试验,分析沥青混合料和沥青路面结构的高温性能^[19]。试验共设计 2 种结构形式进行对比:不设应力吸收层的沥青混凝土结构,对应方案Ⅰ;设有应力吸收层的沥青混凝土结构,在原有沥青面层结构层下、基层上分别铺设 2.5 cm 的 3 种 RAM 拌和而成的应力吸收层,分别对应方案Ⅱ、方案Ⅲ和方案Ⅳ。面层采用 AC-16 的 SBS 改性沥青混合料,组合结构车辙试验温度,本文采用标准试验温度(60℃±0.5℃)。4 种模式结构车辙试验结果见表 5。

由表 5 可见,动稳定度值从大到小依次为方案Ⅰ、方案Ⅲ、方案Ⅳ、方案Ⅱ。其中,10 cm 沥青混合料+2.5 cm SAK-I 温拌 RAM 应力吸收层动稳定度为 4 713 次/mm,仅比 12.5 cm 沥青混合料的动稳定度小 1%左右,而且比改性沥青混合料相关规范要求的 2 400 次/mm 大,约为其 2 倍;SAK-I 温拌

表 5 4 种不同 RAM 结构车辙试验结果比较
Tab. 5 Comparisons of rutting test results of four different rubber asphalt mixtures

方案类型	结构形式	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)
方案 I	12.5 cm 沥青混合料	4 785
方案 II	10 cm 沥青混合料+2.5 cm 热拌 RAM 应力吸收层	4 592
方案 III	10 cm 沥青混合料+2.5 cm SAK-I 温拌 RAM 应力吸收层	4 713
方案 IV	10 cm 沥青混合料+2.5 cm Sasobit 温拌 RAM 应力吸收层	4 644

RAM 应力吸收层结构的沥青面层比热拌 RAM 和 Sasobit 温拌 RAM 应力吸收层结构的沥青面层的动稳定度大。结合 45 ℃ 的车辙试验结果,可见 SAK-I 温拌 RAM 的高温稳定性能良好,符合相关施工技术规范。

2.2 低温性能

2.2.1 低温弯曲试验

SHRP 提出了用于沥青混合料设计的 Super-pave 法,该方法根据施工地点的气候特征和交通状况选择沥青混合料,路面的最低设计温度计算如下

$$T_{\min}=0.859T_{\text{air}}+1.7$$

式中: T_{\min} 为最低路面设计温度(℃); T_{air} 为平均年最低温度(℃)。

参考研究区域实际数据,本文中寒冷地区的 T_{air} 值取 -29.25 ℃,把 T_{air} 带入式(1)可得寒冷地区的路面 T_{\min} 值为 -23 ℃。因此,寒冷地区温拌 RAM 低温小梁试验的最低温度可调整为 -23 ℃,其他各性能评价指标不变^[20]。不同 RAM 的低温弯曲破坏试验结果见表 6。

表 6 不同橡胶沥青的混合料低温弯曲破坏试验结果
Tab. 6 Bending failure test results of different rubber asphalt mixtures

混合料 种类	最大破坏 荷载/kN	最大破坏 挠度/mm	抗弯拉强 度/MPa	最大弯拉 应变/ 10^{-6}	弯曲劲度 模量/MPa
热拌 RAM	1 589.20	1.35	12.98	4 698.2	2 762.7
SAK-I 温拌 RAM	1 514.74	1.15	12.45	4 081.0	3 050.7
Sabits 温拌 RAM	1 139.04	0.79	9.81	2 550.2	3 846.6

由表 6 可见:在试验温度 -23 ℃ 时,RAM 的弯拉强度最大,说明 RAM 的低温抗开裂性能最好^[21];Sasobit 温拌 RAM 和 SAK-I 温拌 RAM 的最大弯拉应变与普通 RAM 相比分别降低了 45.7% 和 13.1%;Sasobit 温拌 RAM 和 SAK-I 温拌 RAM 的最大弯拉强度与普通 RAM 相比分别降低 24.4% 和 4.1%,但均满足相关规范要求。橡胶沥

青与 SAK-I 温拌橡胶沥青的特性对应力吸收层混合料的低温抗裂性能有明显影响,Sasobit 温拌剂对橡胶沥青低温黏韧性的改性效果不理想,SAK-I 温拌剂对橡胶沥青的低温黏韧性的改性效果良好。

温拌 RAM 的低温抗裂性能主要取决于集料级配组成和橡胶沥青结合料低温特性。SAK-I 温拌剂使 RAM 的压实温度降低 30 ℃ 时依然保持良好的低温性能,SAK-I 温拌 RAM 与常规 RAM 的最大破坏荷载相差不多,橡胶沥青和 SAK-I 温拌橡胶沥青这 2 种结合料的低温延展性与柔韧性俱佳。因此,在破坏荷载相同情况下,RAM 和 SAK-I 温拌 RAM 都因跨中挠度较大,而表现出在低温条件下较强的应力松弛能力和抗变形能力。SAK-I 温拌 RAM 能及时消解水泥混凝土路面板块接缝处的应力集中现象,使水泥混凝土路面加铺层反射裂缝的产生得到有效控制,使加铺层内裂缝尖端的应力强度因子幅值有效降低,防止或减缓裂缝的失稳扩展,延缓裂缝反射的产生和发展。

由表 6 可见,SAK-I 温拌 RAM 与热拌 RAM 的抗拉强度差值约为 1.0 MPa,而 2 种混合料的拉伸应变值有一定的变化,后者高于前者 15.1%,但均满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2017)对普通沥青拉伸应变的要求。二者在抗拉强度基本相同的情况下,SAK-I 温拌 RAM 抵抗低温变形能力较好。

2.2.2 约束试件温度应力试验

选择级配 II,进行 SBS 改性沥青混合料、RAM、SAK-I 温拌 RAM 和 Sasobit 温拌 RAM 的约束试件温度应力试验,试验采用哈尔滨工业大学自主研发的沥青混合料低温性能评价综合试验系统,该系统由温控系统、支架、量测集成系统、控制设备、数据采集设备、微机控制中心组成。将试件放入低温冻断试验装置中,试件底部做好支撑,保持恒温;恒温 30 min 后,施加给试件一个较小的初应力后开始降温,初始设置温度为 20 ℃,降温速率为 10 ℃/h,启动程序,采集和记录数据^[22];当应力在变化过程中突降时,表示试件已断裂,试验结束,此时温度即试件断裂温度。依据试验记录的数据绘制温度-应力曲线,确定试件的冻断应力、转化点温度等评价指标。试验过程采取 3 个平行试件,试验结果取平均值,要求冻断温度与平均值之间的差值不能超过 2 ℃。试验如图 2 所示,试验结果见表 7。

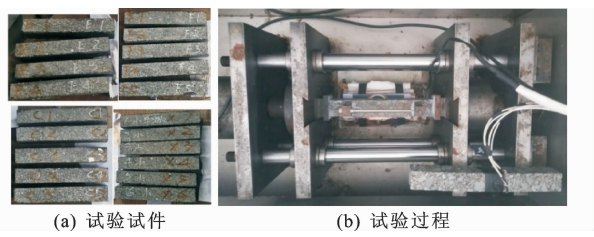


图 2 温拌 RAM 冻断试验过程
Fig. 2 Freezing breaking test process of warm rubber asphalt mixture

表 7 不同沥青混合料约束试件温度-应力试验数据
Tab. 7 Temperature-stress test data of different asphalt mixture constraint specimens

混合料类型	平行试件个数	冻断温度/℃	转化点温度/℃	冻断强度/MPa	温度-应力曲线斜率
SBS 改性沥青混合料	3	-30.1	-26.9	4.96	0.368
RAM	3	-34.4	-29.7	4.30	0.482
Sasobit 温拌 RAM	3	-26.7	-26.6	3.29	0.362
SAK-I 温拌 RAM	3	-33.5	-28.9	4.13	0.411

从各评价指标的变异系数和标准差来看,冻断强度和温度-应力增长斜率变异系数较大,但冻断温度与转化点温度评价结果的复现性好。冻断温度与转化点温度评价结果的标准差较大,所以,用其区分不同沥青混合料低温性能的效果比较有效。选取与沥青路面低温开裂直接相关且物理意义明显的冻断温度来评价以上 4 种沥青混合料的低温抗开裂能力。

对于级配Ⅱ的各沥青混合料,由于外加剂不同,沥青混合料的冻断温度也不同。通过试验结果可知:添加 SAK-I 温拌剂后,SAK-I 温拌 RAM 的冻断温度略微下降,说明 SAK-I 温拌 RAM 相比热拌 RAM,低温性能变化不大且能满足相关要求;冻断温度由低到高依次为 RAM、SAK-I 温拌 RAM、SBS 改性沥青混合料、Sasobit 温拌 RAM;SAK-I 温拌 RAM 的冻断温度虽然比 RAM 的冻断温度低 0.9℃,但是比 SBS 改性沥青混合料、Sasobit 温拌 RAM 的冻断温度分别提高了 3.4℃、6.8℃,SAK-I 温拌 RAM 在拌和温度和压实温度比热拌 RAM 低于 30℃的情况下,依然具有和 RAM 相当的低温抗裂性能,优于 SBS 改性沥青混合料和 Sasobit 温拌 RAM 的低温抗裂性能,适合在寒冷地区应力吸收层中推广使用。

2.3 水稳定性能

2.3.1 浸水马歇尔稳定度试验

选择级配Ⅱ,用于应力吸收层的 3 种不同 RAM 浸水马歇尔稳定度试验,结果见表 8。

表 8 3 种不同 RAM 浸水马歇尔稳定度试验结果比较
Tab. 8 Comparisons of test results of three different rubber asphalt mixtures by immersion Marshall stability

混合料试件类型	残留稳定度比/%
热拌 RAM	95.51
SAK-I 温拌 RAM	93.48
Sasobit 温拌 RAM	84.08

由表 8 可知:SAK-I 温拌剂加入使 RAM 的浸水残留稳定度略微降低,SAK-I 温拌剂对 RAM 的水稳定性的影响较小,SAK-I 温拌 RAM 的残留稳定度满足规范要求(85 次/mm);Sasobit 温拌 RAM 的残留稳定度降幅较大,略低于规范要求。

2.3.2 冻融劈裂试验

选择级配Ⅱ,用于应力吸收层的 3 种不同 RAM 冻融劈裂试验,结果如表 9 所示。

表 9 3 种不同 RAM 冻融劈裂试验结果比较
Tab. 9 Comparisons of freeze-thaw cracking test results of three different rubber asphalt mixtures

混合料试件类型	冻融劈裂残留强度比/%
热拌 RAM	95.50
SAK-I 温拌 RAM	96.78
Sasobit 温拌 RAM	73.48

寒冷地区普通沥青混合料规范要求冻融劈裂残留强度比不小于 75%。由表 9 可知:SAK-I 温拌 RAM 的冻融劈裂残留强度高于 RAM,说明 SAK-I 温拌剂提高了 RAM 的水稳定性能,其性能提升大于 RAM 由于拌和温度与压实温度的降低导致水稳定性能的降低作用;SAK-I 温拌 RAM 和热拌 RAM 的冻融劈裂残留强度比均满足规范要求,但 Sasobit 温拌 RAM 结果不满足要求,这与 Sasobit 温拌剂对橡胶沥青结合料低温性能的影响有关,与 Sasobit 温拌剂相比,SAK-I 温拌剂对提高 RAM 水稳定性能较好,与厂家提出的 SAK-I 温拌剂可以起到抗剥落剂的效果相吻合,能够有效地改善 RAM 的水稳定性能。

SAK-I 温拌 RAM 具有良好的水稳定性能,适合用于寒冷地区应力吸收层中。SAK-I 温拌剂性能优良,比 Sasobit 温拌剂更适合用作应力吸收层 RAM 的改性剂。

3 SAK-I 温拌 RAM 与 SBS 改性沥青混合料的路用性能

采用级配Ⅱ,测试 SBS 改性沥青混合料的路用性能,并与 SAK-I 温拌 RAM 路用性能的试验结果进行对比,见表 10。

表 10 SAK-I 温拌 RAM 和 SBS 改性沥青混合料的路用性能的试验结果

Tab. 10 Road performance test results between SAK-I warm rubber asphalt mixture and SBS modified asphalt mixture

混合料类型	沥青用量/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	弯曲应变/10 ⁻⁶	冻融劈裂强度比/%
SAK-I 温拌 RAM	8.9	4 874	4 081	96.78
SBS 改性沥青混合料	6.3	4 550	3 215	89.21

从表 10 可知:在级配相同的情况下,SAK-I 温拌橡胶沥青的最佳沥青用量比 SBS 改性沥青高,排除橡胶粉加大沥青使用的部分,温拌橡胶沥青与 SBS 改性沥青的沥青用量大致相同;SAK-I 温拌 RAM 和 SBS 改性沥青混合料的动稳定度基本相当,都比规范值大,混合料高温稳定性良好;从低温弯曲应变值看,SAK-I 温拌 RAM 比 SBS 改性沥青混合料提高了 26.9%,其低温性能更好;从冻融劈裂强度比看,SAK-I 温拌 RAM 比 SBS 改性沥青混合料提高了 8.48%,但都满足规范要求。SAK-I 温拌 RAM 高于 SBS 改性沥青混合料的水稳定性,更适合在寒冷地区应力吸收层中使用。

4 结 语

(1)SAK-I 温拌剂提高了 RAM 的动稳定度,降低了 RAM 的拌和与压实温度;SAK-I 温拌 RAM 比热拌 RAM 和 Sasobit 温拌 RAM 高温稳定性更好。

(2)SAK-I 温拌 RAM 的低温抗裂性能比 SBS 改性沥青混合料和 Sasobit 温拌 RAM 好,与 RAM 的低温抗裂性能相当;SAK-I 温拌剂使温拌 RAM 在压实温度降低 30℃时,仍然保持良好的低温性能,具有较强的抗变形能力和应力松弛能力;冻断温度比破断强度、转折点温度和温度-应力曲线斜率更能准确评价温拌 RAM 的低温抗开裂能力。

(3)SAK-I 温拌 RAM 的水稳定性比热拌 RAM、Sasobit 温拌 RAM 高;SAK-I 温拌 RAM 具有优良的水稳定性,SAK-I 温拌剂比 Sasobit 温拌剂更适合做应力吸收层 RAM 的改性剂。

(4)SAK-I 温拌剂能使温拌 RAM 在拌和及压实温度降低 30℃的情况下,依然获得良好的路用性能;SAK-I 温拌 RAM 的路用性能好于 SBS 改性沥青混合料,满足施工技术的要求,更适合在寒冷地区应力吸收层中使用。

(5)SAK-I 温拌 RAM 应力吸收层防裂性能较好,有效解决了沥青加铺层与水泥混凝土路面或半刚性基层和沥青面层之间的层间黏结、裂缝的扩散

与传递等,降低了混合料拌和与压实温度,改善施工性能和施工现场的状况。移动荷载作用下带原始缺陷的加铺层结构进行深入的动态力学响应分析,制订、完善设计规范,扩大原材料来源,降低应力吸收层温拌技术的施工成本,长期路用性能与节能环保的效果评价等方面可作为下一步研究的重点。

参考文献:

References:

[1] 程培峰,林宏.基于 ABAQUS 的旧水泥混凝土路面加铺沥青层结构的力学研究[J].公路工程,2017,42(1):9-12.
CHENG Pei-feng,LIN Hong. Based on ABAQUS of paving asphalt layer structure of old cement concrete pavement mechanics[J]. Highway Engineering,2017,42(1):9-12.

[2] DEMPSEY B J. Development and performance of interlayer stress-absorbing composite in asphalt concrete overlays[J]. Transportation Research Record, 2002(1809):175-183.

[3] WANG S, YAN K, GE D, et al. Laboratory research on the performance of stress-absorption interlayer (SAI) of waste tire rubber and amorphous ploy alpha olefin modified asphalt[J]. Construction and Building Materials,2019,223:830-840.

[4] SUN Ya-zhen, YAN Ting. Analysis of the fatigue crack propagation process of the stress-absorption layer of composite pavement based on reliability[J]. Applied Sciences,2018,8(11):1-22.

[5] XIN Ji-yu, PEI Jian-zhong. A study on the design method for the material composition of small particle-size asphalt mixture for controlling cracks in asphalt pavement[J]. Asphalt Materials,2019,9(10):1-18.

[6] 孙雅珍,范东,王金昌,等.橡胶沥青应力吸收层的力学性能研究[J].广西大学学报:自然科学版,2018,43(1):314-324.
SUN Ya-zhen, FAN Dong, WANG Jin-chang, et al. Study on mechanical properties of AR-SAMI[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition,2018,43(1):314-324.

[7] 蔡兵,袁素平,李旭颖,等.橡胶沥青应力吸收层在泗许高速公路上的应用研究[J].公路交通科技,2012,29(7):11-14.
CAI Bing, YUAN Su-ping, LI Xu-ying, et al. Application study of stress absorption layer of rubber asphalt on Sixu Highway[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(7):

- 11-14.
- [8] 钟科昶. 橡胶沥青应力吸收层在深汕高速公路西段中的应用[J]. 道路工程, 2012(2): 66-68.
ZHONG Ke-chang. Application of rubber asphalt stress absorbing layer in west section of Shenzhen-Shantou Expressway[J]. Road Engineering, 2012(2): 66-68.
- [9] 马培建, 曹高尚, 王选仓. 基于应力吸收层使用效果的加铺层路面反射裂缝预估模型建立[J]. 中外公路, 2013, 33(4): 80-84.
MA Pei-jian, CAO Gao-shang, WANG Xuan-cang. Establishment of prediction model for reflection crack of overlay pavement based on the application effect of stress absorption layer[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2013, 33(4): 80-84.
- [10] 周景深. 设橡胶沥青应力吸收层的水泥混凝土路面结构优化研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2012.
ZHOU Jing-shen. Research on structure optimization of cement concrete pavement according to setting up rubber asphalt stress absorbing layer[D]. Hengyang: Nanhua University, 2012.
- [11] 李 昆, 黄卫东, 王 鹏. 用于应力吸收层的混合料设计与性能试验[J]. 上海公路, 2010(4): 10-14.
LI Kun, HUANG Wei-dong, WANG Peng. Mixture design and performance test for stress absorption layer[J]. Shanghai Highway, 2010(4): 10-14.
- [12] 黄卫东, 田健君. 连续密级配橡胶沥青混合料应力吸收层的研究[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(5): 856-861.
HUANG Wei-dong, TIAN Jian-jun. Research on stress absorbing interlayer of continuous dense graded asphalt rubber mixture[J]. Journal of Building Materials, 2014, 17(5): 856-861.
- [13] 陈 龙, 王 成. 道路橡胶沥青应力吸收层的设计方法[J]. 道路交通, 2015(11): 54-56.
CHEN Long, WANG Cheng. Design method of stress absorption layer for road rubber asphalt[J]. Road Traffic, 2015(11): 54-56.
- [14] 陈 亮. 刚性路面上橡胶沥青混合料应力吸收层室内试验研究[J]. 建设科技, 2016(16): 168-169.
CHEN Liang. Experimental study on stress absorption layer of rubber asphalt mixture on rigid pavement[J]. Construction Technology, 2016(16): 168-169.
- [15] 廖卫东, 陈拴发, 李祖仲. 改性沥青混合料应力吸收层材料特定与结构研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
LIAO Wei-dong, CHEN Shuan-fa, LI Zu-zhong. Study on stress absorption layer materials and structure of modified asphalt mixture [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [16] 廖卫东. 基于应力吸收层的旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构与材料研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
LIAO Wei-dong. Research on materials and structure of asphalt overlay on old cement concrete pavement based on stress absorption interlayer[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.
- [17] 李祖仲, 满新耀, 陈拴发. 改性沥青应力吸收层混合料旋转压实参数[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(5): 40-43.
LI Zu-zhong, MAN Xin-yao, CHEN Shuan-fa. Parameters of gyratory compaction for stress absorbing layers with modified asphalt[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(5): 40-43.
- [18] 李祖仲, 满新耀, 陈拴发. 应力吸收层改性沥青结合料粘温特性与施工温度确定[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(7): 37-41.
LI Zu-zhong, MAN xin-yao, CHEN Shuan-fa. Study on viscosit-temperature characteristics of asphalt binder for stress absorbing layers and determination of construction temperature [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(7): 37-41.
- [19] 杨 博, 张争奇. 沥青路面组合结构车辙试验研究[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(7): 46-50.
YANG Bo, ZHANG Zheng-qi. Composite structure wheel tracking test of asphalt pavement[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(7): 46-50.
- [20] 史书铨. HDPE 胶粉改性沥青试验室制备工艺及性能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
SHI Shu-quan. Research on performance of HDPE-rubber powder modified asphalt and mixture for stress absorbing layer[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.
- [21] 廖卫东, 陈拴发, 刘炤宇. 应力吸收层沥青混合料路用性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(3): 11-16.
LIAO Wei-dong, CHEN Shuan-fa, LIU Zhao-yu. Experimental research on service performance of stress absorption interlayer [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(3): 11-16.
- [22] 张 磊. 沥青混合料低温开裂及松弛特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
ZHANG Lei. Asphalt mixture low-temperature cracking and relaxation characteristic research[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.