

橡塑沥青混合料性能试验研究

翟殿钢, 秘林源, 敖清文

(贵州宏信创达工程检测咨询有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 基于沥青路面各结构层的核心功能需求,采用大掺量橡塑颗粒复合改性技术,通过调整橡胶和塑料的掺加比例,研发 3 种适用于上、中、下面层的 C 型、M 型、G 型橡塑沥青,并通过对比试验验证其路用性能。结果表明,C 型适用于沥青路面上面层,与 SBS 改性沥青、70[#] 基质沥青相比,C 型沥青混合料具有更优异的耐疲劳、抗裂、抗水损害性能;M 型适用于中面层,与 SBS 改性沥青相比,M 型沥青混合料具有更高的高温稳定性;G 型适用于下面层,与 SBS 改性沥青、70[#] 基质沥青相比,G 型沥青混合料具有更强的抗反射裂缝能力。

关键词: 公路;橡塑沥青;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)04-0068-04

受材料性质影响,随着运营时间的增加,沥青路面会出现裂缝、车辙等病害。随着制造业的快速发展,产生了大量废旧橡胶、塑料,将其直接废弃,不仅造成环境污染,更是对资源的浪费。因此,橡胶及塑料改性沥青应运而生。研究表明在沥青中加入橡胶可增强其低温稳定性,加入塑料可增强其高温稳定性。任瑞波等通过调整橡胶、塑料的比例,配置出 A、B、C 3 种稳定型橡塑沥青,通过室内试验及试验路铺筑验证了其高温性能优于 SBS 改性沥青,水稳定性可通过增加塑料的比例进行提升;杨正军通过向 70[#] 基质沥青中加入橡塑合金(TPE)得到橡塑合金改性沥青,其动稳定度、水稳定性、低温性能均优于 SBS 改性沥青且试验路铺筑效果良好;张涛等通过在沥青中加入 7.5% 抗车辙剂、20%~22% 橡胶粉及 EVOTHERM-DAT 温拌剂,增强了混合料的动稳定度及水稳定性;黄刚等通过正交试验研发新型橡塑高黏沥青,其 OGFC-13 混合料性能满足施工要求。但以上研究未考虑到各结构层的核心功能

不同,对沥青的性能要求也不同。该文采用大掺量橡塑颗粒复合改性技术,通过调整橡胶、塑料的掺加比例,分别研发适用于上、中、下面层的新型橡塑沥青,旨在通过提升各结构层核心功能,延缓路面病害发展,提升路面性能。

1 原材料及配合比

1.1 橡塑沥青

橡塑沥青的主要原材料如下:基质沥青采用 70[#] 石油沥青;橡胶采用轮胎厂生产的残次品轮胎,橡胶含量 $\leq 45\%$,灰分含量 $\leq 8\%$;塑料为二级以上回收塑料,以高低密度聚乙烯为主;橡塑改性剂有 3 种,分别为 C 型(适用于上面层,可增强混合料抵抗温度裂缝、疲劳裂缝及水损害的能力)、M 型(适用于中面层,可增强混合料抵抗车辙、剪应力的能力)、G 型(适用于下面层,可增强混合料抵抗反射裂缝的能力),其掺配方式和掺配比例见表 1。

根据各结构层沥青性质差异,建立橡塑沥青指

表 1 原材料、橡塑改性剂掺配方式和掺配比例

| 橡塑沥青类型 | 原材料 | 橡塑改性剂 掺配比例/% | 橡塑改性剂 掺配方式 | 对应层位 |
|--------|---------------------------|-----------------|---------------|------|
| C 型 | 橡胶掺量 90%~80%,塑料掺量 10%~20% | 13 | 内掺 | 上面层 |
| M 型 | 橡胶掺量 60%~40%,塑料掺量 40%~60% | 15 | 内掺 | 中面层 |
| G 型 | 橡胶掺量 90%~80%,塑料掺量 10%~20% | 20 | 内掺 | 下面层 |

标体系,根据体系内指标要求对所用沥青进行检测,得到各结构层沥青指标(见表 2)。

1.2 集料

采用六威(六盘水—威宁)高速公路(试验路)管

理一处一标段 K30 料场提供的优质玄武岩及石灰岩,其中玄武岩用于 SMA-13 上面层,分为 9.5~13.2、4.75~9.5 和 0~4.75 mm 3 档,分别编号 1[#]、2[#]、3[#];石灰岩用于 SUP-20 下面层,分为 19~

表 2 各结构层沥青指标

| 项目 | 检测结果 | | |
|----------------------------------|------------------|--------|--------------|
| | 上面层 | 中面层 | 下面层 |
| 针入度(25 ℃,5 s, 100 g)/(0.1 mm) | 44.5 | 43.3 | 53.0 |
| 软化点(R&B)/℃ | 61.5 | 66.5 | 60.0 |
| 180 ℃运动黏度/(Pa·s) | — | 1.2 | 1.3 |
| 135 ℃运动黏度/(Pa·s) | 3.8 | — | — |
| 闪点/℃ | 253 | 244 | 262 |
| 弹性恢复(25 ℃)/% | 76.0 | 57.0 | 64.5 |
| 贮存稳定性离析,48 h 软 化点差/℃ | 1.6 | 2.1 | 2.4 |
| 密度/(g·cm ⁻³) | 1.036 | 1.052 | 1.045 |
| 质量变 化/% | ≤-0.176 | ≤-0.12 | ≤-0.1 |
| RTOF 后残 留物性质 | 针入度比 (25 ℃)/% | ≥93 | ≥91 ≥71.3 |

31.5、9.5~19、4.75~9.5、0~4.75 mm 4 档,分别编号 1[#]、2[#]、3[#]、4[#];填料为矿粉。经试验,所用集料的各项指标均满足规范要求。

为便于试验研究,将各档集料按标准筛孔筛分为单一粒径,对各档集料及矿粉的物理指标和颗粒组成进行试验,试验结果见表 3~5。

表 3 SMA-13 各档集料的物理指标

| 粒径/ mm | 表观密度/ (g·cm ⁻³) | 表干密度/ (g·cm ⁻³) | 毛体积相 对密度 | 吸水率/ % |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|
| 13.20 | 2.909 | 2.886 | 2.873 | 0.43 |
| 9.50 | 2.920 | 2.897 | 2.885 | 0.41 |
| 4.75 | 2.918 | 2.871 | 2.847 | 0.86 |
| ≤2.36 | 2.710 | 2.576 | 2.500 | — |

表 4 SUP-20 各档集料的物理指标

| 粒径/ mm | 表观密度/ (g·cm ⁻³) | 表干密度/ (g·cm ⁻³) | 毛体积相 对密度 | 吸水率/ % |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|
| 26.50 | 2.791 | 2.774 | 2.764 | 0.4 |
| 19.00 | 2.716 | 2.704 | 2.697 | 0.3 |
| 16.00 | 2.715 | 2.706 | 2.700 | 0.2 |
| 13.20 | 2.715 | 2.703 | 2.696 | 0.2 |
| 9.50 | 2.716 | 2.707 | 2.702 | 0.2 |
| 4.75 | 2.712 | 2.706 | 2.702 | 0.1 |
| ≥2.36 | 2.729 | 2.667 | 2.632 | 1.4 |

1.3 配合比

设计 3 种不同结构层的橡塑沥青混合物料,用于橡塑沥青性能研究及试验段铺筑,其级配及油石比见表 6~8。

表 5 矿粉的物理指标

| 试验项目 | 试验结果 | 设计要求 |
|-----------|----------|--------|
| 表观相对密度 | 2.701 | ≥2.50 |
| 矿粉亲水系数 | 0.48 | <1 |
| 含水量/% | 0.38 | ≤1 |
| <0.6 mm | 100 | 100 |
| 粒度范围/% | <0.15 mm | 99.1 |
| <0.075 mm | 86.4 | 85~100 |

表 6 SMA-13 橡塑沥青混合料的级配组成

| 筛孔尺寸/mm | 通过率/% | 筛孔尺寸/mm | 通过率/% |
|---------|-------|---------|-------|
| 16.00 | 100.0 | 1.180 | 19.0 |
| 13.20 | 93.7 | 0.600 | 15.6 |
| 9.50 | 61.7 | 0.300 | 13.1 |
| 4.75 | 25.3 | 0.150 | 12.1 |
| 2.36 | 22.1 | 0.075 | 10.0 |

注:油石比为 6.1%;1[#]:2[#]:3[#]:矿粉=41:35:16:8。

表 7 SUP-20 橡塑沥青混合料的级配组成

| 筛孔尺寸/mm | 通过率/% | 筛孔尺寸/mm | 通过率/% |
|---------|-------|---------|-------|
| 26.50 | 99.8 | 2.360 | 21.2 |
| 19.00 | 91.9 | 1.180 | 16.6 |
| 16.00 | 81.7 | 0.600 | 11.4 |
| 13.20 | 72.3 | 0.300 | 7.7 |
| 9.50 | 63.2 | 0.150 | 6.2 |
| 4.75 | 30.0 | 0.075 | 4.9 |

注:油石比为 4.9%;1[#]:2[#]:3[#]:4[#]:矿粉=1.36:29:24:0。

表 8 SUP-25 橡塑沥青混合料的级配组成

| 筛孔尺寸/mm | 通过率/% | 筛孔尺寸/mm | 通过率/% |
|---------|-------|---------|-------|
| 31.50 | 99.70 | 2.360 | 16.70 |
| 26.50 | 94.60 | 1.180 | 13.80 |
| 19.00 | 68.70 | 0.600 | 10.60 |
| 16.00 | 54.90 | 0.300 | 8.26 |
| 13.20 | 42.60 | 0.150 | 7.32 |
| 9.50 | 31.70 | 0.075 | 5.96 |
| 4.75 | 20.50 | | |

注:油石比为 4.9%;1[#]:2[#]:3[#]:4[#]:矿粉=25:45:11.5:15:3.5。

2 性能试验结果与分析

2.1 表面层抗疲劳开裂性能

表面层是与车辆轮胎直接接触的层位,应具备较好的抵抗疲劳开裂的性能。采用 C 型橡塑沥青、普通 70[#] 沥青和 SBS 改性沥青,相同集料及油石比配置 3 种 SMA-13 混合物料进行 SCB(半圆弯曲)对比试验,方法如下:1) 成型直径 15 cm 试件,高度 15 cm 左右。2) 对试件进行切割,将顶部和底部各切

去3~5 mm,保留中间部分,再将中间部分切成50 mm厚切片,侧向不均匀的切片弃用。将切好的圆形切片沿直径方向切成两部分,得到SCB半圆形试件。3)在半圆形试件直径中心位置切口,切口深度15 mm,间距越小越好。试验设备由底边的2个托轮和半圆弧中点的加载轮组成,采用滚轴作为加载条和托轮,以减少摩擦。SCB试验上部和下部加载环直径为8 mm,2个托轮间的距离是SCB试件直径的0.8倍(见图1), $2a/D=0.8$,其中 $D=100$ mm。4)试件在 -10°C 下保温至恒定。5)试验前,使上压条与试件紧密接触,预加荷载不超过300 N。启动MTS-810试验机,以0.005 mm/min的加载速率向试件加载直至破坏。荷载传输采用位移控制系统,以压力机压头的位移作为垂直变形。试验结果见表9、图3。

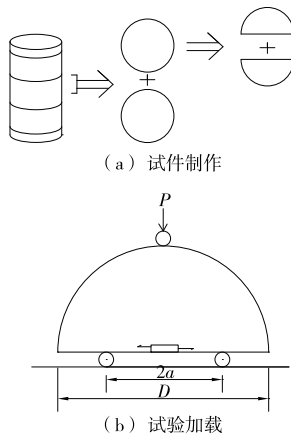


图1 SCB试件制作及加载

表9 沥青混合料SCB试验结果

| 混合料类型 | 峰值力/ kN | 峰值变 形/mm | 断裂能/ ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$) |
|----------------|------------|-------------|--|
| 普通70#沥青 SMA-13 | 9.21 | 0.84 | 993.5 |
| SBS改性沥青 SMA-13 | 10.03 | 1.31 | 2 631.0 |
| C型橡塑沥青 SMA-13 | 7.98 | 2.25 | 6 411.0 |

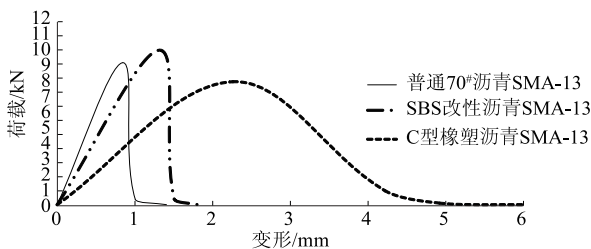


图2 SCB试验测试的荷载-变形曲线

由图9、图2可知:与普通70#沥青和SBS改性沥青 SMA-13相比,C型橡塑改性沥青 SMA-13

的低温柔韧性优势明显,在3种混合料中唯一呈现了柔性断裂特性。不仅峰值断裂变形值明显高于SBS改性沥青及基质沥青,而且其断裂能比SBS改性沥青高1倍以上(图形面积为断裂能)。说明达到断裂状态,C型橡塑改性沥青 SMA-13需要更多的荷载作用次数,即抗疲劳开裂的能力优于其他2种混合料。

2.2 表面层抵抗低温开裂性能

沥青混合料是一种温度敏感性材料,环境温度变化会使其使用性能发生显著变化,使用温度降低会使沥青混合料的劲度和强度明显增加,但变形能力显著下降,并可能出现脆性破坏,造成沥青路面低温开裂。采用上述试验配置的沥青混合料进行低温弯曲试验。试件采用由轮碾法成型的板块试件切割而成的棱柱体试件,长250 mm、宽30 mm、高35 mm,试件密度控制为马歇尔标准击实密度的 $(100 \pm 1)\%$ 。在MTS-810型沥青混合料综合试验测试系统上进行低温弯曲试验,测定沥青混合料在 -10°C 、加载速率50 mm/min下弯曲破坏时的力学性质,评价指标为最大弯拉应变(破坏应变)和弯曲劲度模量,结果见表10。

表10 沥青混合料低温弯曲试验结果

| 混合料类型 | 破坏应变/ $\mu\epsilon$ | 劲度模量/MPa |
|----------------|---------------------|----------|
| SBS改性沥青 SMA-13 | 2 850 | 3 401 |
| C型橡塑沥青 SMA-13 | 3 152 | 3 512 |
| 普通70#沥青 SMA-13 | 2 480 | 3 030 |

由表10可知:轮胎胶粉中含有丰富的天然胶成分,天然胶是一种高弹性物质,能显著改善沥青混合料的低温性能,具有优异的抵抗疲劳开裂的能力。对于SMA-13这种间断级配类型,橡塑复合改性沥青的破坏应变高于SBS改性沥青及基质沥青,说明橡塑复合改性沥青具有更强的抗低温开裂能力。相比于其他改性沥青,橡塑复合改性沥青的耐疲劳和裂缝性能更优越。

2.3 表面层抗冻融循环能力

对上述3种沥青混合料进行冻融劈裂试验,结果见表11。由表11可知:相比于SBS改性沥青及基

表11 沥青混合料冻融劈裂试验结果

| 混合料类型 | 冻融劈裂强度比/% | |
|----------------|-----------|-----------|
| | 试验结果 | 技术要求 |
| SBS改性沥青 SMA-13 | 83.7 | |
| C型橡塑沥青 SMA-13 | 89.3 | ≥ 80 |
| 普通70#沥青 SMA-13 | 80.0 | |

质沥青,C 型橡塑沥青混合物具有更强的抵抗冻融循环的能力。

2.4 中面层高温稳定性

在沥青路面结构中,为确保行车安全、增加行车摩阻系数,表面层一般按抗滑表层设计,表面粗糙,防渗水性能相对较低;下面层主要为整个路面结构提供稳定的支撑,并作为防止反射裂缝向上发展的主要功能层,故下面层主要考虑抗裂性能。在这样的路面结构功能分工下,抵抗车辙的功能(高温稳定性)自然落在了中面层上。针对这一现状,以中面层为主要研究对象,对比研究 M 型橡塑复合 SUP-20 沥青混合物的高温稳定性。

采用 M 型橡塑沥青、SBS 改性沥青和橡胶改性沥青(橡胶改性沥青的抗车辙性能较好),相同的集料及配合比配置 3 种 SUP-20 沥青混合物,进行动稳定度对比试验,试验结果见表 12。

表 12 沥青混合物动稳定度试验结果

| 混合物料类型 | 动稳定度/(次·mm ⁻¹) | | |
|-----------------|----------------------------|-------|-------|
| | 试件 1 | 试件 2 | 均值 |
| M 型橡塑沥青 SUP-20 | 7 102 | 7 345 | 7 224 |
| SBS 改性沥青 SUP-20 | 5 243 | 5 194 | 5 219 |
| 橡胶改性沥青 SUP-20 | 4 898 | 4 766 | 4 832 |

由表 12 可知:对于 SUP-20 混合物料,M 型橡塑、SBS、橡胶改性沥青混合物均具有优异的高温性能;与 SBS 改性、橡胶改性沥青混合物相比,M 型橡塑改性沥青混合物的动稳定度分别提高 35%~41%、45%~54%,说明 M 型橡塑改性沥青混合物具有相当优越的高温抗车辙能力。对比 M 型橡塑、橡胶改性沥青混合物的动稳定度,塑料改性成分的掺入可明显提高混合物的高温稳定性。

2.5 下面层抗反射裂缝性能

对 G 型橡塑、普通 70[#] 和 SBS 改性沥青混合物进行剪切反射疲劳试验(见图 3),试验结果见表 13。

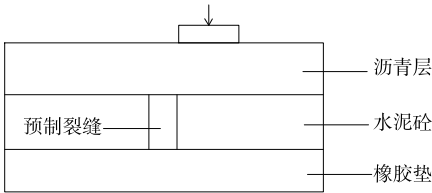


图 3 剪切反射疲劳试验

由表 13 可知:G 型橡塑改性沥青混合物的剪切反射疲劳次数比其他 2 种混合物有所提高,具有更强的抵抗反射裂缝的能力。

表 13 沥青混合物剪切反射疲劳试验结果

| 混合物料类型 | 厚度/cm | 剪切疲劳次数/万次 | |
|-----------------------|-------|-----------|-------|
| | | 初裂次数 | 贯穿次数 |
| 普通 70 [#] 沥青 | 8 | 0.41 | 10.30 |
| SBS 改性沥青 | 8 | 0.55 | 12.45 |
| G 型橡塑改性沥青 | 8 | 0.66 | 15.35 |

3 试验路铺筑

在贵州省六威(六盘水—威宁)高速公路六盘水北收费站采用橡塑沥青混合物铺筑 300 m 试验路,1 年后对试验路表观及性能指标进行跟踪观测,观测对象主要为上面层。以 SBS 改性沥青路面作为对比。结果如下:

(1) 表观(见图 4)。采用 C 型橡塑沥青混合物铺筑的上面层的颜色比 SBS 改性沥青路面更黑,表面更粗糙,表面基本无病害,整体来看更美观。



(a) C 型橡塑沥青路面 (b) SBS 改性沥青路面

图 4 C 型橡塑沥青路面和 SBS 改性沥青路面对比

(2) 性能指标。收费站为车辆集中路段,各类车辆频繁刹车、起步均会对路面造成影响。试验段构造深度、摩擦系数和渗水系数检测结果见表 14。由表 14 可知:试验段构造深度、摩擦系数和渗水系数分别满足 ≥ 0.55 m、 ≥ 54 和 ≤ 60 mL/min 的验收标准,各项指标均较理想。

表 14 试验段质量指标检测结果

| 桩号 | 横距/ m | 构造深 度/mm | 摩擦 系数 | 渗水系数/ (mL·min ⁻¹) |
|---------|----------|-------------|----------|----------------------------------|
| LK0+050 | 4.2 | 0.90 | 74 | 34 |
| LK0+100 | 7.1 | 0.85 | 73 | 37 |
| LK0+150 | 5.6 | 0.87 | 70 | 40 |
| LK0+200 | 5.4 | 0.78 | 71 | 37 |
| LK0+250 | 8.1 | 0.80 | 72 | 33 |

4 结论

(1) C 型橡塑改性沥青适用于沥青路面上面
(下转第 82 页)

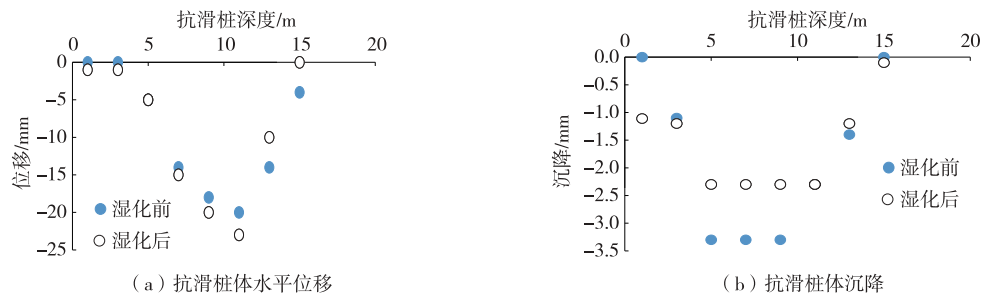


图6 湿化作用对抗滑桩位移沉降的影响

滑坡,解决非线性求解收敛性问题后,构建有限元模型对抗滑桩加固进行计算,模拟路堤的水平分层分布,获取整个土体的侧移与沉降。结果显示:桩距会对抗滑桩治理滑坡造成影响,桩距越大,抗滑桩承受的水平位移与弯矩越大;岩土湿化作用也会对抗滑桩治理滑坡造成影响,湿化会提升抗滑桩的大小主应力,增加边坡稳定性。

参考文献:

- [1] 杨维东.页岩边坡滑移机理分析及治理措施研究[J].铁道建筑技术,2019(增刊1):211-214.
- [2] 张琦,张少杰.那拉提空中草原景区公路滑坡下推力计算与防治措施[J].公路交通科技(应用技术版),2018(5):129-130+135.
- [3] 徐淑亮.高速公路复杂地质环境古滑坡破坏机理及防治对策研究[J].铁道建筑技术,2018(增刊2):27-31.
- [4] 张红日,王桂尧,兰素恋,等.某岩溶区公路岩土滑坡形成机理与治理[J].煤田地质与勘探,2017,45(1):105-109+113.
- [5] 陈达章,袁坤,万军利.乐广高速公路K80滑坡分析与治理[J].铁道建筑,2017,57(9):124-127.
- [6] 周思峰,徐宜慧,项建光,等.复杂地质构造下大范围深

层多滑带巨型滑移体综合治理技术[J].施工技术,2019,48(5):94-100.

- [7] 文海家,张岩岩,付红梅,等.降雨型滑坡失稳机理及稳定性评价方法研究进展[J].中国公路学报,2018,31(2):15-29+96.
- [8] 罗菲,任光明,李惠民,等.四川省道S216沿线滑坡、崩塌发育规律[J].长江科学院院报,2019,36(6):37-41.
- [9] 黄贻,王锐,赵宇,等.隐伏断层地震诱发滑坡易发性评价[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(11):2136-2143.
- [10] 李庶林,赵睿鸣,彭府华,等.基于强度折减法的高陡边坡滑坡治理稳定性分析[J].建筑科学与工程学报,2020,37(1):120-126.
- [11] 张永红,蔡强强.宣曲高速ZK170+150~+220左侧边坡滑坡治理方案设计[J].公路交通科技(应用技术版),2018(2):151-153.
- [12] 李云杰,汤明高,屈飞行,等.考虑活动性状态的大型滑坡危险性评价[J].长江科学院院报,2018,35(11):76-81+90.
- [13] 方鹏飞,朱益军,朱向荣.杭金衢高速公路K103滑坡治理[J].工程勘察,2009,37(1):31-35.

收稿日期:2020-11-19

(上接第71页)

层,与SBS改性沥青、70#基质沥青相比具有更优异的耐疲劳、抗裂、抗水损害性能;M型橡塑改性沥青适用于中面层,与SBS改性沥青、橡塑沥青相比具有更高的高温稳定性;G型橡塑改性沥青适用于下面层,与SBS改性沥青、70#基质沥青相比具有更强的抗反射裂缝能力。

(2)从表观上看,采用橡塑改性沥青混合料铺筑的路面比同时期铺筑的SBS改性沥青路面更黑,构造深度更大;从跟踪检测结果来看,建成1年后,橡塑沥青混合料路面的构造深度、渗水系数满足验收要求,且摩擦系数在70以上,抗滑性能较好。

参考文献:

- [1] 任瑞波,耿立涛,徐强,等.稳定型橡塑改性沥青混合料的路用性能研究[J].公路,2015(7):11-15.
- [2] 杨正军.橡塑合金改性沥青混合料路用性能应用研究[J].公路与汽运,2016(1):108-111.
- [3] 张涛,贾春燕.不同复配方案橡胶粉与塑料颗粒复合改性沥青及其混合料耐久性试验[J].公路工程,2017,36(3):309-313.
- [4] 黄刚,李妍,汪涛.一种橡塑高黏沥青的研发[J].中外公路,2018,38(1):234-239.

收稿日期:2020-09-02