

干法SBS改性技术在沿海高速中的应用研究

张 晗, 孟春麟, 赵明方, 卢传忠, 吉国旗

(江苏东部高速公路管理有限公司, 江苏 盐城 224000)

摘要:干法SBS改性沥青路面技术是通过外加特定的SBS改性剂生产SBS改性沥青混合料,旨在解决SBS改性沥青在运输和储存中的性能衰减问题。该文依托沿海高速公路中修工程,通过室内干法SBS与基质沥青配伍性试验、沥青混合料性能评价试验,对比了不同干法SBS掺量对试验结果的影响。基于试验结果提出了沿海高速公路上面层铣刨重铺养护工程推荐干法SBS掺量,并结合项目进行了规模应用。应用效果表明,在该项目推荐最佳干法SBS用量下,沥青路面性能优良且成本合理,具有突出的推广价值。

关键词:道路工程;干法SBS改性;最佳掺量;沿海高速公路;应用研究

中图分类号:U414

文献标志码:A

0 引言

由于SBS改性沥青高温时具有较大劲度、低温下具有较小劲度、有水存在时抗剥离效果好,因此其成为高等级公路建设首选的建筑材料^[1-6]。从改性工艺角度分类,SBS改性沥青技术可以分为湿法和干法两种^[7-10]。如图1所示。

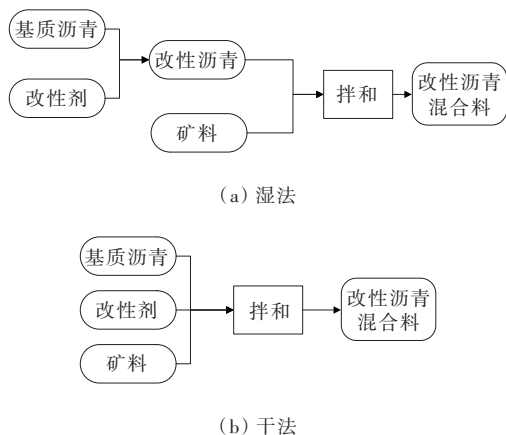


图1 湿法与干法改性工艺对比

湿法工艺先后采用溶胀、剪切过磨、发育等过程生产SBS改性沥青,随后运输到施工现场使用。由于SBS改性剂与基质沥青的物性存在差异,SBS

改性沥青在储存时可能会出现改性剂与基质沥青的离析分层或性能衰减现象,给路面质量造成不良影响^[11-14]。

干法改性技术省略了成品SBS改性沥青的生产过程,可以将基质沥青、改性剂以及集料一起拌和使用,从根源上避免了成品SBS改性沥青的加工、储存、运输过程中性能衰减问题,降低了改性沥青路面质量管理难度,还能有效降低沥青改性成本,提高施工灵活性,具有一定的推广价值^[15-18]。

为了对干法SBS在江苏地区应用可行性进行系统分析,本文依托沿海高速公路项目,以江苏地区常用原材料为试验材料,对其与干法SBS技术配伍性展开研究,分析不同SBS改性剂掺量对沥青路面性能的影响,并结合实体工程对实际应用效果进行评价,为江苏地区应用干法SBS技术提供参考。

1 原料选择

改性剂选用SBS-T,基质沥青选用70#基质沥青,其主要指标见表1。

粗集料选用石灰岩,矿粉选用石灰矿粉,来源均为沿海高速公路中修项目。

收稿日期:2023-01-13(修改稿)

基金项目:江苏省交通运输科技项目(编号:2016Y01)

作者简介:张晗,男,硕士.E-mail:18751956972@139.com

表1 70#沥青的主要性能指标

| 指标 | 单位 | 结果 | 要求 |
|-----------|--------|--------|-------|
| 软化点 | ℃ | 47.3 | ≥46 |
| 针入度(25℃) | 0.1 mm | 74.6 | 60~80 |
| 延度(15℃) | cm | >100 | ≥100 |
| 开口闪点 | ℃ | 297 | ≥260 |
| 蜡含量(蒸馏法) | % | 1.1 | ≤2.2 |
| 溶解度(三氯乙烯) | % | 99.9 | ≥99.5 |
| 薄膜烘箱试 | | | |
| 针入度比 | % | 66 | ≥65 |
| 质量变化 | % | -0.101 | ≤±1.0 |
| 5 h) | | | |
| 延度(10℃) | cm | 6.7 | ≥6 |

2 室内研究

2.1 干法改性剂与基质沥青的配伍性研究

为了考察 SBS-T 改性剂对基质沥青性能的影响,参考中国公路学会标准《公路干法 SBS 改性沥青路面技术指南》(T/CHTS 20003—2018)附录 C 的要求^[19],在试验室以 70#基质沥青、不同掺量的 SBS-T 为原料模拟湿法工艺制备得到不同改性剂含量的 SBS 改性沥青,对针入度、软化点、延度、弹性恢复等主要指标进行表征^[20],其中 SBS-T 掺量分别为 5.0%、5.5%、6.0%、6.5%、7.0%、7.5%。

除 7.5% 掺量的 SBS 改性沥青在加工过程中因改性剂掺量过高而凝胶外,其余各样品性能指标随改性剂掺量变化情况见图 2~5^[21]。

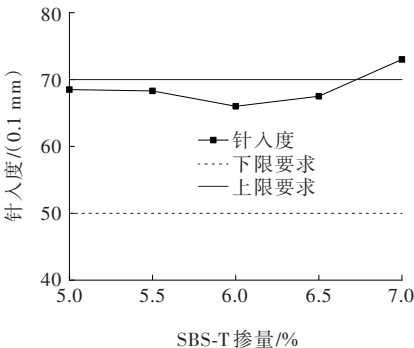


图2 干法改性剂掺量对针入度的影响

由图2~5可以看到:随着 SBS-T 掺量的增加,针入度先减小后增加,延度呈现上下波动,软化点呈现持续增加的趋势,弹性恢复变化较为平缓。总体来看,除 7.0% 掺量下的针入度超过上限要求外,其余均能符合技术要求。

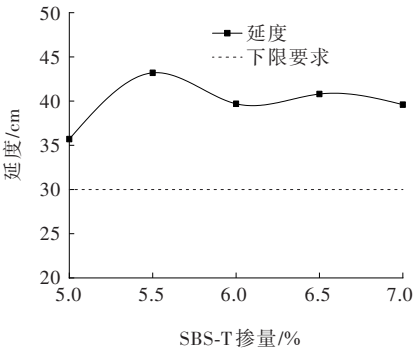


图3 干法改性剂掺量对延度的影响

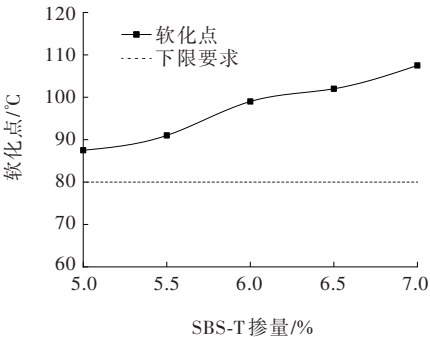


图4 干法改性剂掺量对软化点的影响

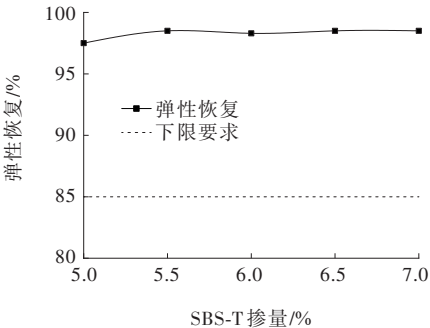


图5 干法改性剂掺量对弹性恢复的影响

就反映混合料高温稳定性的软化点来看,当 SBS-T 掺量为 5%~6% 时指标增速较快,超过此范围后,增速趋缓。从反映低温性能的 5℃延度看,5.5%、6.0% 掺量下也总体优于 5.0%,且当掺量超过 6.0% 时,增加改性剂掺量对延度影响并不显著。经分析,其原因可能是当 SBS-T 掺量达到 6.0% 时改性沥青中的改性剂达到相转化浓度,SBS-T 中预溶胀的 SBS 溶于沥青后发生交联反应形成了三维网络结构,使得沥青的高低温性能得到了大幅提升,此后继续增加改性剂掺量对沥青体系性能并无显著影响。

因此,综合胶结料性能及经济性,建议 SBS-T 掺量为基质沥青质量的 6.0% 左右。

2.2 改性沥青混合料路用性能验证

参照马歇尔法及依托项目实际情况,以在室内通过模拟制备的 SBS 改性沥青为胶结料确定最佳油石比为 5.8%,级配采用 SMA-13,目标配合比级配见表 2。

表 2 SMA-13 沥青混合料目标配合比级配

| 级配 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分率/% | | | | | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 16.0 | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 目标级配 | 100 | 90.6 | 60.1 | 26.8 | 22.7 | 19.7 | 16.2 | 13.1 | 10.9 | 9.1 |
| 上限 | 100 | 100 | 75 | 32 | 27 | 24 | 20 | 16 | 13 | 12 |
| 下限 | 100 | 90 | 50 | 22 | 16 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 |

以此为基础,结合前期研究情况,分别以干法改性剂掺量为 5.5%、6.0%、6.5%、7.0%、7.5% 拌和制备干法改性沥青混合料,方法参照《公路干法 SBS 改性沥青路面技术指南》(T/CHTS 20003—2018)要求,拌和温度如表 3 所示。

表 3 干法 SBS 改性沥青混合料室内试验拌和温度

| 项目 | 控制要求/℃ |
|---------|---------|
| 矿料加热 | 185~195 |
| 沥青加热 | 150~160 |
| 沥青混合料拌和 | 175~185 |
| 沥青混合料老化 | 170~180 |
| 沥青混合料成型 | 165~175 |

2.2.1 干法改性剂对混合料高低温性能的影响

对成型后干法 SBS 改性沥青混合料进行车辙、低温弯曲试验,考察 SBS-T 对沥青混合料高温稳定性、低温抗裂性的影响。结果如图 6 所示。

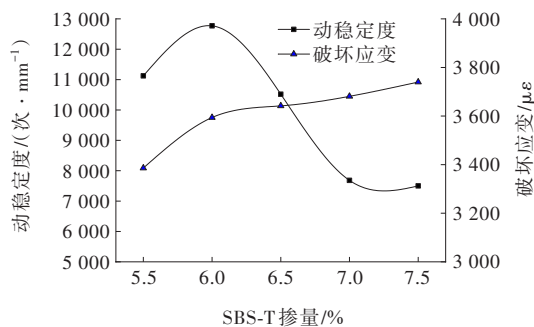


图 6 干法改性剂掺量对动稳定度及破坏应变的影响

由图 6 结果可知:在所选取的改性剂掺量(5.5%~7.5%)范围内,所制备的干法 SBS 改性沥青混合料的高低温性能均能符合相应技术要求,且有较大安全余量。

随着 SBS-T 掺量的增加,高低温性能均呈现一定程度的波动,当 SBS-T 掺量达到 6% 时,动稳定度达到峰值,而后随着掺量的增加逐渐降低,分析这种现象可能是由于:① 当掺量过高时改性剂未能在设定的拌和条件下彻底熔融,对其性能的发挥造成了影响;② 改性剂对路用性能的改善是其内部所含有的各材料组分的平衡统一后带来的,当掺量低于某个阈值时,发挥主要作用的可能是有利于高温性能的组分,当超过某个阈值时,有利于低温性能的组分开始发挥作用。

在低温抗裂性方面,随着改性剂掺量的增加,破坏应变呈现逐渐增加的趋势,当掺量低于 6.0% 时,曲线的斜率较大,当掺量超过 6.0% 时,斜率变小且趋于平缓,最后呈现线性变化。与表征胶结料低温性能的延度对比发现,两者的变化趋势基本一致,均呈现先大幅增加、而后趋于平缓的趋势,这说明与其他类似改性剂仅注重于高温性能的改善不同,干法 SBS 改性剂对于低温性能有较为显著的改善,真正发挥了 SBS 对沥青性能进行综合改善的作用。

2.2.2 干法改性剂对混合料水稳定性的影响

对成型后干法 SBS 改性沥青混合料进行马歇尔、冻融劈裂试验,研究 SBS-T 对沥青混合料强度、水稳定性的影响,结果如图 7~10 所示。

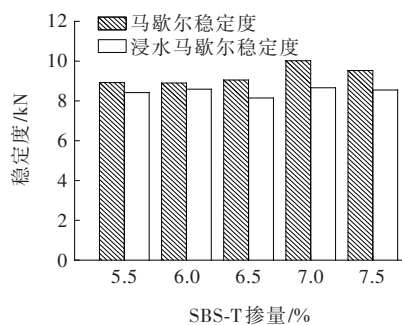


图 7 干法改性剂掺量对马歇尔稳定度的影响

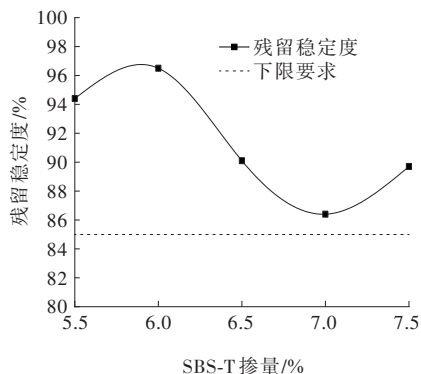


图 8 干法改性剂掺量对残留稳定度的影响

由试验可以得到:所制备沥青混合料的马歇尔稳定度、残留稳定度及 R_{TSR} 均符合相关要求,说明混合料具有良好的强度和水稳定性,在有水存在时,仍然能够保持较高的强度,应用于中国东部及南部等潮湿多雨地区时,能够防止唧浆、网裂等路面病害的出现。

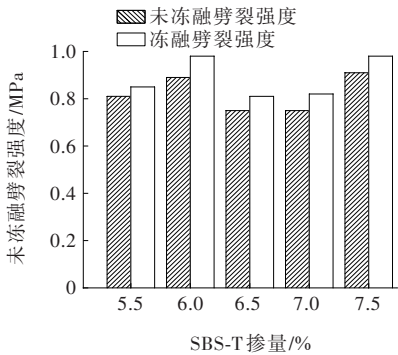


图9 干法改性剂掺量对冻融劈裂强度的影响

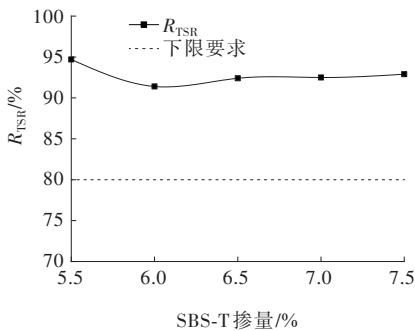


图10 干法改性剂掺量对 R_{TSR} 的影响

2.2.3 干法改性剂对混合料飞散的影响

对成型后干法SBS改性沥青混合料进行肯塔堡飞散试验,以研究SBS-T对集料抗脱落性的影响,结果如图11所示。

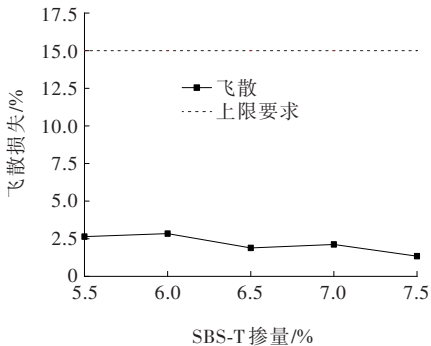


图11 干法改性剂掺量对飞散的影响

由图11可以看出:在改性剂掺量范围(5.5%~7.5%)内,肯塔堡飞散损失平均值均小于上限要求,且

均有较大余量,说明表面的集料不易脱落而散失掉粒。随着改性剂掺量的逐渐增加,飞散损失率呈现小幅波动,说明掺量对于飞散试验的影响并不显著。

综上,结合沥青混合料的路用性能及使用经济性,推荐干法SBS-T的掺量为6.0%,这与沥青胶结料验证所得到的结果一致。

3 试验段修筑

为了更好地对干法SBS改性效果进行验证,选择沿海高速公路K1087+450~K1087+550盐城方向第三、四车道修筑试验段。

3.1 干法沥青混合料的生产及运输

在试验段修筑时,干法SBS改性剂掺量为6.0%,油石比为5.8%,级配为SMA-13,生产配合比与表2一致^[22]。

干法SBS改性剂采用机械自动输入投料方式,直接投入沥青拌和楼拌缸使用。施工前已对机械投放装备的称重系统和投放时间进行标定,投料质量误差小于设定值 $\pm 3\%$,投料时间小于10 s。集料加热温度180~190℃,沥青加热温度150~160℃。干法SBS改性剂与木质素纤维同时投入,干拌约10 s后,投入沥青和矿粉进行湿拌,湿拌时间约35 s。从沥青混合料外观看,沥青裹覆较为均匀、无花白料、无结块和离析现象。

沥青混合料装车过程中,运料车装料时采用前、后、中移动分三堆装料,减少粗集料的离析,运输车车厢顶部采用油布覆盖的保温措施,温度基本保持为180℃左右。

3.2 干法沥青混合料的摊铺及碾压

摊铺采用VOGELE摊铺机,通过非接触式平衡梁装置控制摊铺厚度,摊铺速度约3.0 m/min。碾压采用双钢轮压路机,具体工艺参数如表4所示。从摊铺现场观测发现,面层整体均匀性较好。

表4 现场碾压工艺参数

| 阶段 | 压路机类型 | 碾压遍数/遍 | 速度/(km·h ⁻¹) |
|----|------------|---------|--------------------------|
| 初压 | 宝马格双钢轮压路机 | 4(前静后振) | 2.0~3.0 |
| 复压 | 戴纳派克双钢轮压路机 | 2(振压) | 2.5~4.0 |
| 终压 | 悍马双钢轮压路机 | 1~2(静压) | 2.5~5.0 |

在施工过程各环节,对干法 SBS 改性沥青混合料温度进行检测,结果如表 5 所示。

表 5 施工过程中温度检测结果 $^{\circ}\text{C}$

| 项目 | 测试结果 | 规范要求 |
|---------|-------|----------------------|
| 混合料出厂温度 | 184.8 | 175~185 超过 190 废弃 |
| 运到现场温度 | 184.2 | ≥ 170 |
| 摊铺温度 | 177.0 | ≥ 165 |
| 初压开始温度 | 153.4 | ≥ 150 |
| 复压最低温度 | 141.9 | ≥ 130 |
| 碾压终了温度 | 91.8 | ≥ 90 |

4 性能检测

4.1 室内性能检测

对生产的 SMA-13 沥青混合料进行室内试验检测,结果如表 6 所示,抽提试验检测结果见表 7。

表 7 沥青混合料抽提试验检测结果

| 项目 | 油石 比/% | 通过下列筛孔(mm)的质量百分率/% | | | | | | | | | |
|-----|-----------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 16.0 | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 实测值 | 5.78 | 100 | 89.4 | 58.7 | 25.8 | 22.7 | 18.1 | 14.7 | 11.7 | 10.2 | 9.6 |
| 下限 | 5.70 | 100 | 94.6 | 64.1 | 30.8 | 25.7 | 22.7 | 19.2 | 16.1 | 13.9 | 11.1 |
| 上限 | 6.00 | 100 | 86.6 | 56.1 | 22.8 | 19.7 | 16.7 | 13.2 | 10.1 | 7.9 | 7.1 |

表 8 试验段厚度及压实度检测结果

| 桩号 | 厚度/cm | 压实度/% | | 空隙率/% |
|-----------|------------|-----------|-----------|----------|
| | | 马氏 | 理论 | |
| K1087+470 | 4.1 | 99.6 | 95.5 | 4.5 |
| K1087+535 | 4.2 | 99.3 | 95.2 | 4.8 |
| 技术要求 | ≥ 4.0 | ≥ 98 | ≥ 94 | ≤ 6 |
| 结论 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

表 9 试验段平整度检测结果

| 桩号 | 平整度/mm | | 结论 |
|-----------|--------|----------|----|
| | 检测结果 | 技术要求 | |
| K1087+460 | 1.5 | ≤ 3 | 合格 |
| K1087+525 | 1.5 | ≤ 3 | 合格 |

表 10 试验段渗水系数检测结果

| 桩号 | 检测结果 | 技术要求/ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) | 结论 |
|-----------|-------|--|----|
| K1087+470 | 基本不渗水 | ≤ 50 | 合格 |
| K1087+535 | 基本不渗水 | | 合格 |

表 6 干法 SBS 改性沥青混合料室内性能试验检测结果

| 试验项目 | 单位 | 检测结果 | 技术要求 |
|-----------------------|---------------|-----------|---------------|
| 空隙率 | % | 4.10 | 3~4.5 |
| 稳定度 | kN | 9.58 | ≥ 6 |
| 流值 | 0.1 mm | 32.10 | 20~50 |
| 浸水残留稳定度 | % | 95.90 | ≥ 85 |
| 冻融劈裂 R_{TSR} | % | 92.00 | ≥ 80 |
| 动稳定度 | 次/mm | 11 682.00 | $\geq 3\,000$ |
| 低温弯曲破坏应变 | μe | 3 646.00 | $\geq 2\,800$ |

由表 6、7 可以看出:干法改性沥青混合料的各项性能指标均符合相关技术要求,具有优良的路用性能。抽提结果显示:矿料级配在设计级配范围内,油石比与设计油石比基本相符。

4.2 现场性能检测

于施工次日路面温度降低后,进行了压实度、厚度、平整度、渗水系数、构造深度、摩擦系数检测,结果如表 8~12 所示。

表 11 试验段路面构造深度检测结果

| 桩号 | 构造深度/mm | | 结论 |
|-----------|---------|-------------|----|
| | 检测结果 | 技术要求 | |
| K1087+460 | 0.80 | ≥ 0.55 | 合格 |
| K1087+520 | 0.84 | | 合格 |

表 12 试验段路面摩擦系数检测结果

| 桩号 | 摩擦系数 | | 结论 |
|-----------|------|-----------|----|
| | 检测结果 | 技术要求 | |
| K1087+455 | 68 | ≥ 55 | 合格 |
| K1087+525 | 68 | | 合格 |

由以上检测结果可以看出:现场检测的试验段各参数均符合相关技术要求,达到预定目标。

5 结论

(1) 干法改性剂能够显著改善沥青胶结料及沥

青混合料的路用性能,能够均衡地改善高低温及水稳定性。

(2) 结合实施项目,当干法改性剂的掺入量为6%(基质沥青:干法SBS=100:6)时达到综合最佳改性效果,且经济性良好,将该掺量作为本项目干法改性剂的推荐掺量。

(3) 施工现场检测结果显示,各项检测结果均满足技术要求,与室内试验结果一致,表明干法SBS技术的室内试验方法和结论可以直接指导施工,达到了预期效果。

(4) 对于施工工期相对灵活多变的养护工程,干法SBS改性沥青混合料生产施工组织简单、灵活的特点得到进一步体现,养护项目无需再考虑施工工期变化对SBS改性沥青性能的影响,尤其在沥青路面养护工程方面具有较大的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 张德勤.石油沥青的生产与应用[M].北京:中国石化出版社,2001.
- [2] 肖凤,肖春发,邓星鹤.直投式改性沥青研究进展综述[J].广东公路交通,2021,47(4):70-74.
- [3] 许浩楠.直投式改性剂LM-S改性机理及其沥青混合料性能研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022
- [4] 李宁.直拌式SBS改性沥青及其沥青混合料性能评价[D].济南:山东交通学院,2019.
- [5] 张金升,郝秀红,张旭,等.沥青混合料及其设计与应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.
- [6] 崔红兵.直投式-沥青混合料改性技术在沥青混凝土路面施工中的推广应用[J].内蒙古公路与运输,2016(5):6-9.
- [7] 李交,闫国杰,赫振华,等.直投式沥青改性方案及其节能效果分析[J].城市道桥与防洪,2010(12):152-155,14.
- [8] 朱荣芳,唐国奇.基于动态力学的直投改性技术机理及应用研究[J].公路与汽运,2017(5):75-78.
- [9] 李世华,白玉铎,唐国奇.基于LCA的干法湿法SBS改性沥青工艺技术评估分析[J].中外公路,2022,42(5):221-225.
- [10] 王淑华,刘囡囡,徐良军,等.直投式SBS改性沥青及其沥青混合料路用性能研究[J].山东交通科技,2019(2):26-31.
- [11] 唐国奇.一种直投式速溶型SBS改性剂及其制备方法和应用:中国,ZL 201510024069.2[P].2015-06-03.
- [12] 刘莹,王涵,郭娜,等.干法工艺生产改性沥青混合料的发展现状[J].石油沥青,2017,31(2):63-67.
- [13] 王静.直投SBS改性技术在实体工程中的应用研究[J].中外公路,2017,37(3):253-256.
- [14] 陈坤,庄传仪,李宁.直拌式SBS改性沥青及混合料路用性能研究[J].内蒙古公路与运输,2021(4):10-13,21.
- [15] 代霞.不同工艺制备的SBS改性沥青混合料性能研究[J].公路与汽运,2020(6):53-56,60.
- [16] 尹建伟,薛冰.WTR/APAO复合改性沥青混合料性能研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2022,19(1):27-33.
- [17] 石宜清,李文凯,邵景干等.降黏温拌沥青混合料路用性能研究[J].交通科学与工程,2022,38(3):11-18.
- [18] 岳崇阳,李思瑶,顾坤.不同工艺SBS改性沥青混合料路用性能研究[J].河南科技,2021,40(21):77-79.
- [19] 国路高科(北京)工程技术研究院有限公司.公路干法SBS改性沥青路面技术指南:T/CHTS 20003—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [20] 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:JTJ 052—2000[S].北京:人民交通出版社,2000.
- [21] 交通部公路科学研究所.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [22] 交通部公路科学研究所.沥青路面施工及验收规范:GBJ 50092—1996[S].北京:人民交通出版社,1996.