

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.02.017

“农村公路十安全”模式下抗凝冰沥青路面应用效果研究

陈玲¹, 陈兆南², 孙旭强²

(1.南京浦江工程检测有限公司, 江苏 南京 210031; 2.中路交科检测技术有限公司, 江苏 南京 210031)

摘要: 针对农村公路陡坡路段和桥面铺装上面层,采用抗凝冰 SMA-13 沥青路面结构提高其安全与行驶质量。进行室内抗凝冰 SMA-13 沥青混合料配合比设计,并通过路用性能试验、抗凝冰性能试验、冰层界面拉拔试验、破冰能力试验、抗滑性能试验及抗凝冰持续时间试验等对其抗凝冰效果进行评价。结果表明,与常规 SMA-13 沥青混合料相比,抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的路用性能略有衰减但满足规范要求,且能有效降低路表冰点和冰雪与路面材料之间的黏结力,改善车辆行驶过程中车轮的破冰效果进而提高低温条件下路表摩擦系数,有利于提高农村公路特殊路段的行驶安全性。

关键词: 公路;沥青路面;农村公路;抗滑;抗凝冰

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)02-0078-04

从交通安全角度分析,沥青路面的抗滑性能最为关键。冬季冰雪天气常导致道路表面积雪结冰,引起路表摩擦系数下降、车辆打滑失控等,严重影响车辆行驶安全^[1-2]。农村公路通常设计技术指标较低,呈现转弯半径小、道路纵坡大等特点,在某些重载路段的长大纵坡、易冻结的桥面铺装处易诱发严重交通安全事故。因此,针对农村公路陡坡路段和桥面铺装上面层,考虑采用抗凝冰 SMA-13 沥青路面结构来改善其安全与行驶质量^[3-4]。本文主要结合缓释型抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的性能特点,基于定制化的理念进行抗凝冰混合料设计^[5-8],并通过抗凝冰性能试验、冰层界面拉拔试验等室内试验对其抗凝冰效果进行评价。

1 抗凝冰 SMA-13 配合比设计

1.1 原材料

(1) 抗凝冰剂。采用的抗凝冰改性剂的技术指标见表 1。常用缓释型抗凝冰剂的添加方式为外掺法,掺量一般为 5% 左右。考虑到南京市冬季冰雪

天气比北方少,但冬季多雨天气易导致抗凝冰剂损失,且重载路段交通量较大,抗凝冰剂掺量采用 5%。

表 1 抗凝冰剂的技术指标

| 项目 | 技术要求 | 项目 | 技术要求 |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| 密度/(g·cm ⁻³) | ≥1.8 | 硬度/(N·mm ⁻²) | ≥100 |
| 粒度范围/mm | 0.1~3 | 氯离子含量/% | ≥35 |
| 熔点/℃ | ≥260 | 冰点/℃ | ≤-25 |
| 溶液 pH 值 | 7~8 | | |

(2) 沥青。采用 SBS 改性沥青,其技术指标与常规 SMA-13 沥青混合料中沥青一致。

(3) 集料。粗集料采用玄武岩,填料采用石灰岩矿粉,其技术指标与常规 SMA-13 沥青混合料中集料一致。

1.2 配合比

1.2.1 矿料掺配比例

根据粗、细集料的筛分结果,以 4.75 mm 筛孔作为关键筛孔,选择粗、中、细 3 种级配(分别编号 A、B、C),油石比取 6.0%,分别进行马歇尔试验。3 种级配的各筛孔通过率见表 2,3 种级配抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的马歇尔试验结果见表 3。

表 2 抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的矿料级配组成

| 级配编号 | 下列筛孔(方孔筛,mm)的通过率/% | | | | | | | | | |
|------|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 16.000 | 13.200 | 9.500 | 4.750 | 2.360 | 1.180 | 0.600 | 0.300 | 0.150 | 0.075 |
| 级配 A | 100.0 | 91.8 | 61.3 | 22.9 | 20.2 | 17.3 | 15.1 | 13.8 | 12.7 | 10.2 |
| 级配 B | 100.0 | 92.5 | 64.5 | 24.9 | 21.8 | 18.4 | 15.8 | 14.3 | 13.1 | 10.5 |
| 级配 C | 100.0 | 93.2 | 67.7 | 26.8 | 23.4 | 19.5 | 16.5 | 14.8 | 13.5 | 10.7 |

表 3 3 种级配抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的马歇尔试验结果

| 级配编号 | 油石比/% | 空隙率/% | 矿料间隙率/% | 沥青饱和度/% | 毛体积相对密度 | 理论最大相对密度 |
|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 级配 A | 6.0 | 3.9 | 18.2 | 79.4 | 2.485 | 2.586 |
| 级配 B | 6.0 | 4.4 | 17.4 | 76.2 | 2.471 | 2.585 |
| 级配 C | 6.0 | 4.8 | 16.7 | 78.0 | 2.460 | 2.584 |
| 规范要求 | — | 3.0~4.5 | ≥16.5 | 75~85 | — | — |

从表 3 可以看出:级配 A 和级配 B 的马歇尔试件的体积指标均满足要求,级配 C 的马歇尔试件的空隙率偏大,不满足规范要求。考虑到抗凝冰剂在使用过程中的溶解损失,压实后抗凝冰 SMA-13 沥青混合料随着使用年限的增加其空隙率增大,结合实际情况选择空隙率较小的级配,采用级配 A 作为抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的设计级配。

1.2.2 最佳油石比

所采用的缓释型抗凝冰剂的粒径集中在 0.1~3 mm,比表面积大且容易被沥青裹覆,需适当提高 0.1%左右的油石比。按级配 A 配料,分别采用 5.4%、5.7%、6.0%、6.3%、6.6%的油石比进行马歇

尔试验,试验结果见表 4。

根据表 4 绘制各指标与油石比的关系曲线,得到最佳沥青用量的初始值和中值分别为 6.2%、5.9%,取两者的平均值,确定抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的最佳油石比为 6.05%。

2 抗凝冰 SMA-13 性能试验结果与分析

2.1 路用性能试验

对抗凝冰 SMA-13 沥青混合料进行路用性能试验,试验结果见表 5。从表 5 可以看出:抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的耐久性能、高温性能、低温抗裂性能均比常规 SMA-13 沥青混合料略有衰

表 4 不同油石比下抗凝冰 SMA-13 沥青混合料级配 A 的马歇尔试验结果

| 油石比/% | 稳定度/kN | 流值/(0.1 mm) | 空隙率/% | 矿料间隙率/% | 沥青饱和度/% | 毛体积相对密度 | 理论最大相对密度 |
|-------|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 5.4 | 12.13 | 26.3 | 5.4 | 17.7 | 79.6 | 2.434 | 2.621 |
| 5.7 | 13.89 | 28.6 | 4.3 | 17.6 | 76.3 | 2.449 | 2.603 |
| 6.0 | 15.46 | 30.4 | 3.6 | 17.4 | 73.2 | 2.471 | 2.585 |
| 6.3 | 14.32 | 32.6 | 3.1 | 17.6 | 78.5 | 2.476 | 2.568 |
| 6.6 | 12.01 | 35.2 | 2.5 | 17.7 | 81.3 | 2.480 | 2.551 |
| 规范要求 | ≥8.00 | 20~50 | 3.0~4.5 | ≥16.5 | 75~85 | — | — |

表 5 抗凝冰 SMA-13 沥青混合料路用性能试验结果

| 混合料类型 | 残留稳定度/% | 动稳定度/(次·mm ⁻¹) | 冻融劈裂强度比/% | 低温弯曲破坏应变/με | 析漏损失/% |
|------------|---------|----------------------------|-----------|-------------|--------|
| 常规 SMA-13 | 94.2 | 7 655 | 88.5 | 2 984 | 0.05 |
| 抗凝冰 SMA-13 | 88.5 | 6 874 | 84.2 | 2 754 | 0.04 |
| 规范要求 | ≥80 | ≥3 000 | ≥80 | ≥2 500 | ≤0.1 |

减,但满足规范要求。

2.2 抗凝冰性能试验

抗凝冰试验采用控温、控湿试验箱,通过降低环境温度并对试件表面洒水及提高试验箱内空气湿度模拟实际低温条件下的雾、雨天气,对比抗凝冰 SMA-13 与常规 SMA-13 沥青混合料在相同雨、雾条件下的抗凝冰性能^[9-10]。

设置试验箱环境温度为-5℃,按表 6 所示方法模拟雨、雾天气,将试件分别置于雾、雨两种环境中冷冻 5 h 后查看试件表面的凝冰现象,试验结果见图 1。

表 6 不同工况的室内模拟

| 工况 | 室内模拟方法 | 温度/℃ |
|----|----------|------|
| 雾 | 湿度设为 70% | -5 |
| 雨 | 试件表面洒水 | -5 |

从图 1 可以看出:常规 SMA-13 沥青混合料试件在低温、有雾的环境下,表面形成一层白霜,在低温、下雨的环境下,表面形成一层薄冰;在这两种工况下,抗凝冰 SMA-13 沥青混合料试件的表面未出现任何凝冰现象。SMA-13 沥青混合料掺加抗凝冰剂后,在潮湿环境中,由于抗凝冰剂的析出,

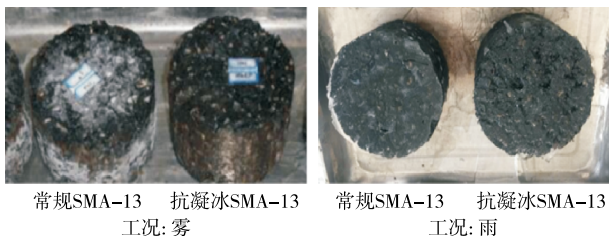


图1 2种SMA-13沥青混合料冷冻5h后试件表面形貌

混合料表面冰点降低,有效抑制了结冰现象的发生,冬季行车安全性提高。

2.3 冰层界面拉拔试验

为评价冰雪与路面材料之间的黏结力,对抗凝冰SMA-13与常规SMA-13沥青混合料试件进行拉拔试验^[11],试验结果见图2。

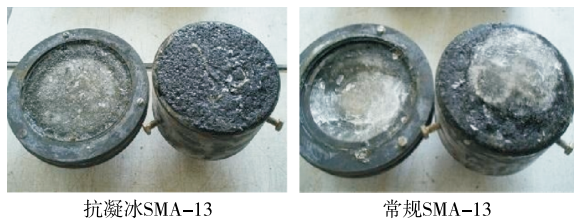


图2 2种SMA-13沥青混合料拉拔试验结果

以拉拔力表征冰雪与路面材料之间的黏结性能,间接反映混合料的抗凝冰性能。2种混合料的冰层界面拉拔强度见图3。

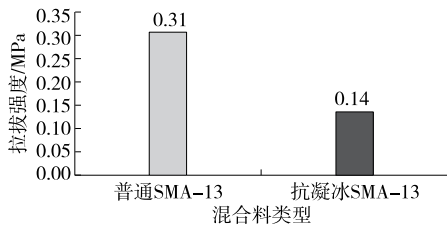


图3 2种SMA-13沥青混合料冰层界面的拉拔强度

由图3可知:抗凝冰SMA-13沥青混合料与冰层之间的拉拔强度为0.14 MPa,比普通SMA-13沥青混合料降低0.17 MPa,抗凝冰SMA-13的抗凝冰效果更好^[12]。SMA-13沥青混合料中掺入抗凝冰剂后,由于抗凝冰剂的析出,有效降低了冰雪与路面材料之间的黏结力,机械除雪难度降低。

2.4 破冰能力试验

采用单轴破冰试验,以冰面破碎时力值大小表征抗凝冰沥青混合料在车轮荷载作用下的抗凝冰效果,试验现场见图4。采用万能材料试验机对冰层-混合料复合试件的冰层表面施加荷载进行破冰试验,以荷载的峰值表征冰层破坏应力的大小,试验

结果见图5。



图4 SMA-13沥青混合料破冰试验现场

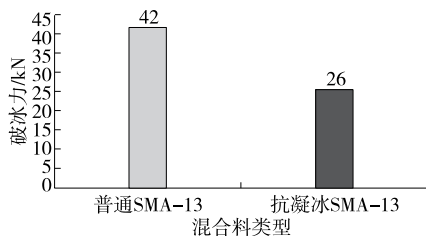


图5 2种SMA-13沥青混合料破冰试验结果

从图5可看出:抗凝冰SMA-13沥青混合料的破冰力比常规SMA-13沥青混合料下降16 kN,主要是由于抗凝冰剂的外释降低了混合料表面的冰点及冰层的硬度,从而大大减小了破冰所需荷载。车轮荷载更容易将抗凝冰SMA-13表面的冰层破碎而加速冰层的融化,从而达到抗凝冰的效果。

2.5 抗滑性能试验

通过抗滑性能试验,以摆值为指标,评价不同SMA-13沥青混合料在低温潮湿环境下的抗滑性能,试验结果见图6。

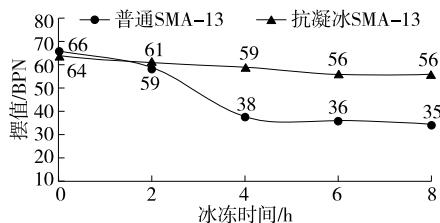


图6 2种SMA-13沥青混合料抗滑性能试验结果

从图6可以看出:随着冰冻时间的延长,2种SMA-13沥青混合料的摆值逐渐下降,但抗凝冰SMA-13的摆值下降幅度较小,表明缓释型抗凝冰剂具有一定的延缓路表结冰的功能,且其后期摆值比普通SMA-13混合料提升60%,可显著提高路表在低温条件下的抗滑性能与行车安全性。

2.6 抗凝冰持续时间试验

为更好地模拟沥青路面在雨天的使用情况,对抗凝冰SMA-13沥青混合料试件进行动水冲刷试验,每隔一段时间取冲刷后的溶液测试电导率,根据

电导率与氯离子之间的对应关系反推试件中抗凝冰剂的剩余量,评估抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的抗凝冰持续时间^[13]。

通过调查当地的年降雨量计算动水冲刷时间。表 7 为按降雨量确定的中国气候分区,南京地区属于潮湿区,年均降雨量为 1 100 mL 左右。

表 7 按降雨量确定的中国气候分区

| 气候分区 | 年降雨量/mm | 气候分区 | 年降雨量/mm |
|------|------------|------|----------|
| 潮湿区 | >1 000 | 半干区 | ≤500~250 |
| 湿润区 | ≤1 000~500 | 干旱区 | <250 |

对模拟年限内车辙板试件的表面总降雨量进行预估,车辙板表面在 n 年中总降水量 $Q=300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 1\ 100\text{ mm}\times n$ 。根据工程经验,抗凝冰沥青混合料的耐久性能可达 5 年,将降雨量模拟年限初步定为 5 年。计算得 5 年内车辙板表面的总降水量 $Q=495\text{ L}$,需冲刷 127 min。不同时间段冲刷溶液电导率试验结果见图 7。

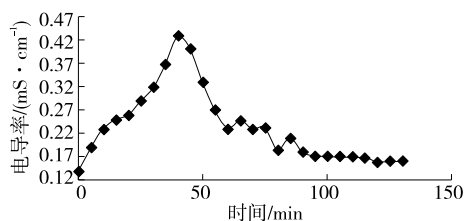


图 7 抗凝冰 SMA-13 沥青混合料冲刷溶液电导率的变化

从图 7 可以看出:在 5 年的模拟使用年限里,冲刷抗凝冰 SMA-13 沥青混合料试件后所收集溶液的电导率始终在 0.10 mS/cm 以上,说明模拟年限内均有抗凝冰材料持续析出。电导率呈现先增长后下降的趋势,前期电导率逐渐增大,这是由于随着水的持续冲刷,离子迁移和抗凝冰材料的析出速度加快,且试件表面抗凝冰材料析出后空隙率增大,有利于内部的抗凝冰材料析出,40 min(模拟年限的第 2 年)时达到电导率峰值;随着抗凝冰材料的不断析出,试件中抗凝冰材料含量降低,40 min 后电导率下降,100 min(模拟年限的第 4 年)后溶液的电导率逐渐平稳,这是由于后期离子迁移逐渐减弱,且试件底部的抗凝冰材料析出相对困难,最终冲刷后溶液的导电率与纯水溶液的导电率基本相当,可以认为抗凝冰材料已完全析出。动水冲刷试验结果表明,抗凝冰混合料在正常降雨条件下的抗凝冰持续效果在潮湿地区可保持不低于 5 年。

3 结论

(1) 抗凝冰 SMA-13 沥青混合料的路用性能较常规 SMA-13 沥青混合料略有衰减,但满足规范要求,路用性能良好。

(2) 与常规 SMA-13 沥青混合料相比,抗凝冰 SMA-13 沥青混合料能有效降低路表冰点和冰雪与路面材料之间的黏结力,改善车辆行驶过程中车轮的破冰效果,进而提高低温条件下路表摩擦系数,提高路面行车安全性。

(3) 抗凝冰 SMA-13 沥青混合料在正常降雨条件下的抗凝冰持续效果在潮湿地区可保持不低于 5 年。

参考文献:

- [1] 李永江,何斌.低冰点抗凝冰技术应用研究[J].公路,2021,66(5):274-277.
- [2] 屈莲花.缓释剂对抗凝冰改性剂缓释性能的影响[J].内蒙古公路与运输,2021(1):22-24.
- [3] 柳夺奎.抗凝冰改性剂在特殊路段沥青砼路面中的融雪良效和前景展望[J].化工中间体,2019(14):4-7.
- [4] 唐士润,张兴军,马伟中,等.抗凝冰沥青路面在 G215 国道中的应用评价[J].中国建材科技,2018(5):24-26.
- [5] 王军.缓释型融冰雪沥青混合料性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [6] 周开利,严世祥,赵小洁,等.抗凝冰沥青混合料路用性能分析及应用效果评估[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(5):65-67.
- [7] 孟勇军,时建刚,白雪,等.抗凝冰沥青混凝土的优化设计研究[J].中外公路,2012,32(4):255-259.
- [8] 岳磊.混凝土桥面抗凝冰半柔性铺装性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.
- [9] 吉玉梅,李耀业.抗凝冰填料沥青混合料路用性能研究[J].内蒙古公路与运输,2021(1):34-38.
- [10] 穆勇,廖洪波,郑飞军.低表面能缓释型除冰涂层抗凝冻效果评价[J].公路,2017,62(11):266-272.
- [11] 江睿南,朱宝林,凌桂香.抗凝冰沥青混合料缓释技术研究[J].公路,2015,60(3):185-189.
- [12] 唐磊,时建刚.抗凝冰沥青混凝土的路用性能及抗冰效果研究[J].中外公路,2013,33(4):307-309.
- [13] 时建刚,孟勇军.抗凝冰涂料贮存稳定性[J].公路交通科技,2012,29(4):29-33.