

# 城市道路融雪化冰沥青路面关键技术研究及应用

肖新波, 李汉锋

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**针对中国部分地区的城镇沥青路面冬季降雪导致的交通不便,以及传统的清雪措施成本高、施工较繁琐等不足,研究氯盐类沥青混合料路面以应用到中国城市道路建设中,特别是非多雪城市的道路;在研究中对氯盐类沥青混合料融雪化冰路面的关键技术:级配设计、路用性能等进行阐述与验证,并同常规的沥青混合料在性能上进行对比。试验结果表明:氯盐类沥青混合料的路用性能良好,能够满足非极寒城市道路使用要求。

**关键词:**冬季降雪;氯盐类沥青混合料;城市道路;融雪化冰

近年来恶劣雨雪天气尤其是冬季降雪导致路面结冰造成的交通事故频发,为交通安全带来不利影响,阻碍经济发展。对于城市道路,路面积雪结冰对居民出行的便利及安全造成的不利影响尤其深重。如何解决城市道路路面因积雪结冰导致路面湿滑问题成为行业内一个研究方向。目前中国采用的解决路面积雪结冰的方法归纳总结有主动清雪和被动清雪两种。其中主动清雪包括人工除雪和机械除雪,被动除雪包括化学除雪、热能除雪、弹性涂装除雪等。目前,人工除雪、机械除雪和化学除雪等方法在北方多雪地区较常用,但 these 方法都存在人工或机械成本高、破坏或腐蚀地面、影响正常交通以及室外低温作业的问题,使得研究新的融雪化冰方式势在必行。

针对城市道路人员密集、交通量大、金属附属设施相对较少等特点,结合造价、施工工期、施工速度、养护周期、养护成本等因素综合考虑。根据冰雪和盐类相互结合会加速融化这一物理特性,推荐在城市道路中采用氯盐类抗滑沥青路面。该文采用氯盐等体积100%置换沥青混合料中的矿粉,制备氯盐类沥青混合料。氯盐类抗滑沥青路面的关键技术在于:用氯盐等体积100%置换混合料中的矿粉后,沥青混合料的级配设计、对氯盐类沥青混合料路用性能的验证以及对氯盐类沥青混合料抗滑性能的验证。该文对氯盐类沥青混合料级配进行设计;通过对氯盐类沥青混合料进行试验,研究氯盐类抗滑路面的高温稳定性、低温抗裂性、抗水损害性能、抗疲劳性能、融冰抗滑性能以及融冰耐久性等指标,并通过和常规沥青混合料进行对比,

验证氯盐类沥青混合料的适用性。

## 1 融雪化冰的方法比较

如前文所述,目前城市道路的融雪化冰方式大体上包括两大类,主动和被动除雪,具体见表1,在这些除雪方式中,由于技术受限比较常用的是人工、机械和化学除雪,在实际除雪工程应用中,需要考虑到除雪方法的生产安全性、实施成本、对周遭是否存在破坏性、对公共交通的影响、实施的周期性等方面来评判该方法的优势和劣势,通过对以上几个方面每项5分的方式进行加权,对人工、机械、化学以及该文研究的氯盐类沥青面层等在相同背景条件下(城镇中全道路区域除雪)进行综合权重比较,生成柱状对比图,如图1所示。

由图1可知:人工除雪的综合分最低,在生产安全性、对路面造成的破坏、对交通的影响方面较差,无法长距离路段应用,只能应用于局部小面积或者机械无法到达的区域;机械除雪、化学除雪的设备由于都会在城市道路中缓慢行驶而占用交通,也存在一定的安全隐患,同时,机械除雪、化学除雪的机械设备、绿色环保型融雪材料费用较高,利用率较低,使得实施成本较高,人工、机械、化学除雪都会不同程度地对地面和周遭环境造成影响,每年都会进行除雪的周期性也不可避免;对于氯盐类沥青面层而言,无需现场清雪,较安全;氯盐替代沥青组成材料中的矿粉,无需过多成本;不影响交通不产生破坏;可以一次施工,长期使用;所以氯盐类除雪方式具有很大优势。

表 1 常用的除雪方式

类型	除雪方法		设备/材料	优势	劣势
主动清雪	人工除雪		铁铲、锹等	清除彻底	效率低,费用高,影响车辆通行,影响车辆通行
	机械除雪		鼓风机、除雪机、破冰机	清除彻底,效率较高	对路面有损坏,设备维护费用高,设备使用率低
被动清雪	化学除雪	有机除雪剂、混合除雪剂	氯化钠,氯化钙	冰点低,价格低,除雪效果好	锈蚀损坏,二次结冰,影响交通,需配合机械
	加热除雪	流体加热,加热管加热,电加热	丙三醇,乙二醇,柔性管道	绿色环保,效率高,可控性强	初始投资大,技术不成熟
	弹性涂装除雪		高弹性橡胶颗粒	绿色环保	橡胶颗粒容易脱落,需配合机械

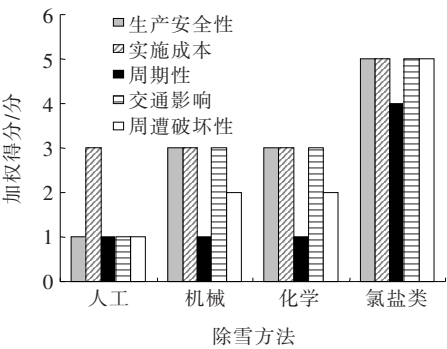


图 1 除雪方法的综合加权比对照

2 氯盐类沥青混合料级配设计

采用氯盐等体积 100% 置换矿粉,氯盐的掺加量取决于沥青混合料的粉胶比,为了能够尽量多掺加氯盐以期达到增强抗滑效果的目的,应尽量选择粉胶比大的沥青混合料,故在试验中选用骨架密实型 SMA—

13 沥青混合料,为了对比验证氯盐类沥青混合料的性能情况,特准备相同条件(除矿粉外)、相同质量的 SMA—13 沥青混合料,作为试验材料一同进行路用性能试验。

2.1 原材料

试验采用的沥青为中海油 SBS 改性沥青;集料采用玄武岩;氯盐采用氯化钠和少量防锈剂混合物;矿粉由石灰岩磨细得到;纤维采用木质素纤维。集料、沥青、矿粉木质素纤维等材料均依据 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》进行检验,检验结果符合规范要求。

2.2 氯盐类沥青混合料级配组成

试验采用氯盐等体积 100% 置换率,置换沥青混合料当中的矿粉,级配采用间断级配沥青混合料 SMA—13 以及非掺氯盐的 SMA—13 沥青混合料。依据 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》配制沥青混合料的级配组成如表 2 所示。

表 2 混合料级配组成

通过下列方孔筛(mm)的质量百分率/%										最佳油石比/%
16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
100	98.9	70.4	30.9	22.3	18.2	15.1	12.5	11.6	10.9	5.8

试验所配制沥青混合料的最佳油石比,依照 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》采用马歇尔击实法确定得到。

3 氯盐类沥青混合料性能检验与验证

3.1 高温稳定性

高温稳定性体现沥青混合料在高温条件下抵抗车

辙的变形能力。此次试验沥青混合料的高温稳定性依据 JTG E20—2011《公路沥青及沥青混合料试验规程》,采用车辙试验仪测定,用动稳定度指标评价。试验结果见表 3。

试验中掺氯盐和普通 SMA—13 沥青混合料每组均进行 3 次平行试验。由表 3 可知:氯盐类 SMA—13 沥青混合料在设计最佳油石比条件下动稳定度为 5 123 次/mm,油石比上下浮动所得试验数据

表 3 动稳定度试验结果

试验编号	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )		油石比/
	掺氯盐	掺矿粉	%
1	4 896	5 765	5.6
2	5 123	6 098	5.8
3	5 002	5 911	6.0

呈线性变化,整体上,掺氯盐沥青混合料比普通 SMA—13 沥青混合料动稳定性稍差,但都在 4 900 次/mm

以上,超过技术规范中的 2 800 次/mm,满足城市道路路面使用要求。

3.2 低温抗裂性

低温抗裂性用于评价沥青混合料在低温荷载作用下抵抗开裂变形的能力,此次试验依据 JTG E20—2011《公路沥青及沥青混合料试验规程》采用 MTS810 闭环电液伺服试验机测定,试验温度为 0℃,用拉伸应变指标评价。试验结果如表 4 所示。

表 4 低温劈裂试验结果

试验编号	抗拉强度/MPa		拉伸应变/ $\mu\epsilon$		破坏劲度模量/MPa		油石比/
	掺氯盐	掺矿粉	掺氯盐	掺矿粉	掺氯盐	掺矿粉	%
1	16.13	16.08	3 912.3	4 011.5	4 123.8	4 009.9	5.6
2	14.31	14.53	3 525.8	3 702.8	4 059.6	3 922.3	5.8
3	11.51	12.03	3 011.6	3 355.2	3 822.1	3 726.7	6.0

由表 4 可知:在油石比为 5.8%左右的情况下,常规 SMA—13 沥青混合料的拉伸应变比氯盐类 SMA 沥青混合料要高,整体偏好,但掺氯盐 SMA 沥青混合料的拉伸应变在最佳石油比时的值为 3 500  $\mu\epsilon$  左右,大于规范要求的 2 500  $\mu\epsilon$ ,已足够满足城市道路使用要求。

3.3 抗水损害能力

抗水损害能力用于评价沥青路面在积水浸泡条件

下承受荷载时抵抗强度损失的能力。是一个常规但是非常重要的沥青混合料的路用性能指标。抗水损害能力依据 JTG E20—2011《公路沥青及沥青混合料试验规程》制作直径为  $\phi 101.6$  mm、高为 63.5 mm 的标准马歇尔试件,双面击实 50 次。浸水 0.5 h 和 48 h 后。分别采用马歇尔稳定度试验仪测定马歇尔稳定度,用残留稳定度(%)指标评价。试验结果如表 5 所示。

表 5 浸水马歇尔试验结果

试验编号	稳定度(浸水 0.5 h)/kN		稳定度(浸水 48 h)/kN		残留稳定度/%		油石比/
	掺氯盐	掺矿粉	掺氯盐	掺矿粉	掺氯盐	掺矿粉	%
1	25.8	30.3	21.45	26.97	85	89	5.6
2	25.6	31.5	22.27	28.35	87	90	5.8
3	26.8	30.8	23.32	28.34	87	92	6.0

从表 5 可知:在最佳油石比的情况下,氯盐类 SMA 沥青混合料和普通 SMA 沥青混合料的残留稳定度都在 88%左右,差异性较小,满足技术规范大于等于 80%的要求,能够在城市道路中应用。

3.4 抗疲劳性能

目前沥青混合料抗疲劳性能的试验方法很多,其中简支三点法和四点弯曲法应用比较广泛。四点弯曲疲劳试验的荷载加载方式更加接近路面实际情况下的受力方式且试验步骤相对简单。该文采用四点弯曲疲劳试验验证氯盐类沥青混合料的抗疲劳性能,由于现行国家规范并无针对四点弯曲疲劳试验的规范要求数

值。故此次试验采用同级配、同油石比的掺矿粉 SMA 沥青混合料与掺氯盐 SMA 沥青混合料进行对比试验。抗疲劳性能依据美国材料与试验协会颁布的试验规程(ASTM D7460—2010)采用四点疲劳试验仪测定,试验温度为 15℃,试件尺寸为 385 mm×65 mm×50 mm,加载波形为偏正弦波,试验频率为 10 Hz,用疲劳寿命(次)指标评价。试验结果如表 6 所示。

由表 6 可知:同级配同油石比条件下,掺氯盐 SMA 沥青混合料的疲劳寿命为 383 329 次;掺矿粉 SMA 沥青混合料的疲劳寿命为 415 962 次。用氯盐置换矿粉配制的 SMA 沥青混合料的抗疲劳性能低于

表6 四点疲劳试验结果

混合料类型	拉伸应变/ $\mu\epsilon$	疲劳寿命/ 次	油石比/ %	回归方程
掺氯盐类	750	383 329	5.8	$N_f=2.637\ 6\times10^{27}\epsilon_t^{-7.494\ 7}$
掺矿粉	750	415 962	5.8	$N_f=2.945\ 5\times10^{27}\epsilon_t^{-7.131\ 4}$

掺矿粉 SMA 沥青混合料的抗疲劳性能。但两种 SMA 沥青混合料的疲劳试验的试验结果在同一数量级,可以认为:掺氯盐类 SMA 沥青混合料相较于普通掺加矿粉 SMA 沥青混合料疲劳寿命略有降低。但氯盐类 SMA 沥青混合料满足城市道路使用要求。

3.5 融冰效果验证

在试验室制作尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 的车辙板试件用于模拟氯盐类 SMA 沥青混合料路面,用水泥砂浆标准试件模具制作边长为 70.7 mm 的立方体冰块,在试验设置的相应温度条件下将冰块放置在氯盐类沥青混合料试件上模拟结冰路面,5 h 后用直尺再次测量冰块体积,用以测定氯盐类沥青混合料融冰雪能力。试验结果如表 7 所示。

表7 氯盐类沥青混合料融冰试验结果

试验温度/℃	时间/h	冰块体积比(剩余体积/初始体积)
0	5	0.39
-10	5	0.68
-15	5	0.86
-20	5	0.95

由表 7 可知:环境温度为 0℃时冰块放置在氯盐类 SMA 沥青混合料试件上 5 h 后,融化剩余体积与初始体积比为 0.39,说明在 0℃条件下氯盐类沥青混合料融冰效果较好;环境温度为-20℃条件下冰块放置在氯盐类 SMA 沥青混合料试件上 5 h 后,融化剩余体积与初始体积比为 0.95,说明在-20℃条件下氯盐类沥青混合料融冰效果近似失效;在温度区间为-10~-15℃条件下冰块放置在氯盐类 SMA 沥青混合料试件上 5 h 后,融化剩余体积与初始体积的体积比为 0.68~0.86,融冰效果不理想,根据试验结果可以推断,温度区间为 0~-10℃时氯盐类沥青混合料融冰效果比较好,随着温度降低,氯盐类沥青混合料融冰能力降低,查阅相关资料可知:华东江淮地区冬季平均气温为-3~0℃,推荐氯盐类 SMA 沥青混合料在江淮地区使用;在冬季平均气温为-10~-15℃的华北地区使用氯盐类 SMA 沥青混合料路面建议冬季配合机

械或人工除雪;不建议在东北极寒地区使用氯盐类 SMA 沥青混合料路面。

4 成果应用

湖北省某城市道路改造工程,道路红线长度为 453 m,宽为 30 m。双层铣刨加铺沥青面层,加铺厚度为 6 cmAC-20 沥青混合料;上面层采用 4 cmSMA-13(矿粉等体积置换为氯盐)混合料,油石比为 5.8%,依据 JTG F40—2004 以及 JTG E20—2011 规范要求,在现场见证取样沥青混合料带回试验室进行路用性能试验。试验结果见表 8。

表8 现场取样试验测试结果

项目	动稳定度 (高温稳定性)/ (次·mm <sup>-1</sup> )	拉伸应变 (低温抗裂性)/ $\mu\epsilon$	残留稳定度 (抗水损害能力)/ %
试验值	5 972	3 532	89
规范值	≥2 800	≥2 500	≥85

由表 8 可知:路用性能指标的各项检测结果均能满足规范标准要求。选择冬季该区域持续降雪的时间段,对试验段的融冰化雪效果进行实地观测,结果表明试验段路面的降雪能够较快融化,达到了设计要求,也满足了当地交通的使用要求,经后续观察,试验路段在通车 18 个月后路面使用状况良好,依然具有良好的融雪化冰效果。

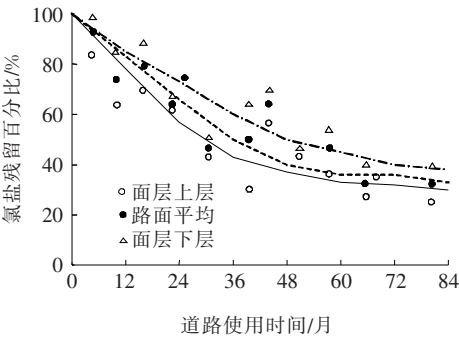


图2 氯盐类残留曲线推移图

鉴于目前中国没有氯盐类沥青混合料路面长期应



用的融冰效果参考,可以借鉴日本融雪路段的铺筑经验数据,来对氯盐类沥青混合料路面的长效性能进行说明,图 2 为 2000—2007 年日本某氯盐类沥青面层城市支路的含盐量分析统计,从图 2 可以看出:氯盐类沥青混合料路面的盐分随着使用时间的提高而呈逐渐下降的趋势,并在使用 4 年左右呈现平缓态势保持为 20%~35%,在南方少雪的气候条件下,还是拥有一定的融雪化冰能力,因此,此次研究的氯盐类沥青混合料路面在融雪化冰的性能上具有长效性。

## 5 结语

城市道路的主要特点为:居民区密集、地下管线丰富、路面通行车辆以家用轿车为主、道路附属设施主要为水泥混凝土制品、施工工期不宜过长、不能全面封闭交通等,该文通过对比不同除雪方式的优劣势,给出一种全新的融雪化冰方法,即在 SMA-13 沥青混合料中用氯盐替代原矿粉,提高城市道路自身的融雪化冰能力,以达到节约成本、省时、安全、全天候的冬季除雪目的,同时满足城市道路的功能特点。

在研究中通过对氯盐类 SMA-13 沥青混合料和普通 SMA-13 进行路用性能试验比对,得到了预期的结果,即:氯盐类 SMA-13 沥青混合料面层在性能指标上略低于普通 SMA-13,但仍能有效地满足技术规范 and 标准,可以用到城市道路的面层铺筑中。通过将氯盐类 SMA-13 在工程中应用,能够得到符合标准的性能数据,并经过短期观测和借鉴国外的数据验证具有一定的融冰耐久性。

当然,氯盐类 SMA-13 的使用也存在一些限制,氯盐类 SMA 沥青混合料的融冰效果与环境温度正相关,环境温度越低融冰效果越差。氯盐类 SMA 沥青

混合料的融冰效果在冬季平均气温为 0~-10℃地区使用效果比较明显。推荐江淮地区冬季平均气温为 0~-10℃地区使用。考虑后续改良沥青材料或加入催化剂等方式进一步提高氯盐类沥青混合料的适用性。

## 参考文献:

- [1] 谭忆秋,徐慧宁,张弛.除雪的老方法和新技术[J].中国高速公路,2018(10).
- [2] 孙健,钱振东,罗桑.融冰化雪型沥青混合料路用性能的试验评价[J].公路,2013(12).
- [3] 李荣清,王超,朱耀庭,等.碳纤维发热线桥面铺装融雪化冰试验研究[J].中外公路,2019(6).
- [4] 李根森,张豫川,高飞,等.基于氯盐冻融条件下沥青结合料性能的研究[J].石油沥青,2017(6).
- [5] 关永胜,张志祥,黄子杰,等.不同融雪物质的化冰性能及评价方法研究[J].中外公路,2020(2).
- [6] 凌宏杰.富沥青融冰雪路面沥青混合料设计研究[J].江西建材,2016(10).
- [7] JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [8] JTG E20—2011 公路沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [9] 黄文通,肖云,郑国果.改性沥青 SMA 混合料疲劳特性研究[J].科学技术与工程,2007(14).
- [10] 王富玉,马摇晨,马桂荣,等.氯盐对沥青混合料劈裂抗拉强度影响的试验研究[J].工程与试验,2017(2).
- [11] 乔宁,熊锐,李立顶,等.掺盐沥青胶浆性能试验研究[J].硅酸盐通报,2018(7).
- [12] 李姝,张荣亮,张敏江,等.农村公路沥青路面基层状况评价指标研究[J].中外公路,2018(3).
- [13] 今井寿男,本间良信,山口美代子,等.盐化物系冻结抑制路面随时间的变化研究[C].第 21 回日本道路会议论文集,1995.

\*\*\*\*\*

## 《中外公路》入选《世界期刊影响力指数(WJCI)报告(2020 STM)》

《中外公路》入选《世界期刊影响力指数(WJCI)报告(2020 STM)》(以下简称《WJCI 报告》)(Q3 区)。

《WJCI 报告》是由中国科学技术信息研究所、《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆、万方数据有限公司、中国高校科技期刊研究会联合研制的期刊评价报告。该报告是中国科学技术协会专题资助课题《面向国际的科技期刊影响力综合评价方法研究》(2019KJQK004)的成果,入选了“科创中国”项目。《WJCI 报告》旨在建立一个全新的期刊评价体系,入选期刊均被认为是具有地区代表性和学科代表性的优秀期刊。

《中外公路》编辑部