

# 环保型融雪剂对道路材料性能的影响研究

庞登东 乌云毕力格 周鹏飞

(内蒙古交通集团蒙通养护有限责任公司乌兰察布分公司, 内蒙古 乌兰察布 012000)

**摘要:**采用废弃秸秆作为原料,制备一种浓度25%的融雪效果最佳的新型环保型融雪剂(CMA),通过冻融循环试验、沥青混合料空隙率测试、冻融劈裂试验、小梁弯曲试验,研究其对道路材料性能的影响,并在内蒙古高速公路进行融雪剂融雪化冰测试,结果表明:相对于传统融雪剂,环保型融雪剂在融雪过程中不仅对路面材料的影响更小,而且可以减轻冻融损伤作用。

**关键词:**沥青混合料;环保型融雪剂;冻融循环;空隙率;冻融劈裂;小梁弯曲

**中图分类号:**U418.41 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-6344(2024)10-0235-04

**DOI:**10.20198/j.cnki.scsn.2024.10.013

## 0 引言

我国道路除雪方式包括人工除雪和融雪剂融雪<sup>[1]</sup>。撒布融雪剂除雪具有其他除雪方式不可比拟的优点<sup>[2]</sup>,自20世纪70年代开始,我国北方地区大量使用融雪剂融化冰雪。融雪剂主要分为氯盐型、非氯盐型及混合型<sup>[3-4]</sup>。按化学组成可以分为无机、有机和混合型。使用传统氯盐成分的融雪剂会造成环境污染及对路面和桥梁的腐蚀<sup>[5-7]</sup>。融雪剂其化学组成不仅会损害植被,当含有融雪剂的积水渗入地下或流入河道,还会影响附近水源水质<sup>[8]</sup>。针对上述情况,科研工作者展开了大量新型融雪剂的研究<sup>[9-11]</sup>。Terence.Eped发明了冰点较低的LMWBL融雪剂<sup>[12]</sup>,冰点仅为-37℃,是一种适用于高寒地区的无氯融雪剂。刘倩、张秋民、许英梅等<sup>[13-16]</sup>通过气化、干馏对麦秸秆、木屑等材料进行处理得到醋酸废液,并与白云石粉混合,制备出低成本的醋酸钙镁盐类环保型融雪剂(以下简称CMA)。研究发现,CMA不仅可以高效去除道路冰雪,还具有成本低且无氯害的特点。寇艳秋<sup>[17]</sup>则以糠醛废水为原料生产CMA,大大降低了生产成本与周期。本文就CMA的融雪效果及其对道路材料性能的影响进行研究。

## 1 原材料及试验方案

### 1.1 原材料

(1)环保型融雪剂:无水氯化钾(分析纯),无水醋酸钾(分析纯),无水碳酸钾(分析纯),碳酸钾(分析纯),二次蒸馏水,草木灰。

(2)沥青:选用90号基质沥青与40、60、80目的胶粉颗粒,通过湿法制备胶粉改性沥青。其中三种目数的胶粉比例为3:3:1,总掺量为基质沥青质量的20%。

(3)集料:选用玄武岩集料,矿粉为石灰岩。沥青混合料级配为AC-16。

### 1.2 环保型融雪剂的制备

#### 1.2.1 制备方法

将10kg的麦秸秆、稻秸秆在焚烧装置中充分燃尽,室温冷却30min后加入至8摩尔的氢氧化钾溶液中,并添加一定量的缓蚀剂充分搅拌。接着将该溶液继续进行抽滤、烘干与研磨,即可制备得到环保型高效融雪剂。

#### 1.2.2 确定环保型融雪剂最佳浓度

(1)制冰:将50ml水注入不锈钢容器中,放入-20℃的冷冻箱中冷冻12h,同时制备5个形状大小相同的冰块备用。

(2)将环保型融雪剂配制浓度为5%、10%、15%、20%、25%的水溶液,待其充分搅拌均匀后,分别取各浓度融雪剂试样6ml,倒入制备好的冰块容器中静置30min,计量融化液体的质量,融冰效果见表1所示。

表1 不同浓度融雪剂的融冰效果

浓度/%	5	10	15	20	25	25.5
融冰效果/mL	无	不明显	6	11	11.7	结晶

由表1可知,当融雪剂浓度<10%时,融雪效果并不明显。随着融雪剂浓度增加,融雪效果逐渐变好。当融雪剂的浓度达到25.5%时,出现结晶现象,影响融雪效果。故环保型融雪剂最佳浓度为25%。

### 1.3 沥青混合料试验方案

#### 1.3.1 冻融循环试验

(1)冻融循环试验的介质采用融雪剂水溶液,将不同融雪剂分别与水配制成浓度为3%、6%、9%的溶液,以此作为冻融介质。

(2)将步骤(1)中的不同冻融介质倒入盛有沥青混合料试件的容器中,并真空保水15min,恢复常压后静置30min。

(3)将步骤(2)得到的试件装入密封袋中,并在

**作者简介:**庞登东(1971-),男,汉族,内蒙古乌兰察布,本科,副高级公路工程师,主要从事道路工程养护管理工作。

$-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温冰柜中放置16h。

(4)取出密封袋中的试件并将其置于 $60\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恒温水箱中保温24h。

步骤(2)~(4)为一个冻融循环。本试验中冻融次数采用:1次、4次和8次。

### 1.3.2 沥青混合料空隙率测试

沥青混合料空隙率测试参照《公路工程沥青路面施工技术规范》(T0729—2000),采用表干法测定每个试件的空隙率。

### 1.3.3 冻融劈裂试验

采用马歇尔击实法成型圆柱体试件,尺寸为 $\Phi 101.6\text{mm}\times 63.5\text{mm}$ ,按照上述试验方法进行冻融循环试验,在 $25^{\circ}\text{C}$ 以 $50\text{mm}/\text{min}$ 的加载速率进行加载,进行冻融劈裂试验,直至试件破坏。

### 1.3.4 小梁弯曲试验

小梁弯曲试验试件采用轮辗法成型的沥青混合料,切割成标准小梁试件,尺寸为 $250\text{mm}\times 30\text{mm}\times 35\text{mm}$ ,先进行冻融循环试验,再进行小梁弯曲试验,试验温度为 $-10^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为 $50\text{mm}/\text{min}$ 。

## 2 沥青混合料试验结果分析

### 2.1 空隙率分析

图1为沥青混合料空隙率变化曲线。由图1可知,随冻融循环劣化加剧,沥青混合料空隙率均随着冻融循环次数的增加而增大。在不同冻融介质在相同冻融次数下,环保型融雪剂冻融介质中的混合料空隙率最小。这表明,冻融循环会增大混合料的空隙率,这与冻融介质无关;在环保型融雪剂冻融介质中,沥青混合料受到的冻融损伤最小。

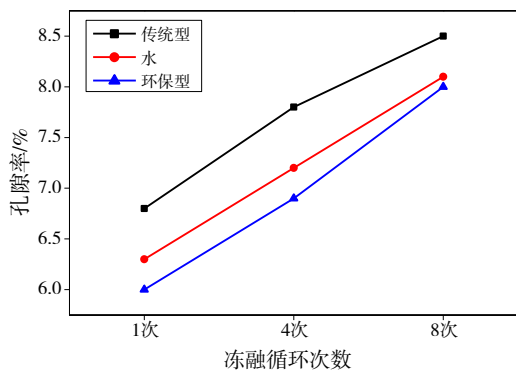


图1 空隙率随冻融循环次数的变化规律

### 2.2 冻融劈裂试验结果分析

图2为沥青混合料劈裂抗拉强度变化曲线。由图2可知,随着冻融循环劣化加剧,沥青混合料的劈裂强度逐渐变差。这是由于沥青混合料在溶液冻胀作用的影响下,混合料内部孔隙逐渐变大,原始内部空间结构被破坏,

大量溶液浸到孔隙中,致使在经历冻胀消融的过程后沥青混合料的劈裂抗拉强度降低。

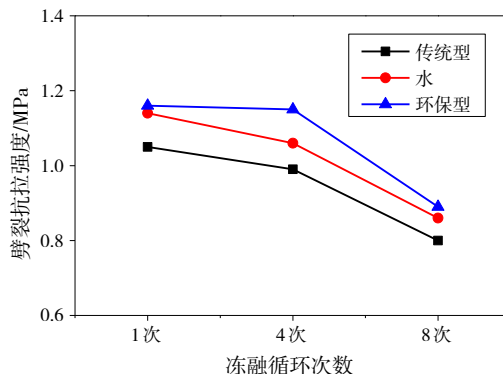


图2 劈裂抗拉强度随冻融循环次数变化规律

相同冻融循环次数下,环保型融雪剂溶液中的沥青混合料抗拉强度最大,表明环保型融雪剂溶液对沥青混合料结构的影响最小。原因有两方面:(1)随着温度的降低,溶液溶解度逐渐下降,溶质发生结晶,当结晶作用发生在混合料内部孔隙时,产生的结晶压力会对混合料内部造成损伤,产生裂纹,同时融雪剂的加入会对沥青混合料产生化学侵蚀作用,使沥青与集料之间的粘附性下降;(2)含有融雪剂的水溶液冰点较低,在冻融循环过程中,溶液冻结时间缩短,从而降低了冻胀力对混合料的破坏。此外,环保型融雪剂相对于氯化钠具有较低的结晶能力,所产生的结晶压力较小,对沥青混合料的破坏作用较小。并且,与氯化钠相比,其化学腐蚀性仅为氯化钠的5%<sup>[18]</sup>。

### 2.3 沥青混合料小梁弯曲试验结果分析

沥青混合料小梁弯曲试验结果如图3所示,分析图3(a)、(b)可知:随着冻融循环劣化加剧,沥青混合料抗弯拉强度与最大弯拉应变变差,并且指标劣化的增幅也随着冻融循环的加剧而上升。说明沥青混合料的弯曲变形能力随冻融循环作用加剧而变差,且随着冻融循环作用的不断加深,沥青混合料的性能会加速下降。分析图3(c)发现,冻融循环劣化加剧,沥青混合料的弯曲劲度模量不断增大,表明沥青混合料随冻融循环而不断变硬,其应力松弛能力下降,低温抗开裂性能降低。

根据损伤力学与断裂力学定义,材料损伤分为3个阶段:微裂纹萌生、裂缝发展与破坏。当沥青混合料成型后,其内部储存的弹性应变能可以抵抗外部荷载对混合料的破坏,而沥青混合料开裂是能量耗散的过程,所耗散的能量与外部荷载提供的能量符合能量守恒定律,所以耗散能越大,其抵抗外力引起破坏的能力越强<sup>[19,20]</sup>。本节通过应变能密度的临界值研究小梁破坏的全过程。应变能密度 $W_f$ 的计算方法见公式(1)<sup>[21]</sup>。

$$w_f = \frac{d_w}{d_v} = \frac{1}{4} a \cdot \varepsilon_B^4 + \frac{1}{3} b \cdot \varepsilon_B^3 + \frac{1}{2} c \cdot \varepsilon_B^2 + d \cdot \varepsilon_B \quad (1)$$

式中:

$d_w$ ——应变能微分;

$d_v$ ——体积微分;

$\varepsilon_B$ ——最大弯拉应变;

$a, b, c, d$ ——通过对  $\sigma-\varepsilon$  曲线回归拟合得到的材料参数。

表2为不同冻融循环次数下的弯曲应变能密度。

分析表2发现:随着冻融劣化加剧,不同冻融介质中的沥青混合料弯曲应变能密度均减小。说明冻融循环作用破坏了沥青混合料的内部结构,沥青混合料内能中一

部分被释放,致使其抗低温开裂能力下降。在相同冻融循环次数下,环保型融雪剂介质中的沥青混合料弯曲应变能密度最大,这表明环保型融雪剂有效降低了沥青混合料的冻融劣化影响。

表2 弯曲应变能密度

冻融循环次数/次	弯曲应变能密度/(kJ/m <sup>3</sup> )		
	水	传统氯盐融雪剂	环保型融雪剂
1	19.388	18.624	19.418
4	15.289	13.537	15.419
8	11.548	10.249	12.603

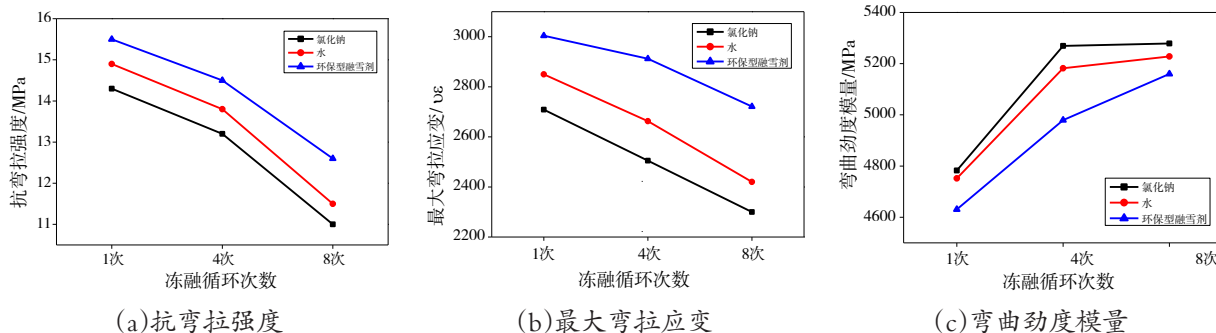


图3 抗弯拉强度随冻融循环次数的变化规律

### 3 环保型融雪剂在北方寒冷地区的应用

选取内蒙古牙克石至兴安盟高速路进行融雪剂融雪化冰测试。当地雨雪时气温-12℃,路面结冰5mm厚,积雪厚度6cm。在公路一侧一半撒布融雪剂,另一半不做任何处理,经过10~30min后,路面融雪情况如图4所示。



(a) 未撒布融雪剂

(b) 撒布融雪剂

图4 高速公路路面融雪剂融雪效果图

经实地勘测发现,使用环保融雪剂的高速路段融雪效果显著,未出现结冰现象,未发生盐冻融损害,路面平整,路用性能优异;而未撒布环保型融雪剂的路段在自然条件下融雪缓慢,严重影响车辆通行。

### 4 结束语

以废弃秸秆为原料,通过特定工艺生产得到一种新型环保型高效融雪剂,本文就其对路面材料的性能影响开展研究,相关结论如下:

- (1) 制备环保型融雪剂,确定其最佳浓度为25%;
- (2) 通过空隙率分析、冻融劈裂试验结果分析、沥青

混合料小梁弯曲试验结果分析发现,相比传统氯盐融雪剂,环保型融雪剂使沥青混合料试件经相同冻融循环作用后,性能劣化减弱,有效缓解冻融循环作用对沥青混合料的不利影响;

(3) 实际应用表明,环保型融雪剂具有较好的融雪效果。

### 参考文献

- [1] 陈明莉. 高速公路不封路除雪方法的探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2007(17): 280-282.
- [2] 谭忆秋, 徐慧宁, 张弛, 等. 除雪的老方法和新技术[J]. 中国公路, 2018(3): 59-63.
- [3] 殷宁, 顾龚平. 融雪剂种类及其对环境中动植物的影响[J]. 农业科技与信息, 2008(24): 51-52.
- [4] Luo S, Yang X. Performance evaluation of high-elastic asphalt mixture containing deicing agent Mafilon[J]. Construction & Building Materials, 2015, 94: 494-501.
- [5] Yang J, Liu L X, Xiao P F. Study on Influence of Snowmelt Agent to Performances of Asphalt[J]. Advanced Materials Research, 2014, 960-961: 78-81.
- [6] Szolgay J, Gaál L, Bacigál T, et al. A regional look at the selection of a process-oriented model for flood peak/volume relationships[J]. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 2016, 373: 61-67.

(下转第240页)



地下水对支护结构影响及应对措施见表5所示。

表5 川藏铁路雅林段地下水对支护结构影响及应对措施

区域编号	地下水状况	支护结构防水设计	排水系统设计	注浆加固措施	围岩强度提升
A001	轻微渗水	防水混凝土(抗渗等级P8)	排水沟宽度:30cm,深度:20cm	无	无
A002	中等渗水,局部有涌水现象	防水涂料(防水等级:一级)	排水管直径:150mm,间距:5m	采用水泥浆注浆,注浆压力:2MPa	围岩强度提升20%
A003	严重渗水,连续涌水	多层防水层(防水卷材+防水涂料)	排水沟+排水管联合排水系统	化学浆液注浆,注浆量:30L/m <sup>3</sup>	围岩强度提升35%
A004	轻微渗水,但含有腐蚀性物质	耐腐蚀防水混凝土(抗渗等级P10)	排水沟宽度:25cm,深度:15cm,耐腐蚀处理	无	无
A005	中等渗水,含泥沙	高分子防水涂料(防水等级:二级)	排水管直径:200mm,间距:4m,配备泥沙过滤器	采用超细水泥浆注浆,注浆压力:1.5MPa	围岩强度提升25%

在地下水影响大的区域,对围岩进行注浆加固,以提高其强度和稳定性。注浆材料考虑围岩特性与地下水环境,可用预裂爆破、锚杆加固等辅助技术,优化注浆效果;锚杆加固连接围岩地表结构,增强稳定性。

4 结束语

超深埋隧道围岩应力分布非均匀,受地质构造、岩性变化及地应力场的影响较大。隧道设计和施工需详细勘察地质环境,提出施工举措,优化支护结构,增强围岩的稳定性与耐久性,保障隧道施工与长期运营的安全。目前,相关研究已取得一定成果,但超深埋隧道岩石力学与支护结构优化仍需深入研究剖析围岩与支护结构互动机

制,确保隧道长期安全与经济效益。

参考文献

[1]邵珠山,李希,赵南南,等.高地应力软岩隧道初期支护优化研究[J].中国安全生产科学技术,2021(5):101-107.  
[2]夏才初,徐晨,杜时贵.考虑应力路径的深埋隧道黏弹-塑性围岩与支护相互作用[J].岩石力学与工程学报,2021,40(9):14.  
[3]惠强,张军,姜海波.深埋高地应力水工隧洞节理岩体开挖塑性区特征及分布规律研究[J].现代隧道技术,2021,58(4):86-94.

(责任编辑:曾玉兰)

(上接第237页)

[7]王艳春,白雪薇,李芳.氯盐融雪剂对城市道路绿化带土壤性状的影响[J].环境科学与技术,2011,34(11):59-63.  
[8]沈磊.道路融雪剂对环境的影响及对策[J].中国科技信息,2009(11):28-29.  
[9]郑存华,朱小康.环保型融雪剂对沥青混合料的侵蚀研究[J].运输经理世界,2021(21):148-150.  
[10]张育斌,吕秀明.新型环保融雪剂对沥青混合料性能的影响研究[J].内蒙古公路与运输,2023(2):22-27.  
[11]张宝鑫.冻融循环作用下温拌胶粉改性沥青混合料高低温性能试验研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2019.  
[12]刘楠.公路用融雪剂应用研究现状与发展趋势[J].北方交通,2012(1):6-8.  
[13]刘倩,许英梅,王维,等.CMA环保型融雪剂对植物生长生理特性的影响[J].化学世界,2012,53(9):521-525.  
[14]许英梅,刘倩,仇春华,等.CMA类环保型融雪剂的应用研究进展[J].化学世界,2010,51(7):435-437+442.  
[15]许英梅,张秋民,姜慧明,等.由木醋液制醋酸钙镁

盐类环保型融雪剂研究[J].大连理工大学学报,2007(4):494-496.  
[16]许英梅,张秋民,张伟,等.南方一种低成本环保型融雪剂的制备与性能研究[J].辽宁化工,2007(1):10-11+15.  
[17]寇艳秋.双效蒸发法治理糠醛废水的工艺及醋酸钙镁回收研究[D].长春:东北师范大学,2006.  
[18]程川海,路新赢.新型融雪剂对钢筋的腐蚀性研究[J].建筑技术,2005(9):700-702.  
[19]Sonawane H, Joshi S S. Modeling of chip geometry in ball-end milling of superalloy using strains in deformed chip(SDC)approach[J].International Journal of Machine Tools & Manufacture,2018.  
[20]常睿,郝培文.盐冻融循环对沥青混合料低温性能的影响[J].建筑材料学报,2017,20(3):481-488.  
[21]葛折圣,黄晓明,许国光.用应变能密度方法评价沥青混合料的低温抗裂性能[J].东南大学学报(自然科学版),2002,32(4):653-655.

(责任编辑:曾玉兰)