

环保型道路融雪剂制备及效率研究

荆 军

(山东高速烟台发展有限公司,烟台 265612)

摘 要: 从绿色生态角度出发,选用醋酸基材料,以凝固点为关键指标,制备环保型道路融雪剂,并深入研究其性能。主要结果有:1)通过凝固点与融冰效能筛选出醋酸钾、醋酸钠、醋酸铵为核心组分,并通过单纯形重心设计法确定最佳配比:醋酸钾:醋酸钠:醋酸铵=30%:30%:40%,以达到最优融雪效果。2)自制融雪剂的融冰性能可达传统氯盐融雪剂的95%,对碳钢材料的腐蚀远低于氯盐融雪剂,对黄豆种子发芽影响微乎其微,充分显示其环保优势。

关键词: 环保型融雪剂; 单纯形重心设计; 凝固点; 融冰能力

Preparation and Efficiency of High Speed Environmental Protection Road Snow Melting Agent

JING Jun

(Shandong Hi-speed Yantai Development Co.,Ltd.,Yantai 265612,China)

Abstract: From a green ecological perspective, this paper selected acetate-based materials with the freezing point as a key indicator to prepare an eco-friendly road deicer and thoroughly studied its performance. The main results are as follows: 1) By screening freezing point and ice-melting efficiency, potassium acetate, sodium acetate, and ammonium acetate were identified as core components. Using the simplex centroid design method, the optimal ratio was determined: potassium acetate : sodium acetate : ammonium acetate = 30% : 30% : 40%, achieving optimal deicing performance. 2) The homemade deicer's ice-melting performance reaches about 95% of traditional chloride deicers, with significantly lower corrosion on carbon steel and minimal impact on soybean seed germination, showcasing its environmental advantages.

Key words: environmentally friendly snow melting agent; simplex centroid experimental design; freezing point; ice melting capacity

在寒冷季节,路面因积雪与结冰所引发的交通拥堵与事故频发,严重阻碍了民众的日常出行,并对经济的稳步增长构成了制约^[1]。为了维护道路交通的顺畅与行车安全,同时提升道路的通行效率与运营效果,实施有效的路面冰雪清除策略显得尤为重要^[2]。在此背景下,融雪剂凭借其卓越的冰雪消融性能,在全球范围内得到了广泛采纳与应用。然而,传统氯盐类融雪剂融化后产生的液体具有腐蚀性,随着使用量的激增,其给自然环境带来的不利影响日益凸显,逐渐引发了社会各界的深切关注^[3]。

为有效地解决这一问题,许多学者围绕环保型融雪剂开展了许多研究。田济铭等^[4]经过筛选主料、调整融雪剂成分比例以及创新性地融入缓蚀剂,成功研发出了一种高效能、低腐蚀性且对植物无害的环保型融雪剂,并实施对比试验深入评估了不同融雪剂样本在融冰效果、腐蚀性以及对植物生长环境的影响。高子亭等^[5]提出了一种创新的环保融雪剂制备方法,该方法利用木醋液作为核心原料,通过一次蒸馏的粗木醋液与碳酸钙的化学反应生成醋酸钙,随后借助二次蒸馏技术从反应液中析出纯净的醋酸钙,最终制得环保型融雪剂。郑存华等^[6]聚焦于废弃秸秆,通过独特的加工技术,将这些原本可能被丢弃的材料转化为一种新型、高效的环保融雪剂,并研究了这种新型环保融雪剂、普通水以及传统融雪剂对沥青混合料侵蚀性的差异。

收稿日期:2024-07-15.

作者简介:荆 军(1984-),副高级工程师. E-mail:sdjzdx111@163.com

现有研究大多选择在混凝土道路进行融雪效果测试,实验对象不够全面,具有一定的局限性。因此论文采用单纯形重心设计法,挑选了具有低凝固点与高融冰效能的醋酸基类物质制备环保融雪剂,并针对其融雪效果和环保性能进行实验,可为环保型融雪剂的研发提供有价值的借鉴。

1 环保型道路融雪剂的制备

将凝固点设为关键考量因素,并综合考虑融雪剂的成本效益与环保性能,筛选出数种优质的主材料,将其作为构成复合型环保道路融雪剂的成分基础,再通过实施融冰能力测试,借助单纯形重心设计法计算出最优化的融雪剂配方比例。

1.1 原材料选择

醋酸基材料绿色环保,具备低凝固点特性及优越融冰雪效能,且生产成本相对较低^[7]。在综合考量材料成本和融雪性能的基础上,优先筛选出醋酸钾(CH_3COOK)、醋酸铵($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)、醋酸钠(CH_3COONa)、醋酸钙($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$)等醋酸基材料,并选取了制备传统融雪剂的氯化钠(NaCl)、氯化镁(MgCl_2)、氯化钙(CaCl_2)、氯化钾(KCl)、亚硝酸钠(NaNO_2)、硝酸钠(NaNO_3)等化学物质,将以上材料作为研制融雪剂的候选原料。

1.2 凝固点测试

随着溶液浓度的递增,融雪剂溶液的凝固点通常会展现出一种先下降后上升的变化趋势。这意味着每种融雪剂都存在一个特定的浓度点,在该点处其凝固点达到最低值。虽然不同原材料在溶解性上存在差异,但多数材料需将溶液的质量分数提升至 20% 以上,才能触及及其凝固点的最低界限。为精确评估并比较多种化学物质所配溶液在凝固点方面的特性,将候选原材料配置成质量分数为 20% 的溶液进行凝固点测试。

依据热学基础理论,随着环境温度的逐步下降,溶液中离子的迁移速率会相应减缓,进而引发电导率呈现渐进式降低的趋势,直至达到某一特定阈值,电导率会骤然跌落,此时在电导率变化图上形成一个显著的转折点。此转折点的温度坐标即为该溶液所特有的凝固点,如图 1 所示。

将前文所选取的 10 种不同原材料溶液在质量浓度设定为 20% 的条件下进行电导率测定,所获取的凝固点数据如表 1 所示。

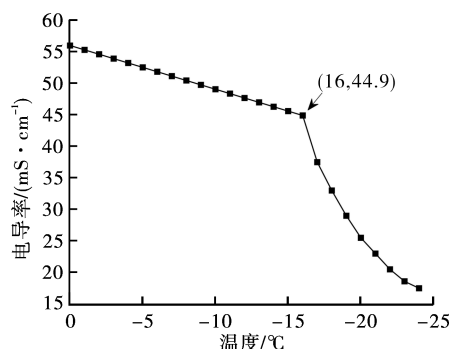


图1 溶液电导率变化示意曲线

表 1 20% 质量分数不同溶液的凝固点

溶液	凝固点/℃
NaCl	-15.8
CaCl ₂	-15.7
MgCl ₂	-8.1
KCl	-9.8
CH ₃ COOK	-12.9
Ca(CH ₃ COO) ₂	-7.3
CH ₃ COONa	-11.9
CH ₃ COONH ₄	-14.1
NaNO ₃	-9.2
NaNO ₂	-12.8

从表 1 中可以看出,在质量分数为 20% 的条件下,凝固点的高低为:氯化钠<氯化钙<醋酸铵<醋酸钾<亚硝酸钠<醋酸钠<氯化钾<硝酸钠<氯化镁<醋酸钙,因此优先考虑氯化钠、氯化钙、醋酸铵、醋酸钾、醋酸钠和亚硝酸钠这六种原材料作为融雪剂组分,但氯盐类融雪剂在融化冰雪的同时,会引发电化学腐蚀,加速钢筋锈蚀,会对交通基础设施及周边生态环境引发危害。此外,土壤中氯离子浓度的上升还会对植物生长构成威胁。亚硝酸钠作为强氧化剂兼具还原性,在空气中会逐渐转化为硝酸钠,从而丧失其原有特性。因此,在最终选择时,倾向于以醋酸铵、醋酸钾和醋酸钠这三种醋酸基材料作为组分,以期在达到融雪效果的同时,减少对环境的不良影响。

1.3 融冰能力测试与配比计算

遵循单纯形重心设计原则来规划实验流程,对所选取的三个原料进行 7 次实验,各组试验的溶液配比和融冰量测试结果如表 2 所示。

基于各配比下融冰量的测量结果,构建回归方程,确定最佳成分质量配比方案:醋酸钾:醋酸钠:醋酸铵=0.30:0.32:0.38,此配比下理论上的最大融冰量可达4.81 g。根据结果,按照醋酸钾:醋酸钠:醋酸铵=30%:30%:40%的配比制备融雪剂。在-10℃的低温环境中,对该溶液的融冰能力进行了测试,结果显示其实测融冰量为4.73 g。这一实测结果与理论预测值高度接近,从而最终确认了该配比即为自制喷洒型融雪剂的最佳配比。

表 2 不同配比情况下的融冰量

实验组号	醋酸钠	醋酸铵	醋酸钾	融冰量/g
1	0	0	1	4.5
2	1	0	0	4.1
3	0	1	0	4.8
4	1/2	0	1/2	4.3
5	0	1/2	1/2	4.5
6	1/2	1/2	0	4.6
7	1/3	1/3	1/3	4.8

2 自制融雪剂的融冰雪能力测试

为对比不同种类融雪剂的融冰雪性能,配制质量分数为20%的氯化钠、氯化钙、自制融雪剂溶液,在-10℃环境温度下进行融冰量测试,结果如图2所示。-10℃环境温度条件下,氯化钠溶液的融冰量最大,达到了5 g;自制融雪剂的融冰量为4.72 g,达到了氯化钠溶液融冰量的94.5%,展现出了与常规氯盐类融雪剂相近的融冰能力。

因此,自制融雪剂在不低于其凝固点的温度条件下,能持续展现出对冰雪的融化能力。在实际应用融雪剂进行道路除雪时,为确保冰雪迅速且有效清除,需综合考虑环境温度因素并精准评估积雪厚度与路面冰况,选取恰当的融雪剂浓度和适宜的喷洒量。

为探究溶液质量分数对融冰性能的影响,配制质量分数为10%、20%、30%的自制融雪剂溶液,并分别在-5℃、-10℃、-15℃三种环境温度条件下进行融冰能力测试,结果如图3所示。

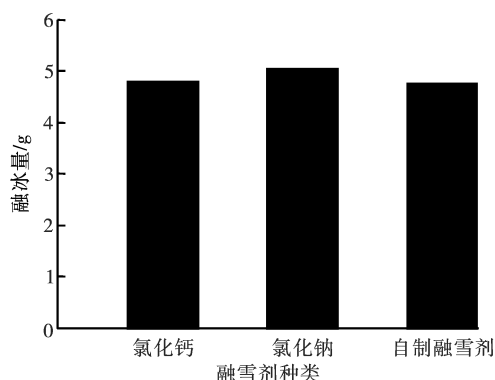


图2 不同融雪剂的融冰量

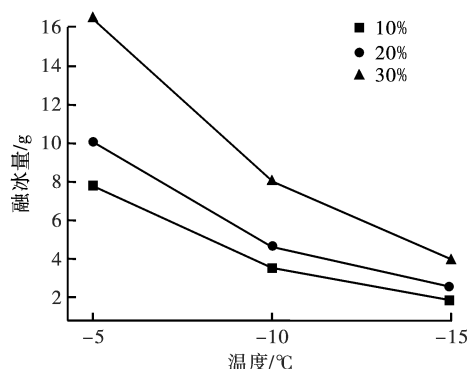


图3 自制融雪剂不同温度下的融冰量

由图3可知,不同质量分数融雪剂溶液的融冰量随温度降低均表现出相同的降低趋势。在同一温度条件下,溶液的质量分数越高,融冰量越多,质量分数为30%的融雪剂的融冰量最显著,其在-10℃下的融冰效能几乎等同于10%质量分数溶液在-5℃时的表现,而在-15℃时的融冰能力则接近于20%质量分数溶液在-10℃时的效果。此外,当环境温度降至融雪剂溶液的凝固点以下时,该溶液初时能展现一定的融冰潜力,但随时间推移,其效能逐渐衰退,直至重新凝固。基于上述融雪剂对气候条件的适应性分析,在配制用于冰雪清除的融雪剂溶液时,策略性地选择凝固点低于预期环境温度的溶液至关重要,以确保其在实际应用中的有效性和持久性。

3 融雪剂环保性能研究

3.1 融雪剂对碳钢的腐蚀作用

研究表明^[8],在浓度较小时,融雪剂会对金属材料表现出更强烈的腐蚀性,因此制备质量分数分别为2.5%、5.0%、7.5%、10.0%的自制融雪剂溶液,采用旋转挂片法测定融雪剂对碳钢的腐蚀率,结果如图4所示。腐蚀率 v 的计算式如式(1)所示。

$$v = \frac{87\ 600(m - m_0)}{spt} \quad (1)$$

式中, m 为试片的质量损失; m_0 为试片在酸洗空白试验中的质量损失平均值; s 为试片的表面积; ρ 为试片的密度; t 为试验时间。

从图 4 中可以看出,随着质量分数的增大,氯化钠和氯化钙溶液的腐蚀率有上升趋势;在相同质量分数下,自制融雪剂对碳钢的腐蚀率远低于氯化钠和氯化钙溶液。相较于氯化钠和氯化钙溶液腐蚀率的上升,自制融雪剂对碳钢的腐蚀率甚至起到了一定的抑制作用,在高浓度情况下腐蚀率有小幅下降。

3.2 融雪剂对植物的伤害作用

融雪剂的环境友好性也可以通过对植物种子的影响来反映。分别配制质量分数为 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 的自制融雪剂、氯化钠、氯化钙溶液对黄豆进行处理,将经蒸馏水处理的黄豆种子作为对照组,对比各溶液处理下黄豆的发芽情况和胚根长度。

黄豆的发芽率与溶液质量分数整体呈现出负相关关系,同时随着质量分数的提高,胚根长度也有下降趋势。对照组所有黄豆种子均发芽,平均伸长至 68.7 mm。当质量分数为 0.5% 时,使用自制融雪剂处理的黄豆平均芽长为 48.8 mm,相较于对照组下降 19.9 mm;使用氯化钙溶液处理的黄豆平均芽长为 37.6 mm,相较于对照组下降 31.1 mm;使用氯化钠溶液处理的黄豆平均芽长为 20.9 mm,相较于对照组下降 47.8 mm;将质量分数增加至 1.0%,使用上述三种融雪剂处理后的黄豆平均芽长分别缩减为 27.9 mm、23.0 mm 和 14.96 mm;将质量分数增加至 1.5%,使用上述三种融雪剂处理后的黄豆平均芽长继续减少至 16.9 mm、12.7 mm 和 12.47 mm;当质量分数达到 2.0% 时,使用上述三种融雪剂处理后的黄豆均未发芽。整体看来,不论溶液浓度如何变化,自制融雪剂在使黄豆发芽方面的表现均优于氯化钠和氯化钙溶液,虽然高浓度融雪剂对植物种子萌发仍具有强烈抑制作用,但相较于传统氯盐类融雪剂,自制融雪剂对植物种子生长的不良影响更为轻微。

4 结 论

a. 围绕凝固点与融冰效能这两项关键参数,在候选原料中筛选出醋酸钾、醋酸钠、醋酸铵作为核心组分。运用单纯形重心设计策略,得出融雪剂各组分的最佳比例:醋酸钾:醋酸钠:醋酸铵=30%:30%:40%。

b. 自制融雪剂的显著优势是其凝固点远低于氯盐类融雪剂。在同等测试条件下,自制融雪剂虽在融雪效率上略弱于传统氯盐类融雪剂,但仍能保持其 90% 以上的效能。

c. 自制融雪剂对碳钢的腐蚀性显著低于氯盐类。同时该融雪剂对黄豆种子发芽的影响相较于传统融雪剂也更加轻微,不会对植物造成显著伤害,彰显了其环保方面的优势。

参考文献

- [1] 朱顺顺,冯兆伟,王邑帆,等. 新型醋酸钙镁盐环保融雪剂的制备与应用技术研究[J]. 价值工程,2024,43(2):108-110.
- [2] 郭慧敏. 融雪剂对路面混凝土的破坏机理及防治措施探究[J]. 四川水泥,2024(1):272-274.
- [3] 宋礼慧,霍俊霏,王天河. 环保型低温融雪剂的研究[J]. 盐科学与化工,2023,52(8):30-31,35.
- [4] 田济铭,李莹,徐源,等. 植物友好型低腐蚀环保融雪剂的开发[J]. 现代化工,2022,42(S2):255-257.
- [5] 高子亭,李占超,蒋谦,等. 一种木醋液制备环保型融雪剂的方法[J]. 应用化学,2021,38(8):1022-1024.
- [6] 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.
- [7] 韩永萍,龚平,刘红梅,等. 环保型生化黄腐酸复合融雪剂的研究[J]. 腐植酸,2017(6):50.
- [8] 刘靖,刘恒明,朱莹. 几种融雪剂对金属材料的腐蚀性研究[J]. 广东化工,2015,42(23):16-18,20.

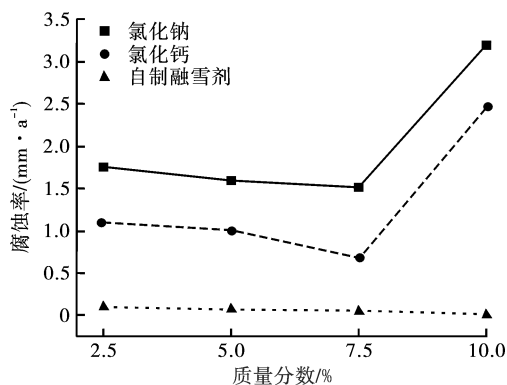


图4 不同融雪剂溶液对碳钢的腐蚀率