

# 植物友好型低腐蚀环保融雪剂的开发

田济铭, 李莹, 徐源, 徐晨翔, 黄梦瑶, 顾博翔, 宋海岩\*  
(东北林业大学化学化工与资源利用学院化学化工系, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要:**通过主物料的筛选、融雪剂配比的优化及缓蚀剂的添加, 研制出高效、低腐蚀且植物友好型环保融雪剂。对各融雪剂样品的融冰能力、腐蚀性和植物影响进行了对比性测试。结果表明, 该植物友好型低腐蚀融雪剂在  $-25^{\circ}\text{C}$  寒冷条件下, 30 min 内融冰量可达传统氯化钠型融雪剂的数倍, 体现出明显的高效性; 相比于传统氯化钠型融雪剂, 该融雪剂的水溶液在 72 h 内对钢铁的腐蚀性平均降低了 93.29%, 体现出良好的低腐蚀性; 在 6 d 以内, 本融雪剂产品未对常用绿化植物冬薄荷产生明显破坏, 植物生长良好, 环保性能远胜于传统氯化钠型融雪剂, 具备植物友好性。

**关键词:**融雪剂; 高效; 低腐蚀; 环境友好

**中图分类号:** U418.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2022)S2-0255-03

**DOI:** 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2022.S2.050

## Development of plant-friendly and environmental-friendly snow-melting agent with low corrosion

TIAN Ji-ming, LI Ying, XU Yuan, XU Chen-xiang, HUANG Meng-yao,  
GU Bo-xiang, SONG Hai-yan\*

(Department of Chemistry and Chemical Engineering, College of Chemistry, Chemical Engineering and Resource Utilization, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** A novel plant-friendly and environmental-friendly snow-melting agent with low corrosion is developed via the screening of components, the optimization of the ratio of snow-melting agent and the addition of corrosion inhibitors. The ice melting ability, corrosion property and plant impact of various snow-melting agent samples are comprehensively tested. It is indicated that the developed snow-melting agent melts ice several times as much as traditional sodium chloride-based snow-melting agent does within 30 min at  $-25^{\circ}\text{C}$ , exhibiting a high efficiency. Compared with traditional sodium chloride snow-melting agent, the corrosion of the aqueous solution of the developed snow-melting agent to steel drops by about 93.29% within 72 h, reflecting a low corrosion property. The novel snow-melting agent has also generated hardly damage to winter mint, a kind of commonly used green plant, in six days. This snow-melting agent exhibits plant-friendly and environmental-friendly properties in comparison to traditional sodium chloride-based snow-melting agent.

**Key words:** snow-melting agent; high efficiency; low corrosion; environmental-friendly

中国北方冬天冰雪很多, 积雪易使路面结冰, 使人们生活生产受到严重影响<sup>[1]</sup>。喷洒融雪剂可以及时有效地除去路面积雪, 防止事故损失<sup>[2]</sup>。融雪剂的融雪原理是, 融雪剂与雪结合形成冰点较低的溶液, 当环境温度大于此冰点时, 积雪即可融化成液体流走或被清除。融雪过程主要包括两种作用<sup>[3-4]</sup>: 一是吸热作用, 将 1 kg 的冰雪融化成水需要吸收 335 kJ 的热量; 二是溶解作用, 发生吸热后融雪剂作为溶质溶于雪中成为稀溶液, 符合拉乌尔定律<sup>[5]</sup>。但随着融雪剂用量不断增大, 其环境污染问题日益严重。国内外普遍使用的以氯化钠为主要成分的氯盐型融雪剂会对道路、桥梁混凝土造成严重的腐蚀; 污染地表水体, 造成植被、草坪的大量枯萎死亡, 甚至破坏生态环境<sup>[6]</sup>。近年来, 以醋酸盐、尿

素、醇、胺类等为主成分的无氯融雪剂虽具有一定的绿色环保性<sup>[7]</sup>, 但原材料难以获取且融冰能力相对较弱, 普及程度不足。为解决融雪剂面临的各类问题, 人们针对融雪剂的配方、工艺优化和降腐蚀等方面展开深入研究。例如, 张良隼等<sup>[8]</sup>对醋酸钙镁盐进行工艺优化, 产品环保且适用于  $-5^{\circ}\text{C}$  以上天气使用; 王萌等<sup>[9]</sup>对传统融雪剂进行改进, 以硝酸钙和醋酸钠为主要成分, 并加入缓蚀剂, 制备了环保型复合融雪剂, 在  $-10^{\circ}\text{C}$  具有良好的融雪效果; 韩永萍等<sup>[10]</sup>通过添加黄腐酸等试剂制备出环保钙盐融雪剂及植物营养型融雪剂, 具有低氯低腐蚀、利于植物生长等优点, 并能满足约  $-11^{\circ}\text{C}$  的融雪需求。

本文旨在开发一种适用于更低温条件、植物友好、高效、低腐蚀的新型环保融雪剂。研究中先选取

收稿日期: 2022-01-23; 修回日期: 2022-03-03

基金项目: 东北林业大学大学生创新创业训练计划项目(202110225569, 202110225410); 黑龙江省自然科学基金项目(LH2019B023)

作者简介: 田济铭(2000-), 男, 本科生, 研究方向为无机功能材料, 932379852@qq.com; 宋海岩(1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为无机功能材料, 通讯联系人, chem\_shy@163.com。

融冰能力强且含有作物所需的营养成分作为融雪剂的主物料,优化融雪效果;再评价添加缓蚀剂后的融雪剂对碳钢片的腐蚀性;最后考量其对真实植物的友好性。同传统氯化钠型融雪剂相比,本融雪剂在寒冷气候下的融雪效率提升数倍,兼具对钢铁的低腐蚀性与植物友好性。

## 1 实验部分

### 1.1 融雪剂的制备及融冰性能评价

融雪剂的配料主要包括氯化铵、氯化镁、氯化钙、尿素。融雪剂制备步骤为:按所需比例称取不同物料,分别于研钵中碾磨成粉末状,过 240 目筛后按相应比例混合均匀,即制得融雪剂样品。

融冰能力测试及配方优化步骤为:在 100 mL 烧杯中分别加入 50 mL 水,于  $-25^{\circ}\text{C}$  下冷冻成形状大小相同的冰块备用;分别称取传统氯化钠型融雪剂或上述不同的自制融雪剂样品 10 g,加入所制的冰块中,在  $-25^{\circ}\text{C}$  下于 15、30、45、60 min 分别取点观察并测量融化冰的体积来测试并对比融冰性能。

### 1.2 缓蚀剂添加对融雪剂金属腐蚀性的评价

文献表明,当缓蚀剂的物料中葡萄糖酸钠:磷酸二氢锌:硫脲质量比为 6:1:2、且使混合缓蚀剂的质量浓度为 450 mg/L 时,可达到最佳缓蚀效果<sup>[11]</sup>。本工作也参考此方案进行融雪剂腐蚀性测试。以碳钢片模拟被融雪剂腐蚀的金属材料(例如混凝土中的钢筋),称量其被腐蚀前的质量。将碳钢片先除锈并打磨光滑后,置于添加了缓蚀剂的环保融雪剂溶液中 16 h,在大气中暴露 8 h。循环操作 3 次,实验时间为 72 h,之后称量其被腐蚀后除去铁锈的质量,取 3 次测量的平均值。通过计算被腐蚀前与被腐蚀完毕除锈后的质量差,测量其暴露在腐蚀环境中的表面积以及腐蚀时间,计算出腐蚀速率( $V$ ),再由加入缓蚀剂前后的腐蚀速率计算出缓蚀效率( $\eta$ ),以此评价缓蚀剂的缓蚀性能<sup>[12]</sup>。

对比的融雪剂样品分别为添加缓蚀剂的融雪剂溶液、未加缓蚀剂的融雪剂溶液和氯化钠溶液。腐蚀率随盐水中氯化钠质量分数的增大先上升后下降,在质量分数 3%~5% 时腐蚀率达最高点,这主要是由于氧的溶解度在浓溶液中降低<sup>[13]</sup>。因此将上述 3 种配成质量分数为 3% 的腐蚀溶液进行实验。

### 1.3 融雪剂的植物友好性评价

实验选取具有代表性的绿化植物冬薄荷作为实验材料。从苗圃选取同批种植且外观相近的薄荷 6 盆,分别以质量分数为 5% 的植物友好型环保融雪

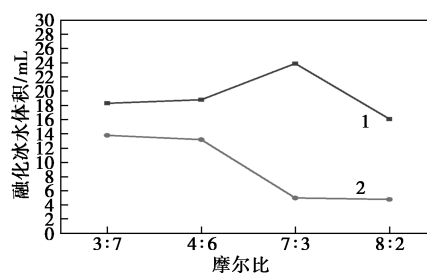
剂、氯化钠溶液、纯净水进行浇灌。3 组实验均为每 2 d 浇灌 1 次,每盆浇灌量为 200 mL。为保证盐分胁迫程度,于盆下各放置塑料盘一个。各处理液浇灌后 1 h,将塑料盘内渗出液体倒回盆中,以保证花盆中盐分不流失。每组实验平行测试两次。6 d 后通过对比各组植物叶片生长状态判断各溶液对植物生长的影响程度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 融雪剂配方优化及融冰效率

本研究最终选取氯化钙、氯化镁、氯化铵以及尿素作为新型融雪剂的复合原料。氯化钙具有良好的冰点降低效力<sup>[14]</sup>,溶于水时可放出大量热;氯化镁拥有良好的融雪效力,几乎对生物无害,且不易造成土壤板结;氯化铵相较其他融雪剂毒性也很小;尿素也拥有一定的冰点降低效力<sup>[14]</sup>,添加后可以减少融雪剂中氯离子的含量,且其作为中性肥料,对植物友好,适用于各种土壤。

按照图 1、图 2 中所列物料摩尔比配制成各融雪剂样品,在相同条件下与传统氯化钠型融雪剂的融冰效果进行对照。尿素施用过量会造成土壤过肥化,不利于植物生长,因此先确定其他物料的最佳配比,然后优化尿素与氯化铵的添加量。由图 1 可见,在同一比例下,氯化钙与氯化镁复配的融雪剂的融雪效果较氯化铵与氯化镁复配的融雪剂更为理想。氯化钙:氯化镁摩尔比为 7:3 时达到最佳融冰效力。由图 2 可见,相同氯化钙/氯化镁摩尔比(7:3)条件下,随着尿素添加量的增加,出水量先递增后下降,于氯化镁/氯化钙/尿素摩尔比为 3:7:2 时达到峰值,且添加尿素的各融雪剂样品出水量均优于添加氯化铵的样品。同氯化钠型传统融雪剂相比,寒冷条件下( $-25^{\circ}\text{C}$ )新型融雪剂作用效果显著,融冰能力大幅提升。



1—CaCl<sub>2</sub>:MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 摩尔比;2—NH<sub>4</sub>Cl:MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 摩尔比

图 1 不同氯化钙/氯化镁、氯化铵/氯化镁摩尔比的融雪剂样品的融冰量

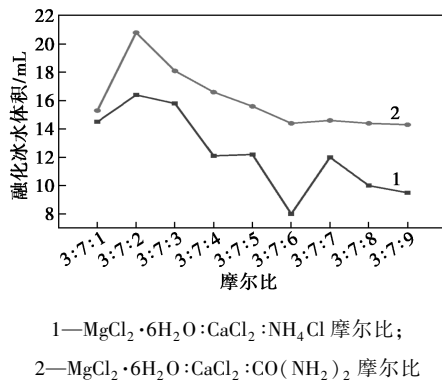


图2 尿素、氯化铵的添加对融雪剂融冰效果的影响

## 2.2 融雪剂的腐蚀性

为验证融雪剂中添加缓蚀剂后对钢材腐蚀性的影响,将添加缓蚀剂的新型环保融雪剂、未加缓蚀剂的新型环保融雪剂、传统氯化钠型融雪剂配成相同质量分数的模拟融化雪水,考察对碳钢片(模拟混凝土中的钢筋)的腐蚀情况。腐蚀实验在室温进行,比低温条件更为苛刻,更利于对比缓蚀效果,腐蚀结果如表1所示。未添加缓蚀剂的新型融雪剂(腐蚀组)对钢板的腐蚀质量损失略小于传统氯化钠型融雪剂(对照组),而添加了缓蚀剂的新型融雪剂(缓蚀组)对钢板的腐蚀质量损失明显减少。缓蚀效率为93.29%,从而验证了缓蚀剂的添加可以有效地保护道路桥梁等交通设施免受损害。

表1 复配融雪剂对金属腐蚀量的对比

名称	腐蚀前后质量差/g	腐蚀速率/(g·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	缓蚀率(η)/%
腐蚀组	0.4488	0.0173	—
缓蚀组	0.0261	0.0011	93.29
对照组	0.5911	0.0013	—

## 2.3 新型融雪剂的植物友好性

对以新型融雪剂、传统氯化钠型融雪剂和纯水浇灌的冬薄荷生长情况进行实物拍摄和对比,结果发现,新型融雪剂浇灌的植株同纯净水浇灌的相比,长势几乎没有差异,叶片并未因融雪剂的渗入而腐败;而传统氯化钠型融雪剂浇灌的植株叶片出现大面积枯萎死亡。说明新型融雪剂比传统氯化钠型融雪剂体现出良好的植物友好性。传统融雪剂因含有钠离子和氯离子,会使植物受到单一离子的毒害。例如,钠离子浓度过高,植物会减少对钾的吸收,引发钙、磷缺乏,造成营养失调。而新型融雪剂含有

钙、镁、氮、磷、硫等对作物生长有利的营养成分,可大大降低对植物的毒害。

## 3 结论

本论文开发了一种融雪效率高、对钢材腐蚀性低、且具有植物友好性的新型环保融雪剂。新型融雪剂样品在氯化镁/氯化钙/尿素摩尔比为3:7:2时获得最佳融冰量,且优于传统氯化钠型融雪剂,融冰能力提升数倍。未添加缓蚀剂的新型融雪剂对钢板的腐蚀性略小于传统氯化钠型融雪剂,而添加了缓蚀剂的新型融雪剂,对钢板的腐蚀性得到明显改善,缓蚀率为93.29%。新型融雪剂含有对作物生长有利的营养成分,可大大降低对植物的毒害,而传统氯化钠融雪剂浇灌的植株叶片则明显枯萎。本研究对于解决目前市售融雪剂的环保问题、腐蚀问题以及改善融雪效率均具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 李义强,杨凤至,曹玉海,等.我国道路融雪剂的研发与应用[J].北方交通,2020,(7):26-29.
- [2] Tao S C, Yao J L, Chen C Y, et al. The impact of expressway snowmelt agent usage on the environment in an extreme freezing snow and sleet condition[C]. The 4th International Conference on Water Resource and Environment(WRE 2018).
- [3] 朱裕贞,顾达.《现代基础化学》教材[J].化工高等教育,2001,(3):20-24.
- [4] 王东东.赤泥质缓蚀型融雪剂的制备及其性能研究[D].哈尔滨:黑龙江大学,2019.
- [5] 赵莹莹.化学融雪剂的环境影响探讨研究[D].长春:东北师范大学,2006.
- [6] 李伟,黄子杰,王卫东.国内融雪剂标准研究[J].氯碱工业,2019,55(2):37-39.
- [7] 查湘义.融雪剂的研究现状及进展[J].江西化工,2013,(4):13-15.
- [8] 张良佳,姜华昌,李菊清,等.醋酸钙镁盐的制备新工艺及产品性能研究[J].现代化工,2007,27(S1):212-215,217.
- [9] 王萌,李晓林,杜丹超,等.一种有机无机复合环保融雪剂的制备及性能研究[J].现代化工,2014,34(12):66-67,69.
- [10] 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].现代化工,2016,36(9):80-83,85.
- [11] 王小光,贾华丽,章亚东.高效复合防腐型融雪剂的研制[J].盐业与化工,2008,37(4):10-14,18.
- [12] 王小光.高效环保型融雪剂的研制[D].郑州:郑州大学,2007.
- [13] 洪乃丰.氯盐类融雪剂的腐蚀危害与试验方法的讨论[J].工业建筑,2006,36(10):61-64.
- [14] 傅沛兴.北京地区融雪剂问题与防钢筋锈蚀措施[J].建筑技术开发,2003,30(2):25-26,53.■