

武汉市城市桥梁冬季除雪技术应用与效率优化研究

夏天 胡鹏 张明华 魏志翔

武汉市城市运维管理有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：城市桥梁作为交通网络的关键节点，其冬季除雪除冰效率直接关系到交通安全与运行效率。本研究基于武汉市2023-2025年的实战经验与技术升级成果，系统分析了桥梁除雪作业在“积雪前预防”、“积雪中实时清除”和“积雪后残留清理”三阶段的技术适配性与效率特征。研究通过古田片区实验数据、桥梁监测中心实测数据及实战日志，量化对比了70℃高温液体融雪剂、常温液态融雪剂及传统机械撒布等不同技术方案在作业均匀性、防冰时效、除雪效率及成本效益等方面的表现。结果表明，以70℃热水与常温液态融雪剂为核心的预防性技术组合，在均匀性(CV值降低50%-75%)、防冰时长(延长100%-200%)和综合作业效率(提升80%)方面优势显著，且综合成本可降低70%。本研究据此提出了基于雪情动态分级的技术配置方案与优化路径，旨在为城市桥梁冬季科学养护提供可复制、高效率、低成本的“武汉方案”。

【关键词】：桥梁除雪；预防性作业；液态融雪剂；效率优化；成本效益；武汉市

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.005

1 引言

城市桥梁作为交通网络的关键节点，因其悬空结构散热快，冬季积雪和结冰速度远快于普通路面，极易引发交通拥堵与安全事故^[1]。武汉市地处江汉平原，冬季虽短暂但常伴随雨雪冰冻天气，对桥梁除雪作业提出了特殊挑战。传统的除雪模式，如机械除雪与固态融雪剂撒布，在实践中暴露出效率低、均匀性差、成本高及安全风险大等问题。

融雪剂的使用是一把“双刃剑”。以氯化钠为代表的氯盐型融雪剂虽价格低廉，但其融雪后形成的氯离子会伴随雪水渗入混凝土，与水泥水化物发生反应，导致混凝土强度降低、路面起皮，并腐蚀桥梁内部的钢筋结构，严重缩短桥梁使用寿命^[2,3]。此外，氯盐融雪剂对道路周边的土壤、水体及植被也会造成严重的生态破坏，其形成的飞尘还可能影响人体呼吸道健康^[2]。为减轻这些危害，非氯型融雪剂如醋酸钙镁(CMA)开始得到应用，但较高的成本和对沥青结合料的潜在影响限制了其大规模推广^[3,4]。

基于2023年冻雨等极端天气的实战经验及2024-2025年的技术升级，系统整合了桥梁监测中心实测数据、古田片区实验报告及行业技术规范，对桥梁冬季除雪技术进行了深入研究。液态融雪剂因其均匀性好、反应速度快等优点，正逐渐成为预防性和即时性除雪的主流选择。研究表明，融雪剂的融冰效果受其浓度、环境温度和作用时间等因素显著影响，存在最佳使用浓度范围，并非用量越多越好^[5,6]。同时，新型材料技术的发展也为提升除雪效率提供了新思路，例如，利用层状双金属氢氧化物的“记忆效应”和离子限域作用，可将有效融雪成分(如氯离子、醋酸根离子)负载于其层间，制备出具有长效、环保特点的新型融雪化冰剂，掺入沥青混合料后可赋予路

面主动、持久的抗凝冰功能^[1]。

本研究旨在通过量化分析古田片区实验及桥梁监测中心的实战数据，结合当前融雪剂研究的最新进展，明确不同技术(特别是以70℃热水和液态融雪剂为核心的组合方案)在不同作业阶段与雪情场景下的适配性。研究致力于构建以预防为主、效率优先、安全适配的武汉城市桥梁冬季除雪技术体系，为提升城市桥梁冬季养护的科学化、精细化水平提供实证依据和可复制的“武汉方案”。

2 桥梁除雪三阶段技术应用与效率分析

2.1 积雪前预防性作业

预防性作业的核心是通过提前干预，抑制或延缓桥面结冰，为后续作业奠定基础。古田片区实验数据显示，不同作业方式对地面含盐量均匀性(以变异系数CV值衡量，越低越均匀)影响显著：70℃高温液体融雪剂冲击CV值为5%-8%，均匀性最优；常温液体融雪剂冲击为8%-12%；而传统撒布机撒盐为15%-20%。高温液体融雪剂作业的均匀性较撒布机提升50%-75%。

在抗积雪效果方面，模拟实验表明：70℃高温液体融雪剂预处理后，防冰效果可持续6小时，6小时内桥面积雪厚度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；常温液体融雪剂防冰时长为3小时；固体融雪剂仅为2小时。高温液体融雪剂的防冰窗口期较后者分别延长100%和200%。更重要的是，预防性作业能大幅提升后续机械除雪效率。实践数据显示，经70℃高温液体融雪剂预处理的桥面，铲车推雪效率可从基准的 $4000\text{m}^2/\text{h}$ 提升至 $8000\text{m}^2/\text{h}$ ，增幅达100%；常温液体融雪剂预处理可提升50%；固体融雪剂预处理仅提升25%。

2.2 积雪中实时除雪

实时除雪需根据雪情动态调整方案。研究发现，铲车推雪效率存在明确临界条件：当积雪厚度 $\geq 5\text{cm}$ 、路面温度 $\leq -3^\circ\text{C}$ 或冰层厚度 $\geq 2\text{cm}$ 时，其效率将降至 $4000\text{m}^2/\text{h}$ 以下甚至完全失效，打滑率超过50%。因此，在结冰或冻雨场景下， 70°C 热水+融雪剂组合成为不可替代的核心技术，其作业效率可达 $24000\text{m}^2/\text{h}$ ，能有效破碎 $\leq 5\text{cm}$ 的冰层。

对于 0°C 左右的轻度小雪，常温液态融雪剂组合表现最优，融雪时效提升超90%，撒布后1-2分钟即可完全融雪，作业效率为 $12000\text{m}^2/\text{h}$ ，且转场灵活。液体融雪剂撒布装置的配置需根据桥梁规模确定：中小型桥梁（ $\leq 50000\text{m}^2$ ）需1台洒水车；大型桥梁（如 100000m^2 ）则需2台热水洒水车并配备铲车备用。

2.3 积雪后残留清理

残留清理阶段， 70°C 热水+融雪剂组合对于残留冰层清理效率最高（ $18000\text{m}^2/\text{h}$ ），需配合人工清理死角。对于残留积雪，常温液态融雪剂组合效率为 $9000\text{m}^2/\text{h}$ ，虽需多次往返，但较传统模式可节省50%人力，且转场灵活，如长丰桥案例显示其收尾清理耗时缩短40%。铲车滚刷仅适用于松散浮雪（ $8000\text{m}^2/\text{h}$ ），而处理堆积雪需铲车推雪（ $6000\text{m}^2/\text{h}$ ）并搭配运输车外运。

3 技术选型与成本效益分析

3.1 核心技术适配原则

遵循“预防为主、精准施策、效率优先、安全适配”原则：

70°C 热水+融雪剂组合：适用于全阶段极端场景（冻雨、厚冰），配置标准为每 100000m^2 桥面配备2台热水洒水车及铲车备用。

常温液态融雪剂组合：适用于 0°C 左右轻度雪情的各阶段，优先用于中小型桥梁，配置标准为每 50000m^2 桥面配备1台常温水洒水车。

传统机械设备：主要用于厚雪补救与浮雪清理，应避免在结冰路面单独作业。

人工+撒布机组合：作为补充，用于机械无法触及的特殊区域或死角。

3.2 成本效益对比分析

综合成本效益分析显示，常温液态融雪剂组合优势突出：其融雪剂成本较传统固态撒布降低70%-80%，人力成本降低50%，作业耗时缩短80%。处理 100000m^2 桥面的综合单位成本仅为机械除雪的1/4、传统人工撒布的1/3。 70°C 热水组合

虽单位成本略高，但在极端场景下不可替代，且其预防性投入成本仅为积雪后应急清理的1/5。

3.3 全国标杆性技术组合方案

基于实战经验，本研究提出分级响应的标杆性方案（如表1所示），该方案可实现效率提升80%、成本降低70%、防冰时长延长200%、均匀性提升50%-75%的核心指标，具备全国范围内的可复制性与标杆性。

表1 基于雪情等级的技术组合方案

雪情等级	预防性作业	实时除雪	残留清理	配置标准
轻度雪情 (0°C 左右)	常温水盐水预处理 (CV8%-12%)	常温水盐水洒布 ($12000\text{m}^2/\text{h}$)	常温水盐水配合机械 ($9000\text{m}^2/\text{h}$)	1台常温水洒水车 /50000 m^2
中度雪情 (-2°C 至 -5°C)	70°C 热水预处理 (CV5%-8%)	70°C 热水洒布 ($24000\text{m}^2/\text{h}$)	70°C 热水配合人工 ($18000\text{m}^2/\text{h}$)	2台热水洒水车 /100000 m^2
极端雪情 (冻雨)	70°C 热水预处理 (CV5%-8%)	70°C 热水破碎冰层 ($\leq 5\text{cm}$)	70°C 热水清理死角 ($18000\text{m}^2/\text{h}$)	2台热水洒水车+ 铲车 /100000 m^2

4 优化建议与未来展望

4.1 技术优化路径

首先，应建立雪情动态分级响应机制，依据气温、雪量数据精准启动相应技术组合。其次，需针对性解决特殊场景适配问题，如对公铁两用大桥，需联合铁路部门划定禁区，采用人工或环保固态剂替代。再次，要完善设备保障体系，制定标准化维护流程，优化液态融雪剂装载与自动化系统。最后，应优化资源配置，按桥梁规模差异化配备设备，并实现跨片区统筹调配。

4.2 未来发展方向

未来应结合《城市桥梁冬季除雪除冰技术规范》，扩大环保型液态融雪剂的应用；引入自动驾驶洒水车等智能化技术以提升精准度；最终建立集“技术选型-成本控制-安全保障”于一体的个性化养护体系，实现安全、高效、绿色的养护目标。

5 结论

本研究通过对武汉市桥梁冬季除雪技术的系统分析表明,以“预防为主”的理念,采用70℃高温液体融雪剂与常温液态融雪剂相结合的技术路径,能显著提升作业均匀性、延长防冰时效、提高除雪效率并大幅降低综合成本。基于雪情等级的

动态分级响应方案,具有科学性、高效性和经济性,不仅为武汉市桥梁冬季养护提供了优化策略,其标准化、量化的成果也为我国其他同类城市提供了可复制、可推广的“武汉方案”与行业标杆,对保障冬季城市交通动脉的安全畅通具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 彭超.层状双金属氢氧化物沥青道路融雪化冰剂的制备与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2015.
- [2] 崔禹晴,吕丹,王威.融雪剂的研究进展及发展方向[J].广州化工,2022,50(12):17-19,11.
- [3] 李盼,孙铂焯,任一博.融雪剂在不同条件下的融雪化冰能力研究[J].河南科技,2023,42(18):85-89.
- [4] 谢敬革,于文俊,林昌源,等.常用融雪剂物料特性分析及其使用方法的探究[J].盐科学与化工,2025,54(11):25-28,5.
- [5] 杨三强,乔明鑫.基于融雪剂融冰能力的最佳用量分析[J].应用化工,2022,51(S2):118-120,123.
- [6] 宋礼慧,周莹,韩嘉捷,等.一种液体融雪剂和道路专用抑尘剂的特性研究[J].盐科学与化工,2020,49(11):18-19.