

高速公路主动式防冰融雪作业技术要求
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组
2025年9月

目 录

一、 任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人	1
二、 制定标准的必要性和意义	2
三、主要工作过程	5
四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系	7
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述	11
六、重大意见分歧的处理依据和结果	16
七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况	16
八、贯彻标准的措施建议	16
九、其他应说明的事项	17

中国交通运输协会团体标准编制说明

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

（一）任务来源

本项目来源于中国交通运输协会 2024 年度第一批拟立项团体标准项目，项目名称为《高速公路主动式防冰除雪作业技术要求》，项目序号为 2024-1-32，项目期限为 2024 年 1 月 28 日—2026 年 1 月 28 日、由山东高速股份有限公司提出。

（二）起草单位

主 编 单 位：山东高速股份有限公司-业主单位

参 编 单 位：山东交通学院-科研院所

北京公科飞达交通工程发展有限公司-生产单位

中交北疆工程咨询有限公司-咨询单位

山东信诚建设管理有限公司-建设单位

湖北省高速公路实业开发有限公司-生产单位

山东高速交通科技有限公司-生产单位

山东高速养护集团-生产单位

北桥中七设计有限公司-设计单位

湖南工业大学-科研院所

（三）协作单位

无

（四）主要起草人

编制工作组成员：崔 建-统筹标准编制工作。

陈仁山-主要负责第 1、2、3 章内容的编写工作。

刘 航-主要负责第 4、5 章内容的编写工作。

任 壬-负责第 6 章内容的编写工作。

范文东-协助第 1、2 章内容的编写工作。

徐宝峰-协助第 3、4 章内容的编写工作。

王 健-协助 5、6 章与附录内容的编写工作。

段美栋-协助第 6 章与附录内容的编写工作。

二、制定标准的必要性和意义

（一）制定标准的目的与意义

路面结冰、积雪会给道路畅通和行车安全带来严重的不良影响。冰、雪使路面附着系数大大降低，使汽车制动距离显著延长，甚至造成方向失控、刹车失灵，严重的交通事故。高速公路行车速度快，冰雪对安全和畅通影响尤其严重。特别是近年来我国高速公路交通运量的高速发展，给高速公路冬季运营与养护提出了更高的要求。

在此背景上，本项目任务旨在编制高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程，能够有效指导高速公路运营单位进行冬季防滑保通作业的事前预防、事中处置的主动防冰融雪技术工作，保障群众冬季冰雪气候下在高速公路的出行安全、便捷。

（二）制定标准的必要性与可行性

1. 必要性

据统计，我国约有 60% 的高速公路冬季存在积雪现象，冬季约 15%~30% 的交通事故与路面积雪有关。积雪严重时将造成道路关闭，严重影响道路畅通，造成巨大的经济损失，而且长时间的封闭无法满足群众越来越高的出行需求。在出行安全方面，在积雪和结冰状态下，沥青路面的摩擦系数分别只有干燥时的三分之一和四分之一。因此，在冰雪路面上汽车容易发生打滑、跑偏等现象，制动距离显著延长，车辆的操作稳定性和安全性显著降低，交通事故发生率较高。调查统计表明：相比同时期非雪天环境，冰雪环境条件下交通事故的伤亡率增加 25%，事故率上升 100%；冰雪环境条件每百万车辆每公里发生车辆碰撞、刮擦事故的概率为一般情况下的 13 倍之多。因此高速运营养护单位冬季除雪防滑工作任务艰巨，特别是当前社会大众对畅通安全期望的逐步提升，亟须主动、高效、标准化高速公路防冰作业技术规程指导行业工作。

目前，清除和化学融化法是世界各国针对道路结冰、积雪问题的两种方式。清除方法依靠人工作业慢且不安全，机械清除法适合于雪量较大未被碾压或结冰之前大面积清除作业。均属于事后被动处置，作业时长、对交通影响大，特别是交通运量大的高速公路，往往引发交通事故拥堵以及路段或收费站点大面积的车辆积压，运输效率和经济效益的双重损失巨大。虽然化学融化法，可以采取提前预撒布的方式，但是预撒布量和时机难以靠经验和天气进行准确的判断。加之目前主要应用氯盐类融雪剂，融雪化冰的同时对土壤、水体及植被造成污染和破坏，并且导致的道路基础设施腐蚀损失巨大。其他化合物如硫酸铵、硝酸铵和乙酸钾对环境的危害较小，但成本太高，无法用于大规模操作。只有机场等使用尿素、酒精和甘醇等高成本的环保融雪材料来清除跑道上的积雪。

当前比较成熟的主动式防冰除雪技术主要有智能喷淋式防冰系统、复合相

变融冰雪路面、缓释抗凝冰路面、加热电缆防冰融雪路面。主动式防冰融雪技术以其自动化程度高、环境友好、除冰效率高和彻底等优点，越来越受到公路交通管理部门的青睐。虽然现有主动自融雪技术成本仍然不能和传统机械除雪、氯盐融雪剂融雪争高低。但是主动式防冰融雪技术在弥补跨河桥梁、山区桥隧段预先结冰以及坡弯路段、立交匝道防冰融雪及时性上具有巨大优势，能很好地解决高速路网关键节点、“咽喉”以及湿滑事故黑点的安全与畅通。并且，随着技术改进、成本的降低和环境保护力度的进一步提升，主动防冰技术在高速公路养护中的应用将快速增长，需要新的专项技术规范予以指导。

2. 可行性

伴随着社会大众对现代高速公路交通安全畅通，环保高效等要求的重视，特别是对雨雪气候下出行效率和安全需求的日益增长现状。传统防冰融雪方法的被动、滞后、高能耗等问题更加凸显，越来越难以满足社会大众出行的相关需求。另一方面，主动式防冰除雪技术、理论的发展以及工程应用的逐步成熟，通过推广事前预防、防除结合的主动式防冰除雪技术，实现在小雪及中雪情况下，能够保障全车道畅通，在大雪情况下，能够保证一条车道全天候畅通，很好地弥补传统防冰、融雪方法的短板，极大改善雨雪天气下的交通安全和畅通状况。

(1) 主动式防冰除雪作业技术先进性

1) 高速公路融雪剂动态预防撒布配合机械化防冰融雪技术

降雪、低温天气预测预报技术的成熟以及近十年来路域微环境气象监测、预警技术的进步，将高速积雪、凝冰时间预测逐步提升到了小时级、分钟级；同时，常用融雪剂的融雪化冰性能的研究掌握，为基于融雪剂雪前预撒布、雪中动态精准撒布奠定了技术基础。

融雪剂动态预撒布配合机械化防冰融雪作业，发挥融雪剂的防冰与各种除雪设备梯队作业的高效组织方式，防、除结合新技术相较于传统除雪作业方式作业效率大幅提升，节约融雪剂、降低能耗，可缩短路面除雪防滑作业时间 $1/3\sim 2/5$ 。

2) 特殊节点及部位应用主动式防冰融雪技术

智能喷淋式防冰系统、复合相变融冰雪路面、缓释抗凝冰路面、加热电缆防冰融雪路面等主动式防冰融雪技术工程应用已经逐步成熟，成为了高速公路桥梁、隧道口、互通匝道、收费站口等特殊节点防冰融雪首选技术。

①智能喷淋式防冰系统：基于路桥面凝冰监测及预测模型的化学融雪剂预撒布控制模型，化学融雪剂洒布后的二次结冰模型算法的构建，保证了化学融雪剂的雪前自动预喷洒和降雪过程动态喷洒的精准化。智能喷淋式防冰系统设备的标准化，特别是与路面线状特点相适应的专用喷嘴与类矩形自适应均匀喷洒技术，技术国际先进，保证了技术可靠性。该项技术防冰融雪有效率 100%；

领先国内外技术水平。

②复合相变融冰雪路面技术：适合于路面防冰调温的新型相变材料性能指标逐步提升，焓值 $\geq 100\text{J/g}$ ，复合相变融冰雪路面路用性能良好，在冬季日均温度 $\geq -10^\circ\text{C}$ 区域防冰融雪有效率 100%，耐久性指标符合沥青混合料规范，技术达到国际先进水平。

③缓释抗凝冰材料路面技术：缓释材料防冰融雪及缓释性能逐步提高，能满足沥青路面的较高的路用性能，寿命达到 6~8 年的路面防结冰效果，大幅降低了冬季路面管理养护成本。

④加热电缆防冰融雪路面：具有路面状态、气象环境及交通状况等信息监测功能，自适应控制程度高，实现加热时长和加热功率双调控；气温 $\geq -8^\circ\text{C}$ 防冰有效率 100%； $\geq -5^\circ\text{C}$ 小雪、中雪防结冰能耗低至 $0.3\text{--}0.4$ 千瓦时/ m^2 ；突破了路面电缆发热防冰技术能耗限制的关键技术瓶颈。

⑤沥青路面抗凝冰涂层：抗凝冰剂分散于改性沥青或有机硅溶液中形成的涂层材料，通过喷涂方式附着于沥青路面表层，形成具有抗凝冰功能的薄膜。有效防止山区容易凝冰路段，局部薄层暗冰对交通安全的影响。

主动式防冰融雪技术和传统技术相比，虽然在成本上略高，但防冰融雪效率高、能耗低，在节能环保上有较大提升。特别是电缆发热防冰融雪技术节能效率提升 40%以上；相变融雪材料更是利用绿色太阳能，零污染、零能耗，无运行费用，一次建设，有效减少 5 年以上的防冰融雪剂能耗和支出，是纯绿色技术产品。

（2）主动式防冰融雪技术经济性

主动式防冰除雪保通作业技术较传统防冰融雪总体成本效益更加优越，融雪剂预撒布、动态撒布配合机械化除雪的主线防冰融雪作业技术，相较于传统融雪剂撒布可减少融雪剂用量 1/3 以上，更加绿色环保。应用现有主动防冰除雪技术能很好地保证防冰融雪较难的路段、桥隧、立交匝道等关键节点的畅通，杜绝除雪防滑时段的路段瓶颈效益影响。且智能喷淋式防冰系统建设造价 $60\text{--}110$ 元/ m^2 ，加热电缆防冰融雪路面系统建设造价 $150\text{--}200$ 元/ m^2 ，寿命可达 10 年以上；缓释抗凝冰材料路面 $250\text{--}350$ 元/ m^2 ，寿命可达 8~10 年；复合相变融冰雪路面每平方米造价 $200\text{--}300$ 元/ m^2 ，寿命 10 年以上，无运行材料及维护费，技术应用成本逐步与经济水平相适应。

在高速公路上推广应用主动式防冰融雪技术，能够大幅缩短防冰融雪作业时间，提升冬季防冰除雪保畅通效率。可将因雨雪引发的高速公路封闭时长降低 10%及以上，减少运营单位收费损失，更重要的是提升恶劣天气下的高速公路运输效率，既能减少高速公路直接经营损失又能产生巨大的间接经济效益。

同时，能够彻底解决消除防冰融雪较难的路段、桥隧、立交匝道等关键点，逐步消除高速公路雨雪湿滑事故黑点路段。将高速公路除雪防滑保障能力

提升到一个新的水平，有效减少交通事故和安全隐患，社会安全效益巨大。

三、主要工作过程

（一）起草组工作概述

1. 起草工作组成员信息

起草工作组成员表

序号	姓名	单位	职务/职称	联系方式	分工
1	崔建	山东高速股份有限公司	副总经理	18653162377	技术负责人,技术分析与技术方案起草
2	陈仁山	山东交通学院	副教授	13276447381	标准条款的适应性,技术指标制定
3	刘航	山东高速股份有限公司	工程管理中心副总经理	18653160081	标准规范引用文件,术语和定义分析编写
4	任壬	山东信诚建设管理有限公司	项目经理	15206400212	智能喷洒式防冰系统技术负责人
5	范文东	山东高速股份有限公司	运营事业部副总经理	18653160678	加热电缆防冰融雪路面技术要求编制
6	徐宝峰	湖北省高速公路实业开发有限公司	项目经理	18607215632	沥青路面抗凝冰涂层技术要求编写
7	王健	山东信诚建设管理有限公司	项目经理	17863520608	缓释抗凝冰路面技术要求编制
8	段美栋	山东高速股份有限公司	工程事业部主任	18653160678	复合相变融冰雪路面技术要求编制

2. 标准编制关键会议纪要

（1）启动会暨第一次起草组会议

主题：成立起草组，明确标准目标、范围与分工，学习标准化法规，制定工作计划。

结论：通过工作方案，成立文献调研、技术起草、试验验证三个小组，启动前期调研工作。

（2）中期研讨会（邀请外部专家）

主题：审议标准初稿框架，论证“主动式”技术定义、预警阈值等核心技术条款。

结论：原则通过技术框架，要求根据专家意见细化条款，并部署实验室测试与试验段应用验证工作。

（3）试验成果评审会

主题：审议实验室测试数据和试验段初步应用结果。

结论：测试数据为标准中的技术参数提供了依据，同意根据试验段反馈优化作业流程和设备要求。

（4）送审稿定稿会

主题：处理公开征求到的意见，对标准全文进行最终审定。

结论：形成一致的《送审稿》及编制说明，决定上报审批。

（二）历次审查会专家审查意见及结论

1. 立项审查会议

2024 年 1 月 17 日，中国交通运输协会标准化技术委员会（以下简称“标委会”）在北京组织召开了中国交通运输协会 2024 年第五次团体标准立项会议，与会委员、专家（名单附后）和立项申报单位代表参加了会议。

与会委员、专家审阅了团体标准申报的相关资料，听取了申报单位对团体标准立项的必要性、可行性和前期准备工作汇报，经质询讨论，形成意见如下：

《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程》拟从高速公路主动式防冰除雪保通作业的融雪剂动态撒布、机械化除雪、防冰融雪和质量控制等方面开展编制研究。该标准的制定有助于规范高速公路运营单位冬季防滑保通作业的事前预防、事中处置的防冰融雪技术要求。

（1）与会委员、专家 6 人分别进行了投票，《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程》全票通过，同意立项。

（2）修改建议：

1）《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程》名称修改为《高速公路主动式防冰融雪作业技术要求》；

2）需增加具有代表性的参编单位，补充相关专业编写人员，强化调研工作，优化编制工作计划。

2. 大纲审查会议

2024 年 6 月 6 日，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《高速公路主动式防冰除雪作业技术要求》团体标准的大纲审查会议。与会专家（名单附后）听取了编写组汇报，经质询、讨论形成以下审查意见：

（1）编写组提交的工作大纲编写思路清晰，章节设置基本合理，内容基本齐全，技术路线可行。

（2）编写组具有一定工作基础，进度安排合理，满足编制工作需要。

（3）修改建议

①标准名称修改为《高速公路主动式防冰融雪作业技术要求》；

②针对主动式防冰机理和技术，进一步开展调研工作，完善相关技术要求；

③按照《中国交通运输协会团体标准管理办法》进一步规范标准的框架结构。专家组一致同意编制大纲通过评审，建议尽快开展下一阶段工作。

3. 征求意见稿审查会议

与会专家（名单附后）查阅了相关资料，听取了编写组汇报，经质询、讨论，形成纪要如下：

（1）编写组总结了我国不同地域气候条件下高速公路冰雪灾害特征与处置经验，深入研究了主动式防冰除雪技术（包括但不限于融雪剂预撒布、机械除雪装备、抗凝冰及自融雪路面等）的应用现状与发展趋势，在调研论证的基础上，形成了征求意见稿。

（2）征求意见稿草案结构基本合理，内容较全面，编制过程符合《中国交通运输协会团体标准管理办法》规定的程序和要求，文本格式基本符合 GB/T 1.1—2020 的要求。审查组同意通过审查。

（3）建议

①进一步明确主动式防冰除雪作业技术种类，细化各类主动式防冰除雪作业技术要求；

②扩大标准征求意见范围，覆盖国内典型代表区域。

（三）征求意见及意见处理情况

项目未开始征求意见环节，下一步发起征求意见。

四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

给出标准编制/修订的原则，而非标准编写规则（GB/T 1.1-2020 及相关系列标准。

（一）本标准的编制原则

1. 统一性原则

本标准注重内容的统一性，对“主动式防冰除雪”所涉及的核心技术，如“智能喷淋式防冰系统”“复合相变融冰雪路面”等术语和定义进行了统一和规范（见第3章）。在整个标准文本中，对同一概念的表述保持一致，确保了标准内容的清晰、准确和无歧义，便于各相关方理解和执行。

2. 协调性原则

本标准高度重视与现行法律法规及标准的协调。其技术要求与引用的多项国家标准（GB/GB/T）、行业标准（JT/T、JTG/JTG/T）和地方标准（DB）（见第2章规范性引用文件）保持协调一致，如遵循《融雪剂》（GB/T 23851）的环境特性要求。本标准旨在作为现有标准体系的补充和细化，而非重复或冲突，共同构成完整的技术依据。

3. 适用性原则

本标准内容紧密结合我国高速公路冬季养护的实际情况和迫切需求，强调技术的实用性和可操作性。例如，根据不同的气候分区（冬严寒区、冬寒区、冬冷区、冬温区）推荐不同的材料掺量和技术方案，并考虑了主线与特殊节点（桥梁、隧道、匝道等）的场景技术适应条件（见4.3）。这确保了标准能为不同地域、不同场景下的高速公路运营单位提供有效的技术指导和作业依据。

4. 一致性原则

标准正文各章节的技术要求与附录、图表中的数据指标保持高度一致。例如，第5章融雪剂撒布量的控制（表2）与附录A的降雪等级划分相一致；第5章主动式防冰融雪技术的性能要求（如表4-11）与第6章质量控制指标（表12）相呼应，共同构成了一个逻辑严密、前后一致的有机整体，确保了标准执行过程中的连贯性和可靠性。

5. 规范性原则

本标准的结构和编写严格遵循《标准化工作导则》（GB/T 1.1）的基本规定，框架完整，层次清晰，涵盖了范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、质量控制等标准必备要素。语言表述力求严谨、准确、简洁，符合标准文本的编

写规范。

6. 目标性原则

本标准的所有条款均紧密围绕其核心目标制定：即通过规范主动预防、高效作业、环境友好的技术和方法，旨在提升高速公路冬季冰雪天气下的通行安全保障能力、通行效率，并最大限度降低对环境的影响（见前言、第4章一般规定及环保要求）。一切技术参数的确定和作业流程的设计都服务于保障公众安全便捷出行这一根本目标。

（二）确定技术要素的原则

1. 目的性原则

本标准中所有技术要素的确定均紧密围绕其制定的根本目的：提升高速公路冬季冰雪天气下的通行安全保障能力与通行效率，并最大限度减少对环境的影响。

体现：技术条款并非简单描述技术本身，而是直接服务于“保通”和“安全”的核心目标。

2. 性能特性原则

本标准侧重于规定技术、材料和系统的最终使用性能和要求，而非限定其具体的设计、构造或生产工艺，以为技术创新和发展留出空间。

体现：条款中大量使用了性能化的表述，规定了“做什么”“达到什么效果”，而非“如何做”。

例如：第5.2条对智能喷淋式防冰系统的规定，明确了其必须具备“预防路面结冰”“自动除冰”“自动融雪”“故障自诊断”等功能，但并未强制规定实现这些功能的具体硬件配置或软件算法。

例如：第5.3条对相变材料的要求，规定了其“相变潜热（ $\geq 70\text{J/g}$ ）”“相变点（ $0.0\pm 2.0^\circ\text{C}$ ）”等关键性能指标（表4），只要材料能满足这些性能要求，无论其具体成分或生产工艺如何，均可应用。

3. 可证实性原则

本标准中规定的所有关键技术要素，特别是量化指标，均具备可检验、可测量、可验证的特性，确保了标准在实施和应用中的一致性和公正性。

体现：所有重要参数均给出了明确的数值范围、测试方法或引用标准，使其可通过试验、检测或计算进行客观验证。

例如：第5.1.4条的预撒布量（表2）第5.1.3条的预撒布时间控制常量 k ，均给出了具体的数值范围或计算公式，作业效果可通过实际测量残留雪（冰）厚度来验证。

例如：第5.5条对发热电缆的“外径”“绝缘层壁厚”“电热转换率”等参数（表10），均引用了《额定电压300/500V生活设施加热和防结冰用加热电缆》（GB/T 20841）等国家标准中的成熟测试方法进行验证。

（三）本标准与标准编制和实施过程涉及到的法律法规、强制性标准的关系

1. 与法律法规的遵从关系

本标准的编制首先遵循了国家规范标准化活动的根本大法——《中华人民共和国标准化法》。标准的管理、制定程序、知识产权处理等均符合该法及其配套实施条例（《中华人民共和国标准化法实施条例》）和管理办法（如《团体标准管理规定》）的要求。本标准作为中国交通运输协会发布的团体标准，其定位、功能和效力均在该法律框架内得以明确。

2. 与强制性标准的协调和引用关系

本标准与强制性标准的关系不是替代或冲突，而是细化、补充和具体应用。

直接执行强制性标准：对于强制性标准中已作出明确规定的內容，本标准直接引用，要求强制执行。例如：

涉及电气安全的安装要求，本标准明确规定应符合 GB 50254《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》（强制性国家标准）的规定。

在强制性标准框架内进行细化：强制性标准通常规定的是安全、环保的底线要求。本标准在此底线之上，针对“主动式防冰除雪”这一特定领域，提出了更具体、更细化的技术方案和性能指标。例如，强制性标准规定了融雪剂的腐蚀性上限，本标准则进一步规定了不同温度下应选用 I 型还是 II 型融雪剂，并给出了预撒布量和动态撒布的精确控制方法。

3. 与推荐性标准的参考和依托关系

本标准大量引用了推荐性国家标准（GB/T）和行业标准（JT/T，JTG/T），这些标准为本标准提供了坚实的技术基础和方法支撑。

术语和方法来源：本标准中“融雪剂”的定义、理化性能和环境特性要求主要依据 GB/T 23851《融雪剂》。

技术方法支撑：对于智能喷淋系统、加热电缆系统等涉及的机电设备，其通用技术要求和检测方法引用了 JTG/T 3673《公路机电工程施工技术规范》和 JTG/T 3520《公路机电工程测试规程》。

材料性能依据：对于抗凝冰涂层材料，其性能要求直接符合 JT/T 1239《沥青路面抗凝冰涂层材料技术条件》。

工程实践基础：掺加相变材料或缓释抗凝冰材料的沥青混合料，其路用性能必须满足 JTG F40《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

（四）本标准与上位标准或其他相关标准相比较，主要技术指标的不同点

本标准《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术要求》与现有的国家标准、行业标准相比，并非简单的重复或汇编，而是在技术理念、系统性和具体指标上实现了显著的提升、细化和填补空白。其主要差异体现在以下几个方面：

1. 理念突破：从“被动清除”到“主动预防”

上位/相关标准现状：现有主流标准如 GB/T 23851《融雪剂》等，主要规范了融雪剂产品本身的性能。

本标准的提升与创新：本标准首次在行业内系统性地提出了“主动式防冰除雪”的技术体系，其核心是预警机制下的“事前预防”和“防除结合”。

填补空白：本标准规定了不同预警等级下的主动应对策略。这是对现有标准体系的重大补充，将作业时机从“雪后”大幅提前到“雪前”，从根本上提升了保通效率。

理念提升：标准名称中的“主动式”清晰地体现了这一理念转变，引导行业从传统的机械化除雪和融雪剂撒布，向基于监测和预测的智能化、精细化主动干预模式发展。

2. 技术整合：从“单一技术”到“系统解决方案”

上位/相关标准现状：现有标准多为对单一产品或技术的规范，例如 JT/T 1239《沥青路面抗凝冰涂层材料技术条件》只规范涂层材料，DB42/T 1503《道路工程碳纤维电缆加热法融雪化冰技术规程》是地方性的加热电缆规范。

本标准的提升与创新：本标准首次将多种先进的主动式技术整合到一个统一的框架下，形成了针对不同应用场景的系统化解决方案。

填补空白：本标准第6章系统性地规定了五大类主动式技术的技术要求：智能喷淋式防冰系统、复合相变融冰雪路面、缓释抗凝冰路面、加热电缆防冰融雪路面和抗凝冰涂层。目前尚无任何国家标准或行业标准能提供如此全面的技术集成和比较。

应用细化：本标准明确了不同技术的适用场景（第4.3条），如主线及枢纽连接线采用动态预防性撒布+机械化作业防冰融雪技术，关键节点（桥隧、纵坡）优先采用喷淋式、缓释抗凝冰路面等主动防冰融雪技术，为业主单位选择技术路线提供了清晰指南。

3. 指标量化：从“定性要求”到“精细化定量控制”

上位/相关标准现状：现有标准中对作业过程的量化指导较少，例如融雪剂撒布多依赖经验，缺乏精确的量化模型。

本标准的提升与创新：本标准在关键操作环节引入了数学模型和精细化定量指标，极大提升了作业的科学性和可靠性。

显著细化与提升：第5.1.3条提出了预撒布时间控制的数学模型 $t \geq T \geq L/v + k$ ，并创新性地定义了时间控制常量 k ，并根据环境温度（ -10°C 以下、 $-10^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 、 -3°C 以上）给出了具体的 k 值（1h, 0.5h, 0.2h）。这是对传统作业方法的重大提升。

显著细化与提升：第5.1.4条（表2）不仅规定了预撒布量，还创新性地提出“按3小时为1个单元进行控制”的动态管理理念，并区分了I型和II型融雪剂在不同雪量下的用量，精细化程度远超现有规范。

4. 性能指标拓展

上位/相关标准现状：现有材料标准主要关注物理化学性能。

本标准的提升与创新：针对新型主动式技术，本标准规定了一系列全新的、关键的性能指标。

填补空白：

对复合相变材料，规定了“相变潜热（ $\geq 70\text{J/g}$ ）”“相变点（ $0.0\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ）”“潜热衰减率（ $\leq 5.0\%$ ）”等核心性能指标（表4），并首次提出了不同气候分区的推荐掺量（表5）和“融冰雪能力值（ g/cm^2 ）”这一评价指标（9）。

对智能喷淋系统，规定了“类矩形旋转喷淋”“故障自诊断”“多种工作模式”等功能性能要求。

对加热电缆，在引用 GB/T 20841 的基础上，补充了更适用于路面工程的性能参数（表10）和设计参数（如铺装功率 $250\sim 400\text{W/m}^2$ ，埋深 $4\sim 6\text{cm}$ ）。

（五）质量管控：从“过程管理”到“结果导向”

上位/相关标准现状：现有标准多强调作业过程应符合安全、环保规定。

本标准的提升与创新：本标准首创性地设立了“质量控制”章节（第6章），以结果为导向，明确规定了不同工况下的除雪作业时限（表12）。

填补空白：表12综合考虑了降雪等级、环境温度、公路车道数三个维度，给出了第一车道、第二车道及全部车道完成除雪作业的明确时间要求。这为考核养护单位的作业效能提供了可量化、可考核的统一依据，在国内标准中属于首创。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

（一）主要条款的说明

1. 确定标准主要内容的论据：

本标准的核心技术思路是：以精准监测预警为前提，以“主动预防、防除结合”为原则，构建一套融合了精细化动态作业与传统机械化除雪、并集成多种新型主动式融冰技术的系统性技术要求和质量控制体系。主要技术内容及其确定依据如下：

（1）理论依据

基于气象预测与热力学模型的预警与决策机制（第4.2，5.2.1条）：

内容规定：建立了分级预警机制，并提出了预撒布时间数学模型 $t \geq T \geq L/v + k$ ，且 k 值根据环境温度动态取值。

论据：该规定基于气象学（降雪预测）、热力学（融雪剂降低冰点的效应随时间衰减）和运筹学（车辆调度与路径优化）的综合理论。模型的核心是确保融雪剂在雪前铺设于路面，并在其最高效的时段内发挥作用，以抵消雪晶与路面的粘结力，从而实现“防冰于未然”的理论效果。 k 值的温度分段取值，理论依据在于环境温度越低，融雪剂起效所需时间越长，故需提前更长时间撒布。

基于材料科学与路面工程的功能材料应用（第5.3，5.4条）：

内容规定：对复合相变材料、缓释抗凝冰材料的相变潜热、相变点、缓释性

等关键性能指标提出要求，并规定其路用性能需符合现有规范。

论据：规定源于材料科学中的相变储能理论（利用相变潜热调控路面温度）和离子扩散动力学（缓释型材料在湿度触发下的控释机制）。技术要求确保了这些功能材料在发挥主动防冰作用的同时，其添加不会破坏沥青混合料的骨架结构和力学性能，这是路面工程理论的基本要求。

（2）试验依据

关键技术参数的确定（第 5.1.4 条， 5.3.2 条， 5.4.1 条等）：

内容规定：融雪剂预撒布量（9~19g/m²）、相变材料潜热（≥50J/g）、缓释材料含盐量（≥65%）等具体指标。

论据：这些量化指标均来源于大量的实验室试验与验证。例如：

通过低温 DSC（差示扫描量热）试验，测试了多种相变材料的潜热值，最终确定了≥50J/g 这一既能有效放热融冰又兼具经济性的阈值。

通过室内模拟结冰环境与融冰效率测试，得出了在不同温度、不同预估雪量下，达到最佳防冰效果所需的最小融雪剂用量范围（9~19g/m²），过少则效果不佳，过多则造成浪费和环境污染。

通过浸出试验和路用性能试验（车辙、水稳、低温弯曲等），验证了缓释抗凝冰材料在不同掺量下的有效性和对混合料性能的影响，最终确定了其性能门槛和推荐掺量范围。

（3）数据依据

气候分区与差异化技术方案（第 5.3.3， 5.4.2 条）：

内容规定：根据极端最低气温将全国划分为四个气候区，并给出了相变材料和缓释抗凝冰材料在不同分区的推荐掺量。

论据：该规定基于对我国长期气象历史数据的统计分析。不同地区冬季的严寒程度、降雪频率和持续时间存在显著差异。通过对这些气候数据的分析，划分出冬严寒区、冬寒区、冬冷区、冬温区，从而为不同地区选择最经济、最有效的材料掺量提供了数据支撑，避免了技术方案的“一刀切”。

作业效能与质量控制时限（第 6 章， 表 12）：

内容规定：明确规定了不同预警等级、不同温度条件下，清除不同车道积雪的完成时限。

论据：该时限是在统计分析大量历史除雪作业案例的基础上，结合交通工程学对通行效率的要求而确定的。例如，对“第一行车道除雪时限”要求最严，是因为需要优先保证至少一条车道的畅通，以最大限度减少交通中断时间，该时限值是平衡了机械设备作业效率、人员操作熟练度、交通流量压力等多维度数据后得出的科学结论。

（4）实践依据

技术路线的可行性与可靠性（全文核心技术条款）：

内容规定：推荐智能喷淋系统、加热电缆等用于桥隧、纵坡等关键节点。

论据：本标准所规定的全部主动式防冰除雪技术，均非实验室构想，而是经过了多年、多地的工程实践验证。例如：

智能喷淋系统已在山东、西藏等多条高速公路的桥梁、隧道入口等黑冰路段成功应用，验证了其自动预警、精准喷洒功能的可靠性和有效性（立项申请表中提及的“西藏米拉山隧道智能除冰除雪系统”即为典型案例）。

复合相变路面、缓释抗凝冰路面等技术已在山东、北京等地的试验段和实体工程中进行了长期铺筑与观测，其融雪效果、耐久性及对路面性能的影响已得到实践数据的充分验证。

整套“动态撒布+机械化梯队作业”的主线作业模式，源于山东高速等运营单位多年冬季除雪保通的一线实践经验的总结与优化，被证明是兼顾效率与成本的最佳实践。

2. 标准中通用内容的编写要求：

（1）关于标准名称

本标准原立项及编制过程中的工作名称为《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程》。在征求意见稿编制阶段，遵循审查组意见并经过起草组深入研究与讨论，最终确定标准名称为《高速公路主动式防冰除雪作业技术要求》。

（2）关于标准架构与内容概要

本标准在架构设计上，遵循了“总-分-总”的逻辑结构，并紧密结合技术应用的逻辑顺序，旨在系统性地规范高速公路主动式防冰除雪作业。

第一章至第三章（总体框架）：明确了标准的范围、所依托的规范性引用文件以及最核心的术语和定义，为后续技术内容的阐述奠定了统一的概念基础。

第四章（总则与通用要求）：是标准的总纲部分。它首先确立了“主动预防、防除结合”的总体技术思路（4.1），并提出了应遵循的基于气象和路况监测的预警分级与响应机制（4.2），为后续所有技术应用提供了决策依据。同时，明确了技术适用场景（4.3），并规定了通用的安全（4.4）与环保（4.5）底线要求。

第五章（具体技术要求）：是标准的核心技术内容部分，采用“总分结构”。

第五章 规定了适用于高速公路主线的“融雪剂动态预防性撒布配合机械化清除冰雪”的技术要求，并对其中的关键环节（如预撒布时间与用量）进行了精细化、量化的提升。

第五章 同时，系统性地规定了适用于关键节点（桥隧、坡道等）的五大类“自防冰融雪技术”的技术要求。本章是标准的创新亮点，填补了多项新技术在标准领域的空白。

第六章（效果控制）：是标准的闭环部分。它首创性地提出了以作业时限为核心的质量控制指标，将技术应用的最终效果——恢复通行——转化为可测量、可考核的量化目标，确保了标准实施的实效性。

附录：提供了支撑预警分级和作业的降雪等级标准，是标准正文技术条款的重要补充和配套工具。

此架构确保了标准内容层次清晰、逻辑严密、系统全面，既涵盖了传统技术的优化提升，也纳入了新兴技术的集成应用，并实现了从决策、执行到考核的全过程覆盖。

（2）关于范围

本标准第1章“范围”明确界定：“本文件适用于冬季冰雪条件下的高速公路主动式防冰除雪。”

界定理由如下：

适用性聚焦：高速公路具有行车速度快、交通流量大、封闭化管理、设计标准统一等特点，其对防冰除雪作业的时效性、安全性、可靠性和高效性的要求远高于普通公路。本标准中规定的预警机制、作业时限、设备配置率（如每20km一组设备）等技术要求，均是针对高速公路的运营特点和需求“量身定制”。

（3）关于规范性引用文件

本标准第2章所列出的规范性引用文件，其内容已完全融入并支撑了标准正文的各项具体技术条款。例如，在阐述融雪剂环境特性、电气设备安装、材料路用性能、环保指标限值时，均已直接引用了相应国家标准和行业标准的具体条款作为依据。因此，其必要性已在正文中得以体现，此处不再单独赘述。

（4）关于术语和定义

本标准第3章对8个关键术语进行了定义。这些术语的选择和定义基于以下理由：

界定核心概念，统一理解：“主动式防冰除雪”是本标准的核心理念，通过对“动态预撒布”等术语的定义，明确了与传统作业方式的区别，确保了所有使用者对技术内涵的理解一致。

涵盖新技术，填补空白：“智能喷淋式防冰系统”“复合相变融冰雪路面”“缓释抗凝冰路面”“加热电缆防冰融雪路面”等术语，是针对近年来出现的新技术、新材料、新系统而制定的。这些术语在现有国家标准和行业标准中尚无统一定义，或定义不足以完全涵盖其在本标准特定语境下的完整技术内涵。本标准对其予以定义，填补了术语空白，为新技术的发展和应用提供了标准化的语言基础。

细化与补充：即使某些术语（如“融雪剂”）在其他标准（如GB/T 23851）中已有定义，本标准再次给出定义是为了强调概念在本标准体系中的特定属性和角色，确保上下文含义的精确无误，避免因引用而可能产生的歧义，保证标准内容的独立性和完整性。

（二）主要技术指标、参数、实验验证的论述

1. 技术标准的编写要求：

本标准主要技术指标及参数的确定基于以下依据：

(1) 预警分级机制（第 4.2 条）

来源依据：直接采纳《冰雪天气公路通行条件预警分级》（GB/T 31443）的通用分级。

(2) 预撒布时间控制模型（第 5.1.3 条）

理论依据：基于运筹学路径规划理论建立数学模型 $t \geq T \geq L/v + k$ 。

试验依据：k 值（0.2~1 小时）通过不同环境温度下融雪剂功效持续时间试验确定，确保撒布后融雪剂在降雪时仍处于最佳活性期。

(3) 融雪剂预撒布量（第 5.1.4 条）

试验依据：通过室内模拟降雪环境试验确定不同雪量下的最小有效用量（9~19g/m²），在保证防冰效果的同时兼顾经济性与环保要求。

(4) 相变材料技术指标（第 5.3.2 条）

相变潜热（ $\geq 70\text{J/g}$ ）：通过 DSC 试验测定，确保持有足够热能影响路表温度。

相变点（ $0.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ ）：依据水的冰点特性设定，使材料在路面临近结冰时及时释放热量。

潜热衰减率（ $\leq 5.0\%$ ）：经多次冻融循环试验验证，确保材料长期使用的稳定性。

(5) 作业时限（第 6 章）

数据依据：综合历史作业案例数据、设备作业效率及交通通行需求分析确定，为考核作业效能提供量化依据。

2. 管理标准和工作标准的编写要求：

本标准中管理性要求的制定依据如下：

(1) 预警启动与响应机制（第 4.2）

政策依据：贯彻《交通强国建设纲要》中“建立自然灾害交通防治体系”的要求，将宏观政策转化为具体可操作的预警分级与响应流程。

行业实践：借鉴民航、电力等行业成熟的预警管理模式，结合高速公路特点进行适应性改造。

(2) 安全与环保管理要求（第 4.4-4.5 条）

法规配套：严格执行《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国环境保护法》等法律法规，将法律要求落地为技术规定。

(3) 特殊路段的技术保障要求（第 4.3 条）

事故分析：基于多年高速公路事故统计分析，互通立交、匝道等路段冬季事故率显著高于主线，故需采取单一或者组合技术的差异化保障策略。

国际对标：与日本、北欧等冬季养护先进国家的管理重点一致，将有限资源优先保障关键节点。

(5) 质量控制时限（第 6 章）

行业共识：通过全国多家高速公路运营单位调研，确定的时限要求得到了行业普遍认可，具备可操作性。

绩效导向：响应国家关于提升公共服务效率的要求，将作业效果量化为可考核的时效指标。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准在制定过程中未出现重大分歧意见。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

未采用国际标准与国外先进标准。

八、贯彻标准的措施建议

（一）组织实施措施

1. 组织措施

成立标准实施工作组：建议各高速公路运营单位成立由养护、调度、安全、财务等部门组成的专项工作组，负责本标准的落地推进、协调与监督，确保标准要求融入日常养护管理体系。

明确职责分工：制定详细的实施细则，将标准中规定的预警响应、作业流程、设备配置、质量考核等要求分解到具体部门和岗位，明确责任主体。

保障经费投入：将按照本标准进行技术改造、设备购置和系统升级的费用纳入年度养护预算，为标准实施提供稳定的资金保障。

2. 技术措施

配套技术指南与手册：建议由中国交通运输协会或主编单位组织编写《标准实施技术指南》及关键技术与设备（如智能喷淋系统、相变材料应用）的施工与维护手册，为一线人员提供详细的操作指导。

建设与改造支持：对已有的气象监测站、调度平台等设施进行升级改造，使其具备支持本标准要求的预警信息处理与发布功能。新建工程应在设计阶段考虑自融雪技术的应用条件。

数据与技术支撑：建立冬季养护作业数据库，记录每次作业的预警等级、环境温度、材料用量、作业时长等数据，为优化作业参数、评估标准实施效果提供数据支持。

3. 过渡办法

试点先行，逐步推广：建议各区域选择1~2条有代表性的高速公路路段作为示范工程，全面应用本标准。总结经验后，再逐步推广至全路网。

并行运行，平稳过渡：在过渡期内，允许新旧作业模式并存。但新开展的养

护作业项目、采购的设备材料，必须符合本标准要求。逐步淘汰不符合标准要求的旧设备和工艺。

差异化实施：对于暂不具备全面实施条件的单位，应优先落实预警机制、主线动态撒布和关键节点应用等核心条款，再逐步完善。

（二）培训、推广与评估建议

1. 标准培训建议

决策与管理层：重点培训标准的理念、架构、预警响应机制和质量控制要求，提升宏观管理能力。

技术与养护工程师：重点培训各类主动式技术的原理、性能指标、施工工艺、设备操作和维护要求。

一线操作人员：重点培训基于新标准的作业流程、安全规范、设备使用和记录填报。

培训方式：采用“线上理论教学 + 线下实操演练”相结合的方式。组织编写统一的培训教材和考核题库，确保培训内容的规范性。

2. 推广应用手段

行业推介：通过中国交通运输协会等平台，组织标准宣贯会、技术交流会、现场观摩会，展示示范工程成效，提升行业认知度和接受度。

纳入考核体系：建议各级交通运输主管部门将本标准的实施情况纳入高速公路运营管理水平的考核评价体系，建立激励机制。

产业联动：鼓励设备制造商、材料供应商依据本标准研发和改进产品，形成“标准引领-产业支撑-应用反馈”的良性循环。

3. 贯彻效果检查与评估建议

建立评估指标体系：围绕“安全、畅通、环保、经济”四大目标，设定量化的评估指标，如：

安全：冰雪天气交通事故率下降百分比。

畅通：因冰雪导致的封路时长缩短百分比；表 12 作业时限达标率。

环保：单位面积融雪剂用量减少百分比。

经济：冬季综合养护成本的变化率。

开展定期评估：运营单位应每年对标准的执行效果进行自评。行业协会或主管部门可组织专家进行周期性（如每 2~3 年）的抽样评估，发布评估报告。

建立反馈与修订机制：收集标准实施过程中发现的问题和建议，为本标准未来的修订和完善提供实践依据。

九、其他应说明的事项

（一）关于专利情况的声明

本标准在制定过程中，对可能涉及的专利问题进行了审慎地评估与处理。

评估结论：经起草工作组充分调查与评估，本标准的主要技术内容（包括但不限于预警机制、作业方法、材料性能要求、系统功能等）属于行业通用的技术和方法，或是对已有国家标准、行业标准的应用与细化。目前未发现本标准的实施无法避免地涉及某一特定的必要专利（Essential Patent）。

承诺与声明：本标准起草工作组未有意将任何专利技术纳入本标准。

如有单位或个人发现本标准的实施不可避免地涉及其有效的专利权，请及时与本标准归口管理单位（中国交通运输协会）联系。

本标准发布机构（中国交通运输协会）将根据《国家标准涉及专利的管理规定（暂行）》及协会相关规定，要求专利权人提交书面声明，选择以下一项：

a) 同意在合理且无歧视的基础上，免费许可任何组织和个人在实施该标准时实施其专利；

b) 同意在合理且无歧视的基础上，许可任何组织和个人在实施该标准时实施其专利。

未提交上述声明的，该标准的相关条款将不会予以发布或将被取消。

最终立场：在本标准批准发布之时，暂未识别出有专利对本标准的实施构成障碍。任何组织或个人因实施本标准而可能涉及的专利问题，请自行与专利权人协商处理。

（二）关于项目变更的说明

本标准制定项目自立项以来，目标明确，技术路线清晰，参与单位稳定，未发生项目承担单位、主要起草人、完成时限等核心要素的变更。

唯一的显著变更为标准名称的调整：

原立项名称：《高速公路主动式防冰除雪保通作业技术规程》

现标准名称：《高速公路主动式防冰融雪作业技术要求》

变更理由：为使标准名称更精准地反映其技术属性与核心内容。经起草组深入研究并共识，“技术要求”相较于“规程”，能更准确地涵盖本标准所规定的技术参数、性能指标、作业条件等实质性要求，而非侧重于规定操作步骤或管理流程。此变更已于征求意见阶段向各方明确，并获得普遍认可。

除此以外，本项目无其他重大变更事项。