

# 恶劣天气下公路运输安全风险预警与应急处置机制

孙晓天

锡林郭勒盟交通运输综合行政执法支队，内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市，026000；

**摘要：**本研究立足于经济社会发展的战略需求，致力于构建一套集风险预警与应急处置于一体的综合治理框架。在实践层面，研究成果旨在为交通管理部门提供精准化的预警决策工具、系统化的应急处置方案和最优化的资源调配策略，从而有效提升公路运输系统在恶劣天气下的快速恢复能力。研究通过多源数据融合、智能算法模型和协同机制设计，着力突破当前管理实践中的瓶颈问题，为实现“从被动应对到主动保障”的治理模式转型提供实践路径。

**关键词：**恶劣天气；公路运输；安全风险；预警机制；应急处置；风险管理

**DOI：**10.69979/3041-0673.26.04.089

## 引言

暴雨倾盆、团雾突袭、冰雪覆路等极端气象条件已从偶发威胁转变为常态化风险，严重侵蚀着公路网络的安全运行基础；同时，我国公路通车里程不断增长，路网结构日趋复杂，交通流密度不断加大，使得天气因素与交通系统脆弱性的交织作用愈发凸显。

面对此严峻形势，传统依赖于事后响应、部门分割的粗放式安全管理模式已显得力不从心，暴露出预警精度不足、响应联动不畅、资源配置不优等系统性短板。基于此，文章就恶劣天气下公路运输安全风险预警与应急处置机制，展开了相关研究，以供参考。

## 1 恶劣天气下公路运输安全风险特征分析

### 1.1 恶劣天气的危害机理

恶劣天气实质上是一个动态的危险源系统，通过直接与间接路径深刻侵蚀着公路运输安全体系的各个基础环节。

第一，其危害机理首先作用于驾驶员的感知决策操作链。大雾、暴雨、扬沙等直接造成视距障碍，可视范围压缩至危险临界，使驾驶员对前方路况、车辆动态的预判能力急剧下降；同时，风雪交加、电闪雷鸣的压迫性环境，极易诱发驾驶员的紧张、焦虑心理，导致操作变形（如方向盘不稳）或采取急刹、猛拐等过激补救措施。

第二，恶劣天气的危害也体现在对车辆行驶物理状态的颠覆性改变上。雨水、冰雪在路面形成的液态或固态水膜，犹如在轮胎与路面间注入了一层极不稳定的“润滑剂”，路面附着系数断崖式下跌，车辆制动距离成倍延长，转向与侧向稳定性严重丧失，侧滑、甩尾、跑偏成为瞬间失控的常态。

第三，特定天气会引入额外的物理干扰。强横风，特别是作用于车辆侧向投影面积较大的大型客车、货车

上时，会产生巨大的侧向力。在桥梁、隧道出口、山口等特定路段，此侧向力足以使车辆偏离原有行驶轨迹，酿成碰撞、侧翻或倾覆事故。

由此可见，恶劣天气的危害机理是系统性的。它是从“人一车一路一环境”系统协同中多点切入，瓦解其安全冗余与防御能力，最终通过链式反应触发交通事故。

### 1.2 风险易发的道路与路段类型

在恶劣天气的侵袭下，公路网络的脆弱性并非均匀分布，而是在特定的地理与结构节点上被急剧放大。识别这些高风险路段是进行精准预警和防控的前提。

第一，山区公路与沿河临崖路段首当其冲，其线形多由急弯、陡坡与连续下坡构成，本身就对车辆性能与驾驶技术提出更高要求。当雨雪降临，坡道因附着系数下降使车辆上行困难、下行险象环生，制动系统在长下坡中易因热衰退而失效；同时，这些路段也是滑坡、泥石流等次生灾害的易发区，进一步封堵了逃生与救援通道。

第二，大中桥梁、高架路段与敞开式路基因其完全暴露于大气环境中，失去了地温的调节与地物的遮挡，导致容易路面结冰。桥面温度通常低于毗邻的普通路基，在降水或低温时会更早、更快地形成黑冰或薄冰，成为整个路网中隐藏的“冰点”。

第三，高速公路的互通立交区、服务区出入口与长隧道群衔接带是另一类风险焦点，这些区域车流交织复杂，车辆频繁加减速、变道。在雾、暴雨等低能见度条件下，驾驶员难以清晰辨识指路标志和相邻车辆的动态，极易发生错过出口后急停、倒车或连续变道等致命错误，加之湿滑路面，使得追尾、碰撞事故概率陡增。

第四，公路的低洼路段与排水不畅区域在强降雨时迅速转化为积水区，车辆驶过会激起水幕瞬间遮挡视线，轮胎完全失去与路面的接触（水滑现象），转向与制动

瞬间失灵。

## 2 恶劣天气下公路运输安全风险的预警机制

### 2.1 风险监测要素体系

#### 2.1.1 气象监测

现代公路气象监测已超越传统气象站的单点温度与湿度测量，形成了一个集成多种技术手段的“天-空-地”一体化的立体传感网络，旨在实现对公路交通气象环境的全方位、精细化感知。

(1) 在“天基”层面，主要利用空间技术对大规模天气系统进行追踪。利用气象卫星云图，追踪大尺度天气系统（如锋面、气旋）的移动路径和发展趋势，为区域性的天气预警提供宏观依据。

(2) 在“空基”层面，雷达技术是核心，用于监测大气中的降水粒子。借助多普勒雷达反射率，动态监测区域降雨强度、冰雹云团的结构演变，并提供降雨的定量估算。

(3) 在“地基”层面，通过在公路沿线直接布设传感器获取数据。通过布设于公路沿线的移动气象站，实时获取路段的地面温度、湿度、风速风向、降水量及能见度等精细化数据。

针对“团雾”“黑冰”、短时强降水等具有突发性的小尺度天气现象，要利用高密度、高精度的微型传感器与雷达数据，进行短临预报（提前数分钟至数小时），从而为后续启动应急响应、发布预警信息赢得宝贵的决策窗口期。

#### 2.1.2 道路监测

(1) 路表状态实时监测：道路监测的任务是实时评估路表状态及其结构安全性，主要包括路面附着系数、积水/积雪/结冰厚度、路面温度以及可视距离。先进的道路状态传感器和遥感技术能直接或间接测量这些参数，例如通过光学传感器判断路面积水情况，通过被动式红外传感器监测路面温度是否接近冰点；同时，遍布全路的视频监控系統，不仅用于确认天气实况，也能直观判断能见度变化与交通流状态。

(2) 基础设施结构安全监测：对于山区公路边坡、桥梁隧道结构体的稳定性监测十分重要。通过在易发地质灾害点安装的位移、应力传感器，提前感知滑坡、崩塌的风险，防止因道路基础设施损毁而引发重大次生灾害。

#### 2.1.3 车辆监测

车辆是风险作用的最终承载体，对其运行状态的监测是实现精准化预警的必要手段。车辆监测要素主要分为运行参数与异常行为两类。运行参数可通过车载智能终端获取，包括实时车速、加速度、制动频率、灯光使用情况以及胎压等，这些数据能间接反映驾驶员对当前

恶劣天气的应对策略是否得当；异常行为监测则主要通过路侧单元和视频 AI 分析技术实现，如在能见度不良或湿滑路段，系统可自动识别出车速显著高于车流平均值、未保持安全车距、频繁随意变道等高风险驾驶行为。

通过对海量车辆轨迹的汇聚分析，可以绘制出全网的风险热力图，定位异常交通流状态，为实施个性化的预警信息推送提供依据。

#### 2.1.4 人员监测

职业驾驶人的监测是当前的重点，可通过车载 DMS 实时捕捉面部特征（如眨眼频率、打哈欠、头部位置等），有效识别疲劳驾驶与分心驾驶（如使用手机）状态。结合车辆运行数据，可以综合评估驾驶人在恶劣天气下的应激反应。从更广义的层面看，人员监测也包括对在途驾驶人行为行为的宏观洞察，如通过交通流量、平均速度、出行 OD 等数据，分析其在恶劣天气预警发布后的路径选择变化，预判路网节点的交通压力。

## 2.2 分级预警指标体系

分级预警指标体系的设计遵循动态性与综合性原则，深度融合气象、道路、交通流等多维要素进行耦合分析。例如，同样强度的降雨，在排水良好的平直路段与早已饱和的急弯坡道所引发的风险等级截然不同；一场预报中的小雪，对于地表温度高于 0℃ 的午后和低于 0℃ 的深夜所产生的实际影响也天差地别。

基于此，我们构建一套通常划分为蓝、黄、橙、红四级的预警体系。蓝色预警表征风险初现，提示各方关注并开始基础准备；黄色预警意味着风险已明确对交通构成实质性影响，要启动限速、间距控制等主动性管制措施；橙色预警标志风险显著升高，事故概率大增，此时应考虑对大型车辆、化学危险品车辆的限行以及必要的交通分流；最高级别的红色预警则意味着极端条件已经或即将出现，部分路段可能完全丧失安全通行条件，必须果断采取封闭道路等最高强度管制，以绝对安全为第一要务。

## 2.3 预警发布机制

预警发布机制的效能直接决定了前期所有监测、研判工作的最终价值，目标是保证关键信息在正确的时间、通过正确的渠道、以正确的方式触达正确的对象。一个高效的发布机制必须具备全覆盖、高时效与强触达的特征。

第一，在发布渠道上，其必须构成一张立体化的信息网络。综合利用公路沿线的可变信息标志（LED 屏）和路侧广播，进行路段级提示；联动主流导航应用（如高德、百度），实现向在途车辆的个性化推送；通过交通广播、社交媒体官方账号、短信平台等大众媒介，实现对社会公众的广泛覆盖。

第二,在发布内容上,信息必须简洁权威且具备强行动指引性。信息要清晰说明恶劣天气的类型、强度、影响范围与预计时间,更要明确告知受影响路段及推荐的安全驾驶行为。例如,“G2京沪高速K105-K110段团雾,能见度低于50米,请开启雾灯、双闪,就近驶入服务区或驶离高速”。

第三,发布机制要实现信息的动态刷新管理。根据事态发展,实时更新预警信息和管控措施,在预警解除后第一时间通过所有渠道广而告之,恢复正常交通秩序,形成完整的管理闭环。

### 3 恶劣天气下公路运输应急处置机制构建

#### 3.1 应急组织体系

传统的条块分割、各自为战模式已无法应对恶劣天气引发的复杂链式风险,必须确立一个常态化的跨部门应急指挥机构。通常由属地政府或最高层级的交通主管部门牵头,整合公安交管、气象、应急管理、消防、医疗救护、环境监测乃至军队等力量。该体系应遵循“扁平化、合成化”原则,在应急状态下迅速转化为实体化的联合指挥部,决策指令要能一竿子插到底,直达一线作战单元。

指挥体系内部要明确界定各成员单位的职责边界。交通管理部门负责路况研判、抢险保通与交通管制方案制定;公安交管力量负责现场秩序维护、车辆分流与管制措施执行;气象部门负责提供滚动的精准天气预报;消防与医疗则专司生命救援。要求在指挥部的统一调度下,实现信息实时共享,形成一体化响应链条。

#### 3.2 应急响应流程

一个成熟的响应流程应严格遵循“预防与准备、监测与预警、响应与处置、恢复与评估”的闭环管理逻辑。

##### 3.2.1 预警触发与级别判定

在预警触发后,响应流程立即启动,指挥部根据分级预警指标体系迅速判定响应级别,据此调动相应规模的应急资源。

##### 3.2.2 梯次化响应与处置

响应与处置阶段呈现出清晰的梯次化特征。

(1)初期:以“保安全”为首要目标,果断采取限速、控距、危险品车辆禁行等主动性管制措施,防止事故的发生。

(2)中期:随着事态升级,处置重心转向“疏交通”与“抢畅通”,利用邻近路网实施远程分流,引导在途车辆绕行风险区域;同时,抢险队伍迅速出击,开展除冰除雪、积水强排等作业。

(3)后期:一旦发生交通事故,流程立即切入“快救援”模式,现场指挥部统一协调清障、消防、医护力

量,以抢救生命为最高原则实施破拆、急救与转运,同步进行现场勘查,最大限度缩短道路中断时间。

##### 3.2.3 恢复、评估与提升

在整个过程中,既要指导公众安全出行,也要回应社会关切。当险情消除后,有序恢复交通,对本次应急响应的全过程进行复盘,总结经验、查摆不足,把教训转化为改进预案,实现应急能力的螺旋式上升。

### 3.3 应急资源保障

第一,在物资与装备方面,要在全面评估路网风险分布的基础上,科学规划区域性应急物资储备库,战略性地储备融雪剂、防滑料、草垫、燃料等消耗性物资,配足配强除雪车、洒布机、大型清障车、排水泵、应急照明车、移动式可变信息标志等重型专业装备。应急资源应根据历史灾情,优先部署于已识别的风险路段周边,关键时刻要能够拉得出、用得上。

第二,在技术保障层面,强大的智慧公路云控平台能整合实时路况、资源位置、队伍状态等全要素信息,利用数据模型为资源优化调配提供决策支持,实现“车路云一体化”协同。

第三,最为能动的是人力资源保障,包括组建专业化的常备应急救援队伍,要对其进行常态化的技能培训与跨部门联合演练;同时,与沿线社会力量(如专业的工程公司、物流企业)建立可靠的协作关系,将其纳入预备力量体系。

## 4 结语

本文系统构建了覆盖“风险识别—预警发布—应急处置”全链条的公路运输安全防控体系,通过建立立体化监测网络与分级预警指标,实现了风险感知与超前警示;依托跨部门协同的应急响应流程,确保了救援行动的高效有序。该机制为提升公路运输在极端天气下的安全保障能力提供了系统性解决方案,对保障国民经济畅通具有重要实践价值。

#### 参考文献

- [1]高雪,常铮,所晏庆.高速公路受恶劣天气气象灾害风险影响与应对策略研究——以黑龙江省为例[J].中国减灾,2025(3):60-61.
- [2]谢克勇,基于5G+人工智能的高速公路恶劣天气行车安全灾害预警示范应用技术.江西省,江西省气象服务中心,2023(9):8.
- [3]肖志军,栾利强.高速公路强风恶劣天气下车辆行车安全性分析[J].公路工程,2015,40(5):241-244.
- [4]朱晓东,罗瑞琪.高速公路二次事故风险预警与可变限速控制策略研究[J].交通与运输,2024,40(2):30-34.