

公路安全工程管理中的风险预警与应急管理体系研究

吴玉玲

河南公路项目管理有限责任公司 河南 郑州 450053

摘要:我国公路交通网络扩张、运输需求猛增,公路交通安全形势复杂严峻,传统管理模式难有效应对事故与突发事件。构建科学、高效、智能的风险预警与应急管理体系,是提升公路安全管理水平、保障人民安全与社会经济稳定的核心任务。本文先系统阐述公路安全工程管理中风险预警与应急管理的内涵、特征及关系;接着深入剖析当前体系在风险识别、数据融合、预警模型、应急响应协同等方面的问题;基于“全周期、全要素、全链条”理念,提出“智能感知-动态评估-分级预警-协同联动-复盘优化”的新型体系框架;最后从技术、制度、能力建设三维度论述关键支撑要素并展望未来。研究表明,融合新一代信息技术与风险管理理论构建一体化、智能体系,是公路交通安全治理现代化的必由之路。

关键词:公路安全工程;风险预警;应急管理;智能交通;韧性交通

引言

公路交通作为国民经济的大动脉和民生保障的重要基石,其安全状况直接关系到人民群众的生命财产安全和社会经济的高质量发展。截至2025年底,我国公路总里程已突破540万公里,其中高速公路超过18万公里,庞大的路网规模在带来巨大便利的同时,也伴随着日益凸显的安全风险。传统的公路安全管理多侧重于事后事故调查与责任追究,以及静态的设施维护,缺乏对潜在风险的主动识别、动态评估与超前干预能力。这种“头痛医头、脚痛医脚”的模式,难以从根本上遏制事故的发生。在此背景下,将风险管理的关口前移,构建集风险预警与应急管理于一体的综合性、前瞻性管理体系,不仅是落实国家关于“统筹发展和安全”战略部署的具体体现,更是推动公路交通行业向本质安全、智慧安全转型的内生要求。因此,本研究旨在系统探讨公路安全工程管理中风险预警与应急管理体系的构建路径,为提升我国公路交通安全治理水平提供理论参考与实践指导。

1 公路安全工程管理中风险预警与应急管理的内涵解析

1.1 风险预警的内涵与特征

在公路安全工程语境下,风险预警是指运用系统化的监测、分析与预测手段,对可能引发交通事故或导致公路通行能力严重下降的各类危险源(如不良线形、路面病害、恶劣天气、车流异常、驾驶员行为失范等)进行早期识别、动态评估,并依据预设的阈值和规则,提前向相关管理部门、运营单位乃至出行公众发布警示信息,以促使其采取预防性措施,从而规避或减轻潜在损失的过程^[1]。其核心特征包括:(1)前瞻性:强调“防

患于未然”,在风险事件实际发生前发出信号。(2)动态性:风险状态随时间、环境、交通流等因素不断变化,预警需实时更新。(3)分级性:根据风险的严重程度、影响范围和紧迫性,实施不同级别的预警响应。(4)协同性:预警信息的有效传递与利用,依赖于跨部门、跨层级的信息共享与行动协同。

1.2 应急管理的内涵与特征

应急管理则是指在公路突发事件(如重大交通事故、自然灾害、公共卫生事件、恐怖袭击等)发生后,为迅速控制事态、减少人员伤亡和财产损失、尽快恢复交通秩序而进行的一系列有组织、有计划的响应、处置与恢复活动。它是一个包含预防与应急准备、监测与预警、应急处置与救援、事后恢复与重建四个阶段的闭环管理过程。其核心特征包括:(1)突发性:事件发生往往具有不可预见性和紧迫性。(2)复杂性:涉及多方主体(交警、路政、消防、医疗、气象、通信等),协调难度大。(3)时效性:“黄金救援时间”至关重要,要求快速决策与高效执行。(4)系统性:需要整合资源、统一指挥、协同作战。

1.3 风险预警与应急管理的耦合关系

风险预警与应急管理并非割裂的两个环节,而是构成一个有机整体的“一体两翼”。风险预警是应急管理的前端延伸和重要输入,高质量的预警信息能够为应急准备提供充足的时间窗口,使预案启动更具针对性,资源配置更加精准。反之,应急管理过程中积累的实战经验、暴露的薄弱环节以及对风险演化规律的新认知,又能反哺风险预警模型的优化与迭代,提升其准确性和实用性。二者相互促进、循环增强,共同构成了公路安全工程管理的“韧性”内核。

2 当前公路安全风险预警与应急管理体系存在的主要问题

尽管我国在公路安全管理和应急体系建设上进步显著,但面对复杂交通环境与新型风险挑战,现有体系仍问题重重。风险识别与感知能力不足,监测设备覆盖不全面,存在诸多盲区;监测维度单一,对动态微观风险因子感知有限;且多为被动响应。数据孤岛与信息融合壁垒突出,多部门信息系统标准不一、权责不清、共享机制缺失,影响综合研判。预警模型精准性与时效性欠佳,模型粗放、算法落后、阈值僵化。应急响应协同机制不畅,指挥体系不统一、预案可操作性差、资源调度不智能。此外,还缺乏有效复盘与学习机制,成功经验和失败教训未能有效转化,体系自我进化能力不足,这些问题都亟待解决。

3 构建一体化、智能化的风险预警与应急管理体系框架

针对上述问题,本文提出一个以“智能感知-动态评估-分级预警-协同联动-复盘优化”为核心逻辑的新型体系框架,旨在实现风险全周期、全要素、全链条的闭环管理。

3.1 智能感知层:构建全域覆盖的风险感知网络

该体系的基石在于构建一张无死角、多维度的风险感知网络。在基础设施层面,应广泛利用物联网(IoT)技术,在桥梁、隧道、高边坡、特殊路面等关键结构物上部署各类传感器,实现对其结构健康、路面湿滑结冰状况、地质位移等隐患的7×24小时连续监测。在交通运行层面,需深度整合ETC门架交易数据、视频AI智能分析结果、浮动车GPS轨迹、地磁线圈检测信息等多源数据,以精准刻画全路网的实时交通流状态,并能自动识别停车、逆行、抛洒物等异常事件^[2]。在环境气象层面,除了加密布设微型气象站外,还应融合卫星遥感影像和高精度数值天气预报模型,提供公里级甚至百米级的能见度、降雨、横风等精细化气象服务。长远来看,在确保个人隐私和数据安全的前提下,还可积极探索通过V2X(车联网)技术,安全合规地获取车辆OBD数据以判断其机械故障风险,并通过车载终端或匿名化的手机信令数据间接推断群体性的驾驶行为风险,从而将感知触角延伸至“人-车”这一核心单元。

3.2 动态评估层:建立多维融合的风险量化模型

有了全面的感知数据,下一步是将其转化为有价值的决策信息。这需要建设一个强大的公路安全数据中台,作为打破部门壁垒、汇聚治理多源异构数据的核心枢纽。在此基础上,应大力推动人工智能技术的应用,特别是

利用长短期记忆网络(LSTM)、图神经网络(GNN)等先进算法,构建一个能够融合“人、车、路、环境、管理”五大维度因素的动态风险评估模型。该模型不再是静态的,而是能够随着每一秒新数据的流入,实时计算出全网每一个路段、每一个时刻的综合风险指数,并动态标绘出风险热点区域。更进一步,借助数字孪生技术,可以在虚拟空间中构建与物理世界完全对应的公路场景,对特定风险(如一场即将到来的区域性冰雪天气)的扩散路径、对交通流的冲击强度以及可能引发的连锁反应进行高保真仿真推演,从而为预警发布和应急准备提供极具前瞻性的洞察。

3.3 分级预警层:实施精准靶向的风险信息发布

动态评估的结果需要通过一个智能预警引擎转化为具体的行动指令。该引擎应根据预设的、可动态调整的多级预警阈值(如蓝、黄、橙、红四级),自动判断当前风险等级并触发相应级别的预警流程。预警信息的发布必须做到精准和可操作,通过可变情报板(VMS)、主流导航APP、交通广播、短信推送等多种渠道,将具体、明确的警示信息(例如“前方5公里K120+500处因团雾能见度低于100米,请立即减速至60km/h以下,开启雾灯和双闪”)直接送达受影响区域内的每一位出行者、运输企业和沿线管理单位^[3]。与此同时,面向管理者的信息服务同样重要,路网管理中心和交警指挥中心应能同步接收到包含详细风险态势图、成因分析和辅助决策建议(如建议临时封闭入口、增加巡逻频次等)的综合报告,为其科学决策提供坚实支撑。

3.4 协同联动层:打造平战结合的应急指挥中枢

一旦风险预警升级为现实的突发事件,体系的核心便切换至应急响应模式。此时,一个基于地理信息系统(GIS)的“应急指挥一张图”平台将成为整个行动的神经中枢。这张图集成了实时路况、事件精确位置、周边应急资源分布、关联应急预案、关键联系人通讯录等所有关键信息,真正实现“看得清、叫得到、调得动”的指挥目标。为提升响应速度,应全面推行“情指行”一体化模式,即情报研判、指挥决策与一线行动高度融合、无缝衔接。指挥中心在接到警情后,能够一键启动匹配的应急预案,并通过集成的语音、视频、即时消息系统,直接向最近的交警、路政、消防、医疗等一线处置力量下达清晰、具体的指令。在资源调度上,系统应内置智能算法,能根据事件类型、地点和严重程度,自动匹配并规划最优路径,调度距离最近、功能最匹配的救援力量,并全程跟踪其行进状态,确保救援行动高效、有序。

3.5 复盘优化层:形成持续改进的闭环机制

每一次应急处置都是一次宝贵的实战检验，其价值不应止步于事件本身的结束。为此，必须建立一个强制性的、全过程数字化的记录与复盘机制。从预警首次发布，到应急响应启动、现场力量部署、交通管制实施，直至最终交通秩序完全恢复，所有关键节点的操作、通讯、决策都应被完整、客观地记录下来。在此基础上，组织跨部门专家团队，从事件响应时间、关键资源到位时间、交通恢复时长、社会舆情影响等多个维度，对整个处置过程进行多角度、全方位的效能评估^[4]。最终，将评估结论、专家点评、处置日志等结构化地沉淀到知识库中，用于反向驱动风险评估模型的参数校准、应急预案的细节修订以及培训演练案例库的丰富更新，从而确保整个体系能够从每一次实践中汲取养分，实现螺旋式上升和持续进化。

4 体系构建的关键支撑要素

要确保上述框架的有效落地，必须强化以下三大关键支撑。

4.1 技术赋能：筑牢数字化与智能化根基

新一代信息技术是体系构建的底层驱动力。5G通信技术保障海量感知终端数据实时稳定回传；边缘计算在路侧单元初步处理数据，减轻云端压力，提升关键告警响应速度至毫秒级。云计算平台和大数据处理框架为AI风险评估模型提供算力与存储支持。人工智能是风险智能识别、预测和决策的核心引擎，数字孪生技术则为风险推演、预案验证和人员培训提供虚拟试验场，共同搭建起智能化底座。

4.2 制度完善：构建协同高效运行机制

先进技术需健全制度保障。国家层面要加强顶层设计，出台法规明确各部门在数据共享、协同处置中的职责义务。建立常态化跨部门联席会议制度和信息共享协议，打破行政壁垒，可探索设立实体化联合指挥中心。加快构建统一标准规范体系，涵盖数据接口、预警分级等

多方面，确保系统互联互通，避免形成技术孤岛。

4.3 能力建设：提升专业队伍素质

体系效能取决于人的能力。需培养引进精通交通工程、信息技术和风险管理的复合型人才。改变应急演练形式主义，建立常态化真实风险场景演练机制，提升一线人员专业技能与应变能力。同时，利用媒体和平台普及公路安全知识，引导公众正确响应预警，形成全社会共同参与的安全生态。

5 结语

公路安全工程管理正经历深刻变革，向主动预防、数据驱动、一体化协同转变。本文构建的“智能感知-动态评估-分级预警-协同联动-复盘优化”一体化、智能化风险预警与应急管理体系，为应对挑战提供了系统性方案。该体系依靠技术、制度、人才驱动，致力于打造高度韧性、自我学习进化的公路安全防护网。展望未来，自动驾驶、车路协同等新技术普及，既带来网络安全、人机混驾冲突等新挑战，也提供了新机遇。未来体系将更注重“云-边-端”协同，实现分布式感知与协同决策；韧性不仅体现在快速恢复突发事件上，更体现在长期适应与抵御系统性风险上。持续深化理论研究与实践探索，是保障我国公路交通安全、畅通、高效发展的永恒追求。

参考文献

- [1]董乙江.浅谈公路工程安全管理现状的评价及对策[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十三届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集.徐州市交通工程总承包有限公司,;2025:625-626.
- [2]李林锋,郑昱,赵威凯,等.高速公路网络安全运营管理技术研究及探索[J].网络安全和信息化,2026,(01):137-139.
- [3]吴跃权.基于全生命周期理念的高速公路运营安全管理体系优化研究[J].现代工程科技,2025,4(15):153-156.
- [4]张华乘.高速公路数字化安全管理应用分析[J].运输经理世界,2025,(22):119-121.