

地铁安全疏散评估及应急救援能力提升研究

杨瑞升 李守山 朱 磊

郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 随着城市化进程加速,地铁已成为城市公共交通骨干,但其地下封闭、客流密集的固有特征,使其突发事件易引发严重安全事故。本文梳理地铁突发事件四大类型与演化特征,构建人员、设施、环境、管理四大维度的全要素安全疏散评估体系,剖析当前应急救援体系的核心短板,从技术、制度、主体、素养四个层面提出全链条提升路径。研究表明,唯有构建全周期闭环管理模式,推动技术与制度深度融合,才能建成高效韧性的地铁应急管理体系,保障群众生命财产安全。

关键词: 地铁安全;安全疏散评估;应急救援;智能技术;韧性城市

引言

21世纪以来,我国城市轨道交通实现跨越式发展。截至2025年底,中国内地超50个城市开通城轨运营线路,总运营里程突破1.2万公里,日均客流量超8000万人次,地铁已成为城市运行的核心交通动脉。但地铁空间集约化、场景封闭化、客流集聚化的固有属性,使其成为城市公共安全防控的重点领域,微小疏漏极易放大为重大事故。

我国现行《安全生产法》《地铁设计防火标准》等法规标准,对地铁安全疏散与应急处置提出了明确要求。但面对复杂运营环境与持续增长的客流,传统以经验为主、事后处置为核心的管理模式已显乏力。如何科学化评估地铁安全疏散能力,精准识别系统短板,系统性提升应急救援能力,是当前地铁运营领域亟待解决的核心课题。

1 地铁突发事件类型与核心演化特征

1.1 突发事件主要类型

结合《国家突发公共事件总体应急预案》与地铁运营风险特征,可将地铁突发事件分为四大类:一是自然灾害类,以地震、极端暴雨内涝为代表,突发性强、破坏范围广,易引发结构受损、线路淹没与人员被困;二是事故灾难类,为最高发风险类型,其中火灾是人员伤亡首要诱因,列车故障、拥挤踩踏等易引发次生事故;三是公共卫生事件类,以重大传染病疫情为代表,严重扰乱运营秩序;四是社会安全事件类,以恐怖袭击、群体性事件为代表,恶性性强、处置要求高^[1]。

1.2 核心演化特征

地铁突发事件呈现四大共性特征:一是时空高度受限,地下空间疏散路径固定、出口有限,有效处置窗口极短;二是风险连锁放大,单一事件易引发次生灾害,形成

多维度失效的恶性循环;三是处置协同难度大,涉及多部门主体,地下环境复杂,对信息共享、指挥协同要求极高;四是社会影响广泛,作为核心基础设施,事故易引发重大社会关注,影响城市安全信心。

2 地铁安全疏散全要素评估体系构建

结合突发事件特征与疏散核心影响因素,构建覆盖人员、设施、环境、管理四大维度的全要素、可量化安全疏散评估体系,推动从静态合规评估向动态系统评估升级^[2]。

2.1 人员行为因素评估

人员是疏散核心主体,其灾变下的行为模式直接决定疏散成败,是评估的核心动态变量。本维度核心评估不同群体的疏散行为规律与响应能力,关键指标包括恐慌情绪传播阈值、指令响应时间、弱势群体通行效率、环境熟悉度等。评估采用基于智能体(ABM)的仿真技术,模拟复杂场景下的人员疏散行为,还原拥堵、从众等特征,为疏散方案优化提供量化支撑。

2.2 设施配置与通行能力评估

疏散设施是安全疏散的硬件基础,其配置合理性直接决定疏散系统承载上限。本维度核心评估疏散全路径设施的适配性与可靠性,关键指标包括疏散楼梯/通道的通行能力、安全出口密度与通达性、应急照明与疏散指示的覆盖效果、防排烟系统效能等,所有指标需符合国家强制标准。评估采用计算流体动力学(CFD)模拟烟气扩散过程,计算必需疏散时间(TET)与可用安全疏散时间(ASET),量化判定系统安全冗余度。

2.3 环境条件动态评估

突发事件下地铁内部环境处于快速恶化的动态过程,是造成人员伤亡的核心诱因。本维度核心评估灾

变场景下环境安全边界的演化规律,关键指标包括烟气浓度、能见度、有毒气体浓度、温度场分布等。评估引入物联网(IoT)技术构建实时感知网络,通过传感器实现环境参数的实时监测与预警,重点关注环境恶化对人员行动能力的影响,为动态调整疏散策略提供数据支撑^[3]。

2.4 应急管理机制评估

应急管理机制是统筹三大要素的制度保障,是疏散体系高效运转的中枢。本维度核心评估应急管理全流程的完备性与可操作性,关键指标包括应急预案的场景覆盖度、指挥调度响应时效、跨部门协同顺畅度、应急信息发布效果、应急演练实效性等。评估突破文本合规性局限,通过实战演练检验机制有效性,暴露指挥协同、职责落实中的短板,实现闭环评估与持续优化。

3 当前地铁应急救援体系的核心短板

基于上述四维评估体系,结合国内地铁运营实践,梳理出应急救援体系四大核心问题。

3.1 信息壁垒突出,跨部门协同不畅

应急处置涉及的运营、消防、公安、医疗等多部门,普遍存在信息系统独立、数据标准不统一的问题,形成严重信息孤岛。险情发生后,核心灾情信息无法实时共享,传递链条长、误差率高,极易贻误黄金救援时机。同时,跨部门协同职责划分不清,常态化联动机制缺失,指挥权移交、资源调度等关键环节缺乏标准化流程,实战易出现指挥混乱、协同脱节^[4]。

3.2 资源配置适配性不足,动态调度滞后

应急救援资源部署缺乏基于大数据风险研判的前置规划,普遍存在“重事后响应、轻事前预置”的问题。救援装备、力量、物资多采用固定点位静态部署,未结合客流规律、高风险点位分布进行差异化配置,险情发生后无法快速抵达核心点位。同时,缺乏全网应急资源“一张图”管理平台,资源底数不清、调度效率低下。

3.3 专业救援力量与装备不足,处置能力受限

适配地铁地下复杂环境的专业救援力量建设严重不足,消防轨道交通专业救援分队覆盖有限,运营企业专职应急队伍专业能力参差不齐,难以应对复杂灾情的深度救援需求。同时,小型化灭火机器人、生命探测仪、地下通信中继设备等特种救援装备配备不足,无法满足地下封闭空间的侦查、救援需求,限制了复杂场景的处置能力。

3.4 公众应急素养薄弱,自救互救防线不足

当前地铁公众安全教育形式单一、内容空泛,多以单向灌输为主,难以让乘客掌握实用应急技能。部分乘客缺乏基本安全知识、自救互救技能与应急心理承受能力,突发事件中易出现恐慌盲从、堵塞通道等非理性行为,加剧疏散混乱与事故后果。同时,“第一响应人”培训体系尚未普及,现场人员初期处置能力不足,无法为专业救援争取黄金时间^[5]。

4 地铁应急救援能力全链条提升路径

针对上述核心短板,结合评估体系要求,从技术、制度、主体、素养四个维度,构建全链条提升路径,推动地铁应急管理从被动处置向主动防控、从经验驱动向数据驱动升级。

4.1 深化智能技术赋能,构建智慧应急范式

以数字化技术为核心,打通信息壁垒,实现应急处置全流程智能化升级。核心是构建覆盖全线路的地铁应急“一张图”平台,融合BIM、GIS、实时客流、物联网数据,打造“数字孪生地铁”系统,险情发生时可实现灾情定位、演化推演、疏散模拟,自动生成最优疏散与救援方案,为指挥决策提供量化支撑。在此基础上,推广AI智能预警与辅助决策系统,实现潜在风险的早期识别与超前预警;部署智能动态疏散引导系统,结合实时灾情调整疏散指引,实现从“人找路”到“路找人”的转变。

4.2 完善制度机制设计,强化全链条协同治理

以制度建设为保障,打破部门壁垒,构建权责清晰、平战结合的协同治理体系。一方面,健全法规标准体系,明确地铁应急数据共享标准与接口规范,以法规形式明确各主体应急状态下的法定职责、指挥权限与协作流程,消除协同盲区。另一方面,建立常态化跨部门联合演练机制,由应急管理部门统筹,定期组织综合性实战演练,重点磨合信息共享、指挥权移交、资源调度等关键环节,确保实战无缝衔接。同时,将韧性城市理念前置到规划设计阶段,从源头提升系统风险抵御能力。

4.3 构建多元应急共同体,强化全场景处置能力

打破单一主体应急模式,构建政府、企业、公众共同参与的多元应急共同体。政府层面,强化顶层设计与资源统筹,建强轨道交通专业救援分队,配齐特种救援装备,统筹建立城市级应急物资储备体系。企业层面,压实运营单位安全生产主体责任,明确其“第一响应者”定位,赋予现场负责人临机处置权限,强化一线员工应急技能培训,建立与专业救援力量的标准化对接接口。同时,畅通公众监督渠道,鼓励乘客主动报告安全隐患,形成

全民参与的安全治理氛围^[6]。

4.4 提升公众安全素养，筑牢全民应急防线

公众是应急管理最前端的力量，提升公众应急素养是筑牢安全防线的核心。需改变传统单向灌输的宣教模式，构建场景化、常态化的安全教育体系，依托短视频、VR体验等新媒体形式，在乘客高频接触场景开展实用技能宣教，让乘客真正掌握灭火器使用、低姿逃生、心肺复苏等核心技能。同时，推广地铁“第一响应人”培训计划，对高频乘客、志愿者开展标准化培训，使其具备初期处置与急救能力，为专业救援争取黄金时间，构建全民自救互救的良性格局^[7]。

5 结语

地铁安全疏散与应急救援能力建设，是关乎城市安全的复杂系统工程，也是韧性城市建设的核心组成部分。本研究梳理了地铁突发事件的类型与演化特征，构建了四大维度的全要素安全疏散评估体系，剖析了当前应急救援体系的核心短板，提出了全链条提升路径。面向未来，地铁应急救援能力的提升，必须坚持科技引领与制度创新双轮驱动，一方面发挥前沿技术赋能作用，实现风险超前预警、处置精准高效；另一方面通过制度优化、协同强化、素养提升，构建全周期、全社会参与的韧性

应急治理生态，真正将地铁打造为安全可靠的城市交通生命线。

参考文献

- [1]李治.城市轨道交通地下车站安全疏散评估及应急救援能力提升研究[J].消防界(电子版),2022,8(09):29-32.
- [2]钟茂华,周义棋,夏秀江.地铁车站安全疏散与客流疏运研究进展[J].清华大学学报(自然科学版),2025,65(12):2366-2378.
- [3]刘春,马李斌,赵成俊.地铁运营车站火灾场景下人员安全疏散仿真与优化对策[J].消防科学与技术,2023,42(10):1457-1462.
- [4]姜璐静.地铁运营期应急救援能力影响因素及提升路径研究[D].石家庄铁道大学,2025.
- [5]中华人民共和国住房和城乡建设部.地铁设计防火标准:GB51298-2018[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [6]史聪灵,车洪磊,胥旋.城市轨道交通运营安全风险防控关键技术研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(01):5-12.
- [7]张建平,李丁.数字孪生城市轨道交通应急管理系统构建与应用[J].都市轨道交通,2024,37(02):1-7.