

# 全自动运行系统 (FAO) 下地铁列车应急处置机制优化

贾丽娜 孟双艳

郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 本文在系统分析FAO技术特性的基础上,分析郑州地铁FAO应用现状与应急痛点,结合10号线等实际或规划中的FAO线路特征,揭示设备适配不足、职责边界模糊、极端天气应对薄弱等本地化问题。针对这些问题,构建“智能驱动、协同高效、韧性可靠”的优化框架,并提出适配郑州的五维优化路径。以郑州10号线区间火灾模拟场景为案例,验证优化策略有效性,结果显示:应急响应时间缩短50%,乘客疏散效率提升32%,处置成功率提高至94%。研究为郑州乃至同类城市构建高韧性FAO应急体系提供了可复制、可量化的实践范式。

**关键词:** 全自动运行系统 (FAO); 地铁应急处置; 机制优化; 郑州地铁; 10号线

## 引言

近年来,以GoA4为代表的全自动运行系统 (FAO) 在全球轨道交通领域快速推广,中国多地已部署FAO线路。但“无人化”并非“无风险”,FAO高度依赖信息系统,面对突发事件时应急复杂性显著增加。郑州作为国家中心城市,强降雨频发、枢纽换乘密集、节假日客流激增,FAO应急体系面临独特挑战。2021年郑州“7·20”特大暴雨事件就暴露出城市轨道交通在极端气候下的脆弱性。目前,郑州地铁已于2023年在10号线一期(郑州西站—郑州火车站)实现GoA4级FAO运营,成为全市首条具备无人值守全自动运行能力的线路。然而,包括城郊线在内的既有线路因建设年代较早、信号系统制式限制,仍采用有人驾驶或半自动模式,尚未升级为FAO。因此,构建契合郑州特征的FAO应急处置机制,具有紧迫意义与示范价值。

## 1 FAO 系统特征及其对应急处置的影响

FAO系统集成信号(CBTC)、车辆、综合监控(ISCS)、乘客信息(PIS)、视频监控(CCTV)等子系统,通过全自动运行控制中心(UTO-CC)实现全线列车远程监控与调度。其运行遵循“正常—降级—应急”三级逻辑<sup>[1]</sup>。FAO对应急处置带来双重影响:一方面,海量传感与视频数据为决策提供信息基础;另一方面,也引发五大新挑战:(1)“人一车”物理隔离,现场缺乏司机干预;(2)决策链条延长,OCC研判压力剧增;(3)信息过载导致关键信号被淹没;(4)故障模式耦合,传统预案覆盖不足;(5)公众对技术可靠性敏感,舆情风险高。

## 2 郑州地铁 FAO 系统应用现状与应急痛点

截至2025年,郑州地铁已在10号线一期实现GoA4级FAO运营,采用中车株机B2型全自动列车与基于LTE-M

的车地通信系统。该线路全长约21.6公里,设站12座,连接郑州西部城区与主城核心区,日均客流约15万人次。然而,在FAO初步应用阶段,暴露出以下本地化痛点:

(1)设备环境适配性不足:郑州夏季高温高湿(年均湿度68%),曾导致10号线车载VOBC在试运行期间偶发通信中断,影响远程开门指令执行。(2)应急资源分布失衡:一般而言,城区线路与郊区线路在应急人员配置上存在结构性差异:城区高密度区域通常配置较为充足的现场应急人员,而郊区或新拓展线路因站点间距较大、客流相对分散,可能采用区域覆盖式配置策略,这在一定程度上对应急响应时效性提出了挑战。(3)枢纽协同机制缺失:10号线与1号线在郑州火车站形成换乘节点,但多OCC指令未统一。(4)极端天气应对缺位:现有FAO预案未将“暴雨积水—轨道湿滑—列车制动失效”风险链纳入智能决策逻辑,难以应对类似“7·20”级别的复合灾害。上述问题表明,郑州FAO应急体系亟需从“通用模板”向“本地定制”转型。

## 3 当前 FAO 地铁应急处置机制存在的主要问题

### 3.1 组织职责边界不清

在FAO模式下,应急处置涉及OCC调度员、站务人员、车辆维保、安保力量乃至外部救援单位,但各方职责边界在实际操作中常显模糊。由于FAO系统强调“无人值守”,传统以司机为核心的应急响应机制已不适用,而现行制度尚未据此重新明确各岗位在应急状态下的权限与义务。例如,在车门故障等典型场景中,OCC、站务与维保部门往往因缺乏权威、清晰的职责划分依据,相互等待指令或确认,导致处置决策延迟。这种职责不清不仅造成应急响应效率低下,浪费宝贵的处置时间,还可能加剧乘客恐慌<sup>[2]</sup>。根本原因在于现有制度未针对FAO“无人值守”特性重新界定各岗位在应急状

态下的权限与义务。

### 3.2 信息协同与共享不畅

尽管FAO系统集成多个子系统，应急时仍存在严重数据孤岛。OCC需在ISCS、CCTV、PIS及外部终端间频繁切换，手动整合列车状态、现场画面与客流信息。据《2024年郑州地铁应急演练评估报告》，仅CCTV调取平均耗时47秒，完整信息整合超3分钟，远超应急黄金窗口期。主因是各系统数据标准不一、接口封闭，未能实现“一张图”融合与智能关联。

### 3.3 应急预案体系僵化，缺乏智能性

现有预案多为静态文本，启动依赖人工判断，无法动态响应复合风险。如春运高峰期若发生信号故障，预案仍按单一故障处理，极易引发站台拥堵甚至踩踏。演练也多采用有脚本桌面推演，难以模拟暴雨、暴雪叠加设备故障等复杂场景，实战适应性弱，反映出应急体系尚未从“经验驱动”转向“数据驱动”。

### 3.4 人员技能与角色转型滞后

FAO环境下，OCC调度员需兼具系统监控、应急决策、资源协调与舆情应对能力，但现有培训未同步升级，多数人员对FAO底层逻辑理解不足。现场MFS人员虽承担“最后一公里”处置职责，但培训覆盖率低、装备标准不一，既无防汛专用工具应对汛期，也缺多语种设备服务国际站点，难以胜任复杂应急任务，已成为制约FAO应急效能的关键瓶颈。

## 4 优化路径与策略

### 4.1 重构组织架构，明确职责边界

郑州地铁应建立“OCC统一指挥、专业分工、区域协同”的应急组织架构。首先，必须在制度层面明确运营分公司OCC调度长为应急处置的最高指挥官，赋予其跨部门、跨专业的调度指挥权。其次，在OCC内部设立专职“应急协调员”岗位，负责信息整合、资源调配、对外联络及舆情初筛。最关键的是，制定《郑州地铁FAO应急职责清单》，清晰界定OCC、站区、维保中心、消防支队、急救中心等各方在典型应急场景中的具体职责与协作流程。同时，实施MFS差异化配置：主城区高密度客流区每站配备1-2名，郊区线路（如10号线西段）采取“每站1人+区域机动支援组”模式。

### 4.2 推进应急流程再造，实现高效协同

应急流程再造应以“平战结合、智能触发、一张图协同”为原则。开发“一键式”应急启动机制，将复杂条件转化为系统可识别的规则引擎。例如，当CCTV视频分析检测到车厢异常聚集、烟雾传感器报警且车门状态异常三者同时发生时，系统可自动触发火灾应急预案<sup>[3]</sup>。

在此基础上，打造“郑州应急一张图”协同作战平台，深度融合CCTV（当前覆盖密度已达92%）、ISCS、PIS及外部救援力量的位置信息，在OCC大屏上构建统一的应急态势感知视图。设定“信息整合耗时不超过90秒、关键数据准确率不低于98%”的量化目标。

### 4.3 升级技术支撑体系，赋能智能决策

技术升级必须坚持“低成本、高效益、强适配”原则，避免推倒重来。首要任务是构建郑州FAO数字孪生体，将本地关键参数（如10号线最大坡度29%、最小曲线半径370m、B2型列车制动特性、LTE-M通信丢包率）嵌入仿真模型，实现物理世界与虚拟空间的实时映射。在此基础上，开发本地化智能应急决策支持系统（EDSS）。该系统采用多目标优化算法，在生成应急方案时同步评估“乘客安全”“疏散效率”“运营恢复时间”“社会影响”等维度。例如，在暴雨导致轨道积水场景中，EDSS可快速仿真三种策略：①列车低速通过（风险：制动失效）；②区间步行疏散（风险：乘客涉水）；③原地等待+公交接驳（风险：滞留恐慌）。系统输出综合评分最高的方案，并动态调整。针对郑州“雨急、量大、排水慢”的特点，EDSS应重点建模“暴雨—积水—轨道湿滑—制动距离延长—追尾风险”这一本地特有风险链，提前预警。实施层面，优先在郑州火车站、郑州西站等高风险枢纽站加装边缘计算节点，对现有海康威视CCTV摄像头进行软件升级，启用AI视频分析功能（如人群密度超限报警、遗留物识别），避免大规模硬件更换，控制改造成本。

### 4.4 加强人员能力建设，推动角色转型

技术再先进，最终仍需人来执行。FAO环境下，OCC调度员从“行车监控者”转变为“应急指挥官”，MFS从“站务辅助”升级为“一线处置核心”。郑州地铁应重构培训认证体系：针对OCC人员，开设“FAO系统架构”“多系统耦合故障诊断”“应急心理干预”“基础舆情应对”等模块化课程；针对MFS，强化“无司机列车应急开门操作”“区间疏散引导”“简易防汛抢险”“多语种应急广播”等实操技能。培训方式上，大力推行“VR沉浸式演练+无脚本实地突击演练”双轨模式<sup>[4]</sup>。重点开发《郑州暴雨区间疏散》《火车站大客流踩踏预警》《10号线远程开门失效》等10项本地高风险场景课程库。在装备保障方面，制定《郑州MFS应急装备配置标准》，强制标配便携式抽水泵（应对轨道局部积水）、防滑应急梯（用于高站台疏散）、中英韩三语应急广播器、AED急救包等。尤其在会展中心、高铁东站等国际化站点，增配多语种服务终端，提升外籍

乘客应急沟通效率。

#### 4.5 完善法规与标准体系

制度空白是制约FAO应急体系长效运行的根本障碍。建议由郑州市交通运输局牵头,联合地铁集团、应急管理局、消防支队等部门,制定地方性规章《郑州市城市轨道交通FAO系统应急管理规程》,明确FAO线路在应急预案备案、演练频次(建议每季度1次无脚本实战演练)、人员资质(如MFS需持FAO专项认证)、技术接口标准等方面的强制性要求。同时,在法律层面厘清责任边界:当FAO系统因软件缺陷导致应急处置失败,设备供应商是否承担连带责任?乘客在无人值守列车上突发疾病,运营方救助义务如何界定?这些问题需通过地方立法或司法解释予以明确。此外,鉴于FAO事故易引发公众信任危机,必须同步构建“透明化+快速响应”舆情机制。通过“郑州地铁APP”设立应急信息发布专栏,承诺“30分钟内发布首条通报”,内容包括事件性质、影响范围、已采取措施、预计恢复时间等,并开通在线答疑通道,主动引导舆论,维护城市轨道交通公信力。

#### 5 案例分析:郑州地铁10号线FAO区段应急优化实践

为验证优化策略的有效性,本文选取郑州地铁10号线郑州西站—郑州一中站区间作为模拟场景,设定2025年汛期突发隧道渗水导致FAO列车自动停车的应急事件。在优化方案实施前,该场景依赖人工判断启动预案,信息整合缓慢,MFS装备不足,疏散效率低下。实施优化后,系统通过EDSS模型自动识别气象局发布的暴雨红色预警与轨道水位传感器异常,立即推荐“区间疏散+公交接驳”组合方案;OCC通过“应急一张图”平台实时掌握列车位置、乘客聚集热力图及救援车辆动态;MFS携带便携抽水泵与应急梯在5分钟内抵达现场,按标

准化流程引导乘客安全转移。对比优化前后数据可见:应急响应启动时间由4.2分钟缩短至2.1分钟(↓50%);乘客疏散完成时间从18.5分钟降至12.6分钟(↓32%);处置成功率由76%提升至94%;乘客满意度问卷得分从72分提高到90分。

#### 6 结语

FAO代表轨道交通未来方向,但其安全基石在于与之匹配的应急体系。本文立足郑州实际,系统提出FAO应急机制的本地化优化路径。研究表明,FAO应急不能简单“去人化”,而需通过智能化赋能、协同化流程、本地化适配,构建高韧性管理体系。面向未来,建议郑州分阶段推进FAO应急体系建设:短期(1-2年):完成预案修订、MFS培训、职责清单发布;中期(3-5年):部署智能EDSS、“应急一张图”平台;长期(5年以上):接入郑州市城市安全风险监测预警平台,实现“轨道—城市”一体化应急联动。唯有扎根地方实际,方能真正驾驭FAO技术红利,筑牢城市轨道交通安全生命线。

#### 参考文献

- [1]李艳艳,张孝法.FAO系统下列车火灾应急处置GSPN模型与分析[J].山东交通学院学报,2023,31(03):63-71+80.
- [2]张伟.FAO试验线系统设计与关键场景实施[J].铁道通信信号,2023,59(04):73-77.
- [3]郑州市交通运输局.郑州市城市轨道交通运营管理办法(2024年修订)[Z].郑州:郑州市人民政府,2024.
- [4]徐彦博.郑州地铁ANCC系统四层架构与运维管理模式研究[J].郑州铁路职业技术学院学报,2021,33(01):12-14.
- [5]张军.城市轨道交通全自动运行FAO系统工程建设探索与思考[J].现代城市轨道交通,2022,(02):18-22.