

# 地铁全自动驾驶系统运营风险评价研究

徐 恺

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

**摘要:**全自动驾驶系统集成多子系统,运营风险复杂。本文分析其风险特征,包括技术系统复杂、运营环境动态、人机协同挑战。构建涵盖技术、运营、环境、管理四方面的一级指标及细化二级指标体系,选择评价模型与动态评价机制,提出风险管控策略框架,涵盖预防性控制、应急响应机制与持续改进机制,为系统安全运营提供保障。

**关键词:**全自动驾驶系统;运营风险;评价指标体系;风险评价模型;风险管控策略

引言:随着城市轨道交通发展,全自动驾驶系统成为趋势。其集成列车自动控制、通信等多关键子系统,虽提升运营效率,但因系统复杂、运营环境多变、人机协同困难等问题,带来诸多运营风险。研究全自动驾驶系统运营风险评价,对保障系统安全稳定运行、提升服务质量意义重大,有助于提前识别风险并采取有效防控措施。

## 1 全自动驾驶系统运营风险特征分析

### 1.1 技术系统复杂性

全自动驾驶系统集成了列车自动控制、通信、信号以及供电等多个关键子系统,这些子系统在运行过程中紧密交互,共同保障列车安全高效行驶。然而,这种高度集成与交互也埋下了风险隐患<sup>[1]</sup>。不同子系统间数据传输与指令执行的精确性是系统稳定运行的基础,一旦某个环节出现偏差,就可能引发连锁效应,影响整个系统的正常运转。例如,通信子系统若出现信号延迟或丢失,列车自动控制子系统可能接收错误指令,进而改变列车运行状态,带来安全隐患。此外,人工智能与自动化决策模块在全自动驾驶系统中占据核心地位,负责实时分析运行数据并做出决策。但这些模块存在潜在失效情况,像算法漏洞、数据偏差或者环境适应性不够等问题,都可能导致决策失误,对行车安全构成威胁。

### 1.2 运营环境动态性

全自动驾驶系统所处的运营环境处于不断变化之中。客流并非一成不变,高峰时段与平峰时段的客流量差异巨大。客流的大幅波动会对系统运营产生多方面影响,如站台客流拥挤可能影响乘客上下车效率,增加列车停站时间,打乱列车运行计划。突发事件是运营环境动态性的另一突出表现。火灾、设备故障等突发事件一旦发生,会迅速打破系统原有的运行秩序。火灾产生的烟雾可能干扰信号系统正常工作,设备故障可能导致部分线路或设备停用,引发列车运行调整、限速等一系列连锁反应,严重影响系统运营的稳定性与安全性。外部

干扰同样不容忽视。极端天气条件下,如暴雨、暴雪、大风等,可能对轨道、供电等设备造成损害,影响列车正常运行。轨道异物侵入会直接威胁列车行驶安全,迫使列车紧急制动或改变运行路线,干扰整个系统的运营节奏。

### 1.3 人机协同挑战

在全自动驾驶系统运营中,远程监控与人工干预的边界难以清晰界定。远程监控旨在实时掌握系统运行状态,及时发现并处理问题,但在某些复杂情况下,何时启动人工干预、干预到何种程度,缺乏明确标准。这种边界模糊性可能导致处理问题不及时或过度干预,影响系统运行效率与安全性。随着全自动驾驶系统自动化程度提高,操作员日常操作任务减少,长期处于相对轻松的工作状态,技能可能逐渐退化。当遇到紧急情况需要操作员迅速做出反应时,技能退化可能导致应急响应能力不足,无法及时、准确地采取有效措施,延误处理时机,扩大事故影响范围,给系统运营带来严重风险。

## 2 运营风险评价指标体系构建

### 2.1 指标设计原则

构建地铁全自动驾驶系统运营风险评价指标体系,需遵循一系列严谨且合理的原则。系统性原则要求指标体系全面覆盖运营风险的各个层面,从技术、运营、环境到管理,每一维度都不可或缺。只有如此,才能确保不遗漏任何可能影响系统安全稳定运行的风险因素,从整体上精准把握系统运营风险状况。科学性原则强调指标选取应基于科学理论与方法,紧密结合全自动驾驶系统的独特特点与运营规律。所选指标要能够准确反映风险的本质特征,为后续的风险评价工作提供坚实的基础。可操作性原则注重指标的可量化性与数据获取的便捷性。在实际运营中,能够通过合理手段对指标进行测量与统计,便于后续开展评价分析工作,使评价结果更具实际指导意义。动态适应性原则考虑到全自动驾驶

系统运营环境与技术的不断变化, 指标体系需具备灵活调整的能力。随着系统发展, 能够及时更新与完善, 以适应新的风险形势, 始终保持对风险的有效评估与管控。

## 2.2 一级指标框架

全自动驾驶系统运营风险的一级指标框架涵盖四大方面。技术风险聚焦于系统自身的技术层面, 硬件故障可能因设备老化、质量问题等引发, 影响列车正常运行; 软件漏洞则可能导致系统功能异常, 甚至被恶意利用; 网络攻击对系统的信息安全构成威胁, 干扰数据传输与指令控制。运营风险与日常运营活动紧密相关, 调度失误可能打乱列车运行计划, 造成列车晚点或运行秩序混乱; 客流超载会超出系统承载能力, 影响乘客安全与服务品质; 应急响应延迟会延误事故处理时机, 扩大事故影响范围。环境风险源于系统所处的外部环境, 自然灾害如地震、洪水等可能对轨道、设备造成严重破坏; 第三方破坏包括人为的意外碰撞、施工影响等; 电磁干扰会影响通信与信号系统的正常工作<sup>[2]</sup>。管理风险涉及运营管理的各个环节, 流程缺陷可能导致工作衔接不畅, 效率低下; 培训不足会使人员技能水平无法满足运营需求; 组织协调失效会影响各部门之间的协作, 降低应对风险的能力。

## 2.3 二级指标细化

在技术风险下, 可进一步细分为多个具体指标。“信号系统冗余度”反映信号系统在出现故障时的备用能力, 冗余度越高, 系统在故障时维持正常运行的可能性越大。“数据传输延迟率”衡量数据在传输过程中的延迟情况, 延迟过高可能影响系统对列车运行的实时控制, 导致决策失误。运营风险方面, “调度计划准确率”体现调度计划的合理性与准确性, 准确率越高, 列车运行越有序, 减少不必要的延误与混乱。“客流预测偏差率”反映对客流预测的准确程度, 偏差过大会导致应对措施不当, 影响乘客上下车效率与列车运行计划。环境风险中, “自然灾害预警准确率”关乎能否提前做好防范措施, 降低自然灾害对系统的影响。“第三方破坏发生率”统计第三方破坏事件的出现频率, 为制定防范措施提供依据。管理风险里, “培训覆盖率”体现人员接受培训的广泛程度, 确保更多人员具备应对风险的能力。“组织协调响应时间”衡量各部门在应对风险时的协作效率, 响应时间越短, 各部门协作越紧密, 风险处理越及时有效。

## 3 风险评价模型与方法

### 3.1 评价模型选择

在构建风险评价模型的过程中, 科学合理地选择评

价方法是关键。层次分析法作为一种结构化决策工具, 通过将复杂问题分解为多个层次, 逐层比较各因素间的相对重要性, 最终确定各评价指标的权重。这种方法不仅逻辑清晰, 而且能够有效处理多准则决策问题, 为后续的风险评价奠定坚实基础。在应用层次分析法时, 通常需要构建3-4层的层次结构模型, 以确保对问题的全面分析。模糊综合评价法则在处理不确定性方面展现出独特优势, 它借助模糊数学理论, 将定性评价转化为定量评价, 能够更准确地反映风险因素的模糊性与不确定性, 提升评价结果的客观性与全面性。蒙特卡洛模拟则通过随机抽样与统计分析, 对风险事件发生的概率及可能造成的影响进行量化评估。这种方法能够模拟大量可能的风险场景, 一般来说, 模拟次数达到1000-2000次时, 能够获得较为准确的风险评估结果, 为风险决策提供丰富的数据支持, 有助于更准确地把握风险态势。

### 3.2 动态评价机制

为适应运营环境的动态变化, 建立动态评价机制至关重要。实时数据驱动的风险状态更新机制能够确保评价系统始终与实际情况保持同步。通过实时采集运营过程中的关键数据, 系统能够迅速识别风险状态的变化, 及时调整评价结果, 为风险防控提供及时有效的指导。例如, 每5-10分钟采集一次关键数据, 能够较好地反映系统风险状态的动态变化。基于机器学习的风险趋势预测技术则进一步提升了评价的前瞻性。通过训练机器学习模型, 系统能够利用历史数据与实时数据, 预测未来一段时间内风险的发展趋势, 为提前制定风险防控策略提供科学依据, 有效降低风险发生的可能性与影响程度。一般来说, 利用过去3-6个月的历史数据进行模型训练, 能够获得较为准确的预测结果。

### 3.3 风险优先级排序

在识别出众多风险因素后, 对风险进行优先级排序是实施有效风险管理的关键步骤。风险矩阵法作为一种直观易懂的风险评估工具, 通过构建二维矩阵, 将风险发生的可能性与后果严重程度进行组合, 划分出高、中、低不同等级的风险区域。一般来说, 将风险发生可能性分为3-5个等级, 后果严重程度分为3-5个等级, 组合后形成9-25个不同的风险区域。这种方法有助于决策者迅速把握风险的整体态势, 集中资源应对高风险事件。敏感性分析则进一步深入挖掘关键风险因素, 通过调整各因素的取值, 观察系统风险状态的变化情况, 识别出对系统影响最为显著的风险因素。通常进行10-20次不同因素的调整测试, 能够较为全面地识别出关键风险因素。这一步骤为制定针对性的风险防控措施提供了重要依

据,有助于实现风险管理的精细化与高效化。

#### 4 风险管控策略框架

##### 4.1 预防性控制

预防性控制是全自动驾驶系统风险管控的首道防线,旨在通过前瞻性措施降低风险发生的可能性<sup>[1]</sup>。技术冗余设计是关键手段之一,在通信方面采用双链路通信模式,当一条通信链路出现故障时,另一条链路能迅速接替工作,确保数据传输的连续性与稳定性,避免因通信中断引发的系统失控风险。备用电源的设置同样重要,在主电源出现故障或供电异常时,备用电源可及时投入使用,为系统关键设备持续供电,保障列车运行安全与基本功能正常。一般来说,备用电源应能够支持系统关键设备运行30-60分钟。定期维护与软件升级策略也是预防性控制的重要组成部分。制定详细的设备维护计划,按照规定周期对列车、轨道、信号等设备进行全面检查、清洁、润滑与调试,及时发现并处理设备潜在故障隐患,延长设备使用寿命,降低设备故障率。一般来说,列车设备每1-2个月进行一次全面维护,轨道设备每3-6个月进行一次全面检查。软件升级则针对系统软件存在的漏洞与不足,通过不断优化算法、完善功能,提升系统的安全性与可靠性,适应不断变化的运营环境与技术发展需求。软件升级周期一般控制在每3-6个月进行一次。

##### 4.2 应急响应机制

应急响应机制是应对突发风险事件的重要保障,分级响应流程是其中的核心环节。根据风险事件的严重程度与影响范围,制定不同级别的响应措施。对于局部故障或小范围突发事件,可采取局部停运措施,将故障区域隔离,避免故障扩散,同时组织人员对故障进行抢修,尽快恢复局部运营。若遇到重大故障或系统性风险,则启动全线降级运行模式,降低列车运行速度与密度,确保在安全的前提下维持基本运营秩序,为故障处理争取时间。跨部门协同演练与资源调配是提升应急响应能力的有效途径。定期组织跨部门联合演练,模拟各类突发风险事件,检验各部门在应急响应过程中的协调配合能力与资源调配效率。一般来说,每3-6个月组织一次跨部门联合演练。通过演练发现问题并及时改进,优化应急响应流程与资源配置方案,确保在实际风险事件

发生时,各部门能够迅速响应、密切配合,高效利用各类资源,最大程度降低风险损失。

##### 4.3 持续改进机制

持续改进机制是全自动驾驶系统风险管控不断优化升级的动力源泉。风险数据库建设与经验反馈闭环是持续改进的基础。建立完善的风险数据库,对历史风险事件进行详细记录与分析,包括风险类型、发生原因、影响范围、处理措施等信息。通过对风险数据库的定期梳理与挖掘,总结经验教训,形成经验反馈闭环,将成功经验与有效措施应用到后续的风险管控工作中,避免类似风险再次发生。一般来说,每1-2个月对风险数据库进行一次全面梳理。基于PDCA循环的动态优化为持续改进提供了科学方法。计划阶段明确风险管控目标与措施,执行阶段按照计划实施各项管控工作,检查阶段对执行效果进行评估与监测,处理阶段针对检查中发现问题进行分析与改进,将改进措施纳入下一轮计划中。一般来说,PDCA循环周期控制在每3-6个月进行一次完整循环。通过不断循环往复,实现风险管控策略的动态优化与持续提升。

#### 结束语

全自动驾驶系统运营风险评价研究对保障系统安全运营至关重要。通过构建全面合理的评价指标体系,选用适宜评价模型与动态评价机制,能准确把握风险态势。同时实施预防性控制、应急响应机制与持续改进机制相结合的风险管控策略,可有效降低风险发生可能性与影响程度。持续完善风险评价与管控体系,将为全自动驾驶系统稳定运行筑牢根基。

#### 参考文献

- [1]王娅娴,巩文政.地铁全自动驾驶系统运营风险评价研究[J].中国新技术新产品,2024(2):146-148.
- [2]豆海波.城市轨道交通全自动无人驾驶安全性探究[J].中文科技期刊数据库(全文版),工程技术,2021(3):291-292.
- [3]李亚方,刘源丰,王贺.全自动驾驶线路调度指挥管理模式研究[J].郑州铁路职业技术学院学报,2024,36(03):33-36.