

基于层次分析法的地铁调度安全管理研究

胡小宝

徐州轨道交通运营有限公司 江苏 徐州 221000

摘要：随着地铁在城市交通中作用愈发关键，调度安全成为运营核心保障。本文以地铁调度安全管理为研究对象，引入层次分析法（AHP）开展研究。概述了地铁调度系统构成、功能及安全管理内容，解析了AHP基本原理与应用步骤，随后基于AHP识别地铁调度安全风险（从人员、设备等五维度）并进行量化评估，最终针对性提出人员、设备、流程、应急、监督改进五类控制措施。研究为地铁调度安全管理提供量化支撑与实操方案，有助于提升调度安全管理的科学性与有效性。

关键词：层次分析法；地铁调度；安全管理；措施

引言：当前地铁调度安全管理面临人员、设备等多维度风险，传统管理方式缺乏量化分析支撑。本文以徐州轨道交通运营有限公司为实践背景，运用层次分析法，系统开展地铁调度安全风险识别、评估与控制研究。通过梳理调度系统特性与安全管理要点，构建风险评估模型，制定精准控制措施，旨在解决调度安全管理中风险界定模糊、管控针对性不足的问题，为地铁运营安全提供理论与实践参考。

1 地铁调度安全管理概述

1.1 地铁调度系统构成与功能

地铁调度系统是地铁安全高效运营的核心指挥中枢，由以下行车、电力、环控、应急四大调度子系统构成协同整体。（1）行车调度子系统负责统筹列车运行，制定计划、调整间隔、监控状态，保障列车有序准时；（2）电力调度子系统实时监测牵引供电、动力照明等设备工况，通过负荷调节与故障排查维护供电安全；（3）环控调度子系统管控车站及隧道环境参数，调节温湿度与空气质量，营造安全舒适环境；（4）应急调度子系统整合各子系统信息，协调资源开展应急处置，衔接故障修复与运营恢复。

1.2 地铁调度安全管理的主要内容

地铁调度安全管理以“预防为主、全程管控”为核心，形成以下多维度管理体系。（1）人员管理维度，通过标准化选拔培训、完善岗位责任制与绩效考核，保障调度人员操作能力与风险意识；（2）设备管理维度，覆盖设备全生命周期，以采购技术标准、定期巡检维护、故障预警修复机制，降低设备故障风险；流程管理维度，制定日常调度、特殊天气运营、设备检修等场景作业流程，明确规范与风险点，建立指令审核传达反馈机制，确保指令准确及时；（3）应急管理作为补充，通过完善

预案、定期演练、强化跨部门联动，提升突发事件响应处置能力，形成“日常管控-风险预警-应急处置”闭环^[1]。

2 层次分析法原理与应用步骤

2.1 层次分析法基本原理

层次分析法（AHP）是由美国运筹学家萨蒂提出的多准则决策方法，核心原理在于通过“分而治之”将复杂决策问题系统化拆解与量化分析。其以“分解-判断-综合”为逻辑主线，先将问题按目标、准则、方案等维度拆解为递阶层次结构，形成自上而下的逻辑关联体系，其中目标层为决策终极目的，准则层为影响目标的关键因素（可含子准则层），方案层为具体决策选项。在此基础上，通过两两比较同一层级元素的相对重要性，借助1-9标度法将定性判断转化为定量数据，构建满足正互反性（ $aji = 1/aij$ ）与自反性（ $aii = 1$ ）的判断矩阵。最终通过计算判断矩阵的特征向量实现局部判断向全局优先级的转化，结合层次单排序与总排序，将主观经验与客观计算相结合，为复杂问题提供决策依据。

2.2 层次分析法应用步骤

层次分析法的应用遵循标准化流程，核心步骤包括以下部分。（1）建立递阶层次结构，按逻辑关联性将问题分解为目标层、准则层、方案层，确保层级内元素独立、层级间关联清晰，且覆盖所有关键因素。（2）构造判断矩阵，针对同一上层元素，采用1-9标度法对下层元素进行两两比较赋值，明确元素间相对重要性差异，形成正互反矩阵。（3）计算权重向量，通过求解判断矩阵的最大特征值对应的特征向量，经归一化处理后得到层次单排序权重，再自上而下合成各层级权重实现层次总排序。（4）进行一致性检验，先计算一致性指标 $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ （ λ_{max} 为最大特征值， n 为矩阵阶数），再结合随机一致性指标 RI 计算一致性比率 $CR = CI/RI$ ，

当CR < 0.1时, 判断矩阵一致性可接受, 否则需修正判断矩阵^[2]。

3 基于层次分析法的地铁调度安全风险识别与评估

3.1 地铁调度安全风险识别

需围绕层次分析法递阶层次结构逻辑, 结合调度运营全流程梳理风险因素: (1) 明确识别范围与层级框架。以“地铁调度安全”为核目标, 按层次分析法划分为目标层(地铁调度安全)、准则层(核心风险维度)与指标层(具体风险因素), 准则层需覆盖关键维度, 避免遗漏核心风险。(2) 确定多维度识别维度。从人员、设备、流程、环境、应急五大维度切入, 系统梳理各维度风险要素, 确保识别全面且贴合调度运营实际, 反映工作本质特征。(3) 采用标准化识别方法。结合文献研究法、专家访谈法与系统分析法, 筛选整合风险因素, 剔除重复或非关键风险, 形成结构化风险清单, 为层次分析法递阶层次结构构建提供支撑。

3.2 地铁调度安全风险评估

遵循层次分析法标准化流程, 将风险因素转化为量化结果: (1) 构建递阶层次结构模型。依据风险清单, 设目标层为“地铁调度安全风险评估”, 准则层对应五大维度, 指标层为各维度具体风险, 确保层级逻辑清晰、要素完整。(2) 构造判断矩阵。邀请领域专家, 用1-9标度法两两比较同一准则层下指标层因素, 确定相对重要性, 形成满足正互反性与自反性的矩阵, 反映专家共识。(3) 计算权重向量。通过特征根法(和法、根法)求解矩阵最大特征值与特征向量, 归一化后得层次单排序权重, 结合准则层权重算指标层总排序权重, 明确风险影响程度。(4) 开展一致性检验。计算 $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ (λ_{max} 为最大特征值, n 为矩阵阶数), 结合RI算 $CR = CI/RI$; $CR < 0.1$ 则矩阵合格、结果有效, 否则修正矩阵至满足要求^[3]。

4 基于层次分析法的地铁调度安全管理控制措施

4.1 基于风险优先级的人员安全管理控制措施

人员是地铁调度安全的关键影响因素, 要结合层次分析法评估的人员风险权重, 从以下三方面制定措施: (1) 能力培养。构建“分级分类+动态更新”培训体系, 按调度岗位职责划分培训模块, 将层次分析法识别的高风险操作环节纳入必修内容, 采用“理论授课+模拟实操+案例复盘”模式, 每季度开展专项培训, 且培训内容依据年度风险评估结果更新, 覆盖最新高风险点; 建立岗位能力认证机制, 对调度人员的高风险操作环节能力进行考核, 未通过认证者不得独立上岗。(2) 意识强化。推行“安全积分制”, 将日常调度合规行为、风险

隐患上报等纳入积分, 积分与绩效挂钩; 每月组织安全警示教育会, 聚焦层次分析法确定的人员高风险因素, 通过风险通报、违规行为分析强化安全敬畏心。(3) 状态管控。建立“岗前评估+岗中监测+岗后复盘”机制, 岗前开展生理指标检测与心理状态评估, 排除不适宜上岗人员; 岗中借助调度系统操作日志, 实时监测操作频率、指令误差率, 异常数据及时预警; 岗后组织当班人员复盘, 重点分析高风险操作环节执行情况, 形成个人状态改进档案, 定期跟踪整改。

4.2 基于设备风险权重的设备安全管理控制措施

针对层次分析法评估的设备风险优先级, 从全生命周期构建“采购-运维-更新”闭环措施, 聚焦高权重设备: (1) 采购环节。建立“风险导向”技术标准体系, 依据设备风险影响程度, 明确高风险设备的技术参数、冗余设计要求, 引入第三方检测机构预评估设备性能, 确保满足安全冗余需求; 签订采购合同时, 明确设备质量保障条款与风险责任划分, 要求供应商提供设备风险防控技术支持。(2) 运维环节。实施“分级巡检+预测性维护”模式, 按设备风险权重划分巡检等级, 高风险设备“日巡检+周深度检测”, 中低风险设备“周巡检+月深度检测”; 利用物联网技术采集设备运行数据, 建立设备健康度模型, 结合层次分析法评估的设备故障风险, 提前预测潜在故障; 建立设备运维档案, 记录巡检、维护、故障处理等信息, 定期分析运维数据优化运维策略。(3) 更新环节。制定“风险阈值触发”更新机制, 设定高风险设备使用年限、故障频次阈值, 达到阈值时, 依据最新风险评估结果优先安排更新; 更新前开展替代设备风险对比分析, 确保新设备风险水平低于现有设备。

4.3 基于流程风险节点的调度流程优化控制措施

结合层次分析法识别的调度流程高风险节点, 从标准化、节点管控、信息协同优化措施: (1) 流程标准化。编制“风险节点导向”作业指导书, 针对高风险流程, 明确各环节操作规范、责任主体、时间要求, 采用“图文+流程图”形式, 标注高风险节点管控要点; 建立流程动态修订机制, 依据年度风险评估结果, 更新作业指导书, 补充新识别的高风险节点管控内容; 组织调度人员学习作业指导书, 定期考核流程掌握程度, 确保规范执行。(2) 节点管控。高风险流程节点实行“操作人-复核人”双签核, 操作记录实时上传调度系统数据库, 保留至少3年追溯记录; 利用流程管理软件设置节点超时预警, 高风险节点操作超标准时长时, 系统自动向管理人员推送预警信息; 定期抽查高风险节点操作记录, 分

析违规操作原因，制定针对性整改措施。（3）信息协同。构建“多系统集成”信息共享平台，整合行车、电力、环控调度系统数据，针对信息孤岛风险，设置跨系统数据同步机制，确保数据实时更新；明确各系统数据共享范围与权限，保障调度人员获取完整运营数据；建立数据质量监控机制，定期检查数据准确性、完整性，及时修正异常数据，避免信息不对称导致调度失误。

4.4 基于应急风险评估的应急管理控制措施

依据层次分析法评估的应急风险优先级，从预案、演练、资源保障制定措施：（1）预案完善。按应急风险权重划分预案等级，高风险应急场景制定专项预案，明确“响应流程-责任分工-处置时限”，中低风险场景制定通用预案；每年结合最新应急风险评估结果修订预案，补充新增高风险应急场景处置流程；组织相关人员熟悉预案内容，定期考核预案掌握情况，确保应急时准确执行。（2）演练强化。推行“分级演练+复盘优化”模式，高风险应急场景每季度开展实战演练，中低风险场景每半年开展桌面推演；演练前制定详细方案，明确演练目标、流程、评估标准；演练后成立复盘小组，对照应急风险评估指标，分析短板，形成改进方案，纳入下一次演练计划；建立演练档案，记录演练过程、结果、改进措施，定期总结演练经验。（3）资源保障。按应急风险权重配置资源，高风险应急场景储备备用设备、专业处置团队，资源存放于调度中心周边合理范围，中低风险应急场景储备基础应急物资；与周边应急机构建立联动机制，明确联动流程与责任，定期开展联动协调会议；建立应急资源管理台账，实时更新资源数量、状态、存放位置，定期检查资源完好性，及时补充、更换损坏资源。

4.5 基于风险动态变化的监督与改进控制措施

为保障控制措施有效性，结合层次分析法风险动态评估结果，构建“监督-评估-改进”循环机制：（1）监督环节。建立“多维度+差异化”监督体系，依据风险权重，高风险领域采用“实时监督+每日抽查”，通过调度

系统日志、视频监控核查措施执行情况，中低风险领域采用“每周抽查+月度检查”，安全管理部现场核查；明确监督主体、内容、频率，形成监督报告，通报问题并督促整改；建立监督结果反馈机制，及时将监督情况告知相关部门与人员，跟踪整改进度。（2）评估环节。实施“季度风险复测+年度综合评估”，每季度用层次分析法复测调度安全风险，评估现有措施对高风险因素管控效果，计算风险权重变化；每年开展综合评估，结合季度复测结果、事故/故障统计数据，分析措施有效性，识别漏洞；建立评估指标体系，涵盖风险权重变化、措施执行率、事故发生率等，确保评估全面、客观。（3）改进环节。建立“问题导向”改进机制，对评估发现的措施漏洞，成立专项改进小组，制定改进方案，明确时限与责任人；改进方案实施后，通过下一次风险复测验证效果，若高风险因素权重未达目标值，重新调整方案；定期总结改进经验，将有效改进措施纳入管理制度，形成改进闭环，确保控制措施与风险动态匹配^[4]。

结束语：本文围绕基于层次分析法的地铁调度安全管理展开系统研究，明确了调度系统构成、安全管理内容，通过AHP实现风险的量化识别与评估，并形成多维度控制措施体系。后续可进一步扩大样本范围优化模型，或结合智能化技术增强风险预警时效性，持续完善地铁调度安全管理体系，助力城市轨道交通高质量、安全运营。

参考文献

- [1]黄宏杰.基于层次分析法的地铁调度安全管理[J].现代职业安全,2024(5):48-49.
- [2]么二彬.地铁运营安全调度管理消防应急与管控措施研究[J].消防界(电子版),2025,11(1):1-3.
- [3]王伟.浅析信息化技术对地铁调度指挥安全运营的作用[J].数码设计(电子版),2024(3):0540-0542.
- [4]方法正.加强地铁调度指挥安全性的策略分析与思路[J].交通世界,2020(9):150-151.