

地铁联锁系统故障排查方法与应急处置策略

张耀

徐州地铁运营有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要: 对于城市轨道交通工程来讲, 地铁联锁系统是保障车辆行驶安全、提升整体运营效率的关键所在, 与城市交通网络的服务质量息息相关。尤其是在我国近几年轨道交通里程日益增长、线网密度不断提升的背景下, 一旦出现联锁系统故障, 就将引发运营中断等问题。本文首先从联锁系统故障的影响以及主要故障类型入手, 随后讨论了常见的故障排查技术, 最后制定了地铁联锁系统故障的应急处理措施, 仅供参考。

关键词: 地铁; 联锁系统; 故障排查; 处置策略

Troubleshooting methods and emergency disposal strategies for Metro interlocking system

Zhang Yao

Xuzhou Metro Operation Co., Ltd, China Jiangsu Xuzhou 221000

Abstract: For urban rail transit engineering, Metro interlocking system is the key to ensure vehicle safety and improve the overall operation efficiency, which is closely related to the service quality of urban transport network. Especially under the background of the increasing mileage of rail transit and the increasing density of line network in China in recent years, the failure of interlocking system will cause problems such as operation interruption. This paper starts with the impact of interlocking system faults and the main types of faults, then discusses the common troubleshooting techniques, and finally formulates the emergency treatment measures for Metro interlocking system faults, for reference only.

Keywords: Subway; Interlocking system; Troubleshooting; Disposal strategy

0 引言

在城市地铁项目中, 联锁系统具有控制道岔转换、进路排列、信号机显示等多项作用, 是地铁列车安全运行的重要保障。现阶段, 在进行地铁联锁系统研究的过程中, 缺少对故障排查的系统化梳理, 进而对问题的处理效率和质量产生了影响。为此, 要实现地铁的安全稳定运行, 避免故障问题的扩大, 就需要积极做好联锁系统故障排查方法与应急策略的讨论研究。

1 联锁系统故障的影响以及主要故障类型

1.1 影响

作为地铁工程的重要组成部分, 联锁系统问题的出现会对列车运营、安全、服务等方面产生直接的影响。首先, 从地铁运营层面来看, 联锁故障问题会造成进路无法排列, 影响列车的正常接发, 造成列车晚点问题, 严重的还会导致后续列车的大面积拥堵以及线路中断。一旦此种情况出现在地铁换乘站, 就会对其他线路的运营秩序产生直接的影响, 导致线网运营混乱。其次, 从行车安全方面来看, 联锁系统故障会造成安全防护功能失效, 处理不及时将引发挤岔、冒进信号、列车冲突等安全事故。比如说, 信号

误开放问题将造成列车闯入已被占用的区间, 进路与前车发生严重碰撞事故。最后, 从对乘客服务方面来看, 联锁故障问题造成的列车晚点、停运等会导致乘客滞留于车站, 一旦信息发布不及时, 就将影响乘客的顺利出行, 引发服务投诉, 特别是在高峰时段, 可能造成严重的踩踏安全事故, 威胁地铁企业的社会形象。

1.2 故障类型

根据故障发生的位置与表现形式, 地铁联锁系统常见故障可以分为六大类, 各类故障的表现与诱因如表 1:

2 常见故障排查技术分析

2.1 传统人工故障诊断技术

传统人工诊断技术主要涉及逻辑推理法、比较法、仪表测试法、观察检查法、逐项排除法等, 主要依赖于维修人员对故障机理的掌握以及自身工作经验, 并同相关逻辑推理和工具相结合。此种故障诊断技术灵活性较强, 无需复杂设备作为支持, 能够完成简单单点故障的快速诊断, 并且整体投入成本较低, 现阶段在现场故障排查过程中此种方式应用较多, 特别是针对工作经验丰富的维修人员, 凭借自身对线路的熟悉, 即可精确定位故障问题。但此类

表1 铁路联锁故障类型分析表

故障类型	主要表现	常见诱因	影响
信号故障	信号机无法正常开放、信号灯熄灭、信号显示错误等	信号机灯泡损坏、信号机电缆接触不良、继电器接点虚焊或接触不良、控制模块故障等	导致列车无法获取行进授权，造成区间停车或站点延误
道岔故障	道岔无法正常转换、转换不到位不密贴、转换后无表示等	转辙机机械卡阻、电机损坏、表示接点接触不良、道岔间有异物卡阻、电源电压不足等	导致进路无法正常排列，影响列车进出站
进路故障	进路无法触发、无法排列、错排进路、进路无法正常解锁等	继电器故障、联锁逻辑软件缺陷、轨道区段占用误报、进路锁闭条件不满足等	导致正常行车秩序被打乱，若错排进路还会引发严重的安全风险
表示故障	控制台无法正常显示设备状态、设备状态灰显、错误显示占用或空闲	通信链路中断、联锁主机故障、软件卡顿、数据传输丢包等	导致调度与车站人员无法准确掌握现场设备状态，增加人工操作的安全风险
调度控制故障	中央调度无法对联锁设备下发控制指令、指令无响应、调度联络中断	ATS主机故障、电源故障、控制台按钮故障、软件不兼容、信息采集瞬时故障等	导致中央层面无法组织行车，必须降级到车站控制
系统级故障	全站联锁机宕机、双机热备切换失败、整个车站联锁系统失去控制	联锁服务器硬件故障、电源屏故障、软件系统崩溃、网络病毒攻击等	导致整个车站无法接发列车，引发线路大范围中断

方法也存在一定不足，对于复杂系统故障，诊断效率相对有限，对人员的经验要求较高，需要投入相应的人才培养成本，一旦出现错判、漏判情况，将直接增加故障的排查难度，影响问题处理效率。

2.2 信号处理故障诊断技术

信号处理诊断技术依赖于所建立的信号模型，可完成对设备信号的分析处理，进一步判断故障的具体位置、发生原因等。现阶段函数法、频谱分析法、小波变换法等是较为常见的信号处理故障诊断技术类型，主要工作原理是正常设备的输出信号与特定统计特征相吻合，一旦发现设备故障问题，则输出信号会表现为与特征的偏离，通过对偏离情况进行分析即可精准判断故障情况。此种处理方式无需进行复杂设备模型的构建，原理简单、应用便捷，在信号传输类传感器类故障诊断阶段此种技术的应用效果显著。但此项技术对于非线性故障的判断精度有待提升，可能出现错判、漏判等情况，无法满足复杂联锁逻辑故障诊断需求。

2.3 解析模型故障诊断技术

解析模型法是指以精确的设备数学模型为基础，通过数学分析方法对比实测值与模型预测值的残差，根据残差特征诊断故障的方法，具体可以分为状态估计法、参数估计法与等价空间法三类。解析模型法的优势在于诊断精度高，能够定量分析故障的严重程度，机理清晰，理论性强。其缺点在于对数学模型的精度要求很高，而地铁联锁系统是一个复杂的非线性系统，包含大量电子、机械部件，很难建立精准的数学模型，因此实际应用范围受到很大限制，目前仅在特定部件的故障诊断中使用。

2.4 人工智能故障诊断技术

在科技不断发展，人类文明日益进步的过程中，人工

智能技术应运而生，同计算机技术的融合应用可为现阶段地铁联锁故障诊断提供新的支持。专家系统、神经网络、遗传算法、模糊逻辑支持向量机等是常见的人工智能故障诊断技术类型，通过进行大量历史故障数据的训练，诊断模型构建可完成对故障特征、故障原因之间关系的自主学习，提升诊断的自动化水平。故障诊断专家系统是现阶段应用较多的技术方法，主要是通过进行该领域中专家故障诊断知识的整理分析，并与监测数据相结合，在推理机的作用下可完成故障原因的自动分析并提出相关处理建议。我国众多城市地铁联锁监测系统中此项技术的逐渐普及，在帮助维修人员快速确定故障范围的同时，进一步提升了问题的排查效率。人工智能技术的运用整体准确率高，判断精准，可有效降低对人员工作经验的依赖，不仅能够完成复杂多故障耦合问题的处理，同时在大数据技术不断发展的推动下，诊断准确率明显提升，为技术排查提供了新的支持。但是此项技术需涉及大量高质量历史故障数据的训练，整体系统的开发和维护成本较高。

3 地铁联锁系统故障应急处置策略

3.1 完善应急响应机制

故障问题的高效处理需要有应急响应机制作为支持，地铁运营企业需从实际情况入手，进行分级应急响应机制的构建，明确划分人员职责和 workflows。首先，进行故障分级标准的建立，以故障影响范围、严重程度为依据，划分联锁故障等级，并对应相应的响应级别。其次，明确应急响应流程：故障发生后，行车调度需立即扣停故障区域列车、封锁故障区段，通知维修与应急人员赶赴现场，同时上报线网调度与应急指挥中心；维修人员及时开展排查处置，车站人员负责管控客流并做好乘客告知工作；整套

响应流程需在 10 分钟内启动, 30 分钟内完成初步安全防护。最后, 建立跨部门协同机制: 联锁故障处置涉及行车调度、维修、车站、安保、客服等多个部门, 应当建立常态化协同机制, 明确各方职责, 定期开展联合演练, 避免出现相互推诿的情况。

3.2 分级分类应急处置策略

不同等级和不同类型的联锁故障所需要采用的处理方式不尽相同, 为了实现稳定运营, 并最大限度地降低对乘客出行的不良影响, 需制定分级分类应急处理策略。首先, 针对系统级全站联锁故障问题, 要求行车调度需立即封锁站内以及相邻区间, 并将进入故障区域的列车全部扣停, 降低列车误入危险区域的可能。在第一时间尝试切换备用联锁系统, 而对于主机故障问题, 应切换到备机实现恢复运行, 当备用系统切换成功后, 需组织列车限速运行, 由专人进行后续故障原因的排查。而针对无法切换的故障问题, 立即降级为电话闭塞法组织行车, 由车站人员人工办理接发列车, 人工排列进路, 人工确认道岔位置与进路锁闭情况, 采用手信号引导列车进出站, 严格控制发车间隔, 避免发生安全事故。若电话闭塞法也无法实施, 比如多个车站同时出现联锁故障, 应当及时对线路进行分段运营, 组织故障区段乘客疏散, 暂停故障区段运营, 通过公交接驳等方式疏散乘客。其次, 针对局部设备联锁故障问题, 应先立即扣停可能影响的列车, 并将故障进路封锁, 避免列车进入危险区域。对于故障道岔位于正确位置并能满足进路要求的情况, 应进行故障道岔的人工封锁处理, 组织列车限速通过, 将对运营的不良影响降至最低, 后续维修人员需利用行车间隔时间进行相应的维修处理。对于故障道岔无法满足进路要求的情况, 应由维修人员开展现场指导, 做好道岔操作, 确认位置正确后人工锁闭。排列进路后使用手信号引导列车进出站, 维持该车站的接发列车能力, 同时调整后续列车的运行间隔, 组织列车在故障车站跳停或通过, 减少延误。若人工操作也无法恢复, 及时组织故障车站关闭, 疏散站内乘客, 组织后续列车跳停该车站, 待故障修复后恢复运营。最后, 针对软件类逻辑故障问题, 首先需要尝试进行故障设备的重启, 部分临时性软件故障在设备重启后即可恢复, 对于重启后无法恢复的情况, 需立即切换备用系统, 并由软件工程师完成数据配置和逻辑错误情况的排查, 进行及时的修复处理。另外, 在故障修复结束后, 应做好全功能测试工作, 确保将隐患全部消除后, 才能恢复列车的正常运行。

3.3 运营调整与乘客服务策略

首先, 开展行车组织调整工作, 分析故障影响范围, 进行行车交路的及时调整。可利用分段交路的方式, 实现故障区段两端的小交路运行和故障区段的暂停运行, 降低对非故障区域的影响。对于故障车站, 为减少列车在故障区域的等待时间, 还可采用跳停措施。其次, 灵活调整客流组织, 在故障问题出现后, 站内需适当增加疏导人员, 控制站厅出入口、换乘通道的客流量, 对于临时关闭的故障车站, 需在出入口及时张贴公告, 引导乘客换乘其他车站或其他交通方式。再次, 提供乘客信息服务, 利用车站广播、官方 APP、电子显示屏等渠道进行故障信号以及延误情况, 进行故障信息以及延误情况, 为乘客提供换乘引导, 避免由于信息不对称问题影响乘客的出行。特别是针对长时间延误情况, 需及时为乘客办理退票业务。最后, 实施应急公交接驳, 对于故障时间较长并造成乘客大量滞留的问题, 应与交通公司及时联系, 启动公交接驳措施, 及时疏散滞留乘客, 避免故障问题影响乘客的出行体验。

3.4 事后复盘与体系优化

首先, 进行故障原因的深度分析。在故障问题处理完成后, 应组织相关技术人员全面分析故障发生的根本原因, 从管理层面、维护层面等多个方面入手, 了解问题出现的主要诱因是与机械设备有关还是与日常管理、维护等方面有关, 明确具体改进方向。其次, 制定完善的维修养护流程。以故障分析结果为依据, 优化现有维修养护流程, 进行具体内容的调整。可通过增加易损部件检测频次等方法提升检查的有效性, 将潜在隐患的不良影响降至最低。再次, 定期更新故障知识库, 将故障问题的现象、原因、排查方法、处理流程等纳入故障知识库当中, 为后续进行类似故障问题的处理提供参考依据。最后, 组织具有针对性的演练活动。为提高相关工作人员的处理能力, 需针对具体的故障类型组织全员演练, 总结处理阶段所存在的缺陷和不足, 及时进行应急处理流程的优化与完善。

4 结语

总之, 在我国城市轨道交通事业不断发展的过程中, 对联锁系统运行的安全性、稳定性以及故障处理能力提出了更高的要求, 但受设备、人员、环境等多方面因素的影响, 故障问题无法完全避免。为此, 就需要进一步进行智能诊断、预测性维护等技术的研究与分析, 通过完善应急处置体系的方式, 提高地铁联锁系统的运行水平, 为轨道交通事业的健康发展提供保障支持。

参考文献:

- [1] 贾春肖, 张宏韬, 齐志华. 我国铁路列控联锁系统发展趋势研究[J]. 中国铁路, 2023(2): 1-5.
- [2] 余飞. 电子联锁在机务段综合管控系统中的应用[J]. 铁道通信信号, 2025, 54(11): 18-21.
- [3] 张东峰. 未来轨道交通信号系统改造工程技术方案探讨[J]. 新型工业化, 2023, 11(4): 81-82,88.
- [4] 李宗. 推进全电子联锁信号系统在地铁车辆段升级及应用[J]. 中国信息化, 2023(12): 50-52.
- [5] 毛芳. 关于全电子联锁与计算机联锁系统的对比分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(1): 110-114.
- [6] 沈旭征. 上海轨道交通既有车场联锁系统整体改造方案及实施策略[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(11): 261-265.

作者简介: 张耀 (1991.04-), 男, 汉族, 江苏徐州人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 城市轨道交通信号方向。