

探究地铁信号系统的维护方法与维修技术

马 超 马学仁 杨志刚
西安市轨道交通集团有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：地铁信号系统对保障地铁运行的安全与高效至关重要。其常见故障涵盖硬件设备故障、软件系统故障及通信故障等。维护方法包含日常巡检、定期检测与预防性维护，通过不同周期和方式确保系统稳定。维修技术方面，运用故障诊断技术精准定位问题，设备修复技术恢复设备功能，系统调试技术保障系统重新正常运行，多种技术协同维持地铁信号系统的可靠运转。

关键词：地铁信号系统；维护方法；维修技术

引言

在城市轨道交通飞速发展的当下，地铁承担着极为关键的运输任务。地铁信号系统作为确保行车安全、提高运输效率的核心子系统，其稳定运行意义重大。一旦信号系统出现故障，极有可能引发列车延误、甚至危及乘客安全。本文深入剖析地铁信号系统的常见故障，探究与之对应的科学维护方法与先进维修技术，旨在为提升地铁信号系统运行可靠性提供有力支撑。

1 地铁信号系统概述

地铁信号系统是确保地铁列车安全、高效运行的核心系统，它集成了先进的计算机控制、通信技术和自动化控制理论，实现了列车运行的全面监控与智能调度。该系统主要由列车自动防护子系统（ATP）、列车自动运行子系统（ATO）、列车自动监控子系统（ATS）以及正线计算机联锁子系统（CBI）等关键部分组成，各子系统之间紧密协作，共同构建一个以安全设备为基础，集行车指挥、运行调整以及列车驾驶自动化等功能为一体的综合系统。ATP子系统负责列车运行的安全防护，通过实时监测列车位置和速度，确保列车在安全速度下运行，并防止超速或碰撞等危险情况的发生。ATO子系统则实现列车的自动驾驶，根据预设的运行曲线和实时交通状况，自动调整列车的牵引、制动等操作，提高运行效率和乘客舒适度。ATS子系统则负责对全线列车的运行情况进行集中监视与控制，辅助调度人员做出科学决策，优化行车组织，提升运输能力。地铁信号系统的发展经历了从人工信号到机械信号，再到电信号、计算机化信号和智能化信号的多个阶段。现代地铁信号系统普遍采用基于通信的列车运行控制系统（CBTC），通过无线通信实现列车与地面设备的双向信息传输，进一步提高了系统的自动化程度和运行效率。这种系统能够根据实时数据自动调整列车运行方案，动态控制列车间隔，确保地

铁列车在密集运行环境下的安全性和高效性。

2 地铁信号系统常见故障分析

2.1 硬件设备故障

地铁信号系统中的硬件设备涵盖众多关键组件，其故障会对系统正常运行产生严重影响。轨道电路作为检测列车占用情况的基础设备，当出现轨面生锈、断轨或者电路元件老化损坏时，会导致轨道电路误判，错误地显示轨道占用或空闲状态，进而影响列车的正常进路排列和运行。信号机作为向列车司机传递运行指令的关键设备，若灯泡烧毁、机构卡滞或内部电路故障，将无法正确显示信号，使司机无法获取准确的行车指示，可能引发列车运行混乱甚至安全事故。转辙机负责道岔的转换和锁闭，一旦机械部件磨损、电机故障或者传动装置失效，道岔无法正常转换到预定位置，不仅会阻碍列车行驶，还可能导致列车脱轨等严重后果。各类传感器、电缆等硬件设备，在长期运行过程中，受环境因素如潮湿、高温、电磁干扰等影响，以及机械振动、电气应力等作用，也容易出现性能下降、短路、断路等故障，这些故障会干扰系统对列车状态、轨道状况等信息的准确采集和传输，破坏信号系统的整体稳定性和可靠性。

2.2 软件系统故障

软件系统在地铁信号系统中起着核心控制与逻辑运算的关键作用，软件故障同样不容小觑。程序漏洞是软件系统常见问题之一，在软件开发过程中，由于代码编写的复杂性和测试的局限性，可能遗留一些未被发现的逻辑错误或缺陷。当系统运行到特定条件触发这些漏洞时，会导致系统出现异常行为，比如列车自动防护子系统（ATP）的速度防护计算错误，使得列车实际运行速度与设定的安全速度不符，危及行车安全。软件升级过程也可能引发故障，如果新的软件版本与既有硬件设备兼容性不佳，或者在升级过程中出现数据丢失、配置错误

等情况,会使系统无法正常运行,甚至出现功能紊乱。数据库故障也会对信号系统产生严重影响,信号系统依赖数据库存储大量的运行数据、设备状态信息以及行车计划等。当数据库发生数据损坏、丢失或者访问异常时,系统无法准确读取和更新关键数据,导致列车自动监控子系统(ATS)无法实时掌握列车运行状态,无法进行有效的行车调度和运行调整,严重影响地铁运营的高效性和流畅性^[1]。

2.3 通信故障

通信是地铁信号系统实现信息交互与协同工作的桥梁,通信故障对系统的影响广泛且直接。无线通信故障是较为常见的问题,地铁运行环境复杂,存在大量的电磁干扰源,如列车自身的电气设备、隧道内的金属结构等。这些干扰可能导致无线信号衰减、中断或误码率增加,使得列车与地面设备之间的双向通信受阻。例如,列车自动运行子系统(ATO)无法及时接收地面发送的运行指令,或者无法将列车的实时状态信息反馈给地面控制中心,导致列车运行失去控制,无法按照预定的运行计划行驶。有线通信网络故障同样严重,信号系统中的各类设备通过有线网络进行数据传输,当电缆出现老化、破损、接头松动等情况时,会造成数据传输中断或错误。例如,正线计算机联锁子系统(CBI)与其他子系统之间的通信中断,将导致联锁关系无法正常建立和维持,影响道岔控制、信号开放等关键功能,进而使整个地铁线路的行车秩序陷入混乱。通信协议不一致、通信设备故障等问题,也会干扰信号系统中各子系统之间信息的准确、及时传递,破坏系统的协同运行机制,对地铁的安全、高效运营构成威胁。

3 地铁信号系统的维护方法

3.1 日常巡检维护

(1) 针对硬件设备,每日需对轨道电路进行细致查看,检查轨面有无生锈迹象,轨道电路元件外观是否正常,有无明显损坏或老化特征,确保其能准确检测列车占用情况。对于信号机,要查看灯泡发光是否正常,信号机构能否灵活转动,内部电路连接有无松动,保证信号机清晰准确地向司机传递运行指令。(2) 软件系统的日常巡检重点在于系统运行状态监测。观察各子系统软件的运行日志,查看有无异常报错信息,分析系统资源占用情况,如CPU使用率、内存占用量等,确保软件系统稳定运行,及时发现潜在的程序漏洞引发的异常行为迹象。(3) 通信方面,每日巡检无线通信设备的信号强度、误码率等指标,检查天线安装是否稳固,有无损坏。对于有线通信网络,查看电缆外观有无破损、接头

是否牢固,监测网络数据传输的丢包率、延迟等参数,保障通信的稳定与畅通,使信号系统各部分信息交互不受阻碍^[2]。

3.2 定期检测维护

(1) 定期对硬件设备进行全面检测,例如使用专业仪器对轨道电路进行电气参数测试,包括轨道电路的电阻、电容、电感等,确保其在正常范围内,能精准识别列车位置。对信号机进行全面性能检测,涵盖灯光亮度、颜色准确性以及信号显示的切换时间等,保证信号机各项性能符合标准。对于转辙机,定期拆解关键部件,检查机械磨损程度,测试电机的输出功率、转速等参数,确保转辙机稳定可靠工作。(2) 软件系统定期检测包括全面的漏洞扫描,利用专业的软件测试工具对系统进行深度检测,查找潜在的程序漏洞。对数据库进行完整性和一致性检查,验证数据的准确性和存储结构的合理性,定期进行数据备份,防止数据丢失或损坏影响系统运行。(3) 通信系统的定期检测中,对无线通信设备进行全面的频率规划和干扰测试,优化无线通信环境,确保信号稳定。对有线通信网络进行全面的线路测试,包括电缆的绝缘性能测试、网络拓扑结构检查等,保障数据传输的准确性和稳定性,及时发现并解决通信网络中潜在的故障隐患。

3.3 预防性维护

(1) 在硬件设备方面,根据设备的使用年限和运行状况,制定合理的设备更新计划。对于容易受环境因素影响的传感器、电缆等,提前进行防护处理,如对电缆进行防水、防潮、防电磁干扰的封装,定期对传感器进行校准和性能优化,延长设备使用寿命,降低故障发生概率。(2) 软件系统的预防性维护,关注软件供应商发布的安全补丁和功能更新,及时对系统进行更新升级,但在升级前需进行充分的测试,确保新版本与既有系统的兼容性。建立完善的软件故障预警机制,通过实时监测系统运行数据,利用数据分析算法预测可能出现的软件故障,提前采取措施进行防范。(3) 通信系统的预防性维护,通过对历史通信故障数据的分析,预测可能出现故障的区域和设备,提前进行设备冗余配置,如增加备用通信链路、备用通信设备等。定期对通信设备进行软件升级和参数优化,提高设备的抗干扰能力和通信质量,保障信号系统通信的可靠性,预防通信故障对地铁运营产生影响。

4 地铁信号系统的维修技术

4.1 故障诊断技术

地铁信号系统故障诊断需综合运用多种先进技术手

段。基于数据驱动的故障诊断方法在其中发挥着关键作用，它收集信号系统运行中产生的海量数据，包括列车运行状态、设备状态监测及通信数据等。利用数据挖掘算法对这些数据进行深度剖析，可挖掘出数据间的潜在关联与特征模式，进而识别系统运行的异常状态。比如，通过分析轨道电路的电流、电压数据变化，能精准判断其是否存在故障隐患。智能诊断技术中的神经网络模型也被广泛用于故障诊断。构建多层感知器或卷积神经网络等模型，以大量故障样本数据为训练集对模型进行训练优化。训练后的模型能依据输入的实时监测数据，快速准确地识别出故障类型与位置，如判断信号机故障类型。故障树分析法也是常用手段。它以故障现象为顶事件，逐步向下分析导致该故障的中间事件与底事件，建立逻辑因果关系的故障树。通过对故障树进行定性分析与定量分析，能清晰找出故障根源，为后续维修工作指明方向，提高故障诊断的准确性与效率^[3]。

4.2 设备修复技术

在地铁信号系统设备修复方面，针对不同硬件设备故障有着相应的专业修复技术。当轨道电路出现故障时，若为轨面生锈问题，可采用专业的轨道打磨设备对轨面进行打磨处理，去除铁锈，恢复轨道电路的电气性能。对于电路元件老化损坏情况，维修人员需依据电路原理图，使用高精度的电子测试仪器，如万用表、示波器等，精准定位故障元件，并进行更换。在更换过程中，严格遵循焊接工艺标准，确保新元件焊接牢固，避免虚焊、短路等问题。信号机灯泡烧毁只需进行简单更换即可，但若是机构卡滞或内部电路故障，则需对信号机机构进行拆解检查，对磨损的机械部件进行修复或更换，同时仔细排查内部电路，修复短路、断路等故障点，确保信号机能够正常工作。转辙机故障修复时，对于机械部件磨损，可采用表面修复技术，如电刷镀、热喷涂等，恢复部件尺寸与精度。电机故障则需对电机进行拆解，检查绕组、换向器等部件，对损坏部件进行维修或更换，修复完成后还需对转辙机进行整体调试，保证其转换和锁闭功能正常。

4.3 系统调试技术

地铁信号系统调试技术是确保维修后系统正常运行的关键环节。在硬件设备维修完成后，需对相关子系统进行功能调试。例如，对修复后的轨道电路进行功能测试，通过模拟列车占用与出清状态，检查轨道电路能否准确输出相应的占用与空闲信号，确保列车位置检测功能正常。对于信号机，要进行信号显示调试，检查不同信号显示状态下灯光亮度、颜色是否符合标准，信号切换是否准确及时。软件系统调试方面，对涉及的各子系统软件进行全面测试。先进行单元测试，对软件的各个功能模块分别进行测试，检查模块功能是否正常。随后进行集成测试，将各个模块组合起来，测试模块之间的接口与协同工作情况，确保整个软件系统功能的完整性与稳定性。通信系统调试同样重要，对无线通信系统，进行信号强度、误码率等指标测试，通过调整天线位置、优化通信参数等手段，保证列车与地面设备之间通信稳定可靠。对于有线通信网络，进行数据传输测试，检查数据传输的准确性与实时性，确保各子系统之间通信顺畅，使整个地铁信号系统能够协调一致地高效运行^[4]。

结语

综上所述，地铁信号系统的维护与维修工作是保障地铁安全、高效运营的关键环节。通过对常见故障的深入分析，实施日常巡检、定期检测和预防性维护等科学维护方法，以及运用故障诊断、设备修复和系统调试等先进维修技术，能够有效降低故障发生率，提高故障处理效率。未来，随着技术的不断进步，需持续优化维护与维修策略，以适应地铁信号系统日益复杂的发展需求，为城市轨道交通的稳定运行保驾护航。

参考文献

- [1]翟阿南.探究地铁信号系统的维护方法与维修技术[J].通讯世界,2024,31(6):139-141.
- [2]吴越明.地铁信号系统的维护方法与维修技术分析探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(5):1751.
- [3]黄艳青.地铁信号系统的维护方法与维修技术分析探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(5):1638.
- [4]贾凯强.地铁信号系统的维护方法与维修技术探讨[J].大观周刊,2020(14):318.