

城市轨道交通信号系统中的故障诊断与维护策略研究

马蓬勃

通号城市轨道交通技术有限公司 北京 100070

摘要: 随着城市轨道交通的快速发展,信号系统作为保障列车安全、高效运行的关键部分,其可靠性和稳定性至关重要。本文深入研究城市轨道交通信号系统中的故障诊断与维护策略。首先阐述了城市轨道交通信号系统的组成和功能,分析常见故障类型及其产生原因。接着详细探讨了故障诊断技术,包括基于模型的诊断方法、基于信号处理的方法以及基于人工智能的方法。在维护策略方面,从预防性维护、故障修复性维护和管理体系等方面进行了研究。通过对故障诊断与维护策略的深入分析,旨在提高城市轨道交通信号系统的可靠性,降低故障发生率,保障城市轨道交通的安全、稳定运行。

关键词: 城市轨道交通; 信号系统; 故障诊断; 维护策略

1 引言

城市轨道交通以其高效、便捷、环保等优势,成为现代城市公共交通的重要组成部分。信号系统作为城市轨道交通的“大脑”,对列车的运行指挥、安全防护起着核心作用。一旦信号系统发生故障,可能导致列车延误、停运,甚至引发安全事故,给城市交通和社会经济带来严重影响。因此,深入研究城市轨道交通信号系统的故障诊断与维护策略,提高信号系统的可靠性和可用性,具有重要的现实意义。

2 城市轨道交通信号系统概述

2.1 系统组成

城市轨道交通信号系统主要由列车自动控制系统(ATC)、联锁系统、闭塞系统等组成。列车自动控制系统又包括列车自动监控(ATS)、列车自动防护(ATP)和列车自动运行(ATO)三个子系统。ATS负责对列车运行进行实时监控和调度指挥;ATP是保障列车运行安全的核心子系统,通过轨道电路等设备检测列车位置,防止列车超速、追尾等事故;ATO则实现列车的自动运行控制,包括自动启动、加速、减速、停车等。联锁系统用于控制道岔、信号机等设备之间的逻辑关系,确保列车在车站和区间的安全运行。闭塞系统将线路划分为若干个闭塞分区,保证同一时间每个闭塞分区内只有一列列车运行。

2.2 功能

城市轨道交通信号系统的主要功能包括列车进路控制、列车运行安全防护、列车运行自动监控和调整、信息传输与显示等。通过进路控制,信号系统根据列车运行计划和车站作业需求,自动排列列车进路,确保列车能够安全、准确地驶向目的地。运行安全防护功能利

用ATP子系统,对列车的速度、位置进行实时监控和控制,当列车出现超速、冒进信号等危险情况时,能及时采取制动措施,保障列车运行安全。自动监控和调整功能使ATS能够实时掌握列车的运行状态,根据实际情况对列车运行进行调整,提高列车运行的效率和准点率。信息传输与显示功能则负责将信号系统的各种信息,如列车位置、信号机状态等,传输给车站工作人员和乘客,以便他们了解列车运行情况。

3 城市轨道交通信号系统常见故障类型及原因分析

3.1 常见故障类型

3.1.1 硬件故障

硬件故障是信号系统中较为常见的故障类型,主要包括设备元件损坏、电路板故障、传感器故障等。例如,信号机灯泡烧毁、转辙机电机故障、轨道电路继电器损坏等。硬件故障通常会导致设备无法正常工作,直接影响信号系统的功能。

3.1.2 软件故障

随着信号系统智能化程度的提高,软件在系统中所占的比重越来越大,软件故障也日益凸显。软件故障主要包括程序错误、数据错误、软件兼容性问题等。例如,ATS软件中的列车运行计划计算错误、ATP软件中的速度控制算法错误等。软件故障可能导致信号系统出现逻辑错误、功能异常等问题。

3.1.3 通信故障

通信系统是信号系统中各个子系统之间进行信息传输的桥梁,通信故障会影响信号系统的整体性能。通信故障主要包括通信线路中断、通信协议错误、通信设备故障等。例如,光纤线路断裂导致ATS与车站设备之间的通信中断、通信模块故障导致数据传输错误等。通信

故障可能导致列车控制信息无法及时传输,影响列车的正常运行。

3.2 故障原因分析

3.2.1 设备老化

城市轨道交通信号系统中的设备长期运行,会出现老化现象,导致设备性能下降,故障率增加。例如,电子元件的老化会导致其参数漂移,影响设备的正常工作;机械部件的磨损会导致设备动作不灵活,甚至出现故障。

3.2.2 环境因素

信号系统设备所处的环境对其运行可靠性有很大影响。例如,高温、高湿、灰尘、电磁干扰等环境因素可能导致设备损坏或性能下降。在高温环境下,电子设备的散热不良会导致其温度过高,从而影响设备的稳定性;电磁干扰可能会影响通信设备的正常工作,导致数据传输错误。

3.2.3 人为因素

人为因素也是导致信号系统故障的重要原因之一。例如,操作人员的误操作、维护人员的维修不当、施工过程中的损坏等。操作人员在操作信号设备时,如果违反操作规程,可能会导致信号系统出现错误动作;维护人员进行设备维修时,如果技术水平不足或工作疏忽,可能会无法及时发现和解决设备故障,甚至会引发新的故障。

3.2.4 软件缺陷

软件在开发过程中可能存在缺陷,这些缺陷在系统运行过程中可能会被触发,导致软件故障。此外,软件的更新和升级也可能带来兼容性问题,影响信号系统的正常运行。

4 城市轨道交通信号系统故障诊断技术

4.1 基于模型的故障诊断方法

基于模型的故障诊断方法是利用信号系统的数学模型来描述系统的正常行为和故障行为,通过对系统实际运行数据与模型预测数据的比较,来检测和诊断故障。常见的基于模型的故障诊断方法有状态估计法、参数估计法和等价空间法等。

状态估计法通过建立系统的状态空间模型,利用系统的输入和输出数据对系统的状态进行估计。当系统发生故障时,实际状态与估计状态之间会出现偏差,通过检测这种偏差来诊断故障。参数估计法是根据系统的输入输出数据,对系统的参数进行估计。当系统参数发生变化时,说明系统可能出现了故障。等价空间法是利用系统的数学模型,构造出一组等价方程,通过检测等价

方程的残差来诊断故障。

基于模型的故障诊断方法具有诊断精度高、能检测早期故障等优点,但需要建立准确的系统模型,对模型的依赖性较强,而且模型的建立和维护较为复杂。

4.2 基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的故障诊断方法是通过对信号系统中的各种信号,如电流、电压、振动等信号进行分析和处理,提取信号的特征信息,根据特征信息来判断系统是否发生故障。常见的基于信号处理的故障诊断方法有频谱分析、小波分析、短时傅里叶变换等。

频谱分析是将时域信号转换为频域信号,通过分析信号的频率成分来判断系统是否存在故障。例如,当信号中出现异常的频率成分时,可能表示设备存在故障。小波分析是一种时频分析方法,它能够对信号进行多分辨率分析,在不同的时间和频率尺度上提取信号的特征信息。短时傅里叶变换则是在傅里叶变换的基础上,通过加窗的方式对信号进行局部分析,能够反映信号在不同时间段的频率特性。

基于信号处理的故障诊断方法具有实时性好、对噪声不敏感等优点,但只能检测出与信号特征相关的故障,对于一些复杂的故障诊断能力有限。

4.3 基于人工智能的故障诊断方法

随着人工智能技术的发展,基于人工智能的故障诊断方法在城市轨道交通信号系统中得到了广泛应用。常见的基于人工智能的故障诊断方法有神经网络、专家系统、模糊逻辑等。

神经网络具有强大的学习能力和非线性映射能力,能够通过对大量故障样本数据的学习,建立故障模式与故障原因之间的映射关系。当系统出现故障时,神经网络可以根据输入的故障特征数据,快速判断出故障原因。专家系统是基于领域专家的知识 and 经验建立的智能系统,它通过知识库和推理机来模拟专家的思维过程,对故障进行诊断和决策。模糊逻辑则是利用模糊集合和模糊推理来处理不确定性问题,能够对故障的严重程度进行模糊评估。

基于人工智能的故障诊断方法具有自学习、自适应能力强、能够处理复杂故障等优点,但需要大量的故障样本数据进行训练,而且诊断结果的可解释性较差。

5 城市轨道交通信号系统维护策略

5.1 预防性维护

预防性维护是在设备发生故障之前,通过对设备进行定期检查、保养、测试等措施,及时发现设备潜在的问题,并采取相应的措施进行处理,以防止故障的发

生。预防性维护主要包括定期巡检、设备保养、性能测试等内容。

定期巡检是维护人员按照一定的周期对信号系统设备进行现场检查,检查内容包括设备的外观、运行状态、连接部件等。通过巡检,及时发现设备的异常情况,如设备过热、异味、松动等。设备保养是对设备进行清洁、润滑、紧固等工作,以保证设备的正常运行。性能测试是利用专业的测试设备对信号系统的各项性能指标进行测试,如信号机的显示距离、转辙机的动作时间、轨道电路的参数等,确保设备性能符合要求。

预防性维护能够有效降低设备故障率,提高信号系统的可靠性和可用性,但需要合理安排维护周期和维护内容,避免过度维护和维护不足。

5.2 故障修复性维护

当信号系统发生故障时,需要及时进行故障修复性维护,以尽快恢复系统的正常运行。故障修复性维护主要包括故障定位、故障排除和修复后的测试等环节。

故障定位是利用故障诊断技术,快速准确地确定故障发生的位置和原因。在故障定位过程中,维护人员可以结合设备的故障现象、历史故障记录、现场测试数据等信息,采用多种故障诊断方法进行综合分析。故障排除是根据故障定位的结果,采取相应的措施对故障进行修复,如更换损坏的设备元件、修复软件错误、排除通信线路故障等。修复后的测试是对修复后的设备进行全面测试,确保设备已经恢复正常运行,各项性能指标符合要求。

故障修复性维护要求维护人员具备丰富的专业知识和实践经验,能够快速响应并解决故障,减少故障对列车运行的影响。

5.3 维护管理体系

建立完善的维护管理体系是保障城市轨道交通信号系统维护工作顺利开展的重要保障。维护管理体系主要包括维护人员管理、维护设备管理、维护文档管理和维护质量管理等内容。

维护人员管理包括维护人员的培训、考核、岗位职责划分等。通过定期培训,提高维护人员的专业技术水平和业务能力;通过考核,激励维护人员提高工作质量

和效率。维护设备管理是对维护工作中使用的工具、测试设备等进行管理,确保设备的完好性和准确性。维护文档管理是对信号系统的设备资料、维护记录、故障报告等文档进行管理,为维护工作提供参考依据。维护质量管理是建立维护质量监督和评估机制,对维护工作的质量进行监督和评估,不断改进维护工作。

6 结论

城市轨道交通信号系统的故障诊断与维护策略是保障信号系统可靠性和稳定性的关键。通过深入研究信号系统的常见故障类型及原因,采用先进的故障诊断技术,如基于模型的方法、基于信号处理的方法和基于人工智能的方法,能够及时准确地检测和诊断故障。同时,制定科学合理的维护策略,包括预防性维护、故障修复性维护和完善的维护管理体系,能够有效降低故障发生率,提高信号系统的可用性和可靠性。随着技术的不断发展,城市轨道交通信号系统的故障诊断与维护策略也需要不断创新和完善,以适应城市轨道交通快速发展的需求,为城市轨道交通的安全、高效运行提供有力保障。未来,可进一步研究将大数据、物联网等新兴技术应用于信号系统的故障诊断与维护中,提高故障诊断的准确性和维护工作的智能化水平。

参考文献

- [1]李小明,王丽.城市轨道交通信号系统可靠性分析与优化[J].交通工程学报,2020,20(3):45-52.
- [2]Zhang Y, Wang X. Research on Fault Diagnosis Method of Urban Rail Transit Signal System Based on Deep Neural Network[J]. Journal of Applied Sciences, 2021, 41(2): 35-45.
- [3]刘辉,陈强.城市轨道交通信号系统维护管理模式的探讨与实践[J].现代城市轨道交通,2019(5):70-75.
- [4]Wang Z, Li H. A New Fault Diagnosis Approach for Urban Rail Transit Signaling Systems Using Wavelet Transform and Support Vector Machine[C]//Proceedings of the 2022 International Conference on Transportation and Automation. 2022: 56-66.
- [5]赵亮,孙悦.基于专家系统的城市轨道交通信号系统故障诊断研究[J].铁道通信信号,2020,56(4):35-39.