

探讨轨道交通信号的可靠性和安全性

朱林鸿

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 402260

摘要：本文概述了轨道交通信号系统，指出其由多个子系统构成，协同保障列车高效安全运行。分析了影响信号可靠性和安全性的因素，包括硬件设备、软件系统、人为操作及环境因素。探讨了提高可靠性和安全性的技术手段，如冗余设计、故障诊断与预测、安全协议与通信加密，以及管理措施，包括完善维护体系、加强人员培训与管理、强化应急管理机制。

关键词：轨道交通信号；可靠性；安全性；探讨

引言：轨道交通信号系统作为现代城市轨道交通运行的核心支撑，集多领域技术于一体，承担着列车精准指挥、动态控制与全程监督重任。其可靠性与安全性关乎列车运行效率与乘客生命安全，受硬件设备、软件系统、人为操作及环境等多因素影响。因此，探究提升其可靠性与安全性技术与管理手段，对保障轨道交通稳定运行意义重大。

1 轨道交通信号系统概述

轨道交通信号系统作为现代城市轨道交通运行的核心支撑体系，是集控制理论、通信技术、计算机科学与自动化技术于一体的复杂综合系统，其核心功能在于实现列车运行的精准指挥、动态控制与全程监督，从而确保列车在安全间隔下实现高效、有序运行。该系统由列车自动控制系统（ATC）、联锁系统（CI）、数据传输（DCS）子系统、维护监测（MSS）子系统、等多个相互关联、协同运作的子系统构成，各子系统通过标准化接口和通信协议实现数据交互与功能耦合，共同构建起完整的列车运行控制体系。

列车自动控制系统（ATC）是轨道交通信号系统的核心，由ATP、ATO和ATS三大子系统组成。ATP子系统基于车地双向通信，通过车载与地面设备交互获取关键参数，结合列车状态计算允许速度曲线并实施制动干预，形成闭环控制，防止超速等安全隐患，是列车安全运行的保障。ATO子系统以ATP的速度信息为基准，通过车载控制器与牵引、制动系统集成，采用优化算法自动调节列车运行状态，实现节能平稳运行与精准停车，提升乘客舒适性与系统效率。ATS子系统依托分布式网络与大数据技术，构建全线监控网络，实时采集数据并编制、调整运行计划，支持应急调度，全面提升轨道交通运营管理与服务质量。

联锁系统（CI）是轨道交通信号系统的核心安全设

备，负责保障列车运行安全与车站作业有序。其通过逻辑控制实现信号机、道岔、轨道区段间的联锁关系，防止进路冲突与误操作。系统经继电器接口或网络协议（如RSSP-1）与轨旁设备（道岔、计轴等）交互，实时监控并执行控制指令。运行中严格遵循故障-安全原则，若进路条件不满足（如道岔未锁闭），则禁止开放信号。系统支持进路自动办理、道岔控制等功能，兼容CBTC、点式等模式。架构采用分层设计，通过冗余结构（如二乘二取二）提升可靠性，并具备自诊断与远程诊断能力，可跨线联动监督。在车辆段独立运行保障调车安全，全电子联锁系统正逐步替代传统电路，提升智能化与运维效率^[1]。

数据传输（DCS）子系统是轨道交通信号系统的专用通信网络，为各子系统提供安全可靠的通信通道，负责列车控制子系统间数据报文的收发，实现地面控制中心、车站、车辆段/停车场、轨旁及车载设备间的数据安全传输。DCS由轨旁有线骨干网络和车地无线通信网络构成，采用IEEE 802.3以太网标准，车地无线通信采用TD-LTE技术。列控设备间通过TCP/UDP协议直接通信。有线骨干网络分为ATC和ATS网络，ATS网络为MSS子系统和派班系统划分VLAN虚拟子网；车地无线通信实现轨旁设备与车载VOBC的无线数据传输。DCS的ATC和ATS网络采用A/B双网冗余设计，架构独立且并行工作，同步传输数据，所有信息通过双网独立送达，形成冗余通信机制，保障系统稳定运行。

维护监测（MSS）子系统是轨道交通信号系统的重要支撑平台，具备分散检测、实时报警及远程维护功能。该系统在线监测外电网、电源屏、道岔等设备及机房环境的模拟量、开关量与报警信息，整合计算机联锁（含LEU和应答器）、ATS、ATP等核心子系统维护数据，构建综合监测平台，实现信号设备的集中维护、状

态监测与管理。MSS推动信号设备维护向信息化、智能化转型,是保障行车安全、分析故障原因、辅助维修决策的关键工具。其融合传感器、计算机网络等技术,实时记录设备状态,为事故分析提供数据支持。系统具备逻辑判断能力,设备异常或偏离阈值时可自动报警,及时提示风险,避免影响列车运行安全与准点率,提升信号部门维护效率。

2 影响轨道交通信号可靠性和安全性的因素

2.1 硬件设备因素

硬件设备是轨道交通信号系统的物质基础,其性能和质量直接影响信号的可靠性和安全性。一方面,信号设备长期处于高强度、不间断的工作状态,设备的老化、磨损现象不可避免。例如,继电器的触点在频繁动作后会出现氧化、磨损,导致接触不良,影响信号的正常传输;信号机的灯泡在长时间使用后会亮度下降、烧毁等问题,降低信号的可视性。另一方面,硬件设备在制造、安装和维护过程中也可能存在质量缺陷。如果设备制造工艺不达标,元器件质量不稳定,或者安装过程中出现接线错误、设备安装不牢固等问题,都可能引发信号故障。此外,设备的抗干扰能力也是影响可靠性和安全性的重要因素。轨道交通环境中存在着各种电磁干扰源,如牵引供电系统、通信设备等,如果信号设备的电磁兼容性差,就容易受到干扰,导致信号误判或丢失^[2]。

2.2 软件系统因素

随着信息技术的发展,软件在轨道交通信号系统中发挥着越来越重要的作用,但同时也带来了新的安全隐患。软件系统的设计缺陷是影响信号可靠性和安全性的关键因素之一。在软件开发过程中,由于需求分析不全面、设计不合理、代码编写不规范等原因,可能会导致软件存在漏洞和错误。例如,软件中的逻辑错误可能导致信号系统出现误操作,错误的算法可能影响列车运行控制的准确性。此外,软件的更新和升级也可能带来风险。如果在软件更新过程中没有进行充分的测试和验证,新的版本可能会引入新的问题,影响信号系统的正常运行。同时,软件系统还面临着网络安全威胁,如黑客攻击、病毒感染等。

2.3 人为操作因素

人为操作在轨道交通信号系统的运行和维护过程中起着决定性作用,人员的素质和操作行为直接关系到信号的可靠性和安全性。操作人员的业务水平不足是导致信号故障的常见原因之一。如果操作人员对信号设备的原理、操作流程不熟悉,在操作过程中就容易出现误

操作,如错误设置信号参数、误发控制指令等。此外,操作人员的工作态度和责任心也至关重要。在实际工作中,部分操作人员存在侥幸心理、工作疏忽等情况,例如在设备巡检过程中敷衍了事,未能及时发现设备隐患;在故障处理过程中不严格按照操作规程执行,可能导致故障扩大化。同时,人员培训和管理不到位也是影响人为操作安全性的重要因素。如果培训内容不能及时更新,培训方式不科学,操作人员就无法掌握最新的技术和操作规范;而缺乏有效的管理和监督机制,容易导致操作人员违规操作行为的发生。

2.4 环境因素

环境因素对轨道交通信号系统的可靠性和安全性有着不可忽视的影响。自然环境方面,恶劣的天气条件如暴雨、暴雪、大风、雷击等可能对信号设备造成损坏。例如,雷击可能会击穿信号设备的电子元件,导致设备故障;暴雨可能引发积水,浸泡信号设备,造成短路等问题。此外,温度、湿度、粉尘等环境参数的变化也会影响信号设备的性能。高温环境下,设备的散热不良可能导致元器件过热损坏;高湿度环境容易使设备受潮,影响绝缘性能;粉尘过多可能会堵塞设备的散热孔,影响设备的正常运行。另一方面,社会环境因素也会对信号系统产生影响。例如,城市建设施工可能会破坏信号系统的电缆、光缆等基础设施;周边的电磁干扰源可能会干扰信号的传输和处理。

3 提高轨道交通信号可靠性和安全性的技术手段

3.1 冗余设计

冗余设计是提升轨道交通信号系统可靠性与安全性的关键技术手段。其通过在系统中配置冗余设备或模块,当主设备或模块发生故障时,冗余部分可自动切换并接替工作,确保系统稳定运行。在城市轨道交通信号控制系统中,联锁系统是保障行车安全的核心部分,可采用冗余设计来增强其可靠性。例如,运用双机热备的冗余方式,设置主、备联锁机。当主联锁机出现故障时,备用联锁机能够迅速接管工作,保证联锁逻辑的正确执行,维持行车进路的安全与稳定。在通信系统方面,同样可引入冗余链路设计。当主通信链路出现故障时,备用链路会自动启用,确保信号数据能够正常、稳定地传输,避免因通信中断而影响列车运行。此外,还可采用多重冗余设计,如三取二表决机制。该机制对三个相同功能模块的输出结果进行表决,以多数结果作为系统的最终输出,能有效避免单个模块故障对系统造成的影响,进一步增强系统的可靠性与安全性。

3.2 故障诊断与预测技术

故障诊断与预测技术能够及时发现信号系统中潜在的故障隐患,并对故障进行准确的定位和分析,从而提高系统的可靠性和安全性。基于传感器技术和数据采集系统,可以实时获取信号设备的运行状态参数,如电压、电流、温度、振动等。通过对这些参数进行分析和处理,利用故障诊断算法,如神经网络算法、专家系统等,能够快速识别设备的故障类型和故障位置。例如,通过监测信号机灯泡的电流变化,可以预测灯泡的使用寿命,提前进行更换,避免因灯泡损坏导致信号显示异常。此外,故障预测技术还可以根据设备的历史运行数据和当前状态,预测设备未来可能出现的故障,提前采取预防措施,降低故障发生的概率^[3]。

3.3 安全协议与通信加密

安全协议和通信加密技术是保障轨道交通信号系统数据安全和通信安全的关键。在信号系统中,采用安全可靠的通信协议,如铁路专用通信协议,可以确保信号数据在传输过程中的准确性和完整性。同时,对信号数据进行加密处理,能够防止数据被窃取、篡改和伪造。例如,采用对称加密算法或非对称加密算法对信号数据进行加密,只有拥有正确密钥的设备才能解密和处理数据。此外,还可以采用数字签名技术,对信号数据进行签名验证,确保数据的来源可靠,防止数据在传输过程中被恶意篡改。通过这些安全协议和通信加密技术,可以有效提高信号系统的安全性,保障列车运行安全。

4 提高轨道交通信号可靠性和安全性的管理措施

4.1 完善设备维护管理体系

建立完善的设备维护管理体系是确保轨道交通信号设备可靠运行的基础。首先,要制定科学合理的设备维护计划,根据设备的特点和使用情况,确定合理的维护周期和维护内容。例如,对于关键设备如信号机、道岔转辙机和计轴等设备,应增加巡检和维护的频率;对于易损部件如继电器、动静节点等,应定期进行更换。其次,要加强设备维护过程的管理和监督,建立严格的维护记录制度,确保维护工作的质量和可追溯性。同时,要采用先进的维护技术和设备,如远程监控技术、状态检修技术等,提高设备维护的效率和准确性。

4.2 加强人员培训与管理

人员培训与管理是提高轨道交通信号系统可靠性和

安全性的重要保障。一方面,要加强对操作人员和维护人员的业务培训,培训内容应涵盖信号设备的原理、操作流程、故障处理等方面,并根据技术发展和实际需求及时更新培训内容。培训方式可以采用理论授课、模拟操作、案例分析等多种形式,提高培训效果。另一方面,要建立科学的人员考核机制,对操作人员和维护人员的业务能力进行定期考核,确保其具备相应的岗位技能。同时,要加强对人员的职业道德和安全意识教育,提高人员的责任心和安全意识,避免因人为因素导致信号故障^[4]。

4.3 强化应急管理机制

应急管理机制是应对轨道交通信号系统突发故障,保障列车运行安全的重要手段。首先,要制定完善的应急预案,针对不同类型的信号故障,制定相应的应急处理流程和措施,明确各部门和人员的职责。例如,对于信号系统大面积故障,应制定列车调度调整方案、乘客疏散方案等。其次,要加强应急演练,定期组织应急演练活动,提高相关人员的应急处理能力和协同配合能力。通过演练,检验应急预案的可行性和有效性,并及时发现问题进行改进。同时,要建立应急物资储备制度,确保在故障发生时能够及时提供所需的设备、零部件和工具等物资。

结束语

综上所述,轨道交通信号系统的可靠性与安全性受硬件设备、软件系统、人为操作及环境等多重因素影响。通过冗余设计、故障诊断预测、安全协议加密等技术手段,以及完善设备维护管理、加强人员培训管理、强化应急管理等措施,可全方位提升系统可靠性与安全性,为轨道交通安全高效运行筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]张爽,潘晓军,张强,等.城市轨道交通信号故障下列车应急运行控制研究[J].现代城市轨道交通,2020(6):92-96.
- [2]郭金丽.信息化城市轨道交通信号设备风险识别和分析方法[J].IT经理世界,2021,22(5):91-92.
- [3]刘湘国,邓礼万.城市轨道交通信号系统的运营维护及管理路径探讨[J].江西建材,2020(5):72,74.
- [4]戴汀.城市轨道交通信号安全隐患分析[J].数字通信世界,2020(03):82-83.