

城市轨道交通信号控制系统中的通信技术应用

虞碧峥

浙江浙天通信工程有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 通信技术在城市轨道交通信号控制系统中具有重要应用价值。在具体应用方面,涵盖列车自动控制系统(ATC)通信、联锁系统通信、闭塞系统通信以及车地通信,实现列车运行控制、信号设备协同、安全间隔保障和信息交互等功能。在应用优势上,通信技术提高了系统的实时性和可靠性,确保数据及时准确传输与故障快速响应;增强了系统安全性,通过加密和监测预警防止事故;还提升了智能化水平,实现智能调度、设备维护、乘客服务、应急处理和系统优化,推动轨道交通高效安全发展。

关键词: 城市轨道交通;信号控制系统;通信技术应用

引言:随着城市化进程的加速,城市轨道交通在缓解交通压力、促进城市发展方面的作用愈发凸显。城市轨道交通信号控制系统作为保障列车安全、高效运行的核心,其重要性不言而喻。而通信技术作为信号控制系统的关键支撑,能够实现列车与地面控制中心、各信号设备之间的信息交互。良好的通信技术应用可提升系统的实时性、可靠性、安全性和智能化水平。因此,深入研究通信技术在城市轨道交通信号控制系统中的应用,对于提高轨道交通运营质量、保障乘客安全具有重要的现实意义。

1 城市轨道交通信号控制系统概述

城市轨道交通信号控制系统是城市轨道交通运输系统的核心组成部分,对保障列车运行安全、提高运输效率起着至关重要的作用。从功能上看,该系统主要实现行车指挥、列车运行监控和管理等功能。它能确保列车和乘客的安全,实现列车快速、高密度、有序运行。通过对列车进路的控制、列车间隔的精准把握、调度指挥的有效实施以及信息管理、设备状况监测与维护管理等,构建起一个高效的综合自动化体系。其核心是列车自动控制(ATC)系统,由多个子系统构成。列车自动防护(ATP)子系统是安全的关键防线,它对列车运行进行超速防护,监控与安全相关的设备。通过轨道电路等方式,将前行列车位置、线路信息、允许速度等传至车上,使列车始终在安全速度下运行,保证列车间的安全间隔。列车自动运行(ATO)子系统实现“地对车控制”,利用地面信息控制列车的驱动和制动,包括自动折返功能,能让列车按最佳工况正点、安全、平稳运行,提高乘客舒适度,减少能量消耗和轮轨磨损^[1]。列车自动监控(ATS)子系统则辅助调度人员对全线列车进行管理,实现对列车运行的监督和控制,如集中监视与

控制列车运行、自动记录运行实绩、生成和优化时刻表等。从设备分布来看,城市轨道交通信号系统通常由列车运行自动控制(ATC)系统和车辆段信号控制系统两大部分组成。ATC系统需设置行车控制中心,沿线各车站设区域性联锁,列车上安装车载控制设备,控制中心与控制站通过有线数据通信网连接,与列车通过无线通信交换信息。车辆段信号控制系统则负责车辆段内的信号控制和管理,保障车辆的有序进出和停放。

2 通信技术在城市轨道交通信号控制系统中的具体应用

2.1 列车自动控制系统(ATC)通信应用

2.1.1 列车自动防护(ATP)通信应用

列车自动防护(ATP)通信应用是保障城市轨道交通列车运行安全的关键。通过无线通信技术,列车与轨旁ATP设备建立起实时、高效的信息交互通道。列车上的传感器持续收集列车的速度、位置、制动状态等信息,并迅速通过通信网络传输至轨旁ATP设备。轨旁设备结合线路的坡度、弯道等情况以及前方列车的位置信息,精准计算出列车的安全运行速度和制动距离。随后,将控制命令及时反馈给列车,列车的车载系统根据这些命令自动调整运行状态。例如,当列车接近限速区域或前方有列车时,ATP系统会通过通信控制列车减速,防止列车超速或追尾,确保列车始终在安全的运行范围内。

2.1.2 列车自动运行(ATO)通信应用

列车自动运行(ATO)通信应用实现了列车的自动驾驶功能,极大地提高了列车运行的效率和精准度。借助稳定的车地通信网络,列车能够实时接收来自控制中心的运行指令,如加速、减速、停车等。同时,列车将自身的运行状态,包括当前速度、位置、能耗等信息反馈给控制中心。ATO系统依据接收到的指令和反馈信

息, 精确控制列车的牵引和制动系统。在列车进站时, ATO系统通过通信获取站台的位置信息, 自动调整列车的速度和停靠位置, 实现精准停车, 方便乘客上下车。

2.1.3 列车自动监控(ATS)通信应用

列车自动监控(ATS)通信应用为城市轨道交通的调度指挥提供了强大的支持。ATS系统通过通信网络收集各列车的运行信息, 包括列车的位置、速度、运行状态等, 并将这些信息实时显示在控制中心的监控屏幕上。调度人员可以根据这些信息对列车进行实时监控和调度指挥。例如, 当某一列车出现晚点情况时, 调度人员可以通过通信系统向该列车发送调整运行速度的指令, 同时协调其他列车的运行计划, 以确保整个线路的运行秩序。此外, ATS系统还能将调度指令通过通信网络发送给列车和相关设备, 实现对列车运行的集中控制和管理, 提高轨道交通的运营效率和服务质量。

2.2 联锁系统通信应用

联锁系统通信应用在城市轨道交通信号控制系统中起着关键作用, 它确保了信号设备之间的协同工作和列车运行的安全有序。(1) 信号设备状态监测应用: 通过通信技术, 联锁系统能实时获取道岔、信号机等信号设备的状态信息。这些信息被及时传输到控制中心, 工作人员可随时掌握设备运行情况, 提前发现潜在故障。

(2) 进路控制应用: 联锁系统依据列车运行计划, 利用通信网络与相关设备交互, 自动排列进路。它会检查进路空闲状态和道岔位置, 确保进路安全设置, 保障列车顺利通行。(3) 远程控制应用: 控制中心可通过通信线路向联锁系统发送指令, 实现对信号设备的远程控制。这提高了操作的便捷性和及时性, 减少了人工干预的误差。(4) 故障报警应用: 当信号设备出现故障时, 联锁系统通过通信迅速将故障信息反馈给控制中心。工作人员能第一时间得知故障情况, 及时安排维修, 降低对运营的影响。(5) 与其他系统协同应用: 联锁系统通过通信与列车自动控制系统等其他系统进行信息共享和协同工作, 使整个轨道交通信号控制系统形成一个有机整体, 提高运营效率 and 安全性。

2.3 闭塞系统通信应用

在城市轨道交通信号控制系统中, 闭塞系统通信应用至关重要, 它保障了列车运行的安全与高效。固定闭塞通信应用方面, 轨道电路是关键。轨道电路能检测列车位置, 将闭塞分区状态信息通过通信网络传至列车。列车依据这些信息调整速度, 确保在安全的闭塞分区内运行。不过, 固定闭塞分区长度固定, 线路利用率有限。移动闭塞通信应用则优势明显, 列车借助卫星定

位、无线通信等手段, 将精确位置信息实时传至控制中心^[2]。控制中心根据列车位置和速度, 动态计算安全制动距离和后续列车允许运行范围, 并通过通信网络传达给相关列车。这种方式实现了列车安全间隔的动态控制, 能大幅提高线路利用率和运输效率。而且, 移动闭塞系统的通信实时性强, 可根据列车实际运行情况灵活调整, 适应不同的运营需求, 为城市轨道交通的高效运营提供了有力支持。

2.4 车地通信应用

车地通信应用在城市轨道交通信号控制系统中发挥着关键作用, 实现了列车与地面之间的高效信息交互。在列车状态监测方面, 列车上的各类传感器通过通信网络, 将车辆机械状态、电气系统状态、制动系统状态等实时数据传输到地面控制中心。工作人员可依据这些数据及时察觉列车潜在故障与安全隐患, 提前安排维护, 保障列车运行安全。乘客信息系统(PIS)也是车地通信的重要应用, 列车借助无线通信网络接收控制中心的实时运营信息、新闻资讯、广告等内容, 并通过车内显示屏和广播系统向乘客播放。在车站, PIS系统同样通过通信网络与列车交互信息, 为乘客提供列车到达时间、换乘信息等服务, 提升乘客出行体验。车地通信还支持列车的远程控制与调度, 地面控制中心可通过通信网络向列车发送控制指令, 实现对列车运行的远程干预和调度, 确保列车运行的高效性和有序性。

3 通信技术在城市轨道交通信号控制系统中的应用优势

3.1 提高系统的实时性和可靠性

3.1.1 实时数据传输应用优势

通信技术在城市轨道交通信号控制系统中的应用, 极大地提高了实时数据传输能力。通过高速稳定的通信网络, 列车与地面控制中心之间能够实现即时的数据交互。列车上的传感器可以实时采集列车的速度、位置、设备状态等信息, 并迅速传输到控制中心。控制中心也能在第一时间将调度指令、运行参数等发送给列车。例如, 在列车运行过程中, 一旦检测到前方轨道出现异常情况, 传感器会立即将信息反馈给控制中心, 控制中心能马上向列车发出制动或减速指令, 整个过程在极短时间内完成, 有效避免了事故的发生, 确保了列车运行的实时性和安全性。

3.1.2 故障快速响应应用优势

通信技术使得系统能够对故障做出快速响应。当信号控制系统中的某个设备或环节出现故障时, 故障信息会通过通信网络迅速传递到相关的维护人员和控制中

心。维护人员可以根据故障信息准确判断故障位置和类型,及时采取维修措施。同时,控制中心可以根据故障情况迅速调整列车的运行计划,避免故障对整个线路的运行造成严重影响。比如,当某个信号机出现故障时,系统会立即将故障信息发送给维修人员,维修人员可以快速到达现场进行维修,而控制中心会指挥列车避开故障区域,保障列车的正常运行,提高了系统的可靠性和应对故障的能力。

3.1.3 冗余备份通信应用优势

为了进一步提高系统的可靠性,通信技术采用了冗余备份机制。在信号控制系统中,通常会设置多条通信线路或多种通信方式作为备份。当主通信线路出现故障时,系统能够自动切换到备份线路,确保通信的连续性。例如,除了使用无线通信网络外,还会配备有线通信线路作为备份。在无线信号受到干扰或中断的情况下,列车和控制中心可以通过有线线路继续进行通信。

3.2 增强系统的安全性

通信技术在城市轨道交通信号控制系统中的应用,极大增强了系统的安全性。在数据传输方面,先进的加密技术被广泛应用于通信过程中。列车与地面控制中心之间传输的关键数据,如列车运行状态、控制指令等,都经过高强度加密处理。这有效防止了数据在传输过程中被窃取或篡改,确保信息的完整性和保密性,避免因数据泄露或恶意攻击导致的安全事故。通信技术还支持实时的安全监测与预警,通过在列车和轨道沿线布置大量的传感器,系统能够实时监测列车的运行状态、轨道的状况等。一旦发现异常情况,如列车超速、轨道故障等,传感器会立即将信息通过通信网络反馈给控制中心^[3]。控制中心可以迅速做出反应,采取相应的措施,如发出警报、调整列车运行速度或停止列车运行,从而避免事故的发生。通信技术实现了多系统之间的协同安全控制,信号控制系统与列车的制动系统、牵引系统等相互通信和协作,当某个系统出现问题时,其他系统能够及时响应并采取措施,形成一个有机的安全防护整体,进一步提高了城市轨道交通的运行安全性。

3.3 提升系统的智能化水平

通信技术的应用显著提升了城市轨道交通信号控制

系统的智能化水平,为轨道交通的高效、安全运行提供了有力支撑。(1)智能列车调度应用:通信技术使控制中心能实时掌握列车位置、速度等信息,依据客流、运行时间等因素智能调度列车,优化运行方案,提高运输效率。(2)设备智能维护应用:通过通信网络,系统可收集设备运行数据,运用大数据和人工智能算法分析设备状态,提前预测故障并安排维护,减少故障发生,降低维护成本。(3)乘客智能服务应用:借助通信技术,车站和列车能为乘客提供实时信息,如列车到达时间、拥挤程度等,还可实现智能票务、智能导航等服务,提升乘客出行体验。(4)应急智能处理应用:遇到突发事件,通信系统可快速传递信息,协调各部门联动,智能制定应急方案,保障乘客安全和线路尽快恢复运营。(5)系统智能优化应用:通信技术支持系统自我学习和优化,根据历史数据和实时情况调整控制策略,使信号控制系统不断适应新的运营需求。

结语

未来,为适应城市轨道交通日益增长的需求,推动其事业迈向新高度,必须进一步加强通信技术与信号控制系统的深度融合。随着城市轨道交通规模的不断扩大,运行环境愈发复杂,面临的突发情况也更为多样。通过强化两者融合,可利用通信技术的高速、稳定性,使信号控制系统在复杂电磁环境、极端天气等条件下仍能精准传输和处理信息。同时,在遇到突发事件时,能快速响应并调整控制策略,保障列车运行安全。这不仅能提升系统应对复杂环境和突发情况的能力,还能提高运营效率,为城市轨道交通的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]王智勇.城市轨道交通信号控制系统中的通信技术应用[J].集成电路应用,2024,41(7):382-383.
- [2]祝晓卉.基于通信技术的城市轨道交通信号控制系统研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):165-168.
- [3]苏雯.城市轨道交通信号智能运维系统关键技术及应用研究[J].智慧轨道交通,2024,61(2):36-40.