

对于城市轨道交通信号系统发展的思考

邓雷王煜

重庆市轨道交通(集团)有限公司 重庆 400000

摘要:城市轨道交通信号系统作为保障列车安全与效率的核心,正经历着由传统向智能化、集成化转型的关键阶段。本文概述了信号系统的定义、分类与发展历程,分析了国内外应用现状与技术创新亮点,并指出了存在的设备老化、兼容性差等问题。面对挑战,提出通过融合5G、物联网、大数据和人工智能等新技术,推动系统集成与智能化升级,同时注重安全性与可靠性的持续提升,以应对未来轨道交通的复杂需求与高效运营目标。

关键词:城市轨道交通;信号系统;发展

引言:随着城市化进程的加速,城市轨道交通作为缓解城市交通压力、提升出行效率的重要基础设施,其信号系统的发展显得尤为重要。信号系统作为保障列车安全运行、优化运营效率的核心技术体系,正面临技术革新与应用推广的双重挑战。本文旨在探讨城市轨道交通信号系统的发展历程、现状、问题及未来趋势,分析新技术如何推动信号系统向更加智能、高效、安全的方向发展,以期为相关领域的研究与实践提供参考与借鉴。

1 城市轨道交通信号系统概述

1.1 定义与分类

城市轨道交通信号系统,作为保障列车运行安全与效率的核心技术体系,承担着指挥列车运行、保障行车间隔、传递运行信息等重要任务。其基本概念在于,通过一系列的设备和手段,实现对列车运行状态的实时监测、控制和调度,确保列车在复杂的轨道网络中安全、高效、有序地运行。城市轨道交通信号系统主要由地面设备和车载设备两大部分组成。地面设备包括信号机、轨道电路、转辙机、应答器、联锁系统以及列车自动控制系统(ATC)的核心部件等,它们负责生成、传输和控制信号,指导列车运行。车载设备则包括车载ATP(列车自动防护)系统、ATO(列车自动运行)系统、ATS(列车自动监控)系统的车载部分等,它们接收地面设备的信号,执行控制命令,并与司机室人机界面交互,向司机提供运行信息和提示。城市轨道交通信号系统按照其技术特点和控制原理,可以分为多种类型。其中,固定闭塞和移动闭塞是两种常见的分类方式。固定闭塞系统以固定的空间间隔划分闭塞分区,通过轨道电路或计轴设备检测列车占用情况,以此控制后续列车的发车和运行。而移动闭塞系统则利用先进的通信技术和定位技术,实时检测列车位置和速度,动态调整列车间的安全间隔,实现更高的运行效率和灵活性。

1.2 发展历程

城市轨道交通信号系统的发展,经历了一个从简单到复杂、从机械到电子、从模拟到数字、从人工到自动化的漫长过程。早期的城市轨道交通信号系统主要依赖机械信号和电气信号,如臂板信号机、色灯信号机等,它们通过机械或电气的方式传递信号,指示列车运行。然而,这些系统存在着效率低下、可靠性差等问题,难以满足日益增长的轨道交通需求。随着电子技术和计算机技术的飞速发展,城市轨道交通信号系统逐渐进入了计算机联锁和列车自动控制系统(ATC)时代。计算机联锁系统通过计算机和通信技术实现道岔、信号机和进路之间的联锁关系,提高了系统的安全性和可靠性。而列车自动控制系统(ATC)则进一步集成了列车自动防护(ATP)、列车自动运行(ATO)和列车自动监控(ATS)等多个子系统,实现了对列车运行的全面控制和调度,大大提升了轨道交通的运营效率和服务水平。

1.3 功能与作用

城市轨道交通信号系统在确保行车安全、提高运营效率、优化乘客体验等方面发挥着至关重要的作用。首先,信号系统通过严格的安全控制逻辑和故障导向安全的设计原则,确保列车在运行过程中不会出现冲突和追尾等安全事故,为乘客提供安全的出行环境。其次,信号系统通过精确的列车定位和速度控制,实现列车间的紧密追踪和高效运行,缩短了列车运行间隔和乘客候车时间,提高了运营效率。最后,信号系统还通过提供丰富的运行信息和人性化的操作界面,为乘客提供更加便捷、舒适的出行体验。同时,信号系统还能够实现与综合监控系统等其他系统的信息共享和联动控制,进一步提升轨道交通的整体智能化水平。

2 当前城市轨道交通信号系统现状分析

2.1 国内外应用现状

在全球范围内,城市轨道交通信号系统正经历着前所未有的技术革新与应用推广。国外方面,欧洲、北美及亚洲的许多发达国家和地区,如德国、法国、日本、新加坡等,其城市轨道交通系统起步较早,技术积累深厚,信号系统普遍采用了高度集成化、智能化的ATC系统,尤其是CBTC(基于通信的列车控制系统)已成为主流。这些系统不仅实现了列车运行的高度自动化和精准控制,还通过与其他交通管理系统的深度融合,有效提升了城市轨道交通的整体运营效率和服务质量。相比之下,国内城市轨道交通信号系统的发展虽然起步较晚,但近年来发展迅猛,取得了显著成就。中国各大城市纷纷加快轨道交通建设步伐,信号系统作为关键技术支撑,得到了广泛应用和快速发展。目前,国内新建城市轨道交通线路大多采用CBTC系统,不仅技术性能与国际先进水平接轨,还在某些方面实现了创新突破。同时,针对既有线路的改造升级,也逐步引入了先进的信号系统技术,以提升系统性能,满足日益增长的运营需求。

2.2 技术创新亮点

当前城市轨道交通信号系统领域的技术创新层出不穷,其中CBTC系统作为核心代表,以其高可靠性、高精度和灵活性受到广泛关注。CBTC系统通过无线通信和连续列车定位技术,实现了列车与地面设备之间的实时数据交换,从而能够更精确地控制列车运行,提高运行效率,并有效缩短列车追踪间隔。此外,CBTC系统还具备良好的兼容性和扩展性,能够与不同厂家、不同型号的设备 and 系统实现互联互通,为城市轨道交通系统的综合发展提供了有力支持。除CBTC系统外,无人驾驶技术也是当前信号系统领域的另一大创新亮点。无人驾驶列车依托先进的信号系统、控制系统和传感器技术,实现了列车的全自动运行,无需司机操控。这一技术不仅显著降低了人力成本,提高了运营效率,还通过智能化管理和优化调度,进一步提升了城市轨道交通系统的整体性能和安全性^[1]。

2.3 存在问题

尽管城市轨道交通信号系统取得了显著的发展成就,但在实际应用中仍存在一些亟待解决的问题。首先,设备老化是当前许多城市轨道交通系统面临的共同挑战。随着运营年限的增长,部分早期建设的线路信号系统设备逐渐进入老化期,维护成本增加,系统稳定性和可靠性受到一定影响。其次,兼容性差是制约信号系统发展的重要因素之一。由于不同厂家、不同型号的设备 and 系统之间存在技术壁垒和接口差异,导致系统之间的互联互通存在困难,影响了整体运营效率和系统升

级。此外,信息孤岛现象也是当前信号系统需要解决的问题之一。不同系统之间的信息共享和协同作战能力不足,导致运营数据无法充分利用,影响了轨道交通系统的智能化水平和综合效能。

3 技术革新与城市轨道交通信号系统发展

3.1 新技术应用

在城市轨道交通信号系统的演进过程中,新技术的融合与应用是推动其不断前行的关键力量。5G、物联网、大数据和人工智能等前沿技术的引入,正为信号系统带来前所未有的变革与提升。(1)5G技术的深度融合:5G技术的超高速、超低时延和超大连接能力,为信号系统提供了强大的通信基础。在列车自动控制系统中,5G能够支持列车与地面控制中心之间实时、准确的数据传输,确保列车运行指令的即时性与准确性。此外,5G还支持列车间的直接通信,为实现车车协同、优化运行间隔提供了可能。未来,随着5G网络的进一步普及和优化,其在信号系统中的应用将更加广泛和深入,助力轨道交通实现更高效、更智能的运营。(2)物联网技术的全面渗透:物联网技术通过将轨道交通系统中的各种设备、设施和车辆连接成一个互联互通的网络,实现了信息的全面感知和共享。在信号系统中,物联网技术可以应用于轨道状态监测、列车运行状态监控、信号设备故障预警等方面,为信号系统的优化调度和故障预防提供有力支持。同时,物联网技术还促进了乘客服务系统的智能化升级,如通过智能闸机、自助售票机等设备,提升乘客的出行体验^[2]。(3)大数据与人工智能的深度融合:大数据技术在轨道交通运营中扮演着越来越重要的角色。通过收集和分析海量的列车运行数据、乘客出行数据等信息,大数据可以揭示轨道交通运行中的规律和趋势,为信号系统的优化提供科学依据。而人工智能技术的应用,则进一步提升了数据处理和分析的能力。机器学习算法可以自动识别信号系统中的异常行为,预测潜在的故障风险;深度学习技术则可以模拟人类的决策过程,为信号系统的调度和优化提供智能支持。

3.2 系统集成与智能化

随着城市轨道交通系统的不断扩展和复杂化,各系统之间的信息共享和协同作战变得尤为重要。系统集成与智能化升级已成为信号系统发展的重要趋势。(1)系统集成趋势加速:信号系统正逐步与通信系统、综合监控系统等实现无缝集成。这种集成不仅限于数据层面的共享,更在于功能层面的融合。通过构建统一的平台和技术标准,各系统能够协同工作,共同保障轨道交通的安全、高效运行。例如,信号系统可以与通信系统紧密

合作,实现列车与地面之间的实时通信和调度;与综合监控系统集成后,则可以实现对轨道交通全线的综合监控和应急指挥。(2)智能化升级路径明确:智能化是信号系统升级的重要方向。智能化升级的路径主要包括以下几个方面:一是构建智能感知网络,通过物联网等技术实现对轨道、车辆、信号机等设备的实时监测和状态感知;二是引入智能决策系统,利用大数据和人工智能技术对数据进行分析和挖掘,为信号系统的调度和优化提供智能支持;三是实现自适应控制与优化,通过智能化的算法和模型,使信号系统能够根据实时交通状况自动调整控制策略,以实现最优化的列车运行方案;四是推动人机协同,通过增强现实、自然语言处理等先进技术,提升司机和调度员的工作效率与决策能力,同时降低人为错误的风险^[3]。在具体实施上,智能化升级需要分步骤、有计划地进行。首先,需要建立完善的数据采集和存储机制,确保信号系统能够获取到全面、准确的基础数据。其次,要利用大数据分析技术,对数据进行深入挖掘和关联分析,揭示轨道交通运行中的内在规律和潜在问题。接着,可以引入机器学习等人工智能技术,通过模型训练和优化,提高系统的预测和决策能力。最后,要实现系统的自适应控制和优化,通过实时监测和反馈调整,确保信号系统能够应对复杂多变的交通环境,实现高效、安全的运行。

3.3 安全性与可靠性提升

安全性和可靠性是城市轨道交通信号系统的核心要求。随着新技术的不断涌现和应用,信号系统的安全性和可靠性也得到了显著提升。(1)技术创新提升安全防护能力:通过引入先进的加密技术、身份验证机制和数据备份策略,可以确保信号系统中数据的机密性、完整性和可用性。同时,采用冗余设计和容错机制,可以在设备或链路出现故障时自动切换至备份系统,确保列车运行的连续性和稳定性。此外,还可以利用智能检测与预警技术,对信号系统中的异常行为进行实时监控和预警,及时发现并处理潜在的安全隐患。(2)标准化与规

范化保障系统稳定运行:为了提高信号系统的可靠性,需要制定严格的标准和规范,对系统的设计、施工、运维等各个环节进行规范化管理。这包括制定统一的技术标准、接口规范和测试规范等,确保不同厂家、不同型号的设备之间能够实现良好的兼容性和互操作性。同时,还需要加强人员培训和考核工作,提高运维人员的专业素质和技能水平,确保他们能够熟练掌握系统的操作和维护工作^[4]。(3)持续投入与研发推动技术迭代升级:技术创新是推动信号系统安全性和可靠性不断提升的动力源泉。因此,需要加大对轨道交通信号系统的研发投入力度,鼓励科研机构和企业加强合作与交流,共同开展技术创新和产品研发工作。通过不断引进新技术、新材料和新工艺等手段,推动信号系统技术的不断迭代升级和优化完善,以适应轨道交通事业快速发展的需求。

结束语

综上所述,城市轨道交通信号系统的发展是科技进步与城市化进程交织的必然产物。面对未来轨道交通的复杂需求与高效运营目标,信号系统需持续创新,深度融合新技术,推动系统集成与智能化升级。同时,加强标准化与规范化建设,提升系统安全性与可靠性,是确保轨道交通持续健康发展的关键。展望未来,城市轨道交通信号系统将更加智能、高效、安全,为城市出行提供更加便捷、舒适的服务。

参考文献

- [1]肖旭慧.城市轨道交通信号系统新技术发展现状与展望研究[J].运输经理世界,2022(14):89-91.
- [2]罗晟.城市轨道交通信号系统新技术发展应用前景[J].湖北农机化,2020(04):34-35.
- [3]肖宝弟,贾学祥.对我国城市轨道交通信号系统发展战略的思考[J].现代城市轨道交通,2019,(05):44-45.
- [4]张铁增,林瑜筠.对于城市轨道交通信号系统发展的思考[J].铁路通信信号工程技术,2019,10(05):32-33.