

智能轨道交通信号系统研究

孙俊傲

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

摘要: 城市化浪潮下,城市人口急剧增加,交通拥堵问题愈发严峻,轨道交通以其大运量、快速准时等特性,成为缓解城市交通压力的关键选择。本文聚焦智能轨道交通信号系统展开研究。首先阐述其重要意义,涵盖提高运行效率、增强安全性、提升乘客体验及促进可持续发展等方面。接着剖析关键技术,包括通信、智能控制、传感、数据安全与隐私保护、人工智能与机器学习等技术。随后介绍其功能特性,如高精度定位导航、实时监测故障诊断等。最后探讨发展趋势,涉及数字孪生技术应用、混合架构构建、鲁棒性提升以及系统级安全性评估与应急演练等,旨在为智能轨道交通信号系统发展提供全面参考。

关键词: 智能轨道交通; 信号系统; 关键技术; 发展趋势

引言: 随着城市化进程加速,轨道交通作为城市交通骨干,承载着巨大运输压力。传统轨道交通信号系统在应对日益增长的运输需求时,逐渐暴露出效率不足、安全性面临挑战等问题。智能轨道交通信号系统应运而生,成为行业发展的新方向。它融合多种先进技术,不仅能显著提升轨道交通运行效率,还能极大增强安全性,为乘客带来更优质体验。深入研究智能轨道交通信号系统,对于推动轨道交通行业升级,实现城市交通高效、安全、可持续发展具有至关重要的现实意义。

1 智能轨道交通信号系统的意义

1.1 提高运行效率

智能轨道交通信号系统借助先进通信与智能控制技术,实现列车运行精准调控。它能实时获取列车位置、速度等信息,依据线路状况和运输需求,动态规划列车运行间隔与速度曲线。相比传统系统,减少了列车不必要的停车与等待时间,大幅提升线路通过能力。同时,智能调度算法可优化列车编组与运行顺序,使列车按最优方案运行,缩短整体运行周期,提高运输效率,满足城市日益增长的出行需求,缓解交通压力。

1.2 增强安全性

智能轨道交通信号系统是保障列车安全运行的关键防线。通过高精度传感技术,全方位实时监测列车状态、轨道情况及周边环境。一旦检测到异常,如轨道异物、设备故障等,系统能迅速做出反应,自动触发安全防护机制,如紧急制动、调整运行路径等。此外,智能算法可对潜在安全风险进行预测和预警,提前采取防范措施,有效降低事故发生概率,为乘客和运营人员提供更可靠的安全保障,确保轨道交通安全稳定运行。

1.3 提升乘客体验

智能轨道交通信号系统为乘客带来更优质出行体验。精准的定位与导航功能,让乘客能实时掌握列车位置和到达时间,合理安排出行。智能调度使列车运行更平稳、准点,减少延误和等待时间。同时,系统可与车站设施联动,根据客流情况自动调整闸机、电梯等设备运行,优化站内通行秩序。此外,通过移动应用等渠道,为乘客提供个性化信息服务,如换乘指引、拥挤度提示等,让出行更加便捷、舒适,提升乘客满意度^[1]。

2 智能轨道交通信号系统的关键技术

2.1 通信技术

通信技术是智能轨道交通信号系统的核心支撑,确保系统内各设备与列车间实现高效、稳定的信息交互。一方面,高速可靠的无线通信技术至关重要。它如同系统的“神经网络”,能实时传输列车位置、速度、运行状态等关键信息,以及调度指令、安全预警等控制信息。例如,采用先进的5G通信技术,凭借其高带宽、低时延、大容量的特性,可满足大量数据快速传输需求,保障列车与地面控制中心、列车与列车之间信息实时共享,实现精准调度与协同运行。另一方面,有线通信技术也不可或缺。它为车站、控制中心等固定设施间提供稳定连接,保障数据传输的准确性和可靠性。通过构建完善的通信网络架构,将无线与有线通信有机结合,形成全方位、多层次的通信体系,为智能轨道交通信号系统稳定运行筑牢基础,确保列车在各种复杂环境下都能安全、高效运行。

2.2 智能控制技术

智能控制技术是智能轨道交通信号系统的“智慧大脑”,赋予系统自主决策与精准调控能力。它融合了多种先进控制策略,如模糊控制、神经网络控制等。模糊控

制能依据复杂的现场状况,通过模糊推理做出近似合理的决策,有效处理列车运行中的不确定因素,像轨道湿滑、客流波动等,保障列车平稳运行。神经网络控制则具备强大的学习和自适应能力,通过对大量运行数据的学习分析,不断优化控制参数,使列车运行曲线更贴合实际需求,提升运行效率。智能控制技术还能实现多列车协同控制,根据线路实时客流、列车状态等信息,动态调整列车运行间隔和速度,实现列车群的高效有序运行。同时,它与通信、传感等技术紧密配合,形成一个有机的整体,共同为智能轨道交通信号系统的安全、高效、稳定运行提供坚实保障。

2.3 传感技术

传感技术是智能轨道交通信号系统的“感知触角”,能实时、精准地获取系统运行所需的各类信息。在列车运行监测方面,加速度传感器可实时测量列车的加速度变化,以此判断列车运行是否平稳,有无异常振动;速度传感器则精确获取列车行驶速度,为列车运行控制和调度提供关键数据。轨道状态监测中,应变传感器能感知轨道的应力变化,及时发现轨道的变形、断裂等隐患;位移传感器可监测轨道的几何尺寸变化,保障轨道几何状态良好。环境感知也离不开传感技术,温度传感器、湿度传感器能实时监测隧道、车站等环境温度和湿度,为设备正常运行提供适宜环境条件;烟雾传感器、气体传感器可快速检测火灾、有害气体泄漏等危险情况,及时发出预警。这些传感器将采集到的信息转化为电信号传输给控制系统,为智能决策提供依据,确保轨道交通安全、高效运行。

2.4 数据安全与隐私保护技术

数据安全与隐私保护技术是智能轨道交通信号系统稳定运行的基石。在智能轨道交通场景下,大量涉及列车运行、乘客信息、设备状态等敏感数据不断产生与传输,一旦泄露或遭受恶意攻击,将引发严重后果。数据安全通过加密算法对数据进行加密处理,无论是数据在传输过程还是存储状态,都能防止被非法窃取和篡改。同时,采用访问控制技术,严格限定不同用户对数据的访问权限,只有经过授权的人员和系统才能获取相应数据。隐私保护技术则聚焦于乘客个人信息,运用匿名化、去标识化等手段,在不影响数据使用价值的前提下,隐藏乘客敏感信息。此外,建立完善的数据安全管理体系,定期进行安全评估和漏洞修复,加强人员安全意识培训,全方位保障智能轨道交通信号系统数据的安全性与隐私性,为系统可靠运行和乘客权益保驾护航^[2]。

2.5 人工智能与机器学习技术

人工智能与机器学习技术为智能轨道交通信号系统注入强大智能动力。在故障预测方面,机器学习算法可对大量设备运行数据进行分析,挖掘数据潜在模式与规律,提前识别设备故障隐患,实现预防性维护,减少设备突发故障对运营的影响,提高系统可靠性与稳定性。在智能调度领域,人工智能算法能依据实时客流、列车状态、线路条件等多源信息,动态规划最优列车运行方案,优化列车运行间隔与速度,提升运输效率,降低能源消耗。同时,它还能对复杂运营场景进行模拟和决策优化,应对突发状况时快速生成合理应对策略。此外,人工智能与机器学习技术助力信号系统实现自适应调整,根据不同时段、不同区域的运营需求,自动调整控制参数,使系统始终处于最佳运行状态,为智能轨道交通的高效、安全、稳定运行提供坚实技术支撑。

3 智能轨道交通信号系统的功能特性

3.1 高精度定位与导航功能

智能轨道交通信号系统具备高精度定位与导航功能,为列车运行提供精准指引。借助先进的卫星定位、轨道传感器及惯性导航技术,系统能实时、精确获取列车位置信息,定位精度可达厘米级。这不仅保障列车在正常行驶时严格遵循运行图,还能在复杂轨道环境,如隧道、弯道等,实现精准定位。导航功能则依据列车位置和目的地,规划最优运行路径,动态调整列车速度和方向,确保列车安全、高效抵达。高精度定位与导航功能是智能轨道交通实现自动化、智能化运行的基础,极大提升了运营的可靠性和效率。

3.2 实时监测与故障诊断功能

实时监测与故障诊断功能是智能轨道交通信号系统保障安全运行的关键。系统通过分布在列车和轨道各处的传感器,实时采集设备运行状态、轨道几何参数、环境信息等数据。利用数据分析技术,对这些数据进行实时处理和分析,一旦发现数据异常,立即发出预警。同时,系统具备强大的故障诊断能力,能快速定位故障部位,分析故障原因,并给出相应的维修建议。通过实时监测与故障诊断,可提前发现潜在安全隐患,及时采取措施,避免故障扩大,保障轨道交通系统的持续稳定运行。

3.3 智能调度与运行优化功能

智能轨道交通信号系统的智能调度与运行优化功能,可显著提升运输效率。该功能综合考虑客流需求、列车状态、线路条件等多方面因素,运用智能算法动态调整列车运行计划。它能实时优化列车运行间隔,根据客流高峰低谷自动增减列车班次,避免列车空驶或过度拥挤。同时,对列车运行速度进行智能调控,使列车在满足安全

要求的前提下,以最优速度行驶,减少运行时间。智能调度与运行优化功能实现了轨道交通资源的合理配置,提高了运输能力,为乘客提供更便捷、高效的出行服务^[3]。

3.4 安全防护与应急处理功能

安全防护与应急处理功能是智能轨道交通信号系统的重要保障。系统构建了多层次的安全防护体系,通过设置安全距离、速度限制等,防止列车追尾、冲突等事故发生。同时,配备先进的防灾报警系统,可实时监测火灾、水灾、地震等灾害情况,一旦发生灾害立即启动相应防护措施。在应急处理方面,系统能快速制定应急预案,根据灾害类型和严重程度,自动调整列车运行,引导乘客安全疏散。此外,还能与外部救援力量协同联动,提高应急救援效率,最大程度降低灾害对轨道交通运营和乘客生命财产的影响。

4 智能轨道交通信号系统的发展趋势

4.1 数字孪生技术的应用

数字孪生技术通过构建虚拟映射模型,实现轨道交通系统的全生命周期管理。该技术集成物理模型、传感器数据与运行历史,在虚拟空间中精准复现实体装备状态,支持实时监控、故障预测与智能决策。例如,通过数字孪生可动态展示网络安全态势,实现资产脆弱性检测、全域态势感知与攻防演练数字化。其优势在于打破传统数据孤岛,以立体化、精细化方式提升系统运维效率,降低安全风险,为轨道交通的智能化升级提供关键技术支撑。

4.2 边缘计算与云端协同的混合架构

边缘计算与云端协同的混合架构通过“云-边-端”分层处理,优化数据传输与计算效率。边缘层负责实时性要求高的本地数据处理,如设备状态监测与故障预警,减少云端通信压力;云端层则聚焦全局数据融合分析与长期决策优化。例如,在智能运维中,边缘节点可快速响应设备异常,云端平台通过大数据分析预测设备寿命,实现预防性维护。该架构兼顾实时性与计算效率,提升系统可靠性,是轨道交通智能化发展的重要方向。

4.3 对极端天气和复杂轨道环境的鲁棒性提升

针对极端天气(如暴雨、台风)和复杂轨道环境(如

隧道、弯道),系统通过多源数据融合与智能算法增强鲁棒性。例如,利用高精度气象预报与机器学习模型,实时预测降水强度、风速变化及积水风险,动态调整列车运行计划;通过传感器网络监测轨道变形、设备状态,结合数字孪生技术模拟极端场景,优化应急响应策略。此外,抗风、抗水设计标准的应用进一步提升基础设施稳固性,确保系统在恶劣条件下的安全稳定运行。

4.4 系统级安全性评估与常态化应急演练

系统级安全性评估通过量化指标与仿真模型,全面识别潜在风险,如设备故障、网络攻击等,并制定针对性防护措施。常态化应急演练则依托虚拟仿真平台,模拟真实事故场景,检验应急预案的可行性与响应效率。例如,定期组织多部门协同演练,评估应急指挥、资源调配与信息共享能力,优化决策流程。通过“评估-演练-改进”闭环机制,系统安全性与应急处置能力持续提升,为轨道交通安全运营提供坚实保障^[4]。

结束语

智能轨道交通信号系统作为轨道交通智能化发展的核心驱动力,融合了通信、控制、传感、人工智能等前沿技术,在提升运行效率、保障安全、优化乘客体验及促进可持续发展等方面展现出显著优势。随着数字孪生、边缘计算等新兴技术的深度应用,系统正朝着更智能、更可靠、更具韧性的方向演进。未来,需持续强化技术创新与跨领域协同,完善系统安全评估与应急管理体系,以应对复杂场景下的多样化挑战。智能轨道交通信号系统的成熟与普及,必将推动轨道交通行业迈向高质量发展的新阶段,为构建智慧城市交通网络提供关键支撑。

参考文献

- [1]高文.城市轨道交通信号自动控制系统发展现状[J].数字通信世界,2021(9):151-152.
- [2]张萍.浅谈城市轨道交通信号系统的设备评估方法[J].城市建设理论研究(电子版),2022(7):177-178.
- [3]陈智慧.城市轨道交通信号系统信息安全设计方案探析[J].建筑技术开发,2021(6):85-86.
- [4]王三乐.城市轨道交通工程信号系统工程的接口管理分析[J].低碳世界,2021(12):200-201.