

# 基于通信的城市轨道交通信号与控制系统研究

李 萌

通号城市轨道交通技术有限公司 北京 100070

**摘要:** 随着城市化进程的加速,城市轨道交通成为缓解城市交通压力的重要手段。基于通信的城市轨道交通信号与控制系统,通过先进的通信技术实现列车与地面设备间的实时信息交换,保障了列车运行的安全、提高了运输效率并优化了乘客体验。本文深入研究了该系统的作用、组成、关键技术及实际应用,并探讨了面临的挑战与优化策略,为城市轨道交通的智能化、高效化发展提供了理论依据和技术支持。

**关键词:** 基于通信;城市轨道交通;信号;控制系统

**引言:** 随着科技的飞速发展,城市轨道交通迎来了智能化转型的关键时期。基于通信的信号与控制系统作为城市轨道交通的核心,其重要性日益凸显。该系统不仅能够实现列车运行的精准控制和高效调度,还能显著提升运输效率和乘客满意度。本文旨在全面探讨该系统的工作原理、关键技术及应用现状,同时分析其面临的挑战与解决方案,为城市轨道交通的可持续发展贡献力量。

## 1 城市轨道交通信号与控制系统概述

### 1.1 信号与控制系统的作用

(1) 保障列车运行安全:这是信号与控制系统的首要任务。通过精确的信号指示和严格的控制系统,确保列车在规定的轨道上,以安全的速度运行,防止列车之间的碰撞或脱轨等安全事故的发生。(2) 提高运输效率:信号与控制系统能够根据列车的实时位置和运行状态,动态调整列车的运行间隔和速度,从而优化运输流程,减少等待时间,提高列车的准点率和运输能力。这对于缓解城市交通压力,提升城市轨道交通的运营效率具有重要意义。(3) 优化乘客体验:通过信号与控制系统的智能化管理,列车能够平稳、准时地运行,减少乘客的等待时间和换乘时间。同时,系统还能提供实时的列车运行信息,方便乘客规划行程,提升乘客的出行满意度。

### 1.2 信号与控制系统的组成

(1) 信号系统:包括信号机、轨道电路、应答器等关键设备。信号机用于指示列车运行方向、速度等信息;轨道电路则用于检测列车的占用情况;应答器则用于向列车发送线路参数、目标速度等关键信息。(2) 控制系统:主要包括列车自动运行系统(ATO)、列车自动防护系统(ATP)、自动列车监控系统(ATS)等。ATO负责列车的自动驾驶;ATP负责列车的安全防护,防止超速或碰撞;ATS则负责对整个列车运行系统的监控和

管理。

## 2 基于通信的城市轨道交通信号与控制系统关键技术

### 2.1 全自动驾驶技术

(1) 技术原理与特点。全自动驾驶技术是一种利用人工智能、计算机视觉和大数据等技术,使列车可以在没有人类干预的情况下自主行驶的技术。其基本原理是通过激光雷达、摄像头、雷达等传感器获取周围环境的信息,并进行识别和判断,最终做出决策,完成自主行驶的任务。全自动驾驶技术具有高精度定位、自主导航、智能决策和远程监控等特点,能够显著提升列车运行的安全性和效率。(2) 半自动驾驶模式(DTO)与全自动驾驶模式(UTO)。半自动驾驶模式(DTO)是一种结合了人工操作和自动驾驶技术的驾驶模式,驾驶员需要在关键时刻进行监控和干预。而全自动驾驶模式(UTO)则完全由系统自主控制列车的运行,无需驾驶员参与。UTO模式在减少人为误操作、提高运行效率方面具有显著优势<sup>[1]</sup>。(3) 应用案例与效果分析。目前,国内外已有多个城市轨道交通项目采用了全自动驾驶技术。例如,某城市的地铁线路通过引入UTO系统,实现了列车的自动发车、运行和到站停车,显著提升了运行效率和乘客体验。同时,由于减少了人为因素导致的延误和事故,系统的安全性和可靠性也得到了大幅提升。

### 2.2 车与车之间通讯技术(CBTC与TACS)

(1) 系统结构与工作原理。CBTC(基于通信的列车控制系统)属于车地通信系统,利用无线通信实现列车与地面设备实时交互。系统由车载子系统、区域控制器、数据通信系统等构成。车载设备通过传感器采集列车状态,经无线通信将数据传至地面,地面区域控制器结合线路条件等信息计算行车指令,回传至列车实现精确控制。近年来,互联互通CBTC系统发展迅速,它统一接口标准,实现不同厂商设备兼容,便于线路信号系

统更新改造与多线联运。(2)与传统信号系统的对比分析。相较于传统固定闭塞信号系统, CBTC凭借无线通信实现高精度定位与高频位置更新, 列车安全间隔缩短, 运输能力显著提升。互联互通CBTC更突破设备兼容性限制, 为网络化运营提供便利。(3)应用优势与局限性。CBTC能提高运输效率、保障安全、适应复杂环境, 但无线通信稳定性、抗干扰性及设备维护要求高。TACS(车车通信系统)则以车车直接通信为核心, 进一步压缩行车间隔, 提升灵活性, 不过其技术成熟度与系统安全性仍需验证。应用时, 需权衡两者特性, 确保系统稳定可靠。

### 2.3 信号系统的信息化技术

(1)信息化建设的迫切性与要求。随着城市轨道交通的快速发展, 对信号系统的信息化要求越来越高。信息化建设能够提升系统的智能化水平, 实现数据的高效传输和处理, 为运行调度提供有力支持。同时, 信息化建设也是实现城市轨道交通智能化的重要基础。(2)信息化系统的整体结构与设计。信息化系统主要由数据采集层、数据传输层、数据处理层和应用层组成。数据采集层负责收集列车运行、设备状态等信息; 数据传输层实现信息的实时传输; 数据处理层对收集到的信息进行加工和处理; 应用层则根据处理结果提供决策支持和服务。(3)信息化技术在信号系统中的应用案例。在城市轨道交通信号系统中, 信息化技术已得到广泛应用。例如, 通过引入大数据技术, 可以对列车运行数据进行深入挖掘和分析, 为优化运行方案、提高运输效率提供科学依据。同时, 利用云计算技术, 可以实现信号的远程监控和故障诊断, 提高系统的维护效率<sup>[2]</sup>。

## 3 基于通信的城市轨道交通信号与控制系统的实际应用

### 3.1 列车自动运行系统(ATO)的应用

(1)精确控制列车的启动、加速、巡航、减速和停车。ATO系统通过集成先进的传感器、控制器和通信技术, 能够实现对列车运行的精确控制。从列车启动的那一刻起, ATO就接管了驾驶任务, 根据预设的速度曲线和线路特点, 自动调整列车的加速率和巡航速度, 确保列车平稳、高效地运行。在接近车站时, ATO系统会提前减速, 确保列车能够准确停靠在指定位置, 大大减少了人为操作的误差和不确定性<sup>[1]</sup>。(2)根据客流情况动态调整列车运行间隔。ATO系统不仅关注列车的物理运行, 还通过集成数据分析功能, 能够根据实时的客流情况动态调整列车运行间隔。在客流高峰期, 系统可以缩短列车间隔, 增加列车频次, 以满足乘客的出行需求; 而在客流低谷期, 则可以适当拉长列车间隔, 降低运营

成本。这种灵活的调度策略, 不仅提升了运输效率, 也有效缓解了城市轨道交通的拥堵问题。(3)节能功能的实现与效果。ATO系统还具备显著的节能效果。通过优化列车的加速和减速过程, 减少不必要的能耗; 同时, 根据线路特点和客流情况, 智能调整列车的运行速度, 避免过度加速和急刹车带来的能量损失。实践表明, ATO系统的应用可以显著降低城市轨道交通的能耗, 为城市绿色发展贡献力量。

### 3.2 列车自动防护系统(ATP)的应用

(1)实时监测列车的位置和速度。ATP系统通过集成高精度的定位技术和速度传感器, 能够实时监测列车的位置和速度信息。这些信息对于确保列车运行安全至关重要。一旦列车超速或偏离预定轨道, ATP系统会立即发出警报, 并采取必要的制动措施, 防止事故的发生。

(2)紧急制动功能的触发与效果。ATP系统的紧急制动功能是其安全保障的核心。在列车运行过程中, 如果遇到前方有障碍物、轨道故障或其他紧急情况, ATP系统会迅速判断并触发紧急制动命令。这种快速的响应和准确的制动控制, 能够最大限度地减少事故造成的损失。

(3)安全保障能力的提升。ATP系统的应用显著提升了城市轨道交通的安全保障能力。它不仅能够在紧急情况下提供及时的制动保护, 还能够通过实时监测和数据分析, 提前发现潜在的安全隐患, 为运行调度提供预警信息。这种全方位的安全保障策略, 让城市轨道交通更加安全可靠。

### 3.3 集中控制与监视系统的应用

(1)列车运行的指挥与调度控制。集中控制与监视系统(通常称为ATS系统)是城市轨道交通信号与控制系统的神经中枢。它负责整个网络的列车运行指挥和调度控制。通过集成先进的通信技术和数据分析功能, ATS系统能够实时掌握列车的位置、速度和运行状态信息, 并根据这些信息做出智能的调度决策。(2)列车调度计划与运行信息的有效监督。ATS系统还具备列车调度计划与运行信息的有效监督功能。它能够根据实时的客流情况、线路特点和列车性能等因素, 智能生成和优化列车调度计划。同时, ATS系统还能够实时监控列车的运行状态和故障信息, 为运行维护提供及时的数据支持<sup>[4]</sup>。

(3)分散控制系统的应用与优势。为了提高系统的可靠性和灵活性, 现代城市轨道交通信号与控制系统通常采用分散控制的架构。这种架构将控制功能分散到多个独立的控制单元中, 每个单元负责特定区域或功能模块的监控和控制。这种分散控制的策略不仅提高了系统的容错能力和抗干扰能力, 还使得系统更加易于维护和升

级。同时,通过集成先进的通信技术,分散控制单元之间能够实现实时的信息共享和协同工作,进一步提升了整个系统的运行效率和安全性。

#### 4 基于通信的城市轨道交通信号与控制系统的挑战与优化

##### 4.1 系统融合与无缝对接的挑战

在现代城市轨道交通系统中,信号系统需要与通信、供电等多个系统协同工作,以实现列车的精确控制和高效调度。然而,系统间的融合与无缝对接成为了一个亟待解决的问题。(1)信号系统与通信、供电等系统的协同工作。信号系统需要实时获取列车的位置、速度等信息,并与通信系统紧密配合,确保数据的准确传输。同时,供电系统的稳定性对信号系统的正常运行至关重要。一旦供电出现故障,信号系统可能无法正常工作,进而影响列车的安全运行。因此,如何实现信号系统与通信、供电等系统的有效协同,成为了一个技术难题。(2)深度融合与无缝对接的实现策略。为实现系统间的深度融合与无缝对接,可以采取以下策略:首先,建立统一的数据标准和接口协议,确保不同系统间数据的准确传输和共享;其次,加强跨部门的协同合作,共同推进系统融合工作;最后,引入先进的技术手段,如物联网、云计算等,提升系统间的互联互通能力。

##### 4.2 智能化技术应用的挑战

随着人工智能、大数据等技术的快速发展,其在城市轨道交通信号系统中的应用也日益广泛。然而,智能化技术的应用也面临着诸多挑战。(1)人工智能、大数据等技术在信号系统中的应用。人工智能和大数据技术可以帮助信号系统实现更智能的调度和控制。例如,通过大数据分析,可以预测列车的客流情况和运行趋势,从而优化调度计划;而人工智能算法则可以根据实时数据调整列车的运行速度和控制策略。然而,这些技术的应用需要解决数据质量、算法优化等问题。(2)算法优化、数据挖掘和分析的深入研究。为实现智能化技术在信号系统中的有效应用,需要对算法进行优化,提升数据挖掘和分析的能力。这包括开发更高效的算法模型、提高数据处理的速度和准确性以及加强算法的可解释性

等。同时,还需要加强数据安全和隐私保护技术的研究,确保乘客信息的安全。

##### 4.3 安全性和可靠性的提升策略

安全性和可靠性是城市轨道交通信号系统的核心要求。为确保系统的稳定运行和乘客的安全出行,必须采取相应的提升策略。(1)信号系统的容错能力与抗干扰能力。为提高信号系统的容错能力与抗干扰能力,可以采用冗余设计、故障检测和诊断技术等方法。冗余设计可以在系统出现故障时提供备用方案,确保列车的安全运行;而故障检测和诊断技术则可以及时发现并处理潜在的安全隐患。(2)安全性与可靠性测试与验证方法。为确保信号系统的安全性和可靠性,需要建立完善的测试与验证体系。这包括对各种场景下的系统进行模拟测试、对关键设备进行定期检测和维修以及对系统性能进行实时监测和评估等。通过这些测试与验证方法,可以及时发现并处理系统中的问题,提升系统的整体性能和安全性。

##### 结束语

综上所述,基于通信的城市轨道交通信号与控制系统在提高运输效率、保障安全运营及优化乘客体验方面发挥着至关重要的作用。随着技术的不断进步,全自动驾驶、车车通信及信息化技术等关键领域将持续创新,推动城市轨道交通迈向更加智能化、高效化的发展阶段。然而,面对系统融合、智能化技术应用及安全性提升等挑战,我们仍需不断探索与优化,以期实现城市轨道交通的长期稳定发展。

##### 参考文献

- [1]曾爱琼,张林,胡修乾,俞国荣.基于通信技术的城市轨道交通信号控制系统研究[J].设备管理与维修,2023,(05):67-68.
- [2]王拓辉.基于通信的城市轨道交通信号与控制系统研究[J].时代汽车,2023,(08):81-82.
- [3]黄聪.基于通信技术的城市轨道交通信号控制系统研究[J].中国新通信,2021,(09):97-98.
- [4]谢润泽.基于通信的城市轨道交通信号控制系统研究[J].中国新通信,2022,(12):133-134.