

对于城市轨道交通信号系统发展的思考

冉茂清 胡棋钧

重庆轨道四号线建设运营有限公司 重庆 400020

摘要：城市轨道交通信号系统发展聚焦于智能化、自主化、高可靠与互联互通。CBTC系统广泛应用，但仍需应对集成复杂度、网络安全及跨线互通等挑战。未来趋势包括基于AI的调度优化、自动驾驶、故障自愈及标准化建设，同时注重绿色节能。建议通过技术创新、标准完善、人才培养与政策扶持，共同推动信号系统全面升级，实现更高效、安全、可持续的轨道交通服务。

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交通拥堵的关键手段，其信号系统的发展显得尤为重要。信号系统不仅关乎列车运行的安全与效率，更是推动城市交通智能化、自动化的核心驱动力。本文旨在探讨当前城市轨道交通信号系统的发展现状、面临的挑战及未来趋势，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 信号系统基本构成

城市轨道交通信号系统主要由列车自动控制系统（ATC）、中央控制系统和车站控制系统等核心部分组成。ATC系统是整个信号系统的中枢，它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）三个子系统，分别负责列车的安全防护、自动运行和集中监控。（1）列车自动控制系统（ATC）：ATC系统通过综合运用通信技术、计算机技术和控制技术，实现对列车运行的全面控制。它不仅提高了列车运行的自动化程度，还显著增强了系统的安全性和效率。（2）中央控制系统：作为ATC系统的上级管理机构，中央控制系统负责收集并处理来自各车站和列车的信息，生成并下达列车运行计划，同时对整个系统进行监控和管理，确保系统稳定运行。（3）车站控制系统：车站控制系统则负责车站区域内的信号控制和列车管理。它根据中央控制系统的指令，控制车站内的信号机、道岔等设备，确保列车安全进出站和折返作业。

1.2 信号系统功能

城市轨道交通信号系统的主要功能可以概括为三个方面：列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）和列车自动监控（ATS）。（1）列车自动防护（ATP）：ATP系统通过实时监测列车的速度、位置等信息，与预设的安全距离进行比较，确保列车不会超越安全间隔。

一旦发现异常情况，ATP系统将立即采取措施，如减速或停车，以防止列车追踪、冲突等事故的发生。（2）列车自动运行（ATO）：ATO系统则负责实现列车的自动驾驶功能。它能够根据ATS系统提供的运行计划和列车当前状态，自动控制列车的加速、巡航和制动过程，确保列车按照预定计划准时、准确地运行。（3）列车自动监控（ATS）：ATS系统是整个信号系统的“眼睛”和“大脑”。它实时监控列车的运行状态和信号设备的工作情况，生成列车运行图并动态调整运行计划。同时，ATS系统还具备故障报警和应急处理功能，能够在系统出现故障时迅速采取措施保障列车运行安全^[1]。

1.3 信号系统发展历程

城市轨道交通信号系统的发展历程经历了从固定闭塞到移动闭塞再到CBTC（基于通信的列车控制系统）的演变过程。固定闭塞时期，列车的安全间隔由固定的信号机控制，运行效率较低。随着技术的进步和交通需求的增长，移动闭塞系统应运而生。移动闭塞通过实时通信实现列车间隔的动态调整和优化，大大提高了运行效率。然而，随着城市轨道交通的快速发展和智能化需求的提升，CBTC系统逐渐成为主流。CBTC系统利用先进的通信技术和控制算法实现了列车与地面设备之间的实时数据交换和指令传输，进一步提高了列车运行的自动化、智能化和高效化水平。

2 当前信号系统技术特点及存在问题

2.1 主流技术特点

（1）CBTC系统的优势与应用现状：CBTC（基于通信的列车控制系统）作为当前城市轨道交通信号系统的主流技术，其最大的优势在于实现了列车与地面设备之间的实时双向通信。这一特点使得列车能够连续不断地接收到来自地面控制中心的指令，并根据实时信息进行精确的速度和位置控制。CBTC系统还通过无线通信技

术,实现了列车间的直接通信,进一步提高了系统的灵活性和可靠性。目前,国内外众多城市轨道交通系统均已采用或计划采用CBTC系统,以提升列车的运行效率和安全性。(2)无线通信技术与高精度定位技术在信号系统中的应用:无线通信技术是CBTC系统的核心组成部分之一。它利用无线信号传输列车控制指令和实时状态信息,确保了列车与地面控制中心之间的无缝连接。同时,高精度定位技术的应用使得列车能够实时获取自身在轨道上的准确位置,为CBTC系统提供关键的位置信息支持。这些技术的结合应用,极大地提高了信号系统的智能化和自动化水平。

2.2 存在的问题与挑战

(1)系统集成度高导致的复杂性与维护难度:随着CBTC系统集成度的不断提高,其内部结构和功能也日益复杂。这种复杂性不仅增加了系统设计和实施的难度,还提高了后期维护和升级的成本。一旦系统出现故障,往往需要专业的技术人员进行深入的排查和修复,这给城市轨道交通的运营管理带来了不小的挑战。(2)网络安全与数据安全问题:在信息化和智能化快速发展的今天,网络安全和数据安全已成为城市轨道交通信号系统不可忽视的重要问题。CBTC系统作为高度集成的信息化系统,其内部存储和传输的大量数据涉及列车的运行安全、乘客的隐私保护等多个方面。一旦网络被攻击或数据被泄露,将给城市轨道交通的运营带来严重的后果。因此,如何加强网络防护和数据保护已成为当前信号系统面临的重要课题。(3)跨线路、跨制式互联互通难题:随着城市轨道交通网络的不断扩展和完善,跨线路、跨制式的互联互通已成为必然趋势。然而,由于不同线路和制式之间的信号系统存在差异和兼容性问题,实现互联互通需要付出巨大的努力和成本。这不仅涉及技术层面的难题还需要政策、标准等多方面的支持和协调。因此,跨线路、跨制式的互联互通已成为当前信号系统发展的一大挑战。

3 城市轨道交通信号系统发展趋势

3.1 智能化与自主化

(1)基于人工智能的列车调度与运行优化:随着人工智能技术的不断成熟,其在城市轨道交通信号系统中的应用将越来越广泛。未来,信号系统将能够借助AI算法,对列车运行数据进行深度挖掘和分析,实现更加精准的列车调度和运行优化。AI将能够预测客流变化,动态调整列车运行图,减少等待时间,提升运输效率。同时,通过对列车运行状态的实时监控,AI还能及时发现潜在的安全隐患,并提前采取措

(2)施避免事故的发生^[2]。自主感知、决策与控制的列车自动驾驶系统:自动驾驶技术是当前交通领域的研究热点之一,在城市轨道交通中同样具有巨大的应用前景。未来的信号系统将深度融合自动驾驶技术,实现列车的自主感知、决策与控制。列车将能够自主识别前方道路状况、障碍物以及其他列车的位置和速度等信息,并据此做出精确的驾驶决策。这不仅能进一步提高列车的运行效率,还能显著提升乘客的乘坐体验和安全性。

3.2 高可靠性与高可用性

(1)冗余设计与故障自愈技术:为了保障城市轨道交通信号系统的高可靠性,未来将更多地采用冗余设计。这种设计方式能够在系统故障时迅速切换到备用系统,确保列车运行的连续性和安全性。同时,故障自愈技术也将得到广泛应用。通过内置的故障检测和修复机制,系统能够在发现故障后自动进行修复或隔离故障区域,减少对整体运行的影响。(2)实时监控系统与快速响应机制:为了提高系统的可用性,未来的信号系统将配备更加完善的实时监控系統。该系统能够实时监测列车运行状态、信号设备工作情况以及网络通信状态等信息,并通过快速响应机制对异常情况进行及时处理。这种实时监控和快速响应的能力将显著提升系统的稳定性和应急处理能力。

3.3 互联互通与标准化

(1)不同线路、不同制式之间的无缝切换与兼容:

(2)随着城市轨道交通网络的不断扩展和完善,不同线路和制式之间的互联互通已成为必然趋势。未来的信号系统将更加注重跨线路、跨制式的兼容性和互通性。通过制定统一的技术标准和接口规范,实现不同线路和制式之间的无缝切换和资源共享,提升整个轨道交通网络的运行效率和服务水平。国际国内标准的统一与协调:为了促进全球城市轨道交通的协同发展,未来将加强国际国内标准的统一与协调。通过参与国际标准的制定和修订工作,推动国内标准与国际标准接轨,提升我国城市轨道交通信号系统的国际竞争力。

3.4 绿色节能

(1)节能驾驶策略与能量回收技术:在绿色低碳理念的指导下,未来的城市轨道交通信号系统将更加注重节能降耗。通过开发先进的节能驾驶策略,如优化列车运行曲线、减少制动过程中的能量损失等,实现列车运行过程中的能耗降低。同时,能量回收技术也将得到广泛应用。通过将列车制动过程中产生的能量回收并重新利用于列车运行或其他设备供电中,实现能量的高效循环利用^[3]。(2)低碳环保的材料与设备应用:在信号系

统的建设和运营过程中,将更多地采用低碳环保的材料和设备。例如,使用节能型电源设备、低耗能的通信设备等,减少系统运营过程中的碳排放量。同时,还将注重材料的可回收性和再利用性,降低系统废弃物对环境的影响。这些措施将共同推动城市轨道交通信号系统的绿色化发展。

4 促进城市轨道交通信号系统发展的策略建议

4.1 加大技术创新力度

(1) 支持关键技术研发与成果转化:政府和企业应加大对城市轨道交通信号系统关键技术研发的投入,包括但不限于人工智能调度算法、高精度定位技术、无线通信抗干扰能力等。通过建立科研项目资助体系,鼓励科研机构和企业联合攻关,加速技术创新成果向实际应用的转化。同时,建立技术创新激励机制,对在关键技术领域取得重大突破的团队和个人给予表彰和奖励。

(2) 建立产学研用合作机制:加强产业界、学术界、研究机构及用户之间的合作,构建产学研用紧密结合的创新生态系统。通过定期举办技术研讨会、交流会等活动,促进各方之间的信息共享和合作交流。同时,鼓励企业参与高校和科研院所的研发项目,推动科研成果的快速转化和应用。此外,建立产学研用示范基地,为技术创新提供实践平台。

4.2 完善标准体系

(1) 加快标准制定与修订进程:针对城市轨道交通信号系统快速发展的需求,应加快相关标准的制定和修订进程。成立专门的标准制定机构或工作组,负责收集国内外最新技术动态和实际需求,制定符合国情和国际接轨的标准体系。同时,建立标准的动态更新机制,及时反映技术进步和市场变化。(2) 加强国际标准化合作与交流:积极参与国际标准化组织的工作,加强与国外同行的交流与合作,共同推动城市轨道交通信号系统国际标准的制定和实施。通过参与国际标准制定过程,学习借鉴国际先进经验和技术成果,提升我国在该领域的国际影响力和竞争力。同时,加强与国际市场的对接,推动标准互认和产品出口。

4.3 强化人才培养与引进

(1) 加强专业人才培养:针对城市轨道交通信号系统技术复杂、专业性强的特点,应加强对专业人才的

的培养。通过设立专业课程、开展职业培训等方式,提高从业人员的专业素养和技能水平。同时,建立健全人才激励机制和职业发展通道,吸引更多优秀人才投身于该领域的研究和实践。(2) 吸引海外高层次人才:积极引进海外高层次人才和团队,提升我国城市轨道交通信号系统的整体水平。通过提供优厚的待遇和良好的工作环境,吸引具有国际视野和丰富经验的优秀人才回国工作。同时,加强与海外科研机构 and 企业的交流合作,共同推动技术创新和产业升级。

4.4 加强政策引导与支持

(1) 制定有利于技术创新的政策措施:政府应制定一系列有利于技术创新的政策措施,如税收优惠、研发费用加计扣除等,降低企业创新成本,激发创新活力。同时,建立科技创新服务平台和孵化器,为初创企业和中小企业提供技术支持和孵化服务。此外,加强知识产权保护力度,保障创新主体的合法权益。(2) 加大资金投入与金融支持力度:政府应加大对城市轨道交通信号系统发展的资金投入力度,支持关键技术研发、示范项目建设和市场推广等活动。同时,引导社会资本投入该领域,通过设立专项基金、提供贷款担保等方式降低企业融资难度和成本。此外,加强与金融机构的合作交流,共同推动金融产品创新和服务升级。

结束语

综上所述,城市轨道交通信号系统的发展正步入一个新的纪元,智能化、自主化、高可靠性及互联互通将成为未来的主要方向。面对挑战,需通过技术创新与标准建设双轮驱动,强化系统安全保障与运维效率,同时融入绿色节能理念。展望未来,随着科技与政策的双重支持,城市轨道交通信号系统必将实现更高级别的智能化与自动化,为城市交通的可持续发展贡献力量。

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]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(02):12-13.