

城市轨道交通信号系统互联互通技术应用探讨

李天然

重庆交通建设管理有限公司，重庆，401120；

摘要：城市轨道交通信号系统承担着人员与车辆安全保障的责任，城市轨道交通信号系统能否实现互通互联的转型目的，关系到城轨交通在城市交通体系中的功能发挥。本文主要结合城市轨道交通信号系统的核心技术手段，探讨促进城市轨道交通信号系统实现互通互联的路径及对策，旨在打造灵活跨线运营、设备与车辆资源共享的全新城轨交通体系，为城市轨道交通列车的安全运营提供可行性借鉴。

关键词：城市轨道交通信号系统；互联互通；技术应用

DOI：10.64216/3080-1508.25.04.049

引言

在传统的城市轨道交通信号系统运行模式下，各条轨道交通线路均设计为封闭的独立单元，导致轨道交通体系很难实现跨线运营的目标，同时也会造成轨道交通系统在运维以及管理方面的投入成本过高。随着城轨建设工程的全面推进，很多地区正在积极打造一体化、共享式的城市轨道交通运维模式，客观上需要打破原有的封闭运营区间，实现不同轨道交通线路之间的互联互通。因此如何通过建构人工智能模型来促进城轨交通信号系统的互联互通，应成为打造一体化与动态化城轨交通模式面临的关键问题。

1 城市轨道交通信号系统互联互通的总体设计原则

1.1 区域轨道交通的一体化共享

城市轨道交通信号系统着眼于区域轨道交通的资源共享，针对一定区域范围内的轨道交通信息进行一体化的共享。具体应当从共用车辆段的跨线运营入手，通过增加 ZC 控制器（一种正线控制器）来促进轨道列车的运行信息全面互通。位于两条不同线路的轨道列车在交叉发车的情况下，轨道列车应当能够依据指定的发车时刻表进入跨线段，然后完成转换轨道的操作，如此能够实现两条不同线路轨道交通列车之间的无缝衔接以及平稳转换目标^[1]。城轨交通调度部门应结合列车跨线运营的实际情况，通过建构三维模型来模拟轨道列车在不同辖区内的跨线使用现状，以期进一步实现信息共享、资源整合的目的。

如下图，为某市区 XX 号轨道交通线路的正线贯通配线结构模型：

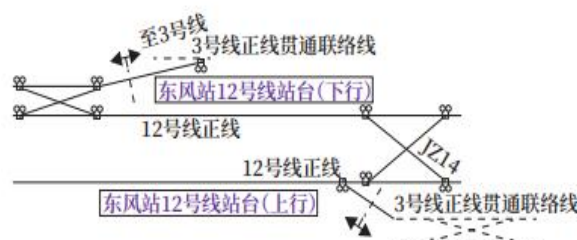


图 1：某市区 XX 号轨道交通线路的正线贯通配线结构

1.2 列车跨线运营的信号识别及控制

城轨交通信号系统具有识别信息与控制车辆运行的基本功能，城轨列车在跨线运营的过程中，应当确保列车运行方向、所在位置、道岔检测信号的真实性。具体需要采用人工智能的传感监测设备，针对城市轨道交通列车在跨线运营全过程中的异常信号进行准确的识别，并且将列车运行异常反馈给计算机监控中心^[2]。尤其是在轨道列车交汇点的跨线运营模式下，信号识别系统应当同步发挥信号控制的功能，依据车辆调度人员发出的 ATS 控制指令自动触发某一跨线进路的报警信息。

如下图，为轨道列车在跨线运行中的 XX 跨区交接示意图：

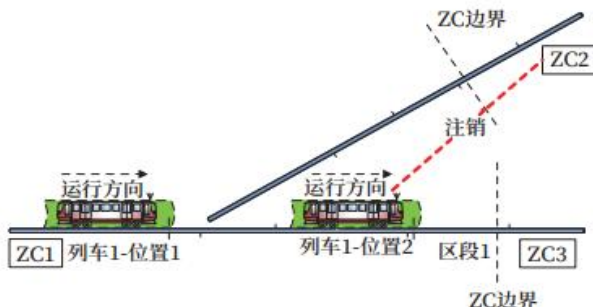


图 2：列车在跨线运行中的 XX 跨区交接示意图

2 城市轨道交通信号系统互联互通技术的应用

要点

2.1 车载 ATO 系统

城市轨道交通的车载 ATO 系统能够直接连接于轨道车辆的制动装置,以上两种设备之间具有安全可靠的互联互通接口。车载 ATO 系统还可以自动监控城轨列车的牵引信号以及制动信号发出情况,向计算机监控终端实时发送报警信号,确保城轨列车的安全隐患得到及时的排查、解决^[3]。

具体针对跨线运营的城轨列车在配置车载 ATO 系统的前提下,列车发出的牵引信号与制动信号就可以实现准确的传输,并能够结合现有的监测数据推断列车跨线运营的周转时间长度。经过自动监测得出的轨道列车性能如果存在某种偏差,那么车载 ATO 系统就会发送告警数据,提醒列车调度部门及时纠正运营图与列车实际位置之间的偏差。由此可见,车载 ATO 系统最关键的功能就在于保证列车安全运行,结合城轨列车的车辆参数指标设计,制定相对应的车辆运行控制方案。

2.2 ATP 子系统

ATP 子系统主要针对独立运行的城轨列车线路,基于移动通信设备的列控安全系统能够识别非本线路的列车进入信息。目前随着城轨交通的互联互通转型进程加快,列控安全子系统正在逐步突破封闭运行空间的局限,在保障列车安全的前提下将两条不同的轨道交通线路融合成为有机的整体,打造两条轨道交通线路的一体化运行监控平台。ATP 子系统旨在连接不同线路的跨线运营列车,采用授权批准的方式保证各条线路的列车稳定运营,对于城轨交通自动化运维监测的资源进行优化配置^[4]。

经过技术改进的列控安全子系统既能够辨识同一线路范围内的列车状况信息,而且还能够捕获跨线列车的使用情况信息,重点针对本线路以及其他线路列车的进入与驶出情况进行动态化的监测。例如在某一时段,列控安全子系统捕捉到某一轨道线路的左侧区域有其他线路的城轨列车进入,则会自动触发轨道列车的进路监控模块,然后发送“是否允许该列车跨线驶入”的请求^[5]。城轨交通调度人员在综合考察的前提下,对于不同线路列车的驶入请求予以授权认可,能够避免其他线路列车在跨线驶入的过程中占用通讯资源。

2.3 计算机联锁子系统

轨道交通信号系统中的计算机联锁子系统即为 CI 系统,该系统的基本原理在于“灯、岔、路”的一体化控制。计算机联锁子系统在一般情况下独立于传统的列控系统,其主要针对跨线运行的轨道列车实施动态化的监督控制。在互联互通的轨道交通信号共享模式下,计算机联锁子系统仍然能够保持独立工作的状态;一旦监测到贯通线交汇点所在位置的列车存在运行异常,那么计算机联锁子系统就会立即触发自动报警装置,提醒列车调度人员妥善处理异常情况。

互联互通理念下的计算机联锁子系统还应当配置不同类型的接口,确保能够兼容多个厂家的产品;并需要在轨道列车运行的内部控制逻辑方面保持良好的一致性,借助人机交互设备显示列车在某一区段占用信息资源的状况。经过处理后的“逻辑区段占用信息”能够实时发送给计算机控制中心,方便轨道列车调度中心的工作人员直观察觉列车的使用异常,对于轨道交通信号系统的现有资源进行整合利用。

2.4 ATS 子系统

ATS 子系统不仅能够显示本线路轨道列车的运营及使用情况,而且还能够准确显示其他线路列车的运营情况,支持互联互通的城轨列车跨线运营方案实现^[6]。具体而言,ATS 能够自动识别轨道列车的表单计划号、车组信息等,按照列车运营规划图进行有序的车次分配,并能够接收轨道交通调度指挥中心发送的指令信息。在轨道交通单线运营管理的实施阶段,关键在于识别属性相同的列车运营状况;然而对于轨道交通跨线运营管理的特殊情况来讲,行车调度指挥监控系统应当能够进一步了解列车配属、车辆来源、车组编号的多个方面信息。ATS 子系统还应当配置“轨旁应答器”,旨在动态矫正列车所在的位置。轨旁应答器属于轨道交通信号系统的核心结构件,其能够经过自动计算得出列车道岔、信号机、区间通过能力等技术指标,结合不同线路列车的运营能力为其设计最佳的跨线运营方案。轨道交通信号系统的 ATS 车组号显示界面,主要用于显示列车 ATC 状态、列车运营冲突情况、扣车状态、车门开闭状态、制动系统故障、报警信息、跳停状态等指标,以期为列车运营调度部门制定科学决策提供监测数据的支撑。

列车在正线行车的情况下,列车调度员需要掌握在线信号系统与综合监控发出的告警信息,以此为依据对于跨线列车通过所在运营线的故障、重要异常状态的滚

屏信息、弹窗告知的本线行车信息进行准确的采集,制定科学合理的行车调度方案。人工智能的行车业务模型主要将涉及本线正线运营资源中的各类行车故障以及异常情况,在最短时间里推送给本线的行车调度人员,同时能够支持本线自动化联动处置以及调度员的人工决策干预。例如在列车信号系统显示某一线路运行列车的烟感报警装置已经发生损坏时,列车调度人员需要立即展开故障排查,利用自动传感器等装置分析故障形成的根源。轨道交通调度人员就能够及时获取以上的异常情况数据,因此方便列车调度人员采取必要的处置措施。在必要的情况下,需要轨道列车的调度员协同车站乘务员采取共同干预的应对方案,不论发生故障的列车是否为本线配属列车,都应当立即启用联动报警装置,避免列车运行故障导致的损失范围扩大,维护人员及财产的完整性。

如下图,为轨道交通信号系统的ATS车组号显示图:



图 3：轨道交通信号系统的ATS车组号显示界面

3 城市轨道交通信号系统互联互通技术的创新趋势

3.1 打造四网融合体系

城市轨道交通信号系统目前正在朝着互联互通、跨线运营的方向发展,旨在实现轨道交通建设资源的深度共享,采用跨线兼容以及开放接口的方式打造“四网融合”的轨道交通运营管理体系^[7]。未来时期的城市轨道交通信号系统将会具备更加强大的一体化运维养护功能,引进四网融合理念的轨道交通信号系统可以实现列车牵引制动模式的精准匹配目标,同时还具备一体化的列车通信、故障检测、综合监控等方面功能。例如,XX市近些年来致力于打造互联互通的四网融合轨道列车运行监控模式,重点针对市区范围内的轨道交通4号线、5号线以及8号线调整信号系统的选型设计方案,经过合理优化的轨道交通二期工程信号系统均已达到跨线运营的基本要求。

如下表,为XX市轨道交通二期工程信号系统的互联互通建设情况:

表 1 XX市轨道交通二期工程信号系统的互联互通建设情况

轨道交通线路	总里程(km)	信号系统选型	跨线运营现状
4 号线	35.2	FZL300 型号、CBTC 系统	符合要求
5 号线	49.8	LCF-300 型号、CBTC 系统	符合要求
8 号线	46.7	BITRACON 型号、CBTC 系统	符合要求

3.2 加强专业衔接协调

城市轨道交通信号系统的可靠性以及安全性主要取决于相关专业人员之间的衔接与配合,加强不同专业人员的沟通协调,有助于打破不同部门与机构的信息资源壁垒,以期在最大程度上保证轨道列车的稳定运营。具体有必要增加PIS的自动报站信息系统以及车内广播系统,结合轨道列车的运行状况自动播报信息。轨道列车的调度员与乘务员应当加强协作,在加大技术研发投入的前提下采用“列调电台”支撑跨专业、跨部门的信息共享,进一步发挥轨道交通信号系统在车辆调度方向的功能。加强城市轨道交通列车在运营全寿命周期内的相关专业协同,还需要体现在车辆机械性能、牵引制动响应、列车电气与网络逻辑时序的一致性,以期实现不同制造商、不同列车牵引制动组合的精确匹配。尤其是在ATO精准停车、列车折返能力、舒适性等方面应保持良好的一致性。采用人机交互的计算机自动显示模式,主要针对城轨列车信号系统ATS的行车指挥、综合监控、车辆调度等界面进行清晰、完整的呈现。不同专业的技术人员之间应当突破部门壁垒,着眼于构建立体化以及动态化的列车运营管理模型,打造跨部门协同的城轨列车运营安全保障机制。并需要进一步加大对城轨列车调度人员的业务培训,确保列车调度人员具备良好的信息化素养,能够应对复杂多变的列车跨线运行状况。

3.3 全面排查故障隐患

城市轨道交通信号系统的重要作用就在于识别列车安全隐患,轨道交通车辆只有始终保持着平稳的运营状态,其才能够发挥行车调度方面的保障功能。基于此,改进轨道交通信号系统的关键就是动态排查列车的故障风险,利用计算机建模软件能够模拟轨道列车的实时运营状况,以期在根本上解决列车故障问题,保障人员与车辆的安全。未来时期的城市轨道交通信号系统应当

实现精准匹配的目标,主要针对轨道列车的牵引制动模式进行合理的优化,提升轨道列车对于突发事件的响应能力以及事故预警能力。并需要引进自动传感器的人工智能辅助设备,采用动态排查故障的技术手段,针对轨道交通列车在全寿命周期内的常见事故采取必要的防范措施。

4 结束语

综上所述,城市轨道交通信号系统不能够缺少互联互通技术作为支撑,未来时期的城市轨道交通应当能够体现“四网融合”的总体转型趋势,突破轨道交通车辆的封闭运营与管理模式,进一步实现信息资源以及关键技术的深度共享目标。为了更好发挥轨道交通信号系统的互联互通功能,重点就是要采用灵活的跨线运营设计理念,采用因地制宜的轨道交通信号系统优化思路。轨道交通的运维养护部门也需要加强车辆故障的预警监测力度,从根源上消除轨道车辆运营全过程中的隐患因素,突出以人为本的城市轨道交通信号系统转型目标。

参考文献

- [1]魏业恒.城市轨道交通信号系统安全性与可靠性分析[J].人民公交,2025(10):90-92.
- [2]华晟,苏阿峰.基于 IEEE802.11be 的城市轨道交通信号系统车地无线通信解决方案研究[J/OL].铁道通信信号,2025(04):1-12.
- [3]赵帅.城轨信号系统改造中全电子执行式联锁与轨道电路接口问题测试分析[J].现代城市轨道交通,2025(05):75-80.
- [4]曹启滨.城市轨道交通信号系统互联互通技术应用探讨[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(11):59-64+88.
- [5]杨安安.城市轨道交通信号系统互联互通工程关键技术应用[J].运输经理世界,2022(13):64-66.
- [6]杨锦,施正强,杜洪伟.城市轨道交通 CBTC 信号系统互联互通车载设备接口应用浅析[J].物流工程与管理,2022,44(01):105-108.
- [7]陈海欢.OPCUA 在城市轨道交通信号系统互联互通中的应用研究[J].铁路计算机应用,2019,28(02):61-64.