

## 论城市轨道交通信号系统互联互通发展的思考

李天然

重庆交通建设管理有限公司, 重庆 401120

[摘要]城市轨道交通信号互联互通, 依据其运行场景要求有效控制车辆运行行程, 并智能化监控其运行状态, 在达到高质量控制的同时, 维护列车运行安全稳定。本篇文章首先阐述城市轨道交通信号系统互联互通的重要价值, 简要分析城市轨道交通信号系统互联互通的关键技术以及实施策略, 并在基础上设想城市轨道交通信号系统互联互通的未来发展。

[关键词]城市轨道交通; 信号系统; 互联互通; 实践策略

DOI: 10.33142/sca.v8i7.17135

中图分类号: U231

文献标识码: A

### Discussion on Thoughts on the Development of Interconnected Signal Systems in Urban Rail Transit

LI Tianran

Chongqing Transportation Construction Management Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

**Abstract:** Urban rail transit signal interconnection effectively controls the vehicle's travel distance according to its operating scenario requirements, and intelligently monitors its operating status, achieving high-quality control while maintaining safe and stable train operation. This article first elaborates on the important value of interconnectivity in urban rail transit signal systems, briefly analyzes the key technologies and implementation strategies of interconnectivity in urban rail transit signal systems, and envisions the future development of interconnectivity in urban rail transit signal systems based on this foundation.

**Keywords:** urban rail transit; signalling system; interconnection and intercommunication; practical strategies

#### 引言

城市交通网络中城市轨道交通以其高效、便捷等诸多优势, 一方面能帮助城市交通减轻压力, 另一方面有助于提高出行体验。基于持续性扩张的城市轨道交通网络, 线路和线路之间实现互联互通, 是轨道交通提升出行效率和质量的动力源之一<sup>[1]</sup>。针对信号系统而言, 不仅要满足自主可控的要求, 还能保证系统间稳定协同运行, 在此基础上避免出现“信息孤岛”。鉴于此, 通过深研城市轨道交通信号系统实现互联互通的策略方法, 具有重要现实意义。

#### 1 城市轨道交通信号系统互联互通的重要价值

伴随“都市圈”范围的扩大, 居民通勤出行需求也随之增大, 并且呈现出多量化和多元化趋势。为满足日常轨道交通出行需求, 信号系统应实现互联互通, 其所具备的价值体现在以下四个方面(见图1)。

首先, 科学配置线路资源。以互联互通为特点的信号系统, 既能保障运力资源分配科学合理, 还在一定程度上起到防止重复建设的作用, 共享资源的同时提高交通网整体服务质量<sup>[2]</sup>; 其次, 提高交通出行质量, 集中表现在可以促成建设城市轨道交通“一体化”减少人员换乘、等待的时间, 与传统模式相比出行效率被大幅提高; 再次, 进一步强化应急响应。面对应急情况能在第一时间确保交通运行整体稳定, 即在分摊客流压力的同时, 将各类资源快速调动起来, 共享不同线路以及运营主体的可用资源, 由此及时响应和科学预测突发事件; 最后, 有助于线网运营

效益提升。信号系统互联互通能满足城市轨道交通的“网络化”“一体化”运营要求, 提高客流吸引力、共享运力资源等, 在一定程度上缓解高峰时段的换乘压力, 由此提高整体运营效益。

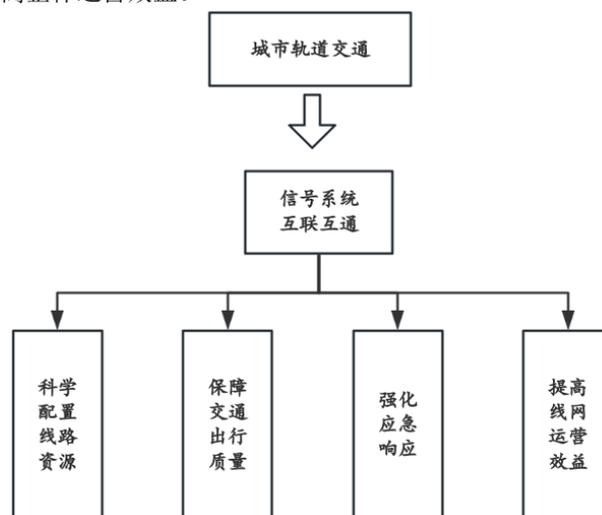


图1 城市轨道交通信号系统互联互通价值体现

#### 2 城市轨道交通信号系统互联互通的关键技术

##### 2.1 系统制式兼容与统一

信号系统的制式众多, 因制式不同导致其在技术特征以及使用场景等方面, 都存在一定差异, 所以实现制式兼容与统一极为关键。首先, 通信协议统一。不只是实现

互联互通的基础所在，还直接影响到车地通信效率，集中表现在安全层以及应用层通信两个方面，前者在传输数据的过程中保证完整性与私密性，防止信息被泄露或随意篡改，后者能定义数据交换流程及格式，满足不同厂商对设备运行状态、故障信息等内容的交流<sup>[3]</sup>。依托统一的通信标准保障设备协同运行，一方面让系统具有优良兼容性，另一方面保障信息无误交换；其次，确保接口和设备兼容。为能让不同厂商的信号系统实现互联互通，建议采用兼容性较高的接口设备，并在此基础上有效改进城市轨道交通的信号系统；再次，标准化的数据交换。主要是指通过多源数据之间的有效融合并做到无障碍沟通，让轨道列车得以安全跨线运营；最后，信号基础设备提高适配性。由此类设备连接制式不同的轨道交通信号系统，而适配性集中体现在信号机显示、应答器编码等方面，避免不同厂商设备之间出现兼容问题，进而提高不同线路间的列车运行稳定性，同时使整体系统更可靠。

## 2.2 列车定位和通信技术

首先，列车定位是轨道交通实现自动控制以及安全保护的关键，这一技术有以无线通信位置为主的列车定位，以及轨道电路列车定位等。例如，上海 14 号线通过“北斗卫星+惯性导航+规范统一电子地图（见图 2）”的融合型定位技术，即使因进入隧道出现卫星信号丢失，仍可以评价惯性导航维持厘米级定位精度，提高列车运行安全性；其次，车地通信技术。为满足轨道列车和地面设备通信实时性，既要选择针对性的通信技术，并通过优化通信系统，保障双方通信的稳定性。比如，北京地铁燕房线通过 LTE-M 技术达到车地双向实时通信效果，支持最高 1.5Gbps 的传输速率，和传统使用的 WLAN 技术更稳定，也大幅降低出现通信中断风险的概率。

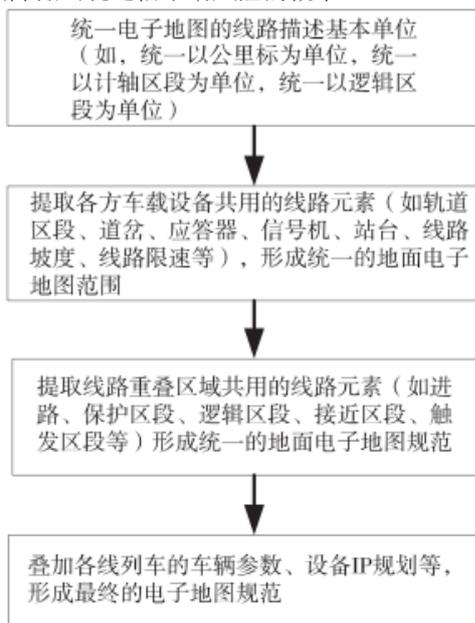


图 2 电子地图规范统一过程

## 2.3 系统结构和功能划分

首先，系统架构设计。作为影响信号系统互联互通的重要因素，其能支持不同制式城市轨道交通信号系统集成与接入，保障不同系统之间信息流通畅。例如，重庆轨道交通采用 CBTC 系统，依托统一架构设计实现不同供应商设备的兼容。同时，依托标准化车载设备接口，同一列车能在四号线、环线和五号线间跨线运行，不需要更换车载装置；其次，功能模块划分协作。具体来讲，将信号系统进行多功能板块的划分，如地车通信以及列车定位等，在此基础上清楚界定各板块具备的协作关系，这属于信号系实现统互联互通的关键一环。同时依托叠加式以及模块化设计，保障车载设备具备如控制间隔等功能，这样也能进一步提高城市轨道交通信号系统的互联互通流畅性；最后，设计并实现跨系统接口。即设计适宜的接口协议以及数据格式，保障不同系统之间便捷准确地交换信息。

## 2.4 行车调度和指挥系统

首先，行车调度系统主要负责运行计划以及调度指挥，从而保障城市轨道交通依据已设定的运行图，稳定安全运行；其次，实现跨线行车调度和指挥。即通过设计列车跨线调度系统（见图 3），贡献线路不同列车的运行计划以及调度指令，如日本东京副都心线和东武东上线，通过该系统共享运行计划，满足无缝跨线运营要求，东武东上线列车能直接驶入副都心线，并由调度系统智能调整冲突区段的进路；最后，应急处理和监测故障。依托应急处理机制以及监测故障机制，面对突发紧急情况时能在第一时间响应，采取针对性和实效性的举措，由此确保运行安全。例如，深圳 11 号线通过部署故障监测智能系统，实时分析轨道电路以及信号机等运行状态，2021 年因台风引发接触网故障，该系统通过自动触发应急预案，在 10min 内安全引导全线列车到最近车站。

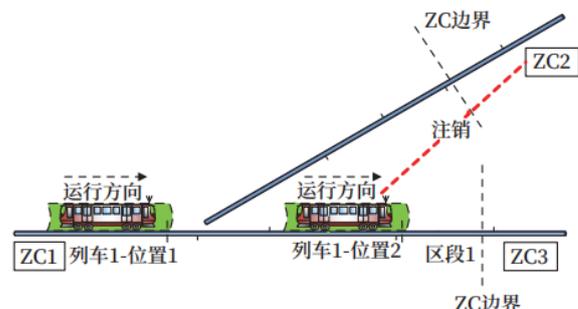


图 3 列车在跨线越交接调度示意

## 3 城市轨道交通信号系统互联互通的实施对策

### 3.1 基础设备互联互通设计

轨道交通信号系统中的信号机以及计轴，在具体运行过程中的差异表现在数量、安设方法和位置等<sup>[4]</sup>。有关数量配置，要求参考互联互通相应的信号系统数量，在确保信号系统运行安全的前提下科学选择安装位置。依据信号

系统互联互通的要求制定规范化安装标准,保障基础设备可以一方面扩大信号传播规模,另一方面提升信号使用率。与此同时,应答器以及信标设备设计也十分重要,两个设备作为组成信号系统的重要部分,型号选择会影响能否达到互联互通目标。值得注意的是,安装标准存在区域差异,其中欧标适用范围较为广泛且由不同厂商协作编制。故而在设计技术设备时,可以将欧标用于统一标准,为实施互联互通提供技术保障。例如,重庆地铁5号线,作为全球首条互联互通 CBTC 示范线,利用中国通号研发的 FZL300 型 CBTC 系统,成功统一轨旁信号设备的安装标准,如计轴传感装置在联锁区分界处通过交叉设置方案,确保在发生故障时不对相邻线路运营产生影响,实现了重庆轨道 10 号线列车在 5 号线互联互通共线运营。

### 3.2 构架与数据流互联互通设计

设计城市轨道交通信号系统,利用统一的系统框架和关键技术,系统内部大部分构件的相似度较高。从当前国内实际情况来看,信号系统以及设备配置两者都可以满足集成控制、“集中-分散”控制的要求。而为实现互联以及互通,则应该在建设规划中,利用统一系统构架修正相关功能。除此之外,在系统内需要设置对应外接口,一是为了满足设备互联和设备互通要求,二是提高了接口适用性,防止因接口不匹配而必须改造,这样能减少一定成本。考虑到互联互通建设需保证设备间有效的信息交互,则要设置标准接口,按要求将每个子系统接口信息进行配置。长沙地铁 4 号线和 5 号线的信号系统架构与数据流设计,依托“互融互通”技术体系,攻克 CBTC 与数字轨道电路系统的数据融合难点,能统一处理电子地图、定位信息以及移动授权。

### 3.3 接口互联互通设计

在信号系统内包含列车信息以及接口信息,且这些信息能在不同设备之间联动应用。比如,设计在车地点式通信信号,无论应答装置编码还是解码均应满足技术标准,既要保障报文格式统一,还能通过最大化报文处理数据信息差异,如固定应答设备安装于系统内部,用于控制不同的地图版本信息;可变应答设备用于控制状态信息,同时利用继电器装置进一步提高信号传输质量。有关系统交互设备,为能有效控制信息传输量,建议将信号机安装于跨线处以期稳定运行轨道交通信号系统。另外,子系统内的信号装置、物理区间也应互联互通,并通过不断完善系统功能提升信号传输水平。而在设计跨线 ATS 接口时,需要进行防火墙隔离,按要求传输邻站信息,这些信息可以作为列车管理的参考。接口设计后需做好测试验证,一是实验室仿真测试,主要用于验证数据帧格式和异常处理机制等,通过互操作性测试,模拟不同供应商设备的组网环境,检查数据交换是否一致;二是现场测试,包含 CBTC 互联互通测试和全场景压力测试两种方式。

## 4 城市轨道交通信号系统互联互通的发展设想

城市化进程提升与持续扩展的轨道交通网络,轨道交通信号系统互联互通正成为推动行业可持续发展的重要动力。现阶段,信号系统已由机械控制跃进到智能化、自动化方向,依托人工智能、大数据、物联网等精准高效控制车辆运行,为乘客提供更安全、便捷的出行体验。未来,城市轨道交通信号系统互联互通发展趋势主要体现在以下四个方面。

### 4.1 云平台资源整合:形成集约化共享中枢

运用云计算技术满足信号系统对海量运行数据分析、处理的要求。通过挖掘其中价值信息,为轨道交通规划、轨道交通运营与管理提供有力的决策支持<sup>[5]</sup>。以云计算为主导形成的“云信号”,能实现如下核心突破:首先,在数据融合方面,通过整合各子系统数据,衍生成适配全网运行的数字孪生体;其次,在弹性扩展方面,支持接入千万级设备,并且算力资源能按需分配;最后,在灾备冗余方面,依托多云架构部署,提高故障切换效率至毫秒级。

### 4.2 自动运行互联:形成无人化智能运输网络

伴随逐渐成熟的全自动运行技术,城市轨道交通信号系统能实现跨制式、跨线路互联。基于“车-地-云”协同控制模式,轨道车辆能自动完成动态调整运行计划、智能化识别障碍物和影响应急联动。未来全自动运行扩展到全网互联,让不同生产厂商的列车能在统一标准下将运行数据共享,由此提高路网通过能力。

### 4.3 数字孪生融合:形成构建虚实互映新生态

城市轨道交通信号系统互联互通融合数字孪生技术,主要结合 BIM、GIS 以及物联网技术建立信号系统数字孪生体,具备实时镜像功能,毫秒级同步物理系统状态;预测推演功能,提前 30 分钟模拟拥堵等场景;自愈能力,能够自动诊断 90% 以上信号设备故障。同样信号系统数字孪生体融入城市轨道交通信号系统仿真运行,能大幅提高仿真质量(见表 1)。

表 1 信号系统数字孪生体应用效果

城市	系统名称	实施效果
深圳	Sim City 3D	决策效率提高 40%
上海	City Sim	客流预测误差 4.7%
北京	地铁 5 号线	故障预测准确率 98.2%

### 4.4 人工智能赋能:实现自适应协同优化

未来控制轨道交通信号中,人工智能会更重要的作用,如系统能按照实时客流数据调整发车间隔以及运行速度,以此保障列车乘客可以快速、便捷地到达目的地。基于来讲,未来人工智能会让城市轨道交通信号系统达成三级智能化。“一级感知层”,以深度学习分析处理多源数据,保障识别准确率超过 99%;“二级决策层”,通过强化学习生成最优列车运行图;“三级控制层”,借助分布式人工智

能代理系统，让列车群能自主协商运营。

## 5 结束语

综上所述，为进一步推动城市轨道交通有效发展，信号系统实现互联互通至关重要。而信号系统想达到互联互通的目标，则应制定统一合理的技术标准、依托网络化运营模式落实跨制式互联。伴随积极进步以及轨道交通管理模式的完善，会进一步发挥信号系统的互联互通性能，为未来交通运输事业蓬勃发展作出应有贡献。

### [参考文献]

[1]姚慧欣,侯蓉华.城市轨道交通信号系统互联互通解决方案[J].运输经理世界,2024(33):4-6.

[2]张宏强,华嘉叶,包佳伟,等.城际轨道交通与城市轨道交通信号系统贯通方案研究[J].城市轨道交通研究,2024,27(2):51-55.

[3]李中浩,ZHANG Li man.我国城市轨道交通信号系统发展方向探讨[J].城市轨道交通研究,2024,27(2):3-263.

[4]伍雨彬.城市轨道交通全自动运行信号系统互联互通方案分析[J].内蒙古科技与经济,2023(24):125-127.

[5]李云,王崇国,殷江宁.基于云边协同的城市轨道交通信号系统方案[J].城市轨道交通研究,2023,26(7):194-199.

作者简介：李天然（1984.12—），男，四川农业大学，农业电气化及自动化专业，高级工程师。