

城市轨道交通通信集成与改造项目管理探讨

张健丰

中国铁路通信信号上海工程局集团有限公司 上海 200040

摘要：通信系统是支撑轨道交通的核心基础设施，承担着列车通信、运维管理、乘客服务等多场景的通信保障，其重要性不言而喻。随着轨道交通的发展，通信系统的集成管理的重要性愈发凸显。本文基于行业实践与技术发展趋势，从通信系统内容、集成核心要点、项目管理优化、既有线改造技术方案与项目管理几大核心维度进行深度探讨，系统分析城市轨道交通通信系统集成的发展现状与未来方向，为行业高质量发展提供理论参考与实践借鉴。

关键词：轨道交通；通信系统；项目管理；既有线改造

引言：城市轨道交通通信系统是保障轨道交通安全高效运营、支撑智慧化升级的关键基础设施，覆盖列车调度、运维管理、乘客服务、应急处置等全场景。随着我国轨道交通网络化运营深化，5G、人工智能、云平台等新技术快速应用，既有线路设备老化、带宽不足、系统兼容性差等问题日益凸显，需要提升通信系统集成管理与既有线改造的管理水平。

1 城市轨道交通通信集成特点

1.1 高度集成的综合网络

城市轨道交通通信系统作为支撑线路安全运营、高效调度与优质服务的核心基础设施，其显著特征体现在子系统数量多、技术架构复杂、制式迭代频繁、设备协议异构性突出，需要系统性的统一规划与全流程协同协调。

从子系统构成来看，通信系统可以划分为基础系统和业务系统。其中，基础系统包含传输、时钟、计算机网络、车地无线和电源系统；业务系统包含公务电话、专用电话、专用无线、视频监视、广播、乘客信息、视频会议、集中告警、安全防范系统等。基础系统主要作为通道与保障，各子系统既需满足独立业务需求，又要实现跨系统互联互通，形成“单点独立运行、全局协同联动”的复杂关系^[1]。

1.2 RAMS要求高

轨道交通通信系统的RAMS（Reliability、Availability、Maintainability & Safety，可靠性、可用性、可维修性和安全性）要求较高，在对核心设备冗余设置以外，在SIL等级、MTBF、MTTR，抗电磁干扰、信息系统安全等级保护等关键指标均有着不同程度的要求。

1.3 通信系统跨系统深度融合

轨道交通通信系统接口体系呈现“内部交叉密集、外部联动广泛”的显著特征，内部十余个子系统的深度互联，外部与信号、车辆、综合监控、FAS、AFC等多专

业系统对接，接口类型、接口协议呈多元形态。

集成管理需要通过全流程统一规划与协同协调，打破子系统间的技术壁垒与业务割裂，实现控制信号、语音通信、视频监控、乘客服务等业务的深度融合，确保通信系统整体可靠性、实时性与扩展性，为城市轨道交通全自动驾驶、智能调度、智慧运维等高级应用提供坚实支撑。

1.4 智能化程度高

轨道交通通信系统的智能化水平正持续显著提升。随着前沿 ICT 技术的快速迭代，全自动驾驶、云平台、智能巡检机器人、人脸识别行为分析、人工智能、数字孪生等一系列创新技术已在全国轨道交通领域，得到不同程度的规模化应用与实践。新技术的融合应用对系统兼容性、接口标准化、技术协同性提出了更高要求，也间接增加了系统集成在方案设计、实施及后期调试阶段的复杂度与技术难度。

2 项目管理及提升

2.1 集成管理基本内容

通信系统集成项目管理覆盖招投标、设计联络、接口对接、供货、安装调试、联调联试、试运行及质保运维等全流程。

其中，设计阶段主要是设计联络和接口对接，设计联络主要确认系统功能、技术参数、系统方案等。集成商需根据设备的技术资料，提供系统的集成优化设计、图纸等方案资料；接口对接主要是确定内外部子系统的接口方式、协议、交换信息等，并进行接口设计、试验和调试；工厂检验对系统性能、功能、接口联动进行验证。通信系统调试及后续的144小时测试、联调联试是系统集成的核心环节，各阶段围绕接口验证、系统稳定性及跨专业协同制定了针对性的管理重点与目标。

2.2 集成管理提升与创新

构建流程标准化。梳理项目全流程关键环节，制定标准化管理流程与操作手册，涵盖项目实施的核心环节，明确各环节责任主体、工作内容、时间节点与质量标准。将工程全要素数据透明呈现，把管理模式从经验驱动转向了数据驱动。基于数据分析与问题反馈，形成 PDCA 管理闭环，推动组织管理效率与精益化水平迭代提升。

建立跨专业协同机制。通过例会+协同平台，实现设计、施工、运维、设备供应商等多方高效沟通，解决专业间衔接问题。

优化资源配置。人才配置采用“专业匹配+梯队建设”模式，根据项目技术需求，配备通信工程、项目管理等专业技术人员。建立常态化培训机制，针对新技术开展专项培训，提升团队技术能力。

物资管理引入物联网技术，协助施工进行仓储管理，实现设备物资的全生命周期追踪；建立数字化平台智能化管控，或协同施工管理平台，整合管理数据，实现项目状态实时可视化；建立数字化交付体系，项目各阶段交付物采用电子化格式，通过协同平台实现线上流转、审核与归档；建立项目数字孪生模型，将BIM技术深度嵌入到各环节，正向指导施工，与智能平台管理数据深度融合，为建设、运维提供精准的数据基础。

3 既有线改造技术与项目管理

截至目前，我国开通运营超10年的线路已有六十余条，部分线路甚至达15年以上，通信系统存在设备故障率上升、技术滞后、容量不足等问题，难以满足新时期轨道交通运营管理的需求。

表1 通信设备寿命表

设备类型	预期寿命	特点
服务器	10-15年	24小时不间断运行，需良好散热
交换机、路由器	10-12年	工况恶劣区域可缩短至5-8年
传输设备	10-15年	十年前设备替代备件停产较多
无线基站、固定台	7-10年	十年前设备替代备件停产较多
车载通信终端	5-8年	需定期维护
LCD显示器	5-8年	不间断使用、环境条件恶劣均会降低使用寿命
配电柜	12-15年	模块化，平时更换零部件即可
蓄电池	3-5年	需定期更换
漏缆、天馈线	15-20年	几乎免维护
光缆	20年以上	几乎免维护

如表1所示，通信各子系统的设备寿命周期差别较大，在既有线改造实施过程中，往往根据各子系统的寿命周期，逐系统进行改造，这个过程中集成要素弱化，更关注实施过程中的安全与效率，这更需要采用先进适用的产品方案与科学的项目管理方法，实现系统升级与

效能提升。

3.1 传输网络改造

早期地铁传输网络多采用SDH、MSTP技术，带宽有限，难以支撑大流量、高带宽的业务。改造方案可采用OTN、PTN、SDN等技术构建全IP传输网络，大幅提升传输带宽，满足5G、高清视频、云平台等大流量业务需求。

传输系统的整体替换改造，需在确保原传输子系统的正常使用的前提下，为新系统的调试提供条件。新设传输子系统利用备用光纤资源进行组网，在完成单机调试、系统调试后，进行系统割接。

3.2 无线通信改造

建设初期，无线通信多采用的TETRA (Terrestrial Trunked Radio, 集群无线系统) 集群通信技术，用于设备维护、列车调度、运营维护等方面的运营管理。同时地铁内民用通信覆盖了3G/4G/5G 公网，为乘客提供丰富的移动网络服务。

改造方案可采用“5G+TETRA协同部署”模式，5G技术采用新型信道编码方案、性能更强的大规模天线技术，采用短帧、快速反馈、多层/多站数据重传等技术，支持低时延、高可靠^[2]，可以实现无线通信大数据传输的需求。结合终端设备、网络资源，为地铁业务场景提供独立、隔离和集成的网络。

3.3 视频监视系统改造

早期CCTV系统采用模拟制式，存在信号衰减严重、抗干扰能力弱、分辨率局限于标清等根本性缺陷，因此需实施全链路数字化高清改造。改造范围需覆盖系统全组成部分，一是处理核心设备的全面更换，包括将模拟矩阵切换器替换为数字高清视频平台，将硬盘录像机更换为存储主机及扩展阵列；二是终端设备的更新，将模拟摄像机全部替换为数字高清网络摄像机，配置红外夜视、宽动态、MAC地址收集等功能；三是传输链路的重构，拆除原有的同轴电缆，更换为非屏蔽双绞线或光纤。

此外，可以通过新建统一视频综合管理平台，具备多协议接入、智能分析等功能，满足地铁智慧运营平台的需求；开发部署网关设备，通过网关实现协议转换、视频流格式统一，全系统互联互通。

3.4 其他子系统

对于其他业务类子系统，系统的核心设备作为系统运行的“大脑”，其稳定性直接决定子系统功能的正常发挥。当核心设备出现停产、厂商不再提供技术支持或性能无法满足新增业务需求时，需优先实施更换替代，同时确保新设备与现有系统的兼容性。

业务类子系统的终端设备数量多、分布广，并且大部分设备仅承担信号接收与输出功能，产品技术迭代升级速度相对较慢，系统兼容性较强，只要性能达标、外观完好，均可优先利旧复用，通过维护优化延长使用寿命。

3.5 改造项目管理要点

在改造过程中，首先核实原机房的条件，核查使用面积、楼面荷载承载力。若机房荷载不足，可采取增设散力架等措施；与此同时，应加强设备系统硬件部署方案设计，使其能够适应现有狭小的、用电容量受限的、空调及管线条件不良的设备用房^[1]。

其次需强化全流程管控以保障改造质量与运营安全：一是对设计方案设计进行深化补充调整，制定详细的设备清单、施工流程、人员分工、安全措施及应急预案等改造方案，重点做好系统割接方案；二是施工管控需严格，施工前开展安全技术交底，施工中严格遵守地铁运营安全规范，分时段利用运营间隙施工；三是测试验收需全面，改造完成后开展系统功能逐项测试、接口测试，确保系统满足设计要求后正式验收交付。

改造采用“分区段、分批次”改造策略，将全线划分为若干改造区段，每个区段改造完成后进行测试验收，验收合格后再推进下一区段，避免大规模改造带来的运营风险。

3.6 设计、集成、施工协同机制

通过设计、集成、施工的深度联动，从系统方案、设备布局、线缆路由入手，加强联动，让“图纸”适配“现场”，将设备优化整合、改进线缆插接化工艺。通过设计、集成与施工的全链条深度联动，打破传统工程中的信息壁垒。设计阶段融入施工可行性考量，制造环节吸收现场工艺需求，最终实现“图纸精准落地、产品即插即用、施工高效推进”的闭环协同，从源头提升项目质量与效率。

针对通信“多专业交叉、天窗点作业受限、安全标准高”的施工特点，重新定义了改造施工组织模式。工位制均衡化施工是将通信系统更新改造全流程分解为若干个标准工位，通过接口管理机制明确跨工位协同边

界，模拟生产机制提前验证工序衔接可行性，异常管理机制实时响应突发问题，保障每一个环节在固定的节拍下运行，让点多线长的城轨改造施工现场转变成高效、稳定、均衡的生产流水线。

采用“工厂预制+现场组装”模式，模块化施工通过将弱电系统施工内容拆解为标准化模块，在工厂或预制场完成模块预制、组装与调试，再运输至现场进行拼接安装，缩短了现场施工时间，从根本上改变了传统“现场散拼”的施工模式，适配轨道交通工程规模化、标准化建设需求，提供质量可靠的工厂化保障和高效插接的现场组装革新，中国通号依靠设计、集成与制造、施工“三位一体”全产业链优势，在“四化”（模块化、工厂化、插接化、均衡化）中迈出了开创性的一步。

4 总结

城市轨道交通通信系统集成作为支撑轨道交通高质量发展的核心基础设施，其技术演进与管理升级始终围绕“安全、高效、智慧、绿色”的核心目标展开。本文通过对系统集成特点、项目管理、既有线改造几个维度的深度分析，结合大量工程案例与技术参数，全面呈现了城市轨道交通通信系统集成的发展现状与未来趋势。

城市轨道交通通信系统集成的发展任重道远，需持续加强技术创新与实践探索，深化产学研用协同合作，不断提升系统的技术水平与管理效能，为城市轨道交通的安全、高效、智慧、绿色发展提供更坚实的通信保障，助力打造现代化、高品质的城市交通体系。

参考文献

- [1]何川江. 浅谈城市轨道交通工程通信系统集成项目管理[J]. 现代交通与路桥建设, 2025, 4(12). DOI: 10.37155/2811-0633-0412-65.
- [2]冯猛. 5G技术应用于地铁无线通信系统的探讨[J]. 中国宽带, 2025, 21(01): 121-123. DOI: 10.20167/j.cnki. ISSN1673-7911. 2025.01.41.
- [3]石楚韵, 叶培峰, 齐海娟, 等. 轨道交通通信系统不停运工况下改造方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2025, 34(07): 85-90.