

苏州轨道交通 11 号线与 3 号线贯通运营 信号系统改造关键技术方案

刘冬冬¹ 周 祎¹ 施宇锋² 唐 陶¹

(1. 卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海; 2. 苏州轨道交通运营有限公司, 215124, 苏州)

摘 要 [目的]为实现苏州轨道交通 11 号线与 3 号线贯通运营,需根据线路特点和运营需求定制专属的信号系统改造技术方案,以实现“一线一案”的技术目标。[方法]分析了城市轨道交通信号系统无人驾驶制式升级改造的技术关键点,结合苏州轨道交通 11 号线与 3 号线贯通运营信号系统改造方案,从车站改造、控制中心贯通、网络兼容等方面阐述了信号系统改造过程中的技术难点和创新点。[结果及结论]苏州轨道交通 3 号线为国内首条由 GOA2(半自动化列车运行)升级为 GOA4(无人干预列车运行)的线路,信号系统改造完成后,3 号线运营更安全、更高效、更智能,同时实现了 11 号线与 3 号线两线信号系统的全面兼容和无扰贯通。

关键词 苏州轨道交通; 信号系统; 贯通运营; 控制中心

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.061

Signaling System Renovation Key Technology Solutions of Suzhou Rail Transit Line 11 and Line 3 for Through Train Operation

LIU Dongdong¹, ZHOU Yi¹, SHI Yufeng², TANG Tao¹

(1. CASCO Signal Co., Ltd., 200071, Shanghai, China; 2. Suzhou Rail Transit Operation Co., Ltd., 215124, Suzhou, China)

Abstract [Objective] To enable the through train operation between Suzhou Rail Transit Line 11 and Line 3, a customized signaling system upgrade solution is required based on the unique characteristics and operational demands of the lines, aiming to achieve the technical goals of ‘one line, one plan’.

[Method] The key technical points in upgrading the urban rail transit signaling system to driverless operation mode are analyzed. The signaling system upgrade plan for Suzhou Rail Transit Line 11 and Line 3 through train operation is examined, with a focus on the technical challenges and innovations in station renovation, control center integration, and network compatibility. [Result & Conclusion] Suzhou Rail Transit Line 3 is the first in China to upgrade from GOA2 (semi-automated

train operation) to GOA4 (fully automated train operation). After the signaling system upgrade is completed, Line 3 operates more safely, efficiently, and intelligently, while ensuring full compatibility and seamless integration between the signaling systems of Line 11 and Line 3.

Key words Suzhou Rail Transit; signaling system; through train operation; control center

为加强市域一体化,贯彻城市轨道交通市域线与城区线“一张网”规划、建设和运营理念,避免苏州轨道交通 11 号线与 3 号线在外围接驳换乘,全面提升上海、昆山与苏州中心城区出行时效性,提出苏州轨道交通 11 号线与 3 号线贯通运营方案。本文重点研究两线贯通运营改造方案中的信号系统改造关键技术方案。

1 关键技术方案

苏州轨道交通 11 号线信号系统列车运行方式为 UTO(无人值守的全自动运行),而苏州轨道交通 3 号线列车运行方式为 ATO(列车自动运行),为了实现两线贯通运营,需要对苏州轨道交通 3 号线信号系统进行升级并与苏州轨道交通 11 号线进行贯通。

1.1 车站贯通方案

11 号线起点站与 3 号线终点站唯亭站采用单点衔接型式,车站按平行双岛布置,两线均采用站前交叉渡线折返,通过站厅付费区进行换乘。

3 号线唯亭站为站前设交叉渡线的终点站,沿葑亭大道南侧设置。11 号线唯亭站为站前设置交叉渡线的起点站,沿葑亭大道北侧设置,与 3 号线右线设置联络线,并预留有两线左线联络线实施条件。为实现两线贯通运营,11 号线车站交叉渡线仅保留一组单渡线并增设与 3 号线左线联络线。

信号系统在 3 号线唯亭站和 11 号线唯亭站边

界划分方案如图 1 所示。为了使 11 号线与 3 号线贯通后两线边界划分有利于运营组织管理和运营维护,两线信号系统联锁区边界由原右线联络线计轴点 CH3711M/CH0113A 变更至 3 号线唯亭站站台信号机 X3706、X3705 处。变更后原 3 号线信号机 X3706/X3705、有源信标 VB3706/VB3705 由 11 号线信号系统控制。为了便于 11 号线跨线列车在唯亭站进行站后折返,在 3 号线唯亭站站前折返交

叉渡线处增加阻挡信号机 S033705 和 S033706。

由于两线联络线贯通后按照正线方式行车,因此需要对信号机、计轴、道岔、信标等室外设备进行控制归属划分,同时将原联络线线间联锁继电器接口改造为联锁站间网络接口。为避免两线信号设备命名重叠,3 号线信号设备命名增加线路号“03”,如信号机 S0109 重命名为 S030109。

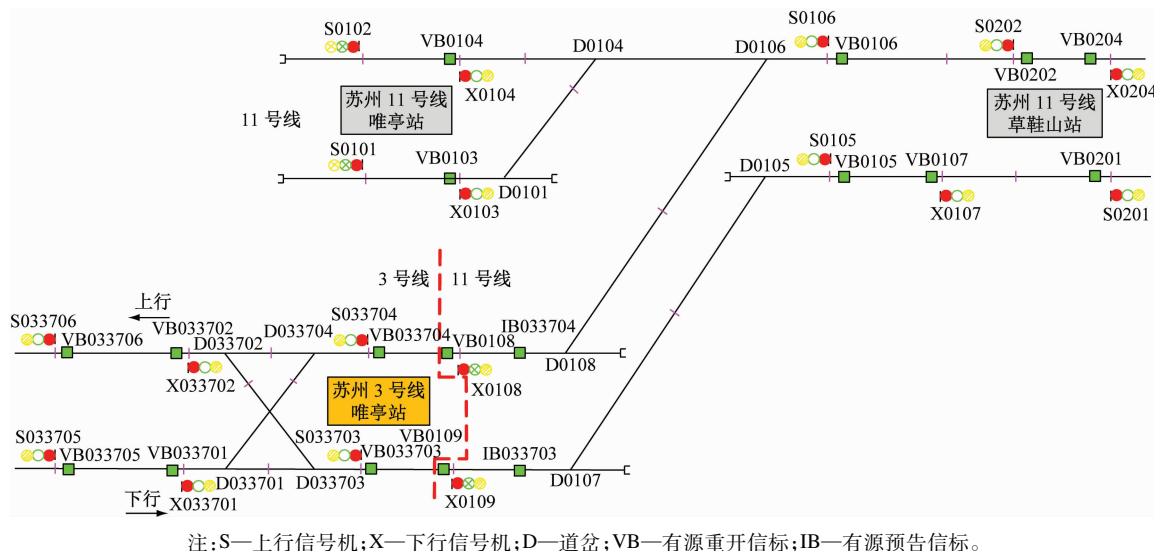


图 1 11 号线与 3 号线唯亭站信号系统边界划分图

Fig. 1 Weiting Station signaling system boundary division diagram between Line 11 and Line 3

1.2 控制中心接口方案

两线各自设置独立的控制中心和备用控制中心。基于运营组织管理的需要并考虑到远期延伸线路拆分运营的可能性,两线贯通后仍保留各自的 OCC(控制中心)和 BOCC(备用控制中心)。为了确保贯通线路既能管辖本线区域内的行车组织又能实现两线互联,两线的 OCC 和 BOCC 需要实现行车调度信息及计划信息的交互并各自独立控制所管辖范围内的所有列车运行。

为了实现这一国内首例“双控制中心”的技术方案,ATS(自动列车监控)在 3 号线唯亭站和 11 号线唯亭站各增加一套冗余跨线接口服务器,通过跨线接口服务器传递所需的跨线调度信息及计划信息,控制中心接口方案如图 2 所示。

跨线接口服务器配合车站 ATS 服务器将实现如下功能:

1) 两线分别管辖线路范围内的列车,在两条线的边界实现列车控制权限的交接,实现列车带计划跨线运行。

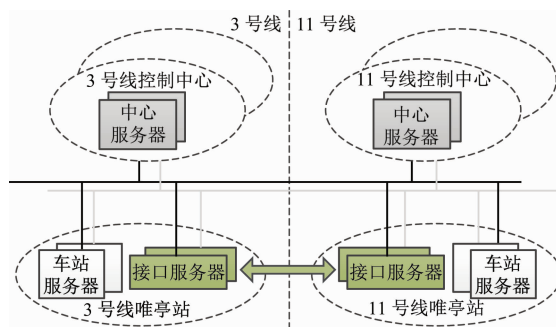


图 2 11 号线与 3 号线唯亭站控制中心接口方案

Fig. 2 Plan of Weiting Station control center interface for Line 11 and Line 3

2) 根据贯通运营计划统一编制 11 号线与 3 号线运行图,全局运行图由两线时刻表编辑工作站分别下发至各自线路侧,实现两线运营计划的统一。

3) 两线分别与各自线路侧的外部系统进行接口。

4) 实现两线共享列车运行计划类信息,并正确发送给对方线路。

5) 两线 ATS 分别将本方线路全自动运行联动

相关信息发送给对方线路。

1.3 车站精确停车信标

11 号线列车与原 3 号线列车车体结构不完全一致,跨线列车的信标天线安装位置较原 3 号线列车信标天线安装位置后移 1.4 m,因此跨线列车在 3 号线站台进站停车时无法读取原站台区域停车点精确停车信标,这将导致跨线列车停车误差较大而无法授权开门。为了解决这一问题,在 3 号线站台、存车线停车点各增加一个无源信标用于跨线列车精确停车,站台精确停车信标布置如图 3 所示。考虑到相邻信标间的信号场强干扰,新增无源信标与既有精确停车信标的中心距离为 1.9 m。

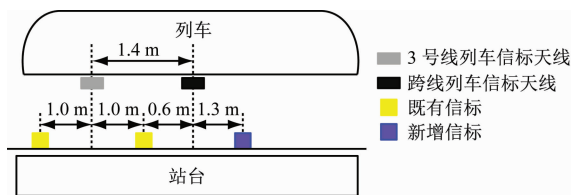


图 3 3 号线唯亭站站台精确停车信标布置示意图

Fig. 3 Layout diagram of Line 3 Weiting Station platform precise parking beacons

1.4 车地无线与骨干网贯通

11 号线轨旁车地无线采用 TD-LTE(时分长期演进)方案,3 号线轨旁车地无线采用 2.4 GHz WLAN(无线局域网)方案。两线贯通后跨线列车的无线设备需在两种车地无线模式间进行切换,为了避免切换过程中车地无线连接中断,须在 11 号线和 3 号线之间设置两种制式无线信号的重叠覆盖区域。

在 11 号线在 3 号线唯亭站站台附近增加一路 RRU(射频拉远单元),RRU 连接至 11 号线唯亭站 BBU(室内基带处理单元),并沿 3 号线区间敷设约 800 m 漏缆,确保两种制式无线信号存在约 800 m 的重叠覆盖区域。列车在重叠区域内可实现车地无线通信无缝切换。

为 11 号线和 3 号线配置各自独立的骨干网环网结构。为了保证两线骨干网数据的互联互通,在 11 号线和 3 号线唯亭站各增加 5 个子网的三层交换机(红网、蓝网、深灰、浅灰、绿网)。两线的三层交换机通过光缆互联并分别连接至各自线路侧的骨干网交换机,通过设置网关的方式实现两线各子网间的互联互通。

1.5 车载设备

由于跨线列车须在 TD-LTE 和 WLAN 双无线系统间进行无缝切换,因此采用 PRP(并行冗余协议)技术来实现两种不同无线制式的相互切换。轨旁 PRP 设备及无线路由器设置于 11 号线,3 号线的车地无线数据通过光缆传输至新设的轨旁无线路由器。

轨旁发送给车载的数据包经过轨旁 PRP 设备后,PRP 协议将数据包分别通过 WLAN 链路和 LTE 链路传输到对端 PRP 设备,对端 PRP 设备将两条无线链路中优先收到的一份数据包转发给车载终端。从车载到轨旁的数据包也以同样方式进行传输,到达轨旁 PRP 后仅转发先到的数据包并丢弃后到的数据包。由于 PRP 工作在二层数据链路层,而无线链路工作在三层,故轨旁 PRP 设备需通过路由器进行 IP 转换,PRP 方案结构如图 4 所示。

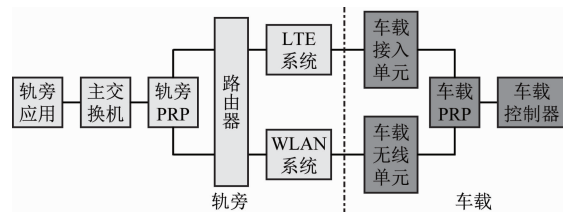


图 4 PRP 方案结构

Fig. 4 Structure of PRP scheme

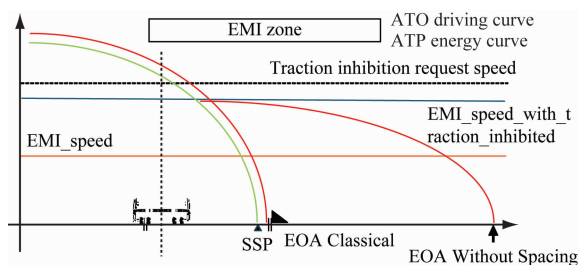
1.6 全自动场段改造

浒墅关车辆段和唯亭停车场均为非自动化场段。线路升级为 UTO 后,为了使场段具备自动休眠唤醒、自动出入库、自动洗车、自动化区域人员防护等功能,在浒墅关车辆段和唯亭停车场增加 SPKS(人员防护开关)、门禁接口、洗车机接口,并将自动化区域调车信号机改为列车兼调车信号机。

浒墅关车辆段和唯亭停车场的停车列检库第二列位的停车点至轨道末端的距离最近处仅有 3 m,无法满足自动化场段改造后列车以自动驾驶模式自动对标停车的距离要求。根据仿真计算,如果需要确保列车自动驾驶模式在第二列位停车点精确停准,则第二列位停车点至轨道末端的距离不得少于 15 m,但由于库内建筑条件限制导致轨道无法延长。为了解决这一问题,在轨道末端安装 5 km/h 可撞击的液压缓冲式车档,同时在允许列车 ATP(列车自动保护)失效情况下以不超过 5 km/h 速度撞击车档的前提下优化停车策略。

在全自动运行停车列检库区域内设置 EMI(能

量监控区),EMI 区域控制模型如图 5 所示。在能量监控区域内 CC(车载控制器)控制列车以低于能量监控区允许速度的速度更近地接近车挡或前方停止的列车。同时为了使能量监控区内列车 ATO 模式可用,在进入能量监控区域内时提前切除列车牵引,以使 CC 在控制列车停车过程中 ATO 系统无需考虑因牵引切除响应时间所累加的安全防护余量。



注:EMI—能量监控区;SSP—停车点;EOA—移动授权终点。

图 5 EMI 区域控制模型截图

Fig. 5 Screenshot of EMI zone control model

2 结语

作为国内首条由 GOA2(半自动化列车运行)升级为 GOA4(无人干预列车运行)的基于通信的城市轨道交通信号控制系统改造项目,面对项目工期短、仅可利用非运营时段施工作业等诸多困难,完成了国内首个“双 OCC”地铁项目的贯通运营,解决了车地无线通信 TD-LTE 与 WLAN 双方案互通、车载数据双线融合等技术难题,实现了 11 号线与 3 号线两线信号系统的全面兼容和无扰贯通。

参考文献

- [1] 陈绍文. 全自动运行系统 SPKS 设置方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2018, 27(11): 56.
CHEN Shaowen. SPKS implementation of full automation operation system[J]. Railway Computer Application, 2018, 27(11): 56.
- [2] 肖衍, 苏立勇. 全自动驾驶信号系统功能需求分析[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(12): 39.
XIAO Yan, SU Liyong. Functional requirements analysis of automatic driving signal system[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(12): 39.
- [3] 李景虎. 基于城市轨道交通无人驾驶技术的站台门系统与信号系统接口设计与测试[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 101.
- LI Jinghu. Design and testing of platform screen door system and signaling system interface based on urban rail transit FAO technology[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 101.
- [4] 王壮. 城市轨道交通信号系统车地无线冗余方案探索[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022(10): 56.
WANG Zhuang. Vehicle-ground wireless redundancy scheme of urban rail transit signal system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022(10): 56.
- [5] 丁青. 城市轨道交通信号系统车地多重无线冗余方案应用研究[J]. 科学技术创新, 2023(25): 112.
DING Qing. Research on the application of vehicle-ground wireless multiple redundancy scheme in urban rail transit signal system[J]. Scientific and Technological Innovation, 2023(25): 112.
- [6] 白艳琴. 八通信号系统改造工程设计关键点分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 89.
BAI Yanqin. Analysis on design scheme of transformation of signal system for Batong Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 89.
- [7] 贾萍, 刘德伟. 全自动运行系统联动场景及联动功能设计研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 18.
JIA Ping, LIU Dewei. Linkage scenario and linkage function design of fully automatic operation system[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 18.
- [8] 刘龙. 合肥轨道交通 4、6 号线信号系统拆分方案[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(9): 264.
LIU Long. Hefei Rail Transit Line 4 and Line 6 signaling system splitting plan[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(9): 264.
- [9] 李春宇. 既有城轨信号系统改造为 DTO 系统技术分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(10): 90.
LI Chunyu. Technical analysis of reconstruction from existing urban rail signal system into DTO system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 90.
- [10] 方必胜, 吕丰武, 施韧. 基于多列车能量优化的列车速度控制策略[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(11): 82.
FANG Bisheng, LYU Fengwu, SHI Ren. Train speed control strategy based on multi-train energy optimization[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(11): 82.

· 收稿日期:2024-08-12 修回日期:2024-09-20 出版日期:2024-12-10

Received:2024-08-12 Revised:2024-09-20 Published:2024-12-10

· 通信作者:刘冬冬,高级工程师,liudongdong@casco.com.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license