

无锡 S1 线与无锡 1 号线信号系统贯通运营方案

杨 威

卡斯柯信号有限公司 上海 200040

【摘要】目的：为实现无锡轨道交通 S1 线与 1 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 S1 线与 1 号线信号系统既有现状和技术差异；提出了基于不同无线通信制式、满足两线贯通运营需求的信号系统改造方案；根据 S1 线信号系统项目工程筹备计划，设计了信号系统贯通运营改造方案，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：通过对 1 号线信号系统进行适应性改造，实现了 S1 线列车跨线运行，车地无线通信无扰自动切换。S1 线列车可在 S1 线与 1 号线两线以 cbtc 驾驶模式贯通运行，提高了城市轨道交通运行效率，提升了乘客出行体验。

【关键词】城市轨道交通；信号系统；贯通运营

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.044

无锡轨道交通 1 号线是南北走向的骨干线路，无锡轨道交通 S1 线也呈南北走向，是无锡首条建设的市域轨道交通，连通江阴与无锡市区。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，全面提升江阴-无锡中心城区出行时效性，无锡轨道交通 S1 线与 1 号线采用贯通运营方式。本文重点研究两线贯通运营改造方案中的信号系统改造技术方案。

1 信号系统概况

1.1 1 号线信号系统

1 号线路全长 34.6 km, 地上高架段约 7.25 公里，地下段约 27.35 公里，共设 27 座车站，包括 22 座地下站和 5 座高架站，设控制中心、西漳车辆段、雪浪停车场各 1 座。信号系统采用卡斯柯信号有限公司提供的 CBTC（基于通信的列车控制）系统。本项目的列车控制等级为 GOA2（半自动列车运行）级，最高驾驶模式为 AM（自动驾驶模式）。信号系统车地无线传输采用基于 2.4 GHz 频带的 WLAN（无线局域网）无线通信制式，传输媒介采用波导管。

1.2 S1 线信号系统

S1 线线路全长约 30.4km，其中地下线 10.5km、高架线 19.7km，过渡段 0.2km。共设车站 9 座，其中地下站 5 座，高架站 4 座，设置越行线车站为一座，青阳站。设控制中心、花山车辆段各 1 座。信号系统采用卡斯柯信号有限公司提供的 CBTC（基于通信的列车控制）系统。本项目的列车控制等级为 GOA2（半自动列车运行）级，最高驾驶模式为 AM（自动驾驶模式）。信号系统车地无线传输采用 LTE（长期演进）无线通信综合承载传输制式，传输媒介采用漏泄电缆。

1.3 S1 线和 1 号线信号系统技术差异

(1)速度差异。S1 线时速为 120km, 1 号线时速为 80km。

(2)骨干网络架构差异。S1 线路采用基于以太网技术的环网组网方案，称为工业以太网方案；1 号线采用基于 SDH(同

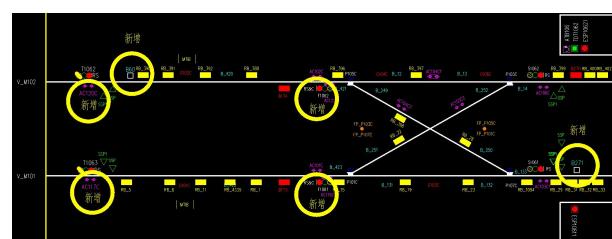
步数字体系) 的 DCS 组网架构。

(3) 车地无线传输制式差异。S1 线采用 LTE 无线通信传输方案，传输媒介采用漏泄电缆；1 号线采用 WLAN 无线通信制式，传输媒介采用波导管。

2 信号系统贯通改造方案

2.1 车站贯通方案

无锡 S1 线终点与无锡 1 号线起点设计在同一位置，1 号线堰桥站联锁区向 S1 线延伸 1KM，故需要对堰桥站进行改造。



(1) 电源屏改造

堰桥站既有电源屏容量不足满足改造情况，需要在电源屏新增 3 个变压器、6 个空开，为新增设备供电（UPS 厂家已确认 UPS 容量满足设备用量需求）。

电源屏改造后电源屏及 MSS 监测数据暂不升级，既有数据在电源屏新增空开断开后，电源屏及监测中无相关报警。动车测试时，选择两个施工点对电源屏及 MSS 数据进行升级和功能验证，测试完成后回退既有数据，在贯通升级时同步升级电源屏及 MSS 监测数据。

(2) 信号机

堰桥站新增 3 架信号机，调试过程中新增信号机 T1061、Z1601、Z1602 根据电路倒接表完成配线，断开既有信号机 Z1061、Z1062 组合空开，既有线信号机 Z1061、Z1062 室外灭灯；闭合新增信号机 T1061、Z1061、Z1062 组合柜空开，依据一致性调试文档对新增 3 架信号机进行室内外一致性测试；调

试完成后断开新增信号机配线，恢复既有信号机配线，贯通升级时正式接入新增信号机、拆除既有信号机。

(3) 计轴

堰桥站新增 6 处科安达计轴，其中 G101C、G102C 原先有泰雷兹系统控制，贯通后由科安达系统控制。改造过程采用 GJ 继电器新增配线方式实现，夜间调试时 GJ 配线至科安达计轴机柜，白天运营时恢复配线至泰雷兹计轴机柜。既有计轴泰雷兹系统与科安达系统切换后，区段 G101C、G102C 在泰雷兹计轴机柜显示受扰，ATS 界面显示正常。贯通升级时，将用泰雷兹新 CF 卡替换原有 CF 卡，确保泰雷兹计轴机柜显示正常。

(4) LEU

堰桥站新增有源信标 4 个，对应的 LEU 增加 2 个，新增 LEU 电源配线及采集配线不涉及既有位置改动，配线调试完成后可保留，切断 LEU 电源即可确保都不影响既有设备运营。

2.2 骨干网贯通方案

1 号线和 S1 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 1 号线西漳站和堰桥站各增加 2 个二层交换机（包含红网、蓝网、深灰、浅灰、绿网 5 个子网）。

考虑 S1 线路工期徐霞客站首先接入无锡 1 号线进行贯通测试，将徐霞客站红/蓝工业以太网节点同时接入西漳站和堰桥站 SDH 骨干网节点中，采用交换机中的 smart-link 协议连接西漳站和堰桥站的新增交换机，继而接入无锡 1 号线 SDH 节点中。保证当西漳站和堰桥站中一个节点出现故障后，徐霞客站仍能保持通信，同时这样也便于无锡 S1 号线建成后与无锡 1 号线的贯通运营，骨干网结构如图所示：

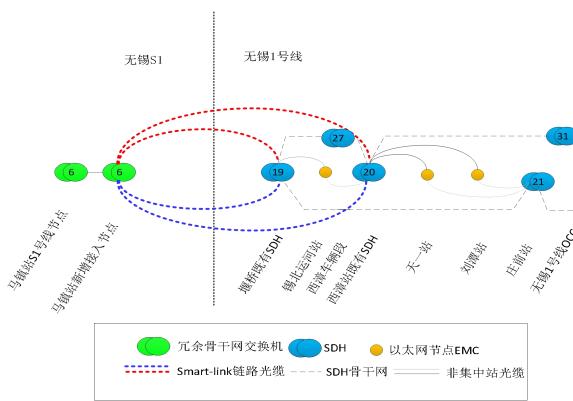


图 1 徐霞客站接入无锡 1 号线的信号骨干网光缆结构

图 2 是无锡 S1 号线建成后与无锡 1 号线实现贯通运营的骨干网结构图，考虑冗余连接的情况下，无锡 S1 号线信号红蓝骨干网的上下部分光缆分别由青阳站和徐霞客站接入无锡 S1 号线 OCC 中。其中蓝网光缆由青阳站（通过在徐霞客站进行跳接）接入堰桥站和西漳站新增蓝网交换机内，继而接入无

锡 1 号线 SDH 中；红网光缆由徐霞客站接入堰桥站和西漳站新增红网交换机内，继而接入无锡 1 号线 SDH 中。

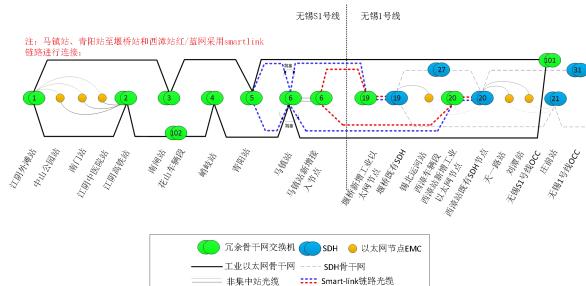


图 2 无锡 S1 号线和无锡 1 号线贯通运营的信号骨干网光缆结构

2.3 车地无线贯通方案

由于 S1 线列车跨线须在 TD-LTE 和 WLAN 双无线系统间进行无扰切换，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，为了避免切换过程中车地无线连接中断，须在 S1 线和 1 号线之间设置两种制式无线信号的重叠覆盖区域。徐霞客站台附近使用一路 RRU（射频拉远单元），RRU 连接至徐霞客站 BBU（室内基带处理单元），沿徐霞客-堰桥区间敷设约 1000 m 漏缆，同时在徐霞客-堰桥区间敷设波导管，确保两种制式无线信号存在约 1000 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扰切换。

轨旁发送给 S1 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 链路传输到车载 PRP 设备，车载 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 地址转换，PRP 方案结构如图 3 所示。

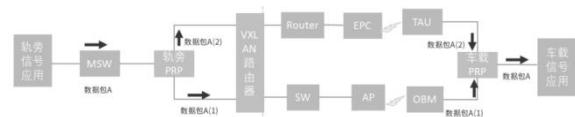


图 3 PRP 方案结构

贯通完成前，考虑 S1 线路工期徐霞客站首先接入无锡 1 号线进行贯通测试，在 S1 线控制中心未完成调试情况下，需使用 S1 列车与 1 号线控制中心进行调试。当前 S1 列车车地通信为 CC-轨旁 PRP-ModemL1 骨干网-S1 骨干网-轨旁 PRP-S1 主交换机-S1 骨干网-L1 骨干网-轨旁设备，需要临时调整为 CC-Modem-L1 主交换机-L1 骨干网-轨旁设备，这样可以让 S1 列车实现与 1 号线轨旁设备通信，解决了工期紧张和既有线无法回退验证的问题。

贯通完成后，S1 列车在 1 号线车地通信为 CC-车载

PRP-Modem-L1 骨干网-S1 骨干网-轨旁 PRP-S1 主交换机-S1 骨干网-L1 骨干网-轨旁设备，1 号线列车车地通信为 CC-Modem-L1 骨干网-S1 骨干网-S1 主交换机-S1 骨干网-L1 骨干网-轨旁设备，S1 列车与 1 号线列车均可在 1 号线范围内以 CBTC 模式运行。

2.4 ATS 子系统贯通方案

贯通后 1 号线控制中心及车站的 ATS 设备需进行升级进行软件数据修改，其中 1 号线 CATS 与数据库服务器需要升级为备用控制中心数据，1 号线网关服务器需要升级数据后断电做冷备处理。

2.5 车站精确停车方案

无锡 1 号线列车长 119.03m，无锡 S1 线列车长 119.62m，两者长度差异不大，信标天线安装位置也相同，因此 S1 线列车在 1 号线站台进站停车时可以读取原站台区域停车点精确停车信标，可以正常授权开门。

检查 1 号线出站信号机与 SSP（服务停车点）距离发现文华宫站上行出站信号机 S1272 与 S1 列车 SSP 距离不满足设计要求，现场勘察后将 S1272 信号机换边向小里程挪动 40cm，既满足出站信号机与 SSP 距离要求，也不影响此处隔断门打开关闭。

3 结语

作为全国首条市域线与地铁实现“五不同贯通”的运营线路，S1 线在不同时速、不同制式下实现了全线路、全时段无换乘贯通。信号系统改造面对项目工期短、仅可利用非运营时段施工作业等诸多困难，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 S1 线与 1 号线两线信号系统的全面兼容和无扰贯通。

无锡轨道交通 S1 线和 1 号线已实现贯通运营，取得了良好的经济和社会效益。本项目的改造设计方案可以应用于各城市轨道交通贯通运营改造建设项目中，可为后续类似贯通运营提供项目提供参考。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 储海平、孙克寒.上海轨道交通 13 号线北翟路停车场信号系统改造倒接方案[J].城市轨道交通研究,2024(11):103.
- [3] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通基于通信的列车运行——控制系统(CBTC)互联互通系统规范:第 1 部分系统总体要求:T/CAMET 04010.1—2018[S].北京:中国铁道出版社,2018:1.
- [4] 王壮.城市轨道交通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.