

双套车载设备外场测试线设计与实践研究

贾雨岩

广东深莞惠城际铁路运营有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要: 粤港澳大湾区轨道交通正向网络化、一体化运营发展, 实现 CTCS2+ATO 与 CBTC 两种信号制式线路互联互通已成工作重点。双套车载设备是列车跨制式安全运行的核心装备, 其功能与性能验证是工程落地的重要前提。针对正线调试周期短、安全风险高的难题, 本文结合深圳城际铁路项目, 秉持硬件最小化、功能最大化思路, 设计外场专用测试线。文中介绍了线路布局、系统架构、设备配置, 并开展设备静态检测、制式切换、多系统联动等核心试验。工程实践证明, 该方案可提前排查并化解系统集成隐患, 有效缓解正线调试压力, 为双套车载设备的规模化工程应用提供坚实的测试支撑。

关键词: 双套车载设备; 外场测试线; 跨制式互联互通

Design and Application Research on Field Test Line for Dual On-Board Equipment

Jia Yuyan

Guangdong Shen-Guan-Hui Intercity Railway Operations Co., Ltd., China Guangdong Shenzhen 518000

Abstract: Rail transit in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area is advancing towards networked and integrated operation. Realizing the interconnection of lines with CTCS2+ATO and CBTC signal systems has become a major priority. As the core equipment for safe train operation across different signal systems, dual on-board equipment must pass strict functional and performance verification before engineering deployment. In view of the short commissioning period and high safety risks on main lines, this paper designs a dedicated field test line following the principle of minimized hardware and maximized functions based on the Shenzhen intercity railway project. It presents the line layout, system architecture and equipment configuration, and carries out core tests covering static and dynamic inspection, signal system switching and multi-system linkage. Practical application verifies that this solution can detect and eliminate potential system integration risks in advance, greatly ease the commissioning pressure on main lines, and provide solid testing support for the large-scale application of dual on-board equipment.

Keywords: Dual on-board equipment; Field test line; Cross-system interoperability

0 引言

在都市圈轨道交通一体化和“四网融合”推动下, 城际、市域(郊)铁路与城市轨道交通之间开行跨线列车的需求越来越迫切。不过由于历史技术差异, 国内城际铁路大多采用基于轨道电路的 CTCS2+ATO, 城市轨道则普遍用基于通信的 CBTC, 两者在控车方式、设备构成、车地通信乃至接口协议上都有明显区别。为实现列车在不同制式线路间的无缝贯通运行, “双套车载设备”方案被广泛研究与采纳。列车同时搭载 CTCS2+ATO 和 CBTC 两套独立信号系统, 配合安全的控制权切换逻辑, 让车能在不同制式的线路上自适应跑通, 真正实现跨线贯通。

尽管双套系统方案在理论上可行, 但其工程应用复杂性极高, 涉及两套独立安全系统的并行运行、实时切换及与其他专业的多重接口联动, 任何缺陷或集成问题都可能引发正线运营中断或安全风险。传统信号系统测试高度依赖正线调试, 而大型城际铁路项目中留给信号系统的测试

时间窗口极其有限, 正线进行双套车载设备首次集成测试风险高、对工期压力大。因此, 构建独立的外场测试线成为验证双套车载设备的必然选择。本文以深圳都市圈城际铁路建设项目为工程背景, 深入探讨双套车载设备外场测试线的技术方案、测试内容与实施价值, 以期同类工程提供系统的设计与实践参考。

1 外场测试线总体设计

1.1 设计目标与原则

外场测试线的核心目标是: 在正线不具备条件时, 提前搭建真实、完整的系统环境, 对双套车载设备及其相关专业接口进行验证。其设计原则如下:

(1) 最小系统原则: 提取信号、车辆、综合监控、通信、站台门各专业核心及典型设备, 构成“硬件最小化、功能最大化”的测试平台。不追求与正线设备数量一致, 但须保证架构一致、接口真实、功能可测。

(2) 全覆盖原则: 覆盖 CBTC 和 CTCS2+ATO 两种

制式的主要功能测试,以及双制式切换、全自动运行联动等高级场景。

(3) 真实性原则:系统间接口分界、通信协议、控制逻辑与正线完全一致,确保测试结果能直接映射到正线应用。

(4) 高效性原则:集中布置各专业调试终端,便于测试人员协同观察与问题定位。

1.2 测试线平面布置

根据土建条件,测试线平面布置满足双制式分区测试需求:划分为 CBTC 区域和 CTCS2+ATO (简称 C2) 区域,两区交界处设置制式转换区,配置相应地面应答器组和无线网络切换逻辑。CBTC 区域按“2 站 1 区间”设计,长度约 1.9 公里;C2 区域同样按“2 站 1 区间”设计,长度约 1.1 公里。实体站台设置于 C2 区域内,按 4 编组列车长度设计。约 90 平方米的空间布置两套系统的核心设备及操作终端,实现各专业协同调试。

2 测试线系统架构与搭建方案

2.1 CBTC 全自动运行系统架构

CBTC 全自动运行系统主要包含五个核心专业及配套专业设备组成,从系统上看,主要分为车站设备,轨旁设备,车载设备部分等。通过专业内自建网络与通信系统的传输网络实现车辆至轨旁、车上至地面等信息的交互,满足全自动运行的需要。

测试线整体按照“硬件最小化,功能最大化”的最小系统思想,提取列车运行控制系统中信号等核心设备和典型设备作为最小系统的雏形,按照与正线一致的架构进行设计,对正线全自动运行系统场景联动功能进行测试,实现对信号系统、车辆系统、站台门系统等的多专业联调集成测试。

2.2 C2 系统架构

C2 系统主要包含车载子系统、列控子系统 TCC (含轨道电路及 LEU)、临时限速服务器 TSRS、联锁子系统、车站/中心 NITS。测试线针对 C2 的测试内容仅测试信号的功能,不考虑与其他外部系统的接口(车地无线通信通道除外)。

2.3 搭建方案

外场测试线在车辆厂搭建,由车辆厂提供设备房,各专业提供所需设备,由信号电源系统提供各系统设备供电。外场测试线不提供 UPS,当外电源断电后,设备立即掉电。各专业负责本专业系统的搭建及内部设备连接和连接线缆。系统间的接口按常规方案进行连接,系统间的接口分界与正线一致。为便于调试各终端显示结果相互确认,各专业的终端设于同一位置。

(1) 信号系统:

① CBTC 系统:包括 1 套冗余配置的计算机联锁(CBI)、区域控制器(ZC)、数据存储单元(DSU)、数据中心(DCS)、计轴设备及调度指挥系统。

② C2 系统:包括 1 套 C2 联锁、列控中心(TCC)、临时限速服务器(TSRS)、调度集中(CTC)站机、轨道电路及网络设备。

(2) 站台门系统:在实体站台布设真实站台门装置。

(3) 通信系统:含 LTE-M 及传输系统。

(4) 其他系统:包括综合监控(ISCS)、视频安防(CCTV)及乘客信息(PIS)系统。

3 双套车载设备核心测试内容

外场测试线以双套车载设备为主线,搭建了覆盖单制式基础功能至双制式复杂场景的完整测试框架。

3.1 单制式静态功能测试

在各自管辖范围内,逐项验证每套车载设备的基本性能。

(1) C2 系统测试项点:

静态测试:包含上电自检、软件数据配置核查、轮径值校准、双端通信检测、隔离模式确认。

动态测试:涉及部分监控(PS)及完全监控(FS)模式验证、BTM 天线性能、紧急制动触发、引导模式、溜逸防护、停车精度、自动驾驶(AM)模式、门控模式、原地/站后人工及自动折返等。

(2) CBTC 系统测试项点:

静态测试:ATP/ATO 设备自检、定位建立、与 ZC 完成注册。

动态测试:RM、CM、AM、FAM 等各驾驶模式下的控车性能、移动授权接收与更新、自动折返、跳停、扣车、临时限速、高精度停车等。

3.2 双制式切换功能测试

完成车辆基本制动能力验证和单制式基础测试,分区间不停车转换和站内停车转换两大类场景。

(1) 区间不停车转换:

场景 1:列车自 C2 线路出发向 CBTC 线路,在制式转换区内 C2 车载控车自动切换为 CBTC 车载控车,期间不停车。

①列车在 Z1G 上启动,C2 车载完成自检,自动完成网络连接,司机人工操作制动测试。

②CBTC 车载完成启动自检。

③启动并注册完成后司机驾驶列车以 C2 制式(PS 模式)向前运行,当驾驶台 ATO 按钮指示灯闪烁,司机按压后转为 AM 模式,在站台 1 不停车越过出站信号机 X1,

在区间 DMI 提示切换为 C2 制式后,司机确认完成不停车切换为 CBTC 制式,并运行到站台 2 上停车^[1]。

场景 2:列车自 CBTC 线路出发向 C2 线路,在制式转换区内 CBTC 车载控车自动切换为 C2 车载控车,期间不停车。

①列车在 IG2 上启动, CBTC 车载完成自检流程。

② C2 车载完成自检,自动完成网络连接,司机人工操作制动测试。

③司机驾驶列车以 RM 模式离开 IG2,当列车获得定位并升级为 CM,具备条件后 ATO 按钮点亮,司机按压后升级为 AM 模式继续向前运行并不停车越过站台 2 的出站信号机 S1,在区间 DMI 提示切换为 C2 制式后,司机确认完成不停车切换为 C2 制式,并运行到站台 1 上停车。

(2) 站内停车转换:

场景 3:列车从 C2 线路始发,驶向 CBTC 线路方向,到站停车后完成制式切换。

①列车于 Z1G 发车, C2 车载设备执行上电自检。

② CBTC 车载设备同步完成启动自检,网络自动接入,司机手动执行制动试验。

③自检与注册均完成后,司机以 C2 制式(PS 模式)驾驶列车前行,待驾驶台 ATO 按钮指示灯闪烁时按下,列车转入 AM 模式,进入站台 1 停稳并完成开关门。此时 DMI 弹出制式切换提示,司机确认后将控车权交给 CBTC 系统,随后以 CBTC 制式出站运行至站台 2 停车。

场景 4:列车从 CBTC 线路始发,驶向 CTCS-2 线路方向,到站停车后完成制式切换。

①列车于 IG2 发车, CBTC 车载设备完成自检流程。

② C2 车载设备完成上电自检,网络自动建立,司机手动操作制动试验。

③司机以 RM 模式驶离 IG2,待列车成功定位并升级至 CM 模式后,ATO 按钮点亮,司机按下后列车进入 AM 模式继续运行。列车在站台 2 停稳并完成开关门,DMI 提示司机进行制式切换,司机确认后转至 C2 制式控车,随后以 C2 制式出站运行至站台 1 停车。

3.3 测试验证要点

(1) 切换安全性:制式切换只能在满足预设安全条件时才允许触发并执行。

(2) 控制权平稳过渡:切换时刻列车不得出现意外制动或冲击。

(3) 人机交互(DMI)可靠性:预告、提示、确认及结果反馈等各环节信息须做到及时、清晰、无误。

(4) 故障导向安全:人为模拟切换异常时,系统应能安全停车并维持原有控车制式不变^[2]。

4 外场测试线优势与价值分析

相比传统调试方式,双套车载设备外场测试线展现出明显优势:

(1) 风险前置,隐患早现:把复杂的系统联调从正线高压调试阶段挪到独立可控的专用场地提前开展,设备兼容性、接口协议、软件逻辑等深层问题能在早期被发现,留出充裕时间整改。

(2) 多线并行,工期压缩:测试线调试可与正线土建、铺轨等施工同步推进,不挤占关键路径,有效缩短信号系统整体调试周期。

(3) 效率提升,降低压力:外场已充分验证过的功能,到正线阶段只需做确认性测试,大幅削减了正线调试的工作量与复杂程度,安全性与效率均得到提升。

(4) 培养团队,积累经验:为设计、施工、运营维护人员提供了一个绝佳的培训平台。团队可以在测试线上熟悉双套系统的操作、维护和故障处理流程,积累第一手经验,为后续正线运营储备技术力量。

(5) 优化设计,完善标准:测试过程中的问题和经验,可反馈到系统设计、接口规范和技术标准中,使其更加完善和可靠。

5 结语

本文研究表明,通过构建架构完整、接口真实的最小系统测试环境,能够高效完成双套车载设备的多专业联动验证。实践证明,专用外场测试线是保障复杂信号系统顺利落地的关键平台,不仅实现了技术风险前移与工期优化,还兼具人才培养功能,综合效益显著。该建设理念对解决不同厂商设备互联互通及市域铁路与地铁贯通等跨制式运营问题具有重要借鉴意义。未来,结合数字孪生技术与云平台智能运维,构建“物理测试线+数字孪生平台”混合验证体系,可进一步扩大测试场景覆盖范围,推动测试线向智能化、虚拟化方向发展^[3]。

参考文献:

[1] 全宇宏,张敏慧.市域铁路 CTCS-2 与 CBTC 列控系统切换方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(1):61-66,94.

[2] 陈恒宇,杜萌.深圳都市圈城际铁路跨线运营列控系统适配分析[J].铁道运输与经济,2023,45(7):91-96.

[3] 李亮,史宁娟,孙旺.CBTC 和 CTCS 系统差异性分析及兼容性方案探讨[C]/第十四届中国智能交通年会论文集.北京:中国智能交通协会,2019:14.

作者简介:贾雨岩(1988.08.17),男,汉族,广东省深圳市,本科,广东深莞惠城际铁路运营有限公司,工程师,研究方向:铁路信号。