

上海轨道交通 15 号线工程综合联调方案优化研究

范颖慧

(上海申通地铁建设集团有限公司, 200063, 上海//高级工程师)

摘要 目前国内城市轨道交通线路建设单位所采用的综合联调方案主要适用于有人驾驶线路, 针对 FAO(全自动运行)线路的综合联调方案尚无成熟案例。基于上海轨道交通 15 号线工程, 重点研究了 FAO 线路综合联调的关键技术, 主要包括: 以运营场景及功能分配为导向的综合联调技术路线, 自下而上与自上而下相结合的联调验证方法, 以及综合联调的信息化、精细化管理等。总结了上海轨道交通 15 号线综合联调在以调促建、三检两调、两站一检等方面的管理创新, 研发了适用于 FAO 线路综合联调的信息化管理平台, 可为在建 FAO 线路以 GoA4(无人干预列车运行)全功能一次性开通提供参考。

关键词 城市轨道交通; 全自动运行线路; 综合联调; 运营场景

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.022

Optimization of Integrated Joint Commissioning Scheme for Shanghai Rail Transit Line 15 Project

FAN Yinghui

Abstract At present, the integrated joint commissioning (hereinafter referred to as IJC) scheme adopted by urban rail transit constructors in China is mainly applicable to manned driving lines, and there is no mature IJC case for FAO (fully automatic operation) lines. Based on Shanghai rail transit Line 15 project, the key IJC technologies for FAO lines are emphatically studied, including: the operation scenarios and function allocation oriented IJC technical route, the united verification method combining bottom-up and top-down strategies, as well as the information and refined IJC management plan. Through summarizing the management innovation of Shanghai rail transit Line 15 IJC scheme in terms of 'promoting construction by commissioning', 'three inspections + two adjustments' and 'two stations and one inspection', an information management platform suitable for FAO line IJC scheme is developed, providing a reference for the one time launching of FAO lines under construction with full function of GoA4 (unattended train operation).

Key words urban rail transit; FAO line; integrated joint commissioning; operation scenario

Author's address Shanghai Shentong Metro Construction Group Co., Ltd., 200063, Shanghai, China

近年来,随着城市轨道交通建设的蓬勃发展,国内较多城市开始应用 FAO(全自动运行)技术。为了确保 FAO 线路开通后的运营效率和安全,一方面需要落实更多的安全保障措施,另一方面还需根据 FAO 场景进行综合联调验证。本文结合采用 FAO 技术的上海轨道交通 15 号线(以下简称“15 号线”)工程,从技术路线、工作方法、管理手段等方面提出了 FAO 线路综合联调的优化方案。

1 项目概况

15 号线全长 42.3 km, 设 30 座车站(均为地下站), 列车采用 6 节编组 A 型车。15 号线是国内首条全线以 GoA4(无人干预列车运行)全功能一次性开通的 FAO 线路。该线的建设单位通过创新技术路线、研发管理工具等措施, 克服了工期紧、任务重、难度高的三重压力, 于 2020-06-01 至 2020-12-05 围绕车辆、信号、供电、通信、综合监控及车站机电设备等专业开展并完成了综合联调的全部工作。此次综合联调的验证结果为: 机电系统设备功能均符合设计要求, 可满足初期运营前安全评估条件。

2 建立高效的综合联调组织架构

如图 1 所示, 15 号线综合联调采用了精简、高效的两级组织机构: 总体协调组和设备专业小组。其中: 总体协调组由项目公司及联调单位主要负责人组成, 主要通过周例会把控工程进度, 协调调试资源及解决联调难题; 设备专业小组由相关实施单位、见证单位及联调组织单位的技术人员组成, 主要扎根于现场一线, 负责各专业综合联调项目的实

施、整改消缺及总结评估。

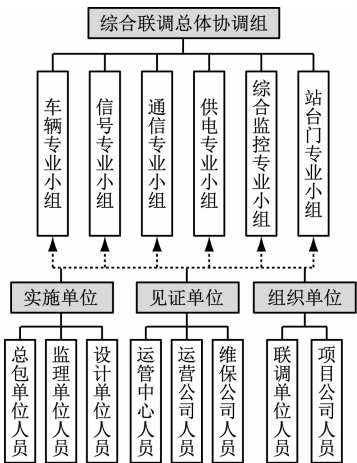


图 1 15 号线综合联调组织架构示意图

Fig. 1 Diagram of Line 15 integrated joint commissioning organization structure

如图 1 所示,综合联调组织机构将各机电专业单位、各标段装修与安装单位,以及运营单位、维保单位等有效串联起来,形成了一个紧密的整体。在综合联调实施过程中,该机构以保障工程节点为首要目标,以解决现场难题为导向,以奖惩考核机制为抓手,依托联调的信息化平台,从管理的精细化、信息化等方面进一步提升综合联调的整体工作水平,以保证 FAO 线路的功能要求及运营需求得以全部实现。

1) 本次联调在机电系统安装阶段就提前介入,以综合监控为核心开展了综合监控施工图纸与车站风、水、电施工图纸一致性核查工作,以确保各机

电系统之间接口功能的真正落地。此外,本次联调还将以往线路在联调阶段出现的常见问题提前至机电安装阶段解决,这样既可以有效缩短综合联调工期,也可以避免工程后期产生大量的设计变更。

2) 在综合联调组织机构的管理下,把机电系统的到货、安装、单调、联调及验收等一系列工序,以及与外部专业的接口全部衔接起来,发现问题及时协调解决。此外,对各工序间的衔接问题进行了合理安排,打通了各工序的进度制约点,大大推进了工程进度。

3) 本次联调通过信息化平台,实践了综合联调的信息化管理及精细化管理,进一步提升了综合联调的整体工作水平,确保在整个综合联调过程中做到不遗漏任何一个点位、不放过任何一个问题。

3 FAO 线路综合联调技术路线及工作方法

3.1 技术路线

15 号线的综合联调开创了 FAO 线路综合联调的先河。传统的非 FAO 线路的综合联调一般以标准、规范作为依据确定调试项目,而 FAO 线路综合联调则基于运营场景,分解出各个场景所包含的关键单系统功能、多系统联动功能及所要实现的系统设计能力,并以此作为调试项目进行验证,其目的是将 FAO 线路的建设与运营无缝衔接起来,确保在建设阶段即可实现运营场景所需的全部功能。

表 1 以一扇/多扇站台门故障场景为例,对 FAO 线路综合联调时各专业的功能调试进行了分解。

表 1 FAO 线路一扇/多扇站台门故障场景下对各设备专业的功能调试
Tab.1 Functional commissioning of each equipment discipline under the scenario of FAO line one/more platform doors failure

专业/系统	功能描述
信号	向列车发送故障站台门的信息,实现列车对位隔离
站台门	向信号系统上传故障站台门信息,以实现列车车门与故障站台门的对位隔离;向综合监控系统上传故障站台门信息
列车	执行车门和故障站台门对位隔离,不开启故障站台门对应的车门;向车内乘客发出故障站台门对位隔离相关信息;支持执行远程人工广播
通信	车站 PA(公共广播)系统播放故障站台门的安全提示;车站 PIS(乘客信息系统)显示故障站台门提示信息;对列车和车站进行人工广播
综合监控	显示站台门故障报警信息;调看故障设备区域的 CCTV(闭路电视)视频图像;向车站和车载 PIS 下发乘客服务信息

本工程依据交办运[2019]17 号《城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范》,以及上海申通地铁集团有限公司制定的企业标准及管理文件《上海轨道交通建设机电系统联调联试管理规定》《上海

轨道交通全自动运行运营场景及功能分配》《上海轨道交通全自动运行线路运营评估补充技术条件》等规定,开展综合联调工作。综合联调的工作内容包含初期运营前安全评估相关测试 34 项、全自动运

行功能相关测试 28 项(见表 2)、机电系统综合联调 89 项、试运行前行车相关综合联调 15 项。

表 2 15 号线全自动运行功能相关测试项目

Tab.2 Test subjects related to Line 15 FAO functions

序号	项目名称	序号	项目名称
1	列车唤醒(含综合自检)功能测试	15	FAM 模式指示灯功能测试
2	列车蠕动模式功能测试	16	信号授权释放逃生门功能测试
3	列车站台自动发车功能测试	17	站台再次开关门功能测试
4	列车自动开关门功能测试	18	列车与中心联动功能测试
5	列车自动折返功能测试	19	OCC 远程广播及乘客信息发布功能测试
6	列车在终点站自动清客功能测试	20	乘客紧急对讲功能测试
7	列车工况模式自动转换功能测试	21	列车障碍物检测功能测试
8	列车工况模式人工设置功能测试	22	远程限制模式驾驶列车功能测试
9	列车自动出入库功能测试	23	OCC 远程停车功能测试
10	列车休眠功能测试	24	工作人员防护开关功能测试
11	列车远程在线检测功能测试	25	列车重要远程控制功能测试
12	车门/站台门故障对位隔离功能测试	26	车载控制器远程重启功能测试
13	列车紧急制动自动缓解功能测试	27	列车重大故障下自动扣车功能测试
14	列车自动洗车功能测试	28	计轴自动确认有效功能测试

注:OCC——运营控制中心。

3.2 工作方法

本次联调首先以车站、电客车为单位,开展自下而上的联调,以确保各车站、各电客车实现站内、车内机电系统间的相互协调运转;然后,将完成了自下而上调试的车站、电客车串联起来,从 OCC 开展自上而下的联调,以实现 FAO 线路各机电系统间的协调运转。其工作方法如图 2 所示。

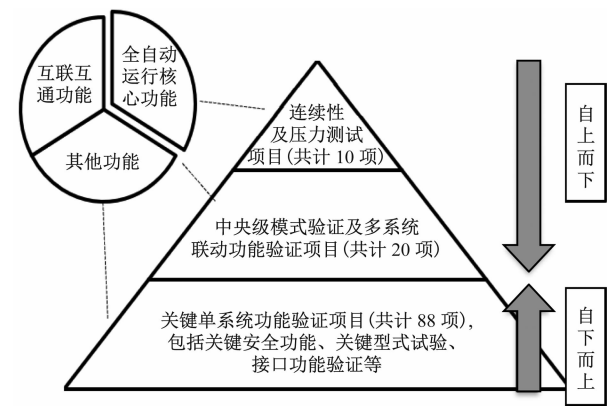


图 2 15 号线综合联调工作方法示意图

Fig.2 Diagram of working process for Line 15 integrated joint commissioning

1) 首先自下而上验证,即以单个车站、单列电客车为单位,验证站内/车内相关机电系统的关键单系统功能(如列车的超速保护功能、信号系统的安全防护功能、通信系统的无线通信功能等),以及

专业间的接口功能(如信号与车辆的休眠/唤醒接口,综合监控与车站风、水、电等设备的接口等)。

2) 其次自上而下验证,即以 OCC 为核心,验证多系统的联动功能(如电客车在区间阻塞、火灾工况下的多系统联动等),以及中央级模式下发功能(如信号系统的降级模式等)。

3) 最后开展连续性测试及压力测试,即在车站、电客车及 OCC 均完成联调的基础上,按照线路开通后初期运营计划开展满图运行。与此同时,车站各类负荷也全面开启,以验证各机电系统的能力是否达到系统设计的要求(如信号系统中线路的折返能力、追踪能力及出入库能力,环控系统的排烟能力,供电系统的牵引供电能力等)。

4 FAO 线路综合联调的管理创新

4.1 以调促建

综合联调是城市轨道交通线路机电系统建设中非常重要的收尾环节,但联调过程中经常会发生因前道工序滞后对后面工序产生影响的情况。在本工程综合联调过程中,提出了“以调促建”的管理理念,即在机电系统的设计、安装、上电、单调、接口调试、联调及试运行等建设全过程中,通过单系统调试和综合联调,促进机电系统设备供货安装、单体调试、接口调试等各项工序的进度,以时间轴、重

大机电建设里程碑节点双轴驱动,确保本工程如期建成并投入试运营。

4.2 三检两调

“三检两调”是对与行车相关的核心系统进行联调工作的简称,其成败将直接影响整个机电系统功能调试的顺利实施及如期交付。

1) “三检”的具体工作内容包括:①在单系统调试阶段,以完成联锁一致性检查及取得相应的联锁安全证书为目标,开展联锁一致性的检查工作;②在单车调试阶段,以完成交办运[2019]17号相关要求及取得单车上线安全认证证书为目标,开展与单车联调相关的联调项目前置条件的检查工作;③在多车调试阶段,以完成交办运[2019]17号相关要求及取得多车上线安全认证证书为目标,开展与多车联调相关的联调项目前置条件的检查工作。

2) “两调”的具体工作内容包括:①在单车调试阶段,开展与交办运[2019]17号要求相关的单车联调,采用全测或抽测的方式,开展与行车相关的单系统功能验证及测试工作;②在多车调试阶段,开展与交办运[2019]17号要求相关的多车联调,对接口联调进行提前确认与验证,采用全测或抽测的方式开展与行车相关的多系统联调。

4.3 两站一检

“两站一检”是对与车站运行相关的关键系统进行联调工作的简称,其成败将直接影响车站的消

防验收、如期交付及开通运营。

1) “两站”的具体工作内容包括:选取2个样板站,以综合监控系统为核心,根据供电、通信、车站机电设备的先后工序开展联调,最终形成适用于上海城市轨道交通FAO线路车站运行相关系统联调的工作方法。在此基础上,磨合各参建单位间的协同关系,提前发现一些共性问题并制定相应解决措施,以提高后续车站联调的质量与进度。

2) “一检”的具体工作内容为:以消防检测、消防验收为主线,优先开展消防相关的联调,以确保顺利通过消防验收(消防验收证书往往是线路初期运营安全评估的关键制约点)。

4.4 信息化管理平台在综合联调中的应用

由于FAO线路综合联调的数据统计工作量十分庞大,本工程联调时研发了适用于FAO线路综合联调的信息化管理平台,如图3所示。其架构主要包括用户界面层、业务应用层、系统服务层及基础数据层等4个层次。其中:用户界面层支持智能手机、电脑等设备进行访问;业务应用层包含了信息化管理平台所有的应用模块,可提供基础数据维护及统计报表的发布界面;系统服务层包含了账户与权限、模块插件管理、对外接口、消息邮件等管理模块;基础数据层将所有的用户数据、基础数据、业务数据、文件数据统一存储在平台数据库之中。

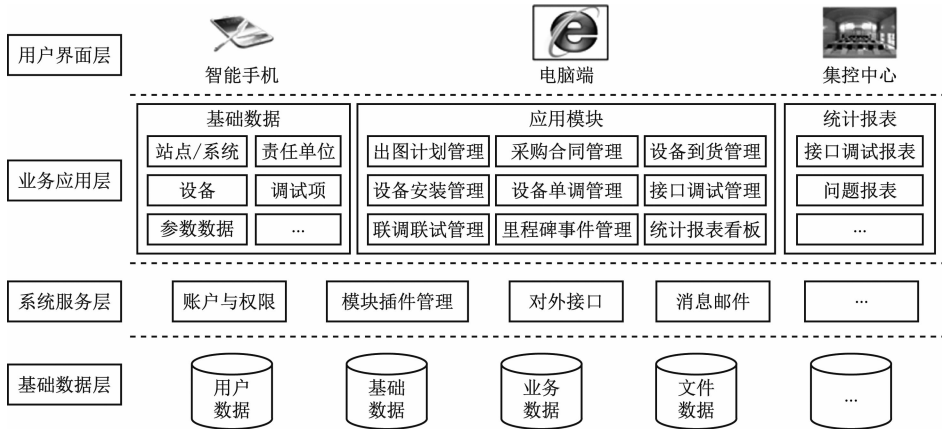


图3 FAO线路综合联调信息化管理平台架构示意图

Fig. 3 Diagram of information management platform architecture for FAO Line integrated joint commissioning

该信息化管理平台共包含9大功能模块：

1) 出图计划管理:按照工程进度要求管理出图计划,对各类施工图纸院内三审、设计总体审核、审图公司强审、出图晒图计划等进行跟踪管理。

2) 采购合同管理:根据业主要求,跟踪建设工程采购阶段甲控设备、乙供设备、甲供设备、甲控乙供设备等各类设备采购合同的签订计划日期、完成日期及完成情况。如有采购合同进度滞后,该平台

将提供信息预警。

3) 设备到货管理:按照设备采购合同,对设备到货计划进行管理。

4) 设备安装管理:对已进场的设备,由施工单位根据实际情况制定设备的安装计划。根据计划安排人员进行安装,并在信息化管理平台中记录设备安装的结果。

5) 设备单系统调试管理:对已完成安装的设备的单机调试过程进行管理。由调试负责单位根据实际情况制定单系统调试计划。根据计划安排人员对设备进行单系统调试,并在信息化管理平台中记录单系统调试结果及设备安装过程中发现的问题。

6) 接口调试管理:将设备接口调试过程中发现的问题记录在问题库中,在后续设备的运行维护中出现问题时可为知识库提供参考。

7) 联调联试管理:对联调测试的过程进行管理,生成联调计划,记录每个调试项调试结果(合格或不合格),并对联调过程中发现的问题进行记录。

8) 里程碑事件管理:针对业主关注的里程碑事件(如证照办理、冷滑热滑、消防验收、三权移交、专家评审等)的前置条件进行跟踪,确定责任单位和责任人,制定时间计划并予以重点跟踪。

9) 统计报表看板:针对设备的采购、到货、安装,以及设备的单系统调试、接口调试、联调联试等工作,可按站点、按专业系统、按单位自动生成各类实时统计图表。

5 结语

综合联调是城市轨道交通线路建设过程中“聚沙成塔”的重要环节。通过精心组织与管理,综合

联调使城市轨道交通线路的设备与设备、人与设备、人与人在开通前达到协调运转,为线路的试运行、初期运营打下坚实的基础。对于城市轨道交通 FAO 线路综合联调而言,不仅需要遵循国家、行业及企业制定的常规城市轨道交通线路综合联调的相关标准,更应以项目的运营需求为导向,从精细化、信息化的角度,进一步强化综合联调的集成管理作用,以确保所建的城市轨道交通线路一次性以 GoA4 标准开通。

本文通过对上海轨道交通 15 号线工程综合联调进行经验总结,提出城市轨道交通 FAO 线路建设一次性实现 FAO 功能综合联调的解决方案,以期业内 FAO 线路的建设与调试起到一定的借鉴和示范作用,并为制定行业相关的标准提供参考。

参考文献

- [1] 傅康平,田俊,李江莉.城市轨道交通 UTO 机电系统综合联调方案与实践[J].现代城市轨道交通,2021(11):26.
FU Kangping, TIAN Jun, LI Jiangli. Scheme and practice of integrated joint commissioning of UTO electromechanical system of urban rail transit[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(11):26.
- [2] 别碧勇.中低速磁浮通信信号系统综合联调方案探讨[J].铁道通信信号,2021(3):22.
BIE Biyong. Discussion on the integrated joint commissioning scheme of medium and low speed maglev communication and signaling system[J]. Railway Signalling & Communication, 2021(3):22.
- [3] 施亦进.城市轨道交通综合联调工作要点[J].城市轨道交通研究,2017(6):145.
SHI Yijin. Key points in comprehensive adjustment of urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2017(6):145.

(收稿日期:2022-03-14)

(上接第 97 页)

- LI Zhiming, DENG Jianfang. Simulation research for subway train positioning based on 5G base station[J]. Electronic Test, 2020(20):47.
- [2] 庄凌凡,刘留,张嘉驰,等.基于 5G 蜂窝网络的城市列车高精度定位探讨[J].导航定位学报,2020(5):1.
ZHUANG Lingfan, LIU Liu, ZHANG Jiachi, et al. High precision positioning of urban train based on 5G cellular network[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2020(5):1.
- [3] 陶伟. 5G 通信网络承载 CBTC 系统业务的方案研究及现场测试[J].城市轨道交通研究,2021(8):150.
TAO Wei. Scheme research and field test of 5G communication network bearing CBTC system service[J]. Urban Mass Transit,

2021(8):150.

- [4] 王培东.5G 网络的地铁车地无线综合业务承载研究[J].铁道运营技术,2021(2):49.
WANG Peidong. Research on the bearing of metro train ground wireless integrated service based on 5G network[J]. Railway Operation Technology, 2021(2):49.
- [5] 戴克平,张艳兵,朱力,等.基于 LTE 的城市轨道交通车地通信综合承载系统[J].都市快轨交通,2016(1):69.
DAI Keping, ZHANG Yanbing, ZHU Li, et al. An integrated LTE-based urban rail train ground communication system[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016(1):69.

(收稿日期:2022-03-14)