

城市轨道交通全自动运行联调联试的探索与研究

蒋国韬

重庆市铁路集团(有限)公司, 重庆, 400000;

摘要: 在5G、北斗、人工智能等先进技术的迅猛发展下, 为城市轨道交通的发展带来了更大的技术支持, 在实现降本增效目标的同时, 也促进了城市轨道交通自动化的发展进程。有鉴于此, 本文主要以城轨为切入点, 围绕联调联试的流程和重点, 以全自动运行联调联试为重点, 即全自动运行联调联试方案的深入探索, 以促进城轨全自动化运行联调联试工作上台阶。

关键词: 城市轨道交通; 全自动运行; 联调联试

DOI: 10.69979/3029-2727.24.07.005

引言

城市轨道交通在新的时代条件下逐渐成为城市公共交通体系中的重要组成部分, 不仅可以减少城市交通拥堵问题, 促进城市经济发展, 优化城市空间布局。全自动运行技术随着城市轨道交通技术的进步和经营单元需求的不断提高, 在列车从唤醒、出库、运行、回库等各个环节实现自动控制, 从而提高运行效率和服务质量的同时, 也使整个城市轨道交通的列车自动运行得到了广泛的应用。但是, 全自动运行系统的复杂性、集成性特点显著, 对联调联试要求较高。因此, 为促进城市轨道交通健康发展, 相关人员应该深入探索和研究全自动运行联调联试。

1 全自动概述

全自动系统(Automatic Operation System)是在现代计算机、通信、信号控制和系统集成等技术的基础上, 涉及车辆、通信、站台门、信号、综合监控、车辆基地等多专业, 各专业之间相互紧密联系, 实现列车运行全过程自动化的系统全自动运行。全自动运行(GO/A4等级)为标准要求, 车辆不再设置常规独立、封闭的司机室, 仅在列车两端部设置简易司机操纵台, 用于司机临时操作。以便临时性驾驶员进行临时性作业。

目前国内已全部投入载客运营线路的, 如图1所示, 是国内第一条采用自主全自动运营技术的地铁线路。如图2所示的全自动运行系统。



图1 轨道交通

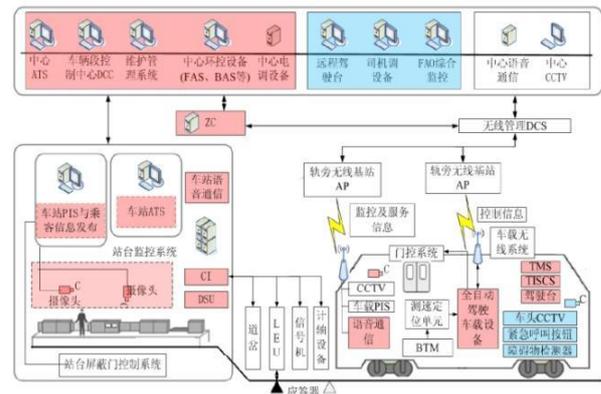


图2 全自动运行系统

2 全自动运行系统功能需求分析

(1) 采取常规轨道交通模式运营, 乘客在站台候车。结合客运当前市场发展, 客流规模存在动态变化加剧的现实可能, 需要具有灵活的运输组织方式。乘客出行以全线走行时间和发车间隔为关注点, 更需关注下

一班列车何时到达。

(2) 全自动运行一般要求信号系统的自动化实现程度要较高,其具体影响行车因素的有行车过程安全、系统稳定、可靠性、运行过程效率比较高等这几个基本方面:自动运行是要求信号系统的安全自动化的程度相对较高。全自动行车系统也可用来达到相对较高的运行技术等级,列车正线(含车辆段/停车场)实行自动化运行时,根据运营公司时刻表执行自动列车唤醒、休眠、自动列车折返、自动列车停站、自动启动、自动列车运

行控制的车门开关动作和站台门,并会根据车站客流与运行需要,自动控制系统对车辆速度进行适当加减速,车辆也自动的投入运转和自动退出运行。实现了运行控制最佳,运行节能环保高效的目标。

全自动系统功能需求如表2所示。因此以下几个功能是全自动系统设备的联调联试的几个重难点。其他常规调试参照各设备系统安装、调试及单设备系统安装调试工作组织。

表2 全自动系统功能需求

序号	功能需求	功能描述
1	车辆段/停车场自动化运行	(1)段/场设置自动化运行区,将洗车库、周、月检库、停车列检库布置在自动运行区。 (2)段/场信号纳入正线 CBTC 要实现车辆段/停车场的自动运行。 (3)支持段/场车库门的自动化运行。 (4)支持自动洗车作业,洗车库设于停车场自动运行区。
2	列车自动折返 自动换端	电客车自动运行列车应根据移动授权的方向,自动确定运行方向,并自动激活/关闭相应的驾驶端,实现驾驶端的自动转换。驾驶端转换时不能引起任何 ATO 数据的中断,如列车门的状态/控制数据,停站时间,列车的状态等。
3	列车根据时刻表自动发车	全自动运行时信号系统根据运营时刻表自动触发列车运行。
4	列车车门的控制	自动驾驶列车根据停站时间自动控制车门的开闭,列车/站台车门控制根据运营业务要求,对某一列车/站台设置车门控制命令,如保持关闭、允许开左右侧门等。选择性开关门,站台人员可通过站台中部选择性开关门按钮对单侧所有车门与站台门执行一次全部关闭操作。
5	新增驾驶模式	全自动运行下列车驾驶模式分为以下几种: (1)全自动运行模式——FAM 模式; (2)蠕动模式——CAM 模式; (3)列车自动驾驶模式——AM 模式; (4)列车自动防护下的人工驾驶模式——CM 模式; (5)限制人工驾驶模式——RM 模式; (6)非限制人工驾驶模式——EUM 模式。
6	列车的唤醒与休眠	信号系统自动根据运营时刻表发出的唤醒指令给车载信号系统唤醒休眠模块用于启动处于休眠状态在存车线上的或是停车列检库内的列车。车辆进行自检、静态和动态相关测试;自动运行的车辆退出运营回到车辆段/停车场或正线存车线上。
7	空车探测	需要运营服务完成后,如果列车自动回到侧线/车辆段/场,没有操作人员进行目视检查,需要自动探测列车是否空车。空车探测目前有四种方法: (1)车载 CCTV,中心调度员查看空车情况。 (2)车载 CCTV 利用图像处理技术自动判断车辆空车的情况。 (3)车站值班员上车检查,通过无线数字集群移动台通知行调。 (4)站台站务人员通过按压站台的关门按钮触发给控制中心的行车调度的空车指示。
8	列车工况管理	车辆正线进入运营段工作区域和在停车场区内等待车辆正线移动工作前,应首先设定好车辆情况,控制中心会向在正线上或运营段/停车场区间内的指定情况的运营车辆实时发布工作指令。列车运行正线接受到列车运行工作指令要求后,将采取措施以及时到达被指令要求确定的工况状态。提醒、调车、正线工作、暂停正线工作、待命、清洗、休眠、洗车、封闭、机动车和与非机动车相互机动转换运营、清客、检查。
9	触发列车自动广播	触发列车自动广播、车载动态电子地图列车根据运行图目的地信息自动执行广播作业和更新车载动态电子地图图。
10	触发列车自动鸣笛	列车于段/停车场动车前自动执行鸣笛作业。
11	停车	(1)精准停车 (2)增加精确停车信标,唤醒时车辆列车初始位置确定。 (3)车辆段/停车场精确停车 (4)正线车站精确停车 (5)停车对位自动调整: (6)停车倒退防护:过标;欠标。
12	站台自动扣车	(1)车站自动执行扣车作业对所有站台车辆设置列车清客功能设置后,待列车安全到达后站台即自动停车执行车辆扣车的作业,以便快速完成车厢清客作业。 (2)区间列车自动扣车系统自动进行扣车,确保区间列车数量误差显著大于系统参数所设定。

3 综合联调调试组织管理

位为牵头方的全自动工作团队如图3所示。

(1) 建立以建设单位为管理核心,以综合联调单

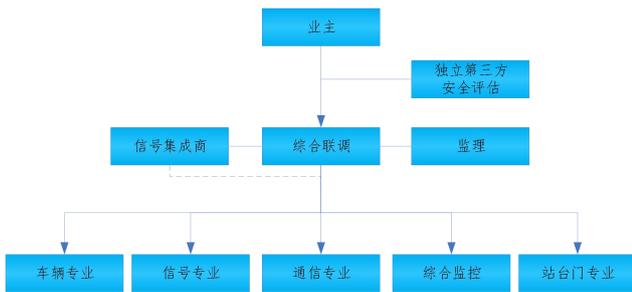


图3 调试组织架构

(2) 调试阶段安排

综合联调单位组织相关单位制定全自动运行系统联调联试测试大纲，全自动场景文件编制，指导现场综

合联调以及全自动运行功能验收。

1) 调试用例编制：以信号集成商牵头，各专业配合，编写全自动运行系统调试用例。

2) 车辆段/停车场场景联调：依据全自动运行系统验收用例，完成段/停车场上电、唤醒、休眠、出库、清扫、障碍物检测、车辆火灾等场景联调联试。

3) 样板段联调及稳定性验证：完成样板段多系统联调及稳定性验证。

4) 全线试运行验收：根据全自动运行系统验收用例，对各专业进行综合验收

(3) 全自动综合联调团队负责对所有专业进行全过程管理。全自动运行系统调试控制流程如图4所示。

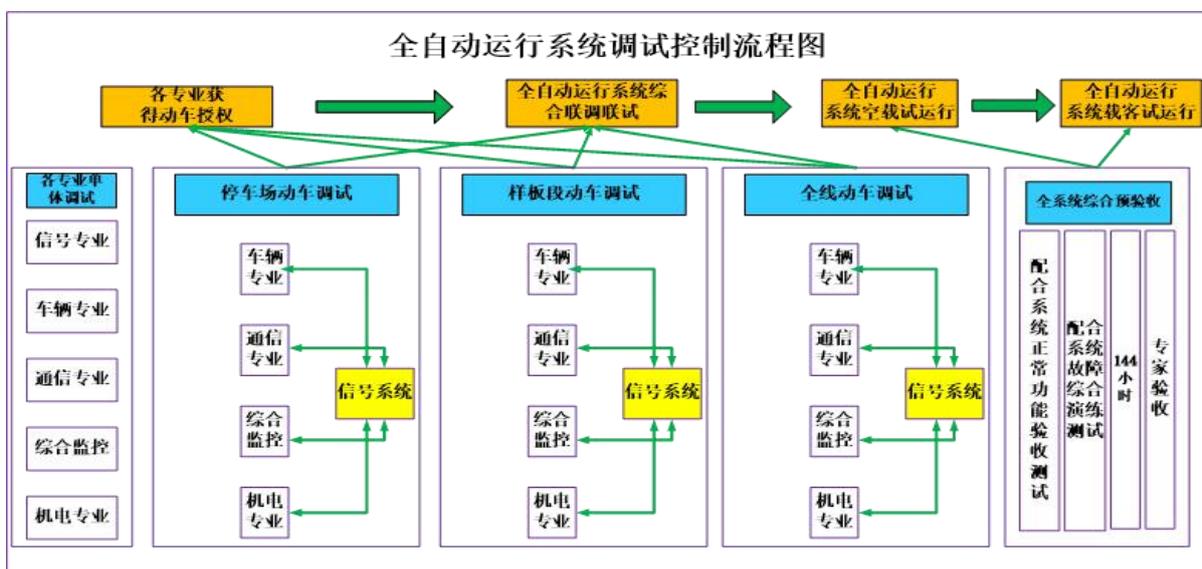


图4 全自动运行系统调试控制流程图

4 主要场景功能调试

(1) 通信、信号测试

车辆与地面通信：车载VOBC和车辆TCMS通过车载交换机分别与车辆网关计算机和信号网关通信，维护信息由车辆网关计算机转发至IMS服务器和实时服务器；信号相关信息由信号网关转发至实时服务器车辆直接与车辆网关接口；信号转发安全相关信息。

(2) 站台门功能调试

1) 车载控制器（VOBC）与计算机连锁（CI）在区间持续通信，计算机连锁（CI）与屏蔽门（PSD）采用通信协议持续通信；

2) 车载控制器（VOBC）持续与列车控制和管理系统（TCMS）通信获得全列车门的状态，进行对位隔离运算。

3) 对位隔离-故障模式：①车载控制器（VOBC）与TCMS通信中断；②车载控制器（VOBC）与CI通信故障无法获取站台门信息。

(3) 车辆功能调试

1) 列车休眠：列车接收到休眠指令后，与地面区域控制器（ZC）完成休眠注销并完成全列断电（除AOM），此后车载控制器（VOBC）不再与地面区域控制器和综合自动化系统（TIAS）通信，但对于系统此列车仍为通信列车。

2) 列车唤醒：控制中心车辆调工作时刻表远程自动唤醒休眠列车，列车和车载设备自动上电，并执行设备自检、静态测试、动态测试；

3) 障碍物脱轨监测：车辆车头下方安装障碍物检测装置，当障碍物检测装置检测到障碍物后车辆紧急制动，以保证行车安全；

车辆将障碍物信息传递给信号系统，信号系统输出紧急制动停车，并汇报地面ATP以建立防护区段；

TIAS进行报警，同时联动区间CCTV，查看现场情况，通知工作人员到事发地点进行处理。

(4) 各系统联动调试

当车辆在运营期间发生火灾联动。主要分为车辆在

进站期间车辆发生火灾和区间运行过程中车辆发生火灾。在进站期间车辆发生火灾，车辆打开车门，进行火灾相反乘客疏散，综合监控执行隧道火灾模式，提示行车调度员设置跳停。当列车在区间运行时发生火灾，车辆运行状态监测将报警信号给车载VOBC，通过车载VOBC传给IOMS，由IOMS通过车辆CCTV确认现场火灾情况。如确实有火灾，车辆调向车载VOBC发送火灾确认信息，由VOBC触发联动预录制广播对列车进行广播。如通过CCTV查看未发生紧急情况，车辆调远程向VOBC发送复位FAS报警命令。车载VOBC通过中心确认发车。车站火灾多系统联动如图5所示。

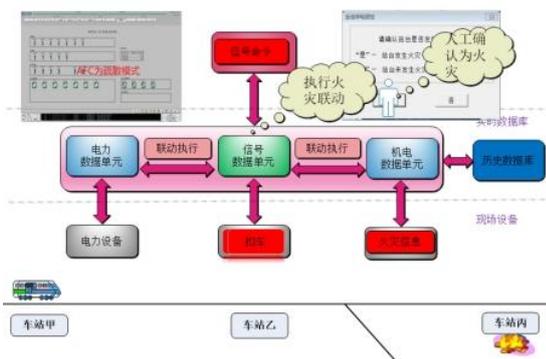


图5 车站火灾多系统联动

5 现场调试

(1) 车辆段/停车场联调联试

停车场联调联试，系统功能测试、系统数据测试、专场景测试等案例，包括与车辆和其他专业联动测试，完成功能、性能等测试项，保证系统的稳定运行。

通过系统性能、数据、异常处理场景、多专业联动各阶段的测试，保证系统特别是与外部系统联动完全满足设计要求。

(2) 样板段综合联调联试

正线样板段需要经过2个月测试，执行了测试用例，通信、站台门等专业联动测试，使样板段系统稳定运行。通过系统性能、数据、异常处理场景、多专业联动各阶段的场景测试，保证系统与外部系统联动完全满足场景设计要求。

6 信息化管理

在项目管理上，综合联调一般设立领导小组和调试组二级管理机构，由领导小组负责总体管理联调联试工作，调试组对联调联试工作的具体实施情况进行落实。联调联试单位为适应全自动运行线路对联调联试的新要求，以精细化管理和信息化管理为切入点，协助建设方做为

第三方，加强联调联试现场管理，进一步提升综合联调管理水平。联调联试实施阶段通过流程图实现精细化管理，对每项功能都统计到位，确保了每项功能在整个联调联试工作中都不遗漏。由于联调联试管理接口数量较多，需搭建联调联试信息管理平台，该平台适用于全自动运行线路调试项目统计，通过信息化手段将验证项目与管理平台的进度管理、接口调试管理、问题管理等项目进行统计，在后续实施阶段能够实时掌握联调联试进度，从而为以后联调联试实施过程中任何功能都能够做到不遗漏，不放过任何问题，为后续联调联试管理提供有力的帮助。对信息化管理工具进行联调联试应用，保证各场景均能获得充分验证，确保交付全自动场景功能；有效解决了联调联试过程中发现的各方面的问题，使信号系统在可靠性、安全性等方面得到了有效的保证。

7 结束语

综合而言，在社会经济的飞速发展下，城市轨道交通备受关注。因此，为保证城市轨道交通顺利建设，相关人员应该立足实际，对全自动运行联调联试深入研究，积极应用先进技术，合理制定联调联试计划。同时，对联调联试的数据结果积极总结与归纳，及时找出隐患与风险，并根据要求制定相应的优化和改进对策，使问题得到快速处理，确保联调联试工作有序、高效推进。

参考文献

- [1] 林绍勇, 丘伟珣. 城市轨道交通全自动运行线路专用通信系统的设计思考[J]. 长江信息通信, 2024, 37(04): 124-126.
- [2] 安彤, 卢天星, 张宏磊. 城市轨道交通全自动运行线路行车组织风险与应对方法[J]. 人民公交, 2024, (05): 77-82.
- [3] 范全永. 中国内地城市轨道交通全自动运行线路运营与建设统计分析[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(04): 1-5.
- [4] 马彦波, 赵程, 景荣, 等. 城市轨道交通全自动运行自主联调联试的探索与研究[J]. 智能城市, 2023, 9(06): 48-50.
- [5] 杨毅. 城市轨道交通线路无人值守全自动运行模式下的综合监控系统功能设计[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(08): 62-66.
- [6] 傅康平. 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: 26-31.