

全自动无人驾驶车辆试验线设计方案与功能试验

晏鑫<sup>1</sup> 任远<sup>2</sup> 苏晓<sup>1</sup> 周杨<sup>1</sup> 肖阳俊<sup>1</sup>

(1. 中车南京浦镇车辆有限公司,210031,南京;2. 南京铁道职业技术学院,210031,南京//第一作者,高级工程师)

**摘要** 以中车南京浦镇车辆有限公司既有试验线全自动运行升级改造为例,介绍了全自动运行试验线的设计目标、全自动运行系统设计方案,以及试验线能够完成的试验项目。该试验线升级改造为全自动无人驾驶线路后,可进行车辆出厂前全自动运行信号系统的综合试验,解决了车辆厂无法进行全自动无人驾驶系统试验的问题,能够有效提高车辆与信号系统接口的工作效率。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行;试验线设计

**中图分类号** U212.3;U231.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.01.035

Design of FAO Vehicle Testing Line and the Functional Test

YAN Xin, REN Yuan, SU Xiao, ZHOU Yang, XIAO Yangjun

**Abstract** According to the upgrading and reformation of the fully automatic operation (FAO) vehicle testing line in CRRC Nanjing Puzhen Co. Ltd., the design objectives, the design plan of FAO system and the experiment items related to the testing line are introduced. After being upgraded and reformed to fully automatic unmanned driving line, the testing line could implement an integrated test of FAO signaling system before the vehicle delivery, thus the difficult testing problems of fully automatic unmanned driving system in vehicle factory, the connection efficiency improvement between vehicle and signaling system will be solved.

**Key words** urban rail transit; FAO; testing line design

**First-author's address** CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

2017 年底,我国首条采用自主国产化全自动驾驶技术的北京燕房线开通运营。目前,在我国城市轨道交通新一轮建设中,已有多条线路确定采用全自动运行技术且均开展了相关研究及设计。国际公共交通协会(UITP)估计:在未来十年,FAO(全自动运行)系统的年增长率将是当前年均增长率的3.5 倍,到 2025 年的总运营里程将达到 1 800 km。

我国所有装备制造商和研究机构都在不遗余力地开发和研制国产化 FAO 产品,但是对试验技术的掌握相对落后且试验条件相对薄弱,往往因缺乏业绩和试验认证手段而被国际市场拒之门外。因此建设一条完整的城市轨道交通全自动无人驾驶试验线是十分急迫和必要的。

1 全自动运行试验线设计目标

UITP 将列车运行的自动化等级(GoA)划分为 5 级:GoA0 为无 ATP(列车自动保护)防护目视下的人工驾驶;GoA1 为 ATP 防护下的人工驾驶;GoA2 为司机监控下的 ATO(列车自动运行)驾驶 STO(半自动列车运行);GoA3 为有人值守下列车自动运行(DTO);GoA4 为无人值守下的列车自动运行(UTO)。表 1 为不同不同自动化等级下的列车运行控制方式对应表。

表 1 不同自动化等级下的列车运行控制方式

自动化等级	列车运行类型	驾驶模式	列车运行控制	列车停站	关门	车站发车	故障应对
GoA0	人工操作	人工	司机	司机	司机	司机	司机
GoA1	人工操作	ATP	司机	司机	司机	司机	司机
GoA2	自动操作	ATO	自动	自动	司机/自动	司机	司机
GoA3	无人驾驶	DTO	自动	自动	自动	自动	值乘员
GoA4	全自动无人驾驶	UTO	自动	自动	自动	自动	自动

FAO 包含自动化等级 GoA3 和 GoA4,即全自动运行系统运行模式包括 DTO 模式和 UTO 模式。

本项目依托无人驾驶试制项目,围绕中车南京浦镇车辆有限公司既有试验线进行改造,增加车地无线通信系统以及无人驾驶信号系统,建设实体车站和虚拟车站,建设控制中心,同时配套升级改造既有试验线。基于现有 GoA0 等级的 1.8 km 动态调试验线,进行一系列全自动无人驾驶改造,将其提升为可进行 GoA4 等级试验的线路。

## 2 试验线全自动运行系统设计方案

### 2.1 系统架构

本项目是中车南京浦镇车辆有限公司既有的试验线的升级改造。试验线设置为 3 站 2 区间、一座控制中心及一个模拟停车库,能够完整地进行 GOA4 等级 FAO 系统各项功能的试验。轨旁信号设备沿线路布设(见图 1)。为配合 FAO 系统功能测试,进行光纤骨干网建设,配套监控系统,对供电系统进行升级改造。沿线敷设冗余供电网、光纤骨干数据网络和冗余无线通信网络。

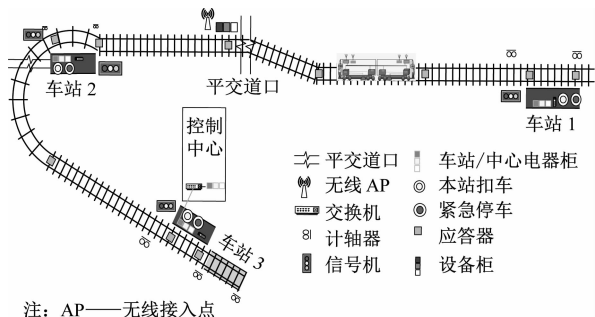


图 1 全自动无人驾驶试验线轨旁设备布置图

### 2.2 控制中心

控制中心工程包括控制中心 UPS(不间断电源)供电、设备分线柜和调度室设备安装。控制中心设置信号系统专用设备分线柜和公用设备分线柜。公用设备包括站台信号机、有线骨干环网、站台安全门、远程视频监控、站台紧急停车按钮(PESB)、工作人员作业防护开关(SPKS)、扣车和折返按钮等。

### 2.3 车站设计

根据既有线路条件,将试验线设置为 3 站 2 区间。规划 3 座车站,其中 1 座为实体车站,另 2 座为虚拟车站。实体车站具有真实站台,站台上安装各种真实设备和设施。虚拟车站只安装必要的电气设备。由于尽量利用直线段进行高速试验,因此将中间车站 2 设置在弯道上。

站台采用半封闭结构,防雨的区域放置站台电气柜(防护等级 IP55),靠车辆侧预置安全门安装地基。安装 10 组屏蔽门。有基础的站台照明和站台展板。站台电气柜中使用冗余电源,可以给安全门、轨旁有源应答器、计轴器等关键设备,以及信号机、视频监控等公共设备供电。冗余电源采用静态切换开关,以实现电源的无中断切换。综合承载交

换机置于柜中,需要和强电设备做简单的电磁隔离。每座车站拟安装 PESB、SPKS、扣车和折返按钮、紧急停车按钮。按钮由工作人员直接操作。按钮通过车站分线柜接入轨旁信号系统 ZC(节点控制器)。在车站 3 设置折返按钮,操作人员按下折返按钮后,列车自动在车站 3 和模拟停车库之间进行折返。

### 2.4 轨旁供电

轨旁电网采用 A、B 两路 AC 220 V 冗余供电,非关键设备交错采用 A、B 两路分别供电,涉及行车安全的设备采用冗余供电,单路电源出现故障会自动进行切换。电气柜分车站电气柜及线路电气柜。车站电气柜安装关键通信信号设备及供电装置。线路电气柜安装 LTE(长期演进)、天线控制单元、LEU(轨旁电子单元)控制器、漏缆发射器等设备。

### 2.5 通信系统

在线路上布设光纤骨干网群,提供给通信信号、综合监控、站台电气设备等系统使用。构建 3 套环网,其中信号系统由 2 套冗余的工业环网及综合承载网组成,负责通信、监控、PIS(乘客信息系统)等系统的传输业务。无线网络采用 2.4G Wi-Fi 和 1.8G LTE 制式,分别使用板状天线和漏缆进行发射,轨旁设备布置见图 1。LTE 通信设备主要由室外的 RRU(射频拉远单元)和室内的 BBU(基带处理单元)组成,暂不考虑共享使用。每个轨旁通信柜安装 2 台主干网交换机,分别采用 A、B 路电源供电,对应连接 A、B 环网。无线 AP(无线接入点)供电采用一路电源。AP 设备一般使用冗余的 A、B 网收发数据,射频信号通过合路器连接天线,按单组天线可由 3 套 AP 共享进行设计。

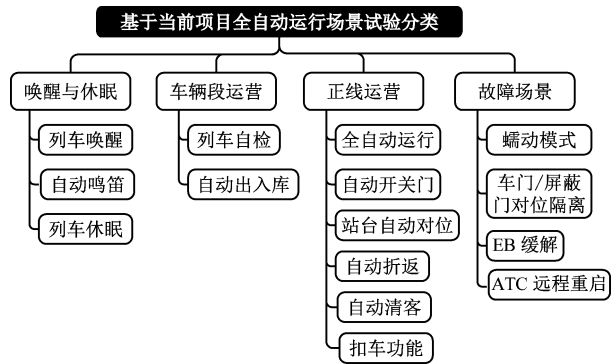
## 3 全自动无人驾驶功能试验

基于本项目的全自动无人驾驶功能试验按模拟场景分为休眠与唤醒场景、车辆段运营场景、正线运营场景和车辆故障场景,如图 2 所示。

### 3.1 唤醒与休眠场景试验

1) 列车唤醒。通过信号系统自动或人工就地对休眠的列车实施列车起动作业。列车唤醒方式有自动唤醒、远程人工唤醒和就地人工唤醒 3 种方式。表 2 为不同运行模式下列车唤醒场景试验内容。

2) 列车自动鸣笛。列车于停车场内起动前自



注:EB——紧急制动

图2 全自动运行试验模拟场景分类

表2 不同运行模式下列车唤醒场景试验内容

场景	功能	传统 CBTC 运行模式	DTO 运行模式	UTO 运行模式
早间 上电 唤醒	上电操作	人工上电	同 UTO	联动 VMS 和广播系统,确认后远程人工上电
	上电	司机上车人工合闸上电,开钥匙	同 UTO; 司机可人工按压唤醒按钮上电	远程自动唤醒并可观察唤醒状态
	自检	司机手动检查列车状态	同 UTO	自动进行静态测试和动态测试
	空调加热	司机手动设置空调加热参数	同 UTO; 司机本地可设置	默认采用本地存储参数,可通过控制中心设置
	照明	司机手动打开照明	同 UTO; 司机本地可设置	支持远程控制,通过各种工况进行自动控制

注:CBTC——基于通信的列车控制;VMS——视频监控系统

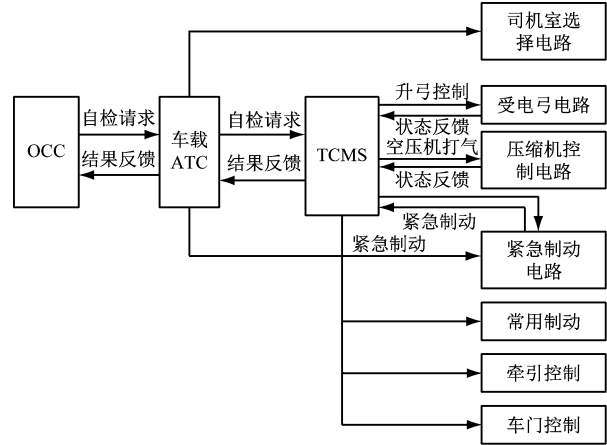
动执行鸣笛功能。列车在停车场内无人区内以 FAM(全自动驾驶模式)运行,列车起动即会触发自动鸣笛,库内自动鸣笛时间为 4 s。

3) 列车休眠。对下线非投运列车进入休眠区执行休眠作业。列车休眠可以分为自动休眠、远程人工休眠及就地人工休眠。自动休眠,是根据当日运行图时刻表,列车自动运行至停车场休眠区执行休眠作业。

3.2 车辆段运营场景试验

1) 列车自动检车。位于库内休眠区的列车被成功唤醒后即进入列车自动检车阶段。通过信号系统自动控制列车自检,确认列车是否具备以 FAM 模式载客运营条件。列车自动检车又称联合自检,

代替了原由司机进行的车内检车工作,检测流程如图 3 所示。



注:ACC——运营控制中心;TCMS——列车控制和管理系统

图3 列车自动检车检测流程

2) 列车自动出入库。列车根据出入库计划执行停车场内自动运行。

3.3 正线运营场景试验

1) 列车全自动运行。列车的全程运行由 FAM 模式控制,替代了有人驾驶司机的操作。FAM 模式下的列车运行无需人工驾驶和按压 ATO 发车按钮,列车运行全程由信号系统控制,包括列车的牵引、制动以及停站的开关门作业。ATC(列车自动控制)发车不再依赖 ATO 启动按钮,到发车时间点自动发车。

2) 列车自动开关门。列车车门的开关由信号系统控制,替代了有人驾驶司机的操作。

3) 列车站台自动对位(JOC)。ATO 模式下,列车在站台停车对位时,在允许误差范围内,列车会自动启动进行再次对位。

4) 列车自动折返。自动控制列车的换端作业,替代了原有人驾驶时司机在终点站人工转换操纵端的操作。列车运行至终点站根据折返计划进入相应股道停车后,系统自动控制列车进行换端作业。

5) 列车自动清客。FAM 模式下,列车收到清客指令后自动播放清客广播。列车到达终点站后自动执行列车清客广播;如果中央控制中心对某站设置了站台清客命令,列车到站后将自动播放清客广播。

6) 列车自动/手动扣车。如果以终点站作为列车退出运营的最后一个车站,列车在终点站停站后将自动执行扣车作业。

(下转第 154 页)

况一。

不同仿真工况下,轨-靴动态接触压力为 50 ~ 200 N。参考 TB 10009—2016《铁路电力牵引供电设计规范》要求,最小动态接触压力大于 0,轨-靴之间没有出现离线状况,磁浮列车能持续稳定地受流运行。

### 4 结语

利用面-面接触单元,可将三维接触轨有限元模型和三维受流靴模型构成轨-靴耦合有限元模型,以用于轨-靴相互作用研究。

本研究仅基于零件测试数据和仿真数值模拟,建议后续研究进一步开展线路轨-靴实测试验验证。

### 参考文献

[1] 祝嫣然. 磁浮交通再升温“中低速”不低调 [J]. 城市轨道交通研究,2017 (4):16.

[2] 胡基士. EMS 型磁浮列车悬浮力分析[J]. 西南交通大学学报 (自然科学版),2001(1): 44.

[3] 王素玉,王家素,张庆福,等. 超导磁浮列车的研究与发展 [J]. 低温与超导,1995(4):1.

[4] 李强北. 国外磁浮列车述评 [J]. 国外铁道车辆,1996 (4): 1.

[5] 吴祥明. 磁浮列车 [M]. 上海:上海科学技术出版社,2003.

[6] 李希宁,佟来生. 中低速磁浮列车技术研究发展 [J]. 电力机车与城轨车辆,2011(2):1.

[7] 叶玉萍,赵青. 北京市轨道交通房山线直流牵引供电接触轨系统设计 [J]. 铁道标准设计,2011 (1):47.

[8] 周琳. 唐山中低速磁浮既有试验线供电轨改造——钢铝复合接触轨更换的工程实践 [J]. 现代城市轨道交通,2012 (2):28.

[9] 刘德生,李杰,常文森. EMS 型磁浮列车模块的运动耦合研究 [J]. 铁道学报,2006(3):22.

[10] 赵春发,翟婉明,王其昌. 低速磁浮列车曲线通过动态响应仿真分析 [J]. 中国铁道科学,2005(3):94.

[11] 谢云德. EMS 型磁浮列车系统动力学建模与仿真的研究 [D]. 长沙:国防科技大学,1998.

(收稿日期:2018-12-26)

(上接第 150 页)

### 3.4 故障场景试验

1) 蠕动模式。FAM 模式下,列车发生 ATO 与车辆接口故障或 ATO 故障时,控制列车低速运行至目标停车点。通过中央控制中心 ATS(列车自动监控)向故障列车发布蠕动模式命令即可启动车载 ATC 与列车的应急硬线控制通道,列车此时将以低于 20 km/h 的速度运行至计划中的下一个停车点。

2) 车门、屏蔽门对位隔离功能。列车如果在进站前收到车门或屏蔽门的故障信息,列车到站对位后,对应的屏蔽门或车门则保持关闭,不会打开。

3) EB(紧急制动)缓解。列车运行中,如因故障等原因触发紧急制动,若触发紧急制动的原因消失,则 EB 自动缓解。

4) 远程重启车载 ATC。OCC(运营控制中心)操作人员对故障列车可远程进行重启 ATC 的操作。

### 4 结语

通过对车南京浦镇车辆有限公司既有 GoA0 等级试验线的升级改造,大大提升了该试验线的综合试验能力。该试验线可进行车辆出厂前全自动运行信号系统的综合试验;可提高车辆与信号系统接口问题的解决效率,减少车辆交付后的正线运营调试周期。该试验线为我国全自动无人驾驶系统及技术的应用与推广创造了示范性的成功案例。

### 参考文献

[1] 李宜芳. 全自动无人驾驶车辆段设计 [J]. 市政技术,2015 (增刊2):62.

[2] 王都,孙宁,周兴无. 轨道交通综合试验系统的规划研究 [J]. 中国铁道科学,2007,28(1):131.

[3] 李洁. 简谈全自动无人驾驶系统车辆段/停车场信号系统设计 [J]. 铁路通信信号工程技术,2017(14):48.

(收稿日期:2018-04-29)