

# 基于城轨云的全自动运行系统设计与实践

赵振杰 郭建伟 刘海川 史世盛

(太原市轨道交通发展有限公司, 030002, 太原//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 随着城轨云信息化技术和全自动运行技术的发展, 全自动运行系统承载于云平台已成为城市轨道交通的发展趋势。太原轨道交通2号线是国内首条基于城轨云的全自动运行线路。重点介绍了太原轨道交通2号线全自动运行系统的5大专业(通信、信号、综合监控、站台门、车辆)基于城轨云平台的系统设计方案。

**关键词** 城市轨道交通; 全自动运行系统; 城轨云平台

**中图分类号** U231.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.10.044

## Design and Practice of Fully Automatic Operation System Based on Urban Rail Cloud

ZHAO Zhenjie, GUO Jianwei, LIU Haichuan, SHI Shisheng

**Abstract** With the development of urban rail cloud information technology and fully automatic operation (FAO) technology, FAO system based on cloud platform has become the development trend of urban rail transit. Taiyuan rail transit Line 2 is the first FAO line based on urban rail cloud platform in China. In this paper, the design schemes of five specialties in Taiyuan rail transit Line 2 FAO system based on urban rail cloud platform are specifically introduced, including communication system, signal system, integrated supervisory control system, platform screen door system and vehicle system.

**Key words** urban rail transit; FAO system; urban rail cloud platform

**Author's address** Taiyuan Rail Transit Development Co., Ltd., 030002, Taiyuan, China

全自动运行(FAO)系统以其高度自动化、高可靠性、运营灵活、运营效率高等优点已成为城市轨道交通发展的主流趋势。随着城市轨道交通信息化技术的发展,城轨云已经由承载单线路单系统业务、单线路多系统业务向承载线网级全系统业务方向发展。城轨云以其资源高效利用、按需服务、扩展灵活、稳定可靠等优点打破了传统不同业务系统间的专业壁垒,实现了各类信息的深度融合<sup>[1]</sup>。特

别是《城市轨道交通云平台构建技术规范》等5部行业标准的发布,为中国城市轨道交通城轨云标准化、规范化建设指明了方向。城轨云作为智慧城轨建设蓝图中的底座<sup>[2]</sup>,与FAO系统融合,必将推动智慧列车控制技术的发展。太原轨道交通2号线(以下简为“2号线”)FAO系统按照GoA4标准建设并承载于云平台上。本文重点介绍了2号线基于城轨云的FAO系统方案。

## 1 FAO 系统功能

FAO系统以行车为核心,通信、信号、综合监控、车辆、站台门各系统密切配合,可实现列车自动唤醒、自动出库、自动运行、自动进站、自动开关车门、自动对位隔离、自动离站、自动折返、自动洗车、自动回库、自动休眠、蠕动控制、远程紧急对讲/广播、远程紧急制动/缓解、远程系统复位、远程系统旁路等自动功能<sup>[3]</sup>。

2号线FAO系统中,列车自动监控(ATS)系统与传统的综合监控系统(ISCS)深度集成,构建了综合调度指挥系统(IDCS)。IDCS与信号其他子系统、通信系统、站台门系统、车辆系统密切配合,实现了车辆段基地、正线、控制中心、车站等在正常场景、故障模式及应急模式下81个大类、155个子类场景的联动控制,以确保FAO系统的安全。

## 2 2号线FAO系统设计

### 2.1 云平台设计

太原城轨云依据中国城市轨道交通协会城市轨道交通信息技术系统总体架构<sup>[4]</sup>和智慧城轨标准体系进行设计,按照线网级标准进行统一规划和建设。构建了安全生产网、内部管理网、外部服务网和运维服务网4张网络,部署了控制中心、灾备中心及站段级云平台。本期灾备中心仅考虑数据灾备,待二期工程时扩展为完整的灾备中心。

FAO涉及的IDCS、视频监控系统、乘客信息系

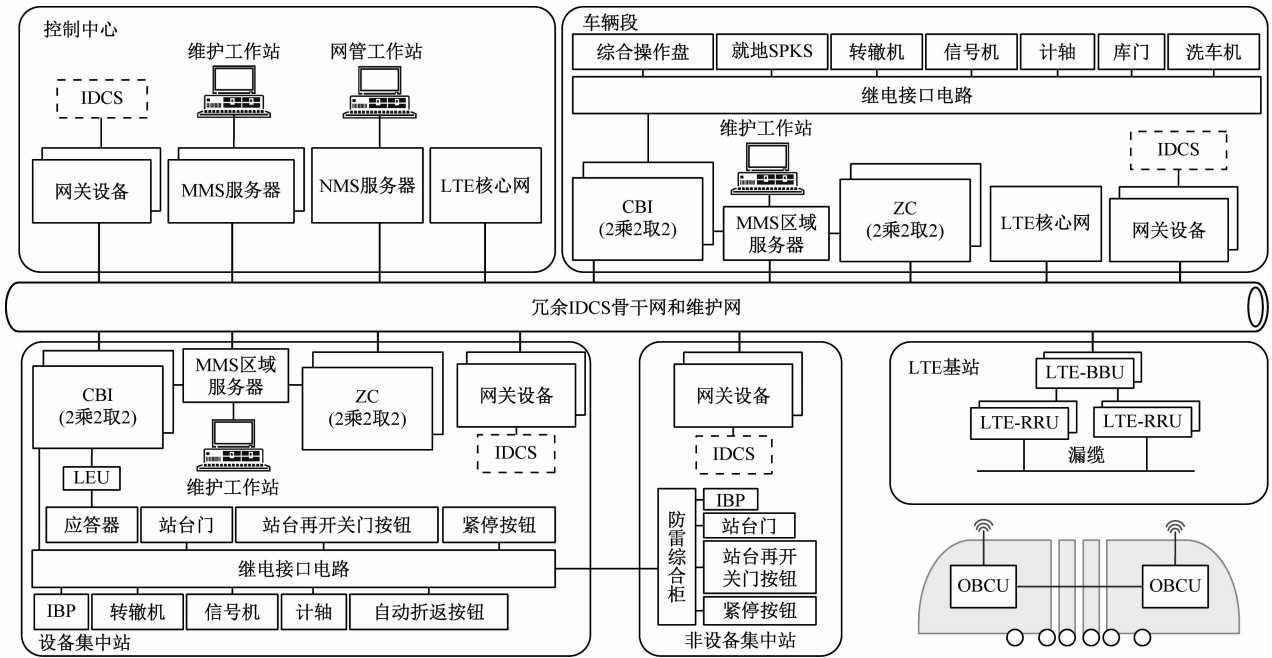
统(PIS)、车辆智能化运维系统承载于云平台的安全生产网<sup>[3]</sup>。云平台为这些系统提供了基础设施服务及相关网络传输服务。

### 2.2 信号系统设计

信号系统是FAO系统的“大脑”。与传统的信号系统相比,FAO信号系统将正线所有区域及车辆段自动化区纳入全自动控制范围。车辆段增设了ZC(区域控制器)和休眠、唤醒、定位应答器;正线增设了休眠、唤醒应答器,实现列车的正线停车;车站删减了发车指示器,增设了人员防护开关(SPKS)、站台再开/关门和清客按钮,增设了车门/站台门对位隔离和间隙探测功能,以实现无人驾驶情况下运营人员及乘客的安全;车载设备增设了休眠唤醒单元,实现无人自动唤醒/休眠功能;控制中心增设了车辆调、乘客调,以代替司机实现列车远程控制、远

程复位、远程旁路和远程紧急对讲等功能。

FAO信号系统整体架构如图1所示。图1中,ATS集成到IDCS中,信号系统通过网关设备与IDCS进行接口,以确保各系统间的安全隔离;同时精简了非集中站信号设备,非集中站站台门及各类按钮的控制通过防雷综合柜统一接入集中站计算机联锁(CI)系统;车辆段信号系统通过硬线接口实现对停车列检库库门的监视功能,实现与洗车机的自动洗车功能;车地无线通信系统采用TD-LTE(时分-长期演进)技术,核心网部署在控制中心和车辆段,车辆段试车线与正线共用核心网;车载系统采用了头尾冗余的2乘2取2架构,在一端发生故障时可无缝切换至另一端;信号系统通过与IDCS、车辆、站台门等系统的联动,在确保行车安全的同时提升了运营效率。



注:MMS 维护管理系统;NMS 为网络管理系统;CBI 为计算机联锁;LEU 为轨旁电子单元;IBP 为综合后备盘;BBU 为基带处理单元;RRU 为射频拉远单元;OBCU 为车载控制单元。

图1 2号线FAO信号系统整体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of Line 2 signal system

### 2.3 IDCS 设计

IDCS通过集成ATS、环境设备监控系统(BAS)、电力监控与数据采集(PSCADA)系统,与火灾报警系统(FAS)、视频监控系统、PIS、广播(PA)系统、无线调度系统、控制中心大屏等互联,实现了各系统间的高效联动控制,在提高各系统整体自动化水平的同时,增强了应对各种突发事件的应

变能力。

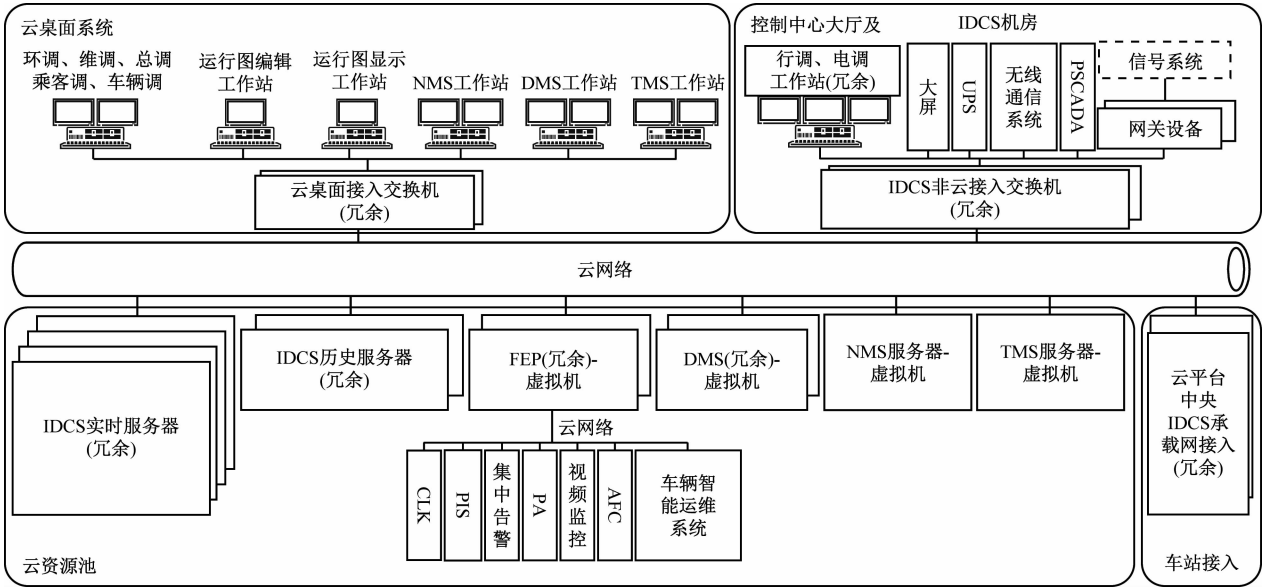
IDCS由位于控制中心的中央级IDCS和位于各车站的站/段级IDCS构成。采用冗余、开放、易扩展、标准化的设计原则,通过分层、分布式C/S(客户端/服务端)结构及TCP/IP(传输控制协议/互联网协议)实现了软件平台、硬件平台、数据库、网络系统、用户管理的统一设计,实现了对行车、供

电、机电的统一监控管理和全方位调度。

2.3.1 中央级 IDCS

中央级 IDCS 部署在控制中心城轨云平台主数据中心的安全生产网中,由云平台提供相应的计算资源、网络资源、存储资源、云桌面资源。中央级 IDCS 架构如图 2 所示。图 2 中,除行调和电调工作

站外,其余工作站采用云桌面,通过云桌面接入交换机接入云网络;行调、电调、信号系统、大屏及其他非云部分通过 IDCS 非云接入交换机接入云网络。站/段级 IDCS 通过中央 IDCS 承载网接入交换机接入云网络。各系统之间通过云内部网络进行流程交互和业务控制。



注:DMS 为设备管理系统;TMS 为培训管理系统;UPS 为不间断电源;CLK 为时钟;AFC 为自动售检票;FEP 为前端处理器。

图 2 2 号线中央级 IDCS 架构图

Fig. 2 Central-level IDCS architecture diagram of Line 2

2.3.2 站/段级 IDCS

站/段级 IDCS 架构如图 3 所示。图 3 中,配备冗余 IDCS 服务器、冗余值班工作站、冗余 FEP;传统站段级 ATS 设备与综合监控设备合并,实时服务器和历史服务器共用,系统集成度更高;IDCS 通过与

相关系统集成、互联,实现对站/段多专业、多系统的综合自动控制。

站/段级 IDCS 未实现上云,但通过云平台提供的车站汇聚交换机组成 IDCS 骨干云环网可将信息上传至控制中心,形成中央、车站两级控制模式。

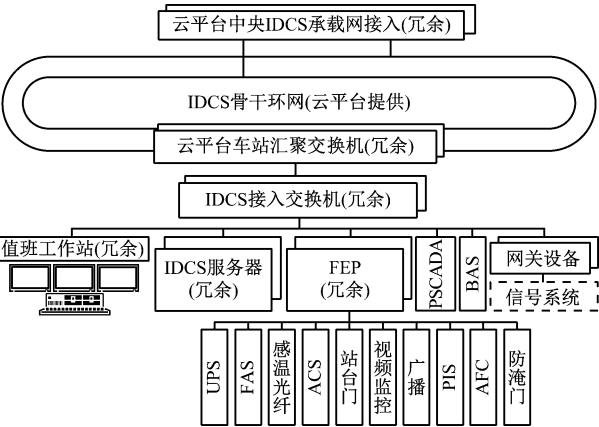
2.4 通信系统设计

通信系统中与 FAO 系统密切相关的专业主要包括视频监控、PIS、PA、无线调度和专用电话。除专用电话外,各专业与 IDCS 通过接口互联方式实现全自动运营场景下的自动和手动联动。

2.4.1 视频监控系统

以列车、车站、车辆段的视频监视为基础,共同构成了全线完整的视频监控系统。中央级视频管理服务器软件、网管软件和车站级视频服务器软件承载于云平台。车站视频监控系统完成对本站范围内摄像机调看、处理及云平台优先级控制等功能,并通过云网络将视频上传至控制中心,控制中心调度可在任何 1 台监视器调看全线任何 1 台摄像机。

存储架构采用中央 90 d 集中云存储为主、车站



注:ACS 为门禁系统。

图 3 2 号线站/段级 IDCS 架构图

Fig. 3 Station/depot level IDCS architecture diagram of Line 2

7 d 本地存储为辅的分布式存储架构。站/段视频监控终端通过云网络直接上传至云存储中,如果云存储和云网络出现故障,站/段可继续进行 7 d 的图像存储,待故障恢复后,将存储的视频继续上传至云存储。

#### 2.4.2 PIS

PIS 由中央中心级子系统、车站子系统、车辆段子系统、车载子系统等构成。中央中心级子系统负责编辑需要播放的媒体文件,并下发至车站、车辆段和车载设备。车站子系统根据中央中心级子系统要求进行编播信息的现场播放、管理及控制。车辆段子系统自动接收中央中心级子系统信息并在车辆停库期间将待播信息无线上传至车载子系统,同时负责车辆数据的回库下载。车载子系统负责将无线接收到的中央中心级子系统信息通过车载 PIS 播放控制器在本列车的所有 LCD(液晶)显示屏上实时播放。

PIS 的中心服务器软件、接口服务器软件、网管软件部署于中央云平台,车站服务器软件、车辆段服务器软件部署于车站云节点,同时云平台为其提供云存储资源。除此之外,中心操作员工作站、网络管理维护工作站、媒体编辑工作站、系统管理工作站、编辑预览工作站、审核发布工作站都采用云桌面系统。

#### 2.4.3 PA 系统

PA 系统与 PIS、IDCS 通过互联接口实现广播信息控制,由于 PIS 和中央级 IDCS 承载于云平台,为此 PA 系统在中央与云平台接口接收经云平台内部网络发送的广播信息,实现全线的广播业务。

#### 2.4.4 无线调度系统

无线调度系统采用 800 MHz TETRA(陆地集群无线电)数字集群通信系统,在 FAO 系统中 IDCS 为其提供在线列车数量、车组号、车次号、列车运行方向、列车位置信息,实现中央调度、车站值班员、列车司机、站台值班员之间的行车调度需求,以及防灾、维修等业务需求。

在 FAO 系统取消司机后,乘客的紧急对讲需求由中央乘客调度承担。无线调度系统与车载乘客紧急对讲系统通过接口,实现乘客在紧急情况下与中央乘客调度的紧急通话;当 1 列列车多个车厢或多列列车多个车厢紧急对讲激活时,中央乘客调度可从呼叫列表选择 1 路进行对讲,必要时可对整列车厢进行广播。

### 2.5 站台门系统设计

站台门是防护乘客掉入轨行区的安全屏障,FAO 系统为确保乘客上下车安全,在传统信号硬线控制车门、站台门开关的同时,增加了车门、站台门间隙探测设备、站台再开/关门功能、故障门对位隔离功能及清客功能等。

#### 2.5.1 间隙探测设备

每侧站台设置 6 套间隙探测设备,每套设备在列车和站台门之间设置有 4 束不可见光组成的检测防护区域,采用光束遮挡报警方式实现车门、站台门之间夹人、夹物的报警。该设备将间隙探测结果汇成 1 个信号接入站台门安全回路,再通过硬线接口接入信号系统。为防止该设备误报警影响行车,设置了旁路功能,可根据运营情况对该设备进行实时旁路隔离。

#### 2.5.2 站台再开/关门功能

当客流高峰时车门、站台门经常由于乘客拥挤,在进行 3 次关门尝试后会进入防夹状态。传统车门、站台门的再开/关功能由司机完成,在 FAO 系统无司机的情况下,该功能由站务员执行。为此,在每侧站台两端设置独立的站台再开/关门箱,箱内设总使能按钮、站台开门按钮、站台关门按钮,并通过硬线接入信号系统。

#### 2.5.3 车门/站台门对位隔离功能

当站台门或车门中的某扇门故障时,列车或站台门会将具体故障门信息传递给对方,列车停准停稳后共同采取故障门隔离措施。车门通过车载 PIS 告知列车乘客,站台门通过故障门指示灯和故障门 PIS 屏告知车站乘客,以引导乘客上下车。

#### 2.5.4 清客功能

FAO 系统中,清客场景主要包括终点站的正常清客和故障列车导致的临时清客。为此,在折返站站台设置有清客确认按钮,若列车在非折返站清客则通过远程清客功能执行。

当执行清客操作时,车厢自动或人工广播清客提示,当列车停站后,保持车门和站台门打开;在清客完毕后,站务员关闭车门和站台门,按压清客确认按钮发车或由行车调度员远程清客确认后发车。

### 2.6 车辆智能化运维系统设计

FAO 系统为实现对车辆的远程监视和远程控制,设置了车辆调,而车辆调信息则通过部署在云平台的车辆智能运维系统获取。车辆将牵引、制动、弓网监测、车门、空调、PIS、走行部、蓄电池监测、

火灾报警等运行状态数据和报警数据通过无线发送至地面车辆智能化运行系统;车辆智能化运行系统利用专家系统、大数据进行统计分析,并将结果呈现在车辆调,辅助行调和车辆调人员实现对车辆的全面监督、精准控制、智能化定位和高效决策。

### 3 安全评估

基于城轨云的 FAO 系统,其功能更全面、系统更复杂,对 RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)提出了更高要求。为此,对 FAO 系统核心设备进行了整体安全评估,主要包括以下内容:

- 1) 信号、车辆、站台门、综合监控、通信、城轨云平台等系统的安全评估。
- 2) 核心设备间接口的安全评估。
- 3) 车辆基地无人区安全防护方案的评估。
- 4) 核心设备的总体安全评估。

评估过程分为 9 个阶段,在前一阶段未评估通过时不能进入下一阶段,以确保各系统建设的稳定有序开展。评估阶段主要分为设计开发、车辆段投入使用、试车线允许动车调试、列车 RAMS 评估、单车动车调试、多车动车调试、空载跑图试运行、载客试运行和正式运营等阶段。

对 FAO 系统的整体安全评估,有效管控了工程实施过程中的系统安全 and 质量风险,有效规避了隐患。

### 4 信息安全

FAO 系统承载于云平台,遵循“系统自保、平台统保、边界防护、等保达标、安全确保”的策略<sup>[4]</sup>。云平台依据“网络隔离”“分区防护”“各上云业务系统自身安全保护机制和云平台安全保护机制协同配合”的原则,以网络安全三级等保要求为基础,分层、分级、分类为各上云业务系统提供安全保护。

信号系统、IDCS 按照三级等保要求,建设了 1 个安全运营管理中心,构建了安全区域边界、安全计算环境、安全通信网络三维一体的三重防护,通过安全技术体系、安全管理体系、安全运营体系的相互融合、相互补充共同构建了集防护、检测、响应、恢复于一体的全面安全保障体系。

### 5 结语

2 号线基于城轨云的 FAO 系统的投入使用是

《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的典型实践,是城市轨道交通数字化、智能化、智慧化的有力探索。随着云计算、大数据、人工智能的继续发展,可以探讨 FAO 系统从 IaaS(基础设施即服务)层向 PaaS(平台即服务)层、SaaS(软件即服务)层的应用,真正促进各专业数据的高度共享、高度集成,以建设数字化、智能化的城市轨道交通。

### 参考文献

- [1] 李中浩,朱东飞,刑智明. 以信息化助推城市轨道交通快速发展的思考[J]. 城市轨道交通研究,2017(5):2.  
LI Zhonghao, ZHU Dongfei, XING Zhiming. Boosting the rapid development of urban rail transit by information construction[J]. Urban Mass Transit, 2017(5):2.
- [2] 沈光亮. 以云平台为底座的城轨云架构研究[J]. 都市快轨交通,2020(5):2.  
SHEN Guangliang. Urban rail cloud architecture based on cloud platform[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020(5):2.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 全自动运行系统规范 第 1 部分:需求;T/CAMET 04017.1—2019[S]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.  
China Association of Metros. Urban rail transit—Fully automatic operation system specification—Part 1: Requirements;T/CAMET 04017.1—2019[S]. Beijing: China Association of Metros, 2019.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 智慧城市轨道交通信息技术架构及网络安全规范 第 3 部分:网络安全;T/CAMET 11001.3—2019[S]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.  
China Association of Metros. Smart urban rail transit—Specification for information technical architecture and cybersecurity—Part 3: Cybersecurity; T/CAMET 11001.3—2019[S]. Beijing: China Association of Metros, 2019.
- [5] 中国城市轨道交通协会. 智慧城市轨道交通信息技术架构及网络安全规范 第 2 部分:技术架构;T/CAMET 11001.2—2019[S]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.  
China Association of Metros. Smart urban rail transit—Specification for information technical architecture and cybersecurity—Part 2: Technical architecture; T/CAMET 11001.2—2019[S]. Beijing: China Association of Metros, 2019.
- [6] 中国城市轨道交通协会. 智慧城市轨道交通信息技术架构及网络安全规范 第 1 部分:总体需求;T/CAMET 11001.1—2019[S]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.  
China Association of Metros. Smart urban rail transit—Specification for information technical architecture and cybersecurity—Part 1: General requirement; T/CAMET 11 001.1—2019[S]. Beijing: China Association of Metros, 2019.

(收稿日期:2021-05-31)