

# 城市轨道交通车站数字化转型思考及实践<sup>\*</sup>

蔡佳妮

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海//高级工程师)

**摘要** 目的:实现城市轨道交通车站数字化转型,提升车站运营管理整体水平和服务能力,需要从顶层架构设计层面进行研究并提出解决方案。方法:以城市轨道交通车站为研究对象,在分析车站机电系统特点和车站运营管理难点的基础上,剖析车站数字化转型的内涵和要求,结合新一代技术和业务管理发展需求提出车站数字底座的设计方案。结果及结论:车站数字化转型的本质是通过管理对象的数字化和系统架构的扁平化来实现业务管理的智能化;车站数字底座系统方案采用物联网技术和扁平化架构,实现设备物联接入、数据集中管控和业务综合承载,实现新型智能系统与专业系统的集成融合。现场测试表明,底座系统性能满足行业规范要求。

**关键词** 城市轨道交通;数字化转型;车站数字底座;物联网

**中图分类号** U231+.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.12.002

## Reflection and Practice on Urban Rail Transit Station Digital Transformation

CAI Jiani

**Abstract** Objective: To achieve the digital transformation of urban rail transit stations and enhance the overall level of station operations management and service capabilities, it is necessary to conduct research and propose solutions at the top-level architectural design, for which purpose the research is specifically carried out. Method: Taking urban rail transit station as the research object, based on the characteristics analysis of station electromechanical systems and the challenges in station operations management, the connotation and requirements of station digital transformation are dissected, and combined with the new-generation technologies and development requirements of business management, design scheme for SDB (station digital base) is proposed. Result & Conclusion: The essence of station digital transformation lies in realizing intelligent business management through the digitization of management objects and the flattening of system architecture. The pro-

posed SDB system scheme adopts IoT (Internet of Things) technology and a flattened architecture to realize the IoT access of terminal equipment, centralized data management-control and business comprehensive support, facilitating the integration and fusion of new intelligent systems with conventional specialized systems. Field tests demonstrate that the SDB system performance meets the requirements of industry specifications.

**Key words** urban rail transit; digital transformation; station digital base; IoT

**Author's address** Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

随着数字中国战略的实施,数字化在提升轨道交通产业能级、促进区域经济发展方面的赋能效果开始显现。面向智慧地铁建设的新型智能系统(如智能运维、智慧服务等)不断涌现,进一步提升了城市轨道交通运营管理效率和服务能力,数字化转型已成为轨道交通行业发展的重要驱动力量<sup>[1-2]</sup>。但是,由于我国还处在数字化转型的初级阶段,转型过程中还存在不少问题,如近年来涌现的新型智能系统多面向特定业务或特定专业,未考虑城市轨道交通行业数字化整体架构设计,存在数据重复采集、系统分立建设、资源封闭使用等弊端和向新烟囱式系统演变的风险。

城市轨道交通行业的数字化研究多以 BIM(建筑信息模型)技术为基础,面向建造和协同设计分析,提供三维可视化空间结构,更好地服务城市轨道交通工程建设<sup>[3]</sup>。实际上,城市轨道交通车站数字化转型的核心是用数字来驱动业务,提升客运管理和设备管理水平,而三维可视化是辅助手段。本文聚焦车站运营管理中的难点,提出车站数字底座的设计方案,为传统业务系统架构重塑和新型智能系统架构设计提供统一的技术框架,以支撑城市轨道交通行业的数字化转型和高质量发展。

<sup>\*</sup>上海市科学技术委员会基金资助项目(19DZ1201801);上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(2022016)

# 1 城市轨道交通车站运营管理现状

城市轨道交通车站机电系统是车站运营管理的核心支撑系统。现有车站机电系统专业多、设备多、系统结构复杂。由此,导致车站运营及设备维护的工作量较大,困难较多,尤其是业务管理模式调整后机电系统的配套调整周期较长,调整升级成本较高。

## 1.1 车站机电系统的特点

1) 专业多。城市轨道交通车站机电系统涉及通风空调、给排水、动力照明等设备专业,以及机电设备监控、火灾自动报警等系统,专业数量有十余个,其中通风空调设备等专业还逐级分解为若干子专业。城市轨道交通车站机电系统专业分类如图 1 所示。

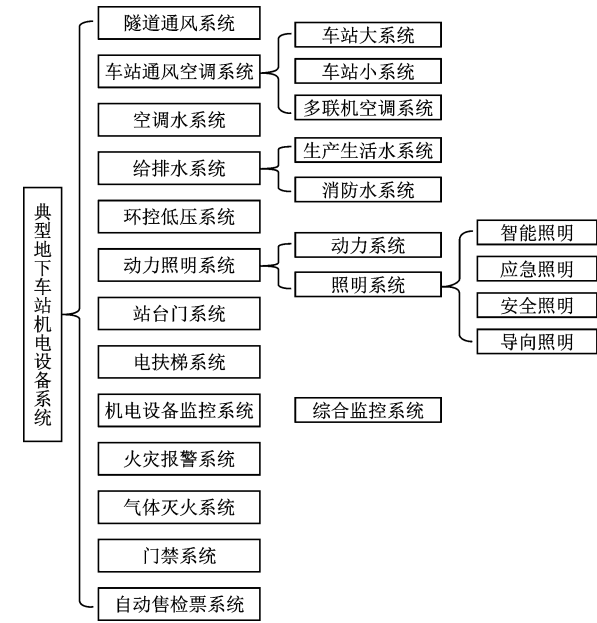
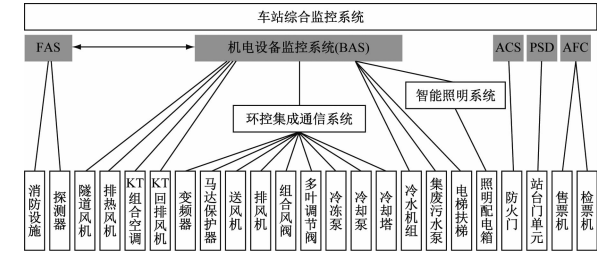


图 1 城市轨道交通车站机电系统专业分类  
Fig. 1 Professional classification of electromechanical systems in urban rail transit station

2) 设备多。车站机电系统由具有特定功能的专业设备构成,设备类型繁多,设备数量庞大。以上海地铁为例,典型地下车站机电系统的设备数量多达 3 000 余台/套。

3) 系统结构复杂。车站机电系统一般按专业由不同设计团队设计,系统专业和设备专业通过相互提资实现接口协调。但即便如此,十余个专业构成的车站机电系统还是相当庞大复杂,而部分设备专业为简化接口设计而设置内部监控系统(如环控

集成通信系统),不仅增加了车站网络层级,还使车站机电系统的结构更加复杂。以上海城市轨道交通为例,典型地下车站机电系统层级结构如图 2 所示。



注:FAS 为火灾自动报警系统;ACS 为门禁系统;PSD 为站台门;AFC 为自动售检票。

图 2 上海城市轨道交通典型车站机电系统层级结构  
Fig. 2 Hierarchical structure of electromechanical systems in typical stations of Shanghai urban rail transit

## 1.2 车站运营管理的难点

车站运营管理的难点主要表现在:①设备数量多分布广,日常运维工作量大,车站精细化管理要求难以全面落实;②整体运维智能化水平不高,日常运维以现场人工巡检和纸质记录为主,运营效率较低;③系统层级多,故障定位难,责任界定扯皮多,故障修复周期长,维护效率低;④设备专业与系统专业犬牙交错,牵一发而动全身,设备调整涉及的改造工作量大,业务系统迭代升级涉及的环节多、流程复杂。

# 2 城市轨道交通车站数字化转型思考

数字化转型是一个从对象数字化到执行智能化、最终实现决策智慧化的渐进发展过程<sup>[4-5]</sup>。城市轨道交通车站的数字化转型不仅要考虑车站管理对象的数字化,还需要考虑车站机电系统各专业的架构重塑和系统融合,提供业务管理智能化的条件。

## 2.1 管理对象的数字化

车站管理对象包括车站设施设备、环境、客流和车站人员等,其中车站设施设备种类多、数量大,是最为繁杂的车站管理对象。

车站设施设备可划分为静态和动态两类对象,静态的车站设施可基于 BIM 技术实现空间结构的数字化,而动态的车站设备可采用物联网技术实现对设备对象的建模,将物理设备抽象为具有属性、事件和服务等 3 大类功能的物模型。

由于同类设备的物模型是相同的,故同类设备的物模型只需要构建一次,即可实现全网车站的复用共享,从而大大简化车站数字化的过程。同时,统一的物模型还为全网设备管理标准化提供技术条件。

环境、客流和车站人员均具有动态变化的特性,可参照车站设备的数字化方案,采用物模型进行抽象描述。

### 2.2 系统架构的扁平化

借鉴物联网平台技术,设置车站统一的数据平台,原则上车站设备直接接入数据平台,从而实现车站机电系统层级架构的扁平化,简化车站系统网络结构,提升车站设备运维效率。

设备运行数据统一由车站数据平台采集后,各系统专业需要配套进行架构重塑。重塑后,系统专业无须再设置数据采集模块,仅需设置专业应用模块,承担专业控制功能,并统一部署在车站数据平台上。

### 2.3 业务执行的智能化

车站数字化转型是手段,是基础,其目的是业务管理的高效化和业务执行的智能化。

具体的转型思路包括以下 3 个方面:①车站数据全面感知,这是业务执行智能化的基础;②数据平台与专业应用模块解耦,这是业务应用快速迭代的保障;③新一代信息技术的融合应用。这是提升车站管理效率、实现智能运行的有效途径。

## 3 城市轨道交通车站数字底座设计

城市轨道交通车站数字化研究的核心内容是设计一种车站数字底座,实现车站设备的统一接入、车站数据的统一管理和车站业务的综合承载,为重塑升级的传统系统和新型智能系统设计提供统一的技术框架。

### 3.1 总体设计

车站数字底座由底座网关、底座服务器和车站数字化平台等组件构成。车站数字底座及其应用系统的总体架构如图 3 所示。

车站数字底座应与轨道交通线网云平台协同,采用云边端结合的总体架构。其中,车站数字底座作为云端系统的边缘节点,承担车站状态感知、边缘计算和车站综合应用的职能;而云端系统作为全网数据管控平台,承担车站数据汇聚、共享和线路/

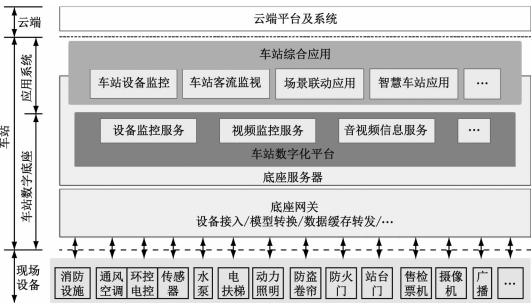


图 3 车站数字底座及其应用系统的总体架构

Fig. 3 Overall architecture of SDB and the application system

线网综合应用的职能。

车站数字底座采用物联网技术和数字孪生技术,将动态的车站管理对象抽象为不同的物模型,从而实现车站设施设备的统一建模和统一管理,为数字孪生车站建设提供基础条件。车站数字底座与云端系统之间采用标准格式的物模型实例数据进行交互。

车站业务系统(含传统业务系统和新型智能系统)作为车站数字底座承载的应用系统,与车站数字底座分层设计、应用解耦。其中,车站数字底座提供设备接入、模型转换和边缘计算等服务功能。车站业务系统面向车站值班员,提供车站业务管理所需的图形监控界面,实现专业管理功能。车站业务系统可根据车站运营管理需要不断扩展、迭代升级。

### 3.2 组件设计

#### 3.2.1 底座网关

底座网关承担设备接入、模型转换、网络隔离、数据缓存转发等功能。

底座网关采用软硬件一体化的嵌入式产品,采用热备冗余方式运行,任意单点故障不影响底座网关向底座服务器和云端系统转发数据。

考虑到现阶段车站设备尚未全面支持物联网接入方式,因此底座网关需要同时支持 Modbus 等工控协议和 MQTT(消息队列遥测传输)/CoAP(受限应用协议)等物联网协议。对于采用工控协议接入的设备,还需要进行工控测点模型与物模型实例的转换,满足底座网关与云端系统之间基于物模型实例数据交互的要求。

#### 3.2.2 底座服务器

底座服务器用于为车站数字化平台和车站业

务系统提供承载资源。

底座服务器通过池化其计算资源、存储资源和网络资源,实现底座服务器资源的统一调度管理,并为相关业务提供虚拟主机或容器服务。

底座服务器应提供 HA(高可用性),可在物理机发生故障后自动迁移/重新启动虚拟机。

底座服务器应采用柔性的、易扩展的结构,可根据承载业务的资源需求,弹性扩展其计算/存储资源。

### 3.2.3 车站数字化平台

车站数字化平台是车站数字底座的平台软件,是车站数据汇聚处理的管控平台。

车站数字化平台主要由设备监控服务模块、视频监控服务模块、音视频信息服务模块和配套的应用开发工具等构成。其中,设备监控服务模块、视频监控服务模块和音视频信息服务模块采用微服务架构,提供特定的专业服务能力,为相关专业的应用系统开发提供支撑。

车站数字化平台提供标准化的数据服务接口,包括 Restful API 服务接口和基于 MQTT 的数据订阅/发布服务接口。

车站数字化平台是开放的、可不断扩展的,如对于新型智能系统的承载,可按需扩展智能视频分析、客流预测、故障预警、可视化引擎等赋能模块。

### 3.3 车站设备接入方案

按照循序渐进的原则,具备条件的车站设备直接接入车站数字底座,打破专业限制,简化层级架构。

与防灾和安全相关的系统专业可暂时采用专业控制器接入车站数字底座的折中方案,由专业控制器汇聚现场设备信息并统一转发至车站数字底座。待研究成熟后,适时取消专业控制器,实现全部现场设备直接接入车站数字底座。具体的车站设备接入方案如图 4 所示。

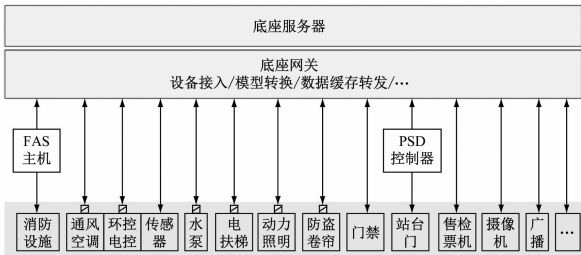


图 4 车站设备接入方案

Fig. 4 Station equipment access plan

考虑到车站设备分散布置在车站现场各区域,因此可设置现场光纤环网,作为不同区域设备的接入网络。

车站设备直接接入车站数字底座后,系统专业的监控功能由其部署在底座中的专业应用模块实现。

### 3.4 车站综合应用开发

设置车站综合应用系统,作为车站运营管理的业务支撑系统。

车站综合应用系统以车站数字化平台为基础,依托车站数字化平台提供的能力、数据和组态工具进行应用开发,实现图形界面展示和监控功能。

车站综合应用系统采用模块化设计,除包括设备监控、客流监测等传统车站业务应用模块外,还可包括跨专业的场景联动应用模块和智慧车站应用模块。

车站综合应用系统采用 B/S(浏览器/服务器)架构,以提升跨专业异构系统的融合展现能力。

车站综合应用系统由车站数字底座承载。

## 4 测试验证

上海地铁在智慧车站建设的基础上,开展车站数字化转型与车站数字底座的深化研究,并在实际运营车站试点应用,已取得较好的应用效果。

试点工程首先为 56 类车站设备创建物模型,并完成通风空调、给排水、动力照明、电梯扶梯、卷帘门、消防专用设备、售票机、检票机、摄像机、广播台及导乘屏等 1 748 台设备的接入和数据汇聚。以此为基础,开展车站综合应用系统的组态开发。

试点工程除提供 FAS、BAS(环境与设备监控系统)、AFC、CCTV(闭路电视)、PA(公共广播)/PIS(乘客信息系统)等专业应用模块和场景联动应用模块外,还提供智慧车站和智能运维等业务应用模块,实现统一技术架构下的多源异构系统融合展现。

测试结果表明,融合系统的控制命令响应时间小于 2 s,设备状态变化响应时间小于 2 s,系统整体性能满足 GB/T 50636—2018《城市轨道交通综合监控系统工程技术标准》的规定和车站业务管理的要求。

## 5 结语

数字化转型是城市轨道交通行业高质量发展

的重要驱动力量。车站数字化是城市轨道交通行业数字化转型发展的基础,是智慧地铁建设的重要抓手。针对近年来不断涌现的新型智能系统,多为分立建设、缺乏整体规划等不足,本文基于云边端总体架构,提出车站数字底座的设计方案。该设计方案为传统机电专业系统和新型智能系统设计提供了统一的技术框架,实现了设备统一接入、数据统一管理和业务综合承载,实现了异构系统的集成融合,为车站数据高效利用和业务驱动升级提供技术条件,为城市轨道交通行业整体数字化转型提供解决方案。

## 参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通, 2020(4): 8.  
China Association of Metros. Outline of smart urban rail transit development in China[J]. China Metros, 2020(4): 8.

- [2] 王大庆. 数字技术赋能智慧轨道交通[J]. 质量与标准化, 2021(6): 6.  
WANG Daqing. Digital technology empowers smart rail transit[J]. Quality and Standardization, 2021(6): 6.
- [3] 农兴中, 史海欧, 袁泉, 等. 城市轨道交通工程 BIM 技术综述[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(3): 451.  
NONG Xingzhong, SHI Haiou, YUAN Quan, et al. Review on BIM technology used in urban rail transit projects[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(3): 451.
- [4] 刘纯洁. 上海智慧地铁的研究与实践[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(6): 1.  
LIU Chunjie. Research and application of Shanghai smart metro[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(6): 1.
- [5] 刘纯洁, 蔡佳妮. 智慧地铁建设路径及实施方法[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(6): 1.  
LIU Chunjie, CAI Jiani. Construction path and implementation method of smart metro[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(6): 1.

(收稿日期:2023-02-22)

(上接第 5 页)

类似枢纽及枢纽片区规划建设提供参考与借鉴。

## 参考文献

- [1] TANG Z, BI H, SUN J, et al. Research on the cooperation relationship and the development of city-industry integration of urban agglomeration under the effect of HSR[J]. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11: 1082664.
- [2] SU L, JIA J. Coupling coordination degree of city-industry integration in Shanghai based on entropy evaluation method[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2022, 2022: 1.
- [3] JÓZWIK A. Modernization of Saint Pancras and King's Cross railway stations in London[J]. Civil and Environmental Engineering Reports, 2015, 18(3): 65.
- [4] HOLGERSEN S, HARETAD H. Class, community and communicative planning: urban redevelopment at King's Cross, London[J]. Antipode, 2009, 41(2): 348.
- [5] 贺传皎, 王旭, 邹兵. 由“产城互促”到“产城融合”: 深圳市产业布局规划的思路与方法[J]. 城市规划学刊, 2012

(5): 30.

- HE Chuanjiao, WANG Xu, ZOU Bing. Spatial integration of industrial and multiple urban functions[J]. Urban Planning Forum, 2012(5): 30.
- [6] 彭其渊, 姚迪, 陶思宇, 等. 基于站城融合的重庆沙坪坝铁路综合客运枢纽功能布局规划研究[J]. 综合运输, 2017, 39(11): 96.  
PENG Qiyuan, YAO Di, TAO Siyu, et al. Research on function layout plan of Chongqing Shapingba railway integrated passenger hub based on station city integration[J]. China Transportation Review, 2017, 39(11): 96.
- [7] 陶思宇, 冯涛. “站城融合”背景下新型铁路综合交通枢纽交通需求预测研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(7): 80.  
TAO Siyu, FENG Tao. A study on traffic demand prediction of new railway integrated transport hub under the background of 'integration of stations and cities'[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(7): 80.

(收稿日期:2023-07-11)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址: [tougao. umt1998. com](http://tougao. umt1998. com)