

# 全自动运行线路智能运控系统设计方案

李德堂

(深圳地铁建设集团有限公司, 518035, 深圳)

**摘要** [目的]随着城市轨道交通装备产业技术的快速发展和应用的不断成熟,城市轨道交通运营自动化程度不断提升。全自动运行系统因其具有高安全、高可靠、高效率的优势正被很多城市采用。全自动运行系统在提升运营安全与效率的同时,对行车调度员在融合分析与智能决策、应对复杂运营场景能力、扩展段场管理职责等方面提出了全新要求。为辅助行车调度员更快速、更高效地获取信息并作出决策,需对ATS(列车自动监控)系统进行智能化功能扩展。[方法]基于全自动运行线路安全智慧化运营、智能应急决策、智能应急处置等运营需求,提出了全自动运行线路智能运控系统。介绍了智能运控系统的方案构建,系统架构及系统外部接口,并对行车融合信息拓展、供电臂行车卡控、全自动运行图编辑、客流分析与行车评估、故障及应急指挥以及段场智能协同等功能模块的性能优化设计进行了深入分析。[结果及结论]深圳地铁16号线智能运控系统运用实践表明,对全自动运行线路ATS系统进行智能化功能扩展后,不仅提升了线路运营效率,更增强了全自动运行系统的安全性和可靠性,显著提升了运营管理智能化水平、系统对复杂运营环境的适应能力和对突发事件的快速反应能力。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行系统;列车自动监控;智能运控系统;行车调度

**中图分类号** U29-39

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.10.052

## Design Schemes for FAO Line Intelligent Operation and Control Systems

LI Detang

(Shenzhen Metro Construction Group Co., Ltd., 518035, Shenzhen, China)

**Abstract** [Objective] With the rapid development of technologies in urban rail transit equipment industry and the continuous maturation of their application, the automation level of urban rail transit operations is steadily increasing. FAO (fully automatic operation) systems, featuring high safety, high reliability and high efficiency, are being adopted by many cities. While improving operational safety and efficiency, FAO systems propose new requirements on train dispatchers in areas such as integrated analysis and intelligent decision-making, handling ability of complex operational scenarios, and extended

management responsibilities within depots. To assist dispatchers in acquiring information more quickly and making decisions more efficiently, it is necessary to enhance the ATS (automatic train supervision) system with intelligent features. [Method] Based on the operational needs for secure and intelligent management, smart emergency decision-making, and intelligent emergency response on FAO lines, a design for FAO line IOC (intelligent operation and control) system is proposed, its framework, architecture, and external interfaces are introduced. A detailed analysis is conducted on the performance optimization design of functional modules, including integrated information expansion for train operation, power arm traffic control, fully automated timetable editing, passenger flow analysis and operational evaluation, fault and emergency command, and smart depot collaboration. [Result & Conclusion] The practical application of the IOC system on Shenzhen Metro Line 16 demonstrates that the intelligent expansion of FAO line ATS system not only improves line operational efficiency, but also significantly enhances the safety and reliability of FAO system. It markedly boosts the level of intelligent operation management, the system adaptability to complex operational environments, and the capacity for rapid response to emergencies.

**Key words** urban rail transit; FAO system; automatic train supervision; intelligent operation and control system; train dispatching

全自动运行线路是城市轨道交通运营自动化水平的重要标志,其优势在于能够提高运营效率、降低人力成本、提升服务质量和安全性。然而,这种模式也对行车调度员的岗位职能提出了全新的要求。在面对复杂运行场景时,行车调度员需要更快速、更高效地获取信息并作出决策判断。能够提供智能化辅助的ATS(列车自动监控)系统是支持行车调度员决策的重要工具,其智能化水平的提升是城市轨道交通发展的必然趋势。

本文主要分析深圳地铁16号线智能运控系统的设计方案,旨在为其他城市轨道交通线路的智能

化升级提供借鉴和启示。

## 1 全自动运行线路运营需求

相较于传统线路,全自动运行线路在既有的行车调度基础上,对如何融合日益增长的多专业数据并实现自动化、智能化、一体化管理提出了新的需求与挑战。

1) 多专业信息监控与集成。随着全自动运行技术的发展,城市轨道交通跨专业系统集成趋势愈发明显,传统独立运行的系统已不能满足融合分析、智能决策等智慧化需求,需要集成多专业设备系统数据的一体化系统,实现多专业信息融合与智能联动。

2) 复杂运营场景管理。全自动运行系统要求行车调度员能够处理各种运营场景,尤其是在故障和应急情况下,调度员需迅速采取行动。智能应急决策、智能应急处置方案等功能可帮助调度员迅速获取故障信息,并根据系统提供的流程指引,有效应对和处置各类场景,以减少对运营的影响。

3) 场段管理职责扩展。全自动段场的引入要求将行车调度员的管理职责扩展到段场作业,包括对段场内多种作业类型的协调与管理、段场与正线的全自动联动等,这进一步增加了对行车调度员在全系统行车管理方面的要求。

## 2 传统 ATS 系统现状

传统 ATS 系统主要面向行车调度,为调度员提供与行车组织直接相关的线路设备状态、列车运行等信息,自动监控列车按照在线运行计划行车。

1) 工作站界面。传统 ATS 系统与综合监控系统、综合通信系统等分属不同系统,各系统分别设置了独立的服务器、工作站及人机界面,各系统之间接口信息少。既有模式下的行车调度和其他调度基本相互独立,无法准确把握设备故障对行车的影响范围。故障应急处置时,行车调度需在其他调度协助下,依赖个人经验分析故障影响并作出行车调整决策,异常处置操作繁多,存在信息掌握不全面、容易遗漏等问题。

2) 智能联动。传统 ATS 系统与其他强电/弱电系统未建立协同联动关系,无法获取准确的跨系统运营约束条件,未实现跨系统智能联动。例如,传统 ATS 系统不采集供电臂信息,无法进行单个供电臂列车最大数量自动监测卡控,不能根据列车位

置及区域列车数量自动扣车和取消扣车,且容易引起跳闸导致故障扩大。

3) 运行图编制及调整。传统 ATS 系统不支持根据客流数据自动铺图,编制离线运行图耗时较长;ATS 系统的当前计划运行图与实时客流无关联性,无法结合实际客流动态调整运行图,以实现运能的精准投放。当遇到突发大客流时,ATS 系统无法主动为行车调度提供运营调整辅助决策。

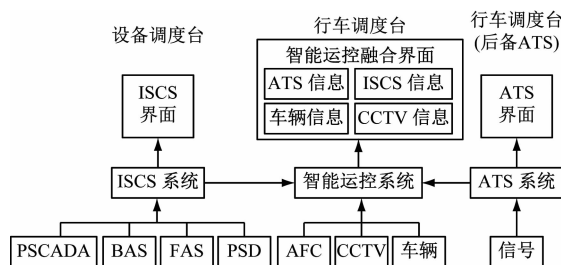
4) 场段管理方式。场段承担大量运维作业,在正常运营及突发大客流或故障时需要与正线行车密切协同。既有场段运维作业以人工管理为主,而正线运行列车则处于全自动监控状态,这种场段与正线自动化管理水平的不匹配制约了线路的运营效率,因此场段管理方式迫切需要提升至与全自动运行正线相匹配的水平。

全自动运行线路对行车调度员提出了更高的技能要求和更复杂的管理任务,为了应对这一挑战,深圳地铁 16 号线在建设过程中引入了智能运控系统。

## 3 智能运控系统设计方案

### 3.1 方案构建

全自动运行线路智能运控系统的构建方案有两种:一是以 ATS 系统为核心,将智能运控功能整合入 ATS 系统;二是增设一套独立的软硬件以实现 ATS 系统扩展智能运控的功能。为减少对既有 ATS 系统的影响,深圳地铁 16 号线智能运控系统采纳第二种方案构建一体化智能运控系统,其示意图如图 1 所示。



注:ISCS—综合监控系统;PSCADA—电力监控系统;FAS—火灾报警系统;BAS—环境与设备监控系统;PSD—站台门;CCTV—视频监控;AFC—自动售检票。

图 1 一体化智能运控系统构建方案示意图

Fig. 1 Diagram of integrated intelligent operation and control system construction scheme

该方案在既有 ATS 系统基础上,拓展 ISCS 的

相关的业务,包括 PSCADA 系统、FAS、BAS、PSD 系统、PIS(乘客信息系统)、PA(广播)系统等,并集成 CCTV 系统、AFC 系统和车辆系统等的业务;新增 1 套智能运控冗余服务器及磁盘阵列,分别为 3 个行调席位、1 个主任调席位各增设 1 套智能运控工作站,增设的智能运控工作站和既有 ATS 系统工作站通过 KVM(多计算机切换器)将视频信号切换到调度席位的显示器。此外,在网管室增设 1 套智能运控网管工作站,专门用于系统的维护和调试。

该方案满足以下设计原则:

1) 在既有 ATS 系统的基础上,通过增加独立的软硬件来扩展智能运控功能。在智能运控系统维护和升级过程中,调度员可切换到既有独立 ATS 系统,保证运营的连续性。

2) 既有 ATS 系统与扩展智能运控部分采用热备布置,通过 KVM 切换即可实现两者功能切换。

3) 正常情况下,行车调度员通过智能运控系统  
进行行车调度,以提高调度指挥效能。如果智能运  
控系统发生故障,行车调度员可迅速切换至既有独  
立 ATS 系统继续进行行车调度。

4) 软件和数据基线相同,既有 ATS 系统和智能运控系统不会因为系统升级影响软件和数据兼容性。

5) 通过设置智能运控网管工作站,系统的维护、升级和调试操作均在网管工作站进行,不占用调度员的工作站资源。

### 3.2 系统架构

一体化智能运控系统基于统一数据总线,新增数据融合分析系统,实现数据共享、数据融合实时分析,智能决策后给出相应的 PIS、PA 等命令的操作建议。一体化智能运控系统架构如图 2 所示。

### 3.3 外部接口设计

外部接口是智能运控系统实现信息共享和技术协同的关键。一体化智能运控系统与外部的接口包括与 ISCS 接口、与 CCTV 系统接口、与车辆系统接口及与 AFC 系统接口。

1) 智能运控系统 与 ISCS 接口。该接口利用既有物理接口,通过应用协议获取影响列车运行的关键设备状态及告警信息,如 PSCADA、BAS、FAS、PSD 等各类设备的接口信息。

2) 智能运控系统与 CCTV 系统接口。通过该接口实现对车站及车载摄像头的视频调阅、云台控制以及摄像头的设备状态监视功能,能够迅速获取

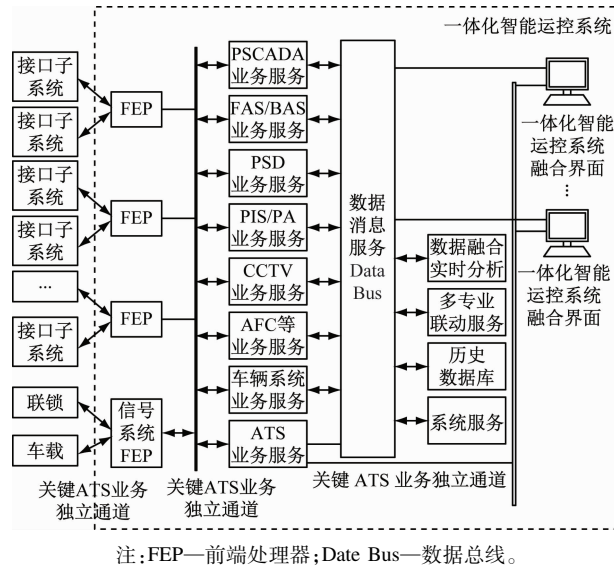


图2 一体化智能运控系统架构图

图2 一体化智能运控系统架构图

Fig. 2 Architecture diagram of integrated intelligent operation and control system

现场实时图像,提高应急响应和安全监控的能力。

3) 智能运控系统 与车辆系统接口。通过该接口从车辆系统获得列车的运行状态和列车设备故障信息,发送系统对车辆设备的联动控制命令,实现对列车设备的系统联动控制功能。

4) 智能运控系统与 AFC 系统接口。通过该接口获取车站实时进出站客流信息及历史客流信息,为客流分析和运营决策提供数据支持。

### 3.4 功能优化设计

以故障及应急指挥功能模块为例。针对不同的道岔设备,智能运控系统提供一套统一的预案处置流程。道岔失表故障告警触发道岔故障预案处置流程,维保人员按照流程排除故障。智能运控系统自动收集并呈现每个流程节点所需信息,自动判断满足执行下一步处置流程的条件。智能运控系统不仅提高了故障处置效率,也提高了运营安全保障和乘客服务质量。

基于实际运营需求,全自动运行线路智能运控系统针对6个功能模块进行了关键功能优化设计,如表1所示。

## 4 结语

深圳地铁 16 号线自开通运营以来,因采用了智能运控系统,显著提升了线路运营管理智能化水平,实现了部分岗位的复合,节省了 25% 的人力,故障处置时间节省了 30%,线路整体运营效率提升



表 1 智能运控系统关键功能优化方案

Tab.1 Key function enhancement scheme for intelligent operation and control system

功能模块	关键功能优化方案
行车融合信息拓展	为行车调度和主任调度席位扩展支持行车指挥的多专业融合信息,并以融合方式为行车调度员提供显示,方便行车调度员及时掌握多专业信息,提高在各种正常运营、故障处置和应急响应情况下的调度指挥效率
供电臂行车卡控	信号系统与供电系统联动,依据供电能力状态自动监控列车运行,防范单一供电区超过供电负荷而引发电力故障
全自动运行图编辑	通过对实时运营客流数据进行智能化分析,提供满足客流需求的列车开行方案,并实现全日运行图的全自动编辑功能,大幅压缩制定新运行图的时间,同时支持既有的第三方编图工具导入运行图功能
客流分析与行车评估	构建客流行车综合验算模型,采集车辆实时称重、AFC 系统清分等数据,实时获得运营客流数据;为行车调度员提供客流分析监测视图,实时掌握运能和客流满足情况,并对行车安排作出调整
故障及应急指挥	识别影响行车的故障及突发事件,为调度员提供准确的告警信息推送,同步提醒故障原因、故障影响范围、预计修复时间以及故障应急处置建议。对于需要立即作出操作响应的场景,智能运控系统按照运营预案实现自动联动。对于复杂的线路故障和紧急事件,智能运控系统为调度人员提供图形化的预案管理功能,将规程、要求进行电子化显示,并辅助以系统分析功能,支持调度人员准确高效开展处置,并确保处置过程的流程化和标准化
段场智能协同	为线路各段场的日常收发车作业管理提供智能化分析和自动化联动功能,提升段场作业效率;具备车辆调车作业计划管理功能,可以完成调车申请提交、流转审批,以及调车计划的智能辅助编制;当正线运营计划调整时(如列车故障、突发大客流等),需要投放备车、故障车下线、延长列车运营时间等,智能运控系统自动提供收发车计划、段场内调车和检修计划的调整建议,正线调度人员和段场调度人员确认后自动实现段场协同

20%。全自动运行线路 ATS 系统扩展智能运控功能设计方案在深圳地铁 16 号线的成功实施,不仅提升了线路运营效率,更增强了 ATS 系统的安全性和可靠性,提高了 ATS 系统对复杂运营环境的适应能力和对突发事件的快速反应能力。

参考文献

[1] 邓金柱. 全自动运行系统行车调度指挥功能提升探讨[J]. 技术与市场, 2023, 30(9): 58.  
DENG Jinzhu. Discussion on the improvement of traffic dispatching command function of automatic operation system[J]. Technology and Market, 2023, 30(9): 58.

[2] 朱莉, 胡恩华. 全自动无人驾驶一体化智能运控系统研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(10): 69.  
ZHU Li, HU Enhua. Research on fully automatic unmanned integrated intelligent transportation control system[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 69.

[3] 李晶, 杨艳锋, 李小鹏, 等. 面向多层次网络化的轨道交通行车调度指挥系统构建[J]. 铁道通信信号, 2023, 59(4): 62.  
LI Jing, YANG Yanfeng, LI Xiaopeng, et al. Construction of the traffic dispatching command system oriented to multi-level network rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2023, 59(4): 62.

[4] 丰文胜, 王永星, 薛强. 轨道交通全自动无人驾驶场景的新功能需求[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(2): 83.  
FENG Wensheng, WANG Yongxing, XUE Qiang. New functional requirements of fully automatic unmanned scene in rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(2): 83.

· 收稿日期:2024-05-31 修回日期:2024-06-12 出版日期:2024-10-10  
Received:2024-05-31 Revised:2024-06-12 Published:2024-10-10

· 通信作者:李德堂,高级工程师, lidetang@sohu.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 289 页)

National Railway Administration. Urban (suburban) railway design specification: TB 10624—2020[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2021:1.

[4] 卡斯柯信号有限公司. 一种适用于市域(郊)铁路的站后无人自动折返方法:CN5310189[P]. 2021-03-26.  
CASCO Signal Ltd. An unmanned automatic post-station turn-back method for urban (suburban) railway: CN5310189[P]. 2021-03-

26.

· 收稿日期:2024-06-04 修回日期:2024-07-10 出版日期:2024-10-10  
Received:2024-06-04 Revised:2024-07-10 Published:2024-10-10

· 通信作者:张清东,工程师, donghai\_0424@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license