

城市轨道交通全自动驾驶车辆基地创新研究^{*}

徐德培 史时喜 杨子亮

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安//第一作者, 助理工程师)

摘要 结合《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》, 分析了智能列车运行、智能运维安全、智能基础设施对城市轨道交通车辆基地建设的要求, 并从自动化场段、智能运维、智能机电设备等3个方面提出车辆基地的智慧化解决方案。

关键词 城市轨道交通; 全自动驾驶; 车辆基地; 智能运维
中图分类号 U279.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.028

Innovation Studies on Urban Rail Transit Fully Automatic Driving Vehicle Base

XU Depei, SHI Shixi, YANG Ziliang

Abstract Combined with "Development Outline of Smart City Rail Transit in China", the requirements of intelligent train operation, intelligent operation and maintenance safety, intelligent infrastructure for the construction of urban rail transit vehicle base are analyzed, intelligent solutions for vehicle base construction are put forward, including automatic depot, intelligent operation and maintenance, intelligent electromechanical equipment and others.

Key words urban rail transit; fully automatic operation; vehicle base; intelligent operation and maintenance

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

2020年3月, 中国城市轨道交通协会发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》(以下简称《纲要》), 构建了“1-8-1-1”智慧城轨发展蓝图, 指导和鼓励各城市有序推进智慧城轨建设。为此, 城市轨道交通车辆基地可从智能列车运行、智能运维安全、智能基础设施等3个方向进行创新。

1 智能列车运行

智能列车运行方面, 《纲要》提出完善、优化、推广列车全自动运行系统, 建立中国标准的智能全自动列车运行体系。FAO(全自动运行)系统, 是基于

现代计算机、通信、控制和系统集成等技术实现列车运行全过程自动化的新一代城市轨道交通系统。根据城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室和城市轨道交通全自动运行系统与安全监控北京市重点实验室联合发布的《城市轨道交通全自动运行系统建设指南》, 将FAO系统由正线引入至车辆基地后, 对车辆基地的建设提出新的要求。

1.1 FAO系统对车辆基地的要求

按全动车场进行车辆基地设计, 与正线系统配合, 实现列车全自动运行。车辆基地分类如表1所示。

1) 通过ATO(列车自动运行)系统提高出入段行车速度, 通过ATS(列车自动监控系统)自动排进路, 不需要出入段信号转换, 提高收发车的效率。

2) 提高段场内列车转线效率, 防止司机操作失误造成事故, 如冒进信号等。

3) 通过列车自动休眠、自动唤醒、自动自检及自动洗车等措施, 提高FAO系统运行的可靠性, 减轻司机劳动强度。

4) 实现列车运行状态信息自动传输, 配合检修信息化技术, 提高列车检修效率, 缩短故障处理时间。

1.2 全自动驾驶车辆基地功能变化

根据FAO系统对车辆基地的要求, 全自动驾驶车辆基地划分为全自动驾驶区和非全自动驾驶区^[1]。与人工驾驶车辆基地相比, 其主要功能存在如下变化。

1.2.1 新增功能

1) 新增全自动驾驶区域, 由信号系统实现列车的全自动驾驶。正线服务的列车自“唤醒”至“休眠”应全部纳入ATS时刻表管理与控制。

2) 新增全自动驾驶区域与非全自动驾驶区域的隔离设施, 并增设门禁系统。人员及车辆通过门

^{*} 陕西省重点研发计划项目(2020GY-182)

表 1 车辆基地分类

Tab.1 Vehicle base classification

车场类型	自动化等级	信号系统	自动休眠唤醒	自动洗车	应用实例
普通车场	GoA0(无 ATP(列车自动防护),目视下的人工驾驶)	车载超速防护系统	无	无	
自动化车场	GoA1(ATP 防护下的人工驾驶)	ATP 系统	无	无	北京地铁 7 号线、上海轨道交通 5 号线等
自动化车场	GoA2(半自动化列车运行,司机监督下的半自动驾驶)	ATO 系统	无	有	北京地铁 14 号线、武汉地铁 2 号线等国内大部分城市轨道交通线路
全自动车场	GoA3(有人值守下的列车自动运行(DTO))	FAO 系统	有	有	北京地铁首都机场线、上海轨道交通 17 号线、上海浦东国际机场旅客捷运系统、武汉轨道交通 21 号线
全自动车场	GoA4(无人值守下的列车自动运行(UTO))	FAO 系统	有	有	香港南港岛线、北京地铁燕房线、北京大兴国际机场线、上海轨道交通 10 号线、上海地铁浦江线、上海轨道交通 15 号线、上海轨道交通 18 号线、成都地铁 9 号线、太原地铁 2 号线、济南轨道交通 2 号线、广州珠江新城旅客自动输送系统

注:表中统计实例截至 2021 年 3 月已开通的城市轨道交通线路。

禁进入全自动驾驶区域时,必须得到控制中心授权。

3) 新增全自动驾驶区域若干防护分区的划分,并增设通往各防护分区的地下通道(当采用接触轨供电时为人行天桥)。停车列检库应设在全自动驾驶区域内,检查坑按 100% 设置。为方便管理,停车列检库应按每 2 股道划分 1 个防护分区,以减少列检作业对其他股道的影响。

4) 新增全自动驾驶区域 SPKS(人员防护开关)与信号、行车自动化的联锁功能。检修和清扫作业人员须通过库尾打开 SPKS 开关及门禁才可进入无人防护分区作业,多职能人员(兼司机)可从库中地下通道打开门禁通往指定列车登车随车上正线。

5) 新增列车自动唤醒、自检、起动列车并自动运行至正线等全自动驾驶新要求的功能。

6) 新增列车清洗机与信号系统的接口,实现全自动洗车功能。

7) 新增试车线全自动无人驾驶测试,包括列车休眠、唤醒、对位停车、自动开关门、列车自动换端等。

8) 新增全自动驾驶区车库内照明远程控制功能。

9) 新增段内调车信号转换功能。在全自动驾驶车辆基地,需要有 1 段轨道用于列车往返全自动驾驶区至非全自动驾驶区时的驾驶模式转换,通常可利用常规车辆基地的牵出线作为信号转换轨。

1.2.2 增强功能

1) 增强全自动驾驶区域火灾报警系统、广播系统、视频监控系统等功能,并增加各系统的联动功能。

2) 全自动驾驶区域车库大门增强为自动门,增加根据行车进路自动开闭功能。

2 智能运维安全

智能运维安全方面,《纲要》提出建立智能运维和安全保障体系,以提高列车日常检修效率,降低列车运维成本。实现高等级智能运维需要数据采集数字化、分析诊断智能化、管理系统信息化、工业生产自动化。其体系架构如图 1 所示^[2-3]。

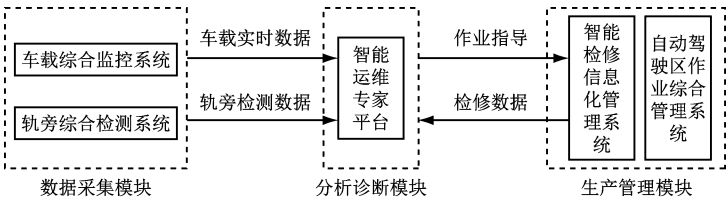


图 1 车辆基地智能运维体系架构

Fig. 1 Intelligent operation and maintenance architecture of vehicle base

2.1 车载综合监控系统

全自动无人驾驶模式下,控制中心调度员不但需要实时了解列车的运行位置,还要对列车车载设备、车厢环境等进行实时监控。设置 TISCS(车载综合监控系统),承担包括设备监控、车厢监控、乘客沟通、应急指挥在内的功能。

2.2 轨旁综合检测系统

轨旁综合检测系统由全车 360°视觉检测、轮对尺寸检测、踏面损伤检测、走行部温度检测、受电弓/集电靴检测等功能模块组成。在车辆基地入段线检测棚内轨道旁安装基于机器视觉、红外线、激光、超声探伤、声学等传感技术的检测装置,车辆经过时可自动检测车辆的外表故障、磨损件尺寸和内部损伤、走行部温度、车体外观等日常维保所需检测的信息,并将检测数据上传至控制中心智能运维专家平台。

也可在车辆基地运用库检查坑设置智能检修机器人辅助人工列检作业。利用机器人技术、机器视觉技术等多种控制技术及其先进算法,采集车底、车侧高清图像,通过图像处理技术提供故障判断和故障预警,提高检修质量及效率。系统包括检修机器人、配套设备(充电机、服务器、轨道等)及软件平台。

2.3 智能检修信息化管理系统

智能检修信息化管理系统通过对现场的检修、人员、设备、物料、备件、车辆履历等相关信息进行实时采集与控制,实现对车辆基地检修作业的全程可视化管控;通过大数据专家分析技术得到相关结论,并将其应用于现场作业指导、工艺优化、决策分析,达到控制检修成本、提高检修效率、保证检修质量的目的。该系统包括服务器、机柜、手持机、工作站、射频识别电子标签、监控大屏等配套设备和软件平台。

2.4 自动驾驶区作业综合管理系统

在列车自动出入库及库内作业的过程中,必须确保检修人员和设备安全。作业区是被隔离的区域,应将该区域与信号联锁,当列车静止时,才允许检修人员进入作业区;在整个作业过程中,必须对库内的作业区进行安全联锁控制,对隔离开关的关闭状态进行全程安全监控,确保作业区人员安全。

在车辆基地自动驾驶区设置作业综合管理系统。该系统集作业手续办理、接触网/轨综合接地、门禁管理、作业范围管理、实时监控、作业流程管理及评价、人员防护等功能于一体。系统组成如图 2 所示。

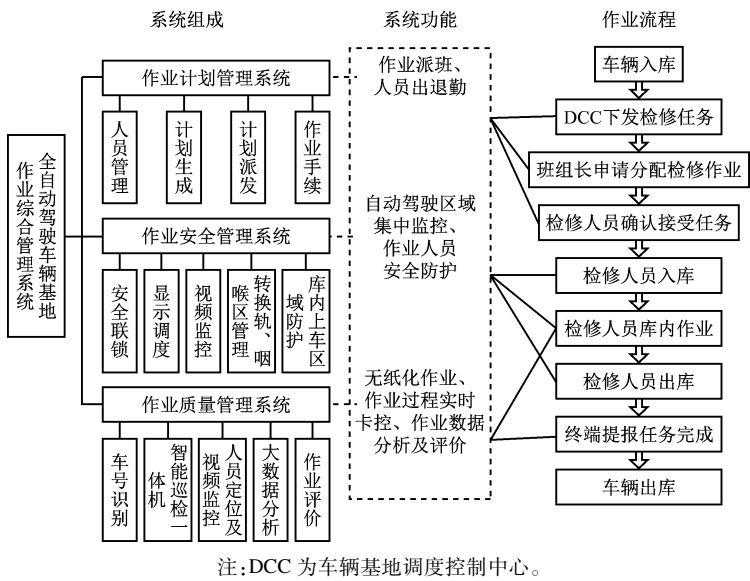


图 2 自动驾驶区作业综合管理系统功能组成

Fig. 2 Functional composition of the comprehensive operation management system for automatic driving area

2.5 智能运维专家平台

通过在控制中心配置相应数据中心服务器及远程监控平台,可实现智能运维各子系统数据的存

储、分析及展示功能等,方便地面人员掌握列车状态信息,以便快速做出应对反应。该平台包括机柜、服务器、监控大屏等配套设备及平台软件。

2.6 智能运维对既有运维模式、运维制度的改变

国内地铁车辆的维修制度通常采用定期计划性维修+临时故障性维修模式。车辆检修修程分为大修、架修、定修、三月检、双周检、列检共6级。目前亦有部分城市正在探索精益修、均衡修模式。

智能运维系统已在上海轨道交通17号线实现落地实施。通过MVB(多功能车辆总线)数据实时监控建立车辆设备状态远程可视化管理平台;通过车载视频远程监视建立应急指挥调度技术平台,辅助多职能人员快速排除故障,缩短故障解决时间;完善智能故障诊断策略、丰富预警规则,及时将故障消除在萌芽状态,进一步提高列车可靠性,减少清客、晚点发生的次数;通过轨旁智能检测将日检改进为8日检,降低日检频率和检修维护成本;由设备检代替人工检,显著提高检修作业效率。智能运维系统为逐步探索取消日检,为开展计划修向状态修转变提供数据基础和技术条件。

3 智能基础设施

智能基础设施方面,《纲要》提出运用各种类型传感、视频系统、周界防范系统、卫星遥感等检测、监测技术,形成完整的智能监测感知体系。车辆基地在基础设施方面可从通风、照明、消防、安防等方面提升智能化水平。

3.1 智能通风

运用物联网、人工智能、大数据和自动化技术,实现通风空调系统分析决策与联动调控的全程自动控制,即实现智能通风。例如,当有列车进行检修作业时,由BAS(环境与设备监控系统)根据列车停车位置动态开启对应的排风机,其他单体的通风机可采用温控型风机,通过监测室内温度控制风机间歇运行,实现无人化管理和低能耗运行。

3.2 智能照明

在智慧照明中,Air Lamp(商用物联网智能照明技术)主要提供人工本地控制、自动照明控制、集中控制和定时控制等4种控制方式。这些控制方式既可以实现无人干预、全自动、不依赖上位机(或上层业务应用)的控制,也可以通过WF-IoT(融合物联网技术)云管控平台进行个性化的大规模控制。

3.3 智能消防

车辆基地设置有车站级FAS(火灾报警系统),该系统可将其监控结果传输至本线的运营控制中心。FAS系统目前尚未实现系统的深度集成自动化管理,在一定程度上不同线路车辆基地间的消防资源是孤立存在的,无法达到资源的有效整合。因此,有必要统一联网,集中、实时监控联网单位消防安全状态,实现资源共享、统一调度。

3.4 智能安防

智能安防系统通过图像传输、图像存储、数据存储、数据处理、图像识别等模块,实现自动报警、监控和智能门禁等功能。该系统可有效弥补传统安防技术过渡依赖人工视觉判断等不足之处,推动车辆基地向智慧管理迈进。

4 结语

车辆基地智慧化解决方案的应用效益主要体现在提高检修作业效率、保障运维安全、提升车辆运营可靠性、降低检修维护成本、提升智能化水平等方面。全自动运行和智慧化场段的应用是城市轨道交通行业的发展趋势。本文的研究成果可为车辆基地的智慧化和智能化设计提供参考。

参考文献

- [1] 包峰,侯忠伟.城市轨道交通全自动运行系统运营场景分析[J].信息技术与信息化,2018(5):189.
BAO Feng, HOU Zhongwei. Analysis on operation scene of urban rail transit automatic operation system[J]. Information Technology & Informatization, 2018(5):189.
- [2] 刘丙林,朱佳,李翔宇.城市轨道交通车辆智能运维系统探索与研究[J].现代城市轨道交通,2019(6):16.
LIU Binglin, ZHU Jia, LI Xiangyu. Exploration and research on intelligent operation and maintenance system of urban rail transit vehicles[J]. Modern Urban Transit, 2019(6):16.
- [3] 郭泽阔,张艳兵,王璐.基于物联网技术的智慧运维在地铁车辆段的应用[J].都市快轨交通,2019(3):19.
GUO Zekuo, ZHANG Yanbing, WANG Lu. Application of depot intelligent control system in subway maintenance[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019(3):19.

(收稿日期:2020-12-07)