

城市轨道交通全自动运行线路车辆基地的安全防护关键技术及应用

陈春辉¹ 赵廷龙² 王 飞² 黄万亮²

(1. 深圳铁路投资建设集团有限公司, 518066, 深圳; 2. 成都运达科技股份有限公司, 611731, 成都)

摘 要 [目的] 现阶段城市轨道交通全自动运行线路车辆基地的安全防护能力与全自动驾驶技术匹配度不高, 未能最大限度发挥全自动运行技术在智能运维中的优势, 需结合运营场景来分析安全防护的关键技术。[方法] 通过总结城市轨道交通全自动运行系统的运营场景分类, 并基于车辆基地的安全防护需求, 梳理出相应的安全防护关键技术。[结果及结论] 车辆基地的安全防护需求为断送电防护、区域防护、入侵报警防护和综合调度显示。相应的安全防护关键技术为自动断送电技术、库区整体防护技术、作业区域防护技术、区域防入侵技术、列车接近报警技术和综合调度显示技术。结合成都、深圳和无锡等城市的全自动运行线路车辆基地应用实例, 探讨安全防护方面存在的不足, 并提出加快智能安全防护技术的深入研发和应用推广建议。

关键词 城市轨道交通; 全自动运行; 车辆基地; 安全防护
中图分类号 U298: U279.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.039

Key Technologies and Application of Safety Protection in Urban Rail Transit FAO Line Vehicle Depots

CHEN Chunhui¹, ZHAO Tinglong², WANG Fei², HUANG Wanliang²

(1. Shenzhen Railway Investment and Construction Group Co., Ltd., 518066, Shenzhen, China; 2. Chengdu Yunda Technology Co., Ltd., 611731, Chengdu, China)

Abstract [Objective] Nowadays, the safety protection capability of urban rail transit FAO (fully automatic operation) line vehicle depots is not well matched with the level of fully automatic driving technology, which is limiting the ability to maximize the advantages of FAO technology in intelligent operation-maintenance. Therefore, there is a need to analyze the key technologies for safety protection in accordance with the operation scenarios. [Method] By categorizing the operation scenarios of urban rail transit FAO systems and based on the safety protection requirements of the vehicle depots, relevant key safety protection technologies are sorted. [Result & Conclusion] The safety protection requirements of the vehicle dep-

ots include power interruption/connection protection, zone protection, intrusion alarm protection, and comprehensive scheduling display. Corresponding key security protection technologies involve automatic power interruption/connection technology, overall depot protection technology, operational zone protection technology, area intrusion prevention technology, train proximity alarm technology, and comprehensive scheduling display technology. By examining the application cases of FAO line vehicle depots in cities such as Chengdu, Shenzhen, and Wuxi, the shortcomings in safety protection are discussed, and recommendations are proposed to accelerate the in-depth research and application of intelligent safety protection technologies.

Key words urban rail transit; fully automatic operation; vehicle base; safety protection

城市轨道交通全自动运行线路(以下简称“全自动运行线路”)具有安全、高效、低成本等突出优点。截至 2020 年底,我国各城市已开通运营多条全自动运行线路。在其车辆基地内,列车仍采用全自动运行模式,这虽然能减少车辆基地检修作业的调度时间,降低人力成本,提高车辆基地工作效率,但也将引入新的安全问题^[1-3]。在工作人员较多的车辆基地,在常规作业、检查、设备维修等时,可能会有相关人员出现在轨行区,存在一定安全隐患。因此,如何同时做到更好地保障作业人员安全和列车正常运行是一个需要重点研究的课题。

文献[4]提出使车辆基地利用隔离栏分区作业。文献[5]提出车辆基地行车防护的建设思路,并进行功能的系统性设计,但未考虑对断送电关键项点的安全防护。文献[6]提出通过硬线接口将车库门机电控制电路接入全自动运行系统中,从而实现全自动运行列检库、洗车库的车库门安全防护。本文在既有研究成果基础上,进一步分析全自动运行线路车辆基地现场安全防护需求,并对关键防护

技术的实现进行深入研究。

1 安全防护需求

城市轨道交通全自动运行系统主要由 OCC(全线控制中心)、车辆基地(含 DCC(车辆基地控制中心))、列车、车站、接触网和供电、轨道、通信及信号等子系统组成。全自动运行系统已取消了传统人工驾驶系统中的司机常规工作职责及其紧急情况时的确认职责,故全自动运行系统的运营场景需重新划分。结合深圳地铁 20 号线现场运营现状及全自动运行系统的典型特征,全自动运行系统的运营场景如表 1 所示。

表 1 全自动运行系统的运营场景

Tab.1 FAO system operation scenarios

运行区域	运营场景
正线区域	站台发车、站台停车、换端折返
	降级运行、清客、跳停、扣车
	列车突发故障(牵引故障、制动故障、车门故障、网络故障、机械故障)
	救援(车辆冲突、脱轨、倾覆、轮对卡死)
车辆基地区域	早间上电、唤醒、自检、出库
	进入正线、列车回段、受电弓轮对检测
	日检、双周检、三月检、年检、架大修
	清扫、洗车、休眠

1.1 股道断送电的防护需求

我国既有动车组和普速列车均采用接触网 AC 25 kV 单向供电,地铁列车一般采用 DC 1 500 V 或 DC 750 V 供电。无论是采用何种供电制式,供电电压等级都远远超过人体安全电压。

部分采用第三轨供电技术的城市轨道交通线路接触轨安装在地面上,距作业人员较近。通常车辆基地检修作业多在夜间,故人员长时间夜间作业后易出现精神恍惚等情况,其触电风险较大。

目前,城市轨道交通车辆基地在对股道断送电时,通常以人工操作隔离开关驱动装置并手动举挂接地杆的方式完成断电作业,之后按规定作业顺序完成送电作业。此传统方法存在两大弊端,一是效率低下,二是触电风险较大。对此,运营单位要求股道断送电时期望作业人员能远离高压设备实现远程自动断送电。

1.2 库区整体防护需求

在我国,全自动运行线路的车辆基地占地面积

一般为 10 ~ 35 hm²,其轨行区覆盖范围较广。以成都武青车辆基地为例,其占地面积为 26.5 hm²,车辆基地由检修主厂房库、运用库、调机工程车库、镗轮库、洗车机库、轮对踏面检测棚、物资总库、试车线、办公区等多个功能分区组成。庞大的车辆基地需要按区域进行有效安全防护,尤其是全自动运行区的安全防护更加复杂。

现阶段,车辆基地一般实行保安值守,其人员进出防护区(包括整个运用库及关键区域)均采用纸质登记的方式,不仅进出通道效率低,而且权限控制不严格。对此,需对车辆基地的防护区进行智能化权限管理,只有得到授权的人员才有资格进入防护区,无授权的人员不能进入防护区。

1.3 作业区域的防护需求

车辆基地运用库内列位布局相对密集,一般包含数十条停车列检线。在全自动运行区域一般通过栅栏来实现列位之间的物理阻隔,从而防止交叉作业。受现场环境限制,同一场地内难免出现部分列位需带电作业,部分列位要进行无电检修的情况。可见,明确每个列位带电情况并对作业区域进行必要的安全防护十分必要。

1.4 区域入侵防护需求

在车辆基地全自动运行区域易出现作业人员与车辆发生碰撞及行车设施受到碰坏等现象。车辆基地咽喉区等关键区域防护一般通过智能门禁系统来管控。但受全自动运行系统特殊性的限制,在车辆基地运用库门口及不规则咽喉区附近等通道都无法实施物理阻隔和门禁管控。由此,需使用新技术来实现非物理实体阻隔防护。

1.5 列车接近的防护需求

在全自动运行模式下,列车出入车辆基地没有司机瞭望观察和鸣笛。当列车经过平交路口时,若周边作业人员察觉不及时,则存在被碾压风险。对此,需在特定区域设置列车接近检测装置和自动报警设备。

1.6 综合监控的显示需求

通过对大量全自动运行线路车辆基地 DCC 调度室的调研发现,很多车辆基地调度室的监控设备仍十分落后,没有配备拼接大屏,甚至采用磁吸式模拟屏用于显示各股道占有情况。部分车辆基地的生产调度仍依靠纸质单据传送和口呼手指,个别车辆基地全凭经验进行管控。传统生产作业方式留下的安全隐患是工作人员在未能准确掌握现场

情况下进行调车作业,在信息传递过程极可能失真,调度决策者一旦误判,带来的安全隐患将无法估量。因此,将现场作业人员状态、车辆股道占有情况、关键设备状态实时反馈至调度室,并通过电子占线板等形式综合展示出来的迫切需求。

2 车辆基地安全防护关键技术

基于运营场景分析和主要安全防护需求梳理,全自动运行线路的车辆基地安全防护需攻克六大关键技术:自动断送电技术、库区整体防护技术、作业区域防护技术、区域防入侵技术、列车接近报警技术、DCC 综合显示技术。

2.1 自动断送电技术

传统车辆基地通常通过小五防技术来实现断送电的。所谓小五防即:一防带负荷分合隔离开关,二防带接地杆分合隔离开关,三防带电挂接地杆,四防误入有电区,五防误操作(误分、误合断路器)。小五防技术虽在一定程度上解决了隔离开关分合闸的顺序问题,但其主要通过人工依次打开锁具的方式来实现断送电,并不是真正意义上的自动断送电。

全自动运行线路车辆基地通过工业级 PLC(可编程逻辑控制器)主动采集隔离开关、验电装置及门禁等关键设备的实时状态,并在 PLC 内部置入安全联锁程序,通过干触点与隔离开关柜驱动机构控制信号串联,来实现远程控制股道断送电。

通过类似的手段还能实现列位自动验电功能。

2.2 库区整体防护技术

采用库区整体防护技术时,需在防护区智能门禁前设置穿戴识别装置,既要审核进入防护区作业人员的权限,又要能检测作业人员防护着装。

穿戴识别装置通过图像识别技术判断作业人员是否穿戴安全帽、防护服、绝缘鞋。只有人员的穿戴识别验证通过后,防护区门禁才允许激活。在门禁处还需设置人脸识别机,只有正常请点且通过穿戴识别的人员才能通过人脸识别机打开门禁电控锁。同时在门禁处设置客流计,对尾随通过人员进行警报提醒。

2.3 作业区域防护技术

作业区域防护技术主要针对日检、双周检等单列位作业股道进行安全防护。

在作业股道的列头、列中及列尾部位依次设置 LED(发光二极管)有无电显示屏,通过 PLC 控制终端将断送电结果及验电结果实时传至显示屏,并进

行字幕提醒。对股道周界通过光栅及灯带等手段,实现特定区域防护,若有作业人员误入非作业股道,则立刻实时报警,并通过视频联动技术对入侵人员进行抓拍警示。

2.4 区域防入侵技术

区域防入侵技术主要由虚拟区域设定和入侵行为检测两部分组成。与传统物理阻隔相比,区域防入侵技术的应用更加灵活。

在虚拟区域设定中,一般可通过对射式光电传感器并结合防护点现场情况部署构建虚拟防护区域。目前比较流行的虚拟区域划分通过拌线入侵检测实现,即在图像数据中对防护区域进行划分。

入侵行为检测方式跟虚拟区域的设定技术密切相关,比如通过对射式光电传感器布局的防护区域,其检测方式主要是通过判断红外线是否被遮挡来判断闯入行为;通过虚拟拌线布防的入侵检测设备,主要是利用图像算法识别技术,判断是否有物体跨过预设拌线且符合标定方向,并对人、动物、车辆进行数值分析与模型训练,实现对入侵体类别的准确判断。

2.5 列车接近报警技术

时刻检测车辆基地内车辆股道占有情况及车辆运行状态,有助于合理安排调车作业,同时能有效降低全自动运行车辆碾伤股道周界作业人员风险。解决思路:在股道两侧安装车位传感器,对经过地铁车辆进行实时检测,并通过控制装置直接触发现场声光报警装置,从而实现列车接近报警。与此同时,也可通过 AI 识别摄像机对列车号进行图像识别,将段内车辆运行状态推送至电子占线板,供调度人员掌握。

2.6 DCC 综合显示技术

DCC 综合显示技术旨在为调度人员提供整个车辆基地生产运作的实时状态信息,实现调度远程、可视化管理。解决思路:通过 PLC 采集现场将股道有无电情况、车辆占有情况、门禁状态、关键设备状态、防护区作业人员授权和销权情况等,实时传送至 DCC 信息化系统进行综合显示。在防护区通过安装摄像机对关键设备和列位通道等进行全域监视,将现场安防图像滚动式展示在调度室拼接大屏上,供管理人员掌握。

3 应用实例

城市轨道交通全自动运行线路建设应用的时

间并不长,其车辆基地安全防护配套设施仍处于不断完善的过程中。在近期现场调研中发现,深圳地铁 12 号线、深圳地铁 20 号线、无锡地铁 4 号线、成都地铁 9 号线的车辆基地均存在安全防护升级的需求,且都已采用了自动断送电技术、库区整体防护技术、DCC 综合显示技术。其中无锡地铁 4 号线仅应用了作业区域防护技术、穿戴识别防护技术;深圳地铁 20 号线新增配置区域防入侵防护技术,对无权限人员非法入侵轨行区进行实时监控和警告。深圳地铁 12 号线新增配置列车接近报警技术,有效保障了轨行区作业人员安全。

成都地铁 9 号线于 2020 年底开通运营,为西南地区首条地铁全自动运行线路。其车辆检修基地为武青车辆基地,有停车列检线 16 股道 32 列位,周月检 4 股道 4 列位,定临修 4 股道 4 列位。武青车辆基地主要承担 9 号线全部车辆的日检、周月检、定修、临修及部分车辆的停放任务等。武青车辆基地的信号设备、全自动运行管理系统、声光报警设备、地下通道、人员防护开关、有无人转换区、全自动运行试车线、全自动洗车线等安全防护设施在传统车辆基地的基础上进行了技术创新升级,以提高全自动运行模式下的检修运用效率。然而,武青车辆基地的库区整体防护技术,未采用当前比较成熟的人脸权限识别装置,也未采用作业区域防护技术、区域入侵技术和列车接近报警技术。

值得一提的是,在区域防护方面,武青车辆基地用颜色将作业区直观地划分为两个不同的分区,并分别采用不同的管理模式:粉色为全自动运行区,蓝色为非全自动运行区。全自动运行区的管理显然更加严格。

4 结语

车辆基地是城市轨道交通系统重要组成部分。随着全自动运行技术持续推广,车辆基地应安全、可靠、高效的运行,有效实现智能安全的防护。

经现场调研发现,全自动运行线路车辆基地的最紧迫防护需求主要体现在断送电防护、区域防护、入侵报警防护和综合调度显示 4 个方面。根据对全自动运行车辆基地运营场景分析和现场安全防护需求,梳理出 6 项车辆基地安全防护关键技术——自动断送电技术、库区整体防护技术、作业区域防护技术、区域防入侵技术、列车接近报警技术和 DCC 综合显示技术。

由成都、深圳及无锡等城市的全自动运行线路车辆检修基地应用实例可知,现阶段全自动运行线路的车辆基地安全防护技术仍有提高改善的空间,亟需加快智能安全防护技术的深入研发和应用推广。

参考文献

- [1] HUANG W, CAO X, WEN Z, et al. A subscale experimental investigation on the influence of sanding on adhesion and rolling contact fatigue of wheel/rail under water condition[J]. Journal of Tribology, 2017, 139(1): 011401.
- [2] 肖瑞金. 轨道交通全自动运行车辆段设计研究[J]. 都市轨道交通, 2018, 31(1): 58.
XIAO Ruijin. Design of the metro depot for urban rail transit with fully automatic operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(1): 58.
- [3] 郎佳宁. 一种面向全自动运行地铁驾驶界面布局设计方法的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
LANG Jianing. Research on a design method of driving interface layout for fully automatic operation metro[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [4] 汪小勇. 城市轨道交通自动化车辆段和停车场的关键功能分析[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(2): 53.
WANG Xiaoyong. Analysis of key functions of automatic depot and parking yard in urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(2): 53.
- [5] 张平. 地铁场段行车安全防护系统的需求分析[J]. 现代信息技术, 2019, 3(22): 46.
ZHANG Ping. Demand analysis of traffic safety protection system in subway section[J]. Modern Information Technology, 2019, 3(22): 46.
- [6] 张强, 张扬, 刘波, 等. 城市轨道交通全自动驾驶列检库、洗车库的车库门安全防护方案[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(1): 132.
ZHANG Qiang, ZHANG Yang, LIU Bo, et al. Safety protection scheme for FAO train checkup shed and washing garage door[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(1): 132.
- [7] 刘鹏翔. 城市轨道交通全自动驾驶运营安全分析与列车运行模拟仿真[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
LIU Peng'ao. Operational safety analysis and train running simulation of fully automated operation urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.

· 收稿日期:2022-06-23 修回日期:2022-08-11 出版日期:2024-01-10
Received:2022-06-23 Revised:2022-08-11 Published:2024-01-10
· 第一作者:陈春辉,高级工程师,294040364@qq.com
通信作者:黄万亮,工程师,1093551201@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