

城市轨道交通全自动运行车辆基地设计

石鹏鹏¹ 王亚丽² 金健¹ 李栋²

(1. 南京地铁建设有限责任公司, 210014, 南京;

2. 中铁上海设计院集团有限公司, 200042, 上海//第一作者, 工程师)

摘要 为满足城市轨道交通列车 FAO(全自动运行)需求,需在传统车辆基地的基础上对 FAO 车辆基地进行设计。分别从车辆基地的总平面布置和转换轨设置、SPKS(人员防护开关)控制区域、停车列检库防护分区、横向通道和专用登车通道设置、FAO 区域股道有效长、停车列检库线间距与检查地沟、列检作业门禁系统、FAO 区域库门、洗车机新增功能、车辆基地的管理模式、安全防护措施与智能管控系统等方面进行了阐述。总结了 FAO 车辆基地和传统车辆基地设计的差异性。以南京地铁 7 号线马家园车辆段为例,重点介绍了总平面布置和转换轨设置、防护分区、专用通道及门禁设置等与 FAO 相关的设计内容。

关键词 城市轨道交通;全自动运行;车辆基地;设计

中图分类号 U279

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.039

Urban Rail Transit FAO Vehicle Base Design

SHI Pengpeng, WANG Yali, JIN Jian, LI Dong

Abstract To meet the urban rail transit train FAO (fully automatic operation) demands, FAO vehicle base design needs to be carried out based on the conventional vehicle base. The design of FAO vehicle base is expounded, including the general layout and switching track arrangement, SPKS (staff protection key switch) control area, parking inspection garage protection area, lateral passage and special boarding passage setting, effective length of FAO area stock track, parking inspection garage line spacing and inspection ditch, line inspection work access control system, FAO area garage door, train washing machine new functions, vehicle base management mode, safety protection measures, intelligent management and control system. The differences between the design of FAO and conventional vehicle bases are summarized. Taking the Majiayuan Vehicle Depot of Nanjing Metro Line 7 as an example, the design contents related to FAO are emphasized, such as the general layout and switching track arrangement, protection area, special passages and access control settings.

Key words urban rail transit; FAO; vehicle base; design

First-author's address Nanjing Metro Construction Group

Co., Ltd., 210014, Nanjing, China

城市轨道交通 FAO(全自动运行)系统拥有众多优势,在综合运用多项先进技术的基础上,可实现列车自动唤醒起动和休眠、自动出入停车场、自动清洗、自动行驶、自动停车、自动开关车门及故障自动恢复等功能,并具有常规运行、降级运行、运行中断等多种运行模式,这些高度自动化功能可有效增加运能,大大提高运营效率。

城市轨道交通 FAO 线路涉及车辆、信号、通信、车辆基地、站台门、控制中心及综合监控等技术方案和功能需求,与传统线路在系统方案、运营管理及救援方式等方面存在差异。对车辆基地而言,FAO 条件下总平面布置需考虑转换轨设置、FAO 区与非 FAO 区划分、SPKS(人员防护开关)控制区域划分、停车列检库防护分区及横向通道设置等,此外还需加强门禁系统、安全防护措施、智能管控系统等。

南京地铁 7 号线自西善桥站至仙新路站,全长约 36 km,为南京市首条 FAO 线路,初、近、远期均采用 B 型 6 辆编组列车,在线路两端分别设西善桥停车场和马家园车辆段。本文着重论述 FAO 条件下的车辆基地(尤其是停车列检库)适应性设计内容。

1 FAO 车辆基地的设计内容

FAO 车辆基地的设计内容主要包括:

1) 总平面布置及转换轨设置。FAO 车辆基地在总平面布置时需考虑 FAO 区和非 FAO 区的划分,并设置转换轨用于信号模式的转换。一般将停车列检库、洗车库线群纳入 FAO 区,将周月检库、定临修库、镟轮库及调机工程车库等线群纳入非 FAO 区,两个区域不宜间隔布置并进行物理分割。FAO 车辆基地总平面布置通常有并列式、倒装式、纵列

式等形式。根据地形条件,转换轨可以设在牵出线、走行线或联合检修库前,以工艺流程顺畅、出入高效为原则,并满足 FAO 所需的安全距离要求。

2) SPKS 控制区域。SPKS 是工作人员防护钥匙开关,可对其控制范围内的 ATC(列车自动控制)区域进行 FAO 封锁和解封,封锁后其控制范围内禁止 FAO 列车移动。将车辆基地 ATC 区域分为若干分区,每个分区均应由 1 个 SPKS 进行防护。车辆基地 SPKS 应设置在 DCC(车辆段控制中心)内,并配以防护范围图示及显示灯。

3) 停车列检库防护分区。停车列检库防护分区的划分要兼顾安全与效率的原则,分区越大,有效作业时间越少,门禁管理越简单。可根据实际情况按 2~3 股道划分为 1 个分区。

4) 横向通道和专用登车通道设置。各防护分区间设置物理隔离,入口至分区以及分区之间可通过库内地下通道、架空通道或库后平交道等专用通道贯通,且每个股道均设置满足司机、车内清扫及车下工作人员进入的专用登车通道。对于接触网供电的车辆,为减小停车列检库净空高度以及避免发生触电危险,大多采用地下通道,而接触轨供电的车辆停车列检库可采用人行天桥。

5) FAO 区域股道有效长。停车列检库、转换轨(牵出线)、洗车线股道有效长需考虑 ATP(列车自动防护)信号安全防护距离,确保 FAO 区域列车和人员安全。尽端式车库库线止轮器距车档距离不应小于 15 m;两列位停车列车之间的车钩距离不应小于 20 m。股道有效长组成详见表 1。当条件困难时,尽端式股道可采取滑动式液压车档,并允许列车以低于 5 km/h 的速度撞击,以减小安全距离。当调车机车配备 ATP 车载设备时,调车机车库线应

考虑 ATC 信号安全防护距离,其长度按停车列检库规定执行。

6) 停车列检库线间距。当库内设置安全保护分区时,通过金属防护围栏分隔进行保护。由于采用物理隔离,为满足空间需求,分区线间距应加宽。如 B 型车停车列检库线间距通常为 4.6 m,设置分区时由常规的 4.6 m 增加到 5.6 m;条件允许时再考虑司机登车平台处可正常通行,线间距为 7.0 m。

7) 停车列检库检查地沟。按 GB 50157—2013《地铁设计规范》规定,列检列位数设计不应大于停车列检库总列位数的 50%,即检查地沟通常按 50%考虑:前列位设检查地沟,后列位不设检查地沟。FAO 情况下,列车入库停车后一般不再动车,因此前、后列位都需具备列检功能,检查地沟按 100%考虑。

8) 列检作业门禁系统。停车列检库内划分安全防护分区并设置相应的物理隔断,司乘人员及其他生产作业人员经专用通道,通过门禁进入安全保护分区。作业区入口应设置 SPKS,生产作业人员应关闭作业封锁开关后才能进行生产作业。作业封锁开关应与信号联锁,对于接触轨受电形式的停车列检库,作业封锁开关还应与接触轨供电的开通与断电进行联锁。

9) 车辆基地管理模式。车辆基地 FAO 区的信号调度、供电调度以及轮值技术人员的线路故障处理调度指挥职能可由 DCC 管理,也可由 OCC(运营控制中心)管理。车辆基地非 FAO 区内列车及系统设备的调度和维护作业、车辆基地的安全管理和消防管理应由 DCC 负责。列车和人员由非 FAO 区进入 FAO 区,应由 DCC 向 OCC 申请,授权后方可进入。工作人员须通过 SPKS 封锁 ATC 区域并通过门禁后方可进入 ATC 区域。一般情况下,SPKS 的开和关(对 ATC 区域的封锁和解封)应由同一名工作人员操作。多人进入 ATC 区域时应由负责人进行人数的确认,确保所有人离开 ATC 区域后才可解封 SPKS。车辆日常检修的管理工作(日检、双周检、三月检)由 DCC 值班员负责,采用车辆日常检修状态实时监测技术和先进的快速检测设备实现从计划修向状态修转变。

10) FAO 区域库门。停车列检库若设置库门,库门必须与信号连锁,其频繁开启容易出现机械故障,影响行车安全及发车效率。南方地区车库可不设置库门,避免频繁开启库门。

表 1 FAO 区域股道有效长组成

Tab. 1 Effective length composition of FAO area stock tracks

名称	股道有效长组成
停车列检库线	
转换轨	
牵出线	
洗车线	

11) 车辆基地安全防护措施。SPKS 控制的区域应以色带划分,SPKS 钥匙同其防护区域的颜色应一一对应。SPKS 钥匙无法封锁异色的区域。SPKS 的使用和管理应严格遵循相关运营维护管理办法。在车辆基地车库、转换区应设置登乘平台供工作人员使用,当工作人员乘降 FAO 列车时应防止列车移动,工作人员可通过 FAO 指示灯来判断登乘时机。

12) 洗车机新增功能。为满足 FAO 列车的清洗,洗车机也增加了对 FAO 列车的清洗模式。由于 FAO 列车由连锁系统控制,因此洗车机也增加了与连锁系统的信号接口。在传统模式的洗车作业中,操作人员在洗车库操作间对洗车机进行操作,洗车过程中只需通过操作界面与摄像监控画面观察现场的工作状况,出现问题时做出紧急应对。在 FAO 模式下,由于整个洗车库位于 FAO 区内,洗车作业时操作人员无法在洗车库操作间内对设备进行操

作和监控,因此洗车机在 DCC 控制室设置了 1 套与洗车库操作间内功能一致的操作系统。

13) 智能管控系统。FAO 车辆基地应提高自动化管理水平,车辆基地内宜设置智能管控系统,实现对计划调度、检修作业、生产调度、安全质量及综合管理等工作的信息化管理。具体可实现的功能有:① 智能管控系统通过收集车辆运行状态信息,通过大数据和人工智能等先进技术,构建车辆智能维修体系,为车辆的智能运维决策提供支持;② 智能管控系统应对列车关键部件的跟踪管理提供精确、及时的维护作业工单,保证车辆维修的闭环,并控制车辆维修质量,以保证 FAO 列车安全运行;③ 智能管控系统应与供电、信号、门禁系统建立逻辑防护,在库内合适位置应设置带电显示装置,并对检修人员进行安全防护。

FAO 车辆基地与传统车辆基地主要设计差异见表 2 所示。

表 2 FAO 车辆基地与传统车辆基地主要设计差异
Tab.2 Major design differences between FAO and conventional vehicle bases

设计内容	FAO 车辆基地	传统车辆基地
总平面及转换轨	设置非 FAO 区和 FAO 区,且两个区域间设置转换轨	无特殊要求
SPKS 控制区域	将 FAO 区分为若干分区,每个分区由 1 个 SPKS 进行防护	无
停车列检库防护分区	按 2~3 股道划分为 1 个分区	无
专用通道	工作人员通过横向通道、专用登车通道进入工作空间	无
股道有效长	FAO 区股道有效长满足 FAO 条件下的信号要求	满足常规要求
停车列检库线间距	分区间线间距应适当加宽	执行 GB 50157—2013
停车列检库检查地沟的设置占比	100%	一般为 50%
列检作业门禁系统	按职能不同,分别设置不同的门禁权限,且与 SPKS 联锁。	满足常规要求
管理模式	FAO 区可由 DCC 或 OCC 管理,列车和人员进入 FAO 区应由 OCC 授权;非 FAO 区由 DCC 管理	由 DCC 负责
停车列检库库门	停车列检库库门必须与信号连锁,南方地区可不设库门	无需与信号连锁
安全防护措施	信号系统与 SPKS、门禁相互联锁,并严格定义其权限	满足常规要求
洗车机	具备全自动洗车功能,增加与连锁系统的信号接口,增加在 DCC 控制室的远程操作台	满足常规要求
智能管控系统	设置智能管控系统,实现安全生产信息化管理	无

2 工程案例

以南京地铁 7 号线马家园车辆段为例,重点介绍其总平面布置、转换轨、防护分区、专用通道及门禁设置等与 FAO 相关的设计内容。

由于马家园车辆段用地被铁路线包围,轨行区采用架空方式,总平面(见图 1)呈并列尽端式布置。

其中:停车列检库与洗车库为 FAO 区;联合检修库由周月检库、定临修库、静调库及吹扫库组成,为非 FAO 区。转换轨设在联合检修库线束前,可实现列车不折返顺向进入检修库。

将马家园车辆段 FAO 区划分为 8 个 SPKS 控制区域(见图 2),其中:停车列检库按 2~3 股道设置 1 个分区,共 6 个分区;咽喉区股道群和洗车线各



图1 马家园车辆段总平面布置示意图
Fig.1 Diagram of Majiayuan Vehicle Depot general layout

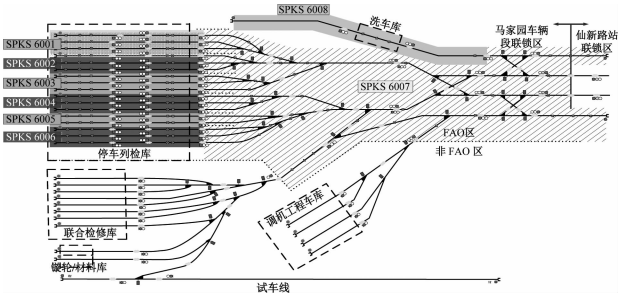


图2 马家园车辆段 SPKS 控制区域分布图
Fig.2 Diagram of Majiayuan Vehicle Depot SPKS (staff protection key switch) control area distribution

为1个分区。

停车列检库各个分区间设置防护栏和门禁(见图3),工作人员必须通过库内横向通道方可进入防护分区。马家园车辆段因轨行区架空,盖板下方立柱、横梁密集,无法从库中横向通道往两侧分设专用通道,故按库中、库尾两处通道(见图4)考虑,分别从库中、库尾进入前列位和后列位。

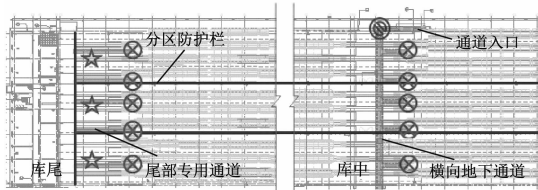


图3 马家园车辆段停车列检库分区及门禁布置示意图
Fig.3 Diagram of Majiayuan Vehicle Depot parking inspection garage areas and access control system

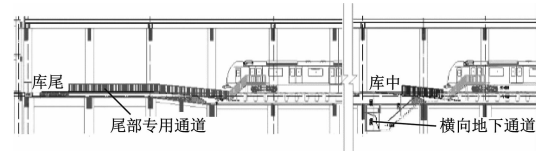


图4 马家园车辆段停车列检库专用通道剖面图
Fig.4 Profile of special passages in Majiayuan Vehicle Depot parking inspection garage

按照职能分工,进入FAO区的工作人员有司

机、保洁员、检修员三类。门禁权限据此设计,也分为三类,如表3所示。

表3 FAO区门禁权限分类表	
Tab.3 FAO area access control classification	
图例	门禁权限
⊙	门禁1(适用于所有入库工作人员):设于地道入口处,禁止未申请人员进入地道
⊗	门禁2(适用于司机、保洁员):仅登车,不打开分区SPKS,申请通过后可刷开门禁1、2,到达登车平台
☆	门禁3(适用于检修员):打开分区SPKS,申请通过后可刷开门禁1、3进入库内低地面;既登车又至低地面时,打开分区SPKS,申请通过后可刷开门禁1、2、3

3 结语

城市轨道交通FAO作为一种新的运营方式,对车辆基地的工程设计和运营管理提出新的要求,而目前国内尚无完善的规范对FAO条件下车辆基地的设计细则进行规定。本文全面叙述了车辆基地采用FAO模式时区别于传统模式的适应性设计内容。在具体工程项目中,应结合工程条件合理设计,不能生搬硬套。

参考文献

[1] 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:T/CAMET 04017.1—2019[S].北京:中国铁道出版社,2019.
China Association of Metros. Urban rail transit - fully automatic operation system specification: T/CAMET 04017.1—2019[S]. Beijing: China Railway Publishing House,2019.

[2] 王亚丽.基于全自动驾驶技术的南京地铁7号线高架车辆段设计[J].城市轨道交通研究,2018,21(10):142.
WANG Yali. Design of the elevated depot for Nanjing Metro Line 7 based on fully automatic operation[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(10):142.

[3] 宁滨,郜春海,李开成,等.中国城市轨道交通全自动运行系统技术及应用[J].北京交通大学学报,2019,43(1):1.
NING Bin, GAO Chunhai, LI Kaicheng, et al. Technology and application of fully automatic operation system for urban rail transit in China[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(1):1.

[4] 骆礼伦.城市轨道交通全自动驾驶车辆段运用库的设计优化[J].城市轨道交通研究,2019,22(3):78.
LUO Lilun. Design optimization of the application library for fully automatic driving urban rail transit depot[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(3):78.

(收稿日期:2021-04-22)