

全自动地铁车辆基地占地规模优化措施*

温朋哲 康 喆 徐道亮 高士杰

(天津市政工程设计研究总院有限公司, 300392, 天津)

摘 要 [目的]全自动运行技术的应用导致了地铁车辆基地占地规模的进一步增大,新建全自动运行地铁线路不断增多,以及既有普通线路的全自动改造,因此亟须对降低全自动车辆基地规模的措施进行深入研究。[方法]从非全自动地铁车辆基地设计流程着手,结合全自动运行技术带来的特殊要求,总结影响全自动车辆基地占地规模的因素。结合全自动运行技术与车辆检修模式的发展,提出降低全自动车辆基地占地规模的优化措施。[结果及结论]全自动地铁车辆对大、架修库无特殊设计要求,通过在线网规划阶段进行充分的资源共享方案研究,在设计及运营阶段采用均衡检修制度可有效降低车辆基地检修列位;全自动运行线路通过充分发挥技术优势,减少备用车辆数并开展正线停车设计,可有效降低车辆基地停车列检位;无上盖停车列检库,通过在库宽方向划分停车和列检区域,停车区每 3~5 股道划分防护分区,列检区每 2~3 股道划分防护分区,可有效降低库宽;特殊情况下,选用滑移式车挡可适当降低停车列检库库长。

关键词 地铁;全自动运行;车辆基地;占地规模

中图分类号 U284.48

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.049

Optimization Measures for Land Occupation Scale of Fully Automatic Metro Vehicle Base

WEN Pengzhe, KANG Zhe, XU Daoliang, GAO Shijie

(Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., 300392, Tianjin, China)

Abstract [Objective] The application of fully automatic operation (FAO) technology has led to a further increase in metro vehicle base land scale and in newly built FAO metro lines, as well as the FAO transformation of existing ordinary lines. Therefore, it is urgent to carry out in-depth researches on measures to reduce the size of FAO vehicle bases. [Method] Starting from the planning process of conventional metro vehicle bases, and combined with the special requirements brought by FAO technology, factors affecting land occupation scale of FAO vehicle bases are summarized. Considering the development of FAO technology and vehicle maintenance

modes, optimization measures to reduce land occupation scale of FAO vehicle bases are proposed. [Result & Conclusion] There are no special design requirements for large and overhaul maintenance garage of fully automatic metro vehicles. By conducting sufficient researches on resource sharing schemes in the line network planning stage, and adopting the balanced maintenance system in the design and operation stages, the number of vehicle base maintenance position amounts can be effectively reduced; by giving full play to technical advantages, FAO lines can effectively reduce the number of spare vehicles and carry out mainline parking design, thus reduce the number of vehicle base parking positions; the width of the uncovered parking inspection garage can be effectively reduced by dividing the parking and inspection areas in width direction, dividing the parking area into protection zones every 3 to 5 tracks, and dividing the inspection area into protection zones every 2 to 3 tracks. In special cases, the use of sliding vehicle blocks can appropriately reduce the length of parking inspection garage.

Key words metro; FAO; vehicle base; land scale

截至 2022 年年末,中国内地共有北京、上海、深圳、天津等 15 座城市开通了全自动运行系统线路共计 36 条,已形成 935 km 以上的全自动运行线路规模。《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》于 2020 年 3 月 12 日发布实施,要求 2025 年全自动运行系统应用范围进一步扩大^[1]。按此要求,未来全自动运行线路规模将会呈现快速增长态势。

全自动运行系统提高了轨道交通自动化水平与运营服务水平,但对车辆基地整体布局、停车列检库库长与库宽、牵出线有效长度、洗车线有效长度等提出了新的要求,影响车辆基地占地规模进一步扩大。本文全面分析与对比了非全自动车辆基地的设计流程,以及全自动车辆基地的特殊设计要求,提出可通过资源共享、正线停车、采用均衡修,以及对停车列检库在宽度方向上进行停车和列检区域的严格划分等方法,降低全自动车辆基地的占

* 天津市科技计划项目(17YFZCSF01210)

地规模。本文研究可为新建全自动车辆基地的设计和既有非全自动车辆基地的自动化改造设计提供工程经验与技术指导。

1 非全自动地铁车辆基地设计流程

车辆基地包括车辆段(停车场)、综合维修中心、物资总库、培训中心,以及其他生产、生活、办公等配套设施。大、架修车辆段承担车辆的大修、架修及相关修程作业,占地规模庞大,工艺设计复杂。以大、架修段为例,简述其设计流程。

1.1 大、架修段功能定位

地铁车辆大、架修段的设计规模由服务单线的小规模车辆段发展到服务线网的大规模车辆段^[2]。大、架修段设计时应首先根据线网规划、建设规划明确其功能定位,确定其承担车辆大、架修线路范围。

1.2 线网车辆检修修程确定

将 GB 50157—2013《地铁设计规范》中的车辆检修修程和检修周期作为车辆基地设计阶段的主要依据。随着运营线路的增加,开通地铁较早的个别城市已积累了大量的设计、建设及运营经验,制定了符合地方需求的地铁设计地方标准(如北京、上海等),同时也对检修修程进行了更具体的规定。

1.3 停车列检库设计

1.3.1 停车列检列位计算

车辆基地停车列检总列位数按不小于线路远期运用车数和备用车数之和来确定。运用车数根据行车交路计算来确定,远期备用车数通常按运用

车数的5%~6%四舍五入后取整记取。

1.3.2 停车列检库布局设计

停车列检库形式分为尽端式和贯通式,尽端式单线两列位布置方式较为常用。非全自动线路无上盖开发时,为降低库房宽度,库房结构通常设计为4线1跨或5线1跨(见图1a))。非全自动线路带上盖开发时,结合上盖开发方案,库房结构通常设计为2线1跨(见图1b))。停车列检库库长应考虑综合库前、库后过道宽度、低位作业地坪长度及列位之间的距离(见图2)。

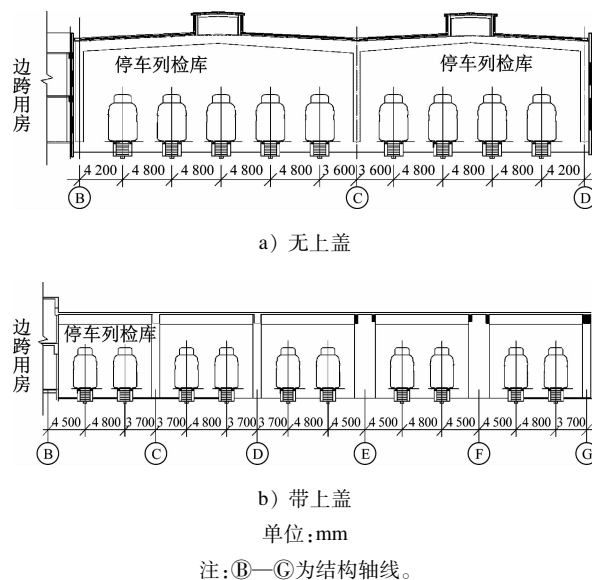


图1 无上盖及带上盖停车列检库宽度方向股道布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of track layout in width direction of parking inspection garages uncovered and covered

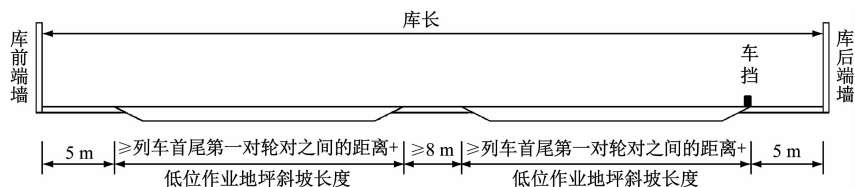


图2 单线两列位停车列检库库长构成示意图(非全自动)

Fig. 2 Schematic diagram of the length composition of the single-line two-row parking inspection garage (non-FAO)

1.4 联合检修库设计

1.4.1 检修列位计算

确定车辆检修修程和检修周期后,可通过计算获得大修年检修工作量 N_1 、架修年检修工作量 N_2 、定修年检修工作量 N_3 、三月检修年检修工作量 N_4 、双周检修年检修工作量 N_5 ,可以表示为:

$$N_1 = S/L_1 \quad (1)$$

$$N_2 = S/L_2 - N_1 \quad (2)$$

$$N_3 = S/L_3 - N_1 - N_2 \quad (3)$$

$$N_4 = S/L_4 - N_1 - N_2 - N_3 \quad (4)$$

$$N_5 = S/L_5 - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 \quad (5)$$

式中:

S ——全年车组走行公里数,根据行车交路确定;

L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 ——大修、架修、定修、三月检修、双周检修的定期检修公里数。

检修列位数 Q 可以表示为:

$$Q = Nta/250 \quad (6)$$

式中:

N ——全年检修工作量,单位列;

t ——车辆检修时间,单位 d;

a ——检修不平衡系数,大修、架修、定修取为

1.1,双周检修、三月检修取为 1.2。

1.4.2 检修库布局设计

大、架修线占地面积较大,宜与吹扫库、静调库、定临修库合建组成联合检修库,双周、三月检修库宜与停车列检库合建组成运用库。

1.5 车辆基地总平面布置

除停车列检库和联合检修库外,车辆基地总平面布置还需考虑洗车库、镟轮库、工程车库、物资库、牵出线、出入段线及综合楼等的平面布置,且严格受限於地块自身的特点。文献[3]在地铁车辆段大、架修能力计算和联合检修库布置精细化设计中提出了 4 个大、架修车辆基地的布置方案,并详细论证了其大、架修检修能力,对于工程设计具有一定的借鉴意义。

2 全自动车辆基地特殊设计要求

地铁系统引入全自动运行技术后,对车辆段的设计产生了重大影响。

2.1 全自动、非全自动区域划分

全自动地铁车辆基地分为全自动运行区域和非全自动运行区域。全自动运行区域包括停车列检线、洗车线、出入段线及牵出线等。非全自动运行区域包括大、架、定、临修检修库线,静调线,调机及工程车库线,平板车停放线,镟轮线,吹扫线及试车线等。周月检线可根据工程需求划分为自动化区域或非自动化区域。

2.2 牵出线兼转换轨

对于大、架修车辆段,定修车辆段,以及具有临修线和不落轮镟线的停车场,列车检修时,需从全自动运行区域停车列检线进入非全自动运行区域的各检修线,列车需在牵出线完成驾驶模式的转换,牵出线应同时具备转换轨功能。牵出线有效长度应满足列车从停车列检库自动运行至转换轨后由内燃调机牵引进行转库作业的需求(见图 3)。其中:安全防护距离按列车运行速度为 25 km/h 需要的安全距离确定;车挡采用滑移式液压缓冲车挡。单独设置转换轨时,转换轨有效长度可不考虑调机及调机距车挡的安全距离。

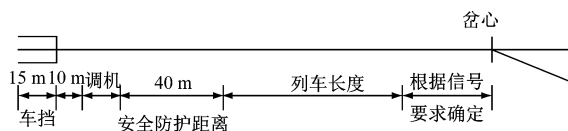


图 3 牵出线兼转换轨有效长度组成示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the effective length composition of the outbound transfer track

2.3 停车列检库库长设计要求

停车列检库为全自动运行区域,库长及信号设备布置应满足 ATO(列车自动运行)自动入库停车及自动唤醒静态、动态测试的需求,ATP(列车自动防护)安全防护距离不宜小于 15 m^[4]。根据 DB 12/T 1260—2023《城市轨道交通全自动运行线路技术规范》,尽端式停车列检库库尾车挡与列车端部车钩距离不应小于 15 m,两列位停车列车之间的车钩距离不应小于 20 m(见图 4)。车挡一般采用液压缓冲固定式车挡,占用股道长度 2.5 m,若采用滑移式液压缓冲车挡可降低库尾安全距离^[5]。以列车采用 6 节编组,A 型列车(列车长度为 140 m)为例,计算单线两列位停车列检库库长,非全自动运行线路库长为 314.4 m,全自动运行线路库长为 331.6 m,库长增加了 17.2 m。

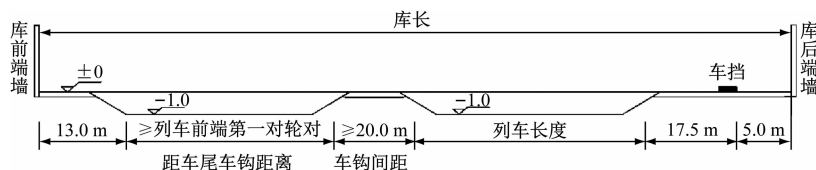


图 4 单线两列位停车列检库库长构成示意图(全自动)

Fig. 4 Schematic diagram of the length composition of the single-line two-row parking inspection garage (FAO)

2.4 停车列检库防护分区划分

停车列检库内需划分防护分区,各防护分区之

间通过库前或库中横向通道连接。防护分区宜按每 2~3 股道设置,通过栅栏进行物理隔离(见图

5), 车体与栅栏之间的通道宽度宜按车体和侧墙之间的最小通道宽度控制。

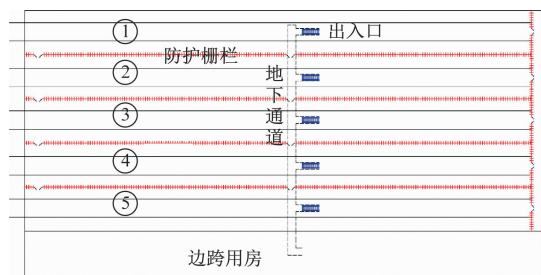


图 5 停车列检库库内防护分区及横向通道示意图

Fig. 5 Schematic diagram of protection zones and lateral passages in the parking inspection garage

2.5 洗车线设计要求

全自动洗车线库后安全防护距离按洗车作业速度 5 km/h 设计, 库前安全防护距离按调车速度 25 km/h 设计。八字往复式洗车线库前岔心距车挡距离 D_1 (见图 6) 应考虑 40 m 的安全防护距离, 库后岔心与车挡距离 D_2 可考虑 15 m 的安全防护距离。

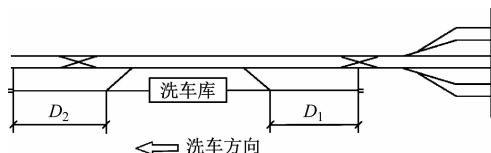


图 6 八字往复式洗车线有效长度示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the effective length for Chinese-eight-shaped reciprocating vehicle washing line

3 全自动车辆基地占地规模优化措施

全自动车辆基地占地规模的优化是一项综合性、系统性的工作, 涉及到诸如设备房间尺寸的确定、车辆基地的立体化布置等事宜, 应综合考虑规划、投资、建设、运营及政府的多方利益诉求^[6]。

3.1 线网资源共享规划

全自动运行车辆大、架修库与常规车辆一致, 线网规划阶段研究车辆基地大、架修, 综合维修中心及物资库等资源共享时无需区分是否为全自动线路, 线网规划阶段应以资源共享思路规划大、架修车辆基地。

既有大、架修车辆基地应引入智能化检修设备、优化检修工艺流程、降低检修作业时间等智慧化改造方法, 在不增加土建规模的条件下, 提升其大、架修检修能力。

3.2 车辆检修模式及修程

随着车辆检修技术和装备的不断发展, 以列车可靠度和零部件故障周期为基础的均衡修正在逐渐取代传统的计划性维修。均衡修能够有效缩短列车维修停库时间, 提高列车利用率, 降低维护成本, 缩小车辆基地检修规模^[7]。40 km 长的地铁线路均衡修模式下可减少 2~3 列位的检修列位。

全自动车辆基地采用均衡修模式后, 一方面, 均衡修线需要频繁收发车, 若将其划分为非全自动运行区域, 将无法实现均衡修股道直接向正线的收发车作业, 列车需在转换轨进行驾驶模式的转换, 影响行车效率, 并压缩了可利用的检修作业时间。另一方面, 均衡修作业检修项点更多, 将均衡修股道纳入全自动运行区域会增加安全风险, 降低检修效率。将均衡修线划分为全自动运行区域, 需参照停车列检库划分库内检修线间的防护分区, 优化检修管理模式。将均衡修线划分为非全自动运行区域, 可有计划地安排检修人员在转换轨处接车, 列车模式降为人工驾驶模式后人工驾驶至均衡修线, 尽量避免调车作业。

3.3 正线停车与备用库

国外开展正线停车研究较早, 如东京、伦敦及巴黎的轨道交通运营部门已在折返线和停车线进行了夜间停车实践。近年来, 国内一些城市也进行了相关实践。天津轨道交通 6 号线于尖山路站—医大二院站区间设置 12 列位地下停车线, 承担早间发车、夜间收车、停放及故障车存放等功能^[8]。石家庄地铁 3 号线一期工程首开段于石家庄站站后区间设置 6 列位地下停车线, 以满足首开段不设车辆段和停车场开通运营的需求^[9]。

全自动运行线路车辆应具备自动休眠、唤醒及自动运行等功能, 且列车列检周期逐渐向 4 日检发展, 进一步为开展正线停车提供了技术支撑。正线停车点位的选择需综合考虑收发车需求、夜间线路检修需求等系统性工作, 应制定详细的应急预案, 当自动唤醒或休眠失败后能快速处置, 不能影响当天的正常运营。全自动运行线路建设时, 正线停车点位建议首先选取停车线进行夜间车辆停放, 充分论证后可选择车站的正线侧进行车辆停放。40 km 长的地铁线路通常需设置 4~5 处停车线, 采用正线停车, 车辆基地列检规模可减少至少 4 列位。

全自动运行技术的应用和智能运维技术的发展, 降低了列车故障率, 远期备用车数宜按 2 列配

置,减少3~4列位停车列检位。

3.4 停车列检库尺寸优化

全自动停车列检库库长的主要制约因素为,库尾列车车钩与车挡的距离应满足列车以5 km/h运行速度自动入库时的安全防护要求。基于目前主流车辆及信号厂商的制动计算模型,常规设计不应压缩15 m的安全距离,对于改造受限于库长长度限制的项目,可研究采用滑移式车挡来降低安全距离。

对于非上盖停车列检库而言,防护栅栏的设置增加了库宽,当库宽方向受用地限制时,可沿库宽方向划分停车区与列检区,停车区按每3~5股道设置防护分区,列检区按每2~3股道设置防护分区,以达到降低库宽的目的。

4 结语

通过在线网规划阶段进行充分的资源共享方案研究和采用均衡修检修制度可有效降低车辆基地检修列位;通过开展正线停车设计和减少备用车辆数量可有效降低车辆基地停车列检列位数。

采用滑移式车挡可降低停车列检库库长,沿库宽方向进行严格的停车、列检区域划分,停车区域按每3~5股道设置防护分区,列检区域按每2~3股道设置防护分区,可适当降低停车列检库库宽。

参考文献

- [1] 温朋哲,董剑锋,王九州,等.全自动地铁车辆自感知防护系统配置探讨[J].天津建设科技,2022,32(4):28.
WEN Pengzhe, DONG Jianfeng, WANG Jiuzhou, et al. Discussion on configuration of self sensing protection system for fully automatic metro vehicles [J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2022, 32(4): 28.
- [2] 张雄.地铁车辆段大架修移位作业工艺设计研究[J].铁道工程学报,2016,33(10):122.
ZHANG Xiong. Research on the flow process workshop design of car overhaul and heavy repair works in metro depots [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(10): 122.
- [3] 肖瑞金.地铁车辆段大架修能力计算和联合检修库布置精细化设计[J].都市快轨交通,2018,31(3):14.
XIAO Ruijin. Calculation method for overhaul capacity and fine design of main workshop of metro depots [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(3): 14.
- [4] 董洪卫.全自动车辆段停车列检库线信号设备布置方案分析[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(10):13.
DONG Hongwei. Scheme analysis of signal equipment layout of parking track in fully automatic depot [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 13.
- [5] 石鹏鹏,王亚丽,金健,等.城市轨道交通全自动运行车辆基地设计[J].城市轨道交通研究,2023,26(6):206.
SHI Pengpeng, WANG Yali, JIN Jian, et al. Urban rail transit FAO vehicle base design [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): 206.
- [6] 金昱,陈鹏.资源紧约束背景下超大城市轨道交通车辆基地规划策略:以上海市为例[J].上海城市规划,2020(6):124.
JIN Yu, CHEN Peng. Strategy of megacity rail transit vehicle depots planning under the stringent constraint of resources: a case study of Shanghai [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(6): 124.
- [7] 付亚超.基于均衡修的城市轨道交通车辆基地工艺设计[J].城市轨道交通研究,2022,25(8):14.
FU Yachao. Process design of urban rail vehicle depot based on 'balanced maintenance' [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(8): 14.
- [8] 高士杰.天津地铁6号线一期工程地下区间停车线设计[J].现代城市轨道交通,2019(9):101.
GAO Shijie. Design of underground parking track of Tianjin Metro Line 6 phase I project [J]. Modern Urban Transit, 2019(9): 101.
- [9] 宋丹,王国霖.石家庄市轨道交通3号线一期工程正线停车场信号系统配置方案[J].铁路通信信号工程技术,2016,13(2):85.
SONG Dan, WANG Guolin. Signaling system setting scheme for parking lot in the first phase project of Shijiazhuang Metro Line 3 [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(2): 85.

· 收稿日期:2023-12-22 修回日期:2024-02-15 出版日期:2024-12-10
Received:2023-12-22 Revised:2024-02-15 Published:2024-12-10
· 第一作者:温朋哲,工程师,1791313208@qq.com
通信作者:康喆,助理工程师,409281402@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

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn