

悬挂式单轨交通车辆基地站场设计关键技术研究

臧 向

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉)

摘 要 [目的] 悬挂式单轨交通车辆基地的总平面布局形式直接影响列车作业及工程造价。道岔选型对车辆基地站场总平面布局影响较大, 运用库单线列位数的选择也将直接影响道岔数量及段场规模, 因此需对悬挂式单轨交通车辆基地站场设计的关键技术进行深入研究。[方法] 依托武汉光谷生态大走廊悬挂式单轨交通工程的龙泉山车辆段, 阐述了该车辆段的总平面布局形式及创新点, 分析了该车辆段道岔选型及场坪标高的制定方法, 建立了理想条件下车辆段运用库单线列位数模型。[结果及结论] 悬挂式单轨交通车辆基地总平面布置宜采用贯通式洗车方案, 将洗车库放在出入线上; 咽喉设计时, 需同时考虑桥墩布置的美观性; 需联合道岔厂家加快对三开道岔及五开道岔的研发, 并合理选用不同道岔组合以更进一步节省投资; 在不考虑其他作业干扰的理想条件下, 悬挂式单轨交通车辆基地运用库最多可采用 1 线 5 列位, 实际设计过程中需结合车辆基地条件、综合考虑列车出库的便捷性、扣除其他作业干扰等因素选择合适的运用库单线列位数。

关键词 悬挂式单轨交通; 车辆基地; 站场设计; 场坪标高; 道岔选型; 列位确定

中图分类号 U232

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.049

Key Technologies of Vehicle Base Station Design for Suspended Monorail Transit

ZANG Xiang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China)

Abstract [Objective] The overall plane layout of the suspended monorail transit vehicle base directly affects train's operation and engineering cost. The turnout type selection has a great influence on the overall layout of the depot, and the selection of single line train position number in the depot also directly affects the number of turnouts and the scale of the depot. Therefore, it is necessary to make in-depth research on the key technologies for the depot layout design. [Method] Based on the Longquanshan Vehicle Base of suspended monorail transit project in Wuhan Optics Valley Ecological Corridor, its overall plane layout and innovation points are introduced. The turnout type selection and the formulation of the field elevation in the

depot are analyzed, and a model of single line train position number under ideal condition is established. [Result & Conclusion] The overall plane layout of the suspended monorail vehicle base should adopt the through type train washing scheme, and the access line is suitable for the train washing location. The aesthetics of bridge pier layout should be considered in the throat design. It is necessary to cooperate with turnout manufacturers to speed up the research and development of three-way turnout and five-way turnout, and rationally select different turnout groups to further save the investment; under ideal conditions without considering other operation interference, up to 5 train positions on a single line can be adopted in the suspension monorail depot. In the actual design process, the proper single line train position number is selected considering the factors such as the vehicle base condition, the train exit convenience and other operation interference.

Key words suspended monorail transit; vehicle base; depot design; field elevation; turnout selection; determination of train position number

悬挂式单轨交通(简称“空轨交通”)是车体悬挂于轨道梁或索轨下方行驶的一种中低运量轨道交通^[1], 其系统最大运能为 1.5 万人/h^[2], 具有安全可靠、集约用地、噪声低、地形适应能力强、工程投资低、建设周期短等优点。其敷设方式多为高架, 主要适用于旅游线路及中低运量的地方通勤线路。空轨交通起源于德国, 在日本及德国等国家已安全运营多年^[3]。而在国内, 悬挂式单轨除了成都、开封等地建设有试验线之外, 尚未有已经开通运营的线路。空轨交通行业技术标准以及湖北省空轨交通地方标准正在送审中, 对空轨交通车辆基地设计具有重要的指导作用^[4]。本文充分借鉴吸收地铁、轻轨等建设成果, 参照空轨交通各地方标准, 以武汉光谷生态大走廊空轨旅游线工程(以下简称“光谷空轨”)龙泉山车辆段为例, 对空轨交通车辆基地站场设计的关键技术, 如站场总平面、道岔选型、场坪标高、运用库单线列位的选择等进行

设计分析,并总结创新点,提出相应的结论和建议。

1 空轨交通系统概况

空轨交通的车辆悬挂于轨道梁之下。轨道梁一般采用钢制箱型中空断面,内含集电靴、通信电缆、导轨、运行轨,并包容车厢的车架。轨道梁由支柱支撑^[5],支柱一般为钢结构柱,可设置 Y 型、倒 L 型和门式等多种结构。轨道梁为下部开口的箱型钢梁,车辆走行轮与导向轮均置于箱型梁内,沿梁内设置的轨道运行。车辆改变行车方向时,通过箱型轨道梁内可动轨的水平移动实现^[6]。空轨交通根据其悬吊装置形式,可分为对称式和非对称式,如图 1 所示。对称式在载客量和舒适性上优势明显,是发展的主流。

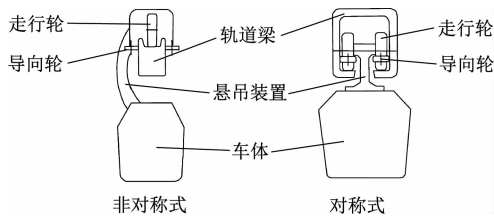


图 1 空轨交通系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of suspended monorail system

2 空轨交通车辆基地站场设计

2.1 总平面设计

从工程投资以及本工程近期配属车辆数量考虑,空轨交通车辆基地规模仅考虑本工程所需近期规模。本文以光谷空轨龙泉山车辆段为例,结合其用地形状、段址位置、用地范围及地形条件,根据站段关系及主要控制因素,对车辆段总平面布置方案进行了研究。车辆段采用停车列检库、检修库并列的尽端式布置方案,该方案结合周边条件,整体布局紧凑合理。受车辆段用地性质及所处位置限制,该车辆段不具备上盖物业开发条件。龙泉山车辆段总平面设计具体方案如图 2 所示。

龙泉山车辆段为全自动驾驶车辆段。为避免侵占基本农田,该车辆段呈东西向布置,出入线由场地东北侧引入车辆段。检修库、试车线设置在南侧,停车列检库并列布置在检修库北侧。受段址长度限制,停车列检线设置为 1 线 2 列位。调机工程车库设于咽喉所夹地块。洗车库设于出入段线咽喉区,洗车线采用贯通布置方案。受用地条件限制,

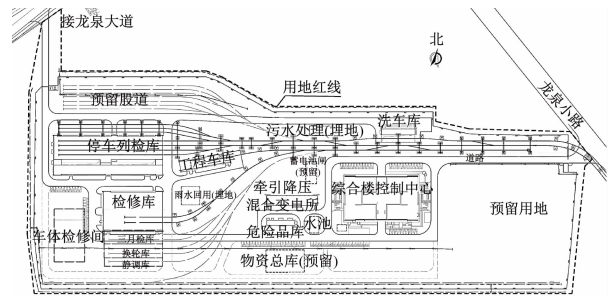


图 2 龙泉山车辆段总平面布置图

Fig. 2 Overall plane layout of Longquanshan Depot

试车线全长约 550 m。综合楼、物资总库、材料棚、蓄电池间、易燃品库设在咽喉区南侧。污水处理站、牵引降压混合变电所设置在咽喉区北侧地块内。主要的办公、生产作业及辅助作业区相对集中,方便作业。车辆段设 2 个出入口,主出入口位于车辆段东侧,综合楼附近;次出入口位于车辆段西北侧。段内道路采用环形布置,满足消防需求。车辆段围墙内占地约 11 hm²。

因轨道梁为高架,空轨交通车辆基地站场排水基本等同于高架车辆段站场排水。龙泉山车辆段背靠龙泉山景区,侧沟排水需同时考虑龙泉山山洪水流量。车辆段引用海绵车辆段概念,股道间的站场雨水通过植草沟及海绵渗水系统汇入道路雨水系统。车辆段预留区域及周边侧沟排水采用混凝土沟,最终排入车辆段北侧既有小河。

2.2 总平面设计创新点

1) 优化洗车库位置,如图 3 所示。空轨采用可动芯型道岔,一组道岔约 375 万元,造价较高。龙泉山车辆段在总平面布置设计时,为尽量减少道岔数量,创新性地将洗车库置于出入线上,可减少 2 组道岔,有效降低造价约 750 万元。洗车方式改为了贯通式洗车,较传统往复式洗车工艺流程(如图 4 所示)更加便捷。同时,有效减少了轨道梁长度约 280 m 以及相应的桥墩等土建工程。

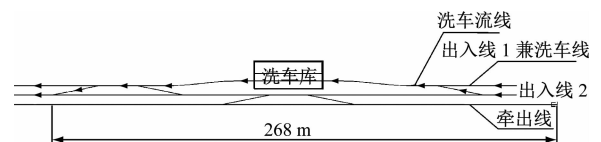


图 3 龙泉山车辆段洗车库布置及洗车流线示意图

Fig. 3 Schematic diagram of vehicle washing shop layout and flow line in Longquanshan Depot

2) 优化咽喉区道岔与桥墩布置形式。空轨道岔前端及后端均需设置桥墩,为保证桥墩设置美观

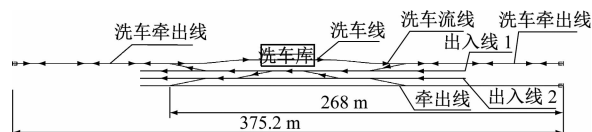


图4 车辆段传统洗车库布置及洗车流线示意图

Fig. 4 Schematic diagram of traditional vehicle washing shop layout and flow line in Longquanshan Depot

整齐,车辆段咽喉区道岔尽可能采用上下对称布置形式,如图5所示。此种布置形式不仅保证轨道梁可以共用门式墩,美观整洁,有效解决段内小曲线半径地段离心力较大问题,同时达到节省造价的目的。

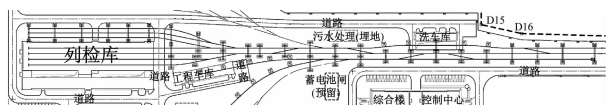


图5 车辆段道岔布置与桥墩位置关系示意图

Fig. 5 Schematic diagram of turnout layout and pier position in the depot

3 空轨交通车辆基地道岔选型

空轨道道岔根据其换轨原理主要分为可动芯型、换梁型和枢轴型等。国内已经研发的空轨道道岔只有可动芯型单开道岔,如图6所示。为避免研发时间过长、研发费用较高的风险,光谷空轨项目道岔选用了可动芯型单开道岔,其转辙效率高,结构轻巧、灵活,通过组合可满足不同场合的需求,有利于节省用地。缺点是造价较高,每组道岔造价大概在375万~400万元。



图6 可动芯型单开道岔

Fig. 6 Movable core type single turnout

空交通可动芯型道岔系统由控制部分和结构部分组成。空轨道道岔除本项目所用的单开道岔外,还包括三开道岔及五开道岔。在咽喉区,若采用1组三开道岔,其功能相当于采用2组单开道岔;若采用1组五开道岔,其功能相当于5组单开道岔。

经咨询相关道岔厂家,三开道岔造价大约在700万~750万元之间,即若采用1组三开道岔,可节约大约50万元,且养护维修工作量较少。后续可进一步与道岔厂家合作,加大道岔的研发力度,以进一步优化站场布置,降低工程造价。

4 空轨交通车辆基地场坪标高

空轨交通车辆基地的场坪标高与传统城市轨道交通车辆基地的场坪标高定义有一定的区别。空轨交通线路为高架线路,车辆及轨道被淹的风险较小。空轨交通车辆基地的场坪标高,主要是指重要库房及单体的标高。空轨交通车辆基地场坪标高的制定除了依据百年水位资料,还应综合考虑段址周边既有或规划道路标高、土石方平衡标高、段内管线衔接标高、重要设施标高以及出入段线纵坡条件等因素。

场坪标高一般可以通过加权平均法、熵权法或者层次分析法等方法得出。而在实际工程项目中,对于影响因素较复杂的段场,往往还需要召开专家论证会,以保证场坪标高设定的合理性。

龙泉山车辆段南侧为龙泉山,段址周边地势南高北低。区域内现状为一驾校,地势平坦,标高在21.20~24.10m之间,两处通段道路衔接处标高分别为21.12m和19.40m。选址范围百年一遇内涝水位为22.21m。车辆段土方平衡标高为22.20m。基本无其他控制性标高。根据以上诸多因素,龙泉山车辆段场坪标高定为22.71m,轨行面标高定为27.52m。

该车辆段设计引入了不等场坪概念。东侧预留发展用地及咽喉区场坪标高结合现状地势定为21.00m。这可减少土石方约0.9万m³,基本实现填挖方平衡,从而有效降低了工程造价。

5 空轨交通车辆基地运用库单线列位选择

空轨交通车辆基地在设计时,如何选择运用库各库单线列位,对工程投资、工艺流程、总平面布局以及运营的便捷性等都将产生重大影响。若 C 表示空轨交通系统能力(系统最大开行对数,单位为对/h), C_x 表示空轨交通车辆基地停车列检1线 x 列位咽喉收发车能力,经研究,在进路不受其他工艺流程干扰的情况下,运用库各库单线列位选择计算公式为:

$$C_x = \sum_{i=1}^n \frac{1\,000}{\left(\frac{L_{kx}}{v_k} + \frac{L_{oi}}{v_o}\right) + \frac{\sum t_i}{3.6}} \quad (1)$$

式中:

n ——段内平行进路个数,单位个;

L_{kx} ——1 线 x 列位库内进路长度,单位 m;

L_{oi} ——进路 i 库外进路长度,单位 m;

v_k ——列车库内行车速度,单位 km/h;

v_o ——列车库外行车速度,单位 km/h;

$\sum t_i$ ——信号转换、道岔转换及其他冗余时间总和,单位 s。

那么,当 $C_x \geq C$ 时,则停车列检 1 线 x 列位满足运营需求。也可通过式(2)对 C_x 进行估算:

$$C_x = \frac{1\,000n}{\left(\frac{L_{kx}}{v_k} + \frac{L_o}{v_o}\right) + \frac{\sum t}{3.6}} \quad (2)$$

式中:

L_o ——库外平均进路长度,单位 m;

$\sum t$ ——平均 1 条进路信号转换、道岔转换及其他冗余时间总和,单位 s。

L_{kx} 和 L_o 在空轨交通车辆基地内的设置如图 7 中所示。

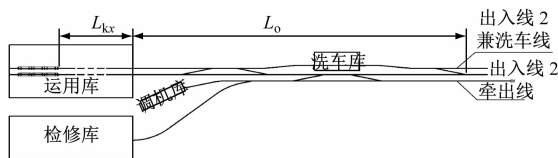


图 7 空轨交通车辆基地平面示意图

Fig. 7 Schematic plane diagram of the suspended monorail transit vehicle base

空轨交通车辆基地的信号控制和其他城市轨道交通的一样,调车作业可采用长短进路结合,而列车入库作业则采用长进路形式。当 1 列车从进入车辆基地开始到进入库内指定列位期间信号锁闭,形成 1 个闭塞区间,期间不能有其他车辆进入该进路。如果车辆基地的 2 根出入线可同时入库,对于库型为尽端式的车辆基地则可形成 2 个平行进路;贯通式车库的段场可做到两端出车,其平行进路加倍。

以龙泉山车辆段为例,该工程采用尽端式库型布置。受道岔侧向通过速度影响,其系统能力 C 为 24 对/h;若不考虑洗车作业干扰,段内平行进路个数 n 取 2 个;受道岔侧向通过速度及作业平台限制,

v_k 取 5 km/h, v_o 取 15 km/h。以运用库停车列检位选取 1 线 5 列位为例, L_o 取 385 m(具体数值根据段场规模和采用的列位数而定),库内进路长度 L_{k5} 取 235 m(具体数值根据信号设置要求和远期列车长度而定), $\sum t$ 约为 20 s,则根据式(2)可估算出 C_s 为 25.56 对/h,大于车辆段的系统能力 24 对/h,满足需求。

在不考虑其他作业干扰的理想条件下,空轨交通车辆基地最多可采用 1 线 5 列位。但是在实际项目中,单线列位数要根据具体方案布置,扣除洗车作业等其他干扰产生的影响,同时还需要综合考量列车出库的顺利性和快捷性,通过多方案比选论证后方可确定。

6 结语

1) 合理选用道岔型号,可实现降低造价和缩短咽喉双赢。可以结合车辆基地实际规模情况,联合道岔厂家加快三开道岔及五开道岔的研发进度,并在咽喉布置时通过不同道岔选型组合设置同时实现缩短咽喉和降低造价的目的。

2) 空轨交通车辆基地在制定场坪标高时,可结合车辆基地实际控制因素,通过引入不等场坪设计理念,有效节约土石方工程量,更好衔接周边的市政道路。

3) 合理设置运用库单线列位数,有效降低造价。结合车辆基地形状将运用库停车列检线设置为“1 线 3 列位”或者“1 线 4 列位”。也可进一步研究信号分段解锁的设置情况,通过降低进路平均占用时间,达到提高咽喉收发车能力的目的,从而进一步增加运用库单线列位数及降低道岔的使用组数。

4) 优化站场咽喉区布置,提高工艺流程的顺畅度。空轨交通为中低运量系统制式,其系统能力通常小于城市轨道交通的。因此,空轨交通车辆基地在咽喉布置时,可以创新性地将洗车库放于出入线上,在节约道岔使用组数的同时优化了洗车工艺流程。

5) 咽喉布置时宜同时考虑桥墩布置形式。空轨交通车辆基地咽喉区道岔设计宜结合桥梁桥墩的布置情况,尽可能采用上下对称布置形式,以保证美观,减少小曲线半径所产生的离心力大的问题。

(下转第 267 页)

3 结语

本文以杭州某非 ATC 地铁车辆段局部平面布置示意图为例,详细地介绍了如何优选基本进路及变更进路的方法,将进路中的敌对信号归纳为 5 种,有效避免了在查找敌对信号时有所遗漏。选取了 5 条进路,并利用上述方法查找该进路中的敌对信号,通过优化敌对信号条件对联锁表进行了简化。本文所述方法能有效解决联锁表编制过程中敌对信号遗漏的问题,对简化联锁表提供了较大的帮助,可将其作为验证敌对信号的一种方法。

参考文献

[1] 郭进. 铁路信号基础[M]. 北京:中国铁道出版社, 2010.
GUO Jin. Basics of railway signal [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.

[2] 杨扬. 车站信号控制系统[M]. 成都:西南交通大学出版

(上接第 258 页)

[6] 吴英杰, 朱俊. 上海城市轨道交通无线局域网干扰测试分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 131.
WU Yingjie, ZHU Jun. Interference test analysis of Shanghai urban rail transit wireless LAN[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 131.

[7] 鲍淑红. 广州地铁 800 MHz 数字集群共网系统方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7): 96.
BAO Shuhong. On construction scheme of the 800 MHz digital cluster network in Guangzhou metro [J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(7): 96.

[8] 万勇兵, 王大庆. 城市轨道交通 CBTC 系统互联互通测试平

(上接第 262 页)

参考文献

[1] 李芾, 许文超, 安琪, 等. 悬挂式单轨车的发展及其现状[J]. 机车电传动, 2014(2): 16.
LI Fu, XU Wenchao, AN Qi, et al. Development and current status of suspended monorail vehicle[J]. Electric Drive for Locomotives, 2014(2): 16.

[2] 鄢红英, 姜梅, 李艳. 悬挂式单轨于中等城市轨道交通制式适应性研究[J]. 交通世界(上旬刊), 2017(10):160.
YAN Hongying, JIANG Mei, LI Yan. Study on adaptability of suspended monorail to rail transit system in medium-sized cities [J]. Transpo World, 2017(10):160.

[3] 李定南. 国内外悬挂式单轨列车的发展与展望[J]. 国外铁道车辆, 2017, 54(3): 1.
LI Dingnan. Development and prospects of the suspended monorail train in China and abroad[J]. Foreign Rolling Stock, 2017, 54(3): 1.

[4] 杨昕映. 悬挂式单轨交通车辆基地工艺设计建议[J]. 铁道标

社, 2012.
YANG Yang. Station signal control system[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2012.

[3] 林炳龙. 确定基本进路和变更进路的方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(1): 57.
LIN Binglong. Methods to confirm basic route and alternative route [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(1): 57.

[4] 林炳龙. 联锁表之敌对信号的设计方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11(4): 75.
LIN Binglong. Design methods of conflicting signal in interlocking table [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(4): 75.

· 收稿日期:2021-10-09 修回日期:2022-01-10 出版日期:2024-03-10
Received:2021-10-09 Revised:2022-01-10 Published:2024-03-10
· 作者:付淳川, 工程师, 1429956463@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

台的设计与实现[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(1): 149.
WAN Yongbing, WANG Daqing. Design and realization of test platform for interoperable CBTC system of urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 149.

· 收稿日期:2022-07-29 修回日期:2022-08-15 出版日期:2024-03-10
Received:2022-07-29 Revised:2022-08-15 Published:2024-03-10
· 作者:李庆刚, 高级工程师, 13884402@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

准设计, 2022, 66(8):175.
YANG Xinying. Suggestions on technological design of suspended monorail transit depot [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(8):175.

[5] 沈文敏. 悬挂式空中列车系统的特点和优势[J]. 中国工程咨询, 2013(6): 65.
SHEN Wenmin. Characteristics and advantages of suspended aerial train system[J]. Chinese Consulting Engineers, 2013(6): 65.

[6] 陈伟方. 悬挂式单轨车辆基地的检修工艺研究[J]. 内燃机与配件, 2018(9): 37.
CHEN Weifang. The maintenance-study on monorail skytrain [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(9): 37.

· 收稿日期:2023-08-03 修回日期:2023-12-27 出版日期:2024-03-10
Received:2023-08-03 Revised:2023-12-27 Published:2024-03-10
· 作者:臧向, 高级工程师, 4581685@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