

# 城市轨道交通车辆大架修灵活工艺设计\*

周再玲<sup>1</sup> 刘致远<sup>2</sup> 龚辉波<sup>1</sup> 刘葛辉<sup>3,4</sup> 王亚平<sup>1</sup>

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州;

2. 天津市英贝特航天科技有限公司轨道交通事业部, 300141, 天津;

3. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 100070, 北京;

4. 北京交通大学交通运输部综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室, 100044, 北京)

**摘 要** [目的] 大架修作业是城市轨道交通车辆检修工作组织的难点与瓶颈点, 目前尚缺乏对大架修作业内容的梳理及面向维修优化的工艺设计。[方法] 分析和改进城市轨道交通车辆高级修程的工艺设计, 以提高检修作业安排的合理性, 有效应对因线网里程增加和客流规模增大产生的检修工作需求。基于既有研究中关于维修设施布局 and 维修任务顺序优化的成果, 分析城市轨道交通车辆的大架修现状, 归纳了大架修作业中线路间移位修、部件集中专项修、检修策略多样等特点, 之后从工艺流程、检修策略和维修资源配置角度梳理了大架修的工艺特点。进一步提出了大架修的灵活工艺, 包括在工艺流程中增加并行作业、根据检修线作业能力调整检修策略、在维修资源配置中分离维修设备和人员。以城市轨道交通 6 编组列车实际架修流程进行算例分析。[结果及结论] 在固定工艺流程下采取同步检修策略所需检修时间为 25.0 d, 应用灵活工艺的检修所需时间仅为 17.5 d, 相比固定工艺可减少 7.5 d 的检修时间。检修时间的减少来自于并行作业的引入和在维修设施能力不足的情况下避免执行车辆整体同步检修策略。算例结果表明, 应用灵活工艺可有效缩短列车的大架修作业时间, 提高城市轨道交通车辆的维修效率。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆维修; 大架修; 灵活工艺; 检修作业

**中图分类号** U279

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.040

## Flexible Process Design for Urban Rail Transit Vehicle Overhaul

ZHOU Zailing<sup>1</sup>, LIU Zhiyuan<sup>2</sup>, GONG Huibo<sup>1</sup>, LIU Gehui<sup>3,4</sup>, WANG Yaping<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China; 2. Rail Transit Business Department of Tianjin Inbet Aerospace Technology Co., Ltd., 300141, Tianjin, China; 3. Beijing National Railway Research & Design Institute of Signal & Communication Group Co.,

Ltd., 100070, Beijing, China; 4. Key Laboratory of Transport Industry of Big Data Application Technologies for Comprehensive Transport, Beijing Jiaotong University, 100044, Beijing, China)

**Abstract** [Objective] Overhaul operations for urban rail transit vehicles pose challenges and bottlenecks in the organization of maintenance work. Currently, there is a lack of systematic exploration of the overhaul contents and process design tailored for maintenance. [Method] Analyzing and refining the process design for the advanced overhaul schedule of urban rail transit vehicles is essential to improving the rationality of maintenance work arrangement, and effectively address the increased maintenance work demands resulting from the expansion of line network mileage and passenger flow volume. Based on existing research achievements regarding maintenance facility layout and maintenance task sequence optimization, the current urban rail transit vehicle overhaul situation is analyzed. Features such as shift repairs between lines, concentrated component-specific repairs, and diverse maintenance strategies in the overhaul operations are summarized. Subsequently, the process characteristics of the overhaul are outlined from the perspectives of process flow, maintenance strategies, and allocation of maintenance resources. Furthermore, a flexible process for overhaul is proposed, including the introduction of parallel operations in the process flow, adjustment of maintenance strategies based on the operational capacity of the maintenance line, and the separation of maintenance equipment and personnel in the allocation of maintenance resources. A computational example analysis is carried out based on the actual overhaul process of a 6-car formation urban rail transit train. [Result & Conclusion] Under a fixed process flow, the overhaul time required for synchronous maintenance strategy is 25 days. By applying flexible process, the required maintenance time is reduced to only 17.5 days, resulting in a 7.5-day re-

\* 广州地铁设计研究院股份有限公司科研项目 (KY-2020-038)

duction in maintenance time compared to the fixed process. The reduction in maintenance time stems from the introduction of parallel operations and the avoidance of executing synchronous overhaul strategy for the entire vehicle when the maintenance facility capacity is insufficient. The computational example results indicate that applying flexible process can effectively shorten the overhaul time of trains, thereby enhancing the maintenance efficiency of urban rail transit vehicles.

**Key words** urban rail transit; vehicle maintenance; overhaul; flexible process; maintenance work

随着我国城市轨道交通线网配属车辆的增加和车辆运用强度的增强,车辆检修工作量不断增大。合理的检修作业安排方法对提高维修能力和车辆使用效率具有重要意义。在城市轨道交通车辆维修规程中,大修和架修属于高级修程,需要专业化程度高的维修设备,具有维修流程复杂、扣停时间长等特点<sup>[1]</sup>。因此,大架修作业是轨道交通车辆检修工作组织的难点与瓶颈点。

大架修活动的组织和实施基于车辆维修工艺设计。既有研究主要关注大架修车辆基地综合检修库中设施设备的平面设计<sup>[2]</sup>、大架修需求和能力计算方法<sup>[1,3-5]</sup>、检修设施与维修活动的匹配关系<sup>[4-6]</sup>等方面。整体上,既有研究对轨道交通车辆大架修设施布局设计、能力需求计算以及匹配关系等已相对成熟,但缺乏对大架修工艺内容的梳理以及面向维修优化的工艺设计。

本文深入分析我国轨道交通车辆大架修的既有作业特点和既有工艺,在此基础上通过工艺流程、检修策略和维修资源配置的改进,设计了车辆大架修的灵活工艺。

## 1 既有大架修作业特点

轨道交通车辆的大架修作业在大架修车辆段或车辆基地内进行,通常需要多种维修设施和维修线路的配合。除检修线路外,场库中设有检修车间对各类车辆设备进行就近检修。这一过程的主要特点包括车辆移位修、部件集中修、检修策略多样化。

### 1.1 多维修线路间的移位修作业

移位修指在检修作业的过程中,车辆在不同检修线之间依次移动并进行相应检修作业。我国轨道交通车辆大架修一般采用移位修作业,因为一个大架修车辆段一般检修同一类型的车辆,且大

架修的维修流程具有相似性<sup>[7]</sup>。

移位修方式是一种流水线式的作业模式,解编后的车辆按照“整列入库,解编检修”的原则,根据检修作业流程依次在各检修线进行相应的作业。图1为轨道交通车辆大架修移位修作业转线过程。图1中列车在有电轨道之间的转线(1、9、10)凭借自身动力进行,在有电轨道和无电轨道之间的转线(2、8)一般利用内燃调车机车来完成,在大架修线解编后至编组成列前的车辆及车体转线(4、5、6、7)利用综合检修库内的移车台完成。

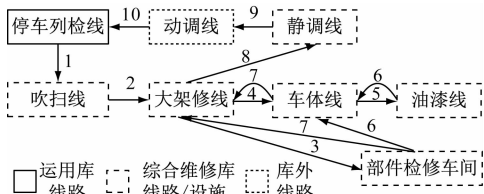


图1 城市轨道交通车辆大架修移位修作业转线过程  
Fig. 1 Line transfer process of urban rail transit vehicle overhaul and shifting repair operation

### 1.2 部件集中专项修

大架修车辆段的综合检修库中除了设有维修线路,还有用于部件检修的专业车间,一般按照专业或设备类型划分为检修工区。如图2所示,设备检修工区按照就近原则设置在大架修线一侧,且相同专业的检修工区集中布置。

轮轴/轮对检修区				电机检修区	办公用房
转向架检修区				转向架部件检修区	钩缓检修区
空调检修区	制动检修区	空压机检修区	金工/熔焊区	受电弓检修区	门窗及管材检修区
大架修库 (大架修线、临修线)				移车台	车体间 (车体线)
定修库 (定修线、静调线)					油漆间 (油漆线)
吹扫线					办公用房

图2 大架修车辆段综合检修库检修功能区划分示意  
Fig. 2 Diagram of maintenance function area division in overhaul depot general inspection workshop

### 1.3 检修策略多样化

大架修作业过程中,车辆进入检修线作业的顺序取决于不同的检修策略。目前,轨道交通车辆大架修常见的检修策略主要有3种:整体同步检修策略、阶梯式检修策略、部分优先检修策略。检修策略的选择主要取决于各检修线的作业能力与

检修作业任务规模。

1.3.1 整体同步检修策略

整体同步检修策略下,列车的各车辆同步进行各项检修作业。在所有车辆结束当前检修线的所有检修作业之前,不允许车辆进入下一检修线,即所有车辆需同步进入下一检修线进行检修作业。

整体同步策略适用于大架修车辆段内各检修线能力充足的情况,增加车辆的同步作业可缩短大架修作业时间,同时有利于简化检修作业方案的制定和实施。但是,在检修线能力不足的情况下会导致车辆产生额外的等待时间,同时容易导致检修人员执行集中的检修作业。因此,整体同步检修策略需要各工序的检修人员以及设施设备的合理匹配。

1.3.2 阶梯式检修策略

阶梯式检修策略是一种分批作业的策略,车辆根据编组顺序依次进入各检修线。阶梯式检修策略适用于大架修车辆段各检修线作业能力无法同时进行所有车辆的检修作业的情况。车辆依次进入各检修线可有效避免作业排队问题,减少等待时间,也有利于维修人员作业时间的均衡性,但是作业调度方案的制定和实施的难度较大。

1.3.3 部分优先检修策略

部分优先检修策略将一部分车辆检修任务视为特殊需求并优先作业。进行优先作业的车辆在完成当前检修线的作业后直接进入下一检修线,其余车辆在检修线空闲时进行相关作业。

类似于阶梯式检修策略,部分优先检修策略同样适用与大架修车辆段内检修线能力不足的情况,可优先检修急需投入运营的列车。部分优先检修策略满足了车辆大架修过程中的特殊需求,但是容易造成部分车辆等待时间过长,导致大架修整体作业时间变长。

2 既有大架修工艺分析

针对我国城市轨道交通车辆大架修作业组织方式,将大架修作业内容归纳为工艺流程、检修策略、维修资源配置三部分。

2.1 工艺流程

工艺流程定义了各项维修任务及其作业顺序、衔接关系和资源需求。车辆大架修工艺流程是大架修计划安排的基础。采用固定工艺的城市轨道交通车辆大架修流程如图 3 所示,大修和架修的工艺流程基本相同,仅在部分流程的顺序上存在差

异,例如部分工艺先进行解编再拆卸车顶设备。整体上,既有的大架修流程工艺以车体检修为主要流程,车体检修与部件检修并行作业,整体工艺流程为串并混合结构,维修组织比较复杂。

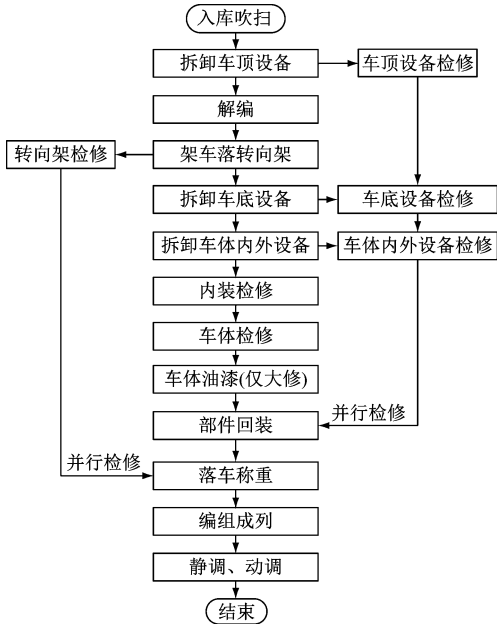


图 3 采用固定工艺的我国城市轨道交通车辆大架修流程  
Fig. 3 Overhaul procedure for urban rail transit vehicles in China adopting fixed process

2.2 检修策略

我国车辆检修工作组织多采用人工组织,存在管理和调度效率不足等问题。为了便于调度和维修计划实施,多采用整体同步检修策略。在车辆段存在场地限制或列位不足的情况时,多采用阶梯式或部分优先检修策略。

2.3 维修资源配置

我国大架修车辆段中的检修资源主要按综合检修库功能区进行划分,检修设备和人员固定配属于各个功能区,功能区包括检修线路和设备检修区。在检修设备配置方面,各检修功能区设置一定的检修台位,并设有多种检修设备以进行不同的检修作业。在人员配置方面,由各个工种或专业搭配组合形成各类检修工班,承担各自检修功能区的检修作业任务。

3 大架修灵活工艺设计

以既有固定工艺为基础,在保证安全以及可行性的情况下,把原先串行的维修工作适当拆分为若干个可同时并行开展的维修工作,节约维修总时



长,按照增加并行作业流程和调度灵活性的原则,进行大架修的灵活工艺设计。

3.1 工艺流程设计

通过增加大架修流程中的并行作业,可有效提高大架修的作业效率。同时,并行作业之间相互独立使检修作业在一定范围内可进行灵活调整,从而满足实际维修中对维修人员和设备的调度需求。

采用灵活工艺的城市轨道交通车辆大架修流程如图 4 所示。部分工序后衔接多个可执行工序,在设备和人员条件允许的情况下可分别执行,在维修资源存在占用冲突时可视情况灵活调整作业顺序。灵活工艺可增加并行作业,减少额外等待时间,从而缩短大架修作业时间。通过增加大架修作业的可调整范围,有利于提高大架修作业的可靠性。

3.2 检修策略设计

大架修灵活工艺可采用全过程动态调整的检修策略,即在整个大架修作业过程中,检修策略可根据检修线的作业能力而随时调整。在检修线作业能力充足的情况下进行车辆整体同步作业,在能力不足时可对车辆进行分批阶梯式作业,在有特殊需要的情况下对部分车辆集中进行检修作业。

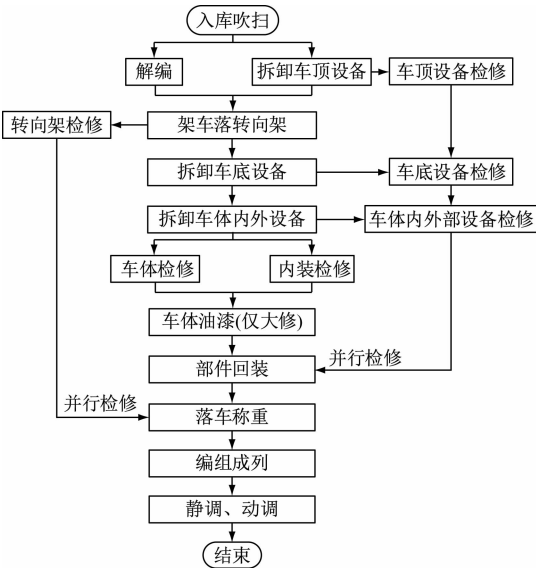


图 4 采用灵活工艺的城市轨道交通车辆大架修流程  
Fig.4 Overhaul process for urban rail transit vehicles adopting flexible process

3.3 维修资源配置设计

大架修灵活工艺在维修资源配置上采取“设备固定,人员流动”的配置方式。在检修设备的配置上,根据检修作业的需要组合设计和搭配检修设

备,使得检修功能区内的检修台位具备进行一类检修作业的能力。对不同检修任务的作业时间反映了台位的作业能力,可利用不同台位的作业能力差异协同改进灵活工艺下的车辆大架修流程。

灵活工艺的维修资源配置方式可以充分挖掘维修资源的作业潜力,提高维修资源利用率,实现大架修车辆段内部的维修资源共享,降低大架修作业成本。

4 效果分析

以 6 辆编组城市轨道交通列车的架修为例,对比在不同检修工艺下完成列车架修的作业时间,各检修线的作业内容、能力和作业时间如表 1 所示,设所有部件均为换件修。

表 1 检修线作业内容、能力和作业时间

Tab.1 Maintenance line work content, capacity, and duration			
检修线	同步作业能力/辆	维修作业内容	作业时间/d
吹扫线	6	吹扫	1.0
		解列/编组	1.0
解编线	6	拆车顶设备	1.0
		架/落车	1.0
		拆/装车底设备	1.0
		装车顶设备	1.0
大架修线	3	称重	0.5
		拆/装车体内外设备	1.0
		内装检修	2.0
		车体探伤及维修	3.0
静调线	6	静态调试	1.0
动调线	6	动态调试	2.0

分别计算 2 种架修工艺下的车辆架修作业时间,固定工艺对应多种检修策略,分别对整体同步和阶梯式检修策略进行计算,可得到 3 种方案下的车辆架修作业时间如表 2 所示。

由表 2 进一步计算可知:在固定工艺流程下采取整体同步检修策略的作业时间为 25.0 d;采用阶梯式检修策略的作业时间为 20.5 d,二者相差 4.5 d;应用灵活工艺流程的架修时间仅为 17.5 d,相比固定工艺流程最多可减少 7.5 d 的架修时间。结果表明,通过引入并行作业,大架修的灵活工艺可有效缩短架修作业时间。

具体在维修设施能力充足的情况下,引入并

表 2 不同方案下的车辆架修作业时间

Tab.2 Duration for vehicle overhaul operation time in different schemes

作业线路	维修作业	作业时间/d	作业时间序列范围/d		
			固定工艺		灵活工艺
			整体同步检修策略	阶梯式检修策略	
吹扫线	吹扫	1.0	0.0~1.0	0.0~1.0	0.0~1.0
解编线	拆车顶设备	1.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0
	解列	1.0	2.0~3.0	2.0~3.0	1.0~2.0
大架修线	架车	1.0	3.0~5.0	3.0~5.0	2.0~4.0
	拆车底设备	1.0	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0
	拆车体内外部设备	1.0	7.0~8.0	5.0~7.0	5.0~6.0
车体线	内装检修	2.0	8.0~10.0	6.0~9.0	6.0~8.0
	车体探伤及维修	3.0	10.0~13.0	8.0~12.0	6.0~9.0
	装车体内外部设备	1.0	13.0~14.0	11.0~13.0	9.0~10.0
大架修线	装车底设备	1.0	14.0~16.0	12.0~14.0	10.0~12.0
	落车	1.0	16.0~18.0	13.0~15.0	11.0~13.0
	装车顶设备	1.0	18.0~20.0	14.0~16.0	10.0~12.0
	称重	0.5	20.0~21.0	15.0~16.5	12.0~13.5
解编线	编组	1.0	21.0~22.0	16.5~17.5	13.5~14.5
静调线	静调	1.0	22.0~23.0	17.5~18.5	14.5~15.5
动调线	动调	2.0	23.0~25.0	18.5~20.5	15.5~17.5

行作业可以有效节省作业时间,如灵活工艺下列车完成解编线的维修作业仅需要 1.0 d,而固定工艺最少需要 2.0 d。在维修设施能力不足的情况下,避免车辆执行整体同步检修策略能有效缩短车辆的等待时间,整体同步策略下列车完成大架修线作业需要 4.0 d,并在此后才允许进行车体线上的维修作业。而阶梯式检修策略和灵活工艺允许部分车辆完成大架修线的维修作业后即进入车体线进行后续作业,将车体线开始作业的时间提前 2.0 d。此外,灵活工艺可有效缩短在相同维修线路执行相同维修作业的时间,完成在车体线的全部维修作业时间为 5.0 d,少于固定工艺所需要的 7.0 d。

5 结语

本文通过对城市轨道交通车辆大架修的检修内容和流程现状进行全面梳理和归纳,总结了大架修的工艺特点和适用条件,进一步提出了考虑灵活作业的大架修工艺,分别从工艺流程、检修策略和资源配置角度进行说明。算例结果表明,应用灵活工艺可有效缩短列车的大架修作业时间,提高城市轨道交通车辆的维修效率。

参考文献

[1] 施培华. 常州轨交 1 号线新龙车辆段大架修工艺设计分析[J]. 地下工程与隧道, 2014(4): 38.

SHI Peihua. Analysis of overhaul process design of Xinlong Depot of Changzhou Rail Transit Line 1[J]. Underground Engineering and Tunnels, 2014(4): 38.

[2] 蒋杰. 兰州地铁线网规划中车辆大/架修设施布局分析[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(1): 144.

JIANG Jie. Analysis of the layout of vehicle overhaul and intermediate repair facilities in Lanzhou Metro line network planning[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(1): 144.

[3] 张雄, 张荫. 地铁车辆段大架修设计能力计算方法研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(10): 106.

ZHANG Xiong, ZHANG Yin. Research on calculation method for capacity of car overhaul and heavy repair works in metro depots[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013, 30(10): 106.

[4] 王亚平. 从车辆大架修作业内容谈检修设施模块化配置[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(7): 73.

WANG Yaping. Module configuration of maintenance facilities based on vehicle overhaul repair content[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(7): 73.

(下转第 228 页)

人员进行人工操作,人与人之间传达操作结果、运营相关系统之间部分联动,以及这种机制存在的问题,进而提出构建面向全自动运行运营安全的智能管控平台的意义,详细阐述该平台的设计思路,以及探索应用情况。实践表明,该平台在提升和保障全自动运营安全方面更具优势。随着对该平台探索和思考的不断提升,相信该平台在后续全自动运行线路建设和运营安全提升方面能够发挥更重要的作用。

## 参考文献

- [1] 王潇骁,赵华华,楚彭子,等.全自动智能化运行平台安全指南研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(1):53.  
WANG Xiaoxiao, ZHAO Huahua, CHU Pengzi, et al. Research on safety guidelines for intelligent fully automatic operation platform[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(1): 53.
- [2] 林立,裴加富,巩林玉,等.北京地铁6号线行车综合自动化系统的实现[J].城市轨道交通研究,2014,17(10):110.  
LIN Li, PEI Jiafu, GONG Linyu, et al. Implementation of integrated traffic control automation system for Beijing Metro Line 6[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(10): 110.
- [3] 孙来平,洪海珠,施聪,等.城市轨道交通运行安全、运营安全与信息安全的矛盾与统一[J].城市轨道交通研究,2019,22(6):15.  
SUN Laiping, HONG Haizhu, SHI Cong, et al. Contradiction and unity between railway operation safety, service safety and information safety[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(6): 15.
- [4] 钱江.以行车指挥为核心的城轨交通多业务联动研究及应用[J].铁道通信信号,2015,51(7):78.  
QIAN Jiang. Study and application of traffic control centered multi-

service cooperation of urban rail transport[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(7): 78.

- [5] 宋丽梅,周琪.城市轨道交通全自动无人驾驶安全性分析[J].信息通信,2020,33(3):148.  
SONG Limei, ZHOU Qi. Safety analysis of automatic unmanned driving in urban rail transit[J]. Information & Communications, 2020, 33(3): 148.
- [6] 吴越.城市轨道交通运行安全与运营效率的矛盾和统一[J].城市轨道交通研究,2020,23(11):14.  
WU Yue. The contradiction and unification between urban rail transit operation safety and revenue efficiency[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 14.
- [7] 朱莉,胡恩华.全自动无人驾驶一体化智能运控系统研究[J].铁道通信信号,2019,55(10):69.  
ZHU Li, HU Enhua. Study of integrated intelligent completely automated and driverless train operation control system[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 69.
- [8] 杨志慧,楚彭子,王潇骁,等.城市轨道交通全自动一体化智能运行系统研究[J].铁道通信信号,2020,56(4):73.  
YANG Zhihui, CHU Pengzi, WANG Xiaoxiao, et al. Study on integrated intelligent fully automatic operation system for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(4): 73.

· 收稿日期:2023-03-23 修回日期:2023-04-19 出版日期:2024-01-10  
Received:2023-03-23 Revised:2023-04-19 Published:2024-01-10  
· 作者:张春明,高级工程师,zcm15821783901@126.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

## (上接第 223 页)

- [5] 李利平,王力.广州地铁西朗车辆段大修架修扩容改造设计[J].城市轨道交通研究,2009,12(7):36.  
LI Liping, WANG Li. Overhaul capacity expanding design for Xilang depot of Guangzhou Metro[J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(7): 36.
- [6] 柳明.新型检修模式下的地铁车辆大架修工艺匹配关系优化分析[J].智能城市,2020,6(4):132.  
LIU Ming. Optimization analysis of matching relationship of metro vehicle overhaul technology under new maintenance mode[J]. Intelligent City, 2020, 6(4): 132.
- [7] 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.

· 收稿日期:2021-07-07 修回日期:2021-08-23 出版日期:2024-01-10  
Received:2021-07-07 Revised:2021-08-23 Published:2024-01-10  
· 第一作者:周再玲,高级工程师,zhouzailing@ dtsjy.com  
通信作者:龚辉波,高级工程师,gonghuibo@ dtsjy.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