

城市轨道交通信号系统改造过渡切换工程技术分析*

叶富智¹ 牟宗元² 陈柱月¹ 张 惺² 吴 同² 张晓明³

(1. 广州地铁集团有限公司, 510335, 广州; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都;

3. 广州铁科智控有限公司, 510370, 广州)

摘 要 **[目的]** 由于我国众多主要城市的轨道交通线路已步入升级改造阶段, 为确保改造过渡切换工程的安全性、可靠性和高效性, 将影响范围降至最低且保持运营连续性, 特对改造过渡切换的关键技术进行深入研究。**[方法]** 以广州地铁 1 号线(以下简称“1 号线”)信号系统改造项目为依托, 结合信号系统工程的专业知识, 采用理论分析与技术解析的方法, 对基于过渡切换装置的系统切换工程技术展开深入探讨。研究过程中, 详细分解了信号系统中所有可能涉及过渡切换需求的工程实施场景, 对切换电路的设计方案及具体实施计划进行了细化处理, 并进一步分析了切换装置的技术规格要求。**[结果及结论]** 基于 1 号线改造工程的实施数据与经验积累, 成功构建了涵盖不同信号改造技术方案的过渡切换场景, 包括轨旁与车载的典型切换电路等。在此基础上, 提出了过渡切换装置的主要技术要求, 并给出了轨旁与车载过渡切换装置的规格参数与架构设计。

关键词 城市轨道交通; 信号系统; 改造; 过渡; 切换

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.052

Technical Analysis of Transition Switching Engineering in Urban Rail Transit Signaling System Upgrades

YE Fuzhi¹, MOU Zongyuan², CHEN Zhuyue¹, ZHANG Xing², WU Tong², ZHANG Xiaoming³

(1. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510335, Guangzhou, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China; 3. Guangzhou Railway Sciences Intelligent Controls Co., Ltd., 510370, Guangzhou, China)

Abstract **[Objective]** As urban rail transit lines in many major cities across China have entered the system upgrade stage, it is crucial to ensure the safety, reliability, and efficiency of transition switching engineering during the upgrade process, which will minimize the impact of modifications while maintaining operational continuity. Therefore, an in-depth analysis is conducted on the key technologies for transition

switching during signaling system upgrades. **[Method]** Based on the signaling system upgrade project of Guangzhou Metro Line 1 (hereinafter referred to as 'Line 1'), the professional technology of signaling system engineering is combined with theoretical and technical analysis methods. The engineering technologies related to system switching based on transitional switching devices are investigated. In the research process, all potential scenarios requiring transition switching during signaling system upgrades are systematically broken down, with detailed refinements made to the design schemes of switching circuits and their implementation plans. Additionally, the technical specifications for switching devices are further analyzed. **[Result & Conclusion]** Based on the implementation data and experience from Line 1 upgrade project, a set of transition switching scenarios for various signaling system upgrade technologies is successfully developed, including typical switching circuits for both trackside and onboard systems. Furthermore, the main technical requirements for transitional switching devices are proposed, along with specification parameters and architectural design for trackside and onboard transition switching devices.

Key words urban rail transit; signaling system; upgrade; transition; switching

城市轨道交通信号系统作为列车安全运行的核心控制单元, 其设备维持正常且良好的运行状态对于确保行车安全至关重要。根据建标 104—2008《城市轨道交通工程项目建设标准》, 信号系统设备的折旧年限普遍设定为 15 年; 而交运规[2019]8 号《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》文件则进一步规定, 信号系统的“整体使用寿命上限通常为 20 年”。因此, 信号系统的设计寿命普遍规划为 20 年。

信号系统的改造工程涵盖局部调整与整体更新两大范畴。对于整体信号系统的改造, 存在多种

* 广州地铁集团有限公司科研项目(21A0019)

实施方案,包括但不限于维持既有系统制式并对其进行优化,以及完全新建系统的方案^[1]。在新建系统制式方面,CBTC(基于通信的列车控制)和TACS(列车自主运行系统)方案是两种主要选择^[2-5]。无论采取何种方案,均需在过渡阶段实现新旧系统之间的多次平稳倒接,这要求唯一性设备与接口必须在新旧系统间进行精确切换。由于信号改造工程是在既有运营线路上实施,为确保既有线路在日间维持正常运营,改造施工活动被严格限制在夜间停运时段内进行,这导致了施工时间窗口短且作业难度增大的情况。因此,信号改造的过渡切换方案成为改造工程各方关注的焦点,也是确保升级改造工程得以顺利实施的关键所在。

1 切换场景分析

信号系统改造过程中的过渡切换场景紧密关联于所采用的改造技术方案,主要分为两大类:一是与既有系统一致的方案,二是完全新建系统的方案。在与既有系统一致的方案中,通常倾向于选择同一系统供货商的设备;而在“完全新建系统”的方案中,既可以选用同一系统供货商的设备,也可以选择不同系统供货商的设备。

切换应用场景主要涵盖设备与接口的切换。针对数据通信接口,由于其接口类型的特定性以及所用数据通信接口缆线的独特性,倒切调试过程通常采取人工倒切的方式。

1.1 与既有系统一致方案切换场景

依据信号系统的设备控制原理及工作特性,并结合采用既有系统制式的改造技术方案,通过对新旧系统中具有唯一控制性的设备与接口进行深入分析,可能涉及的切换应用场景包括:道岔转辙机控制电路切换、信号机点灯电路切换、轨道占用/空闲检测电路(如轨道电路、计轴等)切换、站台紧急停车和IBP(综合后备盘)/折返按钮电路切换、站台门接口电路切换、防淹门接口电路切换、联络线接口电路切换等。

以道岔转辙机为例,作为新旧系统控制的唯一性设备,需通过切换技术实现新旧系统在非运营时段和运营时段的分别控制。在维持既有系统制式的改造技术方案下,车载设备的改造可采取逐列车下线改造后再上线运营的方式,此时车载设备无需进行切换。

1.2 完全新建系统方案切换场景

在完全新建系统的改造技术方案中,轨旁设备多数为新设,虽然可以与既有系统并行运行,但唯一性设备和接口同样需要进行切换。这些切换主要包括:转辙机切换、站台门、防淹门、联络线接口切换及车载设备切换等。其中,转辙机切换和接口切换的流程与维持既有系统制式方案基本一致。以下将重点分析车载设备的切换情况。

采用完全新建系统的改造技术方案时,由于新、旧系统的车载设备大多互不兼容,因此车载设备的改造将采取一种特殊实施方案:在列车上线运营期间,新、旧车载设备将共存,并通过切换技术实现白天旧车载设备运行及与车辆接口的运营,而夜间则切换至新车载设备运行及与车辆接口调试。

新、旧车载设备的切换主要发生在过渡调试阶段,通过切换技术,新、旧车载设备可以分别与车辆控制系统、驾驶台、速度传感器、测速雷达、天线等接口进行连接,以实现各项系统功能,从而满足白天旧车载设备正常运营、夜间新车载设备调试的需求。根据既有列车的实际条件,车载外围设备应尽可能安装两套,分别用于新车载设备和旧车载设备。若只能安装一套设备,则需根据其兼容性采取相应的切换技术。车载设备切换示意图如图1所示。

2 切换电路分析

根据切换场景,通过对信号系统各子系统控制原理的分解分析,按照故障-安全、界面清晰、快速倒切和回退、实施便利、操作统一等技术原则,分析并提出覆盖各种切换应用场景的具体切换电路设计。

2.1 道岔转辙机控制电路切换

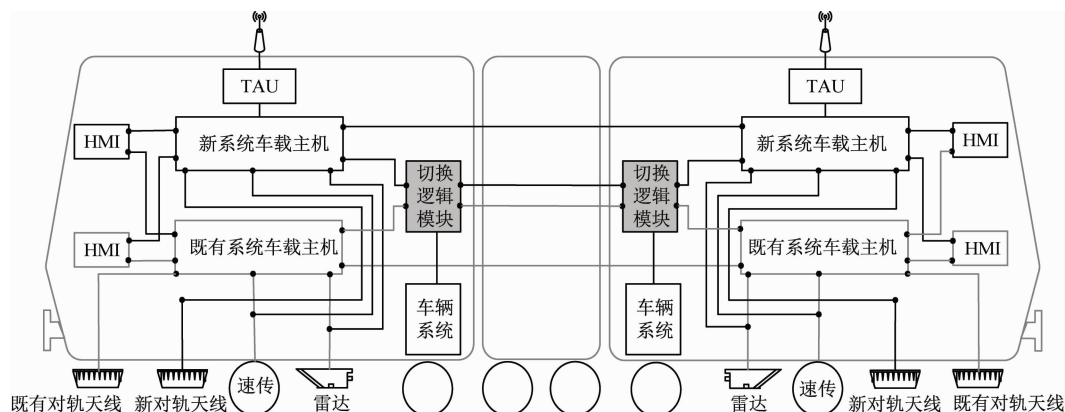
道岔转辙机控制电路有直流控制和交流控制两种,不同类型转辙机控制线数量也不同,图2示意了ZYJ7交流五线制控制电路切换。

2.2 信号机点灯电路切换

信号机点灯电路的切换涵盖了单灯位与多灯位的切换场景,其切换电路的设计与实现方式与转辙机控制电路切换具有相似性。

2.3 接口电路切换

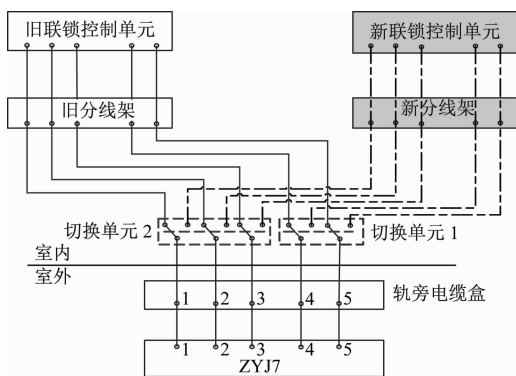
接口电路的切换主要涵盖了站台门接口、防淹门接口、联络线接口以及内部子系统间的接口等。这些接口的切换电路设计与转辙机控制电路及信号机点灯电路的切换方式具有相通之处。



注:TAU—车载接入单元;HMI—人机界面。

图1 车载设备切换示意图

Fig.1 Diagram of onboard equipment switching



注:1~5—接线端子;ZYJ7—7型交流电液转辙机。

图2 道岔转辙机控制电路切换示意图

Fig.2 Diagram of turnout switch machine control circuit switching

2.4 车载设备切换

车载设备的切换主要涉及ATP(列车自动防护)/ATO(列车自动运行)与车辆控制系统接口的切换、与驾驶台接口的切换以及与速度传感器、天线等外围设备接口的切换。由于车载设备接口众多,其切换过程相对复杂,需针对不同类型接口进行详细的分析与设计。

车载ATP与车辆接口的切换具体包括了紧急制动、车门关闭且锁闭状态、零速信号、车门允许信号、ATO启动信号、ATO释放信号、车门释放信号及牵引释放信号等的切换。车载ATO与车辆接口的切换则涵盖了牵引控制、制动控制、开左门控制、开右门控制及折返控制等的切换。以下以部分车载ATP与车辆接口电路的切换为例进行说明,具体如图3所示。

3 切换装置技术分析

基于前文对轨旁及车载设备/接口切换电路的深入分析,切换电路的核心功能依赖于切换单元的实现,因此需采用专门的切换装置以确保切换过程的安全性及可靠性。

目前,切换装置的核心部件主要采用继电器^[6-7]和倒切开关^[8],这2种部件在不同切换场景下具有不同的应用,并各自具备独特的优缺点^[9]。

以下将结合我国已完成或正在进行的城市轨道交通信号改造工程中的过渡切换实践,对切换装置的技术要求进行详细分析。

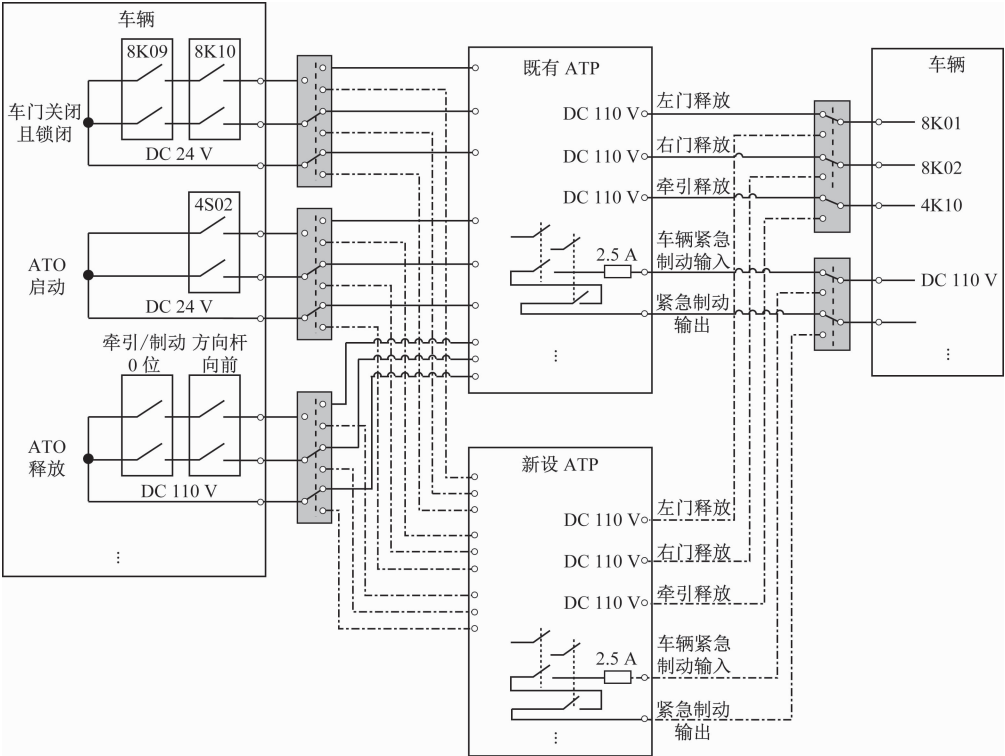
3.1 切换装置工程适应性要求

结合我国轨道交通信号系统改造工程的实施情况,以下是对过渡切换装置工程适应性要求的归纳与分析:

1) 集中化、小型化:由于改造工程中既有运营线路设备安装空间有限,且与既有运行设备存在一定的交互连接,切换装置应实现集中化、小型化设计,以避免增加额外的设备安装和布线空间需求,同时应便于安装与拆除。

2) 切换操作高效、安全、可靠:过渡切换装置的切换操作应设计为一键操作或不同设备组合的联动操作,以满足简洁、安全、可靠的操作要求,并符合“故障-安全”原则。

3) 节能:作为临时过渡设施,切换装置在改造工程完成后将被拆除,因此应设计为低耗电,以满足节能要求。



注:8K01、02、09、10、4K10、4S02—车辆继电器;S25/26、S15/16—车辆开关。

图 3 车载 ATP 部分接口电路切换示意图

Fig. 3 Diagram of onboard ATP partial interface circuit switching

4) 状态识别、检测及运营维护:由于切换装置与既有运行设备存在一定的交互连接和共存关系,因此应具备状态识别功能,以满足运营维保要求。设备结构和布线应便于检测及维护,确保不影响既有设备的正常运行。

5) 标准化:切换装置所采用的元器件、接线方式、安装方式应符合行业标准,以确保其通用性。

3.2 切换装置规格分析

切换装置设置于新旧系统设备之间,其基本要求是确保不影响运营设备与设施的正常工作。具体规格要求如下:

1) 分时复用原则:切换装置应确保同一时间只有一侧信号系统电路处于工作状态。

2) 切换节点隔离:切换装置接入系统控制电路的切换节点应与自身电气动作电路实现有效隔离,以防止对系统控制电路造成不必要的影响。

3) 失效安全:切换装置在失效状态下不应导致系统控制电路发生变化。

4) 安全性、可靠性、可用性要求:切换装置的安全性、可靠性、可用性应不低于系统控制电路的要求。

5) 切换装置的技术性能应满足系统改造过渡期间各切换应用的需求,包括动作逻辑、动作时间、承载电压与电流、工作电压与电流、接触电阻、屏蔽性能和使用寿命等关键指标。

由于车载设备在技术特性、电气参数和工作环境方面与轨旁设备存在显著差异,用于车载设备接口切换的切换装置可单独采用一种规格型号。结合切换电路分析及各系统设备的工作参数,表 1 为切换装置主要技术性能表。

表 1 切换装置主要关键指标技术性能表

Tab.1 Major technical performance of switching devices

切换装置类型	动作逻辑	切换动作时间/s	切换节点承载电压/V	切换节点承载电流/A	切换节点接触电阻/ Ω	动作寿命/次
轨旁切换装置	符合“故障-安全”	≤ 0.3	≥ 500	≥ 10	≤ 0.05	$\geq 10^6$
车载切换装置	符合“故障-安全”	≤ 0.3	≥ 220	≥ 5 (电源) ≥ 1 (数据)	≤ 0.05	$\geq 10^6$

3.3 切换装置架构分析

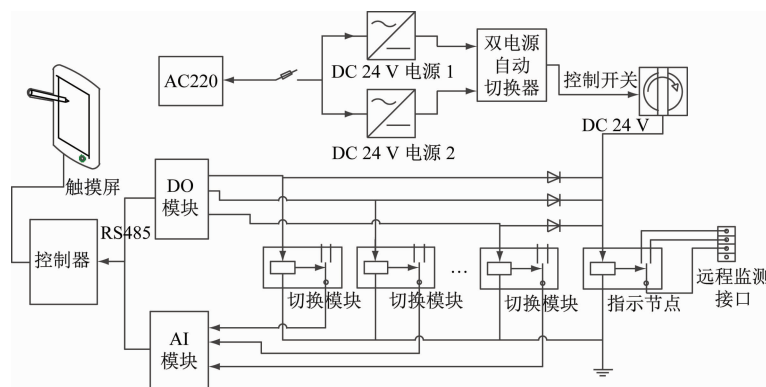
结合切换装置的应用需求和规格要求,对轨旁设备与车载设备的切换装置架构进行了初步分析。

轨旁切换装置采用模块化设计,切换模块由安

全型继电器和逻辑电路,即 PCB(印制电路板)板构成,每个切换模块至少配备 6 组切换节点。根据实际需求,可选择单个或多个切换模块进行配置,这些切换模块可以由控制器自动控制,或由切换开关手动控制。控制器通过 IO(输入输出)模块实现对切换继电器的分组驱动和状态监测,并预留远程监测干接点。此外,可配置 HMI 触摸屏以实现切换装

置的就地控制和状态识别,同时预留远程控制的网络接口。为提高切换装置的可靠性,供电系统采用了冗余设计。

如图 4 所示,轨旁切换装置主要由机柜、切换模块、主控器、驱动模块、采集模块、HMI 触摸屏及手动开关等部分组成。



注:DO—数字输出;AI—模拟输入;RS485—串行 485 总线。

图 4 轨旁切换装置架构图

Fig.4 Architecture diagram of trackside switching device

与轨旁切换装置不同,车载切换装置受限于车载设备的空间限制,且车载切换信息点众多,同时新、旧车载系统只能由一方控制车辆。因此,为确保车载切换的完整性和一致性,车载系统需采用一次性整体切换,即一键切换方式。

车载切换装置采用小型继电器替代切换模块,以简化切换结构,并仅提供手动切换功能。车载切换装置的结构与轨旁切换装置相似,同样采用冗余供电方案,但不配置触摸屏、主控器、模拟量采集模块和数字输出模块等与软件切换相关的硬件。其架构如图 5 所示。

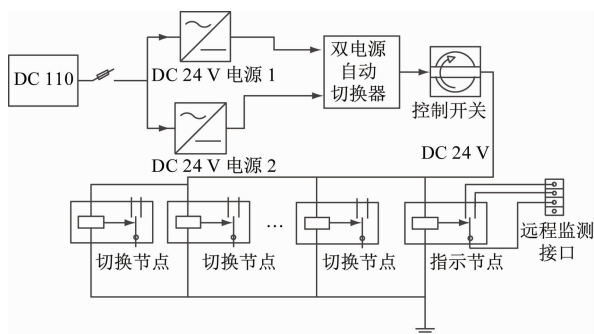


图 5 车载切换装置架构图

Fig.5 Architecture diagram of onboard switching device

4 结语

城市轨道交通信号改造工程涵盖的切换范围广泛,配线量巨大。采用过渡切换装置及切换电路进行过渡切换作业,相较于完全依赖人工进行倒接线的切换方式,能够显著提升切换效率,确保切换的准确性,同时减少人力投入,有效利用夜间有限的施工时间,从而保障整个工程项目的调试质量和进度。针对不同轨旁设备和接口的切换特性,以及实施切换所处的不同阶段,可以运用过渡切换装置构建适用于不同设备和接口的局部集中切换系统,乃至远程切换系统,为改造调试过程中的复杂需求提供灵活且高效的实施方案。

参考文献

- [1] 张惺. 城市轨道交通信号系统大修改造方案分析[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(1): 88.
ZHANG Xing. Analysis of renovation solution to overhaul of signalling system in urban mass transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(1): 88.
- [2] 邢艳阳. 城市轨道交通 CBTC 系统升级为 TACS 系统的方案探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2021(9): 18.
XING Yanyang. Study on CBTC system upgrading to TACS system plan for urban rail transit [J]. Modern Urban Transit, 2021

- (9): 18.
- [3] 王喜军, 杨立新, 武少峰. 城市轨道交通信号系统升级改造项目方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 77.
WANG Xijun, YANG Lixin, WU Shaofeng. Study on upgrading and transformation scheme of signal system in urban rail transit [J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 77.
- [4] 王二中, 李新. 两种城市轨道交通既有信号系统改造方案对比分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(5): 66.
WANG Erzhong, LI Xin. Comparison and analysis of two types of reconstruction schemes of urban rail transit existing line signaling system[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(5): 66.
- [5] 倪尉. TACS 系统在城市轨道交通信号系统更新改造工程中的应用研究[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(8): 73.
NI Wei. Research on application of TACS in renovation project of signal system in urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(8): 73.
- [6] 杨安玉, 张志恒. 城市轨道交通信号系统倒切电路设计[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(2): 98.
YANG Anyu, ZHANG Zhiheng. Design of quick switch circuit of signal system used in urban rail transit[J]. Railway Standard Design, 2014, 58(2): 98.
- [7] 马永恒. 城市轨道交通信号系统改造倒接方案设计[J]. 微型机与应用, 2015, 34(19): 7.
MA Yongheng. Signal system migration design of urban transit re-vamping project[J]. Microcomputer & Its Applications, 2015, 34(19): 7.
- [8] 孙庆斌. 城市轨道交通信号系统工程倒切开关应用研究[J]. 电气化铁道, 2018, 29(3): 60.
SUN Qingbin. Researches of application of changing over switches for signal system of urban mass transit [J]. Electric Railway, 2018, 29(3): 60.
- [9] 李立明, 李建光, 顾家泉, 等. 轨道交通信号系统升级改造期间新旧系统倒接方式及应用分析[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(9): 22.
LI Liming, LI Jianguang, GU Jiaquan, et al. Analysis of the application and reverse connection methods between the rail transit signal new and old systems during upgrading [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(9): 22.
- 收稿日期:2023-02-08 修回日期:2023-03-05 出版日期:2025-03-10
Received:2023-02-08 Revised:2023-03-05 Published:2025-03-10
· 第一作者:叶富智,高级工程师,yefuzhi@gzmtr.com
通信作者:牟宗元,工程师,mouzongyuan-signalling@ey-crec.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 279 页)

我国某地铁曾连续 2 年遭遇弓网异常磨耗导致的全线接触线更换问题。通过借鉴广州地铁的优化措施,该地铁的弓网关系得到了显著改善。在弓网异常磨耗研究领域,广州地铁集团有限公司的专项工作已取得了明显成效,成功为近年来全国范围内多个城市所遭遇的刚性接触网弓网异常磨耗难题,提供了切实可行的解决方案。

参考文献

- [1] 李含欣, 季德惠, 沈明学, 等. 环境湿度对碳/铜滑动接触副载流摩擦学行为的影响[J]. 摩擦学学报, 2022, 42(4): 709.
LI Hanxin, JI Dehui, SHEN Mingxue, et al. Effect of environmental humidity on tribological behavior of carbon/copper current-carrying sliding contact pairs[J]. Tribology, 2022, 42(4): 709.
- [2] 孙逸翔, 岳洋, 宋晨飞, 等. 相对湿度对铜材料载流磨损的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 1.
SUN Yixiang, YUE Yang, SONG Chenfei, et al. Effect of relative humidity on triboelectric wear of copper[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 39(1): 1.
- [3] 王蒙, 郭凤仪, 王智勇, 等. 潮湿条件下滑板磨耗特性研究[J]. 高压电器, 2018, 54(7): 292.
WANG Meng, GUO Fengyi, WANG Zhiyong, et al. Study on the wear characteristics of slide plate under wet conditions[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(7): 292.
- [4] 宋相宇, 李耕, 高志良, 等. 郑州地铁 3 号线弓网异常磨耗情况分析[J]. 河南科技, 2021, 40(36): 77.
SONG Xiangyu, LI Geng, GAO Zhiliang, et al. Analysis on abnormal wear of pantograph and catenary of Zhengzhou Metro Line 3 [J]. Henan Science and Technology, 2021, 40(36): 77.
- 收稿日期:2022-11-23 修回日期:2023-02-09 出版日期:2025-03-10
Received:2022-11-23 Revised:2023-02-09 Published:2025-03-10
· 通信作者:邱伟明,正高级工程师,qiuweiming@gzmtr.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

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821