

城市轨道交通车辆辅助高压母线环形馈线控制方案

杨 丽^{1*} 胡金鑫² 柴金川³

(1. 中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京; 2. 南京浩明工贸实业有限公司, 210009, 南京;
3. 中国铁道科学研究院集团有限公司国家铁道试验中心, 100015, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的:为解决地铁车辆在车间维护时,由于不规范操作引起的维护人员异常触电问题,提出一种城市轨道交通车辆辅助高压母线环形馈线控制方案。方法:所提方案主要从高压箱安全回路、馈线接触器箱安全环路、环形馈线控制及中压母线控制4个方面进行设计。在车辆高压箱前盖板设置行程开关、车间电源插座盖板位置开关和接地隔离开关。既有高压电路中增加馈线接触器箱,其包含馈线接触器、低压控制电路及箱体盖板行程开关。设置网络控制单元及逻辑控制单元对高压箱前盖板状态、车间电源状态、接地隔离开关状态及馈线接触器箱盖板状态进行采集,并根据盖板及隔离开关位置状态进行逻辑诊断。结果及结论:①当上述各状态均在正常位置时,馈线接触器线圈得电,高压馈线贯穿全车两个动力单元。②当任一盖板状态发生异常断开时,两个动力单元的馈线接触器线圈失电,高压馈线断开且仅提供所在动力单元内部的供电;同时,逻辑诊断单元控制三相并网继电器失电,控制三相母线接触器断开,三相母线只进行本动力单元并网。③除受高压安全环路控制外,三相母线还能进行自身状态保护,无短路故障时闭合三相母线接触器,短路故障时断开三相接触器,辅助逆变器诊断为内部短路,切除相应辅助逆变器后重新并网;若辅助逆变器诊断为外部短路,则断开三相接触器。④整车网络故障时,当辅助逆变器检测到内部短路故障,则断开三相接触器。

关键词 城市轨道交通; 车辆; 高压母线; 环形馈线控制

中图分类号 U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.043

Auxiliary High-voltage Bus Ring Feeder Control Scheme for Urban Rail Transit Vehicle

YANG Li, HU Jinxin, CHAI Jinchuan

Abstract Objective: To address the issue of abnormal electric shock incidents among maintenance personnel caused by improper operations during metro vehicle workshop maintenance, a control scheme for the auxiliary high-voltage bus ring feeder in urban rail transit vehicle is proposed. Method: The proposed scheme is designed based on four aspects: high-volt-

age box safety circuit, feeder contact box safety loop, ring feeder control, and medium-voltage bus control. Trip switch, workshop power socket cover position switch and grounding isolation switch are installed on the front cover of vehicle high-voltage box. A feeder contact box is added to the existing high-voltage circuit, which includes the feeder contactor, low-voltage control circuit, and the trip switch on the box cover. A network control unit and a logic unit are set up to collect the status of high-voltage box front cover, workshop power, grounding isolation switch, and feeder contactor box cover, and perform logic diagnostics based on the cover and switch position status. Result & Conclusion: (1) When all the aforementioned status are in the normal position, the feeder contactor coil is energized, and the high-voltage feeder extends through two power units of the entire vehicle. (2) If any cover status is abnormally disconnected, the feeder contactor coils of both power units lose power, resulting in disconnection of the high-voltage feeder, providing power only within the local power unit. Simultaneously, the logic diagnostic unit controls the power loss of three-phase grid-relay, disconnecting the three-phase bus contactor, and the three-phase bus is connected only within the local power unit. (3) In addition to high-voltage safety loop control, the three-phase bus can also protect its own status. When there is no short-circuit fault, the three-phase bus contactors are closed, and in case of short-circuit fault, the contactors are disconnected; when the auxiliary inverter diagnosis indicates an internal short-circuit, the corresponding auxiliary inverter is cut off and reconnected to the grid. If the auxiliary inverter diagnosis indicates an external short-circuit, the three-phase contactors are disconnected. (4) In case of a network failure throughout the vehicle, and the auxiliary inverter detects an internal short-circuit fault, the three-phase contactors are disconnected.

Key words urban rail transit; vehicle; high-voltage bus; ring feeder control

* 通信作者

First-author's address CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

目前,城市轨道交通列车的两个动力单元之间仅敷设一根辅助高压母线。当列车升双弓运行时,辅助高压母线作为等势线存在,贯穿整列列车的两个高压单元。当列车升单弓运行时,在一个单元受电弓输入故障或车间电源模式下,辅助高压母线可将高压电扩展至另一个单元,另一个单元辅助逆变器可正常工作,输出三相交流及直流电,满足列车交直流负载的供电需求。当列车在库内维护、使用车间电源供电或升单弓时,高压箱体、中低压配电箱内器件带电,列车远端(未激活司机室单元)维护人员在未知的情况下打开车下箱体盖板存在触电风险。

为解决上述问题,本文提出一种城市轨道交通车辆辅助高压母线环形馈线控制方案,以期解决由异常维护操作带来的触电隐患问题。在箱体盖板上(包括高压箱和馈线接触器箱盖板)设置行程开关,由车辆 LCU(逻辑控制单元)采集盖板状态并对其进行监控。当发生盖板异常时,逻辑控制单元控制馈线接触器断开,另一单元高压线路失去高压电。本研究可为城市轨道交通车辆辅助高压电路

设计提供工程经验与技术指导。

1 总体技术方案

城市轨道交通车辆辅助高压母线环形馈线控制方案主要从高压箱安全回路、馈线接触器箱安全环路、环形馈线控制及中压母线控制等方面进行设计。辅助供电方案为在经过受电弓输入的高压电源进入高压箱后,一路电源供给辅助逆变器,一路电源经过高速断路器后供给牵引系统,另一路电源经过高压母线(也可称为馈线)至另一个单元的高压箱。为防止车间电源插入本端(激活司机室单元)接口或列车升单弓时,维护人员对底架设备进行维护引起意外触电,需要对高压馈线进行控制,保证馈线接触器在正常情况下贯通、异常情况下断开。在两个单元辅助高压馈线上设置馈线接触器,馈线接触器的通断设计为受接地隔离开关、高压箱、馈线接触器箱及车辆控制单元状态的影响。在进行高压馈线接触器安全联锁的控制过程中,在高压安全环路断开的同时,逻辑控制单元控制单相线接触器断开,在网络正常模式和备用模式下,辅助逆变器对内部短路和外部短路进行诊断控制。带馈线控制的辅助高压供电原理图如图 1 所示。

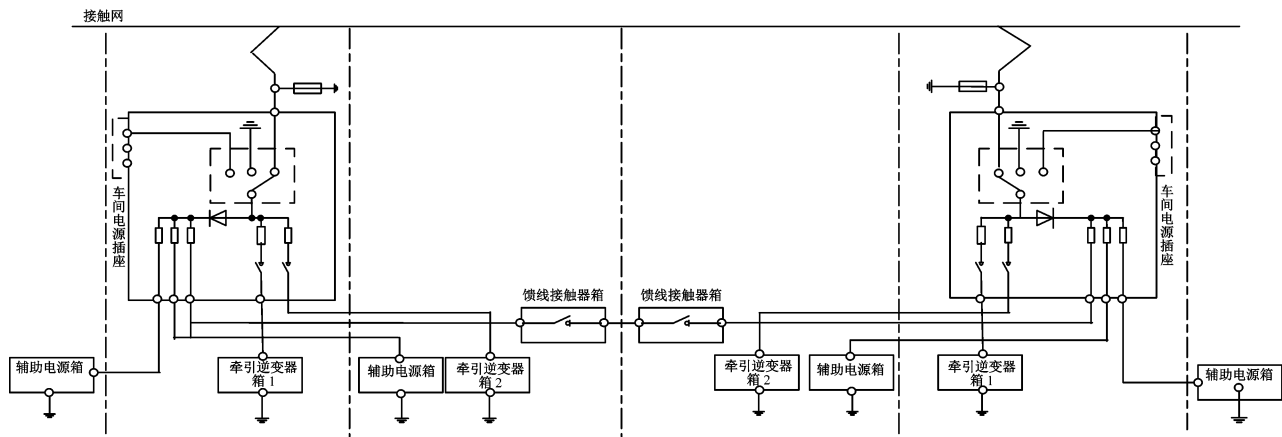


图 1 带馈线控制的辅助高压供电原理图

Fig. 1 Principle diagram of auxiliary high-voltage power supply with feeder control

2 详细技术方案

辅助高压母线环形馈线电路主要由安装在两个动力单元车辆上的牵引高压箱、馈线接触器箱、LCU 和控制开关等组成。接下去将从高压箱安全回路、馈线接触器箱安全环路、环形馈线控制及中压母线控制 4 个方面展开介绍。

2.1 高压箱安全环路

高压箱内设有接地隔离开关 Q1、Q2 和高压箱前盖板行程开关,箱体上设置有车间电源插座,同时对插座盖板状态进行监控。根据不同需求的工作模式,接地隔离开关共有 3 种工作位置,包括运行位、车间电源位和接地位。根据维护人员操作隔离开关的不同工作模式,接地隔离开关位置状态发生

变化,实现互锁功能。牵引高压箱安全环路示意图如图 2 所示。

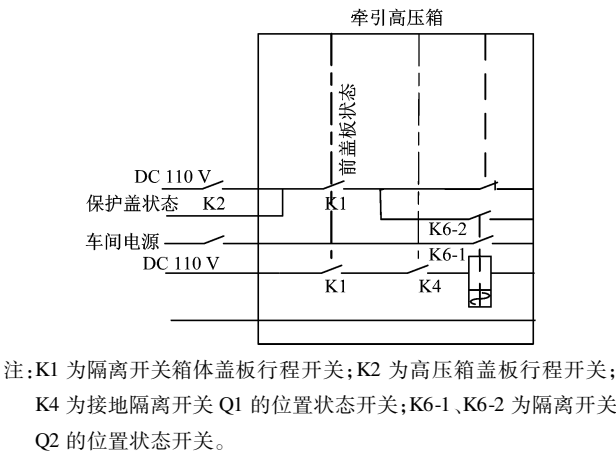


图 2 牵引高压箱安全环路示意图

Fig. 2 Diagram of traction high-voltage box safety loop

2.2 馈线接触器箱安全环路

馈线接触箱内设有馈线接触器线圈、主触头和箱盖板行程开关。将馈线接触器线圈的得失电用于控制馈线接触器主触头的通断。馈线接触器主触头可接入车辆高压母线环形馈线。箱盖板的行程开关用于箱门开关状态的监控及安全环路的控制。

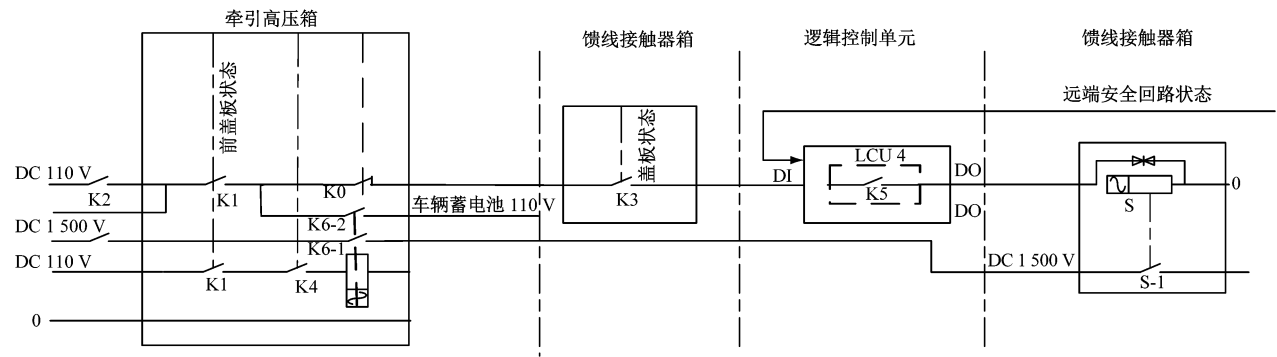


图 3 环形馈线控制方案示意图

Fig. 3 Diagram of ring feeder control scheme

当接地隔离开关为运行模式时,由 LCU 采集两个动力单元的接地隔离开关、高压箱前盖板开关、车间电源插座盖板开关和馈线接触器盖板开关的状态信息。当上述开关组成的安全环路均为高电平时,LCU 内的触点 K5 闭合,馈线接触器线圈得电,主触头闭合;否则,K5 断开,并将状态信息发送至另一个动力单元内的 LCU,另一个动力单元触点

逻辑控制单元对安全环路内本端高压箱、馈线接触器箱盖板及接地隔离开关状态进行实时监控,同时结合安全环路中各个节点的状态进行逻辑诊断。

2.3 环形馈线控制

安装在列车两个动力单元的逻辑控制单元分别采集车间电源保护盖状态、接地隔离开关位置、高压箱前盖板状态和馈线接触器箱盖板状态,并将其串接入车辆安全回路。LCU 采集安全回路状态并进行逻辑判断,两个动力单元间的 LCU 通过列车总线进行通信,并将本地检测到的安全环路状态发送至另一单元的 LCU。当以下任一条件满足时,逻辑控制单元控制馈线接触器闭合:①列车两个动力单元间的车间电源保护盖关闭、接地隔离开关操作至运行位、高压箱前盖板位于关闭位且馈线接触器盖板位于关闭位;②两个动力单元的车间电源保护盖打开、接地隔离开关操作至车间电源位、高压箱前盖板位于关闭位且馈线接触器盖板位于关闭位。

当上述任一动力单元盖板异常或隔离开关位置发生变化时,逻辑控制单元控制馈线接触器断开,辅助高压母线断开失电。环形馈线控制方案示意图如图 3 所示。

同时断开。

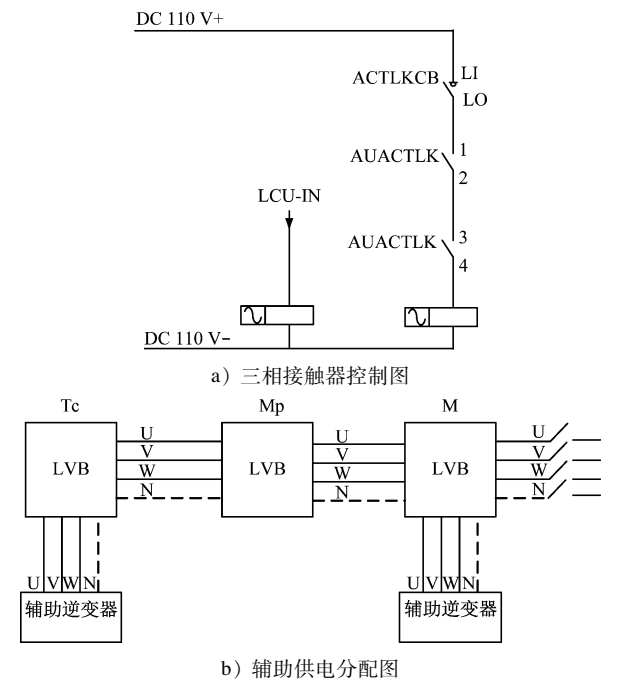
当接地隔离开关为车间电源模式时,插入车间电源插头,插座保护盖板开关断开,同时车间电源接触器得电,车间电源接触器主触头和辅助触头 K6-2 闭合,本端 DC 1 500 V 车间电源接通。K6-2 所在控制电路导通,此处电源由车辆蓄电池提供,旁路车间电源插座保护盖状态 K2。由 LCU 采集两

个动力单元的接地隔离开关、高压箱前盖板开关和馈线接触器盖板开关的状态信息。若上述开关组成的安全环路为高电平时,馈线接触器线圈得电,主触头闭合,整车 DC 1 500 V 电源接通。另一个动力单元的辅助高压母线可以通过车间电源插座获取 DC 1 500 V 高压电,否则馈线接触器主触头 S-1 断开。

2.4 中压母线控制

当车辆高压母线环网在安全环路发生异常情况时,在断开母线馈线接触器进行保护的同时,中压母线控制也需采用相应的闭合逻辑进行保护。中压母线控制原理图如图 4 所示。在控制电路中设置继电器,以及在中压供电母线上设置中压母线接触器,用于控制中压母线。当馈线接触器因安全环路异常而断开时,中压供电继电器收到 LCU 的指令失电,断开远端中压供电。此时,中压母线通断的控制策略为:

1) 网络控制单元收到 4 个辅助逆变器的输出中压母线均无电且没有报短路故障的状态信息,中压母线的三相供电接触器默认闭合,整车 4 个辅助逆变器向整车辅助系统提供电源。



注: AUACTLK 为中压供电继电器; ACTLKCB 为中压供电控制回路断路器; LCU-IN 为逻辑控制单元输入指令; LI 为断路器正极; LO 为断路器负极; Tc 为拖车; Mp 为带受电弓的动车; M 为动车; LVB 为中低压配电箱; U 为三相电源 U 相; V 为三相电源 V 相; W 为三相电源 W 相; N 为三相电源中性线。

图 4 中压母线控制原理图

2) 当任一辅助逆变器发生短路时,整车辅助逆变器全部先报外部短路,所有辅助逆变器断电,并且给所有辅助逆变器发送短路诊断指令;诊断完成后,反馈辅助逆变器的实际状态。若为内部短路,切除相应辅助逆变器,并重新闭合母线接触器进行并网供电。若为外部短路,保持接触器断开,分段并网并切除相应辅助逆变器。

3) 当整车网络故障进入备用模式时,任意一个辅助逆变器输出外部短路或内部短路情况下,中压母线接触器断开进行保护,此时辅助逆变器仅为所在动力单元供电。

3 总体技术方案优势

所提方案的优点为:①高压馈线在安全环路正常时贯穿整车作为等势线存在;②列车单弓运行时,整车高压贯通辅助系统可投入工作;③车间电源模式下,单端车间电源供电时,贯穿整车两个动力单元的高压母线环形馈线贯通;④列车在库内维护时,若远端维护人员打开任一车下箱体盖板进行维护,整车两个馈线接触器均断开,并切断远端高压回路供电和中压供电,底架的中高压供配电箱因异常操作均失电,可以有效保证维护人员的人身安全,同时将异常状态发送至车辆显示屏提示司机。

馈线接触器的通断控制方案考虑了接地隔离开关、牵引高压箱、馈线接触器箱等安全环路的状态,保证了库内维护人员的安全,且其控制电路具有结构简单、可靠性高等特点,可以满足列车正线运行模式及库内车间电源模式的使用需求。

4 结语

通过技术方案分析及试验调试验证可知,在列车的两个动力单元间设置高压安全环路和中压安全环路、使用外部逻辑控制单元诊断控制及设备自身诊断控制的方式,可以从源头上解决列车运行或维护过程中,安全环路异常状态可能导致的触电风险。本文对辅助高压母线及中压母线直接贯通两个动力单元的电路提出了较大的改进措施,从根源上消除了异常维护操作带来的安全隐患。目前,采用该设计方案的列车已顺利通过列车运营考核,且运行情况良好。

(下转第 243 页)

Fig. 4 Principle diagram of medium-voltage bus control

的检测难度,同时提高了检测效率与准确性,为轨道交通接触网关键部件的故障诊断提供了有效支撑。

参考文献

- [1] 姚兰,肖建. 基于模糊熵和 Hough 变换的受电弓滑板裂纹检测方法[J]. 铁道学报, 2014, 36(5):58.
YAO Lan, XIAO Jian. Pantograph slide cracks detection method based on fuzzy entropy and Hough transform[J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(5):58.
- [2] 周靖松,韩志伟,杨长江. 基于三维点云的接触网几何参数检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(4):239.
ZHOU Jingsong, HAN Zhiwei, YANG Changjiang. Catenary geometric parameters detection method based on 3D point cloud[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(4):239.
- [3] 徐蔚,彭乐乐,钟倩文,等. 基于图像处理和双 BP 神经网络的电气化铁路接触网立柱标识牌识别算法研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(3):81.
XU Wei, PENG Lele, ZHONG Qianwen, et al. Research on the identification algorithm of electric railway catenary pillar signage based on image processing and double BP neural network[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(3):81.
- [4] 杨红梅,刘志刚,韩焯,等. 基于快速鲁棒性特征匹配的电气化铁路绝缘子不良状态检测[J]. 电网技术, 2013, 37(8):2297.

(上接第 234 页)

参考文献

- [1] 张兴宝. 城轨车辆受电弓供电高压母线拓扑结构分析及设计探讨[J]. 电力机车与城轨车辆, 2014, 37(1):61.
ZHANG Xingbao. Analysis and design of high-voltage bus for pantograph power supply for urban rail vehicles[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2014, 37(1):61.
- [2] 张望,刘硕研,柴金川. 动车组运行状态智能检测装备[J]. 铁路计算机应用, 2018, 27(7):70.
ZHANG Wang, LIU Shuoyan, CHAI Jinchuan. Intelligent detection equipment for EMU operating state[J]. Railway Computer Application, 2018, 27(7):70.

(上接第 237 页)

参考文献

- [1] 闫海城,陈志东. 城市轨道交通车辆两种受电弓跟随性试验研究[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(2):32.
YAN Haicheng, CHEN Zhidong. Experimental study of pantograph following performance in two driving modes for urban rail

YANG Hongmei, LIU Zhigang, HAN Ye, et al. Defective condition detection of insulators in electrified railway based on feature matching of speeded-up robust features[J]. Power System Technology, 2013, 37(8):2297.

- [5] 余晓宁,顾桂梅,王阳萍,等. 基于 Faster R-CNN 的接触网吊弦故障检测方法[J]. 兰州交通大学学报, 2021, 40(2):58.
YU Xiaoning, GU Guimei, WANG Yangping, et al. Catenary dropper fault detection method based on faster R-CNN[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2021, 40(2):58.
- [6] 罗隆福,叶威,王健. 基于深度学习的高铁接触网顶紧螺栓的缺陷检测[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(3):605.
LUO Longfu, YE Wei, WANG Jian. Defect detection of the puller bolt in high-speed railway catenary based on deep learning[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(3):605.
- [7] 张子健,马吉恩,李旭峰,等. 基于深度学习与 Hu 不变矩的绝缘子故障检测[J]. 铁道学报, 2021, 43(2):71.
ZHANG Zijian, MA Jien, LI Xufeng, et al. Insulator fault detection based on deep learning and hu invariant moments[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(2):71.
- [8] 王彬,王宝丽. 基于卷积神经网络的接触网绝缘子缺陷检测方法[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(12):90.
WANG Bin, WANG Baoli. Detection method of catenary insulator defects based on convolutional neural network[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(12):90.

(收稿日期:2022-11-04)

- [3] 张兴凯. 地铁牵引供电系统框架保护方案的优化设计[J]. 现代城市轨道交通, 2015(6):1.
ZHANG Xingkai. Optimization design of frame protection scheme for metro traction power supply system[J]. Modern Urban Transit, 2015(6):1.
- [4] 何晔,于江山,王军,等. 应用于城轨车辆辅助电源的交错控制 Boost 变换器电路研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(7):26.
HE Ye, YU Jiangshan, WANG Jun, et al. Research on interleaved control Boost converter applied to auxiliary power supply of urban rail transit vehicles[J]. Modern Urban Transit, 2021(7):26.

(收稿日期:2021-07-04)

transit vehicle[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(2):32.

- [2] 戚广枫,寇宗乾,李红梅. 高铁接触网智能建造技术研究[J]. 中国铁路, 2021(2):1.
QI Guangfeng, KOU Zongqian, LI Hongmei. Research on intelligent construction technologies of HSR overhead contact line system[J]. China Railway, 2021(2):1.

(收稿日期:2021-04-09)