

可视化三工位隔离接地一体化装置替代可视化 接地装置的应用探讨

李 军 周 航 赖治平 陈昌邦 韦庭三 廖福超 黄焕毛
覃 乾 黄锦云 廖龙飞 农 益

(南宁轨道交通运营有限公司, 530025, 南宁)

摘 要 [目的] 隔离开关是轨道交通牵引供电系统中的关键设备, 随着智能化开关设备技术的发展和接触网智能运维管理需求的不断提升, 需对接触网开关设备整体的智能化、可视化进行研究分析。[方法] 介绍了可视化接地技术的应用现状, 以及二隔离接地一体化的必要性; 介绍了可视化三工位隔离接地一体化装置的原理及其功能特点, 并进行其优势分析。以南宁轨道交通 3 号线挂网试运行为例, 验证了可视化三工位隔离接地一体化装置的功能和性能。[结果及结论] 融合了隔离开关和可视化接地装置的可视化三工位隔离接地一体化装置, 具备快装式自锁三工位开关、程序化控制、全面可视化、网络拓扑安全连锁、故障自诊断等功能特点, 可以实现接触网停送电和接地操作的整体可视化、智能化。与仅加装可视化接地装置的应用模式相比, 所提出的三工位模式具有更齐全、安全、高效、智能、经济等优点, 是一种切实可行的接触网开关设备智能化解决方案。

关键词 城市轨道交通; 供电接触网; 三工位开关; 隔离接地一体化

中图分类号 U225.4⁺5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.055

Application of Visual Three-Position Isolation and Grounding Integration Device Replacing Visual Grounding Device

LI Jun, ZHOU Hang, LAI Zhiping, CHEN Chang-bang, WEI Tingsan, LIAO Fuchao, HUANG Huan-mao, QIN Qian, HUANG Jinyun, LIAO Longfei, NONG Yi

(Nanning Rail Transit Operation Co., Ltd., 530025, Nanning, China)

Abstract [Objective] Disconnecter is a key equipment in rail transit traction power supply system. With the development of intelligent switch equipment technology and the increasing demand for intelligent operation and maintenance management of power supply catenary, it is necessary to conduct research and analysis on the overall intelligence and visualization of cat-

enary switch equipment. [Method] The application status of visual grounding technology and the necessity of two-isolation grounding integration are introduced; the principle and functional characteristics of the visual three-position isolation grounding integration device are introduced, and its advantage analysis is carried out. Taking the trial run of Nanning Rail Transit Line 3 as an example, the functions and performance of the visual three-position isolation grounding integration device are verified. [Result & Conclusion] Through integrating disconnecter and visual grounding device, the visual three-position isolation and grounding integration device has the functional features of quick-installed self-locking three-position switch, programmed control, comprehensive visualization, network topology safety interlocking, and fault self-diagnosis. It can realize the overall visualization and intelligence of the catenary power cut/transmission and grounding operation. Compared with the application mode of only adding a visual grounding device, the proposed three-position mode boasts more complete, safe, efficient, intelligent, and economic advantages, and is a practical intelligent solution for the catenary switch device.

Key words urban rail transit; power supply catenary; three-position switch; isolation and grounding integration

城市轨道交通接触网属高电压设备, 其设备供电的可靠性、安全性对城市轨道交通运营起到关键作用。随着城市轨道交通的不断发展, 其牵引供电技术也在不断地进步与完善^[1-4]。近年来, 可视化接地装置在轨道交通行业得到广泛应用, 通过远程可视的自动接地代替人工接地过程, 各城市轨道交通运维单位深切体会到智能化接地所带来的安全保障和效率提升。

南宁轨道交通运营有限公司在可视化接地装置应用的基础上, 研究可视化三工位隔离接地一体化技术, 在南宁轨道交通 3 号线心圩车辆段实现初

步的工程化应用,并对其功能和性能进行多维度验证和对比分析,确定可视化三工位隔离接地一体化技术相比可视化接地具有更加齐全、安全、高效、智能、经济等方面的优势,可在新线建设或旧线改造中推广应用,希望以此能为城市轨道交通供电系统智能化发展提供借鉴。

1 可视化接地技术应用现状

近年来,供电接触网远程可视化自动接地技术得到广泛应用,通过可视化接地装置代替现场人工接地。如图 1 所示,可视化接地装置安装在接触网上网隔离刀闸附近,通过通信网络接入接地操作管理系统;地铁运营时接地开关处于分位,接触网停电检修时实现安全、高效接地操作,为作业现场提供安全保障。

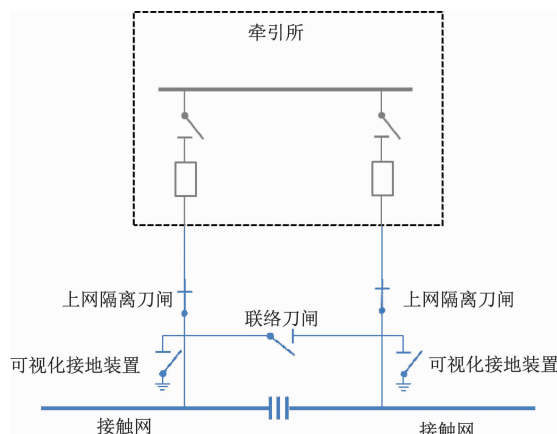


图 1 接触网电气接线图

Fig. 1 Electrical wiring diagram of the catenary

可视化接地装置包括电动接地开关、控制器(智能测控)、摄像机、验电器、放电器、显示单元、联锁元件等组件,具备状态实时监测、视频智能监控、远程自动接地、操作安全管控等功能,如图 2 所示。

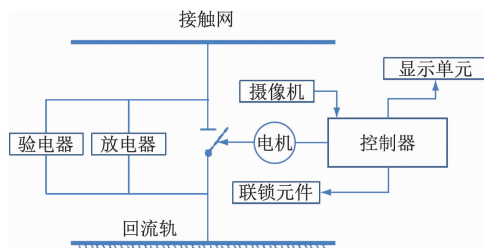


图 2 可视化接地装置二次原理图

Fig. 2 Visual grounding device secondary schematic diagram

接地开关一侧接接触网、一侧接回流轨,通过电动机完成接触网自动挂拆地线功能;控制器是

接地装置的智能中枢,对柜内其他组件进行监测,和上级管理系统接口实现数据远传和命令转发;验电器实现接触网实时验电和带电联锁;放电器实现接触网残压放电功能,以防止接地时残压过高冲击接地开关;摄像机实现接地开关视频图像监视,支持联动监视和智能识别功能;显示单元和联锁元件分别实现现场安全警示和操作安全防护。

2 隔离接地一体化的必要性

可视化接地装置与上网隔离刀闸配合完成接触网停送电和挂拆地线操作。两类设备分属于接触网专业和供电专业,检修作业时需在各自监控系统上分别完成设备操作,存在业务衔接繁琐和运维量大影响整体效率的问题。目前,可视化接地装置和隔离刀闸都由电调远控操作,故基于同一套系统、同一类设备实现全线接触网操作控制是有必要,且可行的;上网隔离刀闸缺乏可视化、智能化应用功能,对比可视化接地装置,已成为制约接触网开关设备智能化发展的短板;随着可视化接地装置的普及,也出现因设备数量、类型增多,导致安装空间不足、安装运维工作量及成本增加等问题;此外,基于控制电缆实现的设备间电气联锁还存在结构复杂、信号可靠性差、实施成本高等问题。

因此,一种可集成隔离刀闸和可视化接地装置功能,实现安全、高效停电接地操作,具有减少设备数量、节省安装空间、简化安全联锁等特点,为城市轨道交通提供接触网开关设备整体智能化解决方案的可视化三工位隔离接地一体化装置,成为当下各地铁运营单位和运维专家研究探索的热点,也符合运营单位业务智能整合发展的趋势。

3 可视化三工位隔离接地一体化装置原理

南宁轨道交通运营有限公司积极探索隔离接地一体化技术,并首先实现可视化三工位隔离接地一体化装置的工程化应用。以南宁轨道交通 3 号线心圩车辆段作为试点,通过可视化三工位隔离接地一体化装置(以下简称“三工位装置”)代替原敞开式户外隔离刀闸和可视化接地装置,以实现停电和接地的可视化自动控制。装置采用开关柜式结构、下进下出接线方式,通过光纤以太网接入位于车辆段 DCC(车辆基地控制中心)的操作管理系统,设备现场安装如图 3 所示。



图3 可视化三工位装置应用现场

Fig. 3 Application site of the visual three-position device

三工位装置的核心是三工位开关,包括一个动触头和两个静触头,动触头连接到接触网,一个静触头连接到牵引所电源,另一个静触头连接到回流轨,具备“接通位、隔离位、接地位”三工位转换,可实现接触网智能停电、接地功能。三工位装置电气原理图如图4所示。

列车运营期间,三工位开关在“接通位”,进线及接触网带电;验电器对接触网实时验电并将验电结果及电压值发送给控制器;控制器实现开关柜门带电闭锁、靠近提醒、显示单元显示带电状态及电压值等功能,并将三工位开关位置信号、视频画面、接触网电压上送主站系统。检修作业前,通过遥控或手动操作将三工位开关操作到“隔离位”,接触网无电,此时如果进线有电则禁止打开高压室,由于接触网未接地,还不能进场作业,通常是过渡状态或非作业区域的设备操作;作业区域内的三工位开关,还要继续操作到“接地位”,此时接触网接地,允许进场作业。操作过程中,摄像机一直监视三工位开关变位过程,并通过视频智能识别获取开关位置状态作为辅助判据;同时,通过联锁元件,防止误开柜门、带电接地、接地状态送电、主站误发遥控命令等各种误操作,以保证操作安全。三工位装置配置了温湿度传感器、加热除湿及风机,可以自动调节柜内温湿度;设计了避雷器以防止雷击对柜内设备造成损坏,同时设计了泄压通道,当柜内压力过大时启动,以保证设备安全。

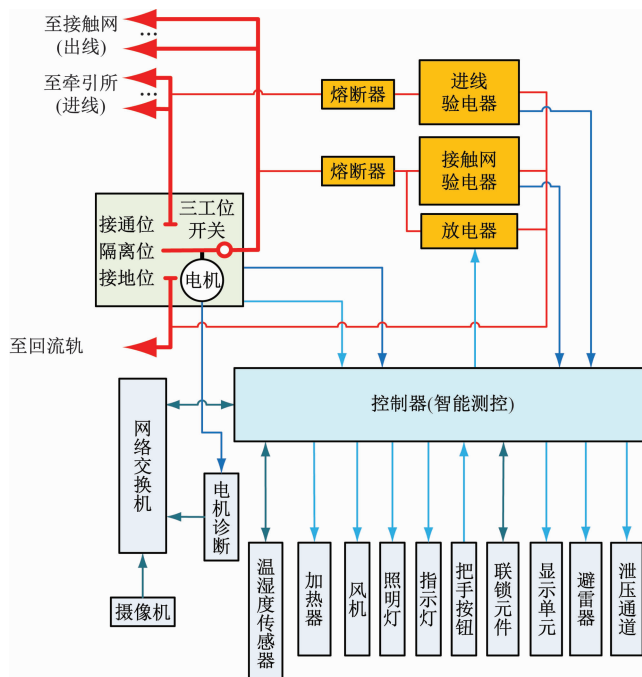


图4 三工位装置电气原理图

Fig. 4 Electrical schematic diagram of the three-position device

在操作控制方面,三工位装置支持远方遥控、就地电动、就地手动三种操作模式,可配合主站系

统实现程序化控制操作。应用场景方面,除了车辆段内使用,三工位装置可应用于正线接触网、场段

咽喉区、场段库区等各种场合,2 台三工位装置配合 1 台越区联络开关可实现正线牵引供电整体解决方案。

4 三工位装置功能特点

4.1 快装式自锁三工位开关

三工位开关的“接通位”和“接地位”间采用机械联锁,不会因联锁失效而导致带电接地或接地状态送电的安全风险;刀闸机构采用蜗轮蜗杆结构,具备自锁功能,确保动触头不受外力而发生位移,保证三工位开关动作稳定可靠。此外,三工位开关采用模块化设计,包括独立的操作机构与触头,可快速装配与拆卸,便于维护与保养;三工位装置采用紧凑型设计、占用空间小;具备 IP65 高防护等级,适用各种复杂安装环境;可安装在隧道、高架等户内和户外各种区域,能满足列车运行时的风速、振动、负荷瞬变等运行要求。

4.2 支持高安全性程序化控制

三工位装置支持程序化控制功能,可以突破供电和接触网专业限制,实现全线接触网开关设备的一键批量全遥控,大大提升停电接地操作效率;同时,通过“辅助接点+视频分析”的非同源设备状态双确认、控制逻辑条件实时校验、控制回路“硬”闭锁、视频联动监视等技术,保证每一步操作的安全可靠。

4.3 实现开关设备的全面可视化

三工位装置具有远程视频监视、就地观察窗监视、就地指示灯及显示单元监视、设备状态及接触网电压监视等丰富的状态监视功能,还包括电机状态监测及智能诊断、三工位开关在线监测、柜内各组件的运行数据及自检信息和通信网络监测、温湿度自动调节等,结合主站系统的运维台账和数字孪生应用,实现了开关设备的全面可视化监控。

4.4 基于电气网络拓扑的安全联锁

开关设备间的电气联锁通常采用控制电缆实现,其逻辑关系复杂、电缆多,出现问题时难以进行故障分析。三工位开关通过机械联锁代替隔离刀闸和接地开关间的电气联锁,减少了联锁电缆,使联锁更加安全可靠。此外,三工位装置间可通过 GOOSE(面向对象的变电站事件)网络横向通信,每台装置均可获取全线其他装置采集的刀闸、地刀状态信息,并根据一次设备间电气连接拓扑关系及逻辑规则库,自动完成站间联锁及操作逻辑校核,完

全取消了站间联锁电缆,可大大简化联锁逻辑并节省相关成本。

4.5 故障自诊断技术

三工位装置的关键组件具备自诊断功能,可及时发现和预判设备故障、失电、通信中断等异常情况,如通过电机诊断单元对操作机构电机进行在线监测及故障诊断。电机诊断单元对电动操作机构的直流电动机进行监测,以其电信息特征分析为基础,利用现代波形分析技术与人工智能建模技术,对机构正常运行特征信息进行建模,并实时监测机构运行和变化情况,对异常变化及早作出预警信息,以便维护人员可以提前规划检修相应设备,减少和消除突发性操作故障。

5 三工位装置优势分析

三工位装置接线原理与可视化接地装置类似,但是整体功能和性能更加优越。三工位装置的控制柜(智能测控)除了实现柜内信息采集、控制输出、远程通信等功能外,还增加了视频智能识别、拓扑安全联锁、故障诊断等智能化应用,验电方面增加了对进线的带电检测,此外还增加了柜内泄压防护、避雷防护、组件在线监测等功能的应用。三工位装置与可视化接地装置的对比及分析结果见表 1。

通过表 1 的对比分析可知,三工位装置用一个三工位开关取代了原上网隔离刀闸和可视化接地装置,可用一套系统完成停电、接地操作,操作效率提升 60% 以上。同时,由于减少了设备数量,简化了联锁关系,投资及运维费用节省 40% 以上,具有更加齐全、安全、高效、智能、经济等各方面优势。三工位装置在车辆段和正线均能使用,而且还可将 2 台三工位开关和 1 台越区联络开关组成一体柜,以扩展一体化应用模式,提供全套智能开关设备解决方案。

6 结语

可视化接地装置的广泛应用催生了接触网开关设备的智能化升级,相比之下三工位装置更加安全、高效,是地铁接触网开关智能化的一种发展方向。本文以三工位装置在南宁轨道交通的试应用为契机,验证了三工位装置的功能、性能以及操作、运维模式。实践证明,三工位装置具备在新线建设或旧线停电改造中应用的条件,符合运营单位安

表 1 三工位装置与可视化接地装置对比分析结果

Tab. 1 Comparative analysis results of the three-position device and the visual grounding device

对比项目	装置名称		对比结果
	三工位装置	可视化接地装置	
开关	三工位开关	接地开关	三工位装置更齐全,增加可视化隔离开关功能
设备安装空间	仅需相当于原 1 台隔离刀闸的安装空间	额外空间安装接地装置	三工位装置更经济,节省 1 台设备的安装空间
电气连接	牵引电源进线、接触网、回流轨、越区联络开关	接触网、回流轨	三工位装置更齐全,多 2 个电气连接点,但一次电缆使用多
遥控操作	支持高安全性程序化控制,一套主站系统跨专业统一控制	仅接地装置批量控制	三工位装置更智能,减少了不同专业协同作业时间,可高安全性地程控操作
智能化范围	接触网全部开关设备智能化	仅接地装置智能化	三工位装置更智能,增加了隔离刀闸、越区开关的智能化
安全联锁	机械联锁 + 站内电气联锁 + 站间拓扑联锁	电气联锁	三工位装置更安全,节省了站间联锁控制电缆,逻辑规则可编辑
带电检测	进线及接触网带电检测	接触网带电检测	三工位装置更安全,进线带电检测及安全联锁可防止带电误操作
操作效率	停电、接地时间小于 5 min	接地 + 停电 + 协同时间至少 10 min	三工位装置更高效,三工位操作效率更高
可视化	支持全面可视化	视频 + 就地观测 + 信号采集	三工位装置更齐全,可多维度监测,数据更加全面
实施成本	仅需采购和安装 1 台三工位装置	隔离刀闸和接地装置需分别采购和安装调试	三工位装置更经济,可以节省 40% 的采购、安装及后期维护成本
运行维护	隔离刀闸和接地开关相当于 1 台设备维护量	隔离刀闸和接地装置分属不同专业,各自维护	三工位装置更经济,设备数量少、涉及专业和供应商少,维护工作量小
应用范围	替换运行设备的旧线改造难度大	易改造	三工位装置主要适用于新线建设
扩展应用	可以将 2 台三工位和 1 台越区联络开关组成一体柜	单台装置	三工位装置更齐全,配合越区联络开关可实现一体化应用

全、高效倒闸操作及运维智能化需求,对建设智慧轨道交通供电系统具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 赵立军,王树强,鲍鸣,等. 基于视觉分析的可视化接地装置应用[J]. 中国科技信息, 2020(增刊 1): 35.
ZHAO Lijun, WANG Shuqiang, BAO Ming, et al. Application of visual grounding device based on visual analysis[J]. China Science and Technology Information, 2020(S1): 35.
- [2] 李军. 城市轨道交通供电设备运维智能管控系统研究[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(1): 149.
LI Jun. Intelligent management and control system for operation and maintenance of urban rail transit power supply equipment[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(1): 149.
- [3] 陈煜馨. 轨道交通接触轨/网“一键停电”技术分析[J]. 地下工程与隧道, 2016(1): 40.
- CHEN Yuxuan. Technical analysis of "dash button for stop power transmission" of rail transit conductor rail/catenary[J]. Underground Engineering and Tunnels, 2016(1): 40.
- [4] 童翔, 张兴凯, 李现鹏. 三工位隔离开关状态智能识别方法[J]. 船电技术, 2021, 41(5): 50.
TONG Xiang, ZHANG Xingkai, LI Xianpeng. Intelligent identification method of three position disconnector state[J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2021, 41(5): 50.
- 收稿日期:2022-04-30 修回日期:2022-05-21 出版日期:2024-12-10
Received:2022-04-30 Revised:2022-05-21 Published:2024-12-10
- 第一作者:李军,正高级工程师,83666545@qq.com
通信作者:廖福超,工程师,ddb8108930@163.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