

市域轨道交通交流接触网可视化接地管理系统研究

周 丹¹ 何治新¹ 靳守杰² 赖 峰³ 邓德波³

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 广州地铁集团有限公司, 510335, 广州;

3. 珠海优特电力科技股份有限公司, 519085, 珠海//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的: 为了确保市域轨道交通线路接触网接地作业安全, 提高检修作业的质量和效率, 需研究具有远程操作和实时监控功能的交流接触网可视化接地管理系统。方法: 阐述了既有轨道交通接触网的接地方式, 以及传统人工接地方式存在的安全风险。明确了可视化接地管理系统的研究目标, 分析了可视化接地管理系统的核心技术(在线精准实时验电、供电网络拓扑安全联锁及非同源设备状态双确认等)。研发了适用于交流接触网的可视化验电接地装置, 并以遥控接地为例说明该系统的操作流程。结果及结论: 远程可视化接地管理系统解决了传统作业方式操作效率低和安全保障不足的问题, 可有效提升运维过程中人员和设备的安全保障能力, 提高接触网检修效率和质量。

关键词 市域轨道交通; 交流接触网; 可视化接地管理系统; 可视化验电接地装置

中图分类号 U239.58

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.050

Research on Visual Grounding Management System of City Rail Transit AC Catenary

ZHOU Dan, HE Zhixin, JIN Shoujie, LAI Feng, DENG Debo

Abstract Objective: To ensure the safety of city rail transit line catenary grounding operation, improve the quality and efficiency of maintenance work, it is necessary to carry out research on developing an AC (alternating current) catenary visual grounding management system (hereafter VGMS for short) with remote operation and real-time monitoring functions. Method: The existing rail transit catenary grounding methods and the safety hazards of conventional manual grounding methods are expounded. The research objectives of the VGMS are clarified, and the key technologies of VGMS are analyzed (such as online accurate real-time power inspection, power supply network topology safety interlocking, and dual confirmation of non-homologous device states). A visual power inspection and grounding device suitable for AC catenary is developed, and the system operation process is illustrated using remote grounding as an example. Result & Conclusion: The

remote VGMS solves the problems of low operation efficiency and inadequate safety assurance in conventional methods, effectively improving the safety capabilities of personnel and equipment in the operation and maintenance process, thereby improving the efficiency and quality of catenary maintenance.

Key words city rail transit; AC catenary; visual grounding management system; visual power inspection and grounding device

First-author's address Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

接触网检修作业前, 必须实施接触网停电作业, 并做好接地安全措施。目前基于 27.5 kV 交流牵引供电的接触网接地作业大多采用人工操作及人工监管方式, 作业效率低下, 且作业过程中还存在误触电、误接地及误送电等安全风险, 此类安全风险引发了多起安全事故。本文对交流接触网可视化接地管理系统(以下简称“交流可视化接地系统”)及交流可视化验电接地装置的应用进行研究, 通过远程可视化自动接地替代现场人工接地, 以实现接触网的安全、快速接地, 保证有效检修作业时间, 进而为实现市域轨道交通安全、高效、绿色运营提供技术支撑。

1 轨道交通接触网接地方式

1.1 传统人工挂接地线方式

目前我国大部分轨道交通线路在进行交流接触网检修时仍采用人工挂接地线方式。工作人员按照任务要求, 携带接地线、验电器及防护用品到达接地点。工作人员接到操作指令后, 先在带电设备处验电, 以检验验电器是否正常, 然后到接地点验电, 验明接地点无电后再挂接地线。整个接地过程依靠人工监督来保证作业安全。

传统人工接地方式完全依靠工作人员的经验 and 责任心来保证作业安全, 常因作业人员的疏忽大

意导致误挂、误拆、漏挂及漏拆接地线等问题。该方式存在极大安全隐患:①没有强制验电,若在不验电或验电器故障情况下进行作业,将引发带电挂接地线事件;②在“V型”天窗或复杂电网环境下,受感应电压干扰严重,存在带电挂接地线的安全风险;③难以强制限定验电接地点,存在误挂、漏挂接地线的安全风险;④拆除地线时无法确定核查地线是否全部拆除,存在误拆、漏拆接地线的安全风险;⑤接地状态不能实时上送,存在接地状态下误送电的可能。

1.2 采用电动挂接地线装置接地

部分铁路运维单位曾尝试采用一些简易的电动挂接地线装置,如通过伸缩臂或加挂接地杆等方式实现自动挂接地线。在隔离开关处于分闸状态时,电动操作该装置,采用将伸缩摇臂杆伸开或控制地线杆转向接触网的方式与接触网接触,以实现接触网接地^[1-3]。

该方式的优点是比较贴合传统人工接地操作方式,隔离开关分合状态的可视性好。但是,该方式也存在以下问题:

1) 电动挂接地线装置没有验电功能,仅依靠隔离开关的分位来判断能否接地。为确保作业安全,采用该方式时,接地点与隔离开关的距离不能太远。因此,该方式仅在单侧供电的段场内有少量应用,无法用于双侧供电的正线接触网。

2) 接地时接地杆与接触网形成点接触,接触面小,难以承受接地状态下误送电产生的短路电流。此外,在短路电流的电动力作用下,很可能形成开路,导致接地不可靠。

3) 为确保接触点绝缘性能良好,采用该方式作业时需紧压接触网,长期下来会导致接触网变形,进而影响接触网性能。

4) 接地臂结构复杂,接地作业相当于时刻举着接地线,会增加误碰带电设备的可能性。

1.3 采用直流可视化验电接地装置接地

随着直流接触网远程可视化接地技术的逐渐成熟,我国很多地铁运营单位已采用直流可视化验电接地装置来实现地铁线路接触网的远程自动接地^[4-5]。直流接地装置的接地原理和应用技术可为交流可视化验电接地装置的研究提供借鉴。

但是,与直流接地装置相比,交流可视化验电接地装置的研制还存在以下技术难题:

1) 二者的接触网电压等级不同,考虑到交流接

触网设备的绝缘距离要求,交流可视化验电接地装置无法直接沿用直流接地装置的开关柜方式。

2) 二者的验电方式不同,交流接触网若沿用直流接地装置的直接验电方式,将需要增加电压互感器,费用高、体积大,难以实现。

3) 交流接触网隔离开关的供电范围远大于直流接触网,且受感应电压影响很大,其每段供电区间的接地装置数量需多于直流接触网,接地装置与隔离开关并非一一配对。两者间的安全联锁方式如果采用传统控制电缆方式,所需控制电缆距离长、数量多,联锁结构非常复杂,难以满足联锁可靠性要求。

2 交流可视化接地系统的研究目标

1) 研究适用于交流 27.5 kV 牵引供电接触网的可视化接地操作技术及系统软件,以实现接触网远程可视的自动接地,以及对接地装置的视频画面监视、数据监测、遥控操作及智能化管理。

2) 设计一种智能化、可视化的自动接地装置,使之具有状态采集、操作控制、自诊断、视频智能分析识别及安全联锁逻辑校验等智能化功能,并具备组网灵活、功能全面的通信接口。交流可视化验电接地装置与交流可视化接地系统相配合,进一步实现对接触网接地作业的智能控制、监测及管理。

3) 解决精确在线验电问题,可在全线任意地点验电,并采集及展示验电结果。

4) 无论是遥控操作还是就地操作,该系统均有完善的安全管控手段来避免出现各种误操作。此外,该系统还应具有防止远程遥控操作与现场操作同时实施及多班组交叉作业等工况下异常操作的应对措施,确保接地作业安全。

3 交流可视化接地系统的关键技术

3.1 交流接触网在线精准实时验电技术

判断接触网是否带电是能否实施接地作业的必要前提。根据 DL/T 538—2016《高压带电显示装置》的规定,对于单极接地的单相系统,当线对地的实际电压大于 69% 标称电压时应判为有电,小于 26% 标称电压时应判为无电,中间的区间范围很广。人工接地方式采用的验电器精度不高。接触网停电后常有感应电压,尤其“V型”天窗作业时,感应电压过高易导致验电结果严重失真。因此,如何对交流接触网进行精确验电,是接地作业时遇到的普

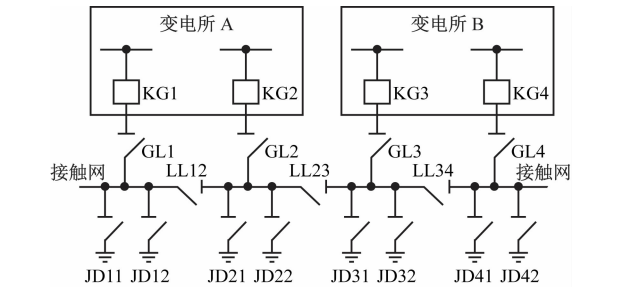
遍难题。

交流可视化验电接地装置采用直接接触式电压传感器。传感器的一端与接触网相连,另一端接入大地,采用分压方式或弱电流方式获取接触网电压,经隔离变换后送入接地装置的智能测控单元后即可完成电压采集和验电。该验电方式可以在线验电,验电精度高,受环境影响小。为了保证验电的可靠性,该方式在设计时采用了双路冗余设置。验电结果参与接地操作逻辑判断,有电时禁止接地操作,以保证作业安全。

3.2 牵引供电网络拓扑安全联锁技术

接地操作时需要验证接地装置与上网隔离开关间的联锁关系,只有隔离开关在分位时,方可允许接地。轨道交通线路区间长度较长,若要沿线设置的每台接地装置均能通过控制电缆与上网隔离开关实现联锁,技术上难以实现;若通过安全生产管理相关系统软件实现接地装置与隔离开关的安全联锁,则需要增加设计数据的采集、汇聚、联锁逻辑校验,以及命令下发、装置数据输出等环节,其技术结构复杂,且存在人工编辑联锁逻辑不规范、逻辑条件易遗漏等问题。

交流可视化接地系统在全线设备状态采集的基础上,实现基于牵引供电网络拓扑的安全联锁功能。图 1 为轨道交通线路交流牵引供电网络拓扑逻辑规则示意图。每台交流可视化验电接地装置从交流可视化接地系统中获取全线上网隔离开关、联络开关及其他接地装置等位置状态,建立全线的电气网络结构,并根据拓扑逻辑规则自动判断联锁条件,输出控制允许或闭锁信号^[6]。



注:KG—断路器;GL—隔离开关;LL—联络开关;JD—交流可视化验电接地装置。

图 1 轨道交通线路交流牵引供电网络拓扑逻辑规则示意图
Fig. 1 Diagram of topological logic rules for rail transit line AC traction power supply network

以图 1 的 JD21 为例予以说明。判断 JD21 的合

闸条件时,优先判断 GL2 和 LL12、LL23 是否为分位:若 GL2 为合位,则禁止操作;若 GL2 为分位、LL23 为合位,则还需要判断 GL3 和 LL34 是否为分位。以此类推,直至全线电气设备均完成联锁判断。

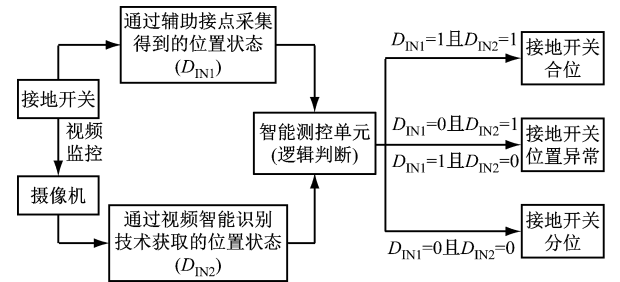
闭锁信号通过全线光纤网络输出到对应接地装置,从而解决了传统联锁模式下控制电缆远距离传输联锁信号不可靠问题,简化了联锁结构,减少了人工编辑联锁规则时不规范、条件遗漏等情况,提高了安全联锁的可靠性。

交流接触网在线精准实时验电技术和拓扑安全联锁技术解决了接地装置安装位置的问题,轨道交通全线的任意地点均可安装交流可视化验电接地装置。

3.3 非同源设备状态双确认技术

为了进一步提高接地安全措施的实施效率,可在交流可视化接地系统设定相关的自动控制程序。当启动条件满足时,可自动完成接地装置控制,也可实现接地装置的批量并行遥控操作^[7]。接地开关位置状态信号的准确、可靠是保证自动控制安全的前提,若仅基于辅助接点来采集设备状态,一旦出现接点脱落、松动及断线等异常状况,接地开关位置状态信号就会失真,进而导致自动控制出错,甚至引发安全事故。

为保证接地装置状态信号的可靠性,交流可视化接地系统采用“辅助接点 + 视频智能识别”两种完全不同的技术原理获取接地开关位置的状态信息,以实现接地开关状态非同源设备的双确认功能。非同源设备状态双确认技术原理如图 2 所示。



注: D_{IN1} 、 D_{IN2} 的取值“1”表示合位,取“0”表示分位。

图 2 非同源设备状态双确认技术原理示意图
Fig. 2 Diagram of dual confirmation technology principle for non-homologous device status

交流可视化接地系统以辅助接点采集的位置信号作为主要判断依据,以通过交流可视化验电接地装置自带摄像机视频画面智能识别出的位置信

号为辅助依据,再将这 2 个状态信号进行逻辑对比。当 2 个依据信息均满足“合位”或“分位”时,才能确认设备的实际状态,否则将判为位置信号状态异常并发出告警。智能测控单元实现了装置的本体识别,提高了交流可视化接地系统的识别效率及装置的智能化程度。

3.4 基于“故障导向安全”原则的全面安全管控

交流可视化接地系统在设计、软硬件选用及操作等方面坚持“故障导向安全”原则,充分考虑了各种潜在的安全风险,采用一系列技术手段保证该系统的安全性和可靠性^[8]:①采取强制验电及验电接地联锁措施,有电或隔离开关在合位时禁止接地开关合闸,防止带电接地操作。②基于全线工况信息进行整体防误逻辑判断,保障操作安全。手动操作时,采用柜门身份识别和操作机构强制闭锁方式,通过手持终端引导操作流程,防止现场走错位置或误操作。遥控操作时,通过系统逻辑闭锁和控制回路硬接点闭锁双确认措施,有效防止误遥控或系统故障时误发控制命令。③采用非同源状态双确认技术,以保证遥控操作时设备状态的可靠性。④采取操作权全过程管理唯一性措施,在远方和就地、电动和手动的接地操作及多班组配合作业情况下,均能实现操作权的自动转移,保证了在任意时刻仅有唯一责任人具备操作权限,防止交叉作业。

4 交流可视化验电接地装置

基于上文的关键技术,本文研发了适用于交流接触网的可视化验电接地装置,其原理图如图 3 所示。

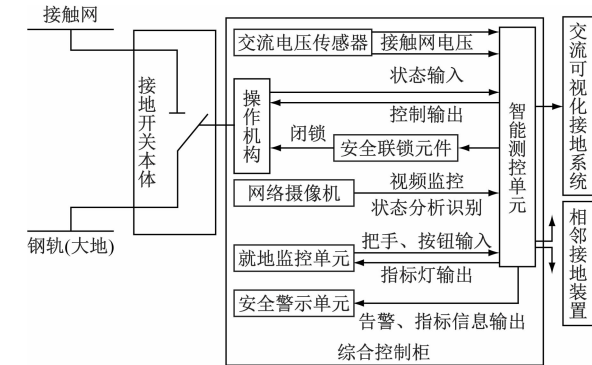


图 3 交流接触网可视化验电接地装置原理示意图
Fig. 3 Diagram of AC catenary visual grounding device principle

如图 3 所示,交流可视化验电接地装置包括接

地开关本体和综合控制柜两部分。接地开关本体采用户外结构,其静触头接隔离开关负荷侧汇流排或接触网,动触头接钢轨或大地,主回路接通时,将接触网可靠接地;综合控制柜包括电动操作机构和智能测控单元等二次组件。

交流可视化验电接地装置的工作原理如下:①交流电压传感器对接触网实时验电,并将接触网电压传输给智能测控单元;②智能测控单元判断接触网是否有电,并将带电状态和电压值传输给安全警示单元;③网络摄像机昼夜不间断监视并远程传输接地开关的视频画面,通过智能测控单元识别并生成接地开关的位置状态及异常告警信号,实现程序化控制时非同源设备状态的双确认功能;④电动操作机构接收智能测控单元的控制信号,并控制接地开关的分合;该机构具备手动控制接地开关分合功能,由安全联锁单元完成防误操作闭锁;⑤智能测控单元可实现整台接地装置信号采集、分析处理、参数设置、逻辑编辑及操作控制等功能,并将相关信息在就地监控单元和安全警示单元上予以显示;该装置通过光纤以太网的方式与交流可视化接地系统建立通信接口,实现遥信、遥测、遥控、遥视的“四遥”功能。

5 远程可视化自动接地流程

交流可视化接地系统主要包括交流可视化接地系统软件、交流可视化验电接地装置及网络通信设备,其中系统软件实现对全线接地装置的状态监测、视频监视、操作控制、流程管理及设备管理^[9]。

交流可视化接地系统的操作控制包括远方遥控操作、柜旁手动操作及应急操作,以满足日常运维和故障应急处置等工况下的不同操作需求。以遥控接地操作为例予以说明,其流程如下:

- 1) 接地操作前需开倒闸操作票,开票时需根据设备状态和电气拓扑安全联锁逻辑规则验证操作可行性,最终生成正确的操作序列。
- 2) 根据操作序列依次遥控接地开关合闸;如果选择并行遥控操作,则由交流可视化接地系统自动完成所有的操作过程。
- 3) 遥控命令发送到接地装置后,智能测控单元再次验证操作条件(位置信息和验电结果等),不满足条件则返回禁止操作信号。
- 4) 若操作条件满足,智能测控单元控制安全联锁元件解锁,开放电动操作机构,控制回路操作

权限。

5) 解锁完成后,智能测控单元控制电动操作机构合闸,合闸过程应联动视频监视。

6) 智能测控单元将操作结果信息上报交流可视化接地系统,同时控制安全联锁元件恢复闭锁,并将接触网实时电压和接地开关状态输出到安全警示单元。

7) 单台接地装置操作完成。工作人员或系统自动重复步骤4至步骤7,进行下一台装置操作,直至所有操作序列全部完成。

6 结语

随着我国铁路运营里程和电气化率的不断增长,供电设备和运维工作量日益增多,采用智能化运维设备和技术保证作业安全和提升运维效率势在必行。本文所研究的市域轨道交通接触网交流可视化接地系统,通过远程可视化自动接地替代人工接地,解决了传统作业方式效率低、成本高、安全性差等问题,提高了运维过程中人员和设备的安全保障能力,提高了接触网检修效率和质量。在后续工作中,应进一步探索本系统的工程化应用,以期给轨道交通行业带来良好的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 何仲文. 电力机车整备作业场电网自动接地装置的设计与应用[J]. 中国铁路, 2010(4): 59.
HE Zhongwen. Design and application of automatic grounding device for power grid in electric locomotive servicing workshop[J]. China Railway, 2010(4): 59.
- [2] 关永永, 李旭强, 詹芝青. 电力动车组检修场所接触网自动接地装置设计与实现[J]. 电气化铁道, 2020, 31(3): 96.
GUAN Yongyong, LI Xuqiang, ZHAN Zhiqing. Design and realization of OHL automatic earthing devices at locations for inspection, repair and maintenance of EMU[J]. Electric Railway,

2020, 31(3): 96.

- [3] 张新华. 动车检修自动接地装置设计与实现[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
ZHANG Xinhua. Design and implementation of the automatic grounding device for EMU maintenance[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2017.
- [4] 何霖, 庞开阳. 城市轨道交通供电运行安全生产管理系统[J]. 都市快轨交通, 2014, 27(4): 101.
HE Lin, PANG Kaiyang. Management system for power supply operation safety of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(4): 101.
- [5] 王立天, 赖峰. 轨道交通牵引供电系统安全运维技术研究[J]. 高电压技术, 2018, 44(增刊2): 253.
WANG Litian, LAI Feng. Research on safe operation and maintenance technology of rail transit traction power supply system[J]. High Voltage Engineering, 2018, 44(S2): 253.
- [6] 韩金泽. 动态拓扑技术在变电站实时防误系统中的应用[J]. 科研, 2015(44): 50.
HAN Jinze. Application of dynamic topology technology in substation real-time error prevention system[J]. Research, 2015(44): 50.
- [7] 田宇, 李宇, 谢佳. 基于视频确认的变电站顺控操作系统[J]. 计算机与现代化, 2019(5): 74.
TIAN Yu, LI Yu, XIE Jia. Sequence control system in substation based on video confirmation[J]. Computer and Modernization, 2019(5): 74.
- [8] 曾德容. 地铁供电系统可靠性和安全性分析方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
ZENG Derong. Research on reliability and safety analysis method of metro power supply system[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [9] 林勇, 徐钦伟, 谭冠岗, 等. 基于大数据的轨道交通供电设备运维管理系统的设计与实现[J]. 新型工业化, 2018, 8(3): 9.
LIN Yong, XU Qinwei, TAN Guan'gang, et al. The designing and practicing of the management system of rail transit power system based on big data[J]. The Journal of New Industrialization, 2018, 8(3): 9.

(收稿日期: 2021-02-25)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt 1998. tongji. edu. cn