

10 kV 单芯电缆接头自动制作机器人的研究与应用

刘宇舜¹,程登峰¹,朱太云¹,吴少雷¹,梁伟²,林桂明²,黄志凡²,吴彬玉²

(1. 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院,安徽 合肥 230601;

2. 浙江清华长三角研究院 信息技术研究所,浙江 嘉兴 314006)

摘要:针对 10 kV 电缆接头人工制作的局限性,在论述 10 kV 单芯电缆接头自动制作工艺的基础上,介绍一种具有机械式操作机构的 10 kV 单芯电缆接头自动制作机器人,给出该机器人的基本结构、工作原理和控制流程,对关键功能部件分别进行调试和实验,验证这些部件的功能可靠性。在此基础上,完成了机器人的机械加工和组装,并对机器人整机进行调试和实验,给出该机器人样机的具体剥线流程和经剥切作业后的 10 kV 单芯电缆,并与人工剥切作业进行相关技术指标对比,从而验证 10 kV 电缆自动制作技术的有效性、经济性和现场实用性,实现了 10 kV 单芯电缆接头现场自动化制作。

关键词:单芯;电缆接头;自动化;机器人

中图分类号: TP23 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2021)03-0210-03

Research and Application on 10 kV Volt Single Core Cable Joint Automatic Manufacturing Robot

LIU Yushun¹, CHENG Dengfeng¹, ZHU Taiyun¹, WU Shaolei¹, LIANG Wei², LIN Guiming², HUANG Zhifan², WU Binyu²

(1. State Grid Anhui Electric Power Research Institute, Hefei 230601, China; 2. Institute of Information Technology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Zhejiang, Jiaxing 314006, China)

Abstract: Aimed at the limitation of manual manufacture of 10 kV cable connector and based of discussion of the automatic manufacture process flow of 10 kV single core cable connector, a 10 kV single-core cable joint automatic manufacturing robot with mechanical operation mechanism was introduced. The basic structure, working principle and control flow of the robot were given and its key functional parts were debugged and tested respectively to verify the functional reliability of these components. On this basis, the robot was machined and assembled, and the test and experiment of the whole robot were carried out. The detailed wire stripping process of the robot prototype and the 10 kV single-core cable after stripping operation were given, and the relevant technical indexes were compared with the manual stripping operation. The experiments verify the effectiveness, economy and field practicability of 10 kV cable automatic production technology and enable the realization of on-site automatic production of 10 kV single-core cable joint.

Keywords: single core; cable joint; automation; robot

0 引言

10 kV 电缆是城市配电系统的重要组成部分,可有效节省线路走廊,降低环境因素的影响,在许多城市配电网中占比不断增加。由于单根 10 kV 电缆的制造长度一般 < 1 000 m,电缆的安装和检修铺设过程中,电缆接头必不可少,且需求量巨大^[1-2]。目前,10 kV 电缆接头主要依靠人工制作,接头制作水平主要取决于施工人员的技术与经验,故人工模式难以高效率、高质量地制作电缆接头,束缚了城市配电网的发展需求。因此,亟待研究电缆接头现场自动化制作技术。本文针对 10 kV 电缆接头人工制作的局限性,设计了一款具有机械式操作机构的 10 kV 单芯电缆接头自动制作机器人,从而达到有效控制接头制作工艺质量、提高接头制作效率、保障施工后电缆安全稳定运行的目标。

1 施工质量关键因素分析

目前,10 kV 单芯电缆接头主要依靠人工现场制作,施工质量成为电缆线路运行的主要隐患^[3-5]。在电缆接头制作过程中,易受环境、施工人员的技术、施工工期等影响,在电缆接头上留下各种微小缺陷,例如:1) 电缆绝缘表面残留半导体或导电颗粒;2) 电缆绝缘表面由于打磨过度出现划痕;3) 外半导体层断口处半导体尖端;4) 外半导体层断口处气隙;5) 导体屏蔽管内产生高电位尖端;6) 预制件安装错位;7) 主绝缘切向气隙。这些缺陷使得电缆接头电场严重畸变,引起局部放电、过热等,在投入运行后最终导致电缆绝缘击穿,威胁配电网供电安全。

通过对电缆接头制作过程中可能存在的缺陷进行分析、总结,可知影响 10 kV 单芯电缆接头施工质量的关键因素^[6-8]有以下几点:

基金项目:国网安徽省电力有限公司科技项目(52120518001R)

第一作者简介:刘宇舜(1990—),男,安徽合肥人,高级工程师,博士,研究方向为输电设备状态评价。

- 1) 电缆外护套、主绝缘层、铠装层、半导电层、屏蔽层等部位同轴剥切质量;
- 2) 连接管、主绝缘层等部位的打磨、清洁质量;
- 3) 连接管压接质量;
- 4) 半导电层、PVC 胶带、防水胶带、恒力弹簧和铠装带等部位绕接包装质量。

2 10 kV 单芯电缆接头自动制作工艺

通过对人工制作电缆工艺步骤进行分析、归纳、总结,同时考虑现场自动化实施的可行性,对 10 kV 单芯电缆进行标准化制作工艺整理,得到 10 kV 单芯电缆接头自动化制作机器人的整体工作流程如图 1 所示。

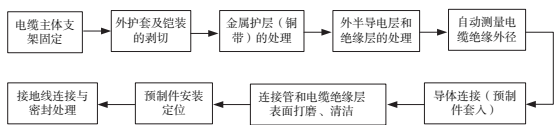


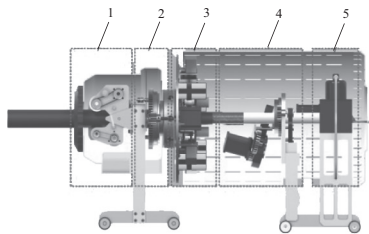
图 1 10 kV 单芯电缆标准化制作工艺

首先将需要制作终端接头的电缆线路固定在主体支架上,机器人自动定位到电缆外护套需要剥切的位置并进行环切。若有铠装层,则进一步定位铠装层位置,环切约 2/3 铠装厚度后,机械臂拨开铠装层。接着,自动定位到金属护层(铜带)的位置,将铜带撕断后剥离。机械臂将刀具换向,沿电缆轴向划切,将半导电层分别从末端剥除,绝缘表面用砂皮自动打磨。打磨完毕后自动测量电缆绝缘外径,自动套入导体连接预制件,并进行自动压接。接着,对电缆绝缘表面使用无水溶剂进行自动清洁处理。人工在预制件内壁涂抹专用硅脂,并使用机械手臂推入预制件至要求位置。在铜屏蔽带上涂焊底锡,再将接地线与铜屏蔽自动焊接;与接地系统连接时接地线自动压接。预制件与电缆绝缘接触处自动绕包防水带,预制件外部采用热缩管。

3 整机结构及作业步骤说明

3.1 整机结构设计

10 kV 单芯电缆接头自动化制作机器人整机结构如图 2 所示。



- 1—电缆自适应夹紧进给组件;
- 2—电缆自定心夹紧组件;
- 3—多工位电缆自动化剥切组件;
- 4—胶带自动化缠绕组件;
- 5—自动压接组件。

图 2 10 kV 单芯电缆接头自动化制作机器人整机结构

3.2 具体作业步骤

待剥切单芯电缆在人工辅助下放入组件 1 中,其中的位置传感器检测到电缆放入后,将根据电缆直径的大小自适应夹紧,然后在步进电机的驱动下^[9]实现电缆自动的进给,从而将其输送至组件 2;组件 2 处的联轴器可以适应电缆一定程度的弯曲,通过内部机构转动完成单芯电缆的二次自定心夹紧,自此完成对电缆进行精确位置控制;组件 3 内置多把不同功能的刀具模组,针对不同电缆的包覆层数以及电缆制作参数,自动选择相应的刀具进行电缆剥切加工;剥切完成的单芯电缆在组件 5 位置处接线端子完成自动压接,然后重新回到组件 3 位置完成压接位的打磨。因为清洗步骤要求比较严格且精细,自动化实现比较复杂,而人工反而简单很多,因此清洗工序仍确定选用人工进行完成;清洗完成的剥切电缆接着在组件 4 中完成压接部位的自动胶带缠绕;最后,再由人工将冷缩终端放入电缆终端接头位置,将冷缩终端中的支撑抽出,完成 10 kV 单芯电缆接头自动化制作的最后工序。

4 自动控制系统

自动控制系统是 10 kV 单芯电缆接头自动化制作设备的核心,用于控制所有机械结构组件的协调、动作和反馈。电缆接头自动控制系统整体组成如图 3 所示,包括中央控制器、交互终端、传感器模块、存储系统等。

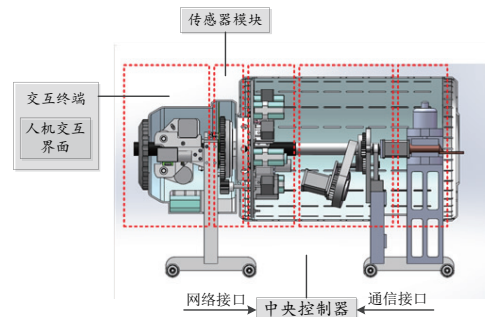


图 3 10 kV 单芯电缆接头自动制作装置控制系统示意图

1) 中央控制器:控制系统的调度指挥机构,为保证系统具有足够的计算与存储能力,本设备选用 ARM 系列 CPU 作为中央控制器^[10]。

2) 交互终端:对自动化制作装置进行电缆参数设定以及所有人机交互操作,拥有自己独立的 CPU 以及存储单元,与主计算机直接以串行通信方式实现信息交互。

3) 人机交互界面:由各种操作按键、状态指示灯构成,负责完成基本交互操作,用于实现自动化装置的人机交互和机构组件的动作控制以及设备参数信息的反馈显示。

4) 存储系统:储存机器人工作程序的外围存储器。

5) 传感器模块:用于电缆制作过程的自动检测,实现自动化装置的柔顺控制,一般包括力矩、位移、旋转编码检测传感器等。

6) 通信接口:实现机器人和其他设备的信息交换,一般常用串行接口、并行接口等。

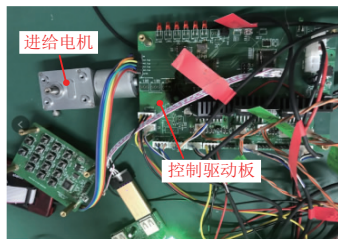
7) 网络接口

Ethernet 接口^[11];可通过以太网实现数台或单台机器人的 PC 通信,数据传输速率高达 10 Mbit/s,可直接在 PC 上用 Windows 库函数进行应用程序的编程。支持 TCP/IP 通信协议,通过 Ethernet 接口将数据及程序装入机器人控制器中。

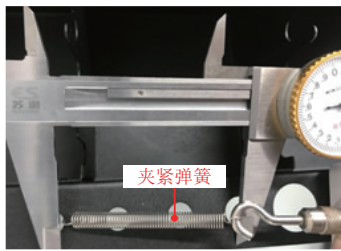
Fieldbus 接口^[12];支持多种流行的现场总线规格,如 Device net、AB Remote I/O、Interbus - s、profibus - DP、M-NET等。

5 实验

10kV 单芯电缆接头自动化制作机器人是一个复杂的机械系统,为了保证整机性能可靠,需要首先保证各关键功能部件的性能满足设计要求。因此,本文对进给驱动电机、夹紧弹簧、中心抱紧机构、自动剥切组件等关键功能部件分别进行了实验。如图 4 所示,由实验验证了各个部件功能的可靠性。



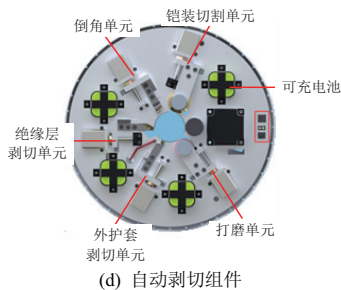
(a) 驱动电机



(b) 夹紧弹簧



(c) 中心抱紧机构



(d) 自动剥切组件

图 4 关键功能部件实验图

在此基础上,对 10kV 单芯电缆接头自动化制作系统进行机械加工和整体装配,整机机械结构实物图如图 5 所示;并对 10kV 单芯电缆接头自动化制作系统进行软硬件设计和调试,整机调试图如图 6 所示。

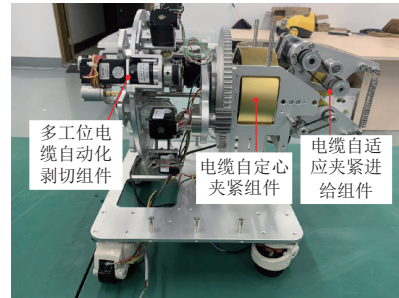


图 5 10 kV 单芯电缆接头自动化制作机器人样机

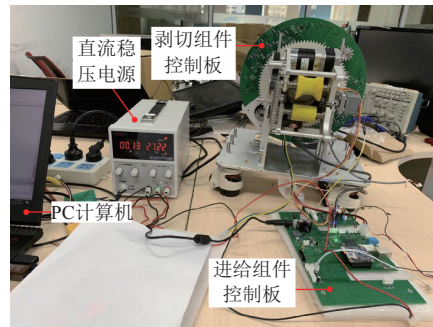


图 6 10 kV 单芯电缆接头自动化制作机器人调试图

机器人样机自动剥线实验过程如下:将待剥切单芯电缆放入电缆自适应夹紧进给组件中,位置传感器检测到电缆放入后将电缆自动输送至电缆自定心夹紧组件中并进一步夹紧,此后多工位电缆自动化剥切组件中的剥切刀具将对电缆进行剥切,剥切作业后的 10kV 单芯电缆如图 7 所示,与人工剥切作业的技术指标对比如表 1 所示。其中,整体作业时间包含前期剥切量测量、刀具组装等准备工作所需的时间。实验证明,10kV 单芯电缆接头自动化制作机器人可实现电缆接头的自动制作,满足电网运行对电缆接头质量的要求。

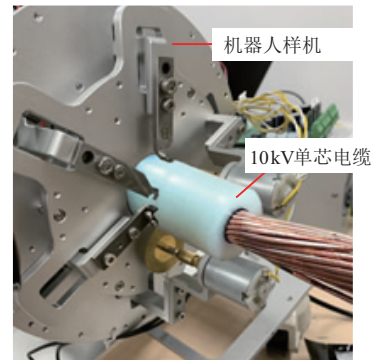


图 7 10 kV 单芯电缆剥切图

(下转第 223 页)

零售商品规定的负偏差^[10]。

表1 不同重量出货的平均误差

食品	重量/g					
	250	500	1 000	1 500	2 000	2 500
红豆	0.018 4	0.015 6	0.008 0	0.007 1	0.006 3	0.006 0
绿豆	0.017 6	0.019 6	0.003 0	0.009 0	0.007 4	0.008 4
瓜子	0.017 6	0.013 6	0.009 0	0.009 7	0.006 7	0.006 0

6 结语

通过分析自动售货机的研究现状以及今后智能化发展趋势,设计一种基于STM32的散装食品自动售货机。该自动售货机上层储存商品,下层通过控制系统配合出货机构完成精准出货,运用无线通信技术实现自动售货机的网络通信以及网上支付。该产品为小型化设计,所占空间小且便于运输转移,适用于无人超市、便利店等场所。实验证明该自动售货机稳定、误差小,为散装食品的购买方式及未来销售模式提供了参考。

参考文献:

- [1] 梁永馨,王凤越.自动售货机的发展现状及趋势[J].当代经济,2019(2):80-83.
- [2] 刘月,王忠瑞,李钰.我国自动售货机市场发展分析[J].中国市场,2018(20):82-83.
- [3] 杨秀芝,俞敏,李轩,等.水果自动售货机的设计与实现[J].湖北理工学院学报,2018,34(2):1-3,37.
- [4] 陈滔,梁祖华,商建东.一种基于ARM的自动售货机控制器的研究与开发[J].电子测量技术,2008,31(4):93-95.
- [5] 谢中赛,金志华,余世明.基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的自动售货机控制系统[J].机电工程,2009,26(1):35-37,66.
- [6] 席伟伟,沙杰,简洋洋,等.双层无人售卖储餐柜的设计与分析[J].食品与机械,2020,6:112-115,132.
- [7] 路昌华.基于定量螺旋输送技术的谷物产量计量系统开发[D].泰安:山东农业大学,2019.
- [8] 宋欢.定量螺旋输送机的优化设计及模拟[D].青岛:青岛科技大学,2016.
- [9] 张文莉,吴钦木.基于STM32的无线多秤盘高精度电子秤[J].机械与电子,2016,34(7):50-52,56.
- [10] 质检总局,工商总局.零售商品称重计量监督管理办法(质检总局令第66号)[Z].北京:质检总局,2004.

收稿日期:2020-09-09

(上接第212页)

表1 10 kV单芯电缆接头自动制作机器人与人工作业技术指标对比表

技术指标	10 kV单芯电缆接头自动制作机器人	人工作业
进给速度/(圈/s)	2	1
剥线速度/(mm/s)	4	2
整体作业时间/min	5	15~20
是否能适应各种线缆线径大小	是	否
剥切一致性	高	低
剥切平整性	高	低

6 结语

本文对10 kV单芯电缆接头施工质量关键因素进行了详细分析,并设计出一款10 kV单芯电缆接头自动化制作机器人。该装置在实际应用中能够实现10 kV单芯电缆接头中单芯电缆半自动连接,排除人为影响;提高了10 kV单芯电缆接头制作环境洁净度;缩短了10 kV单芯电缆接头现场制作时间;大幅降低了电缆接头缺陷率,从而提高10 kV电缆供电的可靠性和稳定性,有效地保障后续电缆的安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 庄则予.10 kV电缆中间接头内部防水分析与制作工艺的改进研究[J].通信电源技术,2020,37(2):220-221,223.
- [2] 应永灵.10 kV电缆线路作业快速接头转接箱的研究与应用[J].电力设备管理,2020(2):67-69.

- [3] 刘美萍.电缆中间接头故障分析及管控[J].机电信息,2019(24):22-23.
- [4] ZHANG Ruxin, XIONG Jun, WU Z, et al. Research on simulation methods of electric field intensity on surface of 10 kV cable joint[J]. Energy and Power Engineering, 2020, 12(4): 37-45.
- [5] 田雨春,赵伟男,李羿程,等.10 kV配电工程电缆施工问题及质量控制[J].科技风,2018(21):178.
- [6] XIA Y F, SONG X M, HE J Z, et al. Simulation and partial discharge detection for typical defects of 10 kV cable the joint[J]. The Journal of Engineering, 2019, 2019(16): 2856-2859.
- [7] CHI Peng, ZHANG Zhe, LIANG Rui, et al. A CNN recognition method for early stage of 10 kV single core cable based on sheath current[J]. Electric Power Systems Research, 2020, 184: 106292.
- [8] 杨帆,曾蕊,阮羚,等.中压交联电缆接头复合界面受潮缺陷的诊断方法研究[J].高压电器,2014,50(5):1-5.
- [9] 孙志峻,杨建林.胶囊机器人主动运动机构的研究进展[J].机械制造与自动化,2020,49(3):1-7.
- [10] 孙权.物流集装箱移载装置的设计与研究[J].机械制造与自动化,2020,49(3):112-115.
- [11] NGUYEN V Q, JEON J W. EtherCAT network latency analysis[C]//2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA). Greater Noida: 2016:432-436.
- [12] KAUR A, CORSAR M, MA B Y, et al. Application of fieldbus technology to enable enhanced actuator control of automated inspection for offshore structures[J]. Applied System Innovation, 2019, 2(3):29.

收稿日期:2020-10-16