

[机器人]

输电线路导线修补机器人的研制与应用

文/陈 安

国网浙江省电力有限公司金华供电公司

针对同塔多回线路的结构特点,提出了导线带电修补机器人的设计方案,主要包括机器人移动机构、断股导线整理机器人、预绞丝修补机器人、通信及控制系统的设计,实现了越障功能和等电位联结、断股导线整理、预绞丝紧固安装、复杂环境的实时监测及远程控制等功能,完美适用于110~220 kV输电线路。

随着经济的稳步发展,人们对供电可靠性的要求越来越高,输电线路作为电网中传输电能的主要环节,保障其安全稳定的运行至关重要。但是输电线路分布区域广泛,所处地理环境复杂,经常受到雷电、台风及雨雪冰冻等复杂气候以及外力破坏、内部应力及污秽腐蚀等因素影响。在共同作用下,输电线路导线容易出现断股或散股等现象,降低导线的电气及机械性能,若不及时修复,导线损伤处会严重发热,极易进一步引发输电线路断线及短路故障,造成非计划停运,甚至人身触电事故。

目前,常用的处理方式可分为停电修补和带电修补,其中停电修补安全系数高、适用范围广,但停电会增加非计划停运次数,影响电网运行方式及供电可靠性,故停电修补一般仅用于导线断线已经造成停电或者断股严重无法承受人员、装置的重量的情况。而带电修补导线作为最直接、有效的检修手段,可减少停电次数,提高供电的安全性和可靠性,应用越来越广泛。

随着智能化机械设备技术的不断发展,电力特种机器人代替作业人员开展输电线路带电检修工作将成为日后常态化手段。本文针对110~220 kV同塔多回线路,提出了断股导线整理和修补机器人,解决了外层铝线断裂分叉导致无法直接修复的

难题。

导线修补机器人设计方案

为了高效精准完成断股导线的带电修补作业,本文从同塔多回路的线路型号和导线断股特点出发,给出了一种导线修补机器人的设计方案,主要包括机器人移动机构、断股导线整理机器人、预绞丝修补机器人及通信及控制系统等。

1. 机器人移动结构

机器人移动功能通过特殊结构设计的行走轮实现,行走轮包括滚轮和安装支架,安装支架上设有驱动电动机,驱动电动机上设有连杆,连杆的一端与驱动电动机相连接,另一端上设有导电轮,如图1所示。

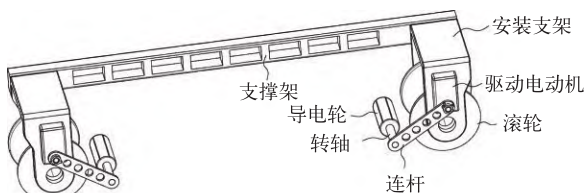


图1 机器人移动装置示意图

连杆在驱动电动机的控制下,带动导电轮在滚轮的两侧来回切换,当移动装置的行走方向上出现防振锤等障碍物时,驱动电动机控制连杆转动,使

导电轮从滚轮的前侧转到滚轮的后侧，有滚轮先通过障碍物，保障导电轮不会与障碍物发生碰撞而顶死，使其在输电导线上能够正常移动，不受阻碍。

同时，该装置在越过障碍物时，靠近障碍物的导电轮进行转动，与输电导线相互分开，而远离障碍物的导电轮依然与输电导线相接触，保持导通状态，以保证移动装置在越障过程中，始终与输电导线保持等电位，避免机器人设备被干扰，受到损伤。而滚轮仅需要移动，采用聚氨酯软性防滑材料，使其具有足够的摩擦力，确保正常行驶的同时，减小对输电导线的磨损。

2. 断股导线整理机器人

当导线断股出现外层铝线断裂分叉的情形时，断股导线会脱离主线，为了不影响预绞丝修补作业，需要先将分叉的断股导线进行复位，设计具有断股导线复位的机构将导线捋回主线，所设计的输电线路整理机器人主要包括作业机械臂、专用工作头、控制机箱及监控摄像头等，如图2所示。

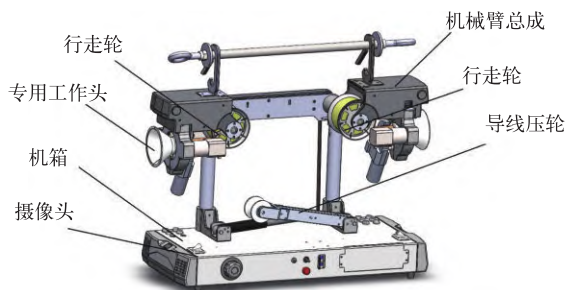


图2 整理机器人示意图

整理机器人采用了组合体框架结构设计，将机械臂与本体结构连接，本体搭载专用工作头，专用工作头由转盘和捆扎机构组成。通过行走轮精确定位到整理点后，由具有绞丝功能的转盘撸回断股导线，再由捆扎机构完成导线固定，期间专用工作头开合、整理及捆扎等动作均由控制机箱远程操作，并通过监控摄像头全程观察和判断。

3. 预绞丝修补机器人

预绞丝修补机器人的主要组成部件与整理机器人类似，由机身主架、机械臂、专用工作头、监控摄像头及控制机箱组成，但其结构不同，如图3所示。预绞丝修补机器人采用了本体加双臂结构设计，本体搭载专用工作头，通过双臂的屈伸，可调整机器人自由度，将作业所需的专用工作头送至

作业区域。

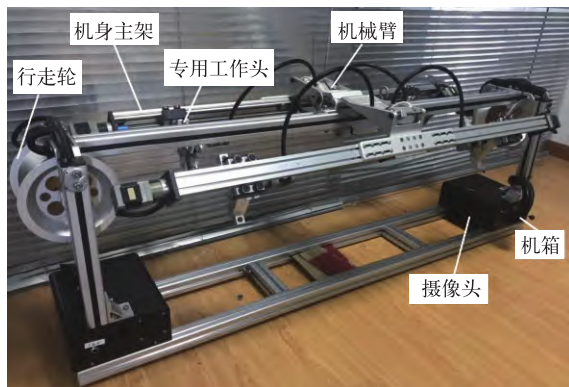


图3 预绞丝修补机器人

机械臂作为携带预绞丝，将专用工作头送至作业点的关键部件，结合线路空间和预绞丝特点，故将其设计为狭长型的高强度铝合金材质的鸥翼式开合机械臂，实现机器人作业和退出时的机械结构运动。

专用工作头安装于机械臂上，由滑轨和绞盘组成，绞盘包括相互对称的两半圆绞盘，中间圆心处内孔可直接穿过输电导线，同时还设有供预绞丝穿过的通孔，通孔沿内孔周向均匀分布。在预绞丝缠绕过程中，绞盘电动机控制绞盘转动，装有预绞丝的通孔随着同心圆同步转动，确保预绞丝之间的间距保持一致，使整个预绞丝缠绕后的结构更加紧密牢固，对输电导线形成均匀包裹的效果。

4. 通信及控制系统

导线修补带电作业机器人在架空输电线路应用，需要可靠的能量供应，要想全方位实时掌握修补情况，需要搭载高清相机以及稳定的无线信号，同时各部件之间的协同配合以及运动控制，需要强大的驱动系统。为此，设计了人机操作平台，分为硬件系统和软件系统，如图4所示。



图4 机器人控制箱

硬件操作系统的设计主要从系统的集成化程度、散热情况、信号隔离、走线情况及系统调试便捷性等方面综合考虑,主要包括电动机驱动器、电源管理、便携式地面站、传感器及其他辅助设施。其中电动机驱动器选用HYQD50-H5742型号,可完全匹配执行机器人所有运动控制指令;机器人电源采用锂电池供电,分为24 V、20 V和12 V,主要给机载部分、控制部分、通信部分及传感器供电;便携式地面站的控制箱是机器人的现场指挥中心,发出所有的现场控制指令;传感器及其他辅助设施主要有温度、姿态传感器、限位开关、参考开关及增量式编码器等,保证能实时感应机器人周边的环境,以做出准确判断。

软件操作系统通过多线程的方式处理各个模块的任务,线程之间相互通信但又互不干涉,通过设置线程的优先级可更合理、更有效地利用CPU的资源,包括通信、检测及控制3个子线程。其中串口通信子线程负责与上位机的通信,主动上报机器人状态信息或接收并解析上位机指令,再唤醒系统控制子线程执行;系统检测子线程负责传感器信息采集、电池电量监测等任务,并周期性上报状态信息;控制子线程为系统的执行单元,可以在远端控制箱处对机器人的各执行部件进行控制,完成机器人前进、倒退及修补等动作,并且可以将摄像头的视频信号以无线的方式传输给远端机器人控制箱,实现控制情况及环境的远程观察。

试验和现场应用

为验证输电线路导线修补机器人的功能和实用性,对研制的设备进行了功能检测和现场实际应用。

1. 功能检测

为验证导线修补机器人在带电作业环境下的工作性能,在实际使用前尽可能地发现潜在的问题,委托了某检测机构开展结构及外观检查、装置功能试验和持续供电试验等3个检验项目。

检测机构在使用FYB-240/30的预绞丝对LGJ-240/30型号的导线进行整理修补的场景中开展。根据试验结果得知,机器人外壳表面有保护涂层,标识清晰,整机重量在50 kg以下;在强电场环境下,能正常开机,爬行平稳,定位准确,爬坡角度大于30°,行走速度达到429 m/h,电源系统持续供电时

间超过4 h,断股导线的整理及修复动作灵敏可靠,安装后紧固牢靠,视频传输稳定,控制箱操作正常,响应及时准确。该机器人各结构稳定可靠,功能正常,参数满足设计要求,可以用于带电作业。

2. 现场应用

在上述检测的基础上,在某条220 kV同塔双回路线路开展了断股导线的整理和预绞丝带电修补作业,现场应用效果良好,机器人未出现异常情况,具有良好的推广前景。现场应用如图5所示。



图5 现场应用

结束语

本文对机器人移动机构、断股导线整理、预绞丝修补、通信及控制系统的设计进行研究,研制的机器人适用于110~220 kV输电线路断股导线带电修补工作。

该机器人具备自主行走、整理断股导线、安装预绞丝、实时监控及远程操作等功能,可替代人工完成高压架空线路带电修补导线,无须人员登塔作业,填补一些安全距离不足、出线距离过长等高危带电环境进行预绞丝修补的空缺,能够消除人员作业危险性高、作业强度大、部分线路人员技能水平不足的安全风险,同时也能够促进国网对于创新机器人技术应用和智能电网的发展,是带电作业现代化发展的一个重要方向,具有广阔的发展空间和前景。EA

(收稿日期:2022-06-09)

参考文献

- [1] 杨尧. 输配电线路运行与检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [2] 赵冀冠, 王辉, 董新胜, 等. 某220 kV架空线路地线断股故障分析[J]. 电工电气, 2021, 279(3): 41-44.