

人机协同带电作业机器人系统设计研究

冯君宏 田硕 郭克红 王宠

(天津哈工领盛机器人有限公司 天津 300304)

摘要: 在我国电力工程建设规模不断扩大的背景下, 电力行业生产力不断提高, 各项技术也取得许多创新成果。在配电网工作过程中, 带电作业是提高检修工作效率的有效方式, 但是带电作业存在一定的危险性, 所以为了提高带电作业工作安全性, 必须进行机器人技术研究, 通过机器人协助工作人员完成相应的高风险作业。本文对人机协同带电作业机器人系统设计方面进行了深入研究与分析, 并提出合理的意见和措施, 旨在进一步提高机器人系统的设计水平。

关键词: 人机协同; 带电作业; 机器人; 系统设计; 优化措施

0 引言

在供电企业的运行维护管理工作中, 主要责任为服务用电户和保障电力能源持续供给, 作业必须做好电力系统安全性和稳定性维护工作。通常情况下, 停电检修是最为安全的作业方式, 然而停电会影响正常的电力供给, 不利于电网持续运行, 所以带电作业的工作模式逐渐取得应用, 但是带电作业意味着存在较大风险, 为了保障工作人员作业安全, 应用具有协同工作能力的机器人技术, 能够帮助工作人员完成许多高危作业, 从而切实维护工作人员生命安全。

1 人机协同带电作业机器人关键简述分析

本文提出一种人机协同带电作业机器人作业平台, 具有高精度导引系统、激光雷达导线识别系统、多级绝缘防护系统以及人机交互系统等多项技术。

1.1 总体设计分析

控制平台是机器人控制系统的核心构成部分, 本次设计主要按照斗臂车支撑臂的机械接口、机械臂的接口、平台上设备、人站位、人机协同接口系统和导引系统作业平台进行拓扑设计, 能够确保控制模式满足工作需求, 同时能够减少空间占有; 与此同时, 为了保证带电作业时的工作人员安全和设备安全, 本次升级对绝缘防护和电磁防护进行优化, 具体包括如下几项内容:

(1) 在机械臂控制系统中, 采用独立系统, 安装在绝缘斗内, 与绝缘斗臂车采用螺栓的方式进行连接。

(2) 斗车设计为双斗结构形式, 机器人在作业过程中处于前方区域, 距离带电线路的距离较近, 能够更

好地使用机械臂的作业功能; 工作人员在平台中位于后斗部分, 与带电体距离较远, 能够观测到整体作业流程, 同时能够协助作业臂完成工作。

(3) 人机协同带电作业机器人的总重量不超过130kg, 重心在几何中心区域, 所以整体系统架构更加安全。

(4) 为了能够更好地满足项目需要, 机械臂末端能够灵活地配置多种不同作业工具, 同时具有精准取放作业工具的能力。

1.2 导引系统设计分析

导引系统在人机协同带电作业机器人中主要是指引作业主线的位置, 使得机械臂能够获取准确的主线作业位置, 为带电作业的核心技术之一, 为此必须保证导引系统的定位准确性。由于带电工作环境存在较高危险性以及较多的干扰因素, 所以为了提高定位准确性, 本次设计采用视觉和激光等多项非接触式的测量方式。本次设计方案中, 由工作人员手持的绝缘杆带有实时定位的功能模块设备, 可实现导线功能, 接触式方法能够有效保证导引的准确性。该导引系统的设计流程图如图1所示。

接触式导引系统由导引端和固定端两个部分构成,

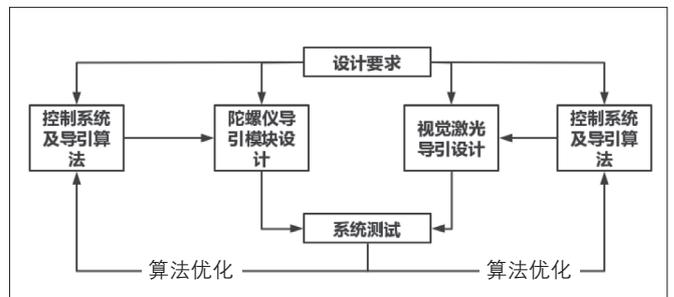


图1 导引系统的设计流程图



图2 导引系统图

能够完成快速、精准的导引控制。导引系统如图2所示。

1.3 激光雷达导线识别系统设计

本次人机协同带电作业机器人的激光雷达导线识别系统设计，采用转台结合激光雷达的结构，能够实现对作业空间上方障碍物的实时检测，转台通过舵机驱动，移动范围设计为作业区域的 180° ，转动速度设计为 $0.10^\circ/s$ ，激光雷达功能实现方式为：在该设备发射脉冲后，激光与被检测物体碰撞后，少部分激光会反射到激光接收器中，利用计算发射和脉冲接收的时间差则能够准确计算出与物体的距离；在扫描设备的工作范围内，能够扫描到各个设备的基本运行信息与位置状态，从而得到物体二维轮廓图像。激光扫描设备能够持续发射激光脉冲，并由旋转的光学设备将激光脉冲按照一定的角度间隔传输到扫描角度内的各个方向，从而构成一个扫描平面，在与转台结合后，能够有效提高测量范围，从而扩大机器人运行区间。

1.4 绝缘防护技术设计

因为现代电网的系统较为复杂，线路与线路之间存在着较高的电压，所以在对人机协同带电作业机器人系统进行设计时，需要做好绝缘防护技术的应用，从而保证机器人以及作业人员安全。在本次系统设计中，应用多级绝缘防护技术模式，主要设计内容包括：

(1) 末端作业工具和机械臂之间采用绝缘元件相连，能够提高作业工具和机械臂之间的绝缘性能，还能够提高爬电距离；

(2) 工具采用绝缘防护层进行防护；

(3) 机械臂外部采用绝缘衣防护层，能够有效避免机械臂在作业过程中和带电物体接触产生危险；

(4) 平台与斗臂车采用绝缘元件设计方式。

1.5 人机交互系统设计

人机交互系统作为人机协同带电作业机器人系统的重要接口，对于工作人员能够顺利完成带电作业具有决定性作用，为本次系统设计中的核心技术。在本次人机协同带电作业机器人系统的设计中，按照作业难度、风险程度以及智能水平，将人机协同带电作业机器人系统设计为监督模块、规划模块和反应模块。

本次系统设计包括系统运行系统以及手持系统两个部分，具体功能包括语音播报功能、警示功能以及控制功能，从而实现作业人员和设备的交互、视频交互以及文字交互，且工作人员能够强制进入机器人作业过程。通过人机交互终端可以对作业模式、作业方法进行控制，工作人员能够直接明确待完成以及已完成的任务。

在机器人作业运行前，通过导引系统完成机械臂路径规划以及作业区域确定等，使得机器人能够顺利避开障碍物，机械臂能够按照工作人员的指令停止或开展下一步作业。

在机器人作业运行期间，设备能够实时显示出当前的系统运行状态，工作人员同时能够辅助机器人完成作业，并能控制机器人的运行状态；地面终端能够对机械臂的姿态进行仿真模拟，在机械臂移动过程中即可完成，从而明确机械臂的运行路径，在作业期间根据设定程序对其进行控制；如果在作业期间出现信号异常中断问题，信号灯会出现闪烁，不同的信号灯状态代表不同的故障，从而能够及时分辨出机器人的具体故障问题；在绝缘斗臂车内部安装有控制系统，控制系统

表 耐压与漏电试验测试结果数据

工频耐压试验		泄漏电流试验	
试验电压	试验结果	试验电压/kV	泄漏电流/μA
46.70kV、1min	试验过程中没有出现击穿现象、无闪络现象、无过度发热现象	10.0	11.7
		21.4	25.4
		30.7	37.4
		40.2	51.8
		46.0	61.2

与机器人本体系统相连接,设计了急停保护装置,如果机器人出现故障能够通过控制系统和电气控制形式对机器人及其工具进行紧急保护,在机器人到达安全位置后恢复,从而能够有效提高作业安全性。

除此之外,为了能够全面保障工作人员生命安全,在系统中还设计了两级全权切换功能,如果斗内发生控制故障问题,地面工作人员能够对其进行调控,从而实现斗臂车的远距离实时控制,进一步提高系统安全性。

2 人机协同带电作业机器人现场测试应用

2.1 绝缘连接件试验

针对机械臂和末端工具的绝缘元件,本次项目中采用1min、45kV工频耐压和泄漏电流测试,依据连接件的型号加工匹配的试验电极,模拟连接检两端的末端工具法兰和机械臂。具体测试结果如表所示。

从表中的数据可以看出,绝缘连接件的整体性能能够满足主绝缘的耐受水平规定。

2.2 导引系统测试分析

将导引系统放置在指定位置,接收作业位置的RTK数据,利用七参数法将经纬度转化为大地直角坐标系形式,使其与机器人的坐标系完成转换,从而能够获取作业过程中机器人的具体坐标,采用该坐标对机器人进行控制,使其能够顺利完成作业任务。

在试验过程中,末端设备中安装对应的模块,能够对机械臂运行过程中的坐标数据进行全面记录。采用导引模块和机械臂中安装的RTK模块在相同位置获取指标坐标系数据,试验共分为3次,并对不同RTK模块中的数据进行对比分析。根据对比结果来看,不同RTK模块在相同位置中所获取的数值准确性能够满足要求,坐标系之间的数值差异控制在10mm范围内。

引导模块需要设置在不同的3个点位中,在机器人获取坐标数据后,控制机械臂分别达到设定的三点位置,机械臂末端RTK模块记录三点位置,并对比导引模块坐标数据与机械RTK模块坐标数据,从而能够体现出机器人导引定位精度。

根据测试结果可以明确,机器人的机械臂末端在到达指定位置后,坐标数值与RTK树脂的实际坐标数据差值能够控制在20mm之内,说明能够满足控制精度要求,能够良好地完成机器人机械臂携带末端工具得到指定作业位置的带电工作任务;机器人实际定位精度低于RTK数据的作业精度,虽然会受到机器人及其技术应用的影响,但是整体能够满足带电作业的精度需求。

3 结语

综上所述,本文全面阐述了一项新的人机协同带电作业机器人系统设计方案,并对该人机协同带电作业机器人进行实践应用测试。根据测试结果可以看出,本次设计方案具有良好的效果,能够全面满足带电作业需求,帮助工作人员顺利完成带电作业,希望能够对相关领域起到一定的借鉴和帮助作用,不断提高电力企业作业安全性。

参考文献:

- [1] 刘兆领,张黎明,胡益菲,等.全自主配网带电作业机器人系统设计[J].科学技术创新,2021,55(24):3-6.
- [2] 陈贤飞,李威,刘惊.人机协同带电作业机器人系统设计研究[J].制造业自动化,2021,43(08):12-17.
- [3] 张冬.配网带电作业机器人系统的设计[J].电子技术(上海),2020(10):74-75.
- [4] 穆欣伟,孙晋豪,邹方.人机协作视觉手部保护系统设计[J].工业控制计算机,2020,33(02):83-86.
- [5] 饶志强,韩昊一,郭毓,等.带电作业机器人三维环境重建与监控系统设计[J].计算机仿真,2020,37(11):334-338.

作者简介:冯君宏(1982.11-),男,陕西蓝田人,本科,工程师,研究方向:非标机械设计。