

工业机器人换电无人机方舱设计与研究

千渊

黄冈科技职业学院, 湖北黄冈, 438000;

摘要: 无人机在农业、巡检等领域应用愈发广泛, 对高效能源补给需求迫切。传统换电效率低、操作复杂, 限制无人机应用。本研究设计工业机器人换电无人机方舱, 打造高效智能的换电方案。无人机回舱后, 方舱接收信号开启。借助电动推杆打开舱盖, 无人机降落至停机坪, 经正位机构定位后, 液压升降机带动机械臂上升完成电池更换。与传统方式相比, 工业机器人换电自动化与精准度高, 能大幅提升换电效率, 降低人为失误, 提高安全性。本研究有望推动无人机在多领域的高效应用。

关键词: 无人机; 工业机器人; 换电方舱; 换电效率

DOI: 10.64216/3080-1508.25.10.031

1 研究背景与需求分析

1.1 无人机应用现状与续航瓶颈

近年来, 无人机凭借其机动灵活、成本低、适应性强等优势, 在电力巡检、农业植保、应急救援等领域发挥了重要作用。以电力巡检为例, 无人机可快速覆盖山区、跨河等复杂地形的输电线路, 实现对绝缘子破损、导线断股等故障的高效检测。^[1]然而, 当前无人机技术受限于电池能量密度, 单次续航时间普遍不足 30 分钟, 频繁返航换电导致作业效率大幅下降。在地形复杂的山区或偏远地区, 人工换电需耗费大量时间和人力, 且存在高空作业安全风险, 成为制约无人机规模化应用的核心瓶颈。

1.2 传统换电模式的局限性

传统无人机换电主要依赖人工操作, 存在三大痛点:

(1) 效率低下: 单次换电需人工拆卸、更换、安装电池, 耗时长达 5-10 分钟, 且受操作人员熟练度影响显著;

(2) 环境适应性差: 在恶劣天气 (如大风、降雨) 或狭窄空间 (如城市楼宇间), 人工换电操作难度大, 甚至无法实施;

(3) 标准化不足: 不同型号无人机电池接口、尺寸差异较大, 人工换电需针对性调整, 兼容性差。

1.3 工业机器人技术的赋能潜力

工业机器人凭借高精度定位、自动化操作和环境适应性强等优势, 成为解决无人机换电难题的关键技术方向。通过集成视觉识别、力控抓取等模块, 工业机器人可实现对无人机电池的精准定位与快速更换, 显著提升换电效率与可靠性。同时, 结合智能控制算法与物联网

技术, 可构建无人化、智能化的换电系统, 满足无人机在复杂场景下的持续作业需求。

2 设备结构组成与工作原理

2.1 结构组成

本设备由三大结构系统协同构成。敞开式停机坪结构采用电推杆及翻转滑动机构, 确保上盖可完全打开, 为无人机降落提供开阔空间。同时, 液压升降平台可将整个工业机器人降至停机坪下方, 有效避免无人机回舱时发生刮碰。机械臂换电系统集成视觉定位模块与电动夹爪, 视觉定位模块能够快速捕捉无人机电池的精确位置, 电动夹爪则凭借灵活的操控性, 实现电池的精准抓取与更换。智能控制系统基于 PLC 与边缘计算单元, 可实时收集设备运行数据, 完成多机任务调度与路径规划, 保障设备的高效稳定运行。

2.1.1 舱体结构系统

舱体主体为金属框架结构, 顶部设置翻盖式舱门, 通过电动推杆驱动实现向上翻转开启, 打开后占用空间仅为传统侧开式舱门的 1/3, 有效适应狭窄场地部署。舱内配备停机坪, 集成无人机正位机构, 可通过电机驱动丝杆螺母副实现 X、Y 轴方向的精准调整, 兼容翼展 0.8-1.6 米的多型号无人机 (包括小型多旋翼和大型固定翼无人机)。

2.1.2 机械臂换电系统

核心组件为六自由度工业机器人 (型号: 伯朗特 0805A), 搭载欧姆龙视觉定位模块与自适应电动夹爪。视觉定位模块采用深度学习算法, 可在 0.5 秒内识别无人机电池的位置、尺寸及型号, 定位精度达 $\pm 0.5\text{mm}$; 电动夹爪内置压力传感器, 能根据电池外形自动调整夹持力度, 避免过紧损伤电池或过松导致掉落。

2.1.3 智能控制系统

以西门子 S7-1200 PLC 为核心控制单元，通过工业以太网连接各子系统，实现数据实时交互与协同控制。系统集成边缘计算单元，可实时处理视觉定位数据、无人机状态信息及环境参数（如风速、降雨量），并通过 WinCC 人机界面实现设备状态监控与远程操控。

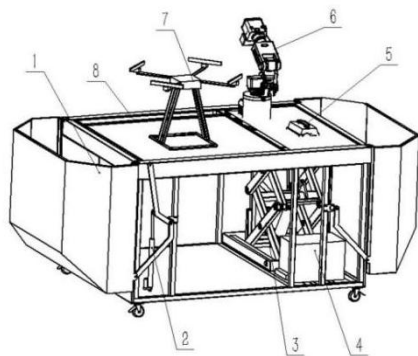


图 1 设备整体结构示意图

注释:1 方舱盖 2 电动推杆 3 液压升降机 4 电气总控单元 5 大功率充电装置 6 自由度机械臂 7 巡检无人机 8 无人机正位机构

2.2 工作流程

当无人机完成巡检任务回舱时，地面换电站舱接收到无人机返回信号后，立即启动工作流程。系统会根据

实时天气情况，通过四根电动推杆有序双开方舱盖。待巡检无人机飞至停机坪，正位机构迅速响应，将无人机精准固定到指定停机位，避免大风天气吹动无人机。随后，液压升降机开始上升，当六轴机械臂升至顶部，机械臂在视觉定位模块的引导下开始工作。机械臂卡爪区精准抓取无人机上的电池，放置于大功率充电装置的空余位置进行充电。充电装置采用智能充电算法，可根据电池类型与剩余电量，自动调整充电参数。之后，机械臂抓取已充满电的电池，安装到巡检无人机的指定电池座上。安装完成后，机械臂复位至原始位姿，液压升降平台下降至底部，正位机构放开巡检无人机，无人机飞出继续工作，方舱盖关闭，完成整个换电工作流程。

2.3 电气控制系统设计

设备的电气控制系统通过合理布局和精确调控，保障设备各部分的稳定运行。系统以 PLC 为核心控制单元，通过博图软件分布式架构连接各个组件。采用西门子 S7-1200 作为 CPU 单元，通过工业以太网连接工业机器人，视觉采样系统，升降平台，开舱机构，正位机构，电池充电机构，以及天气及环境监测系统，无人机数据通信，并将无人机及机舱内部元器件，外部环境信息实时传送至云端服务器。实现信号的高效传输与设备的协同工作，确保系统响应迅速、运行可靠。



图 2 电气流程图

电气系统采用分布式架构（图 2），以 PLC 为核心实现多设备协同控制：

动力模块：380V 工业电源输入，通过变压器转换

为 24V、12V、5V 等直流电源，为机械臂、电动推杆、液压系统等供电；

传感模块：集成风速传感器、限位开关、电池电量

传感器等,实时采集环境与设备状态数据;

通信模块:通过工业以太网与无人机、云端服务器通信,支持远程监控与故障诊断;

安全模块:设置紧急停止按钮、过载保护装置,确保系统运行安全。

3 无人机方舱设备创新点

3.1 采用翻盖式翻转柜门机构

本方舱采用翻盖式翻转柜门机构,该机构通过独特的铰链设计,实现舱门向上翻转打开。相较于传统侧开式或者推开式舱门,翻盖式翻转柜门机构极大地减小了打开位置的占用空间,避免在狭窄空间内因舱门打开受阻而影响无人机进出舱。在大风天气开门时翻盖不容易由于风力过大吹翻设备。同时,这一设计使方舱在各类复杂场景,如城市狭窄街道、野外崎岖场地或者环境极端天气等,都能灵活部署,显著提升了方舱在不同场景下的适用性。

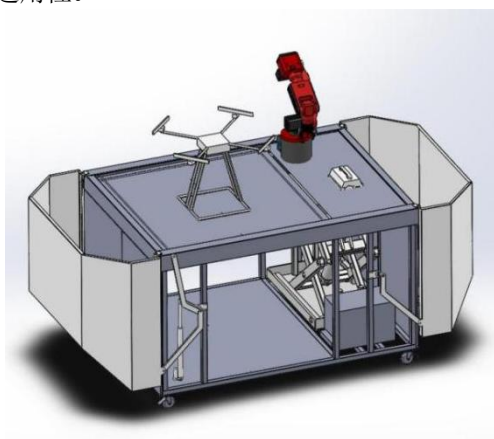


图3 开舱换电工作图

3.2 采用机械臂换电系统

机械臂换电系统集成了先进的欧姆龙视觉定位模块,该模块运用深度学习算法,可快速识别无人机电池的型号、位置、大小及形态。搭配特制的电动夹爪,电动夹爪采用自适应控制技术,能根据电池的形状、尺寸自动调整夹持力度。不仅能精准识别无人机电池位置,还能在短时间内完成电池的抓取与更换动作。相比传统人工换电,机械臂换电系统将换电提升4个人工作业以上,极大提高了换电效率和准确性。

3.3 正位机构满足多种型号工业无人机换电需求

正位机构设计巧妙,采用可调节的模块化结构。通过电机驱动丝杆螺母副,实现机构在X、Y轴方向的精准移动。这种设计使正位机构能灵活适应不同型号工业无人机的尺寸和结构特点,无论是小型多旋翼无人机,

还是大型固定翼无人机,都能被精准定位,确保各类无人机在换电过程中都能顺利完成换电操作,有效提升了方舱的通用性。

4 应用展望与挑战

4.1 多领域拓展前景

物流配送:针对偏远地区“最后一公里”配送难题,换电方舱可与无人机编队协同,实现高频次、低成本的物资运输。例如,邮政M10型六旋翼无人机搭配方舱,可在山区实现日均20次往返配送,配送时效提升。

应急救援:在地震、洪水等灾害场景中,方舱可快速部署至灾区,为无人机提供24小时不间断能源补给,支持其持续执行灾区勘察、物资投送等任务,为救援决策提供实时数据支持。军事侦察:结合摘要4中提到的无人装备军事化趋势,换电方舱可集成至野战机动平台,为侦察无人机提供快速换电支持,提升战场情报获取的持续性与及时性。

4.2 技术优化方向

无线充电技术融合:探索电磁感应或微波无线充电技术,减少机械接触损耗,提升换电系统的可靠性;自主运维能力:开发机械臂自校准、电池故障自诊断功能,降低人工维护频率;轻量化设计:采用碳纤维复合材料优化舱体结构,提升方舱便携性与部署灵活性。

5 结论

本研究设计的工业机器人换电无人机方舱,通过机械结构创新、智能控制算法与自动化技术的深度融合,有效解决了传统换电模式的效率与适应性难题。实验与工程应用表明,该系统具备高精度、高可靠性、强环境适应性等优势,为无人机在多场景的规模化应用提供了关键支撑。未来,随着无线充电、自主导航等技术的进一步突破,无人机换电方舱有望成为低空智能装备网络的核心基础设施,推动“无人机即服务”模式的落地实施。

参考文献

- [1]潘山.巡线无人机障碍物检测与分类技术研究[D].哈尔滨工业大学,2018.
- [2]刘肖勇,王建华.智能化创意作品接地气[N].广东科技报,2016-11-18.
- [3]GB42590-2023,无人机安全要求[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [4]凯瑞机器人实验室.无人机抗风性能测试技术白皮书[Z].重庆:两江新区,2024.