

变电运维中无人机技术的应用与发展

朱建伟 李玉倩 张程莉 李艺昆

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要]随着电力行业的迅速发展, 变电站运维工作面临着越来越大的挑战。传统的人工巡检方式存在效率低、风险大、成本高等问题。无人机技术作为一种新兴的智能化设备, 凭借其高效、精准、便捷的特点, 逐渐在变电运维中得到广泛应用。文中综述了无人机在变电运维中的应用现状、优势及挑战, 并探讨了其在变电站巡检、数据采集、故障诊断等方面的作用。结合无人机技术的快速发展和电力行业的需求, 分析了其未来发展趋势及技术革新对变电运维带来的深远影响。

[关键词]无人机技术; 变电站运维; 智能巡检; 数据采集; 故障诊断

DOI: 10.33142/hst.v8i3.15840

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Application and Development of Unmanned Aerial Vehicle Technology in Substation Operation and Maintenance

ZHU Jianwei, LI Yuqian, ZHANG Chengli, LI Yikun

Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: With the rapid development of the power industry, the operation and maintenance of substations are facing increasing challenges. The traditional manual inspection method has problems such as low efficiency, high risk, and high cost. As an emerging intelligent device, unmanned aerial vehicle technology has gradually been widely applied in substation operation and maintenance due to its high efficiency, precision, and convenience. The article summarizes the current application status, advantages, and challenges of unmanned aerial vehicles in substation operation and maintenance, and explores their roles in substation inspection, data collection, fault diagnosis, and other aspects. Based on the rapid development of unmanned aerial vehicle technology and the demand of the power industry, this paper analyzes its future development trends and the profound impact of technological innovation on substation operation and maintenance.

Keywords: unmanned aerial vehicle technology; substation operation and maintenance; intelligent inspection; data collection; fault diagnosis

引言

在变电站的日常运维中, 传统巡检方式不仅工作繁重, 而且存在较高的安全风险。随着无人机技术的快速发展, 尤其是在电力系统领域, 无人机凭借其高度的机动性、精准的探测能力和多功能数据采集系统, 逐渐成为变电运维中不可或缺的工具。无人机可通过搭载高分辨率摄像头、热成像仪及多种传感器, 对变电站设施进行全面检查, 实时传输监测数据, 有效提高巡检效率并减少人工巡检的风险。本文将分析无人机技术在变电运维中的实际应用及其面临的技术挑战, 展望未来的发展前景。

1 无人机技术概述

1.1 无人机基本原理与分类

无人机(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)是一种无人驾驶航空器, 具有自主飞行、遥控飞行和任务执行能力。其核心技术包括飞行控制、导航系统、通信技术以及搭载传感器的能力, 使其能够在空中完成数据采集、图像处理等任务。无人机通过自动飞行控制系统执行飞行任务, 能够自主或通过远程控制实现飞行轨迹的规划、避障以及数据采集等功能^[1]。

固定翼无人机: 这种类型的无人机与传统的飞机相似,

依靠固定翼产生升力, 通常具有较长的飞行距离和较高的飞行速度。由于固定翼的设计, 固定翼无人机适合进行大范围巡检和高效的空中巡查, 特别是在较为宽广的区域, 如电力输电线路、风力发电场等地方。它们的飞行时间较长, 适合执行长时间、连续性的任务。旋翼无人机: 旋翼无人机则是通过旋转的桨叶产生升力, 具有较强的悬停能力, 能够在空中实现稳定的停留。旋翼无人机具有较高的机动性, 能够在较小的空间内灵活飞行, 适用于精确的局部检查和高空难度大的作业。旋翼无人机特别适用于变电站、输电线路塔基等高精度巡检任务, 能够轻松完成狭小区域的检查、设备状态监测和热成像扫描等工作。

1.2 无人机技术在电力领域的应用

近年来, 无人机技术在电力行业的应用逐渐成熟, 特别是在变电站和输电线路的监测中发挥着关键作用。传统的人工巡检不仅效率低, 而且存在较大的安全风险, 而无人机的引入有效解决了这些问题, 提高了工作效率和检查精度。在电力线路巡检中, 无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪和激光雷达等传感器, 能够快速覆盖大范围区域, 实时采集高分辨率图像和数据, 识别线路的损坏、松动等问题, 避免了高空作业的风险。在电气设备检测中, 无人

机可以监测设备的运行状况,利用热成像技术及时发现过热或故障隐患,确保设备安全稳定运行。

在变电站监控中,无人机通过定期巡检和即时响应,实时捕捉设施运行情况,并提供高清图像帮助运维人员分析设备状况。无人机与地面控制平台的协作,确保了及时的故障排除和维修。无人机的应用不仅提高了电力运维效率,还大大减少了安全隐患,推动了电力行业智能化发展。随着技术进步,未来无人机在电力行业的应用将更加广泛和高效。

2 无人机在变电站运维中的应用

2.1 变电站巡检

变电站的巡检工作通常包括对变电设备、输电线路、设施状态等方面的全面检查。传统的人工巡检方法往往需要人工登高,耗时且存在一定的安全隐患,尤其在面对高压线路、难以接近的设备区域时,人工巡检更具挑战性。无人机技术的引入,通过其空中飞行能力,为变电站巡检提供了一种高效、安全且快速的解决方案^[2]。

无人机的飞行稳定性和精确控制使其能够在复杂的变电站环境中顺利执行任务。在巡检过程中,无人机可以根据预定的飞行路径,实时检查高压线路、变压器、断路器、开关等关键设施。相比人工巡检,无人机不仅能够快速定位问题区域,还能在极短的时间内进行高频率的检测。此外,无人机搭载高清摄像头、热成像仪等设备,能够获取高清图像和多维度数据,及时发现设备的异常情况,并将实时数据传输回运维中心,减少人工巡检的时间成本。

2.2 设备状态监测与故障诊断

无人机在变电站运维中的另一重要应用是设备状态监测与故障诊断。无人机可以搭载多种传感器,如热成像仪、红外摄像头、高清摄像头、振动传感器等,这些传感器能够精确监测设备的温度变化、机械损耗、损坏情况等。通过实时采集数据,运维人员可以迅速识别设备的潜在问题,进行科学分析与预判。

例如,热成像仪可以用来监测电气设备是否过热,识别是否存在绝缘损坏、接触不良等隐患;红外摄像头可以检测到电气设备中的微小裂纹或损伤,帮助及时排查设备的安全隐患。振动传感器能够监测变压器等设备的运行状态,检测其是否存在机械故障。通过无人机搭载的多种传感器,采集的数据能够实现实时传输至运维中心,并通过大数据分析、人工智能算法处理,帮助运维人员提前发现潜在的设备故障。利用故障诊断技术,能够有效避免突发性停运事件,减少电力系统的运维成本,保障电力供应的稳定性和安全性。

2.3 数据采集与存储

数据采集和存储是无人机在变电站运维中非常关键的一环。无人机通过搭载各种传感器,可以实时采集大量数据,包括温度、湿度、电流、电压、设备运行状态等信息。这些数据为后续的设备状态评估和故障诊断提供了重要的参考依据。

无人机通过无线通信技术将采集到的数据实时传输到地面控制中心或云端存储平台,实现数据的远程监控和实时分析。传输过程中,数据的完整性和实时性得到了保障,确保了运维人员可以第一时间收到变电站设备的运行信息。通过实时监控,运维人员能够快速识别设备的异常状态,从而做出精准的判断与决策。无人机采集的数据不仅可以用于当前巡检任务的分析,也能长期保存用于设备生命周期管理和故障预测。借助大数据分析技术,运维人员可以从历史数据中提取规律,分析设备的健康状况,并预测其未来的维护需求,从而实现精准的预防性维护,降低设备故障率,提高运维效率。

3 无人机技术在变电运维中的优势与挑战

3.1 无人机技术的优势

高效性:无人机的引入使变电站运维工作效率得到了显著提升。传统的人工巡检往往需要大量的时间和人力,尤其是面对广阔的变电设施和高压线路时,检查的频次和效率受限。而无人机通过其自动飞行、快速巡检的特点,可以在极短的时间内覆盖大范围区域。无人机能够按照预定路径自主飞行,实时采集数据,完成全面的巡检任务,减少了人工巡检的周期,提升了工作效率^[3]。

安全性:在传统的人工巡检中,尤其是在高压电力设备和复杂的设施环境中,存在着较大的安全隐患。无人机技术的应用有效避免了人工登高、高空作业等危险作业,降低了电力运维工作人员的风险。无人机能够在无人干预的情况下进行巡检,尤其是在高压线路、变电站内部等危险区域,能够远程操作,确保运维人员的安全。

低成本:无人机技术的使用相较于传统的人工巡检和地面设备检修,具备较低的操作成本和维护费用。首先,无人机的设备采购成本相对较低,且其运行所需的能源(如电池)较为经济。其次,传统的人工巡检不仅耗时长,还需要频繁的高空作业、设备检查等人工成本,而无人机能够在较短时间内完成巡检任务,节省了大量的人力和时间成本。长远来看,无人机的运维成本较为可控,且能够避免频繁的人工操作。

数据精确性:无人机搭载的高精度传感器,如高清摄像头、红外热成像仪、温湿度传感器等,能够获取高质量的图像和准确的设备运行数据。相比人工巡检,无人机能够更精确地捕捉到设备的细微变化、潜在的故障隐患,尤其在高空或难以接触的区域,能够提供清晰的图像和详细的检测数据。这些精确的数据为运维人员提供了可靠的依据,帮助其做出及时、科学的决策,避免了设备突发性故障和不必要的维护。

3.2 无人机技术面临的挑战

技术限制:尽管无人机技术在变电站运维中展现出了强大的优势,但仍存在一定的技术瓶颈,限制了其在某些复杂环境下的应用。目前,许多无人机的续航时间较短,这在大范围巡检时会限制其使用。此外,部分无人机在飞

行过程中可能面临飞行稳定性不足的问题,尤其是在天气复杂、风力较大的情况下,飞行的稳定性可能受到影响。此外,现有无人机的设备负载能力有限,无法搭载过重的传感器,限制了其在某些特殊场景下的应用。

法规与安全:随着无人机技术的广泛应用,相关的法律法规也在逐步完善。然而,无人机在飞行过程中仍需遵守严格的飞行规定,特别是在变电站等高安全等级区域飞行时,必须确保无人机飞行的合规性与安全性。无人机的飞行高度、飞行范围、飞行路线等都需要符合航空管理部门的规定,并获得相关许可。**数据处理与分析:**无人机在巡检过程中会采集大量的数据,包括高清图像、红外成像、环境参数等,这些数据量庞大且复杂。如何有效地存储、处理和分析这些数据,成为无人机技术应用中的一大挑战。

4 无人机技术未来发展趋势

4.1 无人机技术的持续创新

无人机技术的未来发展将伴随着人工智能、大数据、5G 通信等技术的持续创新和融合,这将推动无人机的自主控制能力和数据分析能力进一步提升。人工智能技术的发展使得无人机能够在执行任务时更加智能化,具备更强的自主决策能力。未来的无人机将能够根据不同的任务需求,自动选择合适的飞行路线、飞行高度以及设备配置,显著减少人工干预,提高巡检和维护任务的效率。

随着大数据技术的应用,未来无人机将能够更精确地进行数据处理和分析。在变电站巡检过程中,无人机采集的大量数据将能够实时传输到云端,借助大数据分析,快速识别设备故障的模式和趋势,从而提前预测设备的潜在问题并进行有效的预警。这不仅提升了故障诊断的准确性,还能大大降低设备的维修成本和停机时间。

5G 通信的应用将极大地提升无人机的数据传输速度和实时性,使得无人机在远距离、高速飞行的同时,能够实时将传感器采集到的数据传回地面控制中心。高速的通信网络支持将使得无人机能更广泛地应用于复杂环境下的任务,如大规模巡检、智能诊断等,这些任务对于数据传输的时效性要求极高。未来,随着这些技术的不断进步,无人机将能够在变电运维中执行更多复杂的任务,进一步拓展其应用范围^[4]。

4.2 行业应用的深入拓展

无人机技术在变电运维中的应用,未来不仅限于设备巡检,还将在多个领域中实现深入拓展。在应急响应方面,无人机能够迅速进入事故现场,通过搭载传感器和摄像头,实时提供现场的影像数据,帮助运维人员快速判断事故原因,并指导后续的抢修工作^[5]。特别是在极端天气或自然灾害发生时,无人机能够突破常规交通工具的限制,快速到达现场进行巡查,确保变电设施尽快恢复正常运行。

在设备维护领域,未来的无人机可能具备更强的维修

能力。例如,结合机器人技术和无人机的多功能性,无人机能够执行设备的简单修复任务,如更换损坏的电缆、清理设备表面、润滑设备零件等。这将大大减少人工维护的负担,降低维护成本,同时提高设备的运行效率和安全性^[6]。无人机还可以在变电站的环境监测方面发挥重要作用。通过搭载环境监测设备,如气体传感器、空气质量监测仪等,未来的无人机将能够定期监测变电站周围的空气质量、温湿度等环境数据。这些数据不仅能帮助优化变电站的工作环境,还能提前预警可能对设备运行造成影响的外部因素,如温度过高或气体泄漏等^[7]。随着技术的不断进步和智能化设备的日益增多,未来的无人机将与其他先进技术(如物联网、边缘计算等)紧密结合,推动变电运维朝着更加自动化、智能化的方向发展。这不仅提高了运维工作的效率和精准度,也为电力行业的数字化转型提供了有力支持。

5 结束语

无人机技术作为变电站运维中的一项革命性技术,极大地提高了巡检效率、减少了安全隐患,并推动了电力行业向数字化、智能化转型^[8]。虽然目前无人机技术在续航、稳定性和数据处理等方面存在一定挑战,但随着技术的不断进步和行业需求的不断增长,未来无人机将在变电运维中发挥更加重要的作用。企业应加大对无人机技术的研发与应用投入,以促进电力行业运维的现代化和智能化,提升整体运行效率和设备可靠性。

[参考文献]

- [1]田丰.智能巡检技术在变电运维中的运用[J].电力设备管理,2024(24):24-26.
 - [2]韩宗延.基于无人机技术的变电站运维管理研究[D].重庆:重庆交通大学,2024.
 - [3]王禹尧.智能化技术在变电运维中的有效运用[J].电工技术,2024(1):82-84.
 - [4]刘开伟.无人机技术在35kV输电线路运维检修中的应用[J].通信电源技术,2024,41(22):56-58.
 - [5]董凯.无人机巡检技术在输电线路运维中的应用研究[J].电力设备管理,2020(5):3.
 - [6]薛冰,周雷,张欣,等.无人机巡检技术在输电线路运维中的应用研究[J].百科论坛电子杂志,2020(14):1765.
 - [7]廖卓宇,朱传刚,孙忠慧,等.无人机激光雷达技术在电力运维工作中的应用[J].通讯世界,2024,31(3):117-119.
 - [8]王华宾,陶留海,高嵩,等.基于泛在电力物联网下无人机在变电站巡检技术的探讨[J].工程技术研究,2020,2(6):115-116.
- 作者简介:朱建伟(1990.9—),男,河南省郑州市人,汉族,硕士研究生,中级电力工程师,就职于河南省国网郑州市供电公司,从事变电运维工作。