

无人机技术在输电线路巡检中的应用

李刚涛 吕冬 李海伦 吕海龙

国网河北省电力有限公司超高压分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着国家电网建设的急速发展, 输电线路巡检任务随之增重, 传统的人工巡检方式已无法满足不断扩大的电网规模。输电线路巡检迫切需要引入先进的无人机技术来减轻工作压力、提高效率, 确保电力供应的安全和稳定。文中概述了当前输电线路巡检的现状, 总结了无人机自动巡检的优势和关键技术, 探讨了实施该技术的策略和应用方法, 为国家基础电力建设事业提供有力支持。通过分析案例和性能评估, 文中还探讨了无人机自动巡检的成本效益、安全性和环境影响, 为未来电力输送系统的可持续发展提供了有益见解。

[关键词]输电线路巡检; 无人机; 多光谱; 激光雷达

DOI: 10.33142/hst.v7i6.12529

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Research and Application of Drone Technology in Transmission Line Inspection

LI Gangtao, LYU Dong, LI Hailun, LYU Hailong

Extra High Pressure Branch of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the rapid development of the national power grid construction, the task of transmission line inspection has increased. Traditional manual inspection methods can no longer meet the constantly expanding scale of the power grid. Transmission line inspection urgently needs to introduce advanced drone technology to reduce work pressure, improve efficiency, and ensure the safety and stability of power supply. This article summarizes the current status of transmission line inspection, summarizes the advantages and key technologies of drone automatic inspection, explores the strategies and application methods of implementing this technology, and provides strong support for the national basic power construction cause. By analyzing case studies and performance evaluations, the article also explores the cost-effectiveness, safety, and environmental impact of unmanned aerial vehicle (UAV) automatic inspection, providing useful insights for the sustainable development of future power transmission systems.

Keywords: transmission line inspection; drones; multispectral; LiDAR

引言

电力输送系统作为现代社会的重要基础设施之一, 为我们的生活提供了必不可少的电能供应。然而, 随着人们物质生活水平的不断提高, 家庭和工业用电的需求不断增加, 这使得输电线路的可靠性和安全性变得尤为重要。输电线路的稳定运行直接关系到人们的生活、生产和经济安全, 因此对其进行定期巡检和维护至关重要。传统的输电线路巡检方式通常依赖于人工操作, 包括登高爬塔、走线路、目视检查等方法。然而, 这些方法不仅费时费力, 而且存在危险, 对巡线人员的安全构成潜在威胁。此外, 电网的不断扩大和电力需求的不断增加, 使得巡线工作变得愈加繁重, 使得传统巡检方式显然已经无法满足需求。

近年, 无人机技术快速发展, 在输电线路巡检过程中, 无人机技术能够实现对输电线路中的相关数据和信息进行有效处理, 不仅能够有效取代传统人工方式, 降低其工作负担, 而且还可以有效提高电路巡检工作效率和巡检质量。借助无人机技术还可以强化对电路的巡检工作, 既优化了人工运行结构, 降低巡视成本, 而且还可以有效提高数据信息的准确率, 确保输电线路的安全、高效运行。

1 常见无人机输电线路巡检技术

无人机在输电线路巡检领域应用广泛, 采用多种技术和传感器以确保输电线路的安全和可靠性。以下是一些常见的无人机输电线路巡检技术的详细介绍:

1.1 多角度多光谱成像

多角度多光谱成像是一种高级技术, 它使用多光谱相机或红外热像仪, 从多个不同角度和波长范围拍摄输电线路的图像。这个技术的主要优势之一是它能够检测各种线路问题, 包括但不限于绝缘子的污染、树木与线路的干扰、设备的磨损等。多光谱图像提供了不同波长的信息, 使得可以通过分析物体的反射率来识别问题并提供更多的信息以辅助决策。例如, 红外图像可以用于检测电器设备的过热情况, 从而提前发现潜在的故障点。

1.2 激光震动

激光震动技术使用激光传感器来测量输电线路上的振动和位移。这种技术能够检测到线路上的任何异常振动, 例如杆塔的倾斜、杆塔或导线的松动等。这种信息对于及早发现线路结构的问题至关重要。此外, 激光震动技术还可以用于监测输电线路的自然振动频率, 这有助于评估结构的健康状态。通过跟踪这些振动特征, 无人机可以检测

到潜在的结构问题，如杆塔的腐蚀或杆塔连接件的松动。

1.3 电子光学

电子光学技术使用激光雷达 (LiDAR) 或三维摄像头来创建输电线路的高精度数字模型。这个数字模型可以用于检测杆塔的偏移、导线的下垂以及树木或其他障碍物与线路的接近。通过利用这些数字模型，无人机可以规划飞行路径，并实时避开障碍物，以确保安全巡检。此外，数字模型还提供了更准确的线路几何信息，有助于评估导线的张力、支架的状态以及整体线路的健康状况。

这些无人机输电线路巡检技术的结合使用，不仅提高了巡检的效率和准确性，还降低了人工巡检的风险和成本，从而增强了电力输送系统的可靠性和稳定性。这些技术的不断进步将继续推动无人机在输电线路巡检领域的应用，并确保电力供应的安全和可靠。

2 输电线路无人机自主巡检方法

无人机在输电线路的自主巡检中发挥着关键作用，其成功执行需要一系列复杂的方法和技术。以下是输电线路无人机自主巡检方法的详细介绍：

2.1 传感器与数据采集

传感器在输电线路无人机自主巡检中扮演着关键的角色，它们负责收集有关线路和环境的重要信息，以支持决策制定和故障检测。我们将深入探讨三种主要的传感器技术，分别是摄像头与红外传感器、惯性测量单元 (IMU) 以及高分辨率图像采集。

2.1.1 摄像头与红外传感器

摄像头和红外传感器是输电线路无人机自主巡检中最常用的传感器之一。摄像头负责捕捉可见光图像，而红外传感器则检测红外辐射。这两种传感器的协同工作提供了多维度的信息，具体如下：可见光图像：摄像头拍摄的高分辨率彩色图像可以用于检测输电线路上的多种问题，包括绝缘子污染、导线下垂、杆塔腐蚀等。通过图像处理技术，可以自动识别和标记这些问题，加速巡检速度和准确性。红外图像：红外传感器可以测量线路和设备的温度分布。这有助于发现潜在的热问题，如设备过热或树木与导线的接触。异常的热特征在图像中显示为明显的热点，提供了及早发现问题的线索。

2.1.2 惯性测量单元 (IMU)

惯性测量单元 (IMU) 是无人机上的关键组件之一，用于测量无人机的运动和姿态信息。IMU 通常包括加速度计和陀螺仪，它们提供以下重要数据：加速度数据：加速度计测量无人机的加速度，这有助于检测飞行中的变速和方向变化。这些数据对于实现稳定飞行和控制无人机的航迹非常重要。陀螺仪数据：陀螺仪测量无人机的角速度，用于跟踪无人机的旋转和姿态变化。这对于保持无人机在飞行中的平稳和控制其方向至关重要。IMU 数据与 GPS 数据和其他传感器数据结合使用，有助于确定无人机

在空中的准确位置和姿态，从而实现自主导航和控制。

2.1.3 高分辨率图像采集

为了获取详细的输电线路图像，无人机通常配备高分辨率图像采集设备，这些设备可以捕捉输电线路和相关设备的细节^[1]。高分辨率图像采集提供了以下优势：细节捕捉：高分辨率图像捕捉输电线路微小细节的变化，使操作员能够识别潜在的问题，如绝缘子的污染、接触不良或设备的磨损。数据支持：这些图像提供了丰富的数据，用于分析线路的状态。图像处理技术可以用于自动识别和标记问题区域，加速数据分析的速度。高分辨率图像采集不仅支持实时巡检，还可用于建立历史数据记录，以便进行长期的线路监测和维护计划制定。

2.2 无人机平台选择与配置

选择合适的无人机平台对于输电线路的自主巡检至关重要。不同类型的无人机平台具有各自的优势和适用场景。我们探讨两种常见的无人机平台选择与配置，分别是旋翼式无人机和固定翼无人机。

2.2.1 旋翼式无人机

旋翼式无人机是一种常见的无人机平台，它通常采用多旋翼设计，如四旋翼或六旋翼。以下是旋翼式无人机在输电线路自主巡检中的优点和配置考虑：垂直起降和悬停能力：旋翼式无人机具有垂直起降和悬停能力，使它们能够在需要详细观察或检查的地方悬停，以获取高质量的图像和数据。灵活性：由于其灵活的飞行特性，旋翼式无人机适用于近距离、低高度的巡检任务，如绝缘子、杆塔和导线的检查。容易操作：旋翼式无人机通常比固定翼无人机更容易操作和维护，需要地面设备和起降场地较少。配置考虑：摄像头和传感器：配备高分辨率摄像头和红外传感器，以捕捉详细的图像和红外数据。电池和续航能力：选择具有足够电池容量的无人机，以确保能够执行较长时间的飞行任务，尤其是在远程巡检中。

2.2.2 固定翼无人机

固定翼无人机是一种另类的无人机平台，通常采用固定翼飞行器的设计。以下是固定翼无人机在输电线路自主巡检中的优点和配置考虑：长航程和高速度：固定翼无人机通常具有更长的航程和更高的巡航速度，适用于大范围 and 长距离线路巡检^[2]。高空飞行：固定翼无人机能够在较高的高度飞行，这有助于更广泛地覆盖区域，并提供全局视角。飞行稳定性：由于其稳定的飞行特性，固定翼无人机通常能够在不稳定的天气条件下执行任务。配置考虑：自主导航系统：配备先进的自主导航系统，以确保固定翼无人机能够执行复杂的长距离飞行任务，并实现精确的路径规划。数据链路和通信：配置可靠的数据链路和通信系统，以实时传输图像和数据，以便监控和分析。自动起降系统：一些固定翼无人机配置了自动起降系统，以确保安全地起飞和降落操作。

2.3 自主飞行控制算法

在输电线路巡检中,自主飞行控制算法是确保无人机成功执行任务的核心组成部分。这些算法涵盖了路径规划、避障和自主导航等关键功能。

2.3.1 路径规划

路径规划的关键目标是确定无人机将飞行的最佳路径。这些算法不仅优化巡检任务的效率,还考虑输电线路的复杂性,以确保飞行路径避开杆塔、导线和其他设备。高级的自主飞行控制系统可以自动规划路径,减轻操作员的负担,并确保高效的巡检。

2.3.2 避障算法

避障算法的任务是检测并规避与环境中的障碍物的碰撞。在输电线路巡检中,这些算法使用传感器数据(如摄像头、激光雷达和超声波传感器)来监测障碍物的位置和距离。它们必须能够实时响应环境的变化,确保无人机可以迅速避开突发的障碍物,从固定障碍物到应对移动障碍物,确保飞行的安全性。

2.3.3 自主导航

自主导航是指无人机能够依靠传感器和导航系统的数据自主确定其在空中的位置、姿态和运动状态。在输电线路巡检中,自主导航系统使用 GPS 和惯性测量单元(IMU)的数据来确定无人机的位置和方向。此外,它们还实时感知环境,适应风、天气和其他变化,确保无人机沿着预定的路径飞行,并根据需要进行微调。

2.4 数据处理与分析

数据处理与分析是输电线路无人机巡检中的关键步骤,它们涵盖了图像处理、数据挖掘技术以及故障检测算法,有助于从收集到的数据中提取有用信息并支持维护决策。

2.4.1 图像处理技术

图像处理技术旨在充分利用由摄像头和红外传感器捕获的图像数据。这包括对图像进行增强,以提高可见度,使潜在问题更易于识别。同时,图像处理还包括自动目标检测,使系统能够自动识别关键目标,如绝缘子、杆塔和设备,并在图像中标记它们以供进一步分析。此外,图像分类技术有助于将图像分为不同类别,如正常状态和异常状态,从而快速识别问题,例如绝缘子的污染或设备的损坏。

2.4.2 数据挖掘技术

数据挖掘技术用于在大量数据中发现模式、趋势和关联,从而为维护决策提供支持。这包括故障预测,其中机器学习算法根据历史数据帮助预测输电线路或设备的潜在故障,并制定相应的维护计划。此外,性能分析利用数据挖掘来评估输电线路的性能,识别可能的性能下降,并提供改进建议。维护计划也可以通过分析数据得出更有效的维护计划,以最大程度地优化维护资源的使用。

2.4.3 故障检测算法

故障检测算法致力于识别输电线路或相关设备的异

常情况。这些算法基于数据中的异常模式来识别潜在的故障,如导线温度异常、设备振动或绝缘子损坏。它们实时监测数据流,以便及时响应和通知操作员有关潜在问题的信息。一旦异常被检测到,系统可以自动触发警报或通知,以促使采取迅速的行动。

这些数据处理和分析技术的综合应用,确保了输电线路的状态得到实时监测、问题被迅速识别,并提供了基础信息,以支持维护决策的有效实施。它们对于保障输电线路的可靠性和安全性至关重要。

3 无人机巡航中的常见问题

3.1 一人一机模式限制操作效率

传统的一人一机操作模式在复杂线路和多线路并行的情况下限制了巡检作业的效率。每名操作员只能同时控制一架无人机,导致任务执行速度较慢,特别是在需要大规模巡检时,会增加时间成本。

3.2 无人机与 APP 设备的一对一绑定

目前,无人机设备与 APP 设备之间存在一对一的绑定,这意味着每架无人机需要一个独立的操作员使用相应的 APP 设备。这种绑定关系增加了区域性编队和集约化管理的复杂性,限制了无人机协同作业的可能性。

3.3 需要多人同时操作多架无人机

对于一些复杂的线路通道,需要同时操作多架无人机进行航线划分和作业,以提高巡检效率。然而,这也导致了人力资源的浪费,因为每架无人机通常需要一个独立的操作员,而且飞行数据的时间同步性可能会受到影响。

4 解决方案

4.1 4 架无人机同步启动装置设计

为了实现多架无人机的高度同步启动,将设计一个专用的启动装置。这个装置的核心目标是使多达 4 架无人机能够在同一时刻启动,以便它们可以协同进行电力巡检。详细设计考虑包括具备精密的同步启动机制,使用精确的时钟同步技术,确保无人机的起飞动作同时发生。此外,装置将采用模块化设计,每个模块负责启动一架无人机,方便适应不同型号的无人机和巡检任务。安全性是设计的重要考虑因素,包括紧急停机功能和检测与纠正任何可能导致意外启动或碰撞的问题。操作人员将能够通过遥控设备(如移动 App 或控制面板)对启动装置进行操作,并获得实时数据反馈,显示每架无人机的状态和启动进程。通过这个专用的启动装置,我们将能够实现多架无人机的高度同步启动,从而大幅减少现场所需操作人员的数量,将其减少至 1~2 人。这将在电力巡检任务中提高效率,并确保多架无人机可以无缝地协同工作。

4.2 便携式操控集控平台研制

设计一个便携式操控集控平台,可适配各种巡检车辆。该平台将允许操作员在车辆的后排轻松地控制多达 4 架无人机,实现集中控制。平台将提供直观的用户界面,使

操作员能够同时协调多个飞行器的巡检任务。此外,平台将实现实时数据传输,包括飞行器位置、状态和图像反馈,以便操作员及时了解任务进展和无人机状态。平台还将包括一键起飞、自动导航和任务规划等多功能控制,以提高操作的便捷性和效率。

4.3 无人机自主巡检系统机型升级

升级无人机自主巡检系统的机型,以适应新的集控平台。升级将包括确保无人机与各种巡检车辆配合使用,实现巡检任务的协同性。新的机型将具备一键起飞功能,使操作员可以通过简单的指令同时起飞多架无人机,提高操作的效率。此外,无人机将配备先进的自动导航系统,以更精确地执行任务和避免障碍物。

4.4 无人机图传系统升级

对无人机的图传系统进行升级,以确保操作员能够在车辆内部有效地控制多架无人机。升级包括车载遥控信号适配,以确保无人机的遥控信号系统能够与车载设备完美适配,提高操作的稳定性和可靠性。此外,升级将实现实时图像传输,使操作员能够获得高质量的图像反馈,有助于任务的执行和决策。通过这些升级,实现无人机巡检的“一人多机”模式,提高了任务的效率和协同性。

5 结语

本文以实际案例为基础,说明了在具体的输电线路巡检中,如何选择机型、巡检模式,以及如何整理和提交巡检资料。无人机自主巡检技术为电力行业提供了一种先进的方法,可以有效提高输电线路的可靠性和安全性。未来,随着技术的不断发展和完善,无人机在电力巡检中的应用前景将更加广阔,将继续为电力行业的可持续发展和人类的安全稳定用电做出贡献。

【参考文献】

- [1]黄郑,王红星,翟学锋,等.输电线路无人机自主巡检方法研究与应用[J].计算技术与自动化,2021,40(3):157-161.
- [2]李敏,李捷,崔浩,等.输电线路中的无人机自主巡检技术应用[J].集成电路应用,2023,40(5):144-145.
- [3]梁文勇,吴大伟,谷山强,等.输电线路多旋翼无人机精细化自主巡检航迹优化方法[J].高电压技术,2020,46(9):3054-3061.

作者简介:李刚涛(1986.11—),毕业院校:东北电力大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:国网河北省电力有限公司超高压分公司,职务:无,职称高级工程师。