

高压输电线路无人机巡检技术优化与应用研究

李森贵

南方电网超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘要：本文聚焦高压输电线路无人机巡检技术。先介绍其系统组成、作业流程及现有应用情况，指出虽提高了巡检效率，但存在飞行规划不精准、图像识别有误、数据处理困难等问题。进而提出优化策略，包括基于三维GIS的飞行规划、深度学习图像识别优化等。还拓展了特殊环境及多维度协同巡检等应用场景，旨在提升该技术在高压输电线路巡检中的效能，保障电网稳定运行。

关键词：高压输电线路；无人机巡检；技术优化；应用研究

引言：高压输电线路作为电力传输的关键脉络，其安全稳定运行关乎整个电力系统的可靠运转。传统人工巡检方式受地形、环境等因素制约，存在效率低、风险高、难以全面覆盖等问题。随着科技的飞速发展，无人机巡检技术凭借其灵活性、高效性和智能性，为高压输电线路巡检带来了新的解决方案。然而，当前无人机巡检技术在应用过程中仍存在诸多不足。本文旨在深入剖析这些问题，并提出针对性的优化策略与应用拓展方向，以提升该技术的效能。

1 高压输电线路无人机巡检技术概述

1.1 无人机巡检系统组成

高压输电线路无人机巡检系统主要由无人机平台、传感器设备以及数据传输与处理系统构成。无人机平台类型多样，多旋翼无人机灵活性高，能在狭小空间起降，适合对线路局部进行细致巡检；固定翼无人机飞行速度快、航程远，适用于大范围线路的快速巡查；无人直升机则兼具两者的部分优点，但成本相对较高。传感器设备是获取线路信息的关键，可见光相机可清晰拍摄线路设备的外观图像；红外热成像仪能检测设备的温度异常，及时发现发热故障；激光雷达可构建线路的三维模型，精确测量线路与周边物体的距离。数据传输与处理系统负责将无人机采集的数据实时传输至地面站，并进行存储、分析和管理，为巡检人员提供决策依据。

1.2 无人机巡检作业流程

高压输电线路无人机巡检作业流程严谨且有序。首先是巡检任务规划，根据线路的电压等级、长度、地形等因素，确定巡检的重点区域和内容。接着进行无人机起飞前准备，包括检查无人机的机身状况、电池电量、传感器功能等，确保设备正常运行。然后按照规划好的航线进行飞行巡检，在飞行过程中，传感器实时采集线路的图像、温度等数据，并通过数据传输系统传回地面

站。数据采集完成后，进行数据处理与分析，利用专门的软件对图像进行识别和处理，判断线路是否存在缺陷。最后生成巡检报告，详细记录线路的运行状况和发现的缺陷信息，为后续的维修和养护提供参考^[1]。

1.3 现有无人机巡检技术应用情况

目前，国内外许多地区都已经开展了高压输电线路无人机巡检的实际应用。在一些地形复杂、交通不便的山区，无人机巡检凭借其灵活性和高效性，能够快速完成对线路的巡查任务，大大提高了巡检效率。例如，我国西南地区的部分山区线路，采用无人机巡检后，巡检时间比传统人工巡检缩短了近一半。在国外，一些发达国家也在积极推广无人机巡检技术，通过不断优化无人机平台和传感器设备，提高了巡检的准确性和可靠性。然而，现有应用中也存在一些问题，如部分地区的巡检作业缺乏统一的标准和规范，导致巡检质量参差不齐；一些复杂环境下的巡检效果还有待提高等。

2 高压输电线路无人机巡检技术问题分析

2.1 飞行规划问题

当前的飞行规划方法存在诸多不足。航线规划往往不够精准，容易导致巡检盲区的出现。例如，在山区线路巡检中，由于地形起伏较大，如果航线规划不合理，无人机可能无法覆盖到一些山谷或山坡上的线路设备。飞行高度和速度的控制也缺乏灵活性，不能根据线路的实际地形和设备特点进行实时调整。在跨越河流或高大建筑物时，固定的飞行高度和速度可能会影响巡检质量。此外，无人机的续航能力有限，限制了巡检范围。对于长距离的输电线路，一次充电往往无法完成全程巡检，需要多次更换电池或设置充电站点，增加了巡检成本和时间。

2.2 图像识别问题

现有的图像识别算法在高压输电线路缺陷检测中存

在一定的问题。图像质量容易受到光照、角度、遮挡等因素的影响。在强光或逆光条件下，图像可能会出现过曝或欠曝的情况，导致缺陷特征不明显，难以准确识别。无人机拍摄角度的不同也会使图像中的设备形状和位置发生变化，增加了识别的难度。而且，线路周边可能存在树木、建筑物等遮挡物，遮挡了部分设备，影响了图像的完整性。不同类型缺陷的图像特征提取不准确，算法对一些细微缺陷的识别能力较弱，容易出现误检和漏检现象^[2]。

2.3 数据处理问题

无人机巡检会产生海量的数据，包括图像、视频、温度数据等。这些数据的存储和管理面临挑战，传统的存储方式容量有限，难以满足大量数据的存储需求。数据处理速度慢也是一个突出问题，人工分析数据不仅工作量大，而且效率低下。目前缺乏有效的自动化数据处理和分析手段，无法快速准确地从海量数据中提取有价值的信息，为线路运维决策提供及时支持。

2.4 其他问题

无人机在巡检过程中还面临一些其他问题。其抗干扰能力较弱，在复杂的电磁环境下，容易受到干扰而出现信号中断、飞行失控等情况。与电力设备的安全距离控制也存在困难，由于无人机的飞行精度有限，在靠近设备时可能无法准确保持安全距离，存在触电风险。此外，相关的法律法规和标准规范还不够完善，对无人机巡检的飞行高度、范围、操作人员资质等方面的规定不够明确，给巡检作业带来了一定的法律风险。

3 高压输电线路无人机巡检技术优化策略

3.1 飞行规划优化

飞行规划是高压输电线路无人机巡检的关键环节，其合理性直接影响巡检效果与效率。引入基于三维地理信息系统（GIS）和智能算法的飞行规划方法意义重大。GIS技术能够精准获取线路周边的地形、地貌等详细信息，包括山峰高度、山谷走向、河流位置等。结合智能算法，如遗传算法，可自动生成最优航线。遗传算法模拟生物进化过程，通过不断迭代优化，能快速找到覆盖所有巡检点的最短路径，有效减少巡检盲区，避免重复飞行。研究动态飞行高度和速度控制策略也十分必要。根据线路的地形起伏和设备高度实时调整飞行参数，在山区，当无人机接近山峰时，自动降低飞行高度，确保能清晰拍摄到线路设备的细节；在平坦地区，则适当提高飞行速度，加快巡检进程。此外，提高无人机续航能力是扩大巡检范围的关键。采用大容量电池，并优化能源管理系统，合理分配电池电量，可延长无人机飞行时

间。同时，设置充电基站，实现无人机的自动充电和继续巡检，让无人机能持续工作，大大拓展了巡检的覆盖范围。

3.2 图像识别优化

图像识别是发现高压输电线路缺陷的重要手段，优化图像识别技术至关重要。研究基于深度学习的图像增强算法，能有效改善图像质量。卷积神经网络具有强大的特征提取能力，可对图像进行去噪、增强对比度等处理。在光照不足的图像中，通过该算法能使设备的轮廓更加清晰，突出缺陷特征，便于后续识别。构建适用于高压输电线路缺陷检测的深度学习模型是核心任务。改进的YOLO目标检测算法具有检测速度快、准确率高的特点，通过对其进行针对性优化，可提高缺陷识别的准确率和召回率。对不同类型的缺陷进行分类训练，让模型熟悉各种缺陷的特征，从而更准确地识别各种缺陷。开展多传感器数据融合的图像识别研究能进一步提升检测效果^[3]。结合可见光、红外、激光雷达等数据，能获取更全面的线路信息。例如，融合红外图像和可见光图像，可同时检测设备的外观缺陷和温度异常，提高缺陷检测的可靠性和全面性，为线路的安全运行提供更有力的保障。

3.3 数据处理优化

随着高压输电线路无人机巡检的广泛应用，数据处理成为亟待解决的问题。建立高效的数据存储和管理系统是基础。采用分布式存储和云计算技术，可将数据分散存储在多个服务器上，避免单点故障，确保数据的安全性和可靠性。同时，利用云计算强大的计算能力，能快速处理海量数据，提高数据处理速度。开发自动化的数据处理和分析软件是关键。该软件可实现数据的快速处理、缺陷自动识别和分类统计。它能自动对图像进行分析，识别出缺陷类型，并统计缺陷的数量和位置信息，大大减少人工干预，提高工作效率。运用数据挖掘和机器学习技术对巡检数据进行深度分析，能挖掘潜在的安全隐患和运行规律。例如，通过分析历史巡检数据，建立故障预测模型，预测线路设备可能出现故障的时间和部位，为提前进行维修和养护提供科学依据，实现从被动维修到主动预防的转变，降低线路故障发生率，保障电网的稳定运行。

3.4 其他优化措施

在高压输电线路无人机巡检中，还有一些其他方面需要优化。加强无人机的抗干扰能力研究是保障巡检安全的重要举措。采用电磁屏蔽技术，对无人机的关键部件进行屏蔽处理，能有效减少电磁干扰的影响，避免无人机因电磁干扰出现信号中断、飞行失控等问题。同

时,采用信号加密技术,确保无人机与地面站之间的通信安全,防止信息被窃取或篡改。制定严格的无人机与电力设备安全距离控制标准和操作规程至关重要。在无人机上安装距离传感器,实时监测与设备的距离,当距离小于安全值时,自动发出警报并调整飞行姿态,防止无人机与电力设备发生碰撞,保障设备和人员的安全。此外,关注相关法律法规和标准规范的更新,及时调整巡检技术和流程,确保巡检作业合规合法。只有遵守法律法规,才能保证无人机巡检工作的顺利开展,为高压输电线路的安全稳定运行提供有力支持。

4 高压输电线路无人机巡检技术的应用场景拓展

4.1 特殊环境下的无人机巡检应用

特殊环境给高压输电线路巡检带来了巨大挑战,而无人机巡检技术凭借自身特性展现出显著优势。在极端天气条件下,传统人工巡检往往因安全风险高、作业难度大而难以开展。暴雨天气时,道路泥泞湿滑,人工巡检人员行动受限且存在触电危险;大雪天气里,积雪可能掩盖线路和设备隐患,人工难以快速全面排查。此时,无人机可凭借灵活的飞行能力,突破天气限制,迅速抵达巡检区域。它能在空中稳定飞行,利用高清摄像头和传感器,清晰检查线路是否被积雪覆盖、杆塔是否因积雪压力而倾斜、绝缘子是否结冰等情况^[4]。在海洋、沙漠等特殊地域,地形复杂、交通不便,人工巡检成本高且效率低。跨海、跨沙漠的输电线路分布范围广,传统巡检方式难以覆盖全面。而无人机不受地形和交通制约,可按照预设航线对线路进行定期巡检。并且,通过搭载耐高温、防辐射等特殊传感器,无人机能在高温、高压、强辐射等恶劣环境下获取线路的详细信息,精准发现导线磨损、金具松动等潜在安全隐患,为特殊环境下输电线路的安全稳定运行提供有力保障。

4.2 多维度协同巡检模式应用

多维度协同巡检模式通过整合多种巡检方式,实现了优势互补,极大地提升了高压输电线路巡检的质量和效率。将无人机巡检与人工巡检有机结合,无人机具

有飞行速度快、覆盖范围广的特点,能够迅速完成大面积线路的初步巡查工作。它可以在短时间内对众多杆塔和线路进行扫描,快速发现疑似缺陷,如导线断股、绝缘子破损等。随后,人工巡检人员针对无人机发现的疑似问题进行详细检查和确认,凭借丰富的经验和专业知识,准确判断缺陷的性质和严重程度,从而提高巡检的准确性。无人机巡检与直升机巡检协同作业也是一种高效的模式。直升机具备长距离、大范围巡查的能力,能够快速覆盖大面积的输电线路区域,发现一些宏观的线路问题。而无人机则可以对直升机发现的重点区域进行细致入微的检查,获取更清晰的图像和详细的数据。此外,把无人机巡检与在线监测系统相结合,可实时获取线路的运行数据,如电流、电压、温度等,实现对线路的全方位、全时段动态监测,为线路的安全运行提供更为全面、可靠的保障。

结束语

高压输电线路无人机巡检技术意义重大,虽目前面临飞行规划、图像识别、数据处理等多方面问题,但通过飞行规划、图像识别、数据处理等方面的优化策略,以及特殊环境应用和多维度协同巡检模式的拓展,能提升其效能。未来,随着技术不断进步,该技术将更加成熟完善,为高压输电线路的安全稳定运行提供更坚实保障,推动电力行业巡检工作迈向新高度。

参考文献

- [1]幸运星.无人机技术在输电线路巡检工作中的应用及展望分析[J].无线互联科技,2020,17(19):19-20.
- [2]卢银均,陈克勇,姜金节,刘闯,邓德慧.输电线路无人机智能精益化巡检技术应用[J].黑龙江电力,2021,43(04):320-324+335.
- [3]王海波.无人机技术在架空输电线路通道巡检中的应用[J].光源与照明,2021(04):141-142.
- [4]刘冲,马晓昆,郑宇,宿剑飞,杨夏祎,王丹丹.基于5G技术的无人机在输电线路巡检的应用[J].电力信息与通信技术,2021,19(04):44-49.