

架空线路无人机巡线技术的相关探讨

任财进 马健徐东
国网龙口市供电公司 山东 龙口 265700

摘要：文章围绕架空线路无人机巡线技术展开探讨，阐述其原理、无人机类型及适用场景，分析该技术在提升巡线效率与安全性、质量精确度、降低运维成本与环境影响等方面的优势，介绍应用现状与关键技术，并结合实际案例说明成效。研究表明，无人机巡线技术推动了电力巡检智能化发展，对保障电力系统稳定运行意义重大。

关键词：架空线路；无人机巡线；关键技术

引言：在电力行业中，架空线路巡检是保障电力稳定供应的关键环节。传统人工巡线受地形、天气等因素制约，存在效率低、风险高、精度不足等问题。随着无人机技术的发展与成熟，其凭借高效、安全、精准等特性，逐渐成为架空线路巡检的重要手段。本文深入探讨架空线路无人机巡线技术，旨在明晰其应用价值与发展前景。

1 架空线路无人机巡线技术概述

1.1 无人机巡线技术原理

架空线路无人机巡线技术融合多学科技术，实现高效电力巡检，其核心原理是借助无人机搭载高清摄像机、红外热像仪、激光雷达等多元传感器，对架空线路开展全方位数据采集。无人机按预设航线飞行，传感器实时将图像、温度、三维空间等数据回传至地面控制终端。地面人员运用专业软件处理分析数据，以判断线路故障隐患。高清摄像机分辨率可达4K甚至更高，能清晰捕捉细微缺陷。如线路绝缘子破损、导线断股等情况，在画面中纤毫毕现。相关研究表明，同等巡检条件下，其可识别直径小于1毫米的线路损伤，为线路故障早发现提供有力支持^[1]。红外热像仪通过检测线路设备温度分布，精准定位异常发热点。因接触不良、过负荷等引发的设备温度异常，会以不同颜色热图谱呈现，方便工作人员快速锁定故障位置。数据显示，该设备能检测出0.1°C的温度变化，大幅提高故障诊断准确性。激光雷达可构建线路及周边环境三维模型，精准测量线路与树木、建筑物等障碍物距离，提前预判因安全距离不足可能引发的安全隐患，为线路安全运行筑牢防线。

1.2 无人机类型及适用场景

目前，应用于架空线路巡检的无人机主要有固定翼、旋翼与复合翼三种类型，它们各具特色，适配不同巡检场景。固定翼无人机以速度快、航程远见长，巡航速度多在80-150千米/小时，最大航程可达数百千米，适

合长距离、地形平坦区域的线路巡检，如平原跨区域输电线路。在一次典型巡检任务中，2-3小时即可完成200-300千米线路巡检，极大提升效率。旋翼无人机以灵活性与悬停能力著称，常见四、六、八旋翼机型。它能在狭小空间自由飞行，近距离精细检测线路设备。在城市密集区、山区等复杂地形，旋翼无人机可灵活调整姿态，贴近线路拍摄检测，尤其适用于杆塔、绝缘子等设备的近距离检查。统计显示，在山区巡检中，旋翼无人机对95%以上线路设备能进行有效检测。复合翼无人机融合前两者优势，兼具长航时、大航程与垂直起降、悬停能力，适配多种复杂地形与巡检需求。在偏远山区、海岛等交通不便地区，其优势尽显。如在海岛输电线路巡检项目中，单次飞行可覆盖多个岛屿线路，有效解决传统人工巡检难以抵达的难题，为线路稳定运行提供可靠保障。

2 无人机巡线技术的优势分析

2.1 提高巡线效率与安全性

相较于传统的人工巡线方式，无人机巡线技术在效率和安全性方面具有显著优势。人工巡线受地形、天气等因素限制较大，在山区、丛林等复杂地形中，巡检人员的行进速度缓慢，完成一条较长线路的巡检往往需要数天甚至数周时间。而无人机不受地形限制，能够快速到达指定位置进行巡检。相关数据显示，无人机巡线效率是人工巡线的5-10倍。在同等长度的200千米输电线路巡检任务中，人工巡检需要10-15天，而无人机巡检仅需2-3天即可完成。在安全性方面，人工巡线面临诸多风险，如高空坠落、毒蛇猛兽袭击、恶劣天气等。无人机巡线则可使工作人员远离危险区域，避免直接接触高压带电设备和危险环境。据不完全统计，自无人机巡线技术广泛应用以来，电力巡检人员的伤亡事故率降低了60%以上，有效保障了工作人员的生命安全。

2.2 提升巡线质量与精确度

无人机巡线技术能够搭载多种高精度传感器，实现

对线路设备的全面、细致检测，从而提升巡线质量和精确度。高清摄像机和红外热像仪的应用，可使巡检人员清晰观察到线路设备的细微缺陷和异常发热情况。通过专业软件对采集到的数据进行分析处理，能够准确判断故障类型和严重程度^[2]。研究表明，无人机巡线对线路故障的识别准确率可达98%以上，而人工巡线的准确率仅为70%-80%。无人机巡线还可以实现对线路设备的周期性、重复性检测，通过对不同时期的的数据，及时发现设备的劣化趋势，为线路的维护和检修提供科学依据。

2.3 降低运维成本与环境影响

从运维成本角度来看，虽然无人机采购和前期投入较大，但长期使用下来，其运维成本显著低于人工巡线。人工巡线需要投入大量的人力、物力和时间成本，包括巡检人员的工资、差旅费、设备维护费等。而无人机巡线所需的人力较少，主要成本集中在设备的维护和保养方面。据测算，在一个为期5年的输电线路巡检项目中，采用无人机巡线可使运维成本降低30%-40%。在环境影响方面，人工巡线过程中，巡检人员的行进可能会对植被、土壤等生态环境造成破坏。而无人机巡线不会对地面环境产生直接影响，且无人机采用电动或燃油动力，相比传统的燃油巡检车辆，其碳排放更低，更加环保。

3 架空线路无人机巡线技术应用现状

近年来，架空线路无人机巡线技术在电力行业得到了广泛应用。随着技术的不断发展和完善，无人机巡线已成为电力企业保障线路安全运行的重要手段。在我国，国家电网、南方电网等大型电力企业纷纷加大对无人机巡线技术的投入，建立了专业的无人机巡检队伍和管理体系。据统计，截至2023年底，国家电网已拥有各类巡检无人机超过10000架，年巡检里程超过100万千米，覆盖了全国大部分地区的输电线路。南方电网的无人机巡检应用也取得了显著成效，在广东、广西、云南等省份的山区输电线路巡检中，无人机巡检覆盖率达到80%以上。无人机巡线技术在国际上也得到了广泛关注和应用。美国、德国、日本等发达国家在无人机巡线技术的研发和应用方面处于领先地位。随着全球电力行业对智能化、高效化运维的需求不断增加，无人机巡线技术的应用前景将更加广阔。

4 架空线路无人机巡线关键技术分析

4.1 无人机自主导航技术

无人机自主导航技术是实现架空线路自动化巡检的关键。该技术主要包括卫星导航系统、惯性导航系统和视觉导航系统等。卫星导航系统如GPS、北斗等，能够为无人机提供精确的位置信息，使其按照预设航线飞行。

北斗卫星导航系统在国内的应用越来越广泛，其定位精度可达厘米级，为无人机巡线提供了可靠的定位保障。惯性导航系统通过测量无人机的加速度和角速度，实时计算其姿态和位置信息，具有自主性强、不受外界信号干扰的优点。视觉导航系统则利用无人机搭载的摄像头获取周围环境图像，通过图像识别和处理技术，实现无人机的自主避障和精准定位。在复杂地形环境下，视觉导航系统能够识别障碍物并自动规划航线，确保无人机安全飞行。目前，先进的无人机自主导航技术已能够实现无人机在无GPS信号区域的自主飞行和精准导航，大大提高了无人机巡线的适应性和可靠性。

4.2 图像识别与故障诊断技术

图像识别与故障诊断技术是无人机巡线技术的核心环节之一。通过对无人机采集到的大量图像数据进行处理和分析，能够自动识别线路设备的故障和缺陷。目前，基于深度学习的图像识别技术在无人机巡线中得到了广泛应用。深度学习算法能够学习和识别各种线路设备的正常和异常图像特征，实现对绝缘子破损、导线断股、金具缺失等故障的自动检测^[3]。相关研究表明，采用深度学习算法的图像识别系统对绝缘子破损的检测准确率可达95%以上，对导线断股的检测准确率可达90%以上。在故障诊断方面，结合专家系统和机器学习算法，能够根据图像识别结果和线路运行参数，对故障的类型、严重程度进行准确判断，并提出相应的处理建议。

4.3 数据传输与通信技术

数据传输与通信技术是保障无人机巡线数据实时、准确传输的关键。无人机在巡检过程中采集到的大量图像、视频和传感器数据需要及时传输至地面控制终端，以便工作人员进行分析和处理。目前，常用的数据传输方式包括无线通信和卫星通信。无线通信具有传输速率高、延迟低的优点，适用于短距离的数据传输。在无人机巡线中，常用的无线通信频段包括2.4GHz和5.8GHz，其传输距离一般在数千米以内。卫星通信则具有覆盖范围广、不受地形限制的优势，适用于偏远地区和长距离的数据传输。通过卫星通信，无人机可以将数据实时传输至千里之外的控制中心。为了确保数据传输的稳定性和安全性，还采用了数据加密、纠错编码等技术。

4.4 无人机续航与动力技术

无人机的续航能力直接影响其巡线效率和覆盖范围。目前，无人机的动力主要包括锂电池、燃油发动机和氢燃料电池等。锂电池具有能量密度高、无污染、可重复充电等优点，是目前应用最广泛的无人机动力源。但锂电池的续航时间相对较短，一般四旋翼无人机的续

航时间在20-30分钟左右，固定翼无人机的续航时间在1-2小时左右。燃油发动机具有功率大、续航时间长的特点，其续航时间可达数小时甚至更长，适用于长距离的线路巡检。但燃油发动机存在噪音大、污染环境等缺点。氢燃料电池作为一种新型清洁能源，具有能量密度高、零排放等优点，近年来在无人机领域的应用逐渐增多。目前，采用氢燃料电池的无人机续航时间已可达到数小时，随着技术的不断进步，氢燃料电池有望成为未来无人机动力的主要发展方向。为了提高无人机的续航能力，除了研发新型动力源外，还通过优化无人机的气动设计、降低设备功耗等方式来延长其续航时间。

5 架空线路无人机巡线技术应用案例分析

案例一：在我国西南某山区，有一条长度为150千米的220千伏输电线路，该线路穿越多个高山峡谷，地形复杂，人工巡检难度极大。电力公司采用复合翼无人机对该线路进行巡检。无人机搭载高清摄像机、红外热像仪和激光雷达等设备，按照预设航线对线路进行了全面检测。在巡检过程中，无人机发现3处绝缘子破损、2处导线断股和5处树木与线路安全距离不足的隐患。通过对红外热像仪数据的分析，还发现了1处因金具接触不良导致的异常发热点。工作人员根据无人机的检测结果，及时对线路进行维修和处理，避免故障的发生。此次巡检任务，无人机仅用了1天时间就完成全部线路的检测，而人工巡检至少需要10天时间，大大提高巡检效率和安全性。

案例二：在某一线城市的市区，有多条110千伏输电线路分布在高楼大厦之间。由于城市环境复杂，人口密集，人工巡检存在诸多安全隐患。电力公司采用四旋翼无人机对这些线路进行巡检^[4]。无人机凭借其灵活的飞行

性能，在狭小的空间内自由穿梭，对线路的杆塔、绝缘子、导线等设备进行了近距离拍摄和检测。通过对无人机采集到的图像数据进行分析，发现多处绝缘子表面污秽严重、金具锈蚀等问题。工作人员根据检测结果，及时安排了绝缘子清扫和金具更换工作，保障了线路的安全运行。在此次巡检中，无人机共检测出12处隐患，其中8处为人工巡检难以发现的细微缺陷，充分体现了无人机巡线在城市密集区域巡检中的优势。

结语

综上所述，架空线路无人机巡线技术凭借显著优势，在电力行业得到广泛应用，有效提升巡检效率与质量，降低运维成本与安全风险。随着自主导航、图像识别等关键技术的持续创新突破，未来无人机巡线技术将朝着更智能化、自动化方向发展，为电力系统的稳定、可靠运行提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 陈赟,郭锦超,廖如超,等.无人机电力巡线风险评估方法研究[J].科技通报,2022,38(6):51-54,72.
- [2] 刘占双,赵云龙.高海拔地区无人机巡线与紧急情况应对技能强化模拟系统研究[J].电子元器件与信息技术.2021,(1).DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2021.1.038.
- [3] 袁野,付子峰,李响,等.架空输电线路无人机自适应拍摄算法研究[J].湖北电力.2023,47(2).DOI:10.19308/j.hep.2023.02.019.
- [4] 郑伟志.无人机技术在县域配网巡检中的应用[J].集成电路应用.2020,(9).DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2020.09.038.