

浅谈无人机在输电线路巡检中的应用

林 伟 徐 念

咸宁市国网咸宁供电公司 湖北 咸宁 437100

【摘要】：我国社会和经济的飞速发展，有赖于不断扩张的电网。但巡检大型、复杂的输电线路，不仅要投入大量的人力、物力，而且因其分布的不同，其故障隐患也不同。传统的手工巡检方式存在着精度低、盲区多、维护范围小等缺陷，无法满足巡检工作的需要，但另一方面，这些缺陷也推动了无人机巡检技术的发展。针对当前巡线方式效率低、成本高，以及电力巡检技术繁琐、可操作性差等问题，本文结合线路维护管理中的无人机应用，对其工作流程进行了较为详尽的论述，并着重就线路巡检中的路径规划、线路故障检测、线路评价与预测进行了讨论，以为有效提高输电线路巡视与检修效率，推动输电线路智慧运维的进程提供参考。

【关键词】：输电线路；无人机；线路巡检

Application of UAV in Transmission Line Inspection

Wei Lin, Nian Xu

Xianning State Grid Xianning Power Supply Company Hubei Xianning 437100

Abstract: The rapid development of our society and economy depends on the growing electricity grid. But also has various hidden problems due to their different distribution. The traditional manual inspection method has some errors, such as low precision, many blind areas, small maintenance area, etc., which cannot meet the needs of inspection work. On the other hand, these flaws also promote the development of UAV inspection technology. Given the problems of low efficiency, high cost, boring power inspection technology and poor operation of the current line inspection mode, this document discusses its workflow in detail in combination with the application of UAV in line maintenance management and focuses on track planning, line fault detection, line evaluation and forecasting in line inspection to effectively improve the efficiency of transmission line inspection and maintenance. To promote the process of intelligent operation and maintenance of transmission lines.

Keywords: Transmission line; UAV; Line inspection

引言

要确保整个输电线路的安全、稳定运行，必须要保证输电线路供电设施的良好状态。利用无人机的图像故障诊断技术，可以快速、准确地获取周边的高质量、高分辨率的地质环境，而无人机获取的数据具有很强的直观性，可以帮助工作人员更好地了解线路的环境。在输电线路巡检中，无人机是一种新的发展趋势，这样既保证了输电线路的安全，又提高了运维单位的工作效率，因此，相关的电力公司必须培养相应的专业技术人员，以推动电网巡检工作的健康、持续发展，为巡检工作提供强有力的动力，提高巡检工作的质量和效率。本文从输电线路巡检现状出发，对无人机的各种操作技巧和操作方法进行了全面的分析。

1 输电线路巡检现状

当前，输电线路的巡检方式主要有人工巡检、机器人巡检、直升机巡检、无人机巡检等^[1]。其中，手工巡视仅适用于小规模、地形简单的输电线路巡视，对于山区、水域、大面积、大范围、复杂的输电线路进行巡检，人工巡视不仅耗费人力物力，而且存在着巡视死角。直升机巡视虽然高效，但成本高，而且技术复杂，难以推广应用。机器人的巡视范围较小，工作效率

较低，并且仅局限在杆塔间。无人机的体积小、成本低、使用方便、技术相对简单、技术也较为成熟，能够克服直升机、机器人和人工巡视等缺陷，因此在输电线路的维护中所扮演的角色越来越重要。无人机是由无线遥控设备和自带的程序控制器驱动的，它能携带红外、激光雷达、图像采集等多种监控设备。利用无人机，维护人员可以在监控设备的帮助下，完成危险、重复的电力线路维护工作。

利用无人机进行高空巡视具有以下优点：①利用无人机进行高空架空线路巡视，并能迅速发现高压输电线路的故障部位，为以后的故障维修提供参考和借鉴；②采用该技术，既能降低传统的攀爬模式，又能根据无人机反馈的信息，迅速找到高压输电线路的故障部位，为以后的维修工作提供参考；③在某些工作不便的地区，采用该技术能迅速、准确地发现高压输电线路的故障，并能迅速发现故障点，为今后的维修工作提供参考；④高压绝缘子串和某些金具在进行局部放探测时，能极大地减少工人的劳动强度，其优越性十分显著。

目前，无人机在应用中还存在以下干扰因素：①环境地质因素的影响：很多输电线路都建在陡峭的山区，地质条件复杂，交通不便，很难进行智能监控。由于电网周围的环境不利于运

输,所以在超视距上的应用变得更加困难,再加上茂密的树林和群山,使得智能无人机的通讯受到了极大的干扰,通讯距离也受到了极大的限制,而要用远程控制系统来监控多个挡位,这是一件非常困难的事情,使得无人机无法正常工作。②微观气候区域的影响因素。由于地形等因素的作用,山地气候复杂多变,具有明显的差别。而高压输电系统则必须通过山谷风道等复杂地形,由于恶劣的自然环境和恶劣的气候条件,很可能会影响到无人机的正常工作,甚至有可能造成线路短路,造成巨大的危险。因此,智能无人机在远距离巡逻的情况下,执行监控任务的可能性很小,如何提高它的实用性,保证它在恶劣的天气下,依然能够正常工作,这是无人机巡检工作的一个难点^[2]。

2 无人机在输电线路巡检中的应用

2.1 无人机巡视的内容

一是常规巡查。按照架空输电线路的实际巡视需求,实施周期性巡视,不需所有的巡视设备都配备,只需有选择地安装巡视设备,并对诸如可见、红外线等项目进行巡视。二是对设备故障的检测。失效检验是对架空管线失效后的检验,通过无人机的故障监测装置对线路进行全面的监测,从而快速、准确地发现故障的根源和部位,并采取相应的保护措施。在实际应用中,还可以根据实际的输电线路运行状况,扩展故障监测范围,对其他异常情况进行全面的分析与排除。

2.2 无人机巡检系统

无人机巡检系统由四个子系统组成,分别是:无人机、通信、机载设备、地面站点。通常,无人机会携带摄像头、激光雷达、红外设备等设备,对传输线路进行检测和采集。在飞行平台上安装有机载设备,并按实际需求设定机载设备参数。利用通讯装置将采集到的数据传送给地面,由办公室的数据处理人员利用专门的软件对这些数据进行分析,对无人机进行遥控和定位,找出线路中存在的故障和危险,并按照设计的维修计划排除故障。通过对线路断股、鸟窝、温度异常、绝缘子掉串、金具锈蚀、树障等故障的监控,可以通过无人机的巡视,利用点云数据和文字数据对其进行监控和分析。其中,在飞行平台上,除了安装大量的数据采集设备,还要安装自动报警系统和辅助设施,以保证平台在天空中的平稳运行。本系统能够实现遥测、通讯、定位等功能,既能从控制中心接收到控制信号,又能完成导航、巡线、障碍物等功能,从而有效地提升了无人机的监控质量。

2.3 无人机巡检流程

输电线路巡视工作涉及多个方面,为了规范输电线路巡视,提高巡视工作的效率,需要根据规范、实际项目需要和现场实际情况制定巡检程序。①巡检战略。输电线路运营管理部门依据辖区内一年来的输电线路巡视情况,结合上级部门的工

作安排,制定出适合本部门需要的运检方案,并将其细化到每个季度。②制定检查方案。依据运行策略,结合线路巡视情况(缺陷、隐患),制定合理的巡视方案。③前期的巡视检查。根据以往的线路、线路、杆塔的详细资料,为以后的使用做好准备^[3]。④实地检验、资料处理及现场航线检验,主要是在在无人机启动之前做好准备,再进行航线检查。在无人机起飞之前,必须检查和检验无人机的跑道。巡线检验是根据预定的路线对无人机的检验,对线路上的关键部件进行实时监测。数据处理和分析主要是存储、预处理和分析数据。⑤线路巡视的结果。通过对监测数据的分析,对监测结果进行汇总,以便对线路进行状态评价。⑥检查线路,排除故障。对有缺陷或潜在危险的线路,按照线路巡视的结果,进行重点检查和消除,对有潜在危险的线路进行针对性的状况评估。其中,需要考虑的问题有以下几种:无人机在进行架空输电线路巡视时,会受到建筑物、塔、树等的干扰。所以,要对无人机的飞行状况进行严格的管制,在起飞前,必须对高空障碍进行测量。无人机必须严格控制 在 2.5-5 米的高度。为使无人机作业更合理、更高效,巡防人员应熟练掌握无人机及其相关装备的使用技术和精度。熟练掌握设备使用说明书,相关参数及操作过程。另外,在正式巡检之前,还要对仪器进行标定,并对一些关键参数如飞行高度、返航点、电量警告等进行实时监控。

2.4 巡线规划

在驾驶无人机进行输电线路巡视时,最关键的一点是确定输电线路的巡视路线。常规的巡检路径规划是通过重要节点进行人工获取,并将关键节点引入到无人机的导航系统中,这样的算法需要精确的计算,否则会造成无人机的安全隐患。为了便于维护人员对线路巡视路线的规划,可采用遗传算法对线路进行优化。线路巡检线路主要包括巡检线路的起点、终点、拐点以及线路上的重要靶点,而线路的规划还与无人机本身的性能和巡检任务的实际需求密切相关,例如电池容量、最低巡检高度、最大拐角等。最优的路径规划是在满足巡检需求的情况下,寻找符合约束条件的线路,且耗费人力物力少。在实际巡检过程中,该模型的求解公式是:

$$h = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots + z$$

其中: a 、 b 、 c 、 z 为常数; x_i 表示不同的约束条件。在实际运行过程中,基于两条邻近的路径结点,可以求出整个线路的总路径长度,假定一条线路有 $n+1$ 个目标点,则该优化算法可以通过最小化的最小值求出最优巡逻路径,并针对实际的巡视任务进行了详细的分析。

2.5 数据库的设计

针对无人机智能巡检数据平台的信息特征,对巡检过程中搜集到的数据进行合理的归类。同时与其他信息进行集成的信息交流,保证了数据的准确性。比如,基本信息的关键点是关

于无人机档案和驾驶员的资料等的基础档案信息；而非结构化的资料，它的核心内容是关于无人机的法规和驾驶执照的照片；程序信息是基于一系列结构和非结构信息组成的，它是无人机进行巡视的信息基础；无人机的智能信息，主要是由各种数据、地理数据和飞行监测信息构成的。具体来说，电网信息资源的关键在于通过与生产管理流程的整合，它是智能无人机监控系统的核心基础信息，也是整个飞行过程的核心数据，主要作用是记录电力设备的运行记录；而地理信息资源则是通过与 GIS 软件整合而获得的，它有助于智能无人机的监测，丰富了核心基础数据，是空域请求和飞行监测的参考资料；规划的任务数据，是无人机监控系统的规划和分解，并根据任务的执行，完成对无人机巡视任务的规划和执行，确保无人机的运行具有规划和执行能力；巡检影像资料，是无人机巡检系统中，负责监控输电线路巡检工作的结果资料，其功能是对监测结果进行逻辑管理，为后续故障分析提供依据^[4]。

2.6 检测线路故障

①利用无人机安装的摄像机拍摄线路附近的情况，维护人员通过图片判断和分析故障的种类和严重性。由于人工逐一进行辨识存在效率低、人为干扰严重等缺陷，需要利用智能深度学习技术进行大规模的电力线路图像识别，目前已广泛应用于故障识别和故障分类。目前应用最广的是基于 RetinaNet 模型的深度学习算法，该算法采用了以分类器损失函数为核心的锥形网络作为主干网络，实现了对图像目标的自动识别。与传统的一阶和二阶目标检测模式相比，该算法具有更高的精确度。②无人机配备红外、紫外监控系统，通过红外技术对输电线路的异常进行监测，从而判断线路的故障部位；采用 UV 对输电线路放电后所产生的信号进行监控，从而对线路放电缺陷进行检测。③利用激光雷达装置采集传输线路的数据，通过对测区

内现有控制点的数据进行计算，得到点云坐标。对点云数据进行预处理，将点云资料进行归类，并将其归类为高植被、低植被、电力线路、杆塔、地面等点云。利用现有点云资料量测树木、建筑物至输电线路的距离，并按网络树障判定准则对输电线路风险点进行分级。通过对点云资料的分析，可以模拟出大风、高温、覆冰情况下的输电线路，为树木砍伐、输电线路改造等工作提供参考，为线路维护、施工提供便利。

2.7 输电线路的评估预测

通过对巡检资料的分析，发现线路存在潜在危险的靶点，将对线路的运行状况产生一定的影响，所以必须对线路进行风险评价和预报。输电线路的风险评价，包括设备的健康度、交叉跨越类型、微气象因素等。设备健康程度可直接参考设备状况评估（监测数据的分析），分为正常、注意、异常和严重四个阶段；微观气候因子主要包括温度、降水量、风速、相对湿度、大气压力。依据设备的健康程度和交叉穿越的重要性，划分出 I、II、III、IV 等危险评价控制等级，并针对不同控制等级制定相应的控制措施，以有效地保证输电线路的安全、稳定运行。此外，缺陷隐患治理也要做到及时发现、准确分级、及时消除、闭环控制^[5]。

3 结语

总之，由于无人机重量轻、使用方便、成本低等优点，在输电线路的巡检中应用日益广泛，具有很好的应用前景。利用无人机进行输电线路巡视，既节约了人力、物力，又可用于不能进行人工巡视的危险线路，消除了线路巡视的盲区，为输电线路的运行管理提供了有力的辅助手段，促进了电网运行的智能化。同时，通过无人机对多个来源的大量数据进行监测，也为电力系统智能分析和深度学习等方面的研究工作提供了有力的支持。

参考文献：

- [1] 金韬,王祎,杨洲.基于高精度输电通道地图的无人机线路巡检航线规划方法研究[J].自动化与仪表,2022,37(04):1-5+9.
- [2] 许家浩,王娇.基于无人机的电力线路巡检多功能地面站设计与实现[J].集成电路应用,2022,39(03):102-103.
- [3] 蒋畅,陈凤翔,谢皓凌等.5G 无人机自动巡线技术在电力输电线路巡检的实现策略[J].无线互联科技,2022,19(05):3-4.
- [4] 王博文,刘兴东.基于四旋翼无人机的输电线路巡检实时自主跟踪系统设计[J].电气开关,2021,59(06):16-19.
- [5] 曾凡涛.无人机在山区架空输电线路巡检中应用的探讨[J].科技资讯,2021,19(30):28-30.