

# 无人机在特高压输电线路巡检中的应用研究

杨喆<sup>1</sup>, 邓超怡<sup>2</sup>

- (1. 中国南方电网广东电网有限责任公司肇庆供电局, 肇庆 526060;
2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 随着无人机技术的发展, 采用无人机进行线路巡检将成为一种常态化作业趋势。但现有的无人机巡检存在着采集方式依赖人工操控、影像数据未得到充分挖掘利用和数据管理粗放等问题。针对上述问题, 结合特高压线路输电线路工程项目, 分别就不同巡检作业模式下的无人机线路巡检数据采集手段方法进行了改进, 并基于地理信息系统对无人机巡检数据进行科学管理和应用。实践证明提出的改进方式能为特高压输电线路无人机巡检提供更智能、更高效的数据采集方式, 为无人机巡检数据的应用、管理和决策提供了更有力的支撑。

**关键词:** 无人机; 特高压输电线路; 线路巡检

中图分类号: TM75

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0135-04

## Research and Application of UHV Transmission Line Inspection Based on Unmanned Aerial Vehicle

YANG Zhe<sup>1</sup>, DENG Chaoyi<sup>2</sup>

- (1. Zhaoqing Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid, Zhaoqing 526060, China;
2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** With the development of UAV technique, it has become a common trend to use it for transmission line inspection. However, the problems of current operation of UAV inspection still exist in relying on manual work for UAV operation, the collected image dates cannot be fully explored, extensive management of dates, etc. According the above problems, combined with a practical project of ultra high voltage transmission line, respectively improve the UAV data gathering methods under different inspection operation modes, and apply GIS system for the scientific management and application of UAV inspection dates. Practice has proved that the improving method can offer a more smarter, efficient way for UHV transmission line inspection, and provide a more forceful support for UAV inspection dates' application, management and decision-making.

**Key words:** UAV; UHV transmission line; inspection

随着我国经济的高速发展, 高等级、长距离、大变电容量、特高压、高安全输电线路越来越多。特高压输电线路的建设已经取得飞速发展, 输电线路有着分布点多、面广的特点, 绝大部分远离城镇, 所处地形复杂、自然环境恶劣。而电力线及杆塔附件因长期暴露在野外, 容易因持续受到机械张力、雷击闪络、材料老化、人为的影响而产生倒塔、断股、磨损、腐蚀等损伤, 必须及时检修。此

外, 还存在绝缘子被雷击所损伤, 树木生长引起输电线路放电, 杆塔被偷窃等意外情况, 必须及时处理。因此, 需对输电线路进行定期巡查, 随时了解、掌握输电线路的运行情况以及线路周围环境和线路保护区的变化情况, 以便及时发现、消除隐患, 预防事故的发生<sup>[1-2]</sup>。

传统的人工巡检工作量大、条件艰苦, 特别是针对于位于山区和大江大河的输电线路, 人工巡检存在很大困难。随着科技的发展, 我国的部分供电部门开始逐渐采用载人直升机进行电力巡线, 这种巡检方式有着受地理环境影响小、巡检周期短、巡检效率高等优势, 但由于国家对空域的管制较紧,

载人直升机出勤率较低,使得巡检效果不佳。同时考虑到人员的安全问题、昂贵的直升机使用成本和维修成本,以及飞行前复杂的空域审批程序等诸多问题限制了这一巡检方式的大力推广<sup>[1-2]</sup>。

## 1 无人机技术发展现状

因此,线路巡检的自动化、现代化需求日益显示出其迫切性,而随着科技的不断发展,无人机已广泛应用于生产生活中的各个领域,与常规人工巡检方法相比较,此项技术更为先进、安全、有效,可以成为保障线路安全运行的一种新的经济可行的手段。

无人机作业可以大大提高输电维护和检修的速度和效率,使许多工作能在完全带电的环境下迅速完成。无人机作业还能使作业范围迅速扩大,而且不为淤泥和雪地所困扰。因此,无人机巡线方式无疑是一种安全、快速、高效、前途广阔的巡线方式。

无人机输电巡线系统是一个复杂的集航空、输电、电力、气象、遥测遥感、通信、地理信息(GIS)图像识别、信息处理的一体系统,涉及飞行控制技术、机体稳定控制技术、数据链通讯技术、现代导航技术、机载遥测遥感技术、快速对焦摄像技术以及故障诊断等多个高尖技术领域。现代无人机具备高空、远距离、快速、自行作业的能力,可以穿越高山、河流对输电线路进行快速巡线,对架空线的铁塔、支架、导线、绝缘子、防震锤、耐张线夹、悬垂线夹等进行全光谱的快速摄像和故障监测。基于无人机输电巡线采集数据的专业分析,为电网管理和维护提供数据支持<sup>[3-4]</sup>。

## 2 无人机电力巡检技术流程

无人机电力巡检按照不同的模式主要包括通道巡视、精细巡检、故障巡检、特殊巡视,其主要特点和区别如下:

精细巡检主要对象为线路本体设备及附属设施;通道巡检主要巡检对象包括导地线异物、杆塔异物、通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境等;故障巡检主要是查找故障点,检查设备受损和其它异常情况;特殊巡检是指在特殊情况下(如发生地震、泥石流、山火、严重覆冰等自然灾害后)或根据特殊需要,采用无人机进行灾情检查

和其它专项巡检。精细巡检、通道巡检周期根据线路运行状态和实际运维需要适当调整。故障巡检、特殊巡检根据线路故障和特殊巡检需要开展。

针对不同的巡检模式,现有的无人机电力巡检手段通常方式较单一,通过巡检作业人员手动操作无人机飞行器,调整无人机的地理位置和云台角度来获取可见光视频和影像资料。但采用这种巡检方式所采集的影像资料存在如下缺点:(1)无人机数据采集对无人机操控手提出了较高要求,通过手工操控进行巡检数据采集存在着较大的不确定性和危险性;(2)所采集的数据只包含可见光信息,不具备地理信息,不可量化,不能满足实际巡检要求;(3)所采集的影像资料没有进行有效的组织和管理,不利于巡检数据的分析使用、信息挖掘以及重复利用。

针对上述问题,提出了如下的解决方案:通过程序预设无人机数据采集时的地理位置和云台角度,来代替大量的人工数据采集;结合实际航飞设计情况和GPS信息,生成可量测正射影像;将无人机所采集的影像资料和成果,通过地理信息系统平台进行统一的组织和管理,实现数据的实时查询、分析和使用。具体技术流程如图1所示。

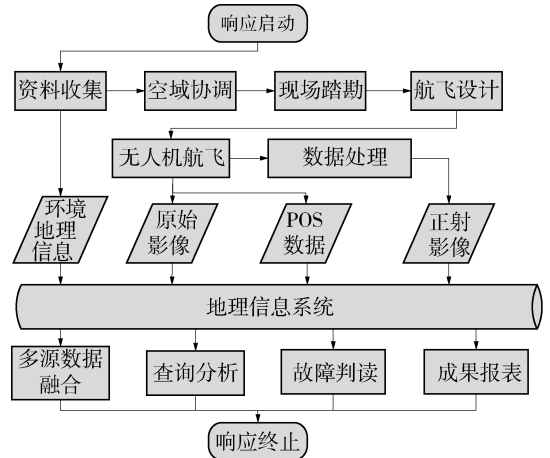


图1 无人机电力巡检技术流程图

Fig. 1 Technical flowchart of UAV powerline inspection.

## 3 无人机电力巡检技术流程

针对不同的巡检模式,肇庆局针对云南—广东±800 kV特高压直流输电工程首次开展了无人机技术在输电线路巡检中的应用研究。该线路路径走廊大部分途径山区、交叉跨繁多、地质情况复杂,采

用传统的人工巡检将耗费大量的人力物力给线路巡检带来了很大难度。结合无人机巡检技术, 能极大程度上代替人工作业, 所采集的影像数据和生成的数据成果再结合地理信息系统进行统一的管理和分析, 在电网日常巡视和应急巡检中具有重大意义。

### 3.1 精细巡检

精细巡检的主要内容包括杆塔本体和基础、接地装置、绝缘子、导线线路金具以及附属设施, 相较于全手动操控无人机进行近距离影像数据采集的方式, 本次巡检考虑通过收集已知线路路径信息(地理位置、杆塔高度等信息), 并将这些信息通过程序写入到无人机飞控系统中, 控制无人机到达预设位置来进行影像数据采集。

但考虑到电网安全和无人机定位误差的影响, 本次精细巡检主要是采用无人机飞控程序自动控制和人工操控相结合的方式进行: 无人机飞控程序控制旋翼无人机到达已知线路路径信息的目标杆塔上方 15 m 的位置, 再切换到人工控制旋翼无人机进一步靠近目标杆塔并调整云台角度, 并根据具体的巡检任务获取相关影像。采用这种半自动的精细巡检方式能极大程度上提高无人机巡检效率, 保障巡检线路安全, 减轻了巡检人员劳动强度。采用该巡检方式所拍摄到缺陷故障影像如图 2 和图 3 所示。

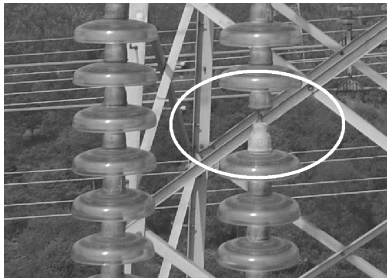


图 2 无人机精细巡检所拍摄缺陷故障: 绝缘子缺失

Fig. 2 Defect detected by UAV fine inspection; insulator's deletion

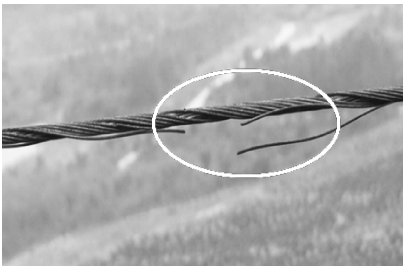


图 3 无人机精细巡检所拍摄缺陷故障: 地线断股

Fig. 3 Defect detected by UAV fine inspection; ground wire broken

### 3.2 通道巡视

通道巡视内容包括线路走廊安全距离范围内出现违章构建筑物、违章施工等, 通道内出现污染源、防洪排水设施坍塌、道路桥梁损坏等, 如果只通过无人机所采集的原始影像, 难以对可能的危险源和线路路径之间的相对位置关系进行分析和判断。因此, 在无人机进行通道巡视过程中除了采集原始无人机影像外, 应进行相应的数据航飞设计进行航空摄影测量生成相应的正射影像成果<sup>[5]</sup>, 生成成果可用于距离、面积量测, 辅助巡检人员进行通道内线路隐患信息的判别, 提高巡检人员现场事故处理的响应效率, 并能作为现场事故处理、隐患事故追责的有力凭证, 减少不必要的民事纠纷。

线下有施工作业的距离量测如图 4 所示, 通过实时的距离量测可知施工作业离杆塔距离为 8.57 m, 可判别该施工作业离线距离过近。



图 4 施工黑点距离量测

Fig. 4 Distance measurement of construction black point

线下有棚户区的面积量测如图 5 所示, 通过量测可知其棚户面积, 为后续执法作业提供了准确的数据依据。



图 5 线下棚户区面积量算

Fig. 5 Area measurement of flow of shanty under the line

### 3.3 故障巡检和特殊巡视

故障巡检和特殊巡检相较于日常巡检而言是

根据线路故障和特殊巡检需求而开展的,对线路巡检的需求更具针对性和现势性,提出了更高要求。

除了使用半自动化精细巡检的方式获取钉销级缺陷、通过生成的高清正射影像获取通道的环境信息的方法外,根据现场情况进行高清视频的实时图传和现场视频直播,全方位辅助管理人员进行快速应急响应和现场决策。

### 3.4 无人机巡检数据的管理和应用

无人机所采集的影像资料和生成的影像成果具有高分辨率、高时效性、海量数据等特点,地理信息系统综合管理平台可利用其所在的地理位置信息,将其和基础地理信息数据(如遥感影像资料)和电网基础数据等多源数据进行统一的管理和应用,包括实时查询检索具体杆塔位置所拍摄的影像资料;利用无人机生成的正射影像对基础地理信息进行实时更新;历史影像资料数据的多维度管理和查询;辅助判读杆塔缺陷的状态和空间位置信息;对通道内隐患相对于电网络路径的空间位置关系查询;将所得到的杆塔缺陷隐患分析结果结合其空间位置信息、所属线路路径、杆塔编号、所在行政区域、缺陷隐患类型和紧急程度、判读影像资料生成相应的巡检结果报表并输出。

地理信息系统综合管理平台为无人机影像资料的管理和应用提供了一套科学、完整的解决方案,能将无人机数据进行组织化和集成化管理,极大程度提高无人机数据的管理水平;数据的价值得到了充分的挖掘和应用,并辅助管理人员进行快速判断和决策。

## 4 结论

结合工程实践可知,采用本文所提出的无人机巡检技术流程进行无人机巡检相较于传统无人机巡检具备如下优势:

1)半自动化巡检方式能一定程度上减少操控手的劳动工作量,提高巡检效率。

2)高清正射影像的生成真实反映了线路通道环境内缺陷隐患的空间信息,为巡检取证、缺陷管理和应急决策提供了可量化依据。

3)地理信息系统综合管理平台能加载海量无人机影像数据,并提供多源数据的集成应用、空间查询和分析、故障判读、巡检结果输出等综合应用,实现无人机数据的科学管理、辅助管理人员进行综合决策。

### 参考文献:

- [1] 丘灵平,袁旭泳,韦舒天.输电线路无人机和人工协同巡检模式研究[C]//中国电力企业联合会科技服务中心.2009年全国输变电设备状态检修技术交流研讨会论文集.西安:[s.n.].2009.
- [2] 何健,罗映昀,范畅,等.架空输电线路无人机人工联合巡检模式的初探[J].电子测试,2015(21):99-101.
- [3] MEJAS L, CORREA J F. A vision-guided UAV for surveillance and visual inspection [C]//IEEE. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New York: IEEE, 2007.
- [4] 陈晓兵,马玉林,徐祖舰.无人飞机输电线路巡检技术探讨[J].南方电网技术,2008,2(6):56-61.
- [5] 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2007.

(责任编辑 隋卿毅)

(下转第147页 Continued from Page 147)

- [6] CHARLES C. W. Bond stress of embedded steel shapes in concrete. composite and mixed construction [M]. New York: ASCE, 1984: 227-240.
- [7] BRYSON J. O., MATHEY R. G. Surface condition effect on bond strength of steel beams in concrete [J]. Journal of the American Concrete Institute, 1962, 59(3): 397-406.

- [8] YASSER M. HU N T. Bond strength in battened composite columns[J]. Journal of Structural Engineering, 1991, 117(3): 699-714.
- [9] 王宏.新型角钢锚固构造试验与研究[D].广州:华南理工大学,2015.

(责任编辑 郑文棠)