

# 无人机航测技术及其在电网工程建设中的应用探讨

韩文军, 雷远华, 周学文

(国网北京经济技术研究院, 北京 100052)

**摘要:** 随着电子技术的飞速发展, 小型无人机在远程遥控、续航时间、飞行品质上有了明显的突破, 成为了近几年兴起的新的航空遥感手段, 并在遥感界被普遍认为具有良好的发展前景。本文介绍了无人机航测系统构成, 分析了无人机航测的特点及应用范围, 提出无人机航空摄影测量影像获取作业流程和作业方法, 总结无人机航测技术在电网工程应用存在的不足之处, 对无人机航测技术发展进行了展望。

**关键词:** 无人机; 航空摄影; 输电线路。

**中图分类号:** TM713 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-9913(2010)03-0062-06

## Application of Unmanned Aerial Vehicle Survey in Power Grid Engineering Construction

HAN Wen-jun, LEI Yuan-hua, ZHOU Xue-wen

(State Power Economic Research Institute, Beijing 100052, China)

**Abstract:** Along with the fast development of electronic technology, the small unmanned aerial vehicle (UAV) has got many breakthroughs in remote control, continuous flight duration, flight quality and has become a new aerial remote sensing tool in recent years, and is commonly considered to have a good prospect for future development. This paper introduces the constitution, features and applications of the UAV aerial photogrammetry system, proposes the workflow model and work methods for acquisition of UAV aerial photogrammetry images, and analyzes some problems existing in application of the UAV aerial photogrammetry technology to power grid engineering. An analysis is also made on the prospect of this technology for future development.

**Key words:** unmanned aerial vehicle; aerial photogrammetry; transmission line.

我国地域辽阔, 各电压等级电网遍布全国, 为满足智能电网建设要求, 需要对现状电网、在建电网和拟建电网在设计、施工和运行阶段实现三维数字化管理, 因此, 需要大量的高分辨率遥感影像用于现有遥感影像的更新和新建电网工程的遥感影像获取。

传统航测系统主要面向国家基础测绘, 大范围国土资源普查、长距离输电线路以及资源、生态环境调查、监测与评估等领域的基础性应用, 需要利用高空长航程的中、大型飞机

平台, 专用机场和昂贵的航摄仪, 对天气条件要求极高, 相应的成本也高, 周期长, 机动性差。受此制约, 往往在一些城镇、村庄、厂矿、重大工程等小面积区域, 尤其是面积在50平方公里以下的面状区域和长度较短的线状区域(输电线路带状图)难以实现快速、低成本、高分辨率遥感数据的获取。

无人机摄影测量系统即利用无人机、无人飞艇等飞行高度在距离地面2000m以下的飞行器, 搭载各类小型传感器, 低空航摄飞行获取

• 收稿日期: 2010-05-04

作者简介: 韩文军(1965-), 男, 高级工程师, 从事电网勘测工作。

地面数据资料。低空摄影相对于传统航空摄影来说,具有快速机动、成本低、能云下摄影,受天气影响小,成像比例尺大,分辨率高等特点,目前已经成为重要的遥感数据源。发展低空遥感产业,不仅能满足一定范围的数据获取的需要,更重要的是能促进完善我国航空遥感体系,改善我国地理空间数据的获取、处理和分析能力,促进高分辨率遥感数据在国家不同

领域的应用,减少对国外高分辨率遥感数据的过分依赖。

## 1 无人机摄影测量系统组成

### 1.1 系统硬件组成

无人机测绘遥感系统由无人机飞行平台、传感器、飞行控制系统、地面监控系统以及地面运输与保障系统五部分组成。



图1 无人机测绘遥感系统组成图

#### 1.1.1 飞行平台

国内比较成熟的飞行平台有以下几种:“垂直尾”型无人机、“双发”型无人机“倒桅尾”型无人机等。飞行平台主要技术指标见表1。

表1 飞行平台主要技术指标

	序号	项目名称	指标	备注
飞行平台	1	机身材质	玻璃钢	坚固,重量相对轻,强度较高
	2	有效载荷	6 kg	
	3	续航时间	3 h	
	4	巡航速度	80~120 km/h	
	5	最大升限	3000 m	
	6	起降方式	滑跑	
地面监控系统	7	测控半径	20km	无高山,远离强信号干扰下
	8	监测天线	全向	车载
总体性能	9	单架次航摄面积	25m <sup>2</sup>	不含起降点到摄区距离
	10	获取影像分辨率	0.05~0.2	
	11	成图比例尺	1:500~1:2000	

#### 1.1.2 传感器系统

由于无人机有效载荷较轻,无法搭载专业航测相机,普遍搭载高端单反数码相机,如Canon 5D Mark II、Nikon D700等。

#### 1.1.3 飞行控制系统

无人机飞行控制系统主要包括自动驾驶仪、GPS导航仪、姿态控制仪、高度计、气压计等。关键技术为GPS导航控制的定点曝光技术和相机旋偏改正技术。

#### 1.1.4 地面监控系统

地面监控系统主要包括通讯系统、监控软件系统和维护系统。

### 1.2 配套软件

无人机航空摄影及影像处理比传统航测复杂很多,为保证航摄质量需进行精确航摄规划、航摄质量快速检查及影像快速预处理等,完成这些工作需配置相应的软件。

#### 1.2.1 精确航摄任务规划软件

主要用于航摄任务规划,功能包括:设计成果统计与制图、自动/半自动航摄分区、自动航线敷设、自动调整曝光点间距、航线间距,保证立体观测重叠度指标、修改编辑曝光点、航线功能、构架航线、基站布设功能、片数、航线长度、距离等统计报告。

### 1.2.2 航摄质量快速检查软件

航摄质量检查软件包括以下技术内容：快速浏览影像质量、检查重叠度指标、检查旋偏角指标、自动形成像片预览索引图、影像自动批量打号、输出航摄质量检查统计报表、快速检查飞行数据覆盖情况，以便决定补飞以及撤场事宜。同时直接关系到作业效率，飞行质量检查与评价。最核心的指标是重叠度和旋偏角，必须满足航测规范的要求。

两张相邻航片，通过一对同名点即可根据影像宽度计算重叠度和旋偏角，数字航片原始片像素数固定，按照同样方式重采样后的预览片也可计算重叠度。由于定点曝光只表示了曝光位置，并不反映姿态影响，只有通过航片同名点的检查方法才能最终确定实际地面覆盖的重叠度情况，应此通过逐片选择一对同名点的方法可以快速浏览检查数据质量。

### 1.2.3 影像快速预处理软件

预处理的主要目的是为了改正无人机航摄影像的畸变差，基于影像纠正变换的畸变差改正软件就是为了提高摄影测量的精度，以便于后期处理时模型间的相对定向。软件包括以下技术功能：

- (1) 批处理读入TIF格式原始影像数据。
- (2) 读入相机参数文件。
- (3) 自动完成畸变差改正。
- (4) 对影像上像点坐标进行系统误差改正。

## 2 无人机摄影测量的特点

无人机摄影测量系统有其自身的特点，主要表现在以下几方面：

- (1) 无需机场起降，一般有一段净空条件稍好的平整公路或者草地即可；
- (2) 能低空作业、云下摄影，获取的影像分辨率在0.05~0.5m范围之间，分辨率高；
- (3) 系统集成度高，装载于运输车中，也可进行铁路和航空的托运，方便在全国范围内执行任务；
- (4) 整系统的维护、维修成本低，总体运行成本低；
- (5) 无人机测绘遥感系统所携带的数码相机

幅面比传统航摄影机的幅面小的多，因此单架次的航摄面积不能过大。

(6) 无人机测绘遥感系统地面监控站的监控范围一般在20公里以内，因此，飞行平台尽量不要超过20公里的飞行范围。

(7) 目前飞行平台的最大滞空时间为2小时，为了保证能安全回到起飞点，应预留20分钟的滞空时间，实际的作业时间在1.5小时以内。

## 3 无人机摄影测量系统应用

### 3.1 应用范围

无人机测绘遥感系统主要是解决小区域、高分辨率影像的快速获取问题。主要的应用领域为：

- (1) 应急测绘中的高分辨率影像快速获取；
- (2) 小城镇、新农村测绘保障中的高分辨率影像获取；
- (3) 石油、公路、水利、铁路、电力等带状地区选线勘测中的高分辨率影像获取；
- (4) 困难地区(雪域高原等高海拔地区)高分辨率影像获取。

### 3.2 作业流程

与传统航摄相同，无人机摄影测量同样需要进行航线设计、航摄飞行、质量检查、补飞或重飞、像控测量等步骤。所不同的是，由于无人机自身的特点，无人机影像获取流程及航飞作业模式与传统航飞有较大区别，见图2。

#### 3.2.1 现场航线设计

无人机数码摄影一般都是执行小区域的数码航摄，与传统航摄不同的是在航线设计时无需考虑地球曲率变化，也无需非常准确地知道地面点高程。传统航摄有明确的操作规范和流程，必须使用1:10000或1:50000地形图或利用已有的DEM进行基准面的设计，必要时(高差大于1/6航高时)需设定摄影分区，必要时也可设定加密分区。对于低空数码航摄而言，一般情况下，已知摄区四角坐标即可进行航线设计。极特殊条件下才设定摄影分区。

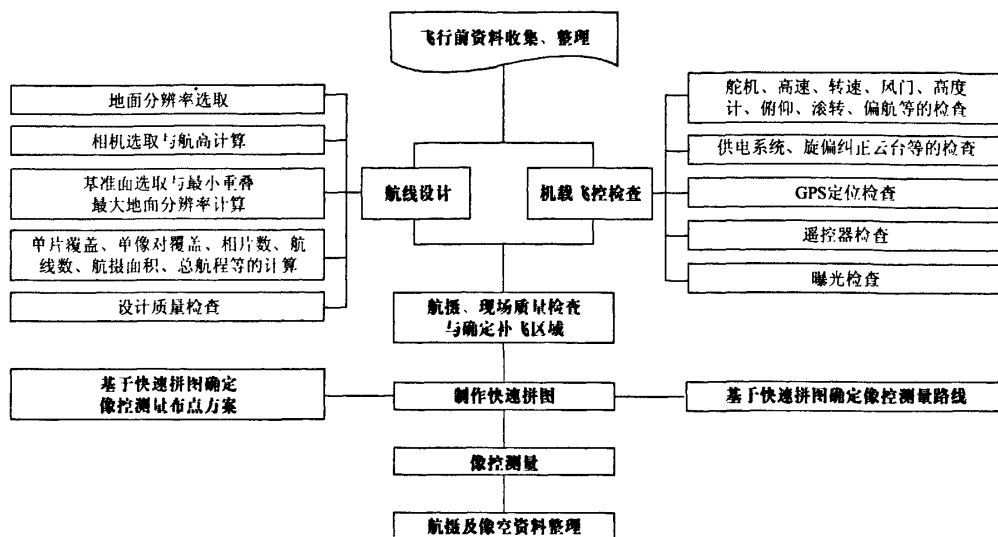


图2 无人机摄影测量系统影像获取的总体流程

### 3.2.2 特殊情况下的航线设计

当地形高差大于1/6航高时，原则上要设立摄影分区。对于无人机航摄来讲，高程有所放宽，在摄区高程大时，尽量采取增大分辨率，加大重叠的方法来克服。此方法仍不奏效时，必须设立摄影分区。

### 3.2.3 飞行设备调试

无人机进行航摄工作前，为确保航摄工作顺利完成，需要对地面监控站设备进行调试，主要工作内容包括：

地面监控站调试、起飞前检查、俯仰检查、滚转检查、偏航检查、水平设置、空速检查、高度计检查、转速检查、GPS定位检查、震动测试、电池测试、数传发射对传感器的影响测试、动态传感器数据观察、空速计系数、GPS控制相机测试等。

### 3.2.4 现场数据整理

航摄结束后，在保证原始影像每张都能打开，每张存储完整，影像清晰、曝光适中的情况下进行数据整理。

(1) 检查曝光点数与影像数是否一致，若不一致应及时查找原因。

(2) 检查每条航线的记录值与实际飞行的影像数是否一致。比如第一航线地面站里记录为20张影像，005号为第一张，则检查是否005-024为第一航线。尤其要检查024与025之间的关系。

(3) 将影像按照航线数分别装载于文件夹，每条航线的影像数量应一致。

### 3.2.5 现场质量检查

#### (1) 影像初步检查

检查影像的基本情况：包括影像数、航带数、抽查影像质量是否有云、雾、雪，影像是否发虚，影像命名是否正确。

#### (2) 检查资料是否完整

检查飞行记录表、曝光点坐标数据等是否存在，填写是否完整、规范。

#### (3) 展绘曝光点坐标

查看曝光点坐标与实际飞行情况是否一致。当出现有曝光点坐标明显偏离航线时，应做好记录，检查影像。

#### (4) 影像重采样

在PS里进行影像重采样，目的是将影像数据量变小，便于检查时操作。

#### (5) 影像旋转

按照飞行记录表填写的方式进行影像旋

转, 特别注意奇数条和偶数条航带的旋转是否相同。

#### (6) 质量检查

输出检查记录, 不合格影像做好相应记录。

#### (7) 通知补飞与重飞

### 3.2.6 现场预处理

将所有影像另存为TIF格式, 将畸变参数改成软件支持的格式, 利用预处理软件进行畸变差改正, 改正后影像有黑边说明已改正完成。

### 3.2.7 影像成果提交

- (1) 分航带原始影像
- (2) 分航带畸变差改正后影像
- (3) 飞行记录表
- (4) 曝光点坐标文件
- (5) 影像检查记录
- (6) 数据整理记录
- (7) 相机参数文件
- (8) 畸变差改正后主点偏移文件

### 3.2.8 快速拼图

像控测量作业流程与传统航测类似, 区别在于无人机航摄获取的影像相幅较小、相片数多, 一般情况下不适合利用冲印相片执行像控测量工作。尤其是在应急测绘条件下或雪域高原县城区航摄时, 条件艰苦, 无法满足照片冲印, 甚至打印, 必须利用现有笔记本电脑进行像控测量工作。航摄外业队伍能在所有检查合格后现场进行快速拼图, 利用简单镶嵌的摄区影像图查看摄区大致情况, 选取合乎要求的控制点, 并在整体影像图上规划好测量控制点的行进路线, 保证控制点量测工作进行顺利。

目前, 市面上的快速拼图软件也有很多, 最常用的应该算是PhotoShop, 该软件必须人工拼接, 费时费力, 在局部地形起伏大的地方单靠人工拼接更是困难。PTGUI是德国数学教授Helmut Dersch研制的一款数码影像全景拼图软件, 它通过为全景制作工具(Panorama Tools)提供图形用户界面(GUI)来实现对图像的拼接, 从而创造出高质量的全景图像。只要将需要拼接

的影像导入软件, 设置参数, 便可自动拼接成摄区影像的全貌图。无需人工选取特征点, 软件全自动匹配同名点进行影像镶嵌, 拼接耗时短, 效果满足像控测量查看摄区整体状况的要求。

## 3.3 无人机摄影测量在电网工程建设中的应用

以无人机为代表的轻小型航空遥感系统具有机动灵活、响应快、成本低、时效性强等特点, 已形成与卫星遥感和普通航空遥感并行发展的局面。尤其在电网重大自然灾害应急响应、阴云天气低空光学影像获取、输电线路走廊规划、厂(站)址影像和地形图获取及分布式日常低空遥感监测等情况下, 无人机航测系统拥有卫星遥感和普通航空遥感不可取代的作用。

### 3.3.1 电网应急救援

我国属于自然灾害多发国家, 平均每年因灾造成直接经济损失近2000亿元, 灾害突发时, 采取恰当的应急措施可以大幅降低经济损失。为应对突发的自然灾害, 减轻灾害对国家电网造成的损失, 及时恢复、重建电网, 国家电网公司建立了应急救援指挥中心, 但应急手段还须完善。

灾害发生时及时获取灾区的高清晰影像, 第一时间为应急救援指挥中心提供现场影像资料至关重要。但是, 灾害发生时往往伴随恶劣的天气状况, 如2008年南方冰灾, 当时的受灾地区受天气影响, 采用普通航飞、卫星拍摄等方法无法及时获取灾区的高分辨率影像, 利用无人机低空遥感系统机动性高、环境适应性强、无需机场起降、对天气条件要求低等特点, 可以及时、高效获取高清晰影像, 为电网公司应急救援指挥中心进行灾害评估、制定救灾决策、制定电网重建方案提供先进、可靠的技术手段。

### 3.3.2 输电线路走廊规划

在大工程或大型水电站出线走廊规划中, 利用无人机摄影测量系统进行区域网航空摄影, 可以对区域走廊通道进行整体规划, 弥补现场视野受限的不足, 充分考虑各种环境、规

划因素,协调各工程项目关系,充分利用有限的通道资源,使线路走向和区域规划更加合理。

### 3.3.3 地形图测量

无人机摄影测量适用于小比例尺的地形图测量,成图比例尺一般小于1:2000,在电网工程的可研设计阶段,可采取高程控制措施,如增加野外控制和利用野外测量数据改化航测高程等,测量1:1000比例尺的地形图。为站址布置及优化提供影像、高程等详细的基础资料,减少劳动强度,提高劳动生产率。

## 4 结语

无人机摄影测量与传统航空摄影测量相比,具有无需机场起降、系统集成度高、机动性强、转场方便、快捷,对气象条件要求不高,影像分辨率高,系统总体运行成本低等优点,可用于应急救援、厂址优化、站址优化、出线走廊规划等电力工程建设应用以及南方多

雨地区的小面积区域航摄。但无人机存在飞行姿态不稳定,飞行时间短,单架次的航摄面积小,相同面积航摄像片数多,相应的像控点多,内业处理工作量大的缺点。由于无人机搭载非量测数码相机,相机无法进行精确校验,影像存在畸变,无法满足输电线路断面图的精度要求。

现阶段无人机摄影测量在电力行业应用基本处于试验阶段,没有成熟的作业模式和技术规定,随着无人机摄影测量技术的发展,以上问题会逐步得到解决,是常规航空摄影有效补充。

## 参考文献:

- [1] 万仕平,等.浅谈低空数码航空摄影在线路测量中的应用[J].天然气与石油,2008,26(4).
- [2] 刘昌华,等.近地超轻型小数码航空摄影测量系统及其应用分析[J].河南理工大学学报,2007,26(5).
- [3] 邹晓军.摄影测量基础[M].郑州:黄河水利出版社,2008.



## 信息

### 750kV变电站机器人巡检系统投运

6月9日,国内首个750kV变电站机器人巡检系统在西北电网公司乾县750kV变电站正式投入运行,这也是目前国内应用电压等级最高的变电站机器人巡检系统。

该系统可实现对站内不同电压等级设备的全自主自动巡检,利用红外推焦技术的测温拍照以及基于三维电子地图的自动检测和分析等功能,有效克服了750kV变电站站区面积大、运行环境复杂、人工巡检的视差等因素,实现了变电站电气主设备的实时运行状态检测,为超高压设备的安全稳定运行提供了重要保障。

该项目由西北网公司和山东鲁能集团共同合作,历时18个月开发完成,采用了多传感器融合、模式识别、导航及行为规划、机器人视觉等先进技术,克服了超高压强磁干扰下无线网桥的通讯等难题,自主研发了机器人智能电源管理模块,并结合磁导航、超声避障、RFID定位、电子地图等技术,实现了机器人自动导航、定位和自主充电等功能,具有较高的智能化水平。该系统的投入运行,对降低生产运行人员劳动强度、提高变电站巡检自动化水平和检测准确性提供了创新型的技术检测手段,对于提高电网运行可靠性具有重要意义。

(摘自: <http://www.cpn.cn>)

作者: 韩文军, 雷远华, 周学文, HAN Wen-jun, LEI Yuan-hua, ZHOU Xue-wen  
作者单位: 国网北京经济技术研究院, 北京, 100052  
刊名: 电力勘测设计  
英文刊名: ELECTRIC POWER SURVEY & DESIGN  
年, 卷(期): 2010(3)  
被引用次数: 6次

## 参考文献(3条)

1. 万仕平 浅谈低空数码航空摄影在线路测量中的应用[期刊论文]-天然气与石油 2008(04)
2. 刘昌华 近地超轻型小数码航空摄影测量系统及其应用分析[期刊论文]-河南理工大学学报 2007(05)
3. 邹晓军 摄影测量基础 2008

## 本文读者也读过(10条)

1. 徐志强, 杨建思, 姜旭东, 郑钰, 田宝峰, 廖力, Xu Zhiqiang, Yang Jiansi, Jiang Xudong, Zheng Yu, Tian Baofeng, Liao Li 无人机快速获取地震灾情的应用探索[期刊论文]-地震地磁观测与研究2009, 30(5)
2. 庞新华, 潘耀忠, 朱文泉, 顾晓鹤, 杨伟, PANG Xin-hua, PAN Yao-zhong, ZHU Wen-quan, GU Xiao-he, YANG Wei 一种基于SVR的简易融合算法[期刊论文]-遥感信息2008(3)
3. 刘兴发, 干喆渊, 张小武, 张广洲, 万保权, 邬雄, LIU Xing-fa, GAN Zhe-yuan, ZHANG Xiao-wu, ZHANG Guang-zhou, WAN Bao-quan, WU Xiong 交流特高压输电线路对航空无线电导航台站的有源干扰计算[期刊论文]-电网技术 2008, 32(2)
4. 孙健, 来永芳, 张力军, 朱玲赞, 鲁远 无人直升机航测系统探测效率的M-C计算[会议论文]-2008
5. 盛大凯, 齐立忠, 严复章 推进遥感新技术应用构建电网建设标准化平台[期刊论文]-电力建设2009, 30(7)
6. 来丽芳, 郭伟, 徐攻博, LAI Li-fang, GUO Wei, XU Gong-bo 浙江省无人机测绘应用现状分析[期刊论文]-大坝与安全2010(6)
7. 胡晓曦, 李永树, 李何超, 许懿娜, HU Xiao-xi, LI Yong-shu, LI He-chao, XU Yi-na 无人机低空数码航测与高分辨率卫星遥感测图精度试验分析[期刊论文]-测绘工程2010, 19(4)
8. 刘国桥, 李胜, 张谋见, 程崇木, 张俊华, 孙炜, Liu Guoqiao, Li Sheng, Zhang Moujian, Cheng Chongmu, Zhang Junhua, Sun Wei 利用控制快门速度方法提高无人机航测高程精度的探讨[期刊论文]-测绘技术装备2011, 13(1)
9. 李树甫, 钱昌松, 韩庆生 基于模板大值和分层搜索策略的无人机序列图像拼接[会议论文]-2007
10. 晏磊, 童庆禧 可见光遥感作业新途径—以中国贵州无人机超低空遥感试验为例[会议论文]-

## 引证文献(6条)

1. 闰海庆, 翁向阳, 封加会, 雷远华, 刘佳明 一种自适应的无人机影像角点特征提取方法[期刊论文]-电力建设 2013(7)
2. 王瑞, 李志斌 基于无人机摄影测量技术的四维施工管理研究[期刊论文]-电力勘测设计 2013(3)
3. 周友义 基于PixelGrid软件的无人机数据处理[期刊论文]-测绘与空间地理信息 2013(1)
4. 孙朝阳, 郑彦春, 徐秀云 无人机航空摄影测量技术在风能开发勘测方面的应用[期刊论文]-电力勘测设计 2011(5)
5. 李志斌, 冯再福 无人机遥感系统在电力工程环保水保中的应用[期刊论文]-电力勘测设计 2013(5)
6. 袁辉, 胡庆武 利用低空无人机飞控数据的摄影航带全自动整理方法[期刊论文]-测绘科学 2013(3)