

# 无人机倾斜摄影测量技术在三维电力工程中的应用

## The Application of UAV Tilt Photogrammetry Technology in Complex Electric Engineering Surveying

蒋媛美

Yuanmei Jiang

合肥大科学装置集中区建设有限公司, 中国·安徽 合肥, 230071

Hefei Great Science Installation Construction CO.Ltd., hefei, Anhui, 230071, China

**摘要:**在电力工程中,无人机倾斜摄影测量技术的优势日益凸显。论文介绍无人机倾斜摄影测量原理、优势特点以及目前应用领域。基于实际电力工程为研究背景,具体研究无人机倾斜摄影测量技术在电力三维建模的应用。基于15例验证控制点分析三维模型精度分别为平面RMSE 0.10m,高程RMSE 0.09m;基于10例样本的空间距离,分析得RMSE为0.10m,结果表明该三维模型能够满足电力工程方案设计需求。最后总结无人机倾斜摄影测量技术在电力工程各环节具体应用以更好推广该项技术。

**Abstract:**In electric engineering surveying, the advantages of UAV tilt photogrammetry technology have become increasingly prominent. This paper introduces the principles, advantages and current applications of UAV tilt photogrammetry technology. Based on the research background of Electric Engineering, the application of the UAV tilt photogrammetry technology in the 3D model of electric power was specifically studied. Based on the verification of 15 control points, the accuracy of the 3D model is 0.10m for the plane RMSE and 0.09m for the elevation RMSE. Based on the spatial distance of 10 samples, the RMSE is 0.10m. The results show that the model can meet the design requirements of electric engineering scheme. Finally, the UAV tilt photogrammetry technology is applied in various aspects of power engineering to promote the technology better.

**关键词:**无人机;倾斜摄影;三维模型;电力勘测

**Keywords:** UAV; Tilt Photogrammetry; 3D Model; Electric Engineering Surveying

**DOI:**10.36012/etr.v2i5.1950

## 1 引言

随着“智能电网”概念的提出,与电力行业相关的技术革新是大势所趋。在电力工程勘测设计中,传统测量方式在复杂环境中的适用性以及效率上逐渐暴露出不足之处。随着无人机与倾斜摄影技术的快速发展,无人机倾斜摄影测量作为一项新的测量技术正悄然改变传统GPS测量以及传统航测只能单一的从垂直方向进行拍摄的限制。多平台多角度快速采集海量数据,真实全面反映地物地貌,弥补传统人工测量与单一角度航测的不足,满足人们对三维模型信息探索应用的需要,契合“智能电网”中对新技术的需求,极大推进电力勘测技术的前进步伐。

## 2 无人机倾斜摄影测量技术概述

### 2.1 原理

倾斜摄影测量技术是国际测绘遥感领域近年来发展的一项高新技术,通过在飞行平台上搭载多台传感器,同时从垂直以及前后左右四个倾斜角度分别对航向、旁向重叠度、航速、航高等数据进行采集,然后进行数据分析,获取地面完整信息。后期通过影像匹配、影像联合平差、多视影像密集匹配、密集点云构建、纹理映射等步骤最终生成三维模型<sup>[1]</sup>。

### 2.2 特点

#### 2.2.1 获取多维度信息

避免在复杂区域由于遮挡出现遥感官区,导致获得数据信息不全面的问题。随着智能化技术与数字化技术的快速发

**【作者简介】**蒋媛美(1988~),女,汉,安徽省亳州市人,工程师,从事工程管理研究。

展,无人机倾斜摄影测量技术弥补正射航拍的不足,能让用户从多个角度观察地物,更加真实的反映地物的实际情况。

### 2.2.2 快速高效构建三维模型

基于灵活机动的无人机载体,快速获取多面影像信息,处理后真实还原场景,不仅拥有精确的地理位置坐标信息,并且可精细化表达地物的细节特征,应用价值高。

### 2.2.3 成果产品应用广泛

通过配套软件的应用,可直接基于成果影像进行包括高度、长度、面积、角度、坡度等属性信息的量测,扩展了无人机倾斜摄影测量技术在行业中的应用。

### 2.2.4 共享性高

相较于三维 GIS 技术应用庞大的三维数据,应用倾斜摄影测量技术获取的影像数据量要小得多,其影像的数据格式可采用成熟的技术快速进行网络发布,实现共享应用。

## 2.3 应用

### 2.3.1 地籍测量中的应用

地籍测量主要是对宗地的地籍界址点、权属界线、土地面积等定位与定性相结合的测绘工作<sup>[2-3]</sup>。在定位测量方面有着较高要求。以往地籍测量的方法和仪器比较单一且精度低,很难满足实际工作需要,无人机倾斜摄影测量技术以其成本低、时效性强、多角度获取高分辨率影像等优势给地籍测量带来新的契机。基于倾斜数据自动生成地物点云和实景三维模型,实现基于三维模型数字化测图。

### 2.3.2 智慧城市规划中的应用

智慧城市是信息化与城市化的高度融合,是新一代信息技术发展和知识社会创新下城市信息化向更高阶段发展的表现,它的应用离不开地理信息数据的支撑,其中三维模型的应用尤为重要。在智慧城市规划建设中,通常涉及的建模区域面积很大,单纯利用传统的人工建模耗时费力,而基于无人机倾斜摄影测量技术自动构建的实景三维模型不仅极大的提高建模效率,而且降低了投入成本。

### 2.3.3 堆体测量中的应用

堆体测量目前广泛应用于矿山、火电厂和建筑工程施工过程中的土堆沙堆统计,传统的方法依赖于全站仪或 GPS 等,人力劳动强度大,效率低。基于无人机倾斜摄影测量技术构建三维模型可快速解决堆体测量问题。航线设置完成,自动采集数据,导入后期系统处理软件,生成三维模型,可直接进行空间距离与体积的量算,为工程建设规划与作业生产提

供精确的数值参考。

## 3 无人机倾斜摄影测量技术作业流程

### 3.1 前期准备工作

收集资料初步了解测区地形、交通、水系、建筑等情况,对重要地区以及敏感区需要进行实地踏勘,详细了解现场情况,选择合适的时间以及无人机起降位置。依据项目需求与现场情况,进行航带规划与测区范围规划,编制技术方案。

### 3.2 中期现场作业

结合踏勘成果与具体测区规划,合理均匀布设像控点。将检查完毕的飞行器搬至起飞点,组装,依据航线开始飞行任务,不同架次之间选择合适的转场点缩短途中时间。

### 3.3 后期数据处理

(1)利用后处理软件差分解算影像坐标<sup>[5-6]</sup>,并对影像实施畸变纠正。

(2)空中三角测量,通过采取少量地面点,利用平差方程解算出摄影测量过程所需的全部待定点或加密点及每张像片的外方位元素<sup>[4]</sup>。

(3)依据项目需求分别生成相应的成果文件。

## 4 工程实例

### 4.1 项目背景

聚变堆主机关键系统综合研究设施项目作为“十三五”国家重大科技基础设施项目,聚变堆主机关键系统综合研究设施是《国家重大科技基础设施建设“十三五”规划》中优先部署的大科学装置,是合肥综合性国家科学中心的核心建设内容之一,分为主体工程和园区工程。其中园区的变电站以及外线工程由安徽华电工程咨询设计有限公司负责设计与承建。

其中变电站站址区植被茂密,通视条件差, GPS 信号较差。常规测绘手段完成难度极大,为能准确、及时、详尽地展现工程全貌,缩减外业工期,全线采用无人机倾斜摄影测量模式,构建实体高精度三维模型,真实还原现场的三维场景,并在场景中优选站址方案、对廊道内建筑物、构筑物空间距离量算和交跨距离校验等设计工作。

### 4.2 数据采集

本工程采用大疆 M600 pro 无人机搭载五镜头相机,基于无人机管家 APP 规划航线,综合项目要求与现场条件设置相关参数,整个工程共作业 3 个架次,获取影像 1000 张,

及时对影像质量进行检查,不合格区域进行补飞。

控制点采用野外布设方式,遵守以下原则:

- (1)目标影像应清晰,易于判读和立体量测;
- (2)像控点一般应在航向三片重叠和旁向重叠附近;
- (3)像控点距像片边缘的距离不得小于 1cm,边缘影像

质量较差,倾斜误差和投影误差使边缘部分变形较大,增大判读和刺点误差。

表 1 航线规划参数设计

项目	参数
航向重叠率/%	80
旁向重叠率/%	80
飞行高度/m	120
飞行速度/(m/s)	10

### 4.3 数据处理

外业数据采集完成后,对影像进行匀光、匀色、影像畸变处理、解析照片 pos 信息、检查像控制点质量等预处理工作;之后将影像数据、pos 数据、相机检校数据以及控制点数据导入 ContextCapture 软件中,依次进行参数设置、提交空三任务、三维重建等操作,最终输出 3mx 格式的三维模型。效果如图:



图 1 基于倾斜摄影构建的实景三维模型效果图



图 2 园区现场施工图

### 4.4 精度分析

#### 4.4.1 整体精度分析

空三加密是摄影测量过程中至关重要的环节,是获取高精度三维模型的关键。三维模型整体精度评价主要利用布设控制点的平面位置、高程与模型量测值对比分析。分析结果

如表 2。

表 2 模型点位置量测值与实地测量值统计表

点 样 本	模型值			测量值			精度分析	
	x	y	h	x	y	h	平面 误差	高程 误差
M1	***0255.7916	***781.9416	39.23	***0255.6916	***781.7916	39.14	0.18	0.09
M2	***0461.1055	***796.1542	38.56	***0461.1455	***796.1842	38.63	0.05	-0.07
M3	***0455.9191	***759.5584	35.31	***0455.9691	***759.5924	35.22	0.06	0.09
M4	***0490.8177	***782.5799	34.45	***0490.7477	***782.6799	34.41	0.12	0.04
M5	***0452.9581	***800.7318	37.87	***0452.9181	***800.8318	37.78	0.11	0.09
M6	***0345.7705	***902.211	34.21	***0345.7205	***902.261	34.18	0.07	0.03
M7	***0442.7535	***788.6237	33.67	***0442.7535	***788.6937	33.48	0.07	0.19
M8	***0449.667	***717.0886	34.98	***0449.77	***717.0386	35.05	0.11	-0.07
M9	***0550.4045	***790.5651	39.87	***0550.3345	***790.4751	40.66	0.11	-0.1
M10	***0474.2647	***735.1129	39.87	***0474.2847	***735.1529	39.78	0.04	0.09
M11	***0441.5765	***795.9346	36.65	***0441.4665	***795.9846	36.72	0.12	-0.07
M12	***0482.1246	***798.467	32.67	***0482.1646	***798.417	32.64	0.06	0.03
M13	***0640.1007	***749.4799	34.93	***0640.1707	***749.4299	34.9	0.09	0.03
M14	***0441.1203	***871.3509	36.89	***0441.1903	***871.2609	36.78	0.11	0.11
M15	***0485.125	***729.1684	32.43	***0485.255	***729.1984	32.29	0.13	0.14

表 3 误差统计

	最大误差	最小误差	RMSE
平面误差	0.18	0.04	0.10
高程误差	0.19	0.03	0.09

通过 15 例样本分析得,其中模型平面误差最大为 0.18m,最小为 0.04m,均方根误差为 0.10m。模型高程最大误差为 0.19m,最小为 0.03m,均方根误差为 0.09m。

#### 4.4.2 细部精度分析

表 4 模型量测距离与实测距离统计表

样本	实地测量/m	模型量测/m	差值/m
P1	54.32	54.2	0.12
P2	38.62	38.53	0.09
P3	37.64	37.58	0.06
P4	24.57	24.45	0.12
P5	26.6	26.5	0.1
P6	56.46	56.43	0.03
P7	35.6	35.52	0.08
P8	45.43	45.28	0.15
P9	34.23	34.09	0.14
P10	54.45	54.33	0.12

评价三维模型细部结构主要包括单个地物的长度和高程等指标,选择长度作为评价因子,具体方法为在 smart3D

软件中量测模型的相关参数,结合高精度全站仪实地测量的真值进行对比分析。

通过 10 例样本分析可得,三维模型细部长度指标的最大误差为 0.15m,最小误差为 0.03m,均方根误差为 0.10m。

#### 4.5 小结

(1)分别从整体与局部角度分析三维模型精度,其中点位平面、高程以及空间距离的均方根误差分别为 0.10m、0.09m 和 0.10m。根据《三维地理信息模型数据产品规范》,本工程三维模型完全满足 1:500 比例尺测图精度。

(2)基于本工程复杂的现场环境,积极采用无人机倾斜摄影测量技术极大的提高外业勘测效率。勘测成果完全可供设计人员三维设计工作,局部三维设计效果如图 3:



图 3 园区内局部三维设计效果图

## 5 总结

利用无人机倾斜摄影测量技术生成的三维模型成功应用于复杂的电力勘测环境中。基于本次工程以及前期工程的经验总结无人机倾斜摄影技术在电力勘测各阶段具体应用如下:

**前期勘测:**在电力勘测过程中,无人机倾斜摄影测量作为一种新兴测量技术,发挥着重要作用。快速高效的作业模式和极大提高数据的获取方式,降低了劳动强度和作业成本。

**中期设计:**基于无人机倾斜摄影测量技术构建的三维实景模型能够为电力工程规划提供十分便利的设计平台,直观显示路径地形地貌便于路径优化与站址选择,提高作业效率。

**后期管理:**后期施工和运维管理中,通过设置一定时间序列,形成时间维度上的有效对比机制,以可视化数据作为分析基础施工质量与潜在危险源的重要评价依据。

#### 参考文献

- [1] 付主俊.无人机倾斜摄影在建筑物立体测量中的应用[J].北京测绘, 2019,33(7):839-842.
- [2] 何森.无人机低空倾斜摄影测量在地籍测量中的应用[J].城市勘测, 2019(3):96-99.
- [3] 胡念念,孟敏.无人机航空摄影测量技术在电力工程测量中的运用初探[J].低碳世界, 2018,186(12):68-69.
- [4] 明国辉.无人机倾斜摄影测量技术在电力工程中的应用[J].工程建设与设计, 2017(20):199-200.
- [5] 全红菊,江峻毅,胡守超.无人机 PPK 技术在电力工程中的应用[J].测绘通报, 2018(S1):113-116+121.
- [6] 张坤鹏,于广瑞,顾广杰.利用差分 GNSS 获取高精度无人机影像外方位线元素[J].测绘工程, 2017(07):8-14.
- [7] 郑盼.基于 Smart3D 软件的无人机倾斜摄影三维建模及精度评价[D].