

# 多旋翼无人机倾斜摄影在油气田三维地形建模中的实践应用

逢万泽

大庆油田设计院有限公司, 黑龙江 大庆 163000

[摘要] 油气田开发对地形地貌数据精度要求不断提高使三维地形建模技术慢慢变成油气田开发重要的辅助手段, 倾斜摄影属于无人机遥感里的先进技术, 因其获取数据全面、建模精度高、操作灵活, 在油气田测绘实践里逐步得到应用, 文中把多旋翼无人机当作平台, 探讨倾斜摄影技术在油气田地形建模中的具体流程、关键技术和实施效果, 且系统分析数据获取、建模精度控制以及后期处理流程, 为油气田实现高效、低成本的三维地理信息建模提供技术支持与应用指导。

[关键词] 多旋翼无人机; 倾斜摄影; 三维建模; 油气田; 地形测绘

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16852

中图分类号: P23

文献标识码: A

## Practical Application of Multi Rotor Unmanned Aerial Vehicle Oblique Photography in 3D Terrain Modeling of Oil and Gas Fields

PANG Wanze

Daqing Oilfield Design Institute Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163000, China

**Abstract:** The increasing demand for terrain and geomorphological data accuracy in oil and gas field development has gradually made 3D terrain modeling technology an important auxiliary tool for oil and gas field development. Tilt photography is an advanced technology in unmanned aerial vehicle remote sensing. Due to its comprehensive data acquisition, high modeling accuracy, and flexible operation, it has gradually been applied in oil and gas field surveying practice. In this article, multi rotor unmanned aerial vehicles are used as a platform to explore the specific process, key technologies, and implementation effects of tilt photography technology in oil and gas field terrain modeling. The system analyzes data acquisition, modeling accuracy control, and post-processing processes, providing technical support and application guidance for efficient and low-cost 3D geographic information modeling in oil and gas fields.

**Keywords:** multi rotor unmanned aerial vehicle; oblique photography; 3D modeling; oil and gas fields; topographic mapping

### 引言

地形精度在油气田开发中日益被依赖, 然而传统测绘手段存在周期长、成本高、作业效率低等问题, 多旋翼无人机倾斜摄影技术集低空遥感和数字建模优势于一体, 能快速获取高精度地理信息数据, 从而在地形测绘领域成为重要补充, 本文从技术架构、实施路径、关键环节三方面系统分析其在油气田三维建模中的实际应用, 为推广该技术提供参考。

### 1 多旋翼无人机与倾斜摄影系统概述

#### 1.1 多旋翼无人机系统组成与性能特点

多旋翼无人机这种小型飞行平台靠多个旋翼提供升力并实现空间定位和导航, 其主要由飞行控制系统、动力系统、导航模块、通信模块和任务载荷组成。飞行控制系统是整机的大脑, 负责飞行姿态稳定和飞行路径控制, 电机和螺旋桨构成的动力系统决定飞行时长和载重能力, 导航模块借助 GPS、IMU 等传感器完成定位与航迹记录, 通信模块保证地面与空中数据实时传输, 多镜头倾斜相机或者光学遥感设备常作为任务载荷。多旋翼无人机具备起降灵活、操控简便、悬停精准、适应性强等优点, 特别适用于高分辨率影像采集任务, 尤其是中小区域内复杂地形

的任务, 它自动化程度高、运行成本低、安全性高, 在高频次、快速响应的测绘任务中能发挥重要作用且在油气田环境里现场适应力强大。

#### 1.2 倾斜摄影技术原理与设备配置

倾斜摄影这种遥感成像方式不同于传统垂直摄影, 它靠多个镜头分别从前、后、左、右、下等不同角度对地物进行拍摄, 单次飞行就能获取有空间深度感和立体特征的影像数据且能捕捉地物立面纹理信息, 生成的三维模型更真实、丰富, 适合高精度三维地形建模, 其设备一般有多镜头相机 (五镜头或者七镜头)、高精度 GNSS/IMU 组合导航系统、影像控制系统和数据存储装置, 并且有些高端平台把热成像、激光雷达等复合型传感器集成进来, 让数据更完整, 复杂地形解析能力更强, 设备往往和无人机一体化集成, 做到同步触发、稳定拍摄和精确定位, 这技术短时间就能完成广域高密度的数据采集, 三维建模的数据基础质量大大提高, 在地理信息系统、数字孪生、地质勘探等领域是个重要工具。

#### 1.3 技术适配性与油气田应用优势

油气田开发区域往往环境复杂、地形起伏且交通不便, 传统测绘方式在数据精度、作业效率、作业安全方面存在

明显不足,而多旋翼无人机倾斜摄影系统能垂直起降、自主航线飞行以适应复杂环境,很适合快速获取油气田勘探区域的地形数据,其不用建立很多控制点就能达到厘米级精度建模,大幅降低人工成本与时间消耗,在获取大量倾斜影像数据后能还原地物真实几何形态,可为地质分析、管线布设、设备选址、安全评估等提供可靠依据,且可重复性强、现场能快速部署,很符合油气生产周期性监测与动态变化建模需求,与卫星遥感和地面测量相比,它时效性和空间分辨率更高,有效补上精细化地形建模的空缺,是油气田测绘技术体系的重要部分。

## 2 油气田三维建模的技术需求分析

### 2.1 油气田地形测绘的精度与效率要求

油气田是典型的资源开采区域,地形测绘工作对其数据精度、作业效率和作业周期要求极高,地质勘探、设备布设、场地施工等环节要靠精确的地形数据来指导工程决策、预判风险,误差得控制在厘米级,且管线敷设、井位布置、场地平整时模型必须高保真且完整;油气田地形环境复杂,有丘陵、沟壑、沙漠、沼泽等多种地貌类型,大多又在偏远地区,测绘工作要在短时间内完成高密度数据采集与处理才能保障开发进度;油气田开发分阶段且动态变化,地貌要定期更新建模,传统方法满足不了频繁测量需求,油气田测绘工作需要一种高精度、高效率、低成本还能快速响应的测绘方式,倾斜摄影和多旋翼无人机融合正好符合这些技术要求。

### 2.2 传统测绘方法的局限性

全站仪、RTK、激光扫描和地面摄影测量等传统测绘方法虽在特定应用场景下有一定优势,但在油气田环境里有不少限制,其靠人工操作,作业范围不大且覆盖效率低,面对大面积测绘任务需耗费大量时间和人力而无法满足工程快速推进的需求,在地势崎岖或人迹罕至之处如高原、戈壁、丘陵、植被覆盖地带,传统测量设备携带不便、安全风险增加且数据不易获取,采集的数据大多为点线状信息而无法完整表达地物立体形态、达不到三维建模所需的面状、高密度、多角度影像要求,而且激光扫描虽精度高却成本贵、操作环境要求高而难以广泛部署。

### 2.3 三维地形模型在油气勘探中的应用场景

油气勘探与开发全流程中,三维地形模型有着广泛的应用价值,在前期选址和可行性研究阶段,三维模型能将地貌形态真实还原,对地质构造判断、井位优化布设、资源分布分析起辅助作用,让勘探更准确、部署更合理,在基础设施设计与施工时,模型可用于场地规划、道路布设、排水设计和边坡防护,工程师能借此预判施工障碍、优化施工方案,提升工程实施效率与安全性,再次在油气田运营维护阶段,三维模型可用于动态监测和变化分析,做到滑坡风险、地表沉降、设施位移等问题的识别与预警,而且模型能与BIM、GIS等系统融合,构建油气田数字孪生平台,实现智能化运维管理。

## 3 倾斜摄影作业流程与数据获取

### 3.1 航线规划与飞行参数设定

油气田地形复杂,在这儿开展倾斜摄影任务,数据质量和作业效率若要有保证,航线规划就必须科学合理,这是关键且要按任务区地貌特征、飞行平台性能和目标建模精度专门设计。要拿到区域高程数据和边界信息,利用数字高程模型(DEM)构建出三维飞行仿真环境,从而能预测遮挡区域并避免高差干扰。航线布局一般采用平行交叉方式,使航迹能连续覆盖且影像分布均匀,再根据相机焦距、分辨率和视场角等参数,确定合适的飞行高度和航带间距,让图像分辨率和重叠度满足三维建模要求,一般而言,要高精度建模,飞行高度需控制在60~120m之间,航带间距不能超过侧向视野宽度的60%。

### 3.2 影像采集策略与重叠度设计

多角度、高重叠度的原始影像数据对构建高质量的三维地形模型很重要,倾斜摄影系统一般由五镜头或者七镜头组成,一次曝光就能获取前视、后视、左视、右视和垂直视角影像,采集策略得让各方向图像均匀、连续,不能有漏拍情况,要立体匹配效果好,纵向重叠度常设在75%~85%,侧向重叠度保持在65%~75%,建筑密集区或者起伏地貌这种特殊区域可适当提高重叠比例,重叠度这么设计,模型表面结构完整、纹理质量好,空三匹配稳定、模型几何精度也能提高,航线交会区域得增加缓冲带重叠影像,边缘模型一致性才会提高,防止图像模糊或者曝光异常的话,得考虑光照条件,飞行优先选无风、光照均匀的时间段。

### 3.3 控制点布设与现场数据管理

倾斜摄影建模中,地面控制点(GCP)是模型地理配准与精度控制的重要保障且作用很关键,任务区域的各个角落以及中部关键地形变化区域都应分布控制点以形成良好的空间约束体系,任务规模与精度需求决定控制点数量且一般每平方公里设5~10个控制点并用高精度RTK或者全站仪测量三维坐标且误差要控制在厘米级,控制点的位置要选在视野开阔、标识稳定、镜头容易捕捉的区域且避开反光面和遮挡物以保证在多幅影像里都能清楚看到,为提高建模精度也可结合检查点布设用来在后期验证精度,数据采集完了之后要严格整理编号、坐标记录、影像对应关系并建立完整的数据管理体系,影像数据和控制点信息要同步备份且做初步质检以排除模糊、缺失、重复数据从而给后续建模流程提供规范、高质量的原始资料基础。

## 4 三维建模与精度控制策略

### 4.1 数据预处理与图像匹配技术

三维建模前的数据预处理环节对后续模型的质量与精度有着直接的影响,其关键任务是图像筛选、坐标校验、控制点导入和影像配准。采集的影像需先进行质量检查,剔除模糊、曝光异常或者重复的图像以保证用于建模的数据清晰、连续且重叠度足够,之后将无人机采集的POS数据和影像文件关联起来统一坐标系与高程基准,从而防

止数据不一致带来误差。控制点数据导入软件进行定位标注且要和影像中的标识点一一对应,这样空三匹配的空间约束能力就会增强。到图像匹配阶段,使用 SIFT、SURF 或者 ORB 等特征提取算法提取图像关键点,再通过匹配算法让不同影像间的特征对齐,从而构建出稀疏点云。现代建模软件集成了高效的图像匹配引擎,能自动完成匹配过程并形成结构化的点云关系以供空三重建使用。

#### 4.2 三维建模软件应用与操作流程

倾斜摄影采集的多视角影像数据,三维模型构建需借助 Pix4D、ContextCapture、Photoscan(AgisoftMetashape)、RealityCapture 等常用的专业建模软件,这些软件集成了影像导入、空三重建、点云生成、模型构建与纹理贴图等全流程功能。建模操作流程大体有五步,先导入原始影像数据和控制点坐标并设定好坐标系统和投影参数,接着自动空三重建并靠光束法平差生成高精度稀疏点云,再生成密集点云以提取地物表面细节特征,之后进行三角网(Mesh)重建与纹理映射得到可视化且真实感强的三维模型,导出模型成果如 DSM(数字表面模型)、DOM(正射影像图)、三维模型文件(如 OBJ、LAS、FBX 等)用于后续分析或者平台集成。操作时需考虑区域复杂性和模型用途,灵活选择参数设置与输出格式并结合硬件资源优化处理,这样才能提高建模效率和成果稳定性。

#### 4.3 精度验证与误差修正方法

三维模型完成之后,要对其进行系统的精度验证与误差修正工作,只有这样才能确保成果可用且有工程应用价值。精度验证大多用控制点与检查点残差对比法,即将已知坐标点在模型里的重投影位置跟实测坐标作比较,算出平面误差和高程误差, RMSE(均方根误差)、最大偏差与误差分布图等是常见指标,误差需控制在目标精度要求范围里(像 1:500 测图就得控制在 10cm 以内),若发现误差太大就要分析原因,控制点标注不准、影像匹配偏移或者坐标系统不一致等都有可能,采取针对性的修正措施,误差修正常用的方法有重新标注控制点、优化空三参数、引入检查点重新调整模型或者局部修补点云与纹理,特定区域建模畸变严重时还可以用手动编辑、重新采集局部数据或者融合激光扫描数据等方式来增强精度,系统地实施精度控制策略,最终就能得到几何精度高、视觉效果真实、适用性强的三维模型,满足油气田各种精细测绘与工程分析的需求。

### 5 典型应用案例与实践成效分析

#### 5.1 某油田应用场景数据采集概况

西北某典型油田区域地形起伏大,有沙丘、戈壁、裸岩等多种地貌,传统测绘难以全面高效获取数据,项目让多旋翼无人机带着五镜头倾斜摄影系统,在预设约 2.6 平方公里区域飞行测绘,飞行参数设为航高 90m、航向重叠 80%、旁向重叠 70%,6 批次飞行下来采集影像近 8000

张,并且布设 9 个高精度控制点和 3 个检查点,用 RTK 技术测三维坐标以保证数据几何精度符合建模要求,整个采集仅花 2 天,作业效率大大提高。

#### 5.2 三维模型成果展示与对比分析

专业建模软件处理采集的数据后生成高精度三维地形模型,像数字表面模型(DSM)、实景纹理模型以及正射影像图(DOM)都包含在内且空间分辨率能达到 5cm,倾斜摄影模型相较于传统地面测量成果在地物表达的立体感与完整性上更胜一筹,在设备区、道路、沟壑等细节区域建模效果尤其突出,该模型不但能准确还原地形起伏和人工设施轮廓,而且可直接用于油田设施规划、管线走向分析和地形变化监测,工程适应性与可视化能力良好。

#### 5.3 成本效益评估与推广建议

无人机倾斜摄影建模用于本次项目,在作业周期、人力投入和数据精度上都比传统方法要好,同等作业规模时成本能降大概 40%且测绘周期能缩短 70%还多,作业人员只要 3 个就够了且安全性和便捷性提高很多,成果的工程适配度和更新灵活性也不错,该技术完全有潜力在油气田开发全生命周期推广应用,建议根据区域特点建标准化飞行和建模流程并推动技术和 BIM、GIS 平台集成,把油气田地理信息系统建设水平再提一提。

### 6 结语

多旋翼无人机倾斜摄影技术具有高精度、高效率、低成本等优势,在油气田三维地形建模中成效显著,科学规划航线、高质量采集数据、精细化建模流程既能提高作业效率,又可使模型质量和地形表达精度大幅改善,实践证明该技术在复杂地貌、偏远区域和动态更新场景下适应性广有推广价值,以后要继续推动其与 GIS、BIM 等系统深度融合,构建智能化、标准化的油气田测绘新体系以推动行业数字化发展。

#### [参考文献]

- [1]安晓辉.无人机倾斜摄影测量技术在油气田工程的应用策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(9):163-165.
  - [2]高瑞帅.2022 年石油天然气勘查技术中心站第 29 次技术交流研讨会论文集[C].中国建筑学会工程勘察分会:中国建筑学会工程勘察分会,2022.
  - [3]郑国威,贾鹏,李晓飞,等.无人机影像匹配点云技术在油气田线路测量中的应用[J].测绘标准化,2020,36(4):66-68.
  - [4]龙奕鑫.探析地质测绘中无人机低空摄影测量技术的应用[J].中国设备工程,2025(11):219-221.
  - [5]庞金昆.无人机倾斜摄影测量在沁水县基础测绘中的应用研究[J].华北自然资源,2025(3):80-84.
- 作者简介:逢万泽(1993.12—),毕业院校:黑龙江工程学院,所学专业:测绘工程,当前就职单位:大庆油田设计院有限公司,职称级别:助理工程师。