

无人机倾斜摄影技术在油田场站三维建模中的应用

汪洋

大庆油田设计院有限公司, 黑龙江 大庆 163712

[摘要]针对传统油田场站三维建模效率低和精度不足及场景还原度差等问题, 文章结合无人机倾斜摄影技术的核心特性, 系统研究其在油田场站三维建模中的技术流程、精度控制方法及应用价值, 构建一套科学、高效、精准的油田场站三维建模技术体系。重点探讨航线规划和影像采集与空三加密等核心步骤的优化策略, 提升建模效率和降低作业成本及保障作业安全, 为油田场站数字化和智能化建设提供坚实的技术支撑。

[关键词]无人机倾斜摄影; 油田场站; 三维建模; 空三加密; 精度控制; 数据处理

DOI: 10.33142/sca.v9i2.19091

中图分类号: P23

文献标识码: A

Application of Unmanned Aerial Vehicle Oblique Photography Technology in 3D Modeling of Oilfield Stations

WANG Yang

Daqing Oilfield Design Institute Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163712, China

Abstract: In response to the problems of low efficiency, insufficient accuracy, and poor scene restoration in traditional 3D modeling of oilfield stations, this article combines the core characteristics of unmanned aerial vehicle oblique photography technology to systematically study its technical process, accuracy control methods, and application value in 3D modeling of oilfield stations. A scientific, efficient, and accurate 3D modeling technology system for oilfield stations is constructed. The focus is on exploring optimization strategies for core steps such as route planning, image acquisition, and aerial triangulation encryption, in order to improve modeling efficiency, reduce operational costs, and ensure operational safety, providing solid technical support for the digital and intelligent construction of oilfield stations.

Keywords: unmanned aerial vehicle oblique photography; oilfield station; 3D modeling; space three encryption; precision control; data processing

引言

油田场站具有设备密集、布局复杂的特点, 且对安全的管控要求极为严苛。在传统的油田场站三维建模领域中主要运用手工建模、三维激光扫描建模等手段, 这是手工的建模方式, 主要依赖于建模人员的专业技能, 受个人主观因素影响较大。三维激光扫描建模技术, 虽然可以获得较高精度的三维数据, 是该技术也存在一定的局限性, 首先设备的购置成本较高, 另外, 操作的过程较为复杂, 不仅整个作业流程繁琐冗长, 而且对于作业人员的专业素质水平要求极为严格。无人机倾斜摄影技术能够快速获取地物的全方位影像数据, 实现复杂场景的三维重建, 可有效解决传统建模技术的痛点, 提升建模效率与模型质量, 为油田场站数字化管理提供可靠的三维数据支撑, 推动油田行业的智能化发展。

1 无人机倾斜摄影技术特性

无人机飞行平台小巧轻便, 能在油田场站密集设备间自由穿梭, 不受地形与设备布局束缚。可迅速抵达传统建模难以触及的高空储油罐顶部、密集管线区域等, 全方位采集影像, 轻松解决复杂场景建模难题。无人机倾斜摄影

采集影像速度极快, 相比传统手工和三维激光扫描建模, 效率提升 5~10 倍。以 10 万 m² 油田场站为例, 1~2d 完成影像采集, 3~5d 搞定数据处理与三维建模, 而传统手工建模需数月, 极大缩短了周期。多视角倾斜相机可同时获取地物顶面和立面信息, 影像分辨率达厘米级, 能精准捕捉设备细节, 如储油罐焊缝、输油管道接口、阀门型号等。结合三维重建技术, 生成的三维模型与实际场景高度相似, 还原度超 95%。通过优化航线规划、加强空三加密精度控制、采用高精度匹配算法, 无人机倾斜摄影建模平面精度达 $\pm 5\text{cm}$, 高程精度达 $\pm 10\text{cm}$, 能满足油田场站设备测量、规划设计、维护检修等工作的精度要求。该技术无需大量人员现场操作, 1~2 名操作人员即可完成影像采集, 大幅降低人力成本。同时, 作业人员无需进入高压管线、储油罐周边等危险区域, 有效规避安全风险, 提升作业安全性。采集的影像数据和三维模型能与油田场站的地理信息系统 (GIS)、设备管理系统、应急指挥系统等对接, 实现数据共享与二次利用。还能根据实际需求更新、修改三维模型, 可扩展性强。油田场站设备密集、构筑物多样, 传统建模难以全面覆盖。无人机倾斜摄影凭借机动

灵活性,可全方位采集密集设备、高空构筑物、复杂管线影像,确保三维模型完整。油田场站对设备尺寸、空间位置等参数精度要求高。无人机倾斜摄影的厘米级影像分辨率和高精度三维重建能力,能精准还原设备尺寸、位置及细节,满足设备测量、维护检修等精度需求。油田场站面积大、建模周期短且危险区域多。无人机倾斜摄影高效作业,能缩短建模周期、降低成本,同时保障作业人员安全,符合安全管理要求。

2 无人机倾斜摄影在油田场站三维建模中的技术流程

2.1 前期准备

前期准备工作可以确保建模工作顺利开展,首先对油田场站的设备分布范围,周边环境进行全面的调研,对建模的重点区域边界范围进行明确,从而制定针对性的作业方案。在设备的选型方面,主要以油田场站的建模需求为依据进行合理选择。无人机飞行平台优先选择多旋翼无人机,倾斜相机选择分辨率不低于 2000 万像素的多镜头相机,镜头焦距选择 24~35mm,具备 GPS/IMU 定位功能。飞行高度根据建模精度要求确定,精度要求越高,飞行高度越低,飞行速度控制在 5~8m/s,航向重叠度设置为 80%~85%,旁向重叠度设置为 70%~75%。

2.2 航线规划

航线规划对影像采集的质量与效率有着直接的影响,因此,可以基于油田场站的布局特点合理规划航线。在地面控制站软件中导入油田场站的边界坐标,划定建模范围,针对油田场站的整体区域,采用井字飞行航线,针对储油罐区、密集管线区重点区域采用环形飞行或往复飞行的方式进行补飞。飞行速度根据光线条件与影像重叠度进行调整,光线充足时可适当提高飞行速度,光线较暗时降低飞行速度。起降点选择场站周边开阔、无障碍物、交通便利的区域,避开高压电线、易燃易爆区域等危险区域。完成航线规划后,检查航线是否完整覆盖建模范围、重点区域是否进行补飞、飞行高度与速度是否合理,若发现问题,及时调整航线参数。

2.3 影像采集

飞行前,对无人机设备进行全面检查,检查地面控制站与无人机的通信信号,检查飞行区域的天气条件。操作人员在起降点操控无人机,按照规划的航线进行自动飞行,无人机飞行过程中,多镜头相机同步采集影像,若出现异常及时调整飞行状态或紧急降落。对储油罐顶部、密集管线区、高空泵房重点区域进行补飞,补飞时适当降低飞行高度、提高影像重叠度。影像采集完成后,筛选出模糊、过亮、过暗、有遮挡的无效影像,若无效影像数量较多,需重新进行对应区域的影像采集。在影像采集的过程中需要注意环境调节,避免在逆光强光条件下采集影像,同时要确保影像的重叠度符合标准要求。

2.4 数据处理

影像预处理旨在消除影像畸变、噪声,调整亮度、对比度等以确保质量,为后续空三加密与三维重建提供可靠数据,具体包括用专业软件进行畸变校正,筛选删除无效影像并编号,以及根据实际情况增强影像、降噪处理。空三加密是无人机倾斜摄影三维建模核心技术(空三加密流程如图 1 所示),先导入预处理影像及相关参数并设置空三加密参数,接着提取匹配特征点建立影像关系,再进行自由网平差构建稀疏点云并剔除粗差,建模精度要求高时可布设地面控制点进行控制点平差,最后检查空三成果,有问题则重新处理直至符合要求。密集点云生成在空三加密成果基础上,先设置密集匹配参数,再执行密集匹配生成三维密集点云,过程中软件自动处理遮挡等区域,生成后优化点云,剔除冗余等点、填补漏洞,最后检查点云质量,不符合要求则调整参数重新匹配。

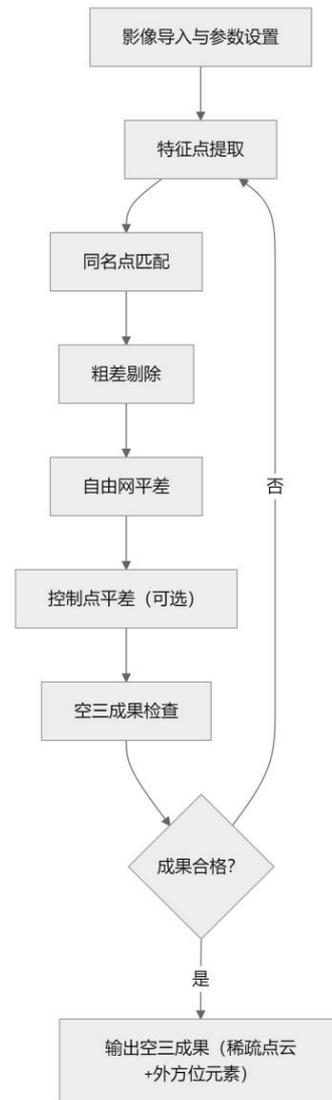


图 1 空三加密流程

2.5 三维重建

网格构建采用约束德劳内三角网 (CD-TIN) 算法, 通过连接密集点云中的点, 构建三角形网格, 形成三维几何表面, 油田场站建模通常设置中等分辨率, 兼顾模型细节与建模效率, 对于油田场站的输油管道、阀门复杂设备需对网格进行精细化调整, 确保网格能够精准贴合设备的外形特征。软件自动从预处理后的影像中提取纹理信息, 匹配对应的影像纹理, 纹理进行融合处理, 消除纹理之间的拼接痕迹。

2.6 模型优化与精度验证

三维模型生成后, 对三维模型的几何形状进行优化, 调整模型的尺寸与空间位置, 进行精细化调整, 消除纹理模糊、拉伸、拼接痕迹等问题, 删除模型中的冗余数据 (如多余的网格面、纹理碎片), 减小模型文件大小, 提升模型的加载速度与运行效率, 根据油田场站的坐标系统, 对三维模型进行坐标校准, 便于模型与 GIS 系统、设备管理系统的对接与数据共享。在油田场站现场选取一定数量的验证点, 同时选取部分重点设备的特征点 (如储油罐的顶部中心点、输油管道的接口点) 作为验证点, 验证点数量不少于 20 个。实际测量用 GPS-RTK 技术测验点三维坐标, 精度控制在 $\pm 2\text{cm}$ 内, 模型量测在三维模型中找到对应点并记录坐标, 依据油田场站标准判断精度是否达标, 精度不达标则分析误差原因 (如航线、影像、空三加密问题)。

3 无人机倾斜摄影油田场站三维建模的精度控制策略

无人机倾斜摄影油田场站三维建模的精度容易受到航线的规划、影像采集、数据处理、设备性能等方面因素影响, 导致模型精度下降。在航线的规划方面, 应该严格控制航向重叠度, 从而提高影像匹配与建模的精度。航向的重叠度不低于 80%, 旁向的重叠度不低于 70%, 以此确保相邻的影像之间有充足的重叠区域。对于密集管线区、储油罐区等重点区域而言, 因其目标密集地形较为复杂, 因此, 对于影像的精度要求更加严格, 可以适当调高重点区域的重叠度, 通常为 85% 以上, 以此确保不同影像之间有足够的同名点, 从而避免因目标遮挡、地形起伏等特殊原因导致的匹配错误情况, 提升空三加密的精度。保持飞行高度的均匀性可以有效避免因高度变化而引起的影像畸变和尺度差异的情况, 因此, 需要严格控制飞行的高度波动, 以不超过 5 米为宜。为了确保飞行区域内的每一个角落都被影像覆盖, 建议采用井字飞行+重点区域补飞的方式, 避免出现遗漏区域。提前排查场站周边的如建筑物、树木、电线杆、通信塔等飞行障碍物, 并根据障碍物的分布情况合理规划航线。飞行前对相机进行校准, 根据现场光线条件, 调整相机曝光参数, 严格控制飞行速度 (5-8m/s)。在数据处理方面, 严利用相机内参数准确修正影像畸变, 合理进行影像增强处理, 选择合适的特征点

提取与匹配算法, 设置合理的匹配阈值, 减少误匹配、漏匹配的情况, 对密集点云进行优化处理, 剔除冗余点、噪声点、孤立点。设置合理的网格分辨率与纹理映射参数, 对模型进行精细化优化, 确保模型与实际场景高度一致。无人机飞行平台选择具有高精度 GPS/IMU 定位功能的多旋翼无人机, 定位精度不低于 $\pm 1\text{cm}$; 倾斜相机选择分辨率不低于 2000 万像素的多镜头相机, 配备备用电池、存储卡、相机等设备, 避免因设备故障导致作业中断, 减少因作业中断对模型精度的影响。

4 无人机倾斜摄影与传统建模技术的性能对比

为验证无人机倾斜摄影技术在油田场站三维建模中的优越性, 将其与传统建模技术进行性能对比, 如表 1。

表 1 无人机倾斜摄影与传统建模技术的性能对比

对比指标	无人机倾斜摄影建模	手工建模	三维激光扫描建模
建模效率	高, 10 万 m^2 场站 3~5 天完成	极低, 10 万 m^2 场站数月完成	中等, 10 万 m^2 场站 10~15d 完成
建模精度	高, 平面中误差 $\leq \pm 5\text{cm}$, 高程中误差 $\leq \pm 10\text{cm}$	低, 误差 $\geq \pm 50\text{cm}$, 还原度差	高, 平面中误差 $\leq \pm 3\text{cm}$, 高程中误差 $\leq \pm 5\text{cm}$
作业成本	低, 仅需 1~2 名操作人员, 设备成本适中	高, 需多名专业建模人员, 人工成本高	极高, 设备成本昂贵, 操作人员要求高
安全性	高, 操作人员无需进入危险区域	中等, 需现场勘查, 存在一定安全隐患	低, 操作人员需进入危险区域进行扫描
场景适配性	强, 适配密集设备、高空区域等复杂场景	弱, 难以适配复杂场景, 易出现漏建、错建	中等, 密集区域存在扫描盲区
模型还原度	高, 还原度 $\geq 95\%$, 可精准还原设备细节	低, 还原度 $\leq 70\%$, 细节缺失严重	高, 还原度 $\geq 98\%$, 细节丰富

由表 1 可知, 无人机倾斜摄影建模技术相比传统手工建模, 在建模效率和建模精度及模型还原度等方面均具有显著优势, 无人机倾斜摄影建模技术在作业成本和场景适配性及建模效率方面具有明显优势, 且成本更低、适配性更强, 更适合油田场站的大规模三维建模工作。

4 结论与展望

4.1 结论

无人机倾斜摄影技术凭借其独特优势为油田场站的数字化、智能化管理提供了坚实技术支撑, 有助于提升油田场站三维建模效率与质量。通过借助三维模型, 以便维修检修人员制定针对性的维修检修方案提供重要的参考信息, 如设备的位置、结构以及周边环境, 避免盲目作业引发安全事故。此外, 通过三维模型模拟维护检修过程, 还能进一步优化作业流程, 提升维护检修的效率, 最大限度地减少事故损失, 提升油田行业的整体发展水平。目前, 无人机倾斜摄影技术已在部分油田场站的三维建模中得

到应用，并取得了良好效果。

4.2 展望

目前无人机倾斜摄影技术已在部分油田场站的三维建模中取得了良好效果。随着技术的不断成熟与完善，未来，无人机倾斜摄影技术将与5G技术、虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术等新型技术结合，可实现数据的实时高速传输，为管理人员提供更加沉浸式的三维模型体验，降低实际作业中的安全风险，推动油田场站的高质量发展，提升油田行业的整体竞争力。

[参考文献]

- [1]孙杰,谢文寒,白瑞杰.无人机倾斜摄影技术研究与应用[J].测绘科学,2019,44(6):145-150.
- [2]黎其添.基于倾斜摄影测量的大比例尺地形图测绘及精度评定[J].测绘通报,2019(11):143-146.
- [3]黄健,王继.多视角影像自动化实景三维建模的生产与应用[J].测绘通报,2016(4):75-78.
- [4]姜远坤.无人机仿真三维模型在公路施工中的应用[J].中国水运(下半月),2022,22(11):33-35.
- [5]高宇,郭立超.基于线性回归模型的无人机航摄评价研究[J].西部大开发(土地开发工程研究),2020(3):23-29.
- [6]方荣辉,杨淑群,兰宁.基于数字孪生的无人机巡航系统[J].制造业自动化,2022,44(11):98-101.
- [7]陈济爱.基于无人机倾斜摄影的实景三维建模技术研究[J].智能城市,2024,10(12):48-50.
- [8]李杨.基于无人机倾斜摄影测量的精细化三维建模及可视化[J].信息记录材料,2024,25(6):223-225.
- [9]胡群珍,胡燕琴.无人机倾斜摄影测绘技术在城市实景三维建模中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):31-33.
- [10]李明哲.基于无人机倾斜摄影测量影像处理与三维建模的研究[J].建筑与预算,2024(3):49-51.

作者简介：汪洋（1982.2—），毕业院校：武汉大学，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，职务：工程测量，职称级别：工程师。