

# 基于无人机倾斜摄影的电力线路三维测量与建模技术研究

丘 苇

广西博阳电力勘察设计有限公司 广西 南宁 530028

**摘要：**倾斜摄影测量通过多视角影像采集等构建电力线路三维模型，涵盖测量流程、建模关键技术及应用场景。其优势显著，效率高、成本低、精度高且纹理真实，能应对复杂环境。未来发展趋势包括推动多传感器集成、应用AI算法、实现全流程自动化、开展实时动态监测以及推动三维模型数据格式标准化，以提升模型综合价值与利用效率，为电力线路工作提供有力支持。

**关键词：**无人机；倾斜摄影；三维测量；建模技术

引言：在电力行业快速发展与智能化转型浪潮下，精准高效的数据采集与三维建模技术成为关键支撑。倾斜摄影测量凭借无人机搭载多镜头相机系统，实现多视角影像采集，结合先进算法与设备，构建出高精度三维模型。其在电力线路测量中优势显著，正朝着多传感器融合、AI深度应用、全流程自动化等方向发展，为电力行业带来新的变革与机遇。

## 1 倾斜摄影测量的基本原理与系统构成

### 1.1 倾斜摄影测量技术原理

多视角影像采集机制依靠无人机搭载多镜头相机系统实现，该系统可同时从五个角度采集目标区域影像，包括一个垂直角度和四个倾斜角度。这种采集方式能全面获取地物信息，不仅能捕捉地物顶面的细节，还能收集侧视方向的高分辨率纹理信息。相比传统单一视角采集，它避免了信息缺失问题，为后续构建精准三维模型提供了丰富且完整的原始影像数据，保障了模型构建的基础质量。空间定位与几何关系构建需结合两类关键数据，分别是包含位置、姿态、速度的相关数据和像控点坐标。随后运用空中三角测量技术对这些数据进行处理，通过该技术可精准恢复影像的外方位元素。外方位元素确定后，就能实现影像空间位置的准确匹配，进而完成三维坐标的解算工作。这一过程建立起影像与实际空间的精准几何对应关系，为后续三维重建工作提供了可靠的定位依据，确保重建模型的空间准确性。三维重建算法以多视角影像密集匹配技术为核心基础。其工作流程依次为特征点提取、同名点匹配、点云生成和三角网构建<sup>[1]</sup>。先从多视角影像中提取具有代表性的特征点，再将不同影像中对应同一空间点的特征点进行匹配，形成同名点。基于匹配好的同名点生成点云，点云

能初步反映地物空间形态，最后通过三角网构建技术将点云转化为三角面，结合影像纹理信息，生成具有真实纹理的实景三维模型，还原地物的实际样貌。

### 1.2 倾斜摄影测量系统构成

无人机平台是倾斜摄影测量的空中作业载体，主要分为多旋翼无人机和固定翼无人机两种类型。该平台需具备长续航能力，以满足较大范围区域的影像采集需求，避免因续航不足中断作业；同时要拥有高稳定性，确保飞行过程中姿态平稳，减少影像模糊或错位情况；还需具备较强的抗风能力，在遇到风力影响时，仍能保持正常飞行状态，保障影像采集工作进行顺利。倾斜摄影载荷的核心是五镜头相机系统，由一个垂直镜头和四个倾斜镜头组成。该系统的关键功能是支持高分辨率影像采集，能从多个角度同步捕捉目标区域影像。高分辨率特性可清晰呈现地物的细微特征，无论是地物的纹理结构还是形态细节，都能准确记录。其所采集的多视角高分辨率影像，是后续开展三维重建和各类专业分析应用的重要数据支撑，直接影响最终成果的精度和质量。地面控制设备由地面站软件、差分GPS基站和像控点测量仪器构成，是保障测量工作有序开展的重要组成部分。地面站软件用于实时监控无人机飞行状态，包括飞行轨迹、速度等，并可根据实际情况调整飞行参数；差分GPS基站能为无人机提供定位校正服务，提升无人机的定位精度；像控点测量仪器则用于获取像控点坐标，像控点坐标的准确性对后续数据处理和几何关系构建至关重要，直接关系到测量成果的整体精度。

数据处理软件承担着倾斜摄影测量数据处理的核心任务，具备完善的功能体系。其功能涵盖影像预处理、空三计算、点云生成和三维建模。影像预处理可去除原

始影像中的噪声、畸变等干扰因素,优化影像质量;空三计算能恢复影像外方位元素,建立影像间几何关系;点云生成将处理后的影像信息转化为空间点云数据;三维建模则把点云数据构建成直观的三维模型,为后续模型优化和分析应用奠定基础。模型优化工具的主要作用是对初步生成的三维模型进行完善和提升,包含模型修饰、纹理映射和精度验证三项核心功能。模型修饰可处理模型中的缺陷部分,如多余结构、形态偏差等,使模型形态更贴合实际地物;纹理映射能优化纹理与模型表面的贴合度,避免出现纹理错位、拉伸等问题,提升模型视觉效果;精度验证通过专业技术手段检测模型精度,判断是否符合测量任务要求,若精度不达标则可及时调整优化。分析应用平台集成了GIS、BIM和电力专业分析等多种模块,具备多样化的功能<sup>[2]</sup>。这些集成模块可支持对三维模型开展各类专业分析操作,满足不同领域的应用需求;平台支持三维场景交互功能,工作人员可通过交互操作浏览、漫游三维场景,更直观地了解地物空间分布情况。

## 2 电力线路三维测量与建模技术

### 2.1 电力线路三维测量技术流程

外业数据采集包含航线规划、影像采集和像控点测量三个关键环节。航线规划需结合线路走廊的地形特征,针对平原、山地、城市等不同地形,合理设计飞行高度,将重叠度设定在航向百分之七十七至八十五、旁向百分之六十至七十的范围,并制定科学的像控点布设方案,为后续数据采集提供准确指引。影像采集需执行多架次飞行,通过多次起降覆盖线路走廊全域,确保获取的高分辨率影像无遗漏、无盲区,为后续建模提供完整数据。像控点测量需先在地面布设控制点与检查点,再用全站仪或RTK设备精确测量,获取高精度坐标,为内业数据处理提供可靠基准。内业数据处理围绕影像预处理、空三计算和模型构建展开。影像预处理是基础步骤,包括畸变校正、色彩均衡和影像分块。畸变校正消除设备拍摄产生的几何偏差,色彩均衡统一不同影像的色调,影像分块将大幅影像拆分以提升处理效率<sup>[3]</sup>。空三计算需联合垂直与倾斜影像进行混合平差,通过复杂运算消除影像误差,生成密度高、精度准的密集点云数据。模型构建则采用三角剖分或体素化方法生成三维线框模型,再将真实纹理精准映射其上,形成与实际场景高度契合的三维模型。

### 2.2 电力线路三维建模关键技术

杆塔与导线精细化建模是保障模型精度的核心。杆塔建模以点云数据为依据,通过专业算法提取杆塔的高

度、截面尺寸、连接结构等特征,再利用参数化建模技术将这些特征转化为模型参数,生成结构、尺寸与实际完全一致的三维杆塔模型,清晰呈现细节。导线建模先借助点云拟合出导线的空间曲线,再结合导线张力特性与弧垂计算结果,对曲线进行修正,消除拟合误差,确保模型能准确反映导线实际空间状态,为安全分析提供支撑。多源数据融合技术可提升模型质量与应用价值。激光雷达数据融合是将机载LiDAR点云数据与倾斜摄影获取的数据结合,LiDAR点云精度高,能弥补倾斜摄影在细节捕捉上的不足,显著提升模型几何精度,让杆塔、导线及周边环境的细微特征更清晰。BIM模型集成则将电力线路三维模型与电力设备BIM模型进行空间对齐,实现数据关联,工作人员可通过模型快速查询设备参数、运行状态,实现设备级精细化管理。模型优化与轻量化技术关乎模型实用性与运行效率。模型修饰针对构建中出现的漏空区域、形态变形和纹理模糊问题,通过专业工具填补漏空、修正变形、优化纹理,提升模型完整性与视觉效果,确保模型真实反映实际。LOD分层处理根据应用需求生成不同分辨率模型,大范围浏览时调用低分辨率模型保证渲染流畅,查看细节时切换高分辨率模型满足分析需求,实现大规模场景高效交互。

### 2.3 电力线路三维模型应用场景

规划设计阶段,三维模型可助力线路选线优化与交叉跨越分析。线路选线优化时,在三维场景中搭建多种路径方案,直观查看各方案经过区域的地形、植被和建筑物分布,评估建设难度、成本及环境影响,筛选最优路径。交叉跨越分析利用模型的空间测量功能,精确计算导线与树木、建筑物等的净空距离,及时发现不满足安全要求的区域,提前制定整改措施,规避运行风险。施工建设阶段,三维模型可用于施工进度监控与资源调配优化。施工进度监控通过定期建模,将实际模型与设计模型对比,精准识别杆塔位置、导线高度、基础尺寸等方面的偏差,实时跟踪进度与质量,及时调整方案,确保施工按计划推进<sup>[4]</sup>。资源调配优化依托模型量化土方开挖量、回填量及材料用量,合理规划设备摆放空间,避免设备占用过多场地或相互干扰,提高资源利用率,降低成本。运维管理阶段,三维模型支撑设备状态评估与灾害应急响应。设备状态评估时,通过模型全方位查看杆塔、导线,利用测量与比对功能定位杆塔倾斜、导线断股、绝缘子破损等缺陷,减少现场巡检工作量,及时安排检修,保障线路正常运行。

## 3 技术优势与发展趋势分析

### 3.1 技术优势

在电力线路数据采集工作中,无人机凭借灵活的飞行能力,单日可完成数十公里线路走廊的影像与数据采集任务。相较于传统人工测量需逐点勘测、进度缓慢的模式,这种采集方式大幅缩短了数据获取周期,效率较传统测量提升数倍,能快速满足大范围线路测量的需求,为后续建模与分析工作节省大量时间。该技术能显著减少人工攀爬杆塔进行数据采集的工作量,同时降低地面测量人员的作业强度。人工攀爬杆塔存在较高安全风险,地面测量也需投入大量人力,而技术应用后,外业安全风险得到有效控制,人力投入减少,进而降低了整体人力成本,为电力线路测量工作节约了经济开支。通过多视角影像匹配技术,可将不同角度采集的影像进行精准关联,再结合像控点的坐标约束,能有效消除影像采集过程中的误差。经过这样的处理,构建出的电力线路三维模型平面精度可达到厘米级,能准确反映线路走廊内地物的空间位置关系,满足电力线路规划、施工等环节对精度的严格要求。三维模型的纹理直接来源于实际采集的影像,无需通过人工绘制或简化处理生成。这种直接映射真实影像纹理的方式,完整保留了地物表面的色彩、细节特征,避免了传统建模中因简化纹理或主观绘制导致的纹理失真问题,使模型在外观上与实际场景高度一致,提升了模型的直观性与可信度。面对山区地形崎岖、河流阻隔、城市区域建筑物密集等传统测量难以开展的复杂环境,该技术可借助无人机的飞行优势轻松穿越。

### 3.2 发展趋势

未来将进一步推动激光雷达、红外热成像与多光谱等不同类型传感器的集成应用。激光雷达可提供高精度三维坐标数据,红外热成像能捕捉物体热辐射信息,多光谱数据可反映地物光谱特征,三者融合后,能为三维模型补充更多维度的信息,突破单一传感器在信息获取上的局限,提升模型的综合价值。AI算法,尤其是深度学习技术,将在电力线路三维建模中发挥更重要作用。通过深度学习算法,可对海量点云数据进行自动分类,区分杆塔、导线、植被等不同地物;还能实现线路缺陷的智能识别,及时发现杆塔倾斜、导线断股等问题;同

时可对构建的模型进行自动优化,减少人工修正工作量,提升建模效率与质量<sup>[5]</sup>。后续将逐步实现从航线规划到模型生成的全流程自动化操作。当前建模过程中部分环节仍需人工干预,而全自动流程可通过预设算法与参数,自动完成航线设计、影像采集、数据处理、模型构建等所有步骤,无需人工反复操作,大幅减少人为因素对建模效率与精度的影响,提升整体工作效率。借助5G通信技术高速率、低延迟的数据传输能力,结合边缘计算对数据的快速处理能力,可实现对电力线路状态的实时动态监测。系统能实时采集线路的运行参数、周边环境变化等数据,通过边缘计算快速分析处理,及时感知线路异常状态,并发出预警信息,为线路运维提供及时的决策支持。当前三维模型数据格式多样,不同格式间兼容性较差,给数据共享与应用带来不便。未来将推动三维模型数据格式的标准化工作,推广通用、高效的数据格式,确保不同平台、不同软件生成的模型数据能够顺畅交互与共享,打破数据壁垒,提升数据的利用效率。

结束语:倾斜摄影测量与电力线路三维测量建模技术凭借高效的数据采集、高精度建模、真实纹理呈现等优势,在电力领域展现出巨大价值。未来,随着多传感器融合、AI算法应用、全流程自动化、实时动态监测以及数据格式标准化等趋势的发展,该技术将不断完善,为电力线路的规划、建设、运维等提供更强支持,推动电力行业向智能化、高效化迈进。

### 参考文献

- [1]李凯,吴志强.倾斜摄影测量技术及其三维建模研究[J].测绘科学,2023,48(7):112-117.
- [2]闫永杰,马亚奇,冯绍山.基于倾斜摄影的电力三维实景建模技术研究与应用[J].当代电力文化,2021(8):12-17.
- [3]王忠成.基于无人机倾斜摄影测量的三维建模技术研究[J].科技新时代,2025(9):89-95.
- [4]冯俊达.无人机倾斜摄影测量在三维建模中的应用研究[J].工程建设标准化2025(8):111-119.
- [5]梁云飞,文涵.无人机倾斜摄影测量在三维建模中的应用研究[J].中国科技人才2025(11):25.