航空倾斜摄影测量技术在国土空间规划中的应用及实践

王静宇

摘　要：新时期的国土空间规划迫切需要更多的空间信息表示，而传统的 2D 制图数据存在信息单一、立体感知不强、核查效率低下等问题，很难满足规划编制、审批、监管和动态监管的需要。机载倾斜摄影测量可实现多视角图像的高效率、高精度三维建模，快速建立真实场景的三维模型，为高效率、高精度地获取地理空间信息提供了新途径。论文从多个角度对其应用进行了说明，研究结果显示，这一方法可以提高规划的科学性和直观性，促进规划管理的转变，对于建设现代的国土空间治理体系具有重要的意义。

关键词：航空倾斜摄影测量；国土空间规划；GIS

一、引　言

国土空间规划对经济社会发展意义重大，在资源优化配置、生态保护等方面作用凸显。当下“实景三维中国”建设推进，自然资源管理向三维立体管控转变，传统管理方式难以满足全域覆盖等要求。航空倾斜摄影测量技术打破传统垂直摄影局限，多镜头多角度成像还原地物信息，经处理生成实景三维模型，具备效率高、精度高、可量测等优势，在基础测绘、城市规划等领域广泛应用且成效显著。

二、传统国土空间规划数据采集方式的局限

传统国土空间规划中，数据采集主要依靠地面测绘和传统遥感等技术手段。伴随新时代自然资源规划需求更加精确、更加多元化和三维直观化，这些传统方法的缺点逐渐显露。地面测量工作耗时多，复杂地形和城市密集区很难彻底覆盖和高效采集。传统测绘数据更新速度迟缓，不能跟上信息化时代迅速变化的空间环境。传统遥感影像分辨率不高，侧面信息容易被遮挡，难以获取完整清晰的三维立体空间数据，动态更新不便，无法满足新时代国土空间规划三维实景化、高精度、速度快和覆盖面广的要求，为航空倾斜摄影测量技术的广泛应用提供了很好的契机。

三、航空倾斜摄影测量技术优势

1.航空倾斜摄影测量特点

航空倾斜摄影测量作为新一代摄影测量技术，依托有人或无人航空平台搭载多台专业相机，从垂直、前后左右等多角度同步采集影像数据，可真实获取地物高精度位置与纹理信息。结合相机参数及空间定位数据，通过实景三维处理软件构建符合人眼视觉的真实三维模型，同步生成正射影像 DOM、数字高程模型 DEM 及地理实体数据，并借助三维 GIS 技术实现多元数据集成，为国土空间规划提供强有力的技术支撑。

2.高效精准的数据采集优势

航空倾斜摄影测量技术优势显著，高效精准的多角度遥感影像数据采集能力是其突出特点。传统垂直摄影测量只能获取地物顶部信息，对侧面细节捕捉不足。而该技术能从多个角度同时拍摄地面，全方位、高精度获取地形地物三维信息，完整呈现地物纹理、形状等细节，提升数据丰富度与准确性。在数字城市建模中，能快速获取建筑物详细信息，为城市规划管理提供可靠数据。此外，一次飞行可获取大面积数据，缩短采集时间、提高效率，在大型工程项目规划测绘中，能为项目高效推进提供坚实保障。

3.广泛多元的应用领域优势

航空倾斜摄影测量技术应用极为广泛，展现出强大适应性与实用性。地理信息领域，它能构建高精度

对比项目	传统人工测绘	传统垂直航摄	航空倾斜摄影测量
数据维度	二维为主	二维+高程	真三维、立面+顶面全要素
作业效率	低、周期长	较高	高，大面积快速覆盖
模型真实感	差	一般	强，实景纹理还原度高
空间量测能力	有限	平面为主	三维可量测高度、体积、坡度等
复杂区域适应性	差，人工难以到达	一般	强，山区、建成区均可
规划支撑能力	弱	中	强，可直接用于设计、审批、监管

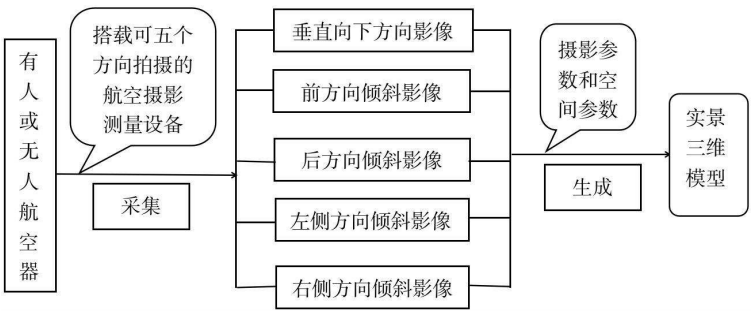
表 1 航空倾斜摄影测量与传统测绘技术对比

三维模型，为 GIS 提供丰富数据，助力信息更新管理；在应急救援时，可快速获取受灾区域三维影像，为救援指挥提供直观准确的灾情，提升救援效率；在文化遗产保护中，能对古建筑等精细建模，留存现状信息。此外，农业里用于作物监测、土地调查，林业中开展资源调查、火灾监测。且随着技术发展，其在智慧城市、虚拟现实等领域的应用持续拓展，为各行业发展注入新动力。

4.技术优势对比

与传统人工测绘、垂直航摄相比，航空倾斜摄影测量在国土空间规划应用中具有明显优势，如表 1 所示。

图 1 航空倾斜摄影测量构建实景三维模型技术原理



四、航空倾斜摄影测量在国土空间规划中的主要应用

1.三维实景模型构建

航空倾斜摄影测量技术具备多视角、高精度数据采集能力，可从垂直及四个倾斜角度同步航摄，获取丰富纹理与几何信息，生成高分辨率三维实景模型。该模型真实反映地形地貌、建筑形态及空间关系，覆盖范围广，为国土空间规划提供精准可量测的全域三维空间参考。在城市规划中，可快速构建城市三维模型，直观呈现空间布局、建筑高度及密度，辅助总体规划与详细规划编制，并有效捕捉地形变化，为地貌监测及地质灾害评估提供可靠数据支撑。

2.基础地理信息数据生产

利用航空倾斜摄影测量获取的影像数据及其生成的三维实景模型，能够快速提取项目区数字高程模型 DEM 和正射影像 DOM 数据，能够高效地生产国土空间规划所需的项目区建构筑物、道路、水系、地名地址、地形地物等实体的基础地理信息数据，可以方便、快捷地构建国土空间规划底图，高效开展国土空间规划三维实景现状调查。

3.“三区三线”划定和“多规合一”优化空间格局

航空倾斜摄影测量构建的实景三维模型，可直观表达地形起伏、水系分布与建设布局，支持坡度、水文等分析，精准识别生态敏感区并避让地质灾害风险区，优化城镇开发边界。通过三维场景与规划图纸对比，有效提升“三区三线”划定的科学性。结合三维 GIS 集成多源数据，构建“多规合一”管理平台，精准优化国土空间格局。

4.三维辅助规划设计

在城市规划中，三维实景模型为规划设计提供真实现状底图，可直接进行方案叠加、建筑布局，直观判断建筑高度、退让距离、天际线效果，进行多方案对比、视线分析、景观分析，快速计算容积率、建筑密度、绿地率等指标，大幅提升方案合理性，减少后期方案落地和实施矛盾。

5.规划审批与动态监管

通过三维可视化审批，替代传统人工看图判读，进行用地预审，自动核算建筑位置、建筑高度、建筑面积、容积率、绿地率等指标，与规划条件、控规指标自动对比，减少人为误差与自由裁量，实现“以图管地、以数管地、以三维管空间”的现代化审批模式。

6.生态保护修复与国土综合整治

三维实景模型可对水土流失、河道侵占、林地破坏进行动态对比，高精度监测矿山修复、林地和湿地恢复，为土地整治、高标准农田建设提供地形和现状依据，实现整治前后效果量化评估，使生态修复与土地整治更加精准。

7.美丽乡村规划

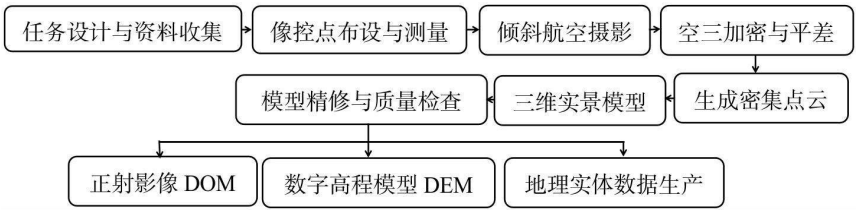


图 2 航空倾斜摄影测量技术流程

在美丽乡村建设中，三维实景模型可快速获取农房、宅基地、道路、沟渠、林地现状，辅助村庄布局优化、危房排查、风貌提升，支撑乡村旅游规划、产业空间布局，实现村庄精细化、可视化管理，为乡村振兴提供直观、可靠的数据支撑。

五、应用实践及成效

1.应用关键

技术思路。航空倾斜摄影测量的总体技术思路是以航空多视角摄影为基础，融合 GNSS/IMU 与地面像控，通过自动化的空三加密、密集点云匹配和纹理映射，高效地生成高精度实景三维模型、正射影像 DOM 和数字高程模型 DEM，同时生产建构筑、道路、水系、地名地址、地形地物等实体的地理信息数据，建成精准、科学、丰富多样的地理空间信息数据库，再利用三维 GIS 对三维实景模型数据、基础地理信息数据、各类规划要素数据进行集成，形成“多规合一”的实景三维国土空间规划信息管理平台。

关键技术。航线设计应保证分辨率一致，山区可采用分区块变高飞行；航向重叠≥80%，旁向重叠≥60%，并确保模型完整无漏洞，成果覆盖项目全域。城区像控点布设每 150～200m 一个，山地可适当稀疏，均匀布设；使用 RTK 进行像控点测量，平面精度和高程精度均优于 3 cm，以确保空三解算精度。模型精修时，需对树木遮挡、水面、电力线、高架结构等进行人工编辑，剔除冗余点云，修补模型漏洞，保证量算准确。三维实景模型与国土空间规划“一张图”平台融合，实现二三维一体化展示、查询、分析与输出。

2.应用案例

航空倾斜摄影测量在国土空间实景三维构建中的应用及成效。某县级区面积 960 余 km^2，国土空间范围大，城乡交错，土地利用类型复杂，传统二维测绘与人工实地踏勘已难以满足新时代国土空间规划与精细化治理需求。项目运用航空倾斜摄影测量技术，以无人机搭载五镜头倾斜航摄设备并融合 RTK 高精度定位，完成全域航空影像采集，搭建实景三维空间底座。成果广泛用于国土空间管理多项工作。与传统测绘相比，该技术降低外业强度，提升地物定位与权属判定精度，缩短规划审批周期，为区级国土空间规划等工作提供高精度三维数据支撑。

航空倾斜摄影测量在城镇开发边界划定与地形图更新中的应用及成效。某县城镇建成区建筑密集、地物变更频繁，传统人工测图周期长、成本高、现势性差，影响国土空间规划底图编制与用地审批。为此，项目借助航空倾斜摄影测量技术，结合北斗 CORS 卫星定位服务系统布设高精度像控点，对城镇开发边界核心区域进行航摄数据采集、构建实景三维，同步完成 1:500 大比例尺地形图修测与地物更新。成果应用于多项国土业务，有效缩短基础地理信息更新周期，优化规划审批流程，提高了县域国土空间用途管制与治理的科学、数字、高效水平。

六、结　语

航空倾斜摄影测量技术凭借高效数据获取、真实三维表达及精准空间量测能力，已成为国土空间规划核心技术。它推动规划从二维走向三维、从静态走向动态、从经验走向智慧。未来将与大数据、云计算深度融合，在资源调查、生态治理等方面发挥更大作用，为国土空间治理现代化提供坚实技术保障。□

参考文献:

[1]魏瑞瑞.基于实景三维的警务地理信息系统设计与研究[J].测绘与空间地理信息,2023(4):169-171.

[2]范伟斌.国土空间规划背景下倾斜摄影技术生产 DLG 的应用分析[J].科学技术创新,2021,(31):148-150.

[3]沙如雨.大数据技术在国土空间规划应用[J].中国科技期刊数据库工业 A,2023,(6):63-66.

[4]杨晓东,齐泽恒,王东杰,杨建强. 无人机倾斜摄影测量技术在国土空间规划上的应用思考[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021,(2):181-181.

[5]陈家琦,杨昆瑾,林逸讯,施志敏,吕美丽.基于无人机倾斜摄影技术在乡村国土空间规划中的应用和发展 [J]. 中国设备工程,2023,(8):142-145.

作者单位:贵州省机关事务管理局