引文格式：郭天伟,董坤烽,杨敏,等. UAV倾斜摄影在革命旧址保护中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(3): 79-82. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.03.019

UAV倾斜摄影在革命旧址保护中的应用

郭天伟[1,2,3]，董坤烽[4]，杨　敏[1,2,3]，杨永明[1,2,3]，李筱懿[5]

（1. 滇西应用技术大学 地球科学与工程学院，云南 大理 671006；2. 滇西应用技术大学 云南省高校山地实景点云数据处理及应用重点实验室，云南 大理 671006；3. 滇西应用技术大学 多源数据融合实景三维构建研究科技创新团队，云南 大理 671006；4. 云南建投第一勘察设计有限公司，云南 昆明 650031；5. 大理州设计院有限公司，云南 大理 671000）

摘　要：针对革命旧址保护工作的严峻性，以及在获取革命旧址测区数据中传统测绘方法工作效率低、难以全面获取数据和无法获得高精度三维立体数据等问题，基于UAV倾斜摄影测量技术，以红军长征旧址为研究对象，通过外业数据采集，利用SIFT算法提取匹配影像特征点，再利用SfM-MVS算法构建三维立体场景，采集三维立体场景中的检查点数据。结果表明，三维立体场景满足大比例尺数字地形图成图规范要求；分析线元素精度可知，三维立体场景数据测量结果可达厘米级，满足革命旧址保护中对数据精度的要求；在革命旧址保护工作中还可提供多种基础数据，为今后革命旧址保护工作提供了一种高效获取高精度数据的参考方法。

关键词：革命旧址；UAV倾斜摄影测量技术；三维立体场景；精度分析

中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）03-0079-04

Application of UAV Oblique Photogrammetry in the Protection of Revolutionary Sites

GUO Tianwei[1,2,3], DONG Kunfeng[4], YANG Min[1,2,3], YANG Yongming[1,2,3], LI Xiaoyi[5]

(1. School of Earth Sciences and Engineering, West Yunnan University of Applied Sciences, Dali 671006, China;
2. Key Laboratory of Mountain Real Scene Point Cloud Data Processing and Application for Universities in Yunnan Province, West Yunnan University of Applied Sciences, Dali 671006, China;
3. Multi-source Data Fusion Real Scene 3D Construction Research Scientific and Technological Innovation Team, West Yunnan University of Applied Sciences, Dali 671006, China;
4. Yunnan Construction Investment First Investigation and Design Co., Ltd., Kunming 650031, China;
5. Dali Design Institute Co., Ltd., Dali 671000, China)

Abstract: In view of the severity of protection work of revolutionary sites, and the low efficiency of traditional surveying and mapping methods in obtaining the survey area data, based on UAV oblique photogrammetry technology, taking the revolutionary sites of Red Army Long March as the research object, through field data collection, we used SIFT algorithm to extract and match the image feature points, used SfM-MVS algorithm to build 3D scene, and collected the checkpoint data in the 3D scene. The results show that 3D scene can meet the requirements of large-scale digital topographic map. Furthermore, through the accuracy analysis of line elements, it can be obtained that the measurement results of 3D scene data reach centimeter level, which meets the requirements of data accuracy in the protection of revolutionary sites, and can provide a variety of basic data in the protection of revolutionary sites, which provides an efficient reference method for obtaining high-precision data in the protection of revolutionary sites in the future.

Key words: revolutionary site, UAV oblique photogrammetry technology, 3D scene, precision analysis

革命旧址是指近代以来见证中国各族人民长期革命斗争和中国共产党领导的新民主主义革命和社会主义革命，反映革命文化的遗址、遗迹和纪念建筑[1]。革命旧址是一种特殊类型的不可移动文物，在传承红色基因、加强爱国主义教育、培育社会主义核心价值观等方面发挥了不可缺少的作用[2]。在外来文化输入严峻的情况下，需要对各个地方的革命旧址进行保护和发掘，形成红色教育基地和一部部活历史资源，进而对下一代注入源源不断的红色基因，让长征精神、井冈山精神、延安精神和大庆精神等一路传承下去，永不凋零，无论是在历史价值、艺术价值、科学价值，还是在社会价值和文化价值中都凸显出不可替代

收稿日期：2022-11-22。
项目来源：2022年云南省教育厅科学研究基金资助项目（2022J1047）；2022年云南省科技厅基础研究专项资助项目（202201AU070108）。
第一作者简介：郭天伟（1994—），硕士，助理研究员，研究方向为摄影测量与遥感、测绘工程等，E-mail：932568614@qq.com。

的地位。我国革命旧址大多位于村镇当中，保护与利用这些革命旧址不仅可以发扬和继承红色文化，而且可以完善村镇基础设施建设，促进村镇经济发展，尽快完成乡村振兴[3]。随着时代的发展，我国城镇化率正在不断提高，一方面为追求经济快速发展，对革命旧址进行了拆除，另一方面由于一些公众、学者对革命旧址概念的模糊化，导致革命旧址没有得到充分保护，甚至遭到遗弃，这些都说明了革命旧址保护工作已迫在眉睫，必须得到解决才能将红色文化深刻保留[4]。革命旧址保护通常先去现场调研，再对旧址区域进行测绘，因此测绘在革命旧址保护中具有重要作用，所获得的精确数据是不可缺少的。在对革命旧址的保护中，因其大多数处于村镇，建筑很密集、错综复杂，且大多为土房、年代已久，利用传统测绘技术手段费时费力，得到的部分数据精度较低，进而影响后续的数字图像表现、虚拟现实等工作的开展。随着科技的发展，测绘技术也在不断前进，新兴的UAV倾斜摄影测量技术在建筑测绘领域得到了广泛应用[5-6]，尤其是在大比例尺地形图测绘、植被监测、矿山测量、应急测绘和城市勘测等方面发挥了非常重要的作用[7-9]。该技术的优势在于高效、便捷，可用最短时间获取大比例尺数字地形图，减少外业工作；可无接触地获取建筑物密集区数据，大大提高工作效率；可得到三维立体场景数据，在革命旧址保护中进行多方面多视角地运用，进而高效、精确地完成革命旧址保护工作；还可用于规划革命旧址以及宣传、导游。

本文以云南省昆明市寻甸回族彝族自治县柯渡镇丹桂村红军长征旧址为研究对象，通过多旋翼UAV搭载5镜头相机一次性获取5组影像，然后利用运动恢复结构（SfM）[10]和多视角立体视觉（MVS）算法[11]构建三维立体场景和数字高程模型（DEM）；再将得到的数据通过目视解译、CASS 3D软件二维数据采集等方法量测和分析地形特征；最后探讨了倾斜摄影测量技术在革命旧址保护中的调查和特征精度。

1 关键技术方法

倾斜摄影测量系统主要包括搭载平台、传感器和数据处理系统[12-13]3个部分。飞行平台多为多旋翼UAV，通过飞行平台搭载的飞控系统，可同步记录相机拍摄时的POS位置信息和飞行姿态等信息，具有飞行可靠性高、起飞和着陆场地要求低、操作使用简单等特点；传感器主要为5镜头一体化相机，选用高分辨率镜头，其中4个镜头为侧方向，一个镜头为垂直方向，可快速一次性获取同一地区的多方位影像；数据处理系统本文采用Smart 3D Capture软件，主要利用SIFT算法[14]对影像特征点进行提取，再进行匹配，且软件集成了SfM-MVS算法[15-16]，可连续完成构建稀疏点云、构建稠密点云、格网构建和纹理映射等任务，从而构建三维立体场景、DEM、密集点云数据等。

2 项目应用

2.1 研究区概况

本文选取云南省昆明市寻甸回族彝族自治县柯渡镇丹桂村作为研究区，该村是红军长征总部旧地驻址，建有红军长征柯渡纪念馆，1992年4月被定为云南省近、现代史与国情教育基地，1997年被列为省爱国主义教育基地，2005年被确定为全国红色旅游百个经典景区之一，因此需加强对该革命旧址的保护[17]。村内建筑主要由一幢一进两院的四合院落和阁楼组成，房屋较密集、错综复杂，测区总面积为0.059 km^2，地势东高西低，呈一面坡形势，最大高差约为50 m。利用传统测绘手段很难完成精确测量，但利用倾斜摄影测量技术可采集测区高精度数据，形成三维模型和DEM数据，有利于后续对革命旧址的保护、修缮以及对外三维场景浏览。

2.2 技术路线

倾斜摄影测量技术流程主要包括外业数据采集和内业数据处理两个环节，技术路线见图1。首先通过外业获取数据并进行预处理，通过数据质量检查确保数据质量，对数据添加像控点以保证获得正确的坐标系，并进行影像密集匹配、构建点云和点云加密；再对数据进行三维格网构建，完成纹理映射；最终建立三维场景数据。

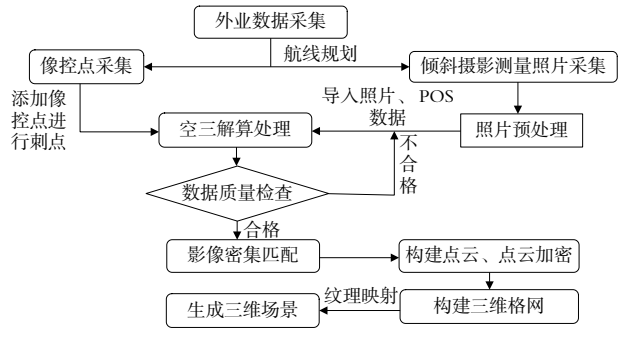


图1 倾斜摄影测量技术流程图

2.3 数据采集

本文采用大疆经纬M300 RTK多旋翼UAV搭载SHARE 102S五镜头相机进行数据采集，中间垂直镜

头焦距为25 mm，4个倾斜摄影镜头焦距为35 mm，像元尺寸为3.9 μm。通过测区踏勘规划航线，设置UAV飞行高度为70 m，航向重叠率为85%，旁向重叠率为80%，共设计22条航线，飞行1个架次，影像地面分辨率为1 cm，最终获得影像7 700张。地面像控点数量及其布设位置对后期数据区域网加密的准确性影像很大[18]。像控点可在内业数据处理中最大限度地改正因航摄姿态不稳定等外界因素造成的部分影像倾斜角过大、相片畸变差较大的问题，本文采用沿测区边界和测区内部均匀布设的方法，利用千寻SR3网络RTK接收机接入千寻CORS网络，选用CGCS2000国家大地坐标系和1985国家高程基准采集像控点。像控点布设和UAV飞行航线见图2。



图2　像控点布设和UAV飞行航线布设

2.4　三维数据生成

首先对外业获得的数据进行检查和预处理，然后采用集成了SfM-MVS算法的Smart3D Capture软件对采集数据构建三维立体场景，将像控点坐标进行导入刺点，从而形成了最终的三维立体场景（图3）和DEM数据（图4）。



图3　三维立体场景



图4　DEM

2.5　数据分析与精度检验

通过三维立体场景可对该革命旧址进行三维浏览，使游客轻松浏览实地场景，四合院落以及墙面上绘制的毛泽东语录清晰可见（图5）；房屋是革命旧址中的重要地物，拥有较贴近实际场景的三维立体数据，对后续的房屋修缮或规划都有重要的参考意义。由图6可知，房屋外部整体纹理非常清晰，墙面、窗户和屋顶瓦片等，甚至当时树的阴影都可直观清晰地反映出来，与现场拍摄的照片非常接近，综上所述，三维立体场景数据表面效果很贴近实际场景。



图5　三维立体场景局部



图6　三维立体场景房屋

2.5.1　立体场景平面与高程精度分析

三维立体场景的精度分析是将模型中提取检查点（图7）与外业实测点位坐标进行对比[19]。本次测区共布设了12个检查点，均匀分布，编号为C_1~C_{12}。利用CASS 3D软件提取三维立体场景中的检查点坐标，再与RTK实测坐标进行比较，利用式（1）计算得到平面位置中误差和高程中误差（表1）。

$$M=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i} \tag{1}$$

式中，M为中误差；Δ_i为坐标差值；n为各坐标差值数量。

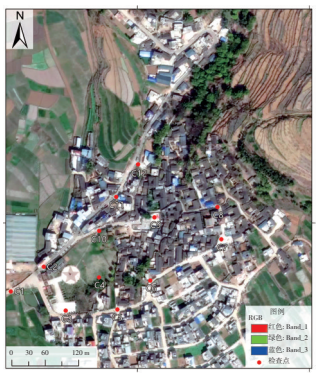


图7　检查点分布图

表1　平面与高程精度分析

点名	X差值/m	Y差值/m	高程差值/m	平面偏移量/m
C_1	0.032	0.018	−0.033	0.037
C_2	0.009	−0.021	−0.026	0.023
C_3	0.028	0.014	0.048	0.031
C_4	−0.042	0.014	−0.027	0.044
C_5	0.044	−0.017	−0.043	0.047
C_6	0.021	0.018	−0.023	0.028
C_7	−0.036	−0.033	0.042	0.049
C_8	−0.042	0.027	0.015	0.050
C_9	0.029	0.017	0.031	0.034
C_{10}	−0.010	0.018	−0.039	0.021
C_{11}	0.027	0.021	0.036	0.034
C_{12}	0.019	0.043	−0.039	0.048
中误差	±0.030	±0.023	±0.035	±0.038

由表1可知，X方向的最小差值为0.009 m，最大差值为0.044 m，总体中误差为±0.030 m；Y方向的最小差值为0.014 m，最大差值为0.043 m，总体中误差为±0.023 m；高程差值的最小值为0.015 m，最大值为0.048 m；平面点位偏移量的最小值为0.021 m，最大值为0.050 m，总体中误差为±0.038 m，整体精度良好，差值都在5 cm以内，均可满足1∶500大比例尺数字地形图成图规范要求，可利用CASS 3D软件对三维立体场景进行数据采集，获得二维矢量1∶500大比例尺数字地形图，为今后的革命旧址保护工作提供精确数据。

2.5.2 立体场景线元素精度分析

为进一步验证三维立体场景数据精度，本文以点位为基础，通过Acute3D Viewer软件的测量工具量取立体场景中地物的线元素，然后与实测值进行比较，进而评估数据精度。采用平均精度作为三维立体场景的精度评价指标，计算公式为：

$$\delta=\left(1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|\Delta_i|}{D_i}\right)\times 100\% \tag{2}$$

式中，Δ_i为各检测对象的误差值；n为检测对象数量；D_i为各检测对象实测长度值。

为保证采集时不出现粗差现象，本文在三维立体场景中选择的对象均为具有明显规则的标志，利用软件对选取的7类检测对象（图8）的线元素进行测量，并将该值与实测值进行对比，结果见表2，可以看出，各线元素差值均在5 cm以内，平均差值为2 cm，说明UAV倾斜摄影测量技术可高精度还原革命旧址真实场景，构建质量较高的三维立体场景（平均精度为99.2%）。局部数据的高精度可说明整体三维立体场景精度较高，可为后续革命旧址保护提供精确数据。

表2 线元素检测结果对比表

被测物体	线元素	模型测量长度/m	实测长度/m	差值/cm
广场五角星图形	边长	10.33	10.35	−2
石凳	长度	1.29	1.3	−1
客车	长度	6.67	6.7	−3
石像基座	高度	0.72	0.7	2
道路	宽度	3.62	3.65	−3
停车位	长度	4.82	4.8	2
	宽度	2.61	2.6	1
房屋围墙	长度	2.69	2.72	−3

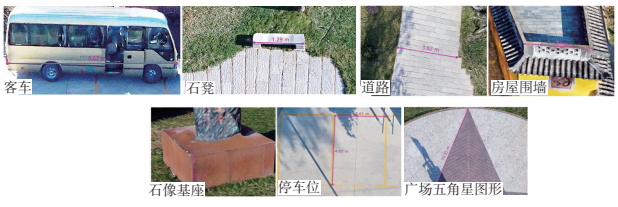


图8 线元素检测对象

3 结 语

本文主要利用UAV倾斜摄影测量技术获取革命旧址的影像数据，然后利用SIFT算法提取匹配影像特征点，再利用SfM-MVS算法构建三维立体场景，最后利用三维立体场景数据对平面和高程位置精度以及线元素精度进行了分析。

1）利用UAV倾斜摄影测量技术可快速、安全地获得外业数据，尤其是对于房屋密度较大的革命旧址，采集效率较高，极大地节省了人力物力，且获得的数据类型较多，可利用多种数据在旧址保护中发挥作用，尤其是形成三维立体场景的基础数据（三维点云数据），可直观反映测区的真实状况，便于制定出更加合理、科学的革命旧址保护和修复方案。

2）通过CASS 3D软件对构建的三维立体场景进行平面和高程点位精度质量评估，最终结果符合1∶500大比例尺数字地形图成图规范要求，可为革命旧址保护提供更加精确的二维矢量化数据。对三维立体场景中的线元素进行质量检测发现，模型精度可达厘米级，平均精度为99.2%，整体精度良好，说明该三维立体场景可用于革命旧址保护，为其提供精确的基础三维数据。

3）三维数据还可作为革命旧址中的三维场景游览数据，纹理清晰，为前来参观学习者提供前瞻浏览功能。在数据后续利用中，还可对建筑模型进行单体化建模，便于为今后的革命旧址修复工作提供精确的立体数据，更好地为革命旧址保护工作提供决策性数据支撑。

参考文献

[1] 王娟芬,陈宁静,曾庆璇,等. 基于数字技术的革命旧址保护研究[J]. 山西建筑,2022,48(8):23-25

[2] 汪伟强. 安徽省绩溪县革命遗址保护利用调查研究[J]. 新农业,2021(13):59-60

[3] 杨阳. 革命旧址保护利用评价体系研究:以阜平县为例[D]. 邯郸:河北工程大学,2020

[4] 常虹. 瓦窑堡革命旧址保护与利用路径研究[J]. 文物鉴定与鉴赏,2021(5):95-97

[5] 范张伟,邢昱. 基于数字化技术的古建筑保护研究[J]. 北京测绘,2010,24(3):18-21

[6] 余虹亮,冯文雯,劳冬影,等. 基于倾斜摄影的城市建筑三维重建方法研究[J]. 计算机应用与软件,2016,33(12):188-192

[7] 樊伊君,张启超. 无人机航测图像匹配关键技术研究[J]. 电子测量技术,2018,41(10):25-28

（下转第98页）