

黄毓,顾呈剑,周就猫,等. 内置 RTK 无人机航拍技术在土地整治项目测绘与辅助规划设计中的应用[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(3):87-94. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.03.012

HUANG Y, GU C J, ZHOU J M, et al. Application of Unmanned Aerial Vehicle Equipped with RTK Photographing in Surveying and Mapping of Land Consolidation Project [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(3):87-94. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.03.012

# 内置 RTK 无人机航拍技术在土地整治项目 测绘与辅助规划设计中的应用

黄毓<sup>1,2</sup>, 顾呈剑<sup>3</sup>, 周就猫<sup>4</sup>, 李洪义<sup>2\*</sup>, 郭堂辉<sup>1</sup>, 狄振鹏<sup>1</sup>

(1. 广西财经学院 管理科学与工程学院, 广西 南宁 530003; 2. 江西财经大学 旅游与城市管理学院, 江西 南昌 330013;  
3. 江西省地产开发集团有限责任公司, 江西 南昌 330001; 4. 江西省煤田地质局普查综合大队, 江西 南昌 330001)

**摘要:**为了更好地实施土地整治项目,为土地整治项目规划、设计、施工等环节高效成图、高精度制图提供新思路,客观探讨无人机内置 RTK(Real Time Kinematic, RTK)航拍技术在土地整治项目区测绘成图及辅助规划设计中的应用价值,以江西省某县土地整治项目片区为研究区,通过作业过程中机身 RTK 实时接收基站的差分 GPS 修正数据实现定位坐标优化,选取航片上 20 个点平面坐标及其高程,与 RTK 地面实测检查点的平面坐标和高程进行中误差分析完成精度验证.研究发现:内置 RTK 无人机航拍的正射影像分辨率为 0.033 m,其平面坐标中误差为 0.051 m,数字高程模型高程中误差为 0.070 m,精度结果满足土地整治项目测量成图相关精度要求.此外,文章进一步探讨该技术及相关数字产品在土方量计算、辅助规划设计等领域的应用情况.研究表明:该技术在土地整治项目应用中精度优势明显、可视化效果好,尤其对土方计算、规划设计、核验收收等环节具有较高的应用价值.

**关键词:**无人机;RTK;测量成图;土地整治

中图分类号:P217;TP751

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2022)01-0087-08

## Application of Unmanned Aerial Vehicle Equipped with RTK Photographing in Surveying and Mapping of Land Consolidation Project

HUANG Yu<sup>1,2</sup>, GU Chengjian<sup>3</sup>, ZHOU Jiumao<sup>4</sup>, LI Hongyi<sup>2</sup>, GUO Tanghui<sup>1</sup>, DI Zhenpeng<sup>1</sup>

(1. School of Management Science and Engineering, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China;

2. School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China;

3. Jiangxi Provincial Real Estate Development Group, Nanchang 330001, China;

4. Jiangxi Comprehensive Survey Team of Coal Geology Bureau, Nanchang 330001, China)

**Abstract:** In order to implement land consolidation projects to obtain high-resolution aerial images, objectively monitor and effectively evaluate the post-construction utilization of land resources in land consolidation projects, this paper takes a part of typical land consolidation area in a county of Jiangxi Province as a research object, and

收稿日期:2021-06-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42071068);广西自然科学基金资助项目(2018JJA180025);广西 2021 年度高校中青年教师科研基础能力提升项目资助(2021KY0646);广西高校人文社科重点研究基地开放课题资助(2020QN014);统计学广西一流学科建设项目资助

\* 通信作者, E-mail: lihongyi1981@zju.edu.cn

uses a modern unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with RTK for aerial photography test to conduct the feasibility on application of the technology in surveying and mapping of land consolidation projects. In the process, the Real Time Kinematic (RTK) real-time receives GPS calibration data from base station to optimize oriented coordinate. Besides, 20 check points are set to test the position and area precision, and we gain the points' coordinates and elevation values from the aerial images. Then the differences and the errors of the 20 points' coordinates and elevation values between the check points and the same points in the map are analyzed and compared. In the results, the digital orthogonal image ground resolution reached 0.033 m. And the results from the MSEs precision evaluation showed that:  $MS=0.051$ ,  $MZ=0.070$ , indicated that the accuracy highly met the requirements in surveying and mapping of land consolidation projects.

**Keywords:** UAV; RTK; surveying and mapping; land consolidation

无人机系统的应用从最早为适应军事需求,逐渐在气象、水文、农业等领域推广、渗透<sup>[1]</sup>.我国在进入21世纪之后在该技术领域也开展了较多的研究.自2003年中国测绘科学研究院完成了半自主和自主双控模式下的低空无人机遥感监测系统研发项目以来,无人机在国内开启了测绘领域的应用探索.目前,国内很多单位及公司(如大疆、天骄等)都已具备无人机系统的研发和制作的能力,此外,还有诸如武汉大学国家重点实验室的郭丙轩等学者研制的无人机摄影测量系统,都进一步改进无人机航拍影像信息处理技术<sup>[2]</sup>.随着该系统的发展,快速响应、低成本和高精度的无人机遥感技术已经成为传统测量方法的重要补充<sup>[3-5]</sup>,且近年来被广泛应用于土地行业<sup>[6]</sup>,如赵紫阳等采用无人机航拍获取乡村影像,大大缩短制作土地利用现状分类图周期<sup>[7]</sup>;吴涛运用无人机摄影测量为土地整治项目规划设计阶段提供基础图件<sup>[8]</sup>;雷双友等探讨了无人机遥感技术在城镇土地集约利用监测评价中的应用<sup>[9]</sup>;徐秀云基于无人机在土地整治项目监管中的适宜性评价,肯定了无人机的推广在加强土地整治监测监管中的综合技术优势及其潜在的社会和经济效益<sup>[10]</sup>.

为了更好地实施土地整治项目,优化“田、水、路、林、村”布局,基础图件是关键<sup>[11-12]</sup>.无人机遥感获取的航拍影像数据在正式投入使用前,须与地面控制点做空三测量校正,这是制作数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM)、数字高程影像图(Digital Elevation Model, DEM)等基础图件的重要步骤.因此,基础图件精度的地面控制点是大量研究人员关注的重点,如张孝成等采用实时动态控制系统(Real Time Kinematic, RTK)对地面控制点实施测量并校正无人机航片,获取大比例尺高精度土地利用现状影像图<sup>[13]</sup>;马怀武等在高原地区开展RTK结合无人机低空航拍技术的测绘应用,以获取高精度地面控制点数据为小比例尺影像图校正提供新思路<sup>[14]</sup>.尽管测绘行业一致认为目前RTK测量地面控制是提高无人机航片校正精度的重要手段,但地面控制点测量工作带来土地整治项目测量成图周期和成本的增加不可忽视.对此,国内一些研究人员做了无须地面控制点做校正就可取完整高精度影像的研究,如宫阿都等提出对测区进行最优分块,分别采用每块完整影像的机载GPS提供的中心点坐标进行几何校正,最后拼接所有分块影像<sup>[15]</sup>;徐秋辉采用经过校准的POS(Position and Orientation System)参数作为无人机影像外方位元素做几何校正,将几何变形的无人机影像平面变换为大地水平面,与此同时,为影像附上几何坐标信息<sup>[16]</sup>.这些无须地面控制点即可快速生成具有空间定位数据的完整影像的方法,由于精度限制只适用于为快速监察区域空间概况提供影像,如在救灾抢险区迅速提供灾区影像,而在土地整治测量成图中则难以满足精度要求<sup>[15-16]</sup>.

无人机航拍获取不做地面控制点校正、具有定位坐标精度高的航片是不可避免的技术趋势,国外已有研究<sup>[17]</sup>将RTK安置在无人机上,通过实时接收基站修正数据优化定位坐标,使航片在不需做地面控制校正情况下具有高精度的定位坐标.因此,以江西某县土地整治项目片区为研究区,应用瑞士SenseFly Ltd.公司研发的内置RTK的eBee无人机航拍系统(eBee-RTK)于土地整治项目测量成图工作中,通过对其航片成果数据的平面高程精度评价,验证该航拍系统是一种兼具低成本、高效率、且无须地面控制点校正就可获取土地整治项目区高精度影像数据多项优势的技术方法,将其应用于土地整治项目基础图件的快速获取、土方量测算及辅助规划设计,以期为土地整治项目平整工程、核查验收提供新的技术参考.

## 1 内置RTK无人机航拍系统结构及原理

### 1.1 RTK系统

RTK系统主要由GPS接收站、数据传输系统及实时动态测量系统3部分组成,是基于载波相位基本观测实现高精度定位的一种实时差分测量技术<sup>[14,18]</sup>.其测量工作原理:基准站和移动站均安置有GPS接收器,可同时接收来自同一时间、同一个GPS卫星发射的信号,基准站将接收到的观测值与测站位置信息通过数据链形式实时传输给移动站,移动站在系统内对来自基准值的差分改正值和自身观测的卫星数据进行实时处理,从而得到精度较高的实时定位信息<sup>[19]</sup>.RTK技术大大削弱基准站和移动站的公有误差,使得定位精度得到进一步提高.目前,RTK技术广泛应用于地形测图、地籍测绘和矿区测量等国土资源管理工作,同时可服务于城市管网管理等其他行业和部门<sup>[20-22]</sup>.

### 1.2 eBee-RTK无人机

采用瑞士SenseFly Ltd.公司生产的eBee-RTK无人机,续航时间长达40 min,飞行速度为40~90 km/h;机载静态照相机1 820万像素,最大航拍覆盖面达8 km<sup>2</sup>;该机型轻量化机身设计,起飞质量730 g,翼展96 cm;手抛起飞后可通过内置的人工智能自驾仪对惯性测量单元分析并记载GPS数据,飞行结束后无须起落架和跑道可盘旋或直线滑行降落;该机型通过将设计的飞行计划及配备的控制软件(eMotion)与基站(CORS系统)连接,直接将改正数据信息传输至内置RTK接收器,在无地面控制点,校正的情况下完成后期影像处理<sup>[23]</sup>(系统组成详见图1).

此外,eBee-RTK配套的后制图软件Postflight Terra 3D通过自动空中三角测量法和光束法平差在原始影像上自动提取特征点,以快速计算地理位置信息和参数,实现专业高精度二维地图和三维模型影像的制作.

## 2 实证分析

### 2.1 研究区概况

研究区位于江西省某县土地整治项目片区(见图2),面积1.5 km<sup>2</sup>,平均海拔约60 m,主要为丘陵地形,属于中亚热带温暖气候,日照充足,无霜期长,年均气温17.1℃,年降水量达1 515 mm,土壤理化结构及通透性好,可耕性强,适宜水稻生长,为该县主要粮食生产基地.因此,开展土地整治工作对该县提高粮食综合生产力、实现优质农副产品基地目标十分重要.

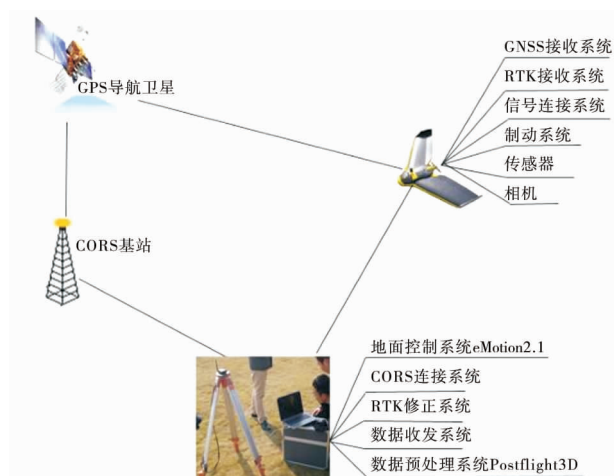


图1 eBee-RTK无人机航拍系统组成

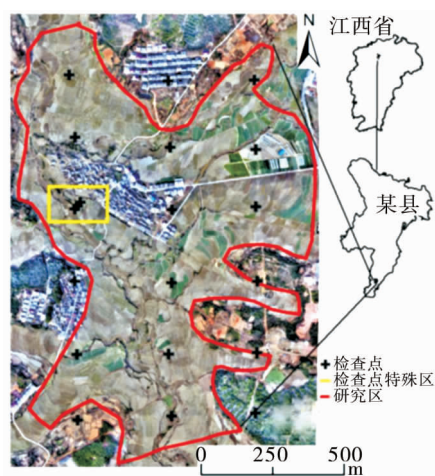


图2 研究区域

### 2.2 施测情况

研究区航片制作比例尺为1:500数字地形图;设置eBee-RTK无人机作业地面分辨率0.03 m,相对高度为105 m;布设航线21条,每条长约1 300 m,南北走向,航向重叠度75%,旁向重叠度60%;在研究区内

选择一处平坦地放置并操作无人机低空航测的控制系统.打开软件 eMotion2.1 导入航测数据,RTK 正常连接 JX CORS 后,抛飞机身、实施航测;为开展测量成图的精度评价,航测同时在研究区内均匀布设 20 个地面检查点(以面积 60 cm×60 cm 十字皮垫中心位置为准),通过 RTK 连接 JX CORS 实时测量地面点平面坐标和高程信息以作为精度评价检查点参考数据(检查点具体分布详见图 2).航测作业历时 2×28 min,获取图像 735 张.

### 2.3 数据处理

后期内业数据处理包括信息提取和航片预处理 2 个步骤.首先,从机身及相机中提取航片、POS 参数、GPS 数据、GCP<sub>s</sub>(Ground Control Points, GCP<sub>s</sub>)数据、飞行日志等信息;随后导入制图软件 Postflight Terra 3D,开始图像拼接、影像增强、空三校正等自动化处理过程,然后完成数字表面模型图(Digital Surface Model, DSM)的生成和 DOM 制作(结果如图 3 所示).

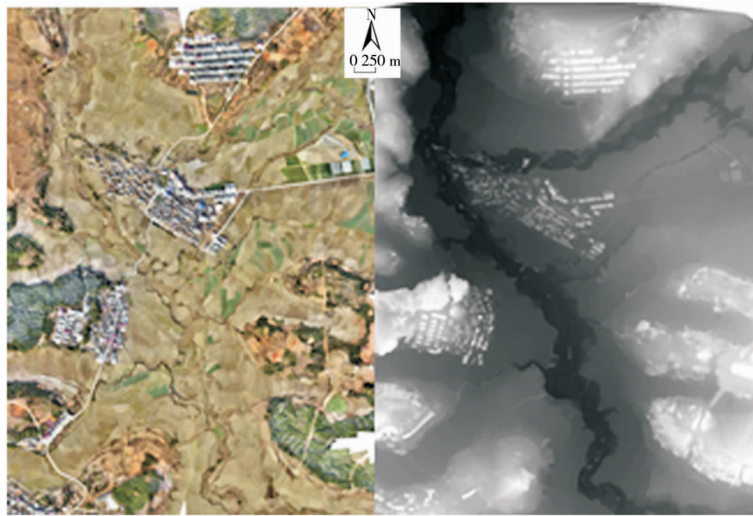


图3 研究区无人机航拍 DOM(左)和 DSM(右)成果

### 2.4 精度分析

#### 2.4.1 分析方法

地物点的平面和高程中误差是衡量地形图精度、检验地形图质量的重要指标<sup>[24-25]</sup>.为此,在对 eBee-RTK 航片内业处理后开展数字地形图精度分析十分重要.将 20 个检查点的平面坐标和高程与无人机施测后获取的数字地形图上量取 20 个同名点的平面坐标及高程(经过 7 参数转换至西安 80 坐标系下)进行较差(技术流程如图 4 所示),然后对平面中误差和高程中误差进行计算.中误差计算公式如式(1)和式(2)所示<sup>[26]</sup>.

$$M_{xy} = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta S_i^2} = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta X_i^2 + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2}; \quad (1)$$

$$M_z = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}. \quad (2)$$

式中: $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i, \Delta S_i$  为检查点和地图上同名点分别在  $X, Y, Z$  方向及平面的较差; $n$  为所选较差点数目; $M_{xy}$  为平面中误差; $M_z$  为高程中误差.其中,中误差值越小,地形图数字精度越高<sup>[26]</sup>.

土地整治工程项目中,项目区 DEM 的精度对道路、沟渠等工程设计,尤其土方量的计算具有重要意义.本实例中的 DEM 数据是经 eBee-RTK 航测所得 DSM 模型图在 Postflight Terra 3D 中剔除了树木等高程干扰因素等数字化处理环节后制作.为进一步校验 DEM 精度,本研究通过在 3 块相邻呈梯度分布的耕地中分别布设 1 个地面检查点(如图 2 检查点特殊区所示),以检验无人机遥感邻近高低地高程识别精度<sup>[27-28]</sup>.

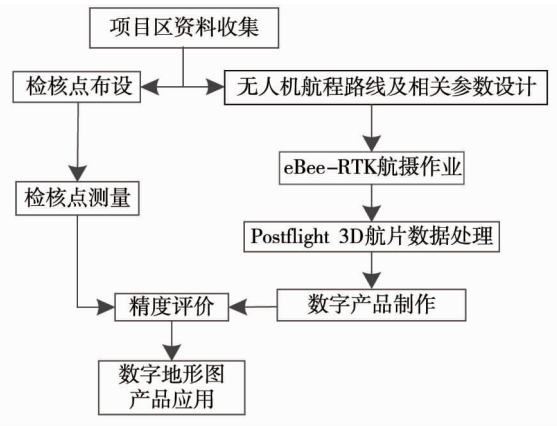


图 4 技术流程

2.4.2 结果分析

1)平面精度分析.通过后期制图软件 Postflight Terra 3D 生成 DOM 数据,此数据坐标系为 WGS84,而目标坐标系为西安 80,需通过 ArcGIS 10.2 投影工具和 7 参数坐标转换功能实现不同坐标系高精度转换,获取西安 80 坐标系下影像分辨率为 0.033 m 的土地整治项目区 DOM 数据.将 20 个地面检查点 X,Y 坐标与图上同名点量取的 X,Y 坐标较差,得到结果如表 1 所示,较差结果整体偏小,经中误差相关计算,检查点与图上同名点之间的平面中误差仅为 0.051 m,其中最大平面误差值为 0.087 m,平均误差值为 0.043 m.根据《基础地理信息数字成果 1 : 500、1 : 1000、1 : 2000 数字正射影像图(CH/T 9008.3—2010)》相关规定,1 : 500 的土地整治项目区正射影像图平面中误差不超过 0.3 m,平面最大误差不超过 0.6 m,DOM 地面分辨率要优于 0.05 m.可见应用实例中所得 DOM 数据符合基础地理信息数字成果相应精度要求.

2)高程精度分析.同样的预处理过程后生成研究区 DEM 数字影像,在 DEM 图形上量取同名点高程值与检查点高程较差,得到的差值结果如表 1 所示.《基础地理信息数字成果 1 : 500、1 : 1000、1 : 2000 数字高程模型(CH/T 9008.2—2010)》相关要求指出,丘陵地区基础地理信息数字成果的高程中误差不应大于 0.40 m,最大误差不超过 0.80 m.应用实例中高程中误差为 0.070 m,最大高程误差为 0.165,平均误差为 0.058,均符合《基础地理信息数字成果 1 : 500、1 : 1000、1 : 2000 数字高程模型(CH/T 9008.2—2010)》相应精度要求.且在邻近高低地布设的 3 个高程检查点的高程误差,分别为 0.074 ,0.068 和 0.058 m,进一步证明本实例中无人机航拍高程精度的可靠性.

综合上述分析可知,无人机内置 RTK 航拍技术从平面和高程上都能很好地满足土地整治项目区相应比例尺下基础地理信息数字成果在精度上的技术要求.

表 1 GPS 快速静态与 UVA RTK 测量的成果比较

点名	检查点坐标		高程值 Z/m	UVA RTK 测量坐标		高程值 Z'/m	点位较差		平面较差 ΔS/m	高程较差 ΔZ/m
	X/m	Y/m		X'/m	Y'/m		ΔX/m	ΔY/m		
1	505 708.594	3 169 038.391	52.615	505 708.601	3 169 038.383	52.628	0.007	-0.008	0.011	0.013
2	505 585.586	3 169 204.834	50.479	505 585.551	3 169 204.834	50.535	-0.035	0.000	0.035	0.056
3	506 007.012	3 168 484.602	67.964	506 006.998	3 168 484.652	68.129	-0.014	0.050	0.052	0.165
4	505 961.540	3 169 237.535	54.016	505 961.591	3 169 237.606	53.999	0.051	0.071	0.087	-0.017
5	505 629.572	3 169 068.822	50.576	505 629.564	3 169 068.819	50.606	-0.008	-0.003	0.009	0.030
6	505 120.415	3 168 499.660	52.970	505 120.414	3 168 499.601	53.042	-0.001	-0.059	0.059	0.072
7	505 858.452	3 168 985.050	52.408	505 858.454	3 168 985.041	52.433	0.002	-0.009	0.009	0.025
8	505 647.412	3 168 904.533	49.698	505 647.415	3 168 904.501	49.754	0.003	-0.032	0.032	0.056
9	505 248.617	3 168 887.094	45.432	505 248.601	3 168 887.045	45.521	-0.016	-0.049	0.051	0.089
10	505 443.082	3 168 861.498	47.577	505 443.031	3 168 861.463	47.665	-0.051	-0.035	0.062	0.088

续表 1

点名	检查点坐标		高程值	UVA RTK 测量坐标		高程值	点位较差		平面较差	高程较差
	X/m	Y/m	Z/m	X'/m	Y'/m	Z'/m	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta S/m$	$\Delta Z/m$
11	505 679.765	3 169 047.873	51.305	505 679.763	3 169 047.869	51.355	-0.002	-0.004	0.005	0.050
12	505 452.175	3 169 401.342	53.023	505 452.131	3 169 401.342	53.062	-0.044	0.000	0.044	0.039
13	505 342.101	3 169 121.371	46.032	505 342.047	3 169 121.360	46.078	-0.054	-0.011	0.055	0.046
14	505 292.828	3 168 957.321	46.469	505 292.799	3 168 957.290	46.543	-0.029	-0.031	0.042	0.074
15	505 302.850	3 168 963.534	47.329	505 302.796	3 168 963.470	47.397	-0.054	-0.064	0.084	0.068
16	505 280.935	3 168 955.913	45.409	505 280.911	3 168 955.866	45.467	-0.024	-0.047	0.053	0.058
17	505 183.719	3 169 437.361	46.027	505 183.671	3 169 437.364	46.090	-0.048	0.003	0.048	0.063
18	505 714.085	3 168 532.282	52.501	505 714.089	3 168 532.205	52.568	0.004	-0.077	0.077	0.067
19	505 633.147	3 169 053.785	54.825	505 633.143	3 169 053.784	54.858	-0.004	-0.001	0.004	0.033
20	505 360.569	3 168 608.885	49.453	505 360.548	3 168 608.852	49.532	-0.021	-0.033	0.039	0.079
中误差/m							0.032	0.040	0.051	0.070

### 3 应用探讨

#### 3.1 土方量计算

随着无人机航测技术的普及,对无人机航测技术获取 DSM 数据的应用研究已引起业界的关注.但目前通过无人机航测技术获取 DSM 辅助土方量计算的相关研究尚少.本文将主要围绕基于无人机航测 DSM 建模的方法,介绍土地整治项目平整区土方量计算的具体操作流程.将此方法生成的 DEM 与地统计学插值方法、传统不规则三角网法构建的 DEM 分别用于土方量计算的结果,尤其对精度进行比较分析,以期为土地整治项目平整工程、土方量测算提供新的技术参考.

##### 3.1.1 基于无人机航测影像 DSM 的数据建模

鉴于研究区为江西省某县农用地土地整治项目区,航测作业时间在秋季,区内水稻等主要农作物已被收割,所以本应用实例中 DSM 数据根据规划设计所定的平整区可不考虑地物高程的影响.

研究根据影像数据的精度分析可知,DSM 地面分辨率为 0.03 m,格式为 Tiff.研究通过 Arcgis10.1 平台实现无人机航测 DSM 模型至 DEM 的转换.为满足土地整治工作中 DEM 数据的精度要求,本应用通过 Arcgis10.1 平台对 DSM 数据进行重采样(Resample),选择应用精度最高即 2.5 m 的像元分辨率栅格(Grid)格式的 DEM;再将 DEM 完成栅格到点的转换;提取点属性表中的大地坐标和高程在南方 GPS 坐标转换工具中转换为西安 80 坐标系;投影坐标转换后的高程点即可生成土地整治项目平整区 DEM 模型(土方量计算部分),供后期土方量测算使用(见图 5).

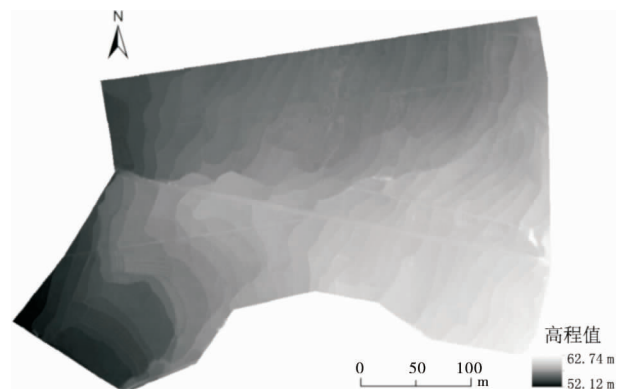


图 5 基于 DSM 建模生成的 DEM(土方量计算部分)

##### 3.1.2 土方填挖量计算

土方量测算主要是在 AutoCAD 的插件 GlandV9.0 中完成.GlandV9.0 是一款专门针对土地整理规划设计的软件,具有强大的计算功能和简便的操作设计.具体的土方填挖量计算过程:首先,将 DEM 高程点 SHPFILE 格式文件转换为 DWG 格式文件,将其导入 GlandV9.0 插件中;然后,在插件平台上通过转换离散高程点、采集离散高程点、采集格田、三角网布置、计算土方一系列流程;最后,操作完成后可得格田土方量明细.

##### 3.1.3 3 种不同 DEM 数据的应用结果分析

不同的建模方法得到的 DEM 有所差异.为比较精度高低,将上述操作所得的结果与地统计学插值法、

传统不规则三角网法分别构建的 DEM 应用于土方量计算,通过求取挖方量、填方量的平均值,然后基于平均值差值进行应用结果分析和比较.据计算结果表 2 可知:基于无人机航测影像 DSM 建模生成的 DEM 所计算得到的挖方量、填方量与 3 种方法计算结果中挖方量、填方量平均值的差值分别为 130.5 和 112.8 m<sup>3</sup>,远小于另外 2 种方法计算的土方量差值.可见,基于无人机航测影像数据构建的 DEM 模型精度相对更高、应用于土地整治项目区土方量测算的结果准确性也相对更高.

表 2 3 种建模方法应用于土方量计算的结果对比

土方计算模型	挖方量/m <sup>3</sup>	填方量/m <sup>3</sup>	挖方差值/m <sup>3</sup>	填方差值/m <sup>3</sup>
UAV-DEM	22 277.6	22 280.1	130.5	112.8
GA-DEM	21 266.8	21 283.9	-880.3	-883.4
TIN-DEM	22 896.9	22 937.9	749.8	770.6
平均值	22 147.1	22 167.3		

注: UAV-DEM 为基于无人机航测影像的 DEM, GA-DEM 为地统计方法 DEM, TIN-DEM 为三角网法 DEM.

### 3.2 辅助规划设计图

常规的无人机航拍在土地整治项目测量成图中的应用需要 2 个工作阶段:无人机航拍工作和地面控制点测量工作.而本应用实例中无人机航拍系统只需准备项目区资料,将其通过无人机地面控制站输入相应参数,待无人机航拍作业结束后,提取机身数据至后期预处理软件 Postflight Terra 3D 中,即可实现高精度定位坐标的数字地形图产品自动化快速生成(见图 6a 和图 6b),大大提高土地整治项目基础图件获取的工作效率.

随着无人机航拍技术在土地行业不断深入推广,其数字地形图产品也逐渐在诸多领域推广应用.如在土地整治项目区 DOM 矢量化生成数字线划地图(Digital Line Graphic, DLG)中的应用:传统的土地整治项目区沟渠水流的走向一般需要外业调查,但结合无人机内置 RTK 航拍技术,便可通过 DLG 与 DOM, DEM 在 Arcgis 平台中三维可视化处理,实现地势高低、水流走向(见图 6c,红色为沟渠线)的直观判断,减少外业工作量.此外,在土地整治项目监管工作中也同样具有较高的应用价值,如将项目区规划设计图与 DOM 叠合检查,可避免传统的实地工作存在的少测或漏测导致规划不合理等情况出现,同样基于三维可视化处理结果还可向设计人员再现土地整治区的原貌,缩短读图时间,提高设计质量.由此可知:无人机航拍技术及其数字地形图产品的应用可拓展至土地整治项目施工进度监察、竣工后期验收甚至项目末期管护等,而这多方面的应用都将成为无人机航拍技术未来研究与应用的热点.

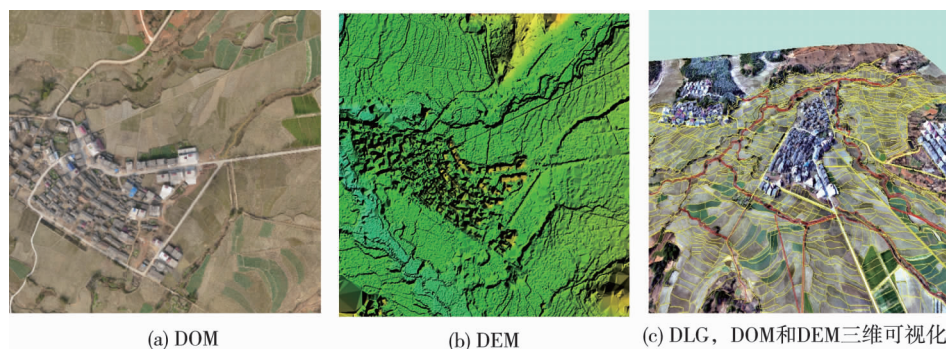


图 6 研究区数字地形成果(局部)

## 4 结论

1) 内置 RTK 无人机航拍(eBee-RTK)技术可在无须地面控制点做空三校正情况下,灵活、快速获取项目区完整的高质量影像数据,生成的 DOM, DEM 数字产品可达到特定比例尺下数字测图的精度标准,完全符合应用的精度要求.

2) 航拍获取的高精度 DSM 影像在数据建模后用于土方量测算,相较于采用地统计学方法插值法、传

统不规则三角网法分别构建 DEM 计算土方量的传统方法,提高了成图和土方量测算的时效性和精确度。

3) 基于航拍系统获取的三维可视化高精度数字地形图,为土地整治项目进程中施工进度监察、竣工验收等全面提升内、外业工作效率提供新技术思路和参考。

4) 无人机内置 RTK 航拍系统已成为国土测绘与规划设计中重要的方法与技术,在土地整治项目应用中精确度高、可视化效果好,尤其对土方计算、规划设计、核查验收等环节具有较高的应用价值,为土地整治项目土地开发、土地规划设计等环节高效成图、高精度制图、低外业成本提供有力技术支持。

#### 参考文献:

- [1] 范承啸,韩俊,熊志军,等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. 测绘科学, 2009, 34(5): 214-215.
- [2] 王洛飞. 无人机低空摄影测量在城市测绘保障中的应用前景[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(2): 217-219.
- [3] 曾涛,杨武年,简季. 无人机低空遥感影像处理在汶川地震地质灾害信息快速勘测中的应用[J]. 测绘科学, 2009, 34(8): 64-67.
- [4] 杨瑞奇,孙健,张勇. 基于无人机数字航摄系统的快速测绘[J]. 遥感信息, 2010, 26(3): 108-112.
- [5] Colomina I, Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 92: 79-97.
- [6] 金玉玲. 低空遥感在土地资源动态管理中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(3): 135-136.
- [7] 赵紫阳,蔡玉梅,邹晓云. 重庆市燕坝村土地利用现状分类体系[J]. 中国土地科学, 2011, 25(12): 40-48.
- [8] 吴涛. 低空无人机航空摄影测量技术在土地整治项目规划设计阶段的运用[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(2): 295-296.
- [9] 雷双友,尹向红,李轩宇. 无人机遥感技术在城镇土地集约利用监测评价中的应用[J]. 测绘通报, 2011(7): 34-36.
- [10] 徐秀云,陈向,刘宝梅. 微型无人机助力土地整治项目监管[J]. 测绘通报, 2017(3): 86-90.
- [11] 吴次芳,费罗成,叶艳妹. 土地整治发展的理论视野、理性范式和战略路径[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1718-1723.
- [12] 顾铮鸣,金晓斌,杨晓艳,等. 基于无人机遥感影像监测土地整治项目道路沟渠利用情况[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 85-93.
- [13] 张孝成,赵紫阳,周志跃,等. CORS 和无人机遥感技术结合在村级土地利用规划中的应用——以重庆市江津区燕坝村为例[J]. 中国土地科学, 2012, 26(1): 82-85.
- [14] 马怀武,王俊强. RTK 结合无人机低空摄影在高原地区测绘中的应用[J]. 测绘地理信息, 2014, 39(3): 47-50.
- [15] 宫阿都,何孝莹,雷添杰,等. 无控制点数据的无人机影像快速处理[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(2): 254-260.
- [16] 徐秋辉. 无控制点的无人机遥感影像几何校正与拼接方法研究[D]. 南京:南京大学, 2013.
- [17] Rieke M, Foerster T, Geipel J, et al. High-precision positioning and real-time data processing of UAV systems[J]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011, 38(1): 1-6.
- [18] 张振军,谢中华,冯传勇. RTK 测量精度评定方法研究[J]. 测绘通报, 2007(1): 26-28.
- [19] 岳龙. GPS RTK 技术在地籍测量中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(3): 158-159.
- [20] 范文元. 基于 CORS 系统的网络 RTK 技术在城镇地籍测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(6): 96-98.
- [21] 庞学勇,李俊芳,樊颖华. 网络 RTK 技术在矿区测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(7): 169-170.
- [22] 黄建新. 网络 RTK 技术和传统测量技术结合在数字城管中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(7): 76-78.
- [23] 顾呈剑. 无人机航测技术辅助土地整治项目规划和监管研究[D]. 南昌:江西财经大学, 2016.
- [24] 何政伟,许辉熙,张东辉,等. 最佳 DEM 分辨率的确定及其验证分析[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 114-116.
- [25] 陈昆华,周国清,易柳城,等. 无人机数字高程模型精度评价分析研究[J]. 城市勘测, 2014(1): 99-102.
- [26] 陈春阳,朱德好,毕京学,等. CORS 在城市大比例尺地形图更新中的应用分析[J]. 测绘地理信息, 2015, 40(1): 55-57.
- [27] 李凤娟. 无人机技术在水系万亩土地整治中的应用[J]. 地理空间信息, 2014, 12(4): 40-41.
- [28] 樊鹏昊,姜泉,尹燕运. 简单地形地貌区优化无人机航测空三的一种方法[J]. 岩土工程技术, 2020, 34(3): 140-142.