无人机低空倾斜摄影测量技术在大比例尺测图 中的应用

陈杨仁鑫,王海波

攀枝花学院土木与建筑工程学院, 四川 攀枝花

收稿日期: 2024年6月1日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月28日

摘要

本文使用DJI Phantom 4 RTK无人机进行倾斜摄影数据采集,利用Context capture软件创建三维模型, 并使用DP-modeler软件对模型进行纹理修复,且依靠清华山维EPS对三维模型进行1:500大比例尺地形 图制作,地形图可应用于太阳湖公园的下步规划建设中,并进行了精度分析,对实践生产具有一定指导 意义。

关键词

倾斜摄影测量,三维模型,大比例尺地形图

The Application of UAV Low-Altitude Oblique Photogrammetry Technology in Large Scale Mapping

Yangrenxin Chen, Haibo Wang

School of Civil and Architecture Engineering of Panzhihua University, Panzhihua Sichuan

Received: Jun. 1st, 2024; accepted: Jun. 21st, 2024; published: Jun. 28th, 2024

Abstract

In this paper, DJI Phantom 4 RTK UAV was used for oblique photography data acquisition, Context

capture software was used to create a three-dimensional model, and DP-modeler software was used to repair the geometric accuracy and texture of the model, and the three-dimensional model was carried out with Tsinghua Shanwei EPS. 1:500 large scale topographic map can be used in the next planning and construction of Sun Lake Park, which has certain guiding significance for practical production.

Keywords

Oblique Photogrammetry, 3D Model, Large Scale Topographic Map

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

CC O Open Access

1. 引言

无人机航空摄影测量机动性强、操作便捷、测量精度高、效率高、风险低、图像数据采集分辨率高等优点,在测绘、地质、农业、电力等许多行业都得到了广泛应用。伴随着小型旋翼无人机的快速发展,其已广泛应用于倾斜摄影,构建实景三维模型,在此基础上开展立体测图,应用于实际生产和建设中。何亚锐等[1]利用飞马 D2000 多旋翼无人机的倾斜摄影测量作业流程及大比例尺航测的关键技术,进行了实际倾斜摄影测量测图实验,进行了精度对比研究。结果表明,倾斜摄影测量技术能够满足山区 1:500 地形图的精度要求。李鹏[2]以某市城区为测区,采用 CW30 垂直起降型无人机搭载飞思 IXU-180 R 相机进行 5 cm 分辨率倾斜影像获取,构建测区内实景三维模型,并在三维模型基础上制作数字线划图。通过外业检查,进行精度评定,确定成果满足国家 1:1000 大比例尺测图要求。韩新哲[3]利用无人机搭载倾斜摄影测量系统,采集高分辨率影像进行 1:500 大比例尺地形图测制实验。经精度评定像片控制测量纠正、无人机低空摄影测量技术适用于大比例尺测图项目,能够满足精度要求,较传统测绘方法提高了工作效率。本文以攀枝花太阳湖公园地形测量工程为例,尝试了应用单镜头、经济、高性能、较高效率的 DJI Phantom 4 RTK 无人机,进行倾斜摄影测量数据采集;采用高智能化、高自动化的 Context capture 软件进行无人机航测数据处理,生成 DSM 图、三维模型;采用 EPS 软件,生成大比例尺地形图,可应用于太阳湖公园的下步规划建设中。

2. 作业流程

利用倾斜摄影,多角度采集地物像片,用以快速地进行三维实景建模。其特点是对真实世界进行高度还原,在大范围、复杂的场景建模中有着不可替代的优势。倾斜摄影在规划设计、智慧城市等方面发挥了非常重要的作用。

2.1. 数据采集

2.1.1. 航测像片采集

DJI Phantom 4 RTK 无人机提供了摄影测量 3D (井字飞行)和摄影测量 3D (五向飞行)两种倾斜摄影的 航线规划方式。井字飞行适用于大区域、高航高、低分辨率的任务,五向飞行适用于小区域、低航高、高分辨率的任务[4]。本文采用井字航线飞行采集影像数据,航线规划图见图 1。共采集 1046 张真彩色影像像片。



Figure 1. Route planning diagram 图 1. 航线规划图

2.1.2. 像控点的采集

本文研究像控点的几种布设方法对于测图精度的影响,主要研究像控点四周各布设一个点((a)四点法),在四点基础上,各边加一个点,以及中间加一个控制点,构成九点均匀分布((b)九点法),以及在九点基础上航线方向再加三个控制点达到十二个控制点((c)12点法),如图2。研究这几种控制点布设方案对三维模型精度的影响。



Figure 2. Layout scheme of image control points 图 2. 像控点布设方案

本次所采用的是使用华测 RTK 直接采集像控点坐标位置信息,虽然精度没有全站仪测量的精度高, 但是还是满足此次测图精度要求。本次控制点坐标如表1所示。

秋 1. 谢江黑王师									
点名	X 坐标	Y坐标	Z 坐标						
1	*610.271	*640.049	1217.767						
2	*490.423	*758.389	1225.052						
3	*402.004	*652.389	1225.431						
4	*305.357	*558.298	1224.061						
5	*161.790	*439.374	1217.397						
6	*059.291	*363.779	1222.340						
7	*038.794	*199.806	1234.384						
8	*124.415	*305.914	1222.085						
9	*375.100	*293.584	1222.280						

Table 1. Image control point coordinates 表 1. 像控点坐标

续表			
10	*448.882	*335.594	1215.164
11	*328.977	*341.030	1214.103
12	*577.514	*499.565	1212.247
13	*664.390	*449.954	1212.551
14	*772.143	*585.304	1211.672
15	*469.752	*566.236	1212.110

2.2. 数据处理

ContextCapture 软件可处理多种格式影像资料,能够还原出最真实的三维模型,最大程度还原实地的 纹理几何结构,可以生成多种格式数据,如S3C、OSGB、OBJ、FBX、DAE、STL等,可直接生产 DSM 等数据;可以将文件导入第三方软件进行纹理修复后再导入此软件进行模型更;可以使用 POS 数据定位, 自带定位系统拍摄的影像可不用控制点也能创建三维模型。采用清华山维 EPS 软件生产数字线划图。

2.2.1. 正射影像图和三维模型图生产

获取到基础航测数据后,进行工程建立、影像等数据导入、影像匹配、自由网空三加密及平差、控制点刺点、区域网整体平差、多视角影像密集匹配、三维三角网构建、自动纹理映射、三维实景模型生产等步骤[5]。在空三加密的关键技术环节中,对空三加密成果进行分析与检验,确保空三成果精度可靠,为三维实景模型的建立打下基础。本文利用 ContextCapture 软件处理的数字地表模型图见图 3,生成的实景三维模型见图 4。



Figure 3. Orthographic image 图 3. 正射影像图



Figure 4. Three-dimensional model (local) 图 4. 三维模型图(局部)

2.2.2.修模

太阳湖公园水域面积大,大面积水域纹理信息较少,倾斜摄影空三处理时,在进行影像的同名点匹配中,不能匹配同名点或匹配点为错点,存在水面的反射会导致水面在建模时高程值的异常,导致生成的三维模型水面出现瓦片缺失、空洞或凹陷的现象[6](图 5)。本文利用 DP-modeler 软件进行水面修饰时,首先圈定水面的范围,删除错误的模型,接下来绘制矢量面来将删除的轮廓补充完整,随后进行桥接、补洞、纹理修改等[7]。利用 DP-modeler 修模完成后的三维模型见图 6。



Figure 5. Three-dimensional model before die repair (local) 图 5. 修模前的三维模型(局部)



Figure 6. Three-dimensional model after die repair (local) 图 6. 修模后的三维模型(局部)

2.2.3. 数字线划图生产

本文使用清华山维 EPS 软件进行处理,实现完成线划图的生产。在新建工程中选择标准,本文是绘制 1:500 大比例尺地形图,所以就选取 1:500 的标准,进入界面后。首先进行 OSGB 数据转换(图 7)。



Figure 7. Data conversion 图 7. 数据转换

在转换数据时选择文件路径选择整个数据文件夹,元数据文件选择后缀为.xml 的文件,在选择完成 后点击确定。在数据转换后会在原始文件夹的最后生成一个 dsm 的文件,在三维测图栏点击加载本地倾 斜模型,点击 dsm 文件就可以三维联合绘图,右边显示三维图形,按照右边属性,在三维模型中进行绘制,右边会出图(图 8)。使用 EPS 绘图可以直接根据地物属性选择属性进行绘图,不需再去修改图层设置等。



Figure 8. Joint drawing 图 8. 联合绘图

在地物绘制完成后,加入特征高程点便于生成三角网(图 9),在三角网的基础上,可以根据实际情况 生产等高线,完成数字线划图生产(图 10)。绘制等高线方便快捷。在自动生成的等高线基础上应当做出 部分修改,贴合实际三维模型。达到成图精度。在整图绘制工作完成后,可以将文件保存为其它格式, 可以保存为 dwg 格式,使得文件可以在 CAD 中打开。



Figure 9. Triangulated network 图 9. 三角网



Figure 10. Local digital line graph 图 10. 局部数字线划图

3. 精度分析

3.1. 空三精度

三维精度检查采用已经采集 15 个坐标点,在使用作为控制点以外的已知点作为检查点,进行精度检验,在进行控三计算时加入检查点,以检验三种像控点布设方案的精度。空中三角测量计算精度影响着整个后续处理精度。控制点、检查点中误差计算公式见式(1)。依据《基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字线划图》,在不同地区精度要求如表 2 所示。

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\Delta_{i} \Delta_{i}\right)}{n}} \tag{1}$$

Table 2. Plane position mean square error (m) 表 2. 平面位置中误差(m)

比例且	地形	/类别
	平地、丘陵	山地、高山地
1:500	0.3	0.4
1:1000	0.6	0.8
1:2000	1.2	1.6

本次测区范围属于丘陵地带,测区四点法空三计算控制点精度见表 3,检查点精度见表 4。

Table	e 3. Control point accuracy	of four-point method
表 3.	四点法控制点精度	

名称	类别	精度 [m]	已校准的影像 数	重投影误差 RMS[像素]	与光线的距离 的 RMS [m]	三维误差[m]	水平误差 [m]	垂直误差 [m]
3	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	68 (68marked photos)	0.35	0.0404	0.0043	X: 0.0037 Y: -0.0012	0.0019
5	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	72 (72marked photos)	0.32	0.0479	0.0021	X: -0.0013 Y: 0.0016	0

续表								
9	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	61 (61marked photos)	0.37	0.0461	0.0017	X: -0.0004 Y: 0.0014	0.0009
12	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	64 (64marked photos)	0.36	0.0467	0.0038	X: -0.0037 Y: -0.0007	-0.0003
		整体 RMS		0.35	0.0454	0.0032	X: 0.0027 Y: 0.0013	0.001
		中值		0.36	0.0467	0.0038	X: -0.0004 Y: 0.0014	0.0009

Table 4. Checkpoint accuracy of four-point method 表 4. 四点法检查点精度

名称	类别	精度[m]	已校准的影 像数	重投影误差 RMS [像素]	与光线的距离的 RMS [m]	三维误差 [m]	水平误差 [m]	垂直误差 [m]
1	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	76 (76marked photos)	2.09	0.114	0.1748	X: 0.0267 Y: -0.0056	0.1727
2	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	54 (54marked photos)	0.93	0.0483	0.0621	X:0.0107 Y:-0.0145	0.0594
4	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	62 (62marked photos)	0.65	0.0504	0.0265	X: 0 Y: -0.002	-0.0264
6	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	59 (59marked photos)	1.19	0.0547	0.0891	X: 0.0039 Y: 0.0079	0.0886
7	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	58 (58marked photos)	2.38	0.1101	0.1848	X:0.0069 Y:0.0083	0.1845
8	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	63 (63marked photos)	0.77	0.0398	0.0217	X:-0.0012 Y:-0.006	0.0208
10	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	64 (64marked photos)	1.94	0.117	0.1556	X: 0.0195 Y: 0.0331	0.1507
11	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	65 (65marked photos)	1.2	0.076	0.0907	X: 0.0071 Y: 0.0227	0.0876
13	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	58 (58marked photos)	1.82	0.0934	0.1593	X: 0.0086 Y: 0.0086	0.1588
14	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	70 (70marked photos)	4.05	0.225	0.3652	X:0.0413 Y:-0.0161	0.3626
15	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	75 (75marked photos)	1.5	0.1014	0.1151	X:-0.0345 Y: 0.0184	-0.1083
		整体 RMS		1.92	0.106	0.1601	X:0.0197 Y:0.0157	0.1582
		中值		1.5	0.0934	0.1151	X:0.0071 Y:0.0079	0.0886

Table 5. Accuracy of control points of nine-point method 表 5. 九点法控制点精度

名称	类别	精度[m]	己校准的 影像数	重投影误差 RMS [像素]	与光线的距离 的 RMS [m]	三维误差 [m]	水平误差 [m]	垂直误差 [m]
4	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	62 (62marked photos)	0.39	0.0491	0.0032	X: -0.009 Y: -0.001	0.0029
10	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	64 (64marked photos)	0.51	0.0586	0.024	X: 0.0016 Y: 0.0047	0.0234

续表								
1	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	76 (76marked photos)	0.42	0.0551	0.0167	X: 0.0046 Y: 0.0029	0.0158
2	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	54 (54marked photos)	0.35	0.0475	0.0047	X: 0.0018 Y: 0.0001	-0.0043
6	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	59 (59marked photos)	0.4	0.0529	0.0094	X: 0 Y: 0.0034	0.0087
7	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	58 (58marked photos)	0.41	0.0499	0.0073	X: 0 Y: 0.001	0.0072
8	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	63 (63marked photos)	0.47	0.0494	0.0164	X: 0.0002 Y: -0.003	-0.0161
14	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	70 (70marked photos)	0.42	0.0601	0.0039	X: 0.0024 Y: -0.003	-0.0007
12	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	64 (64marked photos)	0.58	0.0597	0.0363	X: -0.013 Y: -0.002	-0.0337
		整体 RMS		0.45	0.0538	0.0171	X: 0.0049 Y: 0.0028	0.0162
		中值		0.42	0.0529	0.0094	X: 0.0002 Y: 0.0001	0.0029

Table 6. Checkpoint accuracy of nine-point method 表 6. 九点法检查点精度

名称	类别	精度 [m]	己校准的影像数	重投影误差 RMS[像素]	与光线的距离 的 RMS[m]	三维误差 [m]	水平误差 [m]	垂直误差 [m]
3	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	68 (68marked photos)	0.67	0.0454	0.038	X: 0.005 Y: 0.0075	0.0369
5	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	72 (72marked photos)	0.51	0.0532	0.0076	X: -0.0013 Y: 0.005	-0.0055
9	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	61 (61marked photos)	1.49	0.0957	0.1121	X: -0.0171 Y: -0.019	-0.1092
11	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	65 (65marked photos)	0.74	0.057	0.0376	X: -0.0031 Y: 0.0088	0.0364
13	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	58 (58marked photos)	0.71	0.0556	0.0243	X: -0.02 Y: 0.0054	0.0127
15	三维	水平: 0.01 垂直: 0.010	75 (75marked photos)	1.43	0.0997	0.1027	X: -0.0387 Y: 0.0224	-0.0924
		整体 RMS		1	0.0711	0.0666	X: 0.0193 Y: 0.0132	0.0624
		中值		0.74	0.057	0.038	X: -0.0031 Y: 0.0075	0.0127

四点法控制点的水平精度以及高程精度、像素无论是单个点误差还是整体中误差都满足大比例尺的制图精度要求,在控制点中水平、高程中误差满足 1:500 大比例尺制图精度要求。四点法在使用自带 RTK 的无人机测区较大的范围内也是可以适用的。在方案 b (九点法)的控制点精度见表 5,检查点精度见表 6,表中列了出详细数据。

九点法的控制点和检查点,无论是平面精度、高程精度还是像素精度都足以满足 1:500 大比例尺成 图精度要求[8]。对于构建的三维模型清晰,便于后期绘图处理。C 方案(十二点法)控制点、检查点精度 分别见表 7、表 8。

名称	类别	精度[m]	已校准的影 像数	重投影误差 RMS[像素]	与光线的距离 的 RMS [m]	三维误 差[m]	水平误差 [m]	垂直误 差 [m]
4	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	62 (62marked photos)	0.41	0.0492	0.0063	X: 0.0019 Y: -0.0033	0.0051
10	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	64 (64marked photos)	0.67	0.0653	0.0426	X: 0.009 Y: 0.0066	0.0411
1	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	76 (76marked photos)	0.46	0.0565	0.0218	X: 0.0082 Y: -0.0006	0.0202
2	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	54 (54marked photos)	0.38	0.0479	0.0081	X: 0.0076 Y: 0.0010	0.0026
6	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	59 (59marked photos)	0.4	0.0551	0.0041	X: -0.0004 Y: 0.002	0.0035
7	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	58(58marked photos)	0.42	0.0512	0.0109	X: 0 Y: 0.0015	0.0108
8	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	63(63marked photos)	0.48	0.0518	0.0186	X: -0.0014 Y: -0.0041	-0.0181
14	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	70(70marked photos)	0.43	0.0608	0.004	X: 0.0002 Y: -0.0039	0.0008
9	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	61(61marked photos)	0.6	0.0607	0.0388	X: -0.0033 Y: -0.0069	-0.0381
12	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	64(64marked photos)	0.54	0.0579	0.031	X: -0.0114 Y: -0.0048	-0.0284
11	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	65(65marked photos)	0.55	0.0562	0.0345	X: -0.0003 Y: 0.0067	0.0338
15	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	75(75marked photos)	0.63	0.0686	0.0354	X: -0.0166 Y: 0.0075	-0.0304
		整体 RMS		0.51	0.0571	0.0255	X: 0.0072 Y: 0.0047	0.024
		中值		0.48	0.0565	0.0218	X: 0 Y: 0.0010	0.0035

 Table 7. Accuracy of control points of twelve-point method

 表 7. 十二点法控制点精度

 Table 8. Checkpoint accuracy of twelve-point method

 表 8. 十二点法检查点精度

名称	类别	精度 [m]	已校准的影 像数	重投影误差 RMS [像素]	与光线的距 离的 RMS[m]	三维误差 [m]	水平误差[m]	垂直误差 [m]
13	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	58 (58marked photos)	0.75	0.0625	0.0259	X: -0.0219 Y: 0.0069	0.012
5	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	72 (72marked photos	0.74	0.0614	0.0343	X: -0.0079 Y: -0.003	-0.0332
3	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	68 (68marked photos)	1.08	0.0591	0.076	X: 0.0199 Y: 0.0025	0.0733
		整体 RMS		0.87	0.061	0.0504	X: 0.0177 Y: 0.0046	0.047
		中值		0.75	0.0614	0.0343	X: -0.0079 Y: 0.0025	0.012

十二点法的控制点和检查点精度都足以满足地形图制作精度要求。三种方案精度对比可得,九点法 控制点、检查点的像素中误差最小。以及平面中误差和高程误差都是符合制图要求,与十二点法相比较 平面中误差和高程中误差相差不大。在实际生产中测区在 3 km²内,布设九个控制点就足够满足制图需 求,无须布设十二个控制点,费时费力,且生产效率不高。

3.2. 成图精度

最终成图与实际数据会产生一定误差,由于空三计算和刺点等因素导致还有绘图时的误差等。本文 误差分析使用数据采集时的控制点坐标和图测坐标间的误差作为数据分析。平面误差 dX 最大 0.014 m, dZ 最大-0.013 m。全部点位误差见表 9。本次数据误差都在规范要求内,符合成图标准。

点名 -	RTK 实测坐标			图测坐标			坐标差		
	X 坐标	Y坐标	Z 坐标	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标	dX	dY	dZ
1	*610.271	*640.049	1217.767	*610.270	*640.056	1217.780	0.001	-0.007	-0.013
2	*490.423	*758.389	1225.052	*490.423	*758.389	1225.056	0.000	0.000	-0.004
3	*402.004	*652.389	1225.431	*401.991	*652.403	1225.440	0.013	-0.014	-0.009
4	*305.357	*558.298	1224.061	*305.350	*558.306	1224.072	0.007	-0.008	-0.011
5	*161.790	*439.374	1217.397	*161.791	*439.379	1217.401	-0.001	-0.005	-0.004
6	*059.291	*363.779	1222.340	*059.298	*363.773	1222.342	-0.007	0.006	-0.002
7	*038.794	*199.806	1234.384	*038.794	*199.802	1234.395	0.000	0.004	-0.011
8	*124.415	*305.914	1222.085	*124.420	*305.912	1222.072	-0.005	0.002	0.013
9	*375.100	*293.584	1222.280	*375.108	*293.580	1222.275	-0.008	0.004	0.005
10	*448.882	*335.594	1215.164	*448.886	*335.594	1215.172	-0.004	0.000	-0.008
11	*328.977	*341.030	1214.103	*328.987	*341.034	1214.111	-0.010	-0.004	-0.008
12	*577.514	*499.565	1212.247	*577.511	*499.565	1212.248	0.003	0.000	-0.001
13	*664.390	*449.954	1212.551	*664.398	*449.954	1212.556	-0.008	0.000	-0.005
14	*772.143	*585.304	1211.672	*772.148	*585.304	1211.673	-0.005	0.000	-0.001
15	*469.752	*566.236	1212.110	*469.743	*566.234	1212.103	0.009	0.002	0.007

Table 9. Coordinate error 表 9. 坐标误差



Figure 11. Error variation diagram 图 11. 误差变化图

由于表不能直观有效的表达误差波动,将表 9 的坐标差做成折线图表示图(图 11)。误差最大不超过 0.015m 是完全符合成图要求。

4. 结论

本文以四川省攀枝花市盐边县太阳湖公园为研究数据,研究了大疆精灵 4RTK 采集倾斜影像数据流程,使用 Context Capture 软件建立模型过程,并使用 DP modeler 对模型处理。采用清华山维 EPS 进行大比例尺地形图制作。通过此次研究得出以下结论:

使用自带 RTK 的无人机获取倾斜影像,只需少量像控点控制,即可满足大比例尺地形图制作精度要求。像控点的位置分布及数量影响三维模型精度,在太阳湖公园区域内,以三种不同像控点布设方案分析,得出在小区域内使用九点法的效果最佳。多布设像控点浪费人力物力,像控点少了制图精度无法满足。在大面积水域使用 Context Capture 构建倾斜模型会造成水面缺失或空洞,可以使用 DP modeler 进行模型修整,可完善模型纹理和几何结构。本文研究表明无人机航测方法较传统地形图制作效率高、成本低,模型精度高,可以用于下步公园的规划中,对实践生产具有指导意义。

参考文献

- [1] 何亚锐, 陈晓勇. 无人机航摄技术在复杂山区大比例尺测图中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 19(9): 109-112.
- [2] 李鹏. 无人机倾斜摄影技术在大比例尺测图中的应用[J]. 经纬天地, 2023(3): 41-44.
- [3] 韩新哲. 无人机大比例尺测图技术应用研究科技创新与生产力[J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(12): 138-141.
- [4] 秦家鑫,邓明军. 基于大疆精灵 4RTK 的快速测绘方法研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9): 109-112.
- [5] 马立华,郑永虎,丛晓明.无人机倾斜摄影测量三维仿真飞行在龙羊峡水电站高陡边坡数据获取中的应用[J]. 青海科技,2020(6): 72-76.
- [6] 杨彦梅, 王莹, 施磊, 等. 基于 DP-Modeler 的精细化三维模型构建[J]. 测绘通报, 2021(5): 106-110.
- [7] 纪亮. 基于 DP-Modeler 倾斜摄影三维模型单体化研究[J]. 测绘与地理信息空间, 2022, 45(2): 191-197.
- [8] GB/T 39612-2020. 低空数字航摄与数据处理规范(GB/T 39612-2020) [S]. 北京:国家测绘局, 2020.