

无人机航测技术在数字测图的应用

李松俊

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11月24日; 录用日期: 2024年12月19日; 发布日期: 2024年12月26日

摘要

文章使用DJI Phantom 4 RTK无人机进行航空摄影数据采集, 利用Context Capture软件创建三维模型, 使用DP-Modeler软件对三维模型进行纹理修复, 3D模型方便DSM和OSGB的生产, CASS软件生产数字线划图。地形图可用于攀枝花学院本部校区下一步规划建设中, 并且对此次实验进行精度分析, 对生产实践有一定的指导意义。

关键词

无人机, 4D产品, 数字测图

The Application of UAV Surveying Technology in Digital Mapping

Songjun Li

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

Received: Nov. 24th, 2024; accepted: Dec. 19th, 2024; published: Dec. 26th, 2024

Abstract

This paper uses the DJI Phantom 4 RTK drone to collect aerial photography data, creates a 3D model using context software, and performs texture repair on the 3D model using DP-Modeler software. The 3D model facilitates the production of DSM and OSGB, and CASS software is used to produce digital line maps. The topographic map can be used in the next planning and construction of the Panzhihua University main campus, and the accuracy analysis of this experiment is conducted, which has a certain guiding significance for production practice.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle, 4D Product, Digital Surveying and Mapping

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/>



Open Access

1. 引言

无人机航空摄影测量由于机动性强、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生产数字线划图。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一步规划建设中。

传统的大比例尺地形图主要是利用全站仪、GPS 等传统的测量仪器对外业的坐标点进行采集,再利用 CASS 或者 CAD 等计算机内业软件进行内业处理。而随着无人机技术的不断发展,无人机航测成为了重要的地理信息采集手段。无人机航测是航空摄影测量的一种,主要面向低空遥感领域,具有作业成本低、工作效率高、测量精度高等特点,大幅提高了地形测绘的准确性和可靠性。目前,无人机航测主要应用于地形测绘、工程建设、地质灾害、应急处理、城市数字化建设等方面。本文采用平民化的摄影测量产品——大疆精灵 4 RTK 进行摄影测量数据采集,采用 Context Capture 软件进行数据处理,生成地形测绘产品如 3D-Model、DSM、GLG 等。

2. 技术流程

本文采用倾斜摄影多角度采集影像进行三维建模,以及其他产品的生产,对真实的地物地貌进行还原。

2.1. 数据采集

1) 航线规划

为了获取测区测倾斜数据,对测区进行航线规划,如图 1 所示。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]。根据测区的地形和地貌,本文采用井字航线飞行采集影像数据。航线规划如图 1 所示。

2) 航测影像采集形式

3) 像控点的采集

本文所使用的是华测 RTK 直接采集像控点的坐标位置信息,其中所得的像控点坐标位置信息满足此

次测图精度要求。为了减轻内业整理处理数据(如在采集数据寻找控制点)的时间,在外业进行数据采集的时候,应当对控制点进行拍照,更加便于内业识别[5]。控制点坐标如表 1 所示。



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

Table 1. Field data collection of image control points
表 1. 像控点外业数据采集

像控点	X	Y	Z
2	*266.5618	*099.382	1195.869
3	*406.5207	*171.629	1202.8083
5	*701.8889	*173.933	1193.3301
6	*618.4702	*181.84	1209.8973
7	*963.3649	*057.068	1163.1631
8	*946.5679	*144.276	1163.4345
9	*072.3929	*226.602	1148.7472
11	*713.6077	*315.569	1162.6886
12	*671.9003	*302.694	1162.7742
13	*609.9932	*312.471	1162.7044
15	*807.2074	*210.546	1167.843
18	*127.1092	*151.372	1197.0739
19	*075.9732	*40193.4	1198.1649
20	*999.1638	*239.482	1202.2644
21	*902.3445	*306.053	1214.3884
22	*820.2156	*305.567	1214.6281
23	*743.9944	*215.79	1214.8893
24	*975.2069	*022.634	1217.1177
25	*108.2418	*094.356	1198.208

2.2. 数据处理

本文采用 Context Capture 软件生产 3D model、DSM 图和精度分析,采用 Cass 软件生产数字线划图。

2.2.1. 数据的导入与初步处理

外业工作结束后,将收集的外业数据进行处理。数据处理流程图如图 2 所示。

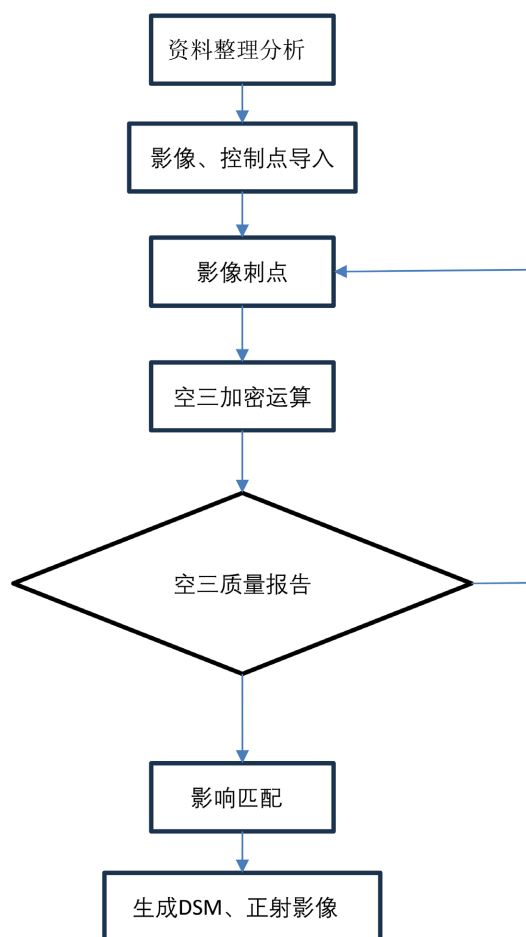


Figure 2. Data processing flow chart
图 2. 数据处理流程图

2.2.2. 像控点数据的处理

将外业数据导入软件后,就需要“刺点”,刺点就是将控制点的坐标信息与内业模型相连接,使得内业模型上具有外业坐标的所有信息。先点击控制点,利用外业拍摄的数据找出控制点在照片的大体位置,接着利用软件的匹配潜在项,选择最为清晰的图像进行刺点(每个控制点量测数目尽量保证在 3~10 张)。

2.3. 摄影测量产品的生产

2.3.1. 3D 模型的生产

将空中三角测量的数据进行三维重建,得到 3D 模型。而测区的 3D 模型的生产是为了方便后期 OSGB 和 DSM 的生产。测区 3D 模型如图 3 所示。



Figure 3. 3D view of the survey area of Panzhihua University

图 3. 攀枝花学院本部测区 3D 视图

2.3.2. DSM (数字地表模型)的生产

DSM (数字地表模型)是 DOM (数字正射影像)和 DEM (数字高程, 模型)的结合。DSM (数字地表模型)产品包含了建筑物、树木等地图上特征物的地面高程模型。本次所生成的 DSM 产品如图 4 所示。

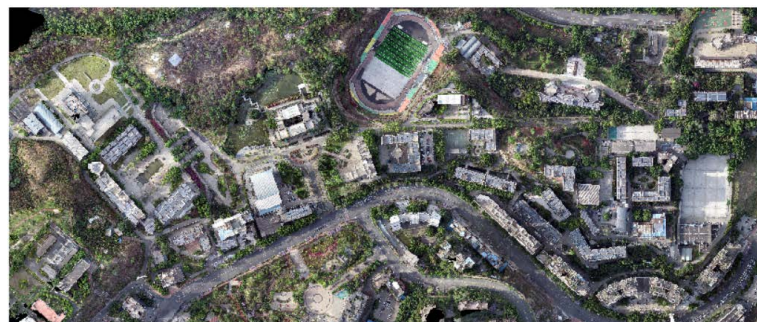


Figure 4. Digital surface model of Panzhihua University

图 4. 攀枝花学院本部校区数字地表模型

2.3.3. DLC (数字线划图)的生产

本次数字线划图的生产采用的是南方 CASS 软件, 利用 CASS 软件进行裸眼测图。生产流程为: ① 先将 Context Capture 生成的数据(dwg 格式)导入到 CASS 中, 利用 CASS 软件进行接下来的数据生产; ② 接着用测区的数据进行 DLG 的生产。导入软件的数据, 左侧显示的是测区的三维图, 右侧显示的生产测区的 DLG。生产过程图如图 5 所示。



Figure 5. Manufacturing process diagram of DLG

图 5. DLG 的生产过程图

DLG (数字线划图)是现有地形图上基础地理要素分层存储的矢量数据集。在此次的 DLG 生产过程中, 因为数据模型中树木和高楼的遮挡, 导致生成的 DLG 存在一定的误差。本次生产的 DLG 如图 6 所示。



Figure 6. Partial digital line drawing of the Panzhihua University
图 6. 攀枝花学院数字线划图

3. 精度分析

3.1. 空三精度

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i \Delta_i)}{n}} \quad (1)$$

三维精度检查采用已经采集的坐标点, 使用控制点以外的已知点作为检查点, 进行精度检验, 在进行空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。

Table 2. Mean square error in plane position
表 2. 平面位置中误差

比例尺	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

提交空中三角测量, 得到测区的质量报告。测区的质量报告如表 3 所示。

Table 3. Quality report
表 3. 质量报告

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]
2	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	62 (62 marked photos)	2.13	0.1554	0.1157	X: 0.1147; Y: 0.0144	0.0045
3	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	34 (34 marked photos)	0.76	0.0837	0.0401	X: 0.0112; Y: 0.0025	-0.0384
5	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	58 (59 marked photos)	1.6	0.1039	0.0883	X: -0.0035; Y: 0.0772	0.0427
6	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	43 (43 marked photos)	0.84	0.085	0.0372	X: -0.0013; Y: 0.0348	-0.0131
7	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	61 (62 marked photos)	2.29	0.1792	0.1409	X: 0.1404; Y: -0.0108	-0.0033
8	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	65 (65 marked photos)	1.82	0.1215	0.1076	X: -0.0643; Y: 0.0862	-0.0031
9	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	47 (48 marked photos)	2.02	0.1288	0.1245	X: -0.0432; Y: -0.11	-0.039
11	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	61 (61 marked photos)	1.34	0.1379	0.10	X: -0.0666; Y: 0.032	0.0673
12	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	60 (60 marked photos)	1.10	0.1085	0.0582	X: 0.0538; Y: 0.0007	0.0221
13	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	72 (72 marked photos)	1.96	0.1641	0.1331	X: -0.0917; Y: -0.0886	-0.0381
15	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	72 (73 marked photos)	1.78	0.1496	0.0979	X: 0.0835; Y: -0.0464	-0.0213
18	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	43 (43 marked photos)	5.95	0.3382	0.355	X: -0.3336; Y: -0.0988	0.0705
19	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	62 (62 marked photos)	2.39	0.172	0.1353	X: -0.1257; Y: 0.0306	-0.0396
20	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	44 (44 marked photos)	2.03	0.107	0.1061	X: 0.097; Y: 0.0394	-0.0168
21	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	28 (28 marked photos)	1.25	0.081	0.054	X: 0.036; Y: 0.0383	0.0084
22	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	24 (24 marked photos)	0.61	0.0644	0.0231	X: 0.0137; Y: 0.0139	0.0048
23	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	26 (26 marked photos)	0.68	0.0871	0.0267	X: -0.0097; Y: -0.0244	0.0048
24	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	41 (41 marked photos)	1.48	0.1083	0.0714	X: 0.0683; Y: -0.02	0.0054
25	三维	水平: 0.01; 垂直: 0.010	42 (42 marked photos)	2.38	0.1504	0.1298	X: 0.1239; Y: 0.0246	-0.03

根据国家关于大比例数字测图标准，本次测图满足 1:500 大比例尺数字测图要求，像素误差小于 1 个像素，X、Y、Z 各方向的误差应小于 0.1 m。

3.2. 成图精度

最终的成图与实际的数据会产生一定的误差，以及空三计算和“刺点”等因素的影响会导致绘图产生误差。通过 Context Capture 重建测区的 3D 模型之后，利用软件本身的测量工具，可以测出模型上点的坐标值，再利用 GPS-RTK 在实际的地点测出相同的坐标值。可以得到部分坐标点实际值与模型之间的差值。误差计算如表 4 所示。

Table 4. Coordinates and error calculation of image control points
表 4. 像控点坐标及误差计算

像控点	实际测量值			模型坐标值			差值		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
2	*266.5618	*099.382	1195.869	*266.5765	*099.396	1195.8645	0.0147	0.0144	-0.0045
3	*406.5207	*171.629	1202.8083	*406.5319	*171.632	1202.7699	0.0112	0.0025	-0.0384
5	*701.8889	*173.933	1193.3301	*701.8854	*174.01	1193.3728	-0.0035	0.0772	0.0427
6	*618.4702	*181.84	1209.8973	*618.4689	*181.875	1209.8842	-0.0013	0.0348	-0.0131
7	*963.3649	*057.068	1163.1631	*963.4053	*057.057	1163.1598	0.0404	-0.0108	-0.0033
8	*946.5679	*144.276	1163.4345	*946.5036	*144.362	1163.4314	-0.0643	0.0862	-0.0031
9	*072.3929	*226.602	1148.7472	*072.3497	*226.592	1148.7082	-0.0432	-0.01	-0.039
11	*713.6077	*315.569	1162.6886	*713.5411	*315.601	1162.7559	-0.0666	0.032	0.0673
12	*671.9003	*302.694	1162.7742	*671.9541	*302.695	1162.7963	0.0538	0.0007	0.0221
13	*609.9932	*312.471	1162.7044	*609.9015	*312.382	1162.6663	-0.0917	-0.0886	-0.0381
15	*807.2074	*210.546	1167.843	*807.2909	*210.5	1167.8199	0.0835	-0.0464	-0.0231
18	*127.1092	*151.372	1197.0739	*127.0756	*151.471	1197.1444	-0.0336	0.0988	0.0705
19	*075.9732	*193.4	1198.1649	*075.9475	*193.431	1198.1253	-0.0257	0.0306	-0.0396
20	*999.1638	*239.482	1202.2644	*999.2608	*239.521	1202.2476	0.097	0.0394	-0.0168
21	*902.3445	*306.053	1214.3884	*902.3805	*306.091	1214.4009	0.036	0.0383	0.0125
22	*820.2156	*305.567	1214.6281	*820.2293	*305.581	1214.6365	0.0137	0.0139	0.0084
23	*743.9944	*215.79	1214.8893	*743.9847	*215.766	1214.8941	-0.0097	-0.0244	0.0048
24	*975.2069	*022.634	1217.1177	*975.2752	*022.636	1217.1231	0.0683	0.002	0.0054
25	*108.2418	*094.356	1198.208	*108.2657	*094.381	1198.178	0.0239	0.0246	-0.03
中误差							0.0112	0.0139	-0.0033
平均误差							0.005416	0.016589	-0.00081

由于表不能直观感受误差波动，将表 4 做成折线图表示。折线图如图 7 所示。

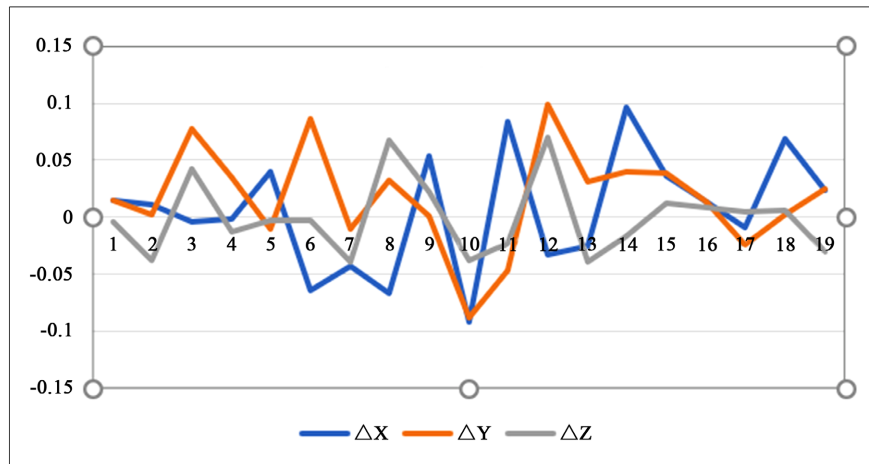


Figure 7. Tie point offset polyline chart
图 7. 像控点偏差折线图

根据表 4、图 7 可表明，本次实验的 X 方向的中误差为 0.0112，Y 方向的中误差为 0.0139，Z 方向的中误差为-0.0033，都满足国家关于 1:500 的成图规范。

3.3. 不同控制点方案误差分析

根据测区的大小和形状，本次实验采用了四种不同的控制点布设方案，研究了不同方案下误差的变化。控制点设计方案如图 8。

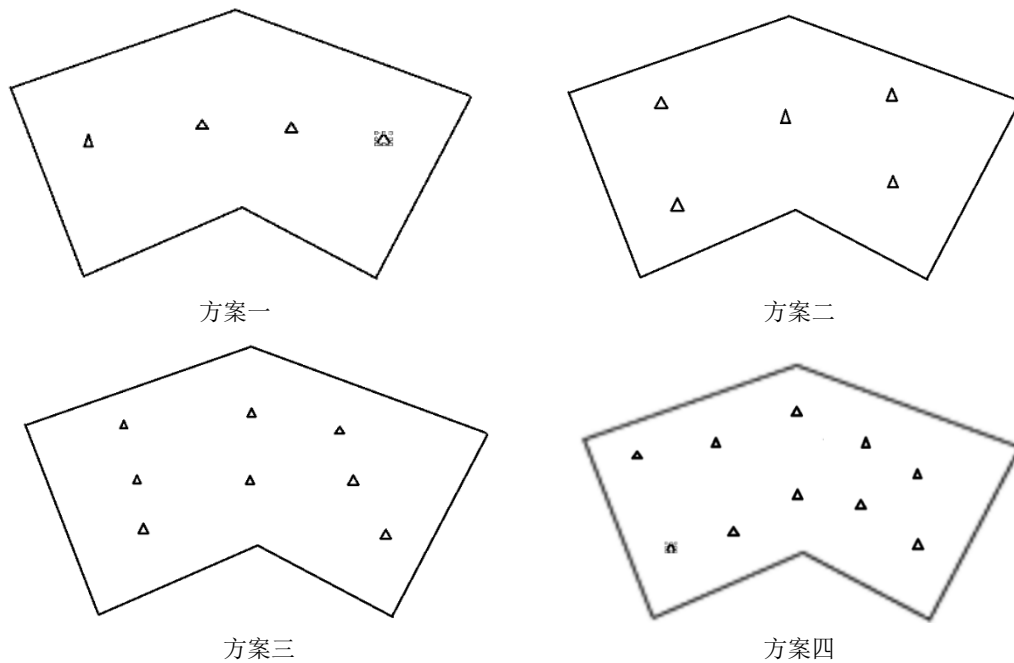


Figure 8. Four different control point schemes
图 8. 四种不同的控制点方案

如表 5~8 以及图 9 所示，此次的实践基本上满足国家关于 1:500 的成图标准，仅在方案二中有一个检查点的重投影误差超出限差。根据对四种方案的对比，发现控制点数量越多，整体的中误差越小，但

是在控制点数量增加到一定数量的时候，误差值不会随着控制点的增加而出现明显地减小。因而在实际生产的时候，应当结合测区面积、高差和经济因素对控制点的数量做出改变。

Table 5. Precision of control points for scheme I

表 5. 方案一控制点精度

点名	重投影误差[像素]	ΔX	ΔY	ΔZ
2	0.86	0.0225	-0.046	0.0999
6	0.93	-0.0075	0.0082	0.0216
15	0.91	0.0895	-0.0949	-0.0695
25	0.88	-0.0304	-0.0371	0.075
中误差	0.89	-0.0258	-0.0436	0.0569

Table 6. Precision of control points for scheme II

表 6. 方案二控制点精度

点名	重投影误差[像素]	ΔX	ΔY	ΔZ
2	0.59	-0.025	-0.477	0.0644
6	0.85	-0.0141	0.0026	0.087
15	0.8	-0.0208	0.0609	-0.0522
25	0.92	-0.0396	-0.02	0.017
中误差	0.86	-0.0195	-0.0368	0.0346

Table 7. Precision of control points for scheme III

表 7. 方案三控制点精度

点名	重投影误差[像素]	ΔX	ΔY	ΔZ
2	0.49	0.0082	-0.0023	-0.0033
6	0.79	-0.0111	0.0316	-0.0007
15	0.99	0.0242	-0.0372	-0.0166
25	0.75	-0.0122	0.0013	0.0038
中误差	0.81	0.0156	0.0103	0.0238

Table 8. Precision of control points for scheme IV

表 8. 方案四控制点精度

点名	重投影误差[像素]	ΔX	ΔY	ΔZ
2	0.51	0.0047	-0.0156	-0.0046
6	0.80	-0.0102	0.0258	-0.0109
15	0.95	0.0190	-0.0349	-0.0054
25	0.73	-0.0144	0.0025	0.0225
中误差	0.80	0.0148	0.0098	0.02052

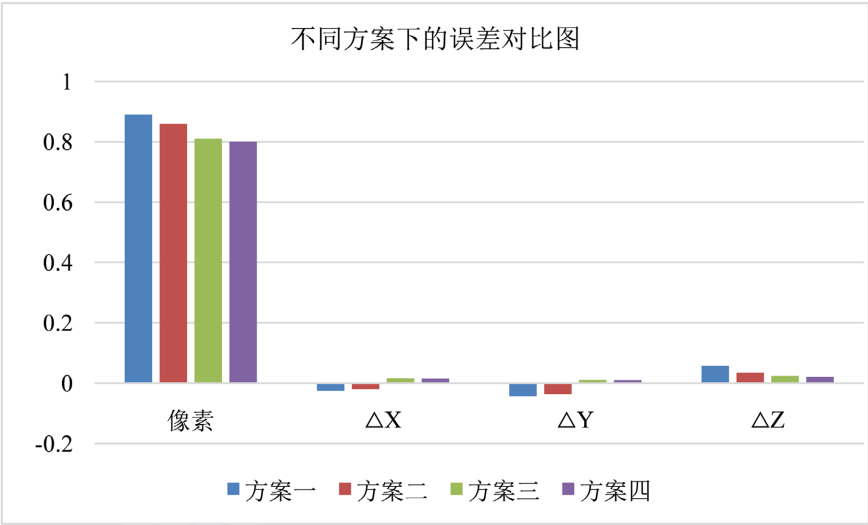


Figure 9. Errors and analysis of different schemes
图 9. 不同方案的误差和分析

4. 结论

本文以攀枝花学院为研究区域，研究了大疆精灵 4 RTK 采集倾斜影像数据流程，采用 Context Capture 软件进行摄影，采用 CAD 和 CASS 进行大比例尺地形图生产。地形图可用于攀枝花学院本部校区下一步规划建设中，并且对此次实验进行精度分析，对生产实践有一定的指导意义。

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 4 RTK 的快速测绘方法研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9): 109-112.
- [5] Kang, C.L., Xie, M.T. and Fan, D.L. (2019) Study on the Seamless Integration Technology of Oblique Photography Real-Time Model Base on AutoCAD. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **237**, Article 032042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/237/3/032042>