

# 基于小型无人机测绘 1: 500 地形图精度分析和应用

李涛会<sup>1</sup> 张茂刚<sup>1</sup> 费伟<sup>1</sup> 侯宽信<sup>2</sup>

1. 无锡城市职业技术学院, 中国·无锡 214000  
2. 无锡托普测绘科技有限公司, 中国·无锡 214000

**【摘要】**1: 500 地形图测绘相对精度要求比较高, 传统测绘方法外业工作量大, 耗时耗力, 而无人机测绘技术的引入使外业变得快捷方便, 特别是对大比例尺测绘工作带来革命性的变革, 但对于无人机测绘 1: 500 地形图精度问题始终是萦绕在用户心头的一大疑问, 本文通过案例利用小型无人机低空航测大比例尺 1: 500 地形图, 通过像控点和检核点两种数据采集方法比对分析检验了无人机航测大比例尺地形图的可靠性, 经过成图处理生产的正射影像图和数字线划图完全达到 1: 500 地形图规范要求。

**【关键词】**1: 500 地形图; 无人机航测; 精度分析; 正射影像; 数字线划图

## 1 引言

### (1) 无人机测绘技术发展

近年来随着测绘科学技术日新月异的发展, 测绘地理信息行业高新技术、新设备的不断取得长驱成就, 测量测绘方式方法也在不断产生着变革性的变化, 以往传统的测量测绘方式手段迅速被高新测绘技术、先进设备所取代, 传统测绘大有被新技术颠覆性变革的趋势, 特别是无人机航测在近几年地形图测绘中所运用的高新技术, 重点体现在低空无人机测量在土地资源监测、资源保护、治理和规划等方面越来越发挥着至关重要的价值。低空无人机测绘具有相对比较高的灵活性, 而且所需投入的人力时间成本比较低, 容易适应在各种条件下快速完成既定测绘任务。在图像和数据处理软件以及无线通讯技术的飞速发展支撑下, 无人机测绘技术的应用领域得以进一步拓展, 在测绘领域中扮演着愈来愈重要的角色, 但是目前更多局限于在创建正射影像 (DOM) 与高程数字模型 (DEM) 方面有所价值, 而相对于地形图特别是大比例地形图测绘依然处于探索实验进程中, 距离全面推广普及这项高新技术依然任重道远<sup>[1]</sup>。至于大比例尺地形图特别是 1: 500 地形图因为诸多局限因素的影响制约了这一技术在该领域的进一步推广。

### (2) 无人机测绘的局限性

在测绘地形图领域多局限于大型无人机测绘中小比例尺地形图, 对于大比例尺地形图的测绘依然多采用全站仪或 GPS, 制约因素主要是: 一是大型无人机价格高昂, 一般中小型测绘单位难于承受资金压力, 二是对于精度能否满足大比例尺精度要求持怀疑态度。对于近年来涌现的小型低空无人机在测绘领域的异军突起, 最直接的表现就是高效率、低成本, 以及设备的智能化和小型化。本文利用一款经济实用、小型、多旋翼主要面向低空摄影测量应用的大疆精灵 4-RTK 版无人机, 它具备 cm 级卫星定位系统。本文将结合实际测绘项目作为研究对象, 分析无人机在 1: 500 地形图测绘的精度分析及有效应用。下面我们就以无锡城市职业技术学院航测 1: 500 地形图案例来论证小型无人机在大比例尺地形图测绘中的应用以及精度分析。

## 2 无人机航拍及数据采集

### (1) 产品配置及技术参数

本项目所使用为 DJI Phantom 4 RTK 无人机, 该机配备单镜头, 为大多中小型测绘所能承受的起的低廉价格, 也可作为大中院校实验实训以及科研设备。

DJI Phantom 4 RTK 技术参数: 大约有 30 分钟左右的续航时间, GNSS 使用的频点分别有: GPS: L1/, L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; 该机定位精度适中: 垂直精度为 1.5 cm + 1

ppm (RMS); 水平精度为 1 cm + 1 ppm (RMS), 内置红外感知系统, 能自动感知 0.2 - 7 m 范围内的障碍物 (具备表面为漫反射的材质, 且反射率要 > 8%), 搭配的云台相机: 1 英寸 CMOS 的感光元件; 有效像素达到 2000 万 (总像素 2048 万); P4 RTK 每台相机出厂前已经做过单体校核, 并记录对应的 OPENCV 参数。云台相机能够兼容输出没有经过畸变矫正的原始图像, 并且在照片 XMP 信息中能够输出该相机的 OPENCV 畸变矫正参数, 使用户便以后期处理。

### (2) P4 RTK 精度实测

①测区概况: 本测区位于无锡市惠山区钱藕路与新藕路交叉口口的无锡城市职业技术学院北校区, 测区为平原地貌类型, 测绘当天天气晴朗, 地面风力微风, 测区面积约为 0.5 平方公里。

②像控点及检核点布设和数据采集: 为了保证数据检核的真实性, 在测区内按照 1: 500 地形图规范要求均匀布设了多个像控点和检核点来检核数据精度, 由于 P4 RTK 采用的网络连接方式是千寻 CORS 的 8002 端口, 故为了保证检核的一致性, 进行图根控制测量中采集像控点和检核点的 GPS 设备连接的也是采用千寻 CORS 的 8002 端口。为了保证所采集像控点和检核点精度, 以学校附近城市控制点联测, 布设无约束 GPS 基线向量网, 利用带棱镜基座的三脚架对中正平后采集, 为了提高定位结果的精度和可靠性, 对所采集的数据按照间接平差法平差处理, 本测区所布设的像控点和检核点既作为测图平面控制点和检核点亦作为高程控制点和检核点, 平面点 GNSS 网采用多边形环; 高程控制点符合 GNSS 布设图根高程控制点方法, 联测不低于三等水准的高程点, 并且所采集的像控点和检核点通过拟合优化的方法确定各的高程, 实际联测高程点数为 6 个。如图 1 所示, 为尽可能减少内业刺点所产生的点位精度误差, 本次采用红黄相间 1m × 1m 的十字标志布做像控点及检核点, 在 0.5 平方公里测区范围内依据 1: 500 地形图规范要求相对均匀布设了 6 个像控点, 3 个检核点。



图1 像控点和检核点标志

③飞行信息:

表1 无人机飞行参数

飞行模式	航高(m)	分辨率(cm/pix)	重叠度(航向/旁向)	单架次作业时间(s)	单架次作业面积(km <sup>2</sup> )
RTK模式(千寻网络cors)	100	2.73	80/80	16m16s	0.4

本研究项目校区内最高建筑物图文信息中心高度不超过50m,考虑到像片畸变和分辨率,故设定安全航高为100m,预置同一条飞行路线上周围相接像片的飞行高度偏差均小于20m,同一飞行路线上最高最低飞行高度之差通常不超过30m,为了保证成图影像质量,设置航向重叠度为80%,旁向重叠度为80%,本次航拍时间选择在下午2点过后学生上课时间,校园人流稀少,避免课间学生大面积聚集对地物轮廓产生干扰,前后飞行了两个架次,共布设12条航带,覆盖整个北校区及周边道路,首架次飞行了7条航带,生产了754张航片;后续架次完成了剩下的5条航带,拍摄生产了615张航片;本测区飞行路线共计有8.4km,航片总数1369张<sup>[2]</sup>。

3 精度成果对比

P4 RTK支持RTK和PPK两种定位获取方式,RTK支持网络CORS(千寻)和自定义的当地网络CORS,而PPK能支持市面上各种品牌GNSS主机做基站。本项目所做测试,P4RTK航测采集的数据和按照图根控制测量而布设的无约束GPS基线向量网获取的地面坐标数据均是以连接千寻CORS获得,平面坐标系均采用的是WGS84大地坐标系,将采集到的影像数据在输入经过平差处理后的像控点和检核点前提下导入Pix4d后处理软件进行数据解算,分析比较得出具体解算报告。详细精度对比如下表2和表3所示:

表2 DOM上实测点与控制点及检核点平面坐标对比表(单位:m)

点号	DOM-X	DOM-Y	X	Y	ΔX	ΔY	ΔXY
KZ1	3495827.8	516818.624	3495827.803	516818.633	0.00	-0.01	0.01
KZ2	3495692.669	517149.772	3495692.664	517149.771	0.01	0	0.01
KZ3	3495828.785	517357.787	3495828.784	517357.811	0.00	-0.02	0.02
KZ4	3496115.561	517206.736	3496115.54	517206.763	0.02	-0.03	0.04
KZ5	3496128.601	516878.659	3496128.605	516878.664	0.00	-0.01	0.01
KZ6	3496067.752	516934.41	3496067.699	516934.46	0.05	-0.05	0.05
KZ7	3496085.18	516952.566	3496085.15	516952.602	0.03	-0.04	0.05
KZ8	3495875.285	516964.966	3495875.261	516964.98	0.02	-0.01	0.02
KZ9	3495963.042	516992.065	3495963.033	516992.067	0.01	0	0.01
中误差:0.02m							
注:KZ1-KZ5为控制点、KZ6-KZ9为检核点。							

表3 DOM上实测点与控制点及检核点高程对比表(单位:m)

点号	DOM-H	H	ΔH
KZ1	10.242	10.21	0.032
KZ2	10.832	10.807	0.025
KZ3	10.715	10.762	-0.047
KZ4	10.99	10.962	0.028
KZ5	10.679	10.628	0.051
KZ6	10.629	10.657	-0.028
KZ7	10.612	10.672	-0.06
KZ8	10.683	10.616	0.067
KZ9	9.568	9.525	0.043
中误差:0.042m			
注:KZ1-KZ5为控制点、KZ6-KZ9为检核点			

附规范:CH/T 9008.1-2010 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 数字线划图精度参数如下表4和表5所示:

表4 平面位置中误差(单位:m)

比例尺	地形类别	
	平地、丘陵地 坡度<6°	山地、高山地 坡度≥6°
1:500	0.3	0.4
1:1000	0.6	0.8
注:允许最大误差为两倍中误差。		

表5 高程中误差(单位:m)

要素	比例尺	地形类别			
		平地 (坡度<2°)	丘陵地 (2°≤坡度<6°)	山地 (6°≤坡度<25°)	高山地 (坡度≥25°)
高程注记点	1:500	0.2	0.4 (0.2)	0.5	0.7
	等高线	0.25	0.5 (0.25)	0.7	1.0 (地形变换点)
等高线	1:1000	0.2 (0.4)	0.5	0.7	1.5
	等高线	0.25 (0.5)	0.7	1	2.0 (地形变换点)
注:允许最大误差为两倍中误差。					

中误差可以理解为线划图上地物点坐标与实测对应地物点坐标差值的绝对值,这一些数字按照大小顺序排列后取中,这个就可以理解为中误差。中误差并不是限差,实际上极限误差=2\*中误差。表2和表3中通过RTK联测城市控制点布设的像控点和检核点的数据,经检验均符合测绘1:500地形图规范所规定的图根点相对于附近高一等级控制点的点位中误差不超过地形图上0.11毫米,高程中误差不超过地形图基本等高距之10%的规范要求。并已按照间接平差处理。通过GPS采集的数据和无人机航拍采集的数据比对发现对于平面点位相对中误差为0.02m,点位KZ6误差最大为0.05m,满足1:500平地点位精度0.3m要求;高程相对中误差为0.042m,其中KZ8误差最大为0.067m,亦符合1:500地形图平地高程0.2m精度要求。有此可以得出利用小型无人机低空航测技术完全可以胜任大比例尺1:500测绘的精度要求。

4 成图处理

无人机航测完成后,生成相应时刻下的位置及姿态的POS数据。本项目采用Pix4d后处理软件,进行POS数据导入和处理,生成POS数据文件。通过拼图软件对影像进行处理,接着进行空三解算初影像外方位要素,图像

(下转118页)

计、人才培养实施、就业等3个人才培养过程的内部质量监控、评价与改进机制,形成人才培养过程闭环,实施“招生-培养-就业”的应用型人才培养联动机制,确保专业教学质量监控体系的科学性和实用性,确保人才培养目标顺利达成。教学质量保障体系如图1所示。

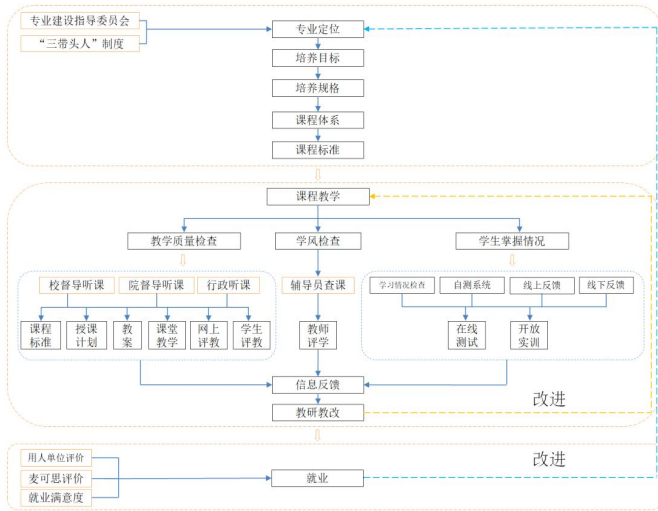


图1 专业教学质量监控系统图

(1) 人才培养设计环节应以市场需求为依据,以专业建设指导委员会为依据,形成校内专业带头人、同类高校一线教授

和企业技术高管为核心成员的“三带头人”机制,系部教师全体参与,共同论证人才培养体系,达成共识。

(2) 人才培养实施过程评价应大力开展“平时成绩+课末评价”相结合、“上机+理论”相结合、“线上+线下”相结合、“答辩+考试”相结合、“企业+校内”相结合等有利于综合评价学生学习效果的课程评价方法改革。

(3) 就业工作应与招生、人才培养形成联动机制,在充分分析用人单位对人才培养质量满意度、学生就业满意度、社会评价、政府评价等数据后,形成总结性知识,并使其为下一届人才培养优化提供参考依据。

参考文献:

[1]林江湧,吴素梅,宋彩萍.专业定位与专业建设[J].高教发展与评.2012(4):102-107.  
 [2]李发陵,陈艳.新工科背景下应用型本科软件工程专业工程实践课程体系研究与实践[J].科学咨询.2019(10):98-99.  
 [3]于志晶,刘海,岳金凤,李玉静,程宇,张祺.中国制造2025与技术技能人才培养[J].聚焦.2015[21]:10-24.  
 [4]汪卫琴.高校毕业实习工作的现状分析及对策建议[J].四川教育学院学报,2005(9):12-14.

作者简介:

李发陵(1981-),男,重庆人,副教授,高级工程师,硕士,研究方向:高等教育教学与管理。  
 张浩然(1982-),男,重庆人,助教,硕士。

(上接116页)

拼接完成后形成精度报告,同时对成果质量进行评估,得到细致、量化的空三、小区域平差和地面像控点精度数据。在图像初步处理完成后,还要在图像上刺出像控点,使用空三加密功能进行自动连接点匹配及平差计算。初步平差后,检查控制点位置正确与否,针对有偏差之点位要予以调整、优化,直至达到标准。像控点刺点结束后, Pix4d 自动匹配生成 DOM(正射影像)及 LAS 格式的彩色点云。随后基于初步成果,调整影像中房屋及道路位置拼接线,防止出现扭曲、错位。最后输出高质量正射影像图和点云数据、校区数字线划图[3]。

因为 DSM 点云数据是依据密度设置在全校区范围内等间隔生成,未对地物区分类别,要对点云数据进行分类。如将教学楼、铺装路面和湖面的点云数据加以隐藏或者删除,相对于平地、坡地、小山包欲生成等高线的区域,在原始点云高程数据的基础上去掉植被高度,从而获得地面点真实高程。然后正射影像及点云数据导入 CASS9.1 软件绘制 1:500 线划图。本项目中形成的正射影像图没有呈现模糊部分,所以不需要补测或重测,所绘制的 1:500 数字线划图精度符合要求,实用可靠,达到预期效果。(图2)

5 结论

综上所述,小型无人机配合少量像控点进行作业,具有较高的自符合精度,平面和高程中误差均满足国家大比例尺地形图相关规范,可以适用于小测区大比例尺地形测图(1:500)的测绘需要。对于中小型测绘单位是个经济实惠便捷的测绘新技术、新设备,亦能满足大中专院校在教学中开展相应实验实训要求。

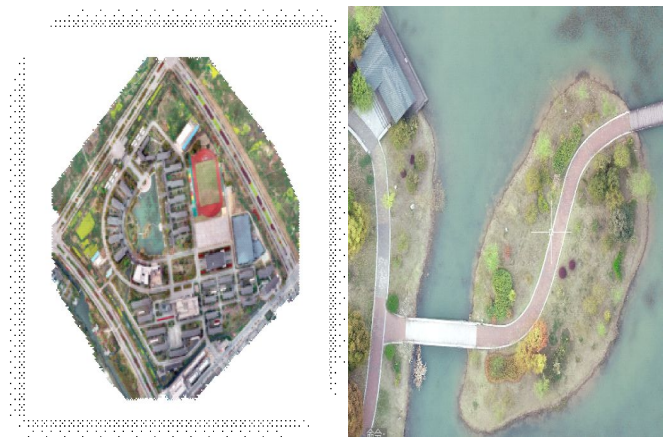


图2 无人机航拍正射影像图

参考文献:

[1]张利杰.无人机航测技术在基层测绘工作中的应用分析[J].中国设备工程,2020(18):116-118.  
 [2]刘永亮.智能测绘无人机1:1000地形图测绘的实践研究[J].工程建设与设计,2018(22):272-273.  
 [3]陈尊充,陈炳桐.关于大比例尺航测成图的体会[J].城市勘测,2002(03):25-27+30.