

小型无人机结合GPS在数字化测图中的应用

赵晓林

陕西中凌华源勘测规划设计有限公司 陕西 榆林 719000

摘要：本研究系统探讨数字化测图技术的理论体系与应用实践，在传统白纸测图理论框架基础上，通过融合空间数据库构建技术与地理信息处理方法，建立了涵盖地理数据采集、坐标转换、特征识别、动态存储、智能处理及可视化输出的全流程技术架构。聚焦大比例尺地面数字测图与既有地图数字化两大核心研究内容，重点解析了外业数据采集技术及其配套无人机、GPS的实践应用，系统阐述了数字化地形测量的全流程作业体系，并详细论证了基于专业制图软件开展内业数据处理的技术路径。

关键词：数字测图；数据采集；图形编辑；无人机；航测

引言：现代测绘领域正经历着技术革新浪潮，传统制图模式逐渐被集成化的测绘体系所取代。由GPS-RTK技术与小型无人机组成的联合作业系统，在实际工程应用中形成了独特的技术特色。卫星定位技术迭代更新使RTK在开阔场地的平面定位误差稳定控制在3-5厘米区间，完全适配1:2000大比例尺测图的精度要求^[1]。而小型无人机的介入大大的提升了外业的工作效率，对于一些小范围的地形图测绘有着显著的优势。针对城市核心区建筑遮蔽或林区复杂地形场景，研究团队开发了三级测绘工作流程：前期依据GPS静态观测进行首级控制点的解算，然后通过GPS-RTK模式进行控制点、像控点、检查点的布设，最后内业成图。经测试，基于CASS10.1平台的多源数据集成处理可将平面精度提升至 $\pm 5\text{cm}$ ，高程误差值较规范标准降低约15%，这种创新性的技术组合不仅使外业工期压缩40%以上，相较于人工采集的地形点，高程部分更加密集准确。

小型无人机与RTK技术在地形测绘中的协同应用能够实现技术优势的互补整合。传统全站仪独立作业时需预先布设图根控制网，这不仅导致时间成本与人力资源投入成倍增加，还会产生额外的资金负担。相比之下，小型测绘无人机的出现不仅能节省60%以上的人力和物力，还突破了传统作业的时间限制，支持全天候不间断数据采集。但需指出的是，该技术受天气影响较大，雷雨大风天气无法进行作业。实际作业中，针对开阔地带的区域采用无人机搭载激光雷达正射摄影测量；在房屋较密集的区域采用倾斜摄影测量技术，依据五镜头的优势完成；在遮挡较为严重的区域采用传统的全站仪进行测绘。这种动态切换的协同模式不仅使外业数据采集效率提升40%以上，更在复杂地形环境中实现了厘米精度与

作业时效性的动态平衡。

1 控制测量

1.1 静态观测准备

根据测绘遵循的原则，在布局上是由整体到局部，在精度上是由高级到低级，在次序上是先控制后碎部。控制网是一个地区或者测区的统一坐标基准框架，是保证测量精度的重要因素，按等级可分为ABCDE。本次我们采用的E级的控制网，已有资料中含有3个已知D级控制点，有2个控制点较测区较近，KZD1、KZD2为已知控制点，KZD3、KZD4、KZD5、KZD6为未知控制点^[2]。

1.2 埋石

本项目拟采用混凝土普通标石作为平面、高程控制点标石，标石标志上部为球形，球形半径不小于10mm，标志的圆球部应采用不锈钢材料制作，并应高出标石面5mm，标志头中间刻“十”字作为平面点位标志，十字丝宽度应小于0.5 mm，标石露出地面3至5cm，埋设时应将标石夯实，以免下沉和移动。

1.3 观测及成果解算

控制网采用GNSS观测方法，使用4台以上在鉴定有效期内合格的双频接收机，在观测前对所使用的GPS接收机和基座、脚架等进行必要的检视，主机与配件是否齐全完好，作业前要对光学对中器进行检查，确保对中精度在2mm以内。

测前应制定好观测计划，编制观测路线、作业调度表。外业观测应做好观测记录，按照记录簿中的内容逐项填写。GPS天线高应量取两次，两次读数差不应大于3mm时取平均值作为最后结果，记录在手簿中^[3]。若互差超限，应查明原因，重新量取。观测工作结束后，应及

时整理和检查外业观测手簿,导出观测数据,确认观测成果全部符合规定后,方可进行计算。在进行计算时要进行下列检查并提交相应资料^[4]。

(1) 同一时段采用同一卫星系统的观测值的数据剔除率不宜大于20%。

(2) 重复基线检验:

$$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma$$

式中: σ —基线测量中误差,单位为毫米(mm)。

(3) 同步环环差检验

同步环的坐标闭合差应附合下式的规定:

$$W_x, W_y, W_z \leq \frac{\sqrt{n}}{5}\sigma$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2}$$

$$W \leq \frac{\sqrt{3n}}{5}\sigma$$

式中 n ——同步环中基线边的个数;

W ——同步环环线全长闭合差(mm)。

(4) 异步环环差检验

异步环和附合路线坐标闭合差 W_s 各坐标分量闭合差(W_x 、 W_y 、 W_z)应符合下式:

$$W_x, W_y, W_z \leq 2\sqrt{n}\sigma$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2}$$

$$W \leq 2\sqrt{3n}\sigma$$

式中 n ——异步环中基线边的个数;

W ——异步环环线全长闭合差(mm)。

1.4 基线向量解算

1.4.1 准备工作

基线解算前,应按规范、技术设计的要求及时对外业全部资料全面检查和验收,其重点包括成果是否符合规范要求,观测数据质量分析是否合理等;当采用不同类型接收机时,应将观测数据转换成标准交换格式。

1.4.2 解算方案

根据外业施测的精度要求和实际情况、软件的功能和精度,可采用多基线解或单基线解;起算点的选取应根据测量已知点的情况确定坐标起算点,每个同步观测图形应至少选定一个起算点。

1.4.3 基线向量解算基本要求

D、E级GNSS控制网基线处理时,可采用广播星历。控制网观测值均应加入对流层延迟修正,对流层延迟修正模型中的气象元素可采用标准气象元素。基线解算,按同步观测时段为单位进行。按多基线解时,每个时段须提供一组独立基线向量及其完全的方差-协方差阵;按

单基线解时,须提供每条基线分量及其方差-协方差阵。

GNSS网根据基线长度允许采用不同的数据处理模型。但是长度小于15km的基线,应采用双差固定解。长度大于15km的基线可在双差固定解和双差浮点解中选择最优结果。

1.4.4 重测与补测

未按施测方案要求,外业缺测、漏测,或数据处理后,观测数据不满足规定时,有关成果应及时补测。允许舍弃在复测基线边长较差、同步环闭合差、独立环或附合路线闭合差检验中超限的基线,而不必进行该基线或与该基线有关的同步图形的重测,但应保证舍弃基线后的独立环所含基线数满足规定,否则,应重测该基线有关的同步图形。

对需补测或重测的观测时段或基线,要具体分析原因,在满足观测仪器要求的前提下,尽量安排一起进行同步观测。补测或重测的分析应写入数据处理报告。

2 数字化测图实例

2.1 倾斜摄影测量技术

倾斜摄影测量技术是依据同一飞行平台搭载多台传感器,例如:五镜头相机,可以同时从五个方位进行采集,通过构建立体的倾斜模型进行表面纹理的分析。传统的采用RTK结合全站仪地形图测绘,效率低、风险大、成本昂贵且耗时,随着无人机的快速发展和各平台软件的逐步优化,使用无人机进行数字化测图风险更小,耗时较短,大大减少了外业工作量,并可满足1:2000地形图精度要求。

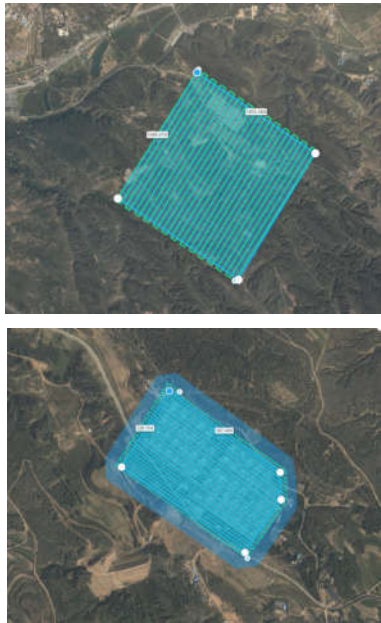
2.2 作业流程

2.2.1 设备投入

根据工程项目周边环境因素以及作业要求进行分折,并查询计划飞行当天天气情况,以便于随时应对突发情况。本次依据陕西省榆林市某个村庄为例,根据甲方要求需提供1:2000地形图,计划投入GPS 4台,大疆M300无人机1台(搭配五镜头),LiDAR360软件1套,ContextCapture Center Master软件1套,eps软件1套,cass10.1软件1套,总计划飞行面积2.3个平方公里,其中村庄密集区域占地0.5个平方公里。既定方案:采用正射摄影测量技术进行宽敞区域的数据采集,采用倾斜摄影测量技术进行村庄密集区域数据采集。范围内计划飞行4个架次,正射飞行高度120m,倾斜飞行高度60m。

2.2.2 航测设计

依据《低空数字航空摄影规范》结合甲方要求,本次采用1985国家高程基准,按照规范要求进行航摄分区和航线的布设。如下图:

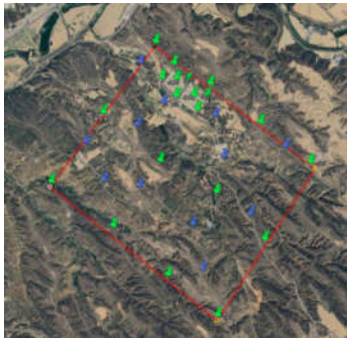


2.2.3 像片重叠度

根据本次项目的要求，分别设定为正射航向重叠度90%，旁向重叠度80%；倾斜航向重叠度90%，旁向重叠度80%。

2.2.4 像控点、检查点测量

本测区共布设像控点20个，检查点12个。像控点采用白色反光带，布设形状为L形，均选刺在线状地物交角良好的交点上（内角）。像控点采用GPS-RTK测量技术利用静态得出的控制点坐标进行仪器检校再进行像控点和检查点的测量，并对像控点的平面和高程精度进行抽检^[5]。像控点布设如图所示：



2.2.5 航测内业处理

航测内业数据处理软件采用PIX 4D(正射影像处理)、ContextCapture Center Master（倾斜模型处理），最终得到.OSGB或者.DSM格式模型。

2.2.6 航测立体采集

航测数字立体测图采用清华三维EPS软件，进行内业数据的采集，主要通过跟踪矢量化立体模型的方式生成数字线划图，图层中的分类和编码严格按照国际进行分类和编码。

2.2.7 地形图的制作

将清华三维EPS软件采集的成果导出为.Dwg格式，利用CASS10.1软件进行地物的编辑、注记和整饰成图。

结束语：本研究通过对比测试验证了小型无人机结合GPS在数字化测图中的应用。相较于传统测绘方式，该融合技术有效解决了图根点误差的累积传递问题，其自动化作业流程显著降低了人工干预频率，在降低人为操作误差方面展现出独特优势。实验数据显示，采用该技术方案的地形测量工作不仅效率提升约40%，其精度控制指标更稳定维持在 $\pm 4\text{cm}$ 区间，较常规仪器测量精度提高约30%。需要指出的是，系统在实时纠错机制方面仍存在改进空间，异常数据的滞后处理现象会直接影响成图质量与作业时效，这将是后续研究重点突破的技术瓶颈。

参考文献

[1]李征航，黄劲松。GPS测量与数据处理[M].武汉：武汉大学出版社,2005

[2]孔祥元,梅是义。控制测量学[M].武汉：武汉大学出版社,2001

[3]杨得麟。大比例尺数字测图的原理、方法与应用[M].北京：清华大学出版社,1998

[4]国家测绘局。全球定位系统（GPS）测量规范GB/T 18314 [S].北京：测绘出版社,2009

[5]秦玉刚，苏凡伟，王贺。高精度无人机影像空三处理方法[M]北京：测绘出版社，2020