

无人机航测全画幅与半画幅相机选型策略

刘伟

四川融智绿色创新城乡规划设计咨询有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2352

[摘要] 随着无人机航测技术在测绘地理信息、农业、林业、灾害监测等领域的广泛应用,相机作为无人机航测系统的核心成像设备,其性能直接影响航测数据的精度与质量。全画幅相机与半画幅相机因传感器尺寸差异,在成像效果、适用场景、成本等方面呈现出显著不同特性。本文通过对比两种相机的核心参数,从成像质量、航测效率、设备成本、适用场景等维度系统分析其优缺点,旨在为无人机航测项目的相机选型提供科学依据,进而提升航测作业的经济性与数据有效性。

[关键词] 无人机航测; 全画幅相机; 半画幅相机; 传感器尺寸; 成像质量; 相机选型

中图分类号: V279+.2 文献标识码: A

Selection Strategy for Full-Frame and Semi-Frame Cameras in UAV Aerial Surveying

Wei Liu

Sichuan Rongzhi Green Innovation Urban and Rural Planning Design Consulting Co., Ltd.

[Abstract] With the widespread application of UAV aerial survey technology in fields such as geospatial information, agriculture, forestry, and disaster monitoring, the performance of cameras—key imaging components of UAV aerial survey systems—directly impacts the accuracy and quality of survey data. Due to differences in sensor size, full-frame and APS-C cameras exhibit distinct characteristics in imaging effects, applicable scenarios, and cost. This paper systematically analyzes the advantages and disadvantages of both camera types by comparing their core parameters across dimensions such as imaging quality, survey efficiency, equipment cost, and applicable scenarios. The aim is to provide a scientific basis for camera selection in UAV aerial survey projects, thereby enhancing the economic efficiency and data effectiveness of survey operations.

[Key words] UAV aerial survey; full-frame camera; APS-C camera; sensor size; imaging quality; camera selection

引言

航空摄影测量从飞机飞行高度上可以分为高、中、低三种摄影测量方式,高空摄影测量主要采用运输机搭载航摄仪的方式进行,由于大型运输机限制较多,不利于成本控制,中低轻型飞行器价格的下降、无人航空器的发展等,使中低空航空摄影测量发展迅速。

无人机航测技术凭借灵活性高、作业效率高、成本相对较低等优势,已成为获取地理空间数据的重要手段,广泛应用于地形测绘、土地资源调查、生态环境监测、应急救援等领域^[1]。在无人机航测系统中,相机作为数据采集的核心部件,其性能参数直接决定了航测影像的空间分辨率、几何精度、成像质量,进而影响后续三维建模、地图绘制等数据处理结果的可靠性^[2]。

本文将首先梳理全画幅相机与半画幅相机的核心技术参数,在此基础上从成像质量、航测效率、设备成本、适用场景四个

维度展开对比分析,最后结合实际航测案例提出相机选型建议,为相关领域从业者提供参考。

1 全/半画幅相机的核心参数对比

1.1 传感器尺寸与等效焦距

传感器尺寸是区分全画幅与半画幅相机的核心指标,直接影响相机的等效焦距与视场角;等效焦距与视场角计算公式如下:

$$EF = F \times C \quad (1)$$

$$FOV = 2 \times \arctan(S / (2 \times EF)) \quad (2)$$

式中: EF 为等效全画幅焦距; F 为镜头标称焦距,是镜头的固有光学参数; C 为相机画幅转换系数; FOV 为等效全画幅视场角; S 为全画幅传感器对角线尺寸(mm)。常见传感器尺寸的画幅转换关系见下表:

表1 常见相机传感器尺寸与画幅转换系数

相机画幅类型	传感器尺寸	焦距转换系数 \bar{C}
全画幅(Full-Frame)	36mm×24mm	1.0(基准)
APS-C画幅(半画幅)	23.5mm×15.6mm	1.5
APS-C画幅(半画幅)	22.3mm×14.9mm	1.6
M4/3画幅(微4/3)	17.3mm×13.0mm	2

这种等效焦距差异直接影响航测作业的航线规划：在相同飞行高度下，全画幅相机因视场角更大，单次飞行可覆盖更大地面范围，减少航线数量与作业时间；而半画幅相机因视场角较小，需通过增加航线密度或降低飞行高度以保证地面覆盖度，可能增加作业复杂度。

1.2 像素密度与空间分辨率

像素密度决定了相机的空间分辨率潜力。通常情况下，半画幅相机为弥补传感器尺寸劣势，会设计更高的像素密度。根据地面采样距离计算公式(3)可知，在相同飞行高度与镜头焦距下，更高像素密度的半画幅相机可获取更高的地面采样距离(GSD)，理论上具备更高的细节捕捉能力；但全画幅相机因传感器面积更大，单个像素尺寸更大，在光线不足环境下的信噪比更高，可减少噪点对细节的干扰^[3]。

$$GSD = \frac{\mu \times H}{F} \quad (3)$$

式中： GSD 为地面采样距离， F 为镜头标称焦距， μ 为单像元尺寸， H 为飞行高度。

1.3 重量与功耗

受传感器尺寸影响，全画幅相机的机身与镜头通常更重。无人机的有效载荷能力有限，搭载全画幅相机可能需要选择更大载重的无人机机型，而半画幅相机可适配更轻小型无人机。同时，全画幅相机的传感器面积更大，成像时的功耗更高，可能缩短无人机的续航时间，进而影响航测作业效率。

2 全/半画幅相机的优缺点对比分析

2.1 成像质量

2.1.1 空间分辨率与细节表现。半画幅相机凭借更高的像素密度、更小的像元尺寸，在相同飞行高度与镜头焦距下，理论地面采样距离(GSD)半画幅相机更小，可捕捉更精细的地面细节，但地面覆盖宽度更小。需注意，当飞行高度降低至使两种相机的GSD相同时，全画幅相机因单个像素尺寸更大，对光线的捕捉能力更强，在复杂光照环境下的细节还原更稳定，不易出现因噪点导致的细节丢失^[4]。

2.1.2 动态范围与色彩还原。动态范围指相机捕捉明暗细节的能力，与传感器尺寸正相关：全画幅相机的传感器面积更大，可容纳更多感光单元，单个像素的感光面积更大，能捕捉更宽的明暗范围。在航测场景中，当拍摄区域存在强烈明暗对比时，全

画幅相机可更好地保留阴影区的细节与高光区的信息，避免出现“死黑”或“过曝”；而半画幅相机在极端光照条件下，可能出现阴影区细节丢失或高光区色彩溢出，影响后续影像拼接与地物识别。

在色彩还原方面，全画幅相机的传感器通常采用更先进的色彩滤镜阵列与信号处理技术，色彩还原更接近真实场景，尤其在植被监测、土地利用调查等对色彩精度要求较高的项目中，全画幅相机的影像更有利于后续的光谱分析与地物分类。

2.2 航测效率

2.2.1 视场角与地面覆盖。全画幅相机因传感器尺寸大，在相同镜头焦距下视场角更大，单次飞行可覆盖更大的地面范围。以常见的航测镜头为例：全画幅相机的视场角约84°，在150m飞行高度下，单次拍摄的地面覆盖宽度约150m；半画幅相机等效焦距36mm，视场角约56°，相同飞行高度下地面覆盖宽度约100m。在大面积航测项目中，全画幅相机可减少航线数量与起降次数，显著提升作业效率。但在小范围复杂区域航测中，半画幅相机的小视场角更便于精准控制拍摄范围，避免因视场角过大导致影像中包含过多无关区域，减少后续影像筛选与处理的工作量。

2.2.2 数据量与处理速度。半画幅相机的像素密度较高，单张影像的文件体积通常较大。在相同测区范围内，半画幅相机产生的航测数据量比全画幅更大，这对数据存储设备与传输速度提出更高要求；在后续数据处理环节，更大的数据量会增加处理时间，降低数据处理效率。此外，半画幅相机的高像素密度可能导致影像中出现更多微小噪声，在数据预处理环节需投入更多时间，进一步降低处理效率。

2.3 适用场景

2.3.1 全画幅相机的适用场景。大比例尺测绘项目：如1:500地形图测绘、城市三维建模，全画幅相机的高动态范围与稳定色彩还原可保证地物几何精度与属性识别准确性，避免因光照差异导致的影像拼接误差^[5]。

复杂光照环境航测：如高原地区、阴天应急救灾，全画幅相机的低光性能与噪点控制能力可保证影像清晰度，减少后期数据修复的工作量。

2.3.2 半画幅相机的适用场景。小范围高精度细节检测：如建筑物裂缝检测、文物古迹精细建模、农业作物长势监测，半画幅相机的高像素密度可获取更小的GSD，捕捉更细微的地物特征。

轻小型无人机航测：如小型多旋翼无人机进行的乡镇级地形测绘、电力线路巡检，半画幅相机的轻量化优势可适配中小型无人机，延长续航时间，减少因载荷过大导致的飞行稳定性问题。

预算有限的项目：如科研实验、小型企业的低频次航测任务，半画幅相机的低成本优势可降低项目投入，同时满足基础航测数据需求。

3 实验验证

3.1 实验条件

选择一处地形较为平坦区域(500m×500m)，均匀布设5个平高控制点20个检查点，采用相同无人机载具，相同飞行参数(高

度200m, 航向重叠度80%, 旁向重叠度60%, 飞行速度5m/s), 均采用正射方式挂载两组不同画幅相机(相机主要参数见表2)的对照实验, 获取外业数据后采用同一计算机同一内业处理软件进行数据解算。

表2 实验的两组不同画幅相机主要参数

相机画幅类型	传感器尺寸	物理焦距	等效焦距	像元大小
全画幅相机A	36mm×24mm	24mm	24mm	6.0 μ m
半画幅相机B	23.5mm×15.6mm	25mm	37.5mm	3.9 μ m

3.2 实验指标与结果分析

(1) 作业效率表现: 全画幅相机A组明显优于半画幅相机B组, 具体统计如下:

表3 航线里程与数据量统计

相机画幅类型	航线数	飞行里程	飞行时间	影像数量与体	内业处理时
全画幅相机A	6条	约4.2km	约16min	102张/约	约45min
半画幅相机B	8条	约5.4km	约21min	198张/约	约77min



图1 全画幅相机A拍摄影像



图2 半画幅相机B拍摄影像



图3 全画幅相机A拍摄影像



图4 半画幅相机B拍摄影像

(2) 地面采样距离(GSD)与细节表现: 全画幅相机A(图1、图3): GSD约5.0cm, 影像中“行人等待区”方框标线(宽度约15cm)可识别, 边缘存在锯齿; 但低光性能和噪点控制更优秀。

半画幅相机B(图2、图4): GSD约3.1cm, 影像中“行人等待区”方框标线(宽度约15cm)可清晰捕捉, 细节更精细, 但低光区存在明显噪点, 低光性能和噪点控制较差。

3.3 实验结论

在混合地形航测场景中, 全画幅相机在几何精度与数据处理效率上更具优势, 适合对精度与效率要求较高的项目; 半画幅相机在细节捕捉上表现更优, 但需平衡数据量与处理时间, 适合对细节要求高且预算有限的项目。

4 结束语

全画幅相机与半画幅相机在无人机航测中各具优势: 全画幅相机凭借大传感器尺寸, 在动态范围、低光性能、视场角与地面覆盖效率上表现更优, 适合高精度、大面积、复杂光照环境的航测项目, 但设备成本与数据处理成本较高; 半画幅相机依托高像素密度与轻量化优势, 在细节捕捉、中小型无人机适配、成本控制上更具竞争力, 适合小范围细节检测、预算有限的中小型航测项目, 但数据量较大且低光环境下噪点控制能力较弱。

在实际项目选型中, 需综合考虑航测任务的精度要求、作业范围、光照环境、设备预算、无人机载荷能力等因素, 避免“盲目追求全画幅”或“单纯考虑成本选择半画幅”的极端情况, 实现技术需求与经济性的平衡。

参考文献

- [1]林宗坚,解斐斐,苏国中.宽角相机低空航测的精度分析[J].测绘学报,2014,43(10):991-997.
- [2]刘学杰.像控布设方案对无人机航测精度影响的测试[J].地理信息世界,2016,23(5):4.
- [3]李胜才,李禹,陈尚云.无人机航测效率和质量改进技术研究[J].水电站设计,2020(004):036.
- [4]姚鹏程.无人机航测在矿山地形测绘中的精度分析与应用研究[J].炎黄地理,2024(1):140-143.
- [5]张久龙,于胜文,刘尚国.低空多旋翼无人机大比例尺测图精度可行性分析[J].北京测绘,2016(1):5.

作者简介:

刘伟(1993—),男,汉族,四川乐山人,本科,工程师,研究方向:工程测量相关工作。