文章编号:0494-0911(2011)07-0012-03

中图分类号: P231

文献标识码: B

利用高程二次定向提高无人机航测高程精度的探讨

吴巧玲¹,董祥林²,高 宇³

(1. 福建省测绘院 福建 福州 350003; 2. 淮北矿业集团公司,安徽 淮北 234115;
 3. 武汉海地测绘科技有限公司,湖北 武汉 430074)

Discussion of UVA Precision Improvement by Elevation Re-orientation

WU Qiaoling , DONG Xianglin , GAO Yu

摘要:分析航摄像片倾角过大对航测成果的误差影响及影响程度,并结合实际试验和应用,发现采用高程二次定向,可以有效地 控制高程误差,从而使最终的航测成果满足航测规范的精度要求。

关键词:高程误差;像片倾角;精度

一、引 言

随着无人机航空摄影在测绘行业的推广和应用, 其测量高程精度的控制问题也逐渐成为业界关注的 重点。由于无人机体积小、重量轻,在空中飞行姿态 容易受到气流的影响,往往造成航摄像片倾角过大。 笔者在多次无人机项目生产实践中,通过对不同姿态 角航摄立体像对和近似理想立体像对的航测高程分 析比较,并统计其误差,发现航摄像片倾角过大,对高 程误差的影响较大,需要采取其他方式,方可实现将 高程误差控制在规范要求的限差范围内。

二、误差来源分析

目前,受无人机航高等因素制约,测绘行业通常利用无人机航摄影像测制丘陵或山地地形 1:1000、1:2000比例尺的数字地形图。依据我国 航空摄影测量的技术规范,除特殊困难区域外,要 求其内业加密点及高程注记点的高程中误差不大 于表1所示的规定。

表 I				m	
成图	成图比例尺 1:1000		1:2 000		
地	形类别	丘陵地	山地	丘陵地	山地
÷.	育百距	± 1.0	± 1.0	±1.0	± 2.0
高程	内业加密点	±0.35	±0.5	±0.35	±0.8
中误差	高程注记点	±0.5	±0.7	±0.5	± 1.2

摄影测量是建立在竖直摄影基础之上的,即摄 影机主光轴垂直于地面。因此,为了保证摄影测量 的立体量测地形图数据的数学精度 "测绘航空摄影 规范对测绘航空摄影光轴倾角均有限制。理论上 理想立体像对高差公式为^[1]

$$h = \frac{\Delta p}{\Delta p + p_0} \bullet H_0 \tag{1}$$

式中 Δp 为同名地物左右视差较。

而对于因气流影响使得影像含有像片倾角的 竖直摄影立体像对来说,如果仅以一次项的精度去 要求,则应考虑加入左右视差的一次项改正数^[1]

$$\delta_{p} = \left[\frac{x\Delta H}{H_{0}} + \left(f + \frac{x^{2}}{f}\right)\varphi + \frac{xy}{f}\omega - y\kappa + \frac{x\Delta H}{H_{0}} \cdot \frac{\Delta p}{p}\right] - \left[\frac{x\Delta H'}{H_{0}} + \left(f + \frac{x^{2}}{f}\right)\varphi' + \frac{x'y'}{f}\omega' - y'\kappa' + \frac{x\Delta H'}{H_{0}} \cdot \frac{\Delta p}{p}\right]$$

$$(2)$$

这样,就把含有像片倾角的 Δ*p* 改化为理想像 对下的 Δ*p*。如果未进行一次项改正数的改化,将会 使立体模型在高程方面产生变形,即高程扭曲,这 一扭曲将在实际生产中影响地形图的高程精度。

由 δ_{Δ_n} 引起的高程误差为

$$\delta_{h} = \frac{H_{0}}{b_{0}} \left[x^{\prime} \left(\frac{2p_{0}}{f} \varphi_{1} - \frac{\Delta H}{H} \right) - \frac{x^{2}}{f} \Delta \varphi + y \left(\Delta \kappa + \omega \frac{b_{0}}{f} \right) - \Delta \omega \frac{yx^{\prime}}{f} \right]$$
(3)

当像对的外方位元素为已知时,式(3)中的像 点坐标为变数,则可以将高程扭曲公式表达为

$$\delta_h = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x y + a_4 x^2$$
(4)
式中 $\mu_0 \, a_1 \, a_2 \, a_3 \, a_4$ 为常数系数。

从式(4) 可知,由于像片倾角引起的高程误差 曲面为一个双曲线的抛物面,这一误差将直接影响

收稿日期:2011-01-21 作者简介:吴巧玲(1970—),女 福建福州人,高级工程师,主要从事航测及遥感数据处理等工作。 立体模型高程量测精度。

在无人机测绘航空摄影中,发生像片倾角超限 的可能性要大于常规测绘航空摄影。现有的数据 生产流程,首先是通过空中三角测量获取每张像片 的6个外方位元素,然后在数字摄影测量工作站上 恢复立体模型进行地形图测制。在这种作业模式 下,通常像片倾角超限的立体模型其高程量测误差 远远超过相应比例尺的航测规范要求。

三、不同像片倾角立体量测高程精度 分析

对于像片倾角过大引起立体模型超限的问题, 笔者在武夷山、松滋核电规划区等1:1000 无人机 航空摄影测量项目中,对不同像片倾角立体模型采 集的航测高程精度进行统计。这两个测区均属于 丘陵地形,设计航高500 m 相机焦距为45.8 mm,地 面实际分辨率为8 cm。具体统计数据如表2 所示。

衣	个问侧用立体模型局柱重测有度误差统计

了同场会专任推到专知自测性应识关放计

模型号	像片倾角/(°) 检测点数	中误差/m
WY03005-WY03006	8	56	±0.78
WY03006-WY03007	9	94	±0.75
WY04017-WY04018	4	102	±0.52
WY04018-WY04019	2	88	±0.31
WY10003-WY10004	3	76	±0.28
SZ02004—SZ02005	7	65	±0.86
SZ02005—SZ02006	6	95	± 0.63
SZ04007—SZ04008	1	97	±0.29
SZ04021—SZ04022	4	110	±0.36

以上统计数据是采用 PATB 进行光束法平差以 后,直接在数字摄影测量工作站恢复立体模型后采 集的高程点与野外实测高程点进行对比、统计获取 的中误差。从表2数据可以得出以下规律。

 1) 航测内业测量的高程中误差随着像片倾角 的增大而增大。

 2) 当像片倾角小于3°时 高程精度可以满足规 范的要求。

四、提高高程精度方法的探讨

通过项目实际生产的统计可以得出: 在无人机航 空摄影测量的过程中,由于无人机的姿态影响,对航 测成果高程精度影响较大,较好的像片倾角可以获取 满足国家技术规范要求的高程精度;像片倾角过大将 直接导致航测高程精度超限。而利用无人机航空摄 影测绘时 必然存在部分模型像片倾角超限,也就是 说,每一测区必然有一定数量的立体模型航测内业数 据的高程中误差超限。如何解决这一问题是本文讨 论的重点。笔者在利用无人机航空摄影测量项目中, 针对像片倾角超限的模型 通过采取以下技术手段来 提高立体模型的高程量测精度。

实际上 在利用空三获取的外方位元素恢复立体 模型后 在对像片倾角过大的立体模型绝对定向的过 程中 笔者发现尽管绝对定向误差的残差很小,但全 野外测量的高程控制点仍不能准确地恢复到被量测 地物的表面。通过以上分析,认为这是由于像片倾角 超限,造成利用 PATB 光束法平差反算以后该类像片 的外方位元素中3个角元素不正确所引起的。

 利用空中三角测量进行加密平差,反算出野 外高程控制点的平面坐标。

2) 在数字摄影测量工作站上恢复立体模型。

3) 删除加密过程的模型连接点,保留全野外测 量的像片控制点。

 4)保留野外测量的全部像片控制点(包括平高 控制点和高程控制点)在立体状态下,重新观测野 外控制点的高程。

5) 重新绝对定向,计算倾角超限的像片6个外 方位元素。

6) 采集核线 立体采集。

以上方法,称为高程二次定向,即重新建立立 体模型,进行数据采集,并可以将该超限立体模型 的高程中误差控制在1/3等高距以内。

下面是倾角超限立体模型 SZ02004-SZ02005 通 过空三平差后直接恢复模型的绝对定向结果,报告 截取如下:

547 675	. 812 9 3 37	6 112. 907 1 48	4.2237
547 782	. 125 4 3 37	6 110. 194 6 48	1.9443
No.	$\mathrm{d}X$	$\mathrm{d}Y$	$\mathrm{d}Z$
80305	0.051 629	-0.313 383	-0.269397
80204	0.102200	0.151431	0.136 044
90205	-0.008 861	-0.091 829	-0.099 544
90304	-0.069 427	0.001 932	0.214 060
$m_x = 0.$	068 584	$m_y = 0.166$	5 402
$m_{xy} = 0$. 179 981	$m_z = 0.189$	9 415

单纯从上面数据看 高程误差满足规范要求 但 实际高程值是错误的。下面是利用该模型的两个平 高控制和两个高程控制(其平面坐标为加密坐标)重 新进行高程二次定向后的结果 报告截取如下:

547 675.826 8	3 376 113.059 4	484.6487
547 782. 176 8	3 376 110. 163 5	481.5883

No.	$\mathrm{d}X$	$\mathrm{d}Y$	$\mathrm{d}Z$
80305	-0.102970	0.139640	-0.070 588
80204	-0.061 900	-0.164 450	0.083 848
90205	0.038 946	-0.221 836	-0.080 118
90304	0.125 924	0.246646	0.066 858
$m_x = 0.08$	9 174	$m_y = 0.197$	856
$m_{xy} = 0.21$	7 023	$m_z = 0.075$	667

分析上述二次定向结果,通过高程二次定向, 对模型外方位元素的线元素*Xs*和*Ys*的影响很小, 但对*Zs*的影响约在0.4 m。同时,由外方位元素中 3 个角元素组成的旋转矩阵的数值变化也较大,即 3 个角元素的计算值也发生了变化。

笔者利用高程二次定向的模型,重新采集该模型高程,并统计出其高程中误差为±0.31 m,可以满足该项目设计要求。同样对其他像片倾角较大的 立体模型均采用了高程二次定向,并进行中误差统 计,其结果均能满足规范的要求。

五、结束语

通过以上两个测区的试验 笔者发现采用高程二次定向,可以提高利用较大倾角航摄像对测量成果的

(上接第3页)

为实际应用的方便,在此还讨论需转换的地方 CORS站在多大范围内可用附近的 IGS 站的速度场 代替实施转换。测站的速度与测站所处的位置有 关 根据下面公式

	0	$-\Omega_z$	Ω_{y}	$\begin{bmatrix} x \end{bmatrix}$
$\{\boldsymbol{v}_x\}_{\text{ITRFyy}} =$	${oldsymbol{\varOmega}}_z$	0	$-\boldsymbol{\varOmega}_x$	y
	$-\boldsymbol{\Omega}_{x}$	$\boldsymbol{\varOmega}_{x}$	0	$\begin{bmatrix} z \end{bmatrix}_{\text{ITRFyy}}$

式中 欧拉矢量以弧度表示时,它的量级在 10⁻⁹量 级 与后面坐标相乘后相当于将坐标缩小 10⁹。这就 相当于 如果测站的坐标在 IGS 测站周围 ±3°范围内 所计算的测站位移速度与 IGS 站的基本上相同 若在 不知道测站速度场的情况下 且测站与 IGS 测站在同 一个板块内且此板块属于严格的板块 则测站的速度 可以取 IGS 的速度 进行测站坐标的转换。

五、结束语

我国目前还没有建立足够密度的国家级 CORS 站 现框架现历元下的 CORS 站的转换主要依赖于板 块运动模型及我国已有的 IGS 站的速度场信息。国 外各板块运动模型构造时均未包括中国 CORS 的观 测数据 未考虑中国西部区域的运动特性 ,建立的模 型在上述变形区域所计算的速度场是不准确的 ,尤其 高程精度 确保最终成果满足 1:1000 或更小比例尺 的航测规范要求。由于 RTK 的广泛应用,以及 FJ-CORS 的日益完善,全野外布设高程控制点变得十分 简单。在今年的多个无人机航摄的项目中,运用该经 验后,航测成果精度均满足设计要求。该方法也适用 于常规航摄时个别像对倾角超限的情况。

参考文献:

- [1] 黄世德. 航空摄影测量学 [M]. 北京: 测绘出版 社,1986.
- [2] 张剑清 潘励 ,王树根. 摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉大 学出版社 2009.
- [3] 乔瑞亭 孙和利 李欣. 摄影与空中摄影学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社 2008.
- [4] 国家测绘局. GB/T 6962—2005 1:500 1:1 000
 1:2 000地形图航空摄影规范 [S]. 北京:标准出版 社 2005.
- [5] 国家测绘局. GB/T 7930—2008 1:500 1:1 000
 1:2 000地形图航空摄影测量内业规范[S]. 北京:标准出版社 2008.

在变形区域差异较大。实用中常采用 IGS 站的速度 场信息 但在我国目前除 BJFS、SHAO、WUHN 的速度 场可以直接应用外 其他的 IGS 站均在板块的变形区 域 速度场信息不可靠 而对于变形区域可采用坐标 转换或基线网平差的方法进行转换。

国家测绘地理信息局现代测绘基准基础体系基础设施建设一期工程项目将建成 360 个连续运行站,可建立高精度的速度场模型及板块运动模型, 解决已建及新建 CORS 及我国区域内任何地方 GNSS 定位结果的严密转换问题。

参考文献:

- [1] ITRF. Transformation Parameters [EB/OL]. [2010-12-26]. http: //itrf. ensg. ign. fr/.
- [2] 张西光,吕志平,赵冬青.NNR条件,ITRF和全球板 块运动模型[J].大地测量与地球动力学,2007,27 (3):39-43.
- [3] 孙付平,赵铭.用 VLBI和 SLR 实测数据解算现时 板块运动参数的方法[J].中国科学院上海天文台年 刊,1995(16):7-13.
- [4] 朱文耀. ITRF2005 简介和评析 [J]. 天文学进展, 2008 26(1):1-14.
- [5] 陈俊勇.中国现代大地基准——中国大地坐标系统2000(CGCS 2000)及其框架[J].测绘学报 2008,37
 (3):269-271.