

非量测相机摄取小像幅航片测绘 大比例尺地形图的研究

宋松山 金为铣

(武汉测绘科技大学,航测实验室,武汉珞喻路39号,430070)

摘要 对我国首次用轻型飞机拍摄的小像幅航片进行大比例尺测图进行了研究。解决了如何应用小像幅航片进行放大测图,如何消除航片未经压平所造成的系统误差影响,以及倾角过大如何测图等问题。经实验验证,证明小像幅航片可用于大比例尺测图,精度能满足规范要求。

关键词 小像幅航片,大比例尺测图

分类号 P231

随着国民经济的飞速发展,对大比例尺地形图的需求日益增长,这就要求测绘部门快速提供现势性强的大比例尺地形图。航测大比例尺测图在这方面表现出了它的优越性。但是对于测区范围小,时间要求紧的测区,由于航摄时间与经费等原因,往往是“远水解不了近渴”。这就迫使测绘工作者应用气球,风筝航摄等方式来探讨小像幅航片航测成图的可能性,但其效果往往不甚理想。随着科学技术的发展,轻型飞机问世,本文对在轻型飞机上用非量测的120型相机摄影的资料进行了大比例尺、大图像比测图技术的研究。本研究试图探索克服小像幅航片缺陷、测绘大比例尺地形图的技术措施及成图精度问题。

1 测图中需要解决的问题

小像幅航片测图不能照搬常规航测成图的作业方法,必须根据其特点和存在的问题,研究和制定相应的测图方案。小像幅航片像幅小,倾角大,没有压平。本文就是根据上述情况研究解决问题的具体措施。

1.1 小像幅航片应将像片放大后成图

轻型飞机摄影的航片像幅小,但由于轻型飞机速度慢,像移值小,故航摄负片的分解力高。如何利用其优势而克服其不足?首先采用在纠正仪上进行放大像幅的方法,以利用其高分解力的优势。小像幅放大3倍后,与一般航摄像片的分解力相当,这样就充分利用了分解力高的潜力。第二,精密立体测图仪一般的测标大小为 $30\mu\text{m}$ 左右,这正好与放大后的像片分解力相适应。第三,像片放大3倍后,像幅为 $16.8 \times 16.8 \text{ cm}^2$,接近一般航片的像幅,其主距为 154mm 左右,适合各种立体测图仪上的测图。像片不作放大,则与常规立体测图仪的主距和仪器放大率

收稿日期:1993-06-18. 宋松山,男,56岁,高级实验师,现从事小像幅航片航测成图的研究

* 国家测绘局测绘科技发展基金资助项目

不相适应。

我国放大成图按规范要求以 4~6 倍为宜。小像幅航片不放大像幅,用 1:15000 比例尺的航片测绘 1:1000 比例尺的地形图,其主距安置、图像的放大倍率和测图精度都难以满足规范的要求。因此,1:15000 比例尺的小像幅航片测绘 1:1000 比例尺地形图,只有通过放大像幅后成图,才能在主距、仪器放大率和测图精度上满足仪器和规范的要求^[1]。

1.2 如何解决像片未压平的误差

本次试验中,由于相机没有压平装置,像片上可能存在系统误差。根据我们按常规测图方法采用全野外控制点进行测图的结果分析,均发现在高程上呈龟形系统变形。现列举其中一个像对的高程误差,经野外检测,将所得 62 点的高程误差绘制直方图(见图 1)。

某像对 62 点高程误差频数分布

误差值(m)	频数(点)
-0.1~0.5	7
-0.5~0	7
0~0.5	21
0.5~1.0	23
1.0~1.5	4
$\Sigma = 62$ 点	

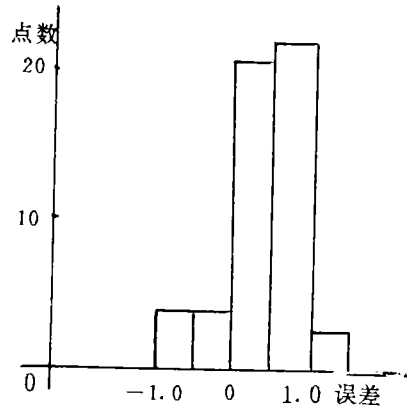


图 1 高程误差直方图

其高程中误差为 $m_h = \pm \sqrt{\frac{31.09}{62}} = \pm 0.71m$ 。

从直方图上看,测图中有系统误差存在。为了克服像片未压平引起的系统误差,采用图 2 的增加高程点的布点方法,以克服测图中的系统误差。

在实际测图中,每个像对内增加 5 个或 4 个高程点,如图 2(a)或(b)所示的布点方案,采取分块定向、测图(或分层定向、测图)的方法,以解决底片未压平引起的系统变形。实践证明,此种测图方法简单易行,行之有效。采用上述方法测图,其平面和高程误差均可满足规范要求。

1.3 如何解决小像幅航片倾角过大的问题

轻型飞机摄取的像片,由于航高低,飞机小,像片的摄影倾角常难满足规范规定的要求。倾角过大,由于测图仪的安置角度有限,常不能在精测仪上完成相对定向与绝对定向。下面说明如何克服航片倾角过大的问题。

1.3.1 克服航片倾角过大的基本思路

航片倾角过大不能在常规仪器上进行测图,我们自然就想到纠正的方法,将航片纠正成水平像片后进行测图。但这要施测野外控制点,而且纠正后的像片主距与主点都不知道,给测图带来不便。我们根据其原理将负片纠正放大成近似水平的透明正片,然后在常规仪器上测图。我们只要知道像片的大致倾角(精度在 3°内即可),利用坐标变换,将像片框标坐标转换为纠正后的框标坐标,展绘在图纸上进行纠正,即可得到一张近似水平的透明正片,在常规测图仪上进行测图,其公式为:

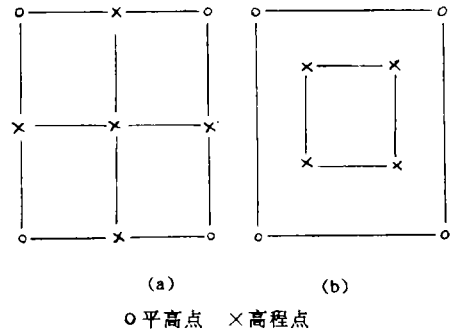


图 2 高程布点略图

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

式中 X, Y, Z 为纠正后的像片框标与主点的坐标; $x, y, -f$ 为原像片上框标与主点的坐标; a_i, b_i, c_i 为要纠正的角度组成的方向余弦。

试验采用上述原理,将其中二张像片进行纠正放大。

通过测定,其像片的四个框标坐标为:

$$x_1 = 71.82\text{mm} \quad x_2 = 71.82\text{mm} \quad x_3 = -85.47\text{mm} \quad x_4 = -71.82\text{mm}$$

$$y_1 = 85.32\text{mm} \quad y_2 = -85.32\text{mm} \quad y_3 = -71.82\text{mm} \quad y_4 = 85.47\text{mm}$$

主点坐标为: $x_0 = -0.532\text{mm}$ $y_0 = -0.026\text{mm}$; 像片的主距为: $f = 154.119\text{mm}$

如何将像片倾角 φ, ω 各减少 2° , 在常规测图仪上能测图 (κ 角因仪器上的安置角度较大, 故不需改正)。如果要得到改正 2° 后放大 3 倍的像片, 利用方向余弦的计算公式, 算得方向余弦 $a_1 = 1.000, a_2 = 0, a_3 = 0.031, b_1 = 0, b_2 = 1.000, b_3 = 0.031, c_1 = -0.031, c_2 = -0.031, c_3 = 0.999$ 。利用共线方程式计算, 得到新像片的框标坐标与内方位元素为:

$$x_1 = 65.05\text{mm} \quad x_2 = 67.29\text{mm} \quad x_3 = -79.18\text{mm} \quad x_4 = -76.47\text{mm}$$

$$y_1 = 78.22\text{mm} \quad y_2 = -90.66\text{mm} \quad y_3 = -93.22\text{mm} \quad y_4 = 80.55\text{mm}$$

$$x_0 = -5.32\text{mm} \quad y_0 = -4.81\text{mm} \quad z = f = 154.119\text{mm}$$

将上述坐标展绘在图底上, 在纠正仪上进行纠正, 得到一张新倾角的透明正片, 即可用于常规测图仪上测图。测图中要注意的是, 内方位元素均应按新的安置元素安置。

1.3.2 实验验证

选用第一条航线上 2204/2205 像对进行测图试验。按上述数据将原始负片从 1:15000 比例尺纠正放大为 1:5000 比例尺透明正片, 控制点采用全野外布点, 瑞士 AG1 立体测图仪测绘 1:1000 比例尺地形图。经野外对 91 个平面点和 62 个高程点的检测, 其测图中误差为:

$$m_s = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \pm \sqrt{0.36^2 + 0.43^2} = \pm 0.54\text{mm}$$

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{[AA]}{n}} = \pm \sqrt{0.4674} = \pm 0.68\text{m}$$

此精度与未经纠正直接放大 3 倍测图的精度^[2] ($m_s = \pm 0.51\text{mm}, m_A = \pm 0.71\text{m}$) 一致, 从而说明纠正放大测图与直接放大测图的精度相近, 无大的区别。

2 测区概况

本次试验的资料是 1988 年 11 月 24 日下午 3 时在武汉测绘科技大学上空以学校为中心摄影的小像幅航片, 航向重叠为 61%, 旁向重叠为 20%。飞机上采用德国 Rolleiflex 6002 型相机摄影^[3], 该相机无压平装置, 像幅为 5.6cm × 5.6cm, 航高为 750m, 摄影比例尺为 1:15000, 曝光时间为 1/5000s, 相机能自动测光、卷片。胶片的静态分解力为 100 线对/mm。经用调制传递函数测定, 本试验区的小像幅航摄负片的动态分解力为 30 线对/mm。为便于量测, 在非量测相机的像幅上刻有如图 3 所示的五个框。经室内检定场鉴定, 相机的内方位元素 $x_0 = -0.1772\text{mm}, y_0 = -0.0086\text{mm}, f = 51.373\text{mm}$ 。

摄区内地势平坦, 高差一般不超过 15m, 大部分是校园, 人造地物多, 建筑物布局整齐, 绿化率高, 新增地物较多, 给控制测量和测图带来一定的困难。

3 测图精度的研究

根据小像幅航片的特点,测图试验采用全野外布点。像片控制采用一、二级导线测量,在高一级控制点上闭合,以红外测距仪和 T_2 经纬仪旋测,各项精度指标均达到规范要求,可以满足航测内业测图的需要。由于测区地势平坦,故成图不顾及坡度和加密的影响。根据文献[4],其高程精度估算公式为:

$$m_h = \pm \sqrt{m_{hb}^2 + m_{hi}^2} \quad (1)$$

式中: $m_{hb} = \pm 0.17 \frac{H}{b} m_{\text{刺}}$; $m_{hi} = \pm 1.21 \frac{H}{b} m_r$; m_{hb} 为基线中误差所影响的高程中误差; m_{hi} 为单模型的高程中误差; H , 摄影机高; b , 像片基线; $m_{\text{刺}}$, 像片上的刺点中误差; m_r , 全能仪作业单位权中误差。平面精度估算公式为

$$m_s = \pm \sqrt{m_{sb}^2 + m_{si}^2} \quad (2)$$

式中: $m_{sb} = \pm 0.7 k m_{\text{刺}}$; $m_{si} = \pm 1.66 k m_r$; $k (= m_{\text{像}} / m_{\text{图}})$, 像片比例尺分母与成图比例尺分母之比; m_{sb} , 由于基线中误差所影响的平面中误差; m_{si} , 单模型的平面中误差; $m_{\text{像}}$, 像片比例尺分母; $m_{\text{图}}$, 成图比例尺分母。

将 $H = 750\text{m}$, $b = 70\text{mm}$, $m_r = 0.036\text{mm}$, $k = 5$, $m_{\text{刺}} = 0.1\text{mm}$ 代入(1)、(2)式,则有

$$m_h = \pm 0.5\text{m} \quad m_s = \pm 0.46\text{mm}$$

根据上述预估精度,1:15000 比例尺像片放大 3 倍后,采用全野外布点,在精密立体测图仪上测图,资料中不存在系统误差时,测绘 1:1000 比例尺地形图能满足有关规范对测图精度的要求。

再从测图对平面、高程的精度要求分析,根据文献[5],为了满足测图的平面、高程精度,航摄负片的分解力 $R_1 = 13$ 线对/mm, $R_2 = 33$ 线对/mm。其最大值在 30 线对/mm 左右,与航摄负片的动态分解力一致。这说明航摄负片的分解力,也能满足测图精度的要求。

4 试验结果与讨论

按照测图规范中的有关规定:1:1000 比例尺地形图,地物点平面中误差为图上 0.6mm,高程中误差为 $\pm 0.4\text{m}$ 。我们将 1:15000 比例尺的小像幅航片在纠正仪上放大 3 倍,控制点采用全野外布点,每个像对中增加 4~5 个高程点,对立体模型进行分块置平,分块测图,则可解决因底片未压平造成的高程变形。经过四届毕业设计的实验,瑞士 AG1、B8S,德国 Topocart B 和国产解析测图仪 JX-3 等仪器测绘 1:1000 比例尺地形图 5 幅(广埠屯图幅不包括在图 4 中)。广埠屯图幅系 1988 年资料测绘,图 4 中图幅均系 1991 年资料测绘。每幅图的模型数为 2 个立体模型,平高控制点在 15~20 点之间,满足了分块测图对控制点的需求。经外业实地检测,取得了可喜的成果。

现将检测结果列于表 1。

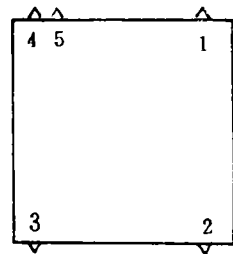


图 3 框标示意图

成人 教育学院	武测附中
星湖	武测 教学楼

图 4 试验区略图

表1 测图精度一览表

图 名	外业检测点数		$m_s = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$ (mm)	$m_h = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$ (m)
	平面点 (个)	高程点 (个)		
广埠屯	35	94	±0.40	±0.15
武测教学楼	34	34	±0.38	±0.33
星湖	34	34	±0.38	±0.40
成人教育学院	38	38	±0.40	±0.35

5 几点结论

①小像幅1:15000比例尺航片可测绘1:1000比例尺地形图。将原始底片放大3倍后再测图,平面精度可达到图上0.5mm;高程采用分块定向,测图精度可达到±0.4m,可满足有关规范的要求。②对于小面积的大比例尺测图,采用上述方法作业,既经济又快速,是一种可行的测图方法。③克服底片未压平而产生的高程系统误差,采用分块的方法测图是行之有效的。④当航片倾角过大,采用框标纠正的方法,既不降低测图精度,又可解决在常规测图仪上测图的问题。⑤由于小像幅航片测图在国内是首次试验,摄影像片因飞行质量,尤其是旁向重叠还不尽人意,有待进行深入研究和改进。

参 考 文 献

- 1 王之卓. 摄影测量原理. 北京:测绘出版社,1979.
- 2 黄世德等. 航空摄影测量学. 北京:测绘出版社,1987.
- 3 俞浩清. 摄影与空中摄影学. 北京:测绘出版社,1985.
- 4 煤炭工业部航测大队. 大比例尺航空测量. 北京:煤炭工业出版社,1983.
- 5 宣家斌. 航空与航天摄影技术. 北京:测绘出版社,1992.

On the Large-scale Topographic Map Produce with Small Format Non-metric Camera Airphotos

Song Songshan Jin Weizian

(Laboratory of Aerophotogrammetry, WTUSM, Luoyu Road 39, Wuhan, China, 430070)

Abstract The large-scale topographic map first produced by small format non-metric camera airphotos taken in the light aeroplane is discussed. The approaches that how to make use of enlarged photos, and how to overcome the difficult from very large dip angle and the systematic error caused by film unflatteness are presented in sequence. It is proved by experiments that small format airphotos can be used to produce large scale topographic map. The map precision according to the demands of mapping standard.

Key words small format aerial photograph; large-scale mapping