

航空摄影测量在矿区 1:2 000 地形图测绘中的应用研究

焦旭^{1,2},王贺封^{1,2},张安兵^{1,2},张兆江¹

(1. 河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056000;2. 河北省煤炭资源综合开发与利用协同创新中心,河北 邯郸 056000)

摘要:为验证无人机影像应用于矿区地形图测绘的可行性,本文以“冀中能源邯郸矿业集团太行矿业有限公司矿区基础地形图更新”为例实践了一套大比例尺地形图航空摄影测量的方法,并对空三加密及成图精度进行了分析。地形图检查点平面精度均在 0.25 m 以内,高程精度小于规范中误差的点数为 80.1%,满足了矿区生产作业的需求。

关键词:无人机;航空摄影测量;空三加密;地形图

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

Application of aerial photogrammetry on topographic map of mining area with 1:2 000 scale

JIAO Xu^{1,2}, WANG He-feng^{1,2}, ZHANG An-bing^{1,2}, ZHANG Zhao-jiang¹

(1. College of Resources, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056000, China; 2. Collaborative Innovation Center of the Comprehensive Development and Utilization Of Coal Resource, Hebei Province, Hebei Handan 056000, China)

Abstract: In order to verify the feasibility of surveying topographic map with UAV images in mining area, this paper has taken the updates of basic topographic map of mining area of Jizhong Energy Handan Mining Group Taihang Mining Co. Ltd. for example and have practiced a set of aerial photogrammetry methods of large-scale topographic map, and have analyzed aerial triangulation and mapping accuracy. The plane precision of checkpoints are all within 0.25m, and there are 80.1% elevation points which are less than the standard error. The topographic map has met the needs of production operations of mining area.

Key words: UAV; aerial photography; aerial triangulation; topographic map

随着测绘技术与计算机技术的快速发展,摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量、和如今的数字摄影测量阶段。无人机航空摄影以其灵活机动、高效便捷、成本低等特点为快速获取影像提供了保障,目前已在各类工程领域广泛应用。如王俊等使用 Leica ADS80 航空摄影测量系统在甘肃省基础测绘任务中得到了很好的应用^[1];洪运富等利用无人机遥感影像对张家口市重点尾矿库进行了环境监控^[2];吕立蕾等研究证明了无人机航摄技术可以高效、快速地完成线路带状地形图测绘任务^[3];赵星涛等利用无人机低空航摄获取了矿区 0.20 m 分辨率的正射影像及立体正摄

影像对,并结合开采沉陷预计下沉等值线为矿山地质环境的精细探测提供了一种可行的途径^[4];李雷等为利用无人机影像进行大面积城市基本比例尺地形图进行了尝试^[5]。无人机影像在城镇、乡村地形图测绘,正射影像的生产及矿区环境监测、数字矿山建设等应用中发挥了重要的作用。但由于无人机搭载非量测相机,存在飞行姿态不稳定、旋偏角较大、影像畸变较大、比例尺不一等问题,要使其精度满足于大比例尺地形图测绘,需要深入研究的东西还很多,特别是在矿区大比例尺地形图测绘中的应用研究相对较少。本文以“冀中能源邯郸矿业集团太行矿业有限公司矿区

基础地形图更新”为例,采用 DAT - Matrix2.0 结合 PAT - B 平差软件进行空三加密,导入 Map - Matrix4.1 进行立体采集,提出了一套矿区大面积、大比例尺地形图的成图方法,并对空三加密关键技术和成图精度进行了研究和分析。

1 影像获取与控制点布设方案

矿区位于武安市东南方向,距武安市约 5 km,属丘陵地类型。影像获取采用华测 P700 无人机搭载索尼 A7 单反数码相机,镜头焦距为 32.887 mm,设计航高约 800 m。考虑到无人机重量轻,低空作业时气流对其旋偏角影响较大,重叠度设计较小容易造成航摄漏洞。而重叠度设计较大,航飞重叠度又会导致基高比小,影响高程精度,同时也会带来内业测图时像对数量过多,增加处理难度。为此,经过综合考虑,航飞设计航向重叠度 70%,旁向重叠度 40%,航摄共飞行 8 个架次,获取影像 3 011 张。

控制点布设方面,由于测区地形环境复杂,在每个预布设控制点的点位范围内要选取多个特征地物作为控制点,预留多个点位,以避免外业人员无法到达及无法判断具体位置的情况发生。本文控制点布设采用航线方向每隔 6 条基线布设一个平高控制点,旁向每隔一条航线布设一排平高控

制点的方式。

2 空三加密

空三加密是用摄影测量解析法确定区域内所有影像的外方位元素,影响最终成图精度的最为关键的技术。本文主要利用 DAT - Matrix2.0 结合 PATB 光束法平差软件对测区获取影像数据进行空三加密处理,通过影像内定向,自动转点,交互编辑,粗差检测及精度检查等处理过程,有效地保证了测图精度。空三加密流程如图 1 所示。

2.1 无人机影像畸变差改正与内定向

由于无人机搭载非量测相机,其物镜畸变差较大,如不对畸变差进行校正,将会对空三加密精度造成很大影响。相机的误差主要来源是光学镜头的畸变差和机械误差。畸变差包含径向畸变差和切向畸变差,是由于相机镜头在制作和使用过程中引起的像点偏移其正确成像位置的点位误差;机械误差是在镜头摄取的影像转化到数字化阵列影像过程中产生的误差。

为了减小影像畸变差对空三加密精度的影响,影像畸变差改正是空三加密重要内容。本文首先对影像畸变差进行改正,利用的相机畸变改正模型如(1):

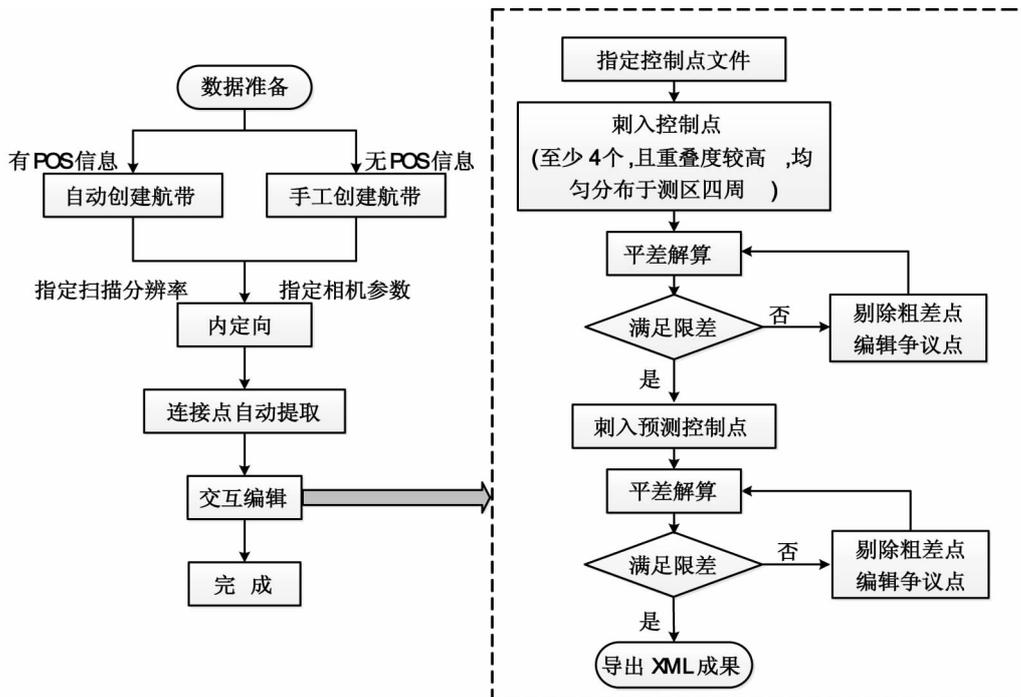


图1 空三加密流程图

Fig.1 The flow diagram of aerial triangulation

$$D_x = \frac{(K_0 + K_1R + K_2R^2 + K_3R^3 + K_4R^4 + K_5R^5 + K_6R^6 + K_7R^7)x}{R} + P_1(R^2 + 2x^2) + 2P_2xy + B_1x + B_2y$$

$$D_y = \frac{(K_0 + K_1R + K_2R^2 + K_3R^3 + K_4R^4 + K_5R^5 + K_6R^6 + K_7R^7)y}{R} + P_2(R^2 + 2y^2) + 2P_1xy$$
(1)

式中, $R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$, x, y 为像点在像素坐标系中的坐标, x_0, y_0 为像主点坐标; K_0, K_1, K_2, K_4, K_6 一般取值为 0; K_3, K_5, K_7 为径向畸变系数; P_1, P_2 为偏心畸变系数; B_1 为 CCD 非正方形比例系数; B_2 为 CCD 非正交畸变系数。具体值在图 1 指定的相机参数中标出。设置好扫描分辨率与相机参数即可自动进行内定向。为节省计算机储存空间, 畸变改正后没有直接生成去畸变的影像, 是在空三加密完成后导出 XML 工程文件, 将其导入 Map - Matrix 4.1 立体测图工作站进行实时去畸变处理, 即参数法去畸变。

2.2 相对定向与影像匹配

相对定向的目的是恢复摄影时相邻两影像摄影光束的相互关系, 从而使同名光束对对相交^[6]。目前, 数字影像的全自动相对定向已不再仅仅利用传统的 6 点, 而是利用相当多的点来完成, 这样就可以有大量的多余观测, 以提高定向参数解算的可靠性, 并可自动剔除粗差^[7]。因此, 需要对影像匹配提出更高的要求, 影像匹配精度的好坏、速度的快慢决定着空三加密的精度、效率及自动化程度。

常用的影像匹配方式有灰度相关匹配、最小二乘匹配和基于尺度不变特征匹配 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) 三种。无人机受风力影响, 飞行姿态不稳定, 影像旋偏角较大, 传统的二维相关、一维相关的灰度匹配已经不能匹配到点, 而最小二乘匹配虽然匹配精度很高, 但计算时间长, 效率低, 因此采用以上两种方法要使匹配达到高精度、高效率均存在一定局限性。然而 Lowe 1999 年提出并在 2004 年进一步完善的 SIFT 匹配算法^[8-9]能较好的解决这一问题, SIFT 算子能够提供最为稳定的尺度、旋转以及平移不变特征, 对于光照及噪声影响也具有较强的抵抗性, 从而达到抗几何变换的目的。SIFT 特征匹配算法流程图如图 2 所示。

SIFT 匹配保证了尺度不变性, 对于较大旋偏角, 较难匹配的像对也能匹配到同名像点; 但同时也存在匹配精度不高, 匹配点位分布不均匀, 错误匹配等现象。因此需要采用附加约束条件的方法

来剔除错误匹配。论文对数据处理时, 使用 DAT - Matrix 2.0 结合 PATB 光束法平差软件很好地解决了这一问题。对于旋偏角较大的像对, 传统灰度匹配方法匹配不到点时, 可结合 SIFT 匹配算法进行匹配, 通过这种传统的灰度匹配与 SIFT 匹配算法相结合的方式, 匹配的同名像点密度较好。为保证匹配精度, 再调用 PATB 平差软件进行解算, 对错误匹配像点进行剔除, 以提高匹配的精度。另外, 对于某些基于上述匹配方法仍没有匹配到精度较高的点时, 可在影像缺点的地区手工添加少量连接点, 所选取的点应是特征位置点, 具有特征纹理的位置, 例如房角、道路交叉口、方形水井拐角等, 而且要添加准确并保证添加的点连接度在 4 度连接以上, 在航带内与航带间都有重叠, 以加强整个架次的模型连接性, 提高像点精度。

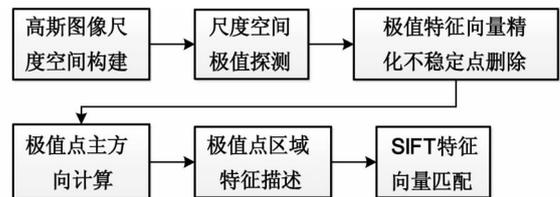


图2 SIFT匹配方法流程图

Fig. 2 The flow diagram of SIFT matching method

2.3 绝对定向

通常, 当加密一个测区时, 首先做粗差检测。影像匹配完成后, 首先在测区四周均匀刺入至少 4 个控制点, 调用 PATB 平差解算。首次解算一般假设像点观测精度为 1/2 像元大小, 控制点限差为所要达到精度的 3 倍, 进行解算。解算完成后将平差报告中 sigma naught 值赋予此测区的像点观测限差, 再进行挑粗差解算, 并将超限的粗差点剔除改正。如此反复平差解算直至报告中像点精度满足要求, 根据预测控制点点位由外至内依次刺入其他预测控制点, 并调整其点位于正确位置, 然后更改控制点限差为所要达到精度的一半, 再次平差解算, 剔除粗差点, 再次反复解算剔除粗差点直至控制点残差满足要求。

2.4 空三加密精度分析

空三加密完成后, 主要从以下几点判定成果

的可靠性:

(1)像点最大残差值(Max Change 值)在规范误差范围内。

(2)像点观测中误差 sigma 值在规范范围内,一般控制在 1/2 像元以内。

(3)控制点精度在误差范围内。

控制点平面中误差、高程中误差按下式计算。

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i \Delta_i)}{n}} \quad (2)$$

式中:m - 控制点中误差,单位为 m; Δ_i - 控制点实测值与解算值之差;n - 参与评定控制点个数。

经过计算,研究区域控制点定向精度见表 1。

表 1 控制点定向精度检查表 单位:m

Tab. 1 Table of control points accuracy checking Unit: m

架次	定向点精度			
	m_x	m_y	m_{xy}	m_z
1	0.140	0.169	0.219	0.158
2	0.198	0.191	0.275	0.168
3	0.108	0.095	0.144	0.173
4	0.102	0.093	0.138	0.156
5	0.194	0.161	0.252	0.104
6	0.197	0.135	0.239	0.122
7	0.171	0.180	0.248	0.159
8	0.179	0.123	0.217	0.143

依据规范^[10]要求,对于 1:2 000 丘陵地区基本定向点中误差限差平面为 0.3 m,高程为 0.26 m。表 1 中,定向精度平面最大中误差为 0.275 m,高程最大中误差为 0.173 m,平面、高程最大中误差均小于规范要求中误差限差,空三加密精度达到规范要求。

3 立体测图与成图精度分析

基于空三加密成果,利用 Map - Matrix4.1 摄影测量工作站对研究区进行立体测图,完成 11.43 km²的矿区地形图测绘工作。考虑到获取数据航摄架次较多,可能存在模型接边差,为此采用先对不同架次模型边界进行立体测图,同时结合外业调绘检查点对其进行检核,模型间若存在差异,必要时确定超限架次,返回空三加密对其重新处理。

本文选取 151 个平面点、146 个高程点分别对成图精度进行分析,结果如表 2 所示。

依据国家标准要求^[11],平面中误差不得大于 1.2 m,高程中误差不得大于 0.5 m,平面高程最大限差不得大于 2 倍的中误差。对误差频率进行统

计,结果如图 3 所示。

表 2 成图精度检查表 单位:m

Tab. 2 Table of mapping accuracy checking Unit: m

	中误差	最大较差
x	±0.086	0.200
y	±0.090	0.209
平面	±0.125	0.234
高程	±0.368	0.6534

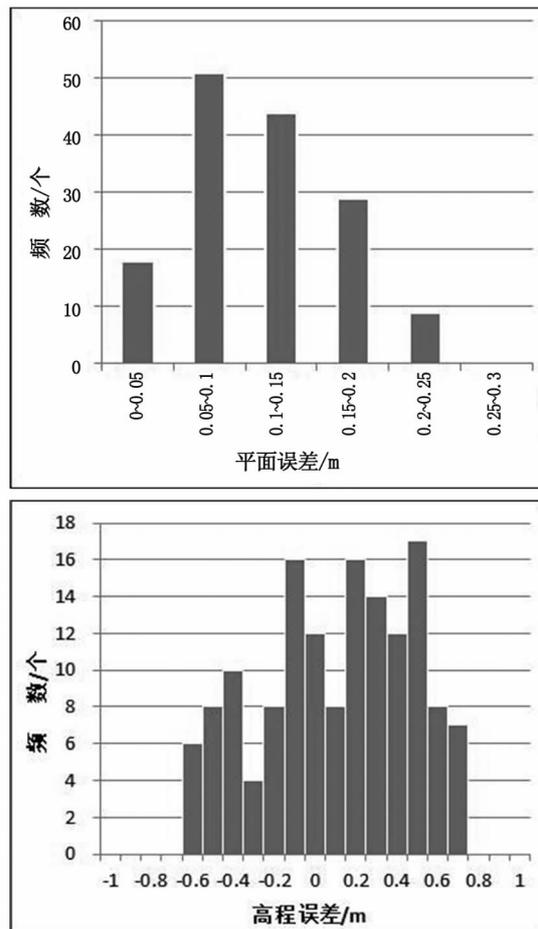


图3 误差频率直方图

Fig. 3 The error of frequency histogram

平面误差频数呈下降趋势,且误差均小于 0.25 m,精度优于规范要求;高程误差频数基本符合正态分布规律,小于 1 倍规范中误差点数为 80.1%,1 倍与 2 倍规范中误差之间点数为 19.9%,大于 2 倍规范中误差点数为 0,误差主要集中在 -0.5 ~ 0.5 m 之间。根据统计,各项指标满足国家标准规范要求,实现了高精度数字化成图。

但由统计数据知,平面精度在各指标均优于高程精度,引起高程误差较大的主要原因是无人机采用非量测相机,相机虽经过检校得到了畸变参数,但是在现场飞行和搬运过程中不可避免的

对相机有碰撞,引起相机畸变参数不准,产生了误差。而且无人机影像像幅小、基线较短,又加之风力影响,在顶风飞行时基线长度更小,使的基高比小,对高程精度造成了影响。若想提高精度,就需要使用专业航摄相机及提高无人机的飞行稳定性,但这就对无人机的质量及荷载提出了更高要求,仍需进一步研究。

4 结论

经过精度分析,各项精度达到了国家的规范要求,实践证明可以将摄影测量应用于矿区地形图的测绘工作中,并且能够快速、高效地完成测图任务。文中对关键技术方法的研究与分析为摄影测量影像处理提供了一种有益的思路。下一步要针对如何利用少量控制点或者无需地面控制点即可进行高精度的空三加密及利用无人机完成1:500地形图的测绘工作进行深入研究。

参考文献:

- [1]王俊. ADS80航空摄影测量系统在甘肃省基础测绘中的应用[J]. 测绘通报,2012(Z1):433-435.
 [2]洪运富,杨一鹏,杨海军. DPGrid_LAT在尾矿库无人机遥感影像处理中的应用[J]. 测绘通报,2013(11):71-73.

(上接第100页)

3 结论

1)2004~2014年江西省煤矿事故发生情况可分为两个阶段,分别为2004~2007年和2008~2014年;2004年是江西省煤矿事故的高峰期。

2)每年的4、5、8月是煤矿事故的高发月份,每天的8:00~19:59为事故的高发时间,需要今后每年的这三个月及每天的8:00~19:59加强煤矿企业的安全措施。

3)全省的各类煤矿中,乡镇煤矿事故起数最多,较第一阶段发生起数虽有下降,但事故起数和死亡人数仍居高位,仍是国家重点治理对象。

4)各类事故中顶板事故频繁发生,这与江西煤矿复杂的地质条件是分不开的。防治江西煤矿顶板事故,一方面要提高煤矿的顶板支护水平;另一方面要选择合理的顶板支护方法。瓦斯事故发生次数较顶板事故较少,但对煤矿企业安全生产危害极大,平均每起事故死亡5.3人,需要重点防治。

- [3]吕立蕾,张卫兵,胡树林,等. 低空无人机航摄系统在长距离输油(气)管道1:2 000带状地形图测绘中的应用研究[J]. 测绘通报,2013(4):42-45.
 [4]赵星涛,胡奎,卢晓攀,等. 无人机低空航摄的矿山地质灾害精细探测方法[J]. 测绘科学,2014(6):49-52.
 [5]李雷,张海涛,李兵. 无人机影像在大面积1:2 000地形图测绘中的应用研究[J]. 测绘通报,2012(Z1):457-461.
 [6]王佩军,徐亚明. 摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2010.
 [7]张力,张祖勋,张剑清. Wallis滤波在影像匹配中的应用[J]. 武汉测绘科技大学学报,1999(1):24-27.
 [8]LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]//Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu, 1999:1150-1157.
 [9]LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision,2004,2(60):91-110.
 [10]GB/T23236-2009,数字航空摄影测量空中三角测量规范[S].
 [11]GB/T17278-2009,数字地形图产品基本要求[S].

(责任编辑 王利君)

参考文献:

- [1]康向涛,刘勇,周仕来. 2006~2009年贵州煤矿顶板事故分析[J]. 煤炭技术,2011,30(4):112-114.
 [2]武猛猛,钟阳. 2012~2013年我国煤矿死亡事故统计分析[J]. 煤炭技术,2014,33(10):296-299.
 [3]刘亮,刘毅,刘明举. 2002~2003年我国煤矿死亡事故统计分析[J]. 煤炭科学技术,2005,33(1):76.
 [4]李润求,施式亮,念其锋,等. 近10年我国煤矿瓦斯灾害事故规律研究[J]. 中国安全科学学报,2011,21(9):143-151.
 [5]殷文韬,傅贵,袁沙沙,等. 2001~2012年我国重特大瓦斯爆炸事故特征及发生规律研究[J]. 中国安全科学学报,2013,23(2):141-147.
 [6]江西省煤矿安全监察局. 江西省事故快报[EB/OL]. [2015-3-23]. http://www.jxmkaqjc.gov.cn/sgkb/index_24.htm.
 [7]张国枢. 通风安全学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007.
 [8]申富宏,张志平. 矿井瓦斯爆炸事故预防措施的探讨[J]. 矿业安全与环保,2000(6):35.

(责任编辑 王利君)