

数字摄影测量及 无人机数据处理技术

丁 华 李如仁 徐启程 著



中国建材工业出版社

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 摄影测量发展概述	2
1.3 无人机技术发展概述	4
1.4 本书研究内容	6
1.5 小结	7
第2章 数字摄影测量理论体系	8
2.1 摄影测量学	9
2.1.1 摄影测量的重要概念及公式	9
2.1.2 空中三角测量概述	17
2.2 数字摄影测量	23
2.2.1 数字摄影测量概述	23
2.2.2 数字摄影测量工作站	25
第3章 无人机技术	31
3.1 无人机技术概述	31
3.2 无人机数据介绍	39
3.3 无人机数据处理软件	44
第4章 数字摄影测量数据处理关键技术	50
4.1 研究区数据	50
4.2 影像定向	52
4.3 DEM和数字正射影像的制作	57
4.3.1 从立体像对中获取DEM	57
4.3.2 从立体像对中获取正射影像	62
4.4 数字立体测图	63
4.5 基于DatMatrix和MapMatrix系统的无人机数据处理	69
4.5.1 外业数据获取	69
4.5.2 空中三角测量主要流程	72
4.5.3 数据产品制作流程	79
第5章 基于Pix4Dmapper的无人机数据处理关键技术	81
5.1 测区数据	81
5.2 数据主要处理流程	83
5.3 质量报告及成果输出	95
5.3.1 质量分析报告	95
5.3.2 成果输出	97

像对内所有地面点的三维坐标。

(3) 采用光束法求解地面点的三维坐标。

这种方法是把待求的地面点和已知点坐标,按照共线条件方程,用连接点条件和控制点条件同时列出误差方程式,统一进行平差计算,以求得地面点的三维坐标。这种方法理论上较为严密,但计算量很大,是前两种方法的一个综合。

2.1.2 空中三角测量概述

在摄影测量立体测图中,每个像对至少需要4个测图控制点,当测区内有许多个像对时,需要大量的地面控制点,如果这些控制点都采用野外实测,则摄影测量的外业工作量大、成本高且效率低下。为了减少外业的工作量,在野外只测少量必要的地面控制点,而采用在室内用摄影测量的方法加密出每个立体像对所需要的测图控制点,这种工作被称为空中三角测量(简称空三,本书在部分叙述中用简称)。空中三角测量就是以像片上量测的像点坐标为依据,采用较严密的数学模型,按最小二乘法原理,用少量地面控制点为平差条件,在计算机上解算测图所需控制点的地面坐标的方法。由于空中三角测量的主要目的就是为地形图测绘加密出足够的控制点,因此也被称为空三加密(图2-19)。

空中三角测量可以为测绘地形图提供定向控制点和像片定向参数,测定大范围内界址点的统一坐标,在单元模型中进行大量地面点坐标的计算以及应用于解析近景摄影测量和非地形摄影测量。

空中三角测量的特点:将大部分野外测控工作转至室内完成;不接触被测目标即可测定其位置和形状,对被测目标是否可以接触无特别要求;可以快速地在实施点位的测定,节省大量的野外测量工作;可引入系统误差改正和粗差检测,可同非摄影测量观测值进行联合平差;凡从空中摄站可摄取的目标,均可测定其点位,不受地面通视条件的限制;区域网平差的精度高,内部精度均匀,且不受区域大小的限制。

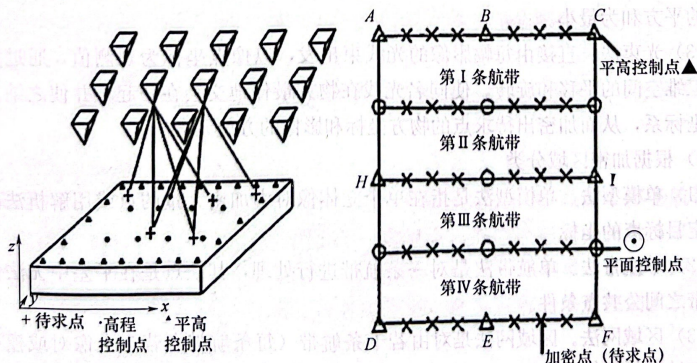


图2-19 空中三角测量

1. 空中三角测量的分类

空中三角测量按发展阶段可以分为模拟空中三角测量、解析空中三角测量和数字空中三角测量。模拟空中三角测量采用图解法或光学机械法，在全能型立体测图仪上根据摄影过程的几何反转原理建立航带模型，实现控制点的加密。解析空中三角测量是利用计算机，根据人工观测方法在坐标量测仪或解析测图仪上量测的像点坐标，采用一定的数学模型计算出待定点的地面坐标。数字空中三角测量又称为自动空三，它不需要模拟的或解析的坐标量测仪器，而是直接在计算机屏幕显示的数字影像上，自动或半自动地采集加密点的像点坐标，进而计算出待定点的地面坐标。当前，数字空中三角测量已成为主流的作业方式，但数字空中三角测量仍然沿用解析空中三角测量的数学模型。

利用计算机进行解析空中三角测量可以采用不同的方法进行分类（图 2-20）。

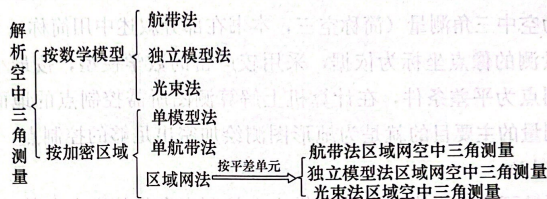


图 2-20 解析空中三角测量分类

1) 根据平差中采用的数学模型不同分类

(1) 航带法。即通过相对定向和模型连接先建立自由航带，以点在该航带中的摄影测量坐标为观测值，通过非线性多项式中变换参数的确定，把自由网纳入所要求的地面坐标系中，并使公共点上不符值的平方和为最小。

(2) 独立模型法。即先通过相对定向建立起单元模型，以模型点坐标为观测值，通过单元模型在空间的相似变换，使之纳入到规定的地面坐标系，并使模型连接点上残差的平方和为最小。

(3) 光束法。直接由每幅影像的光线束出发，以像点坐标为观测值，通过每个光束在三维空间的平移和旋转，使同名光线在物方最佳地交会在一起，并使之纳入到规定的坐标系，从而加密出待求点的物方坐标和影像的方位元素。

2) 根据加密区域分类

(1) 单模型法。单模型法是指在单个立体像对中加密大量的点或用解析法高精度地测定目标点的坐标。

(2) 单航带法。单航带法是对一条航带进行处理，其缺点是在平差中无法估计相邻航带之间公共点条件。

(3) 区域网法。区域网法是对由若干条航带（每条航带有若干个像对或模型）组成的区域进行整体平差。区域网法按整体平差时所采用的平差单元不同又分为三种：

① 航带法区域网空中三角测量：该方法是以前航带作为整体平差的基本单元。

② 独立模型法区域网空中三角测量：该方法是以前述单元模型为平差单元。

③ 光束法区域网空中三角测：该方法是以前述每张像片相似投影光束为平差单元，从而求出每张像片的外方位元素及各加密点的地面坐标。

2. 光束法区域网空中三角测量

解析空中三角测量中三种区域网平差方法分别是航带法区域网空中三角测量、独立模型法区域网空中三角测量和光束法区域网空中三角测量。航带法区域网平差是从模拟仪器上的空中三角测量演变过来的，是一种分步的近似平差方法。航带法区域网平差方便，速度快，但精度不高，主要提供初始值和小比例尺、低精度定位加密。独立模型法区域网平差是源于单元模型的空间模拟变换，平差求解的未知数较多，可将平面和高程分开求解，可以得到较严密的平差结果。光束法区域网平差的数学模型是共线条件方程，平差单元是单个光束，像点坐标是观测值，未知数是每张像片的外方位元素及所有待定点的地面坐标。光束法区域网平差是最严密的方法，目前已经成为解析空中三角测量的主流方法。

光束法区域网空中三角测量是以每张像片所组成的一束光线作为平差的基本单元，以共线条件方程作为平差的基础方程，通过各个光束在空中的旋转和平移使模型之间公共点的光线实现最佳交会，并使整个区域纳入到已知的控制点地面坐标系中去。所以光束法区域网空中三角测量要建立全区域统一的误差方程式，整体解求全区域内每张像片的6个外方位元素以及所有待求点的地面坐标。

光束法区域网空中三角测量的主要内容包括：

- (1) 获取每张像片外方位元素及待定点坐标的近似值。
- (2) 从每张像片上控制点、待定点的像点坐标出发，按共线条件列出误差方程式。
- (3) 逐点法化建立改化法方程式，按循环分块的求解方法，先求出其中的一类未知数，通常先求每张像片的外方位元素。
- (4) 按空间前方交会求待定点的地面坐标，对于相邻像片的公共点，应取其均值作为最后结果。

在上述第三步中，在某些特定情况下，也可以先消去每幅影像的外方位元素的未知数而建立只含坐标未知数的改化法方程式，直接求解待定点的地面坐标。

3. GPS（全球定位系统）辅助空中三角测量和 POS（定位定姿系统）辅助空中三角测量

1) GPS 辅助空中三角测量

传统的空中三角测量虽然能大大减少外业控制点的数量，但是由于多条航带、大面积空中三角测量所需要的外业控制点数量仍然较多，外业控制点的测量历来都是一项工作量大、工作周期长、作业成本高的测量过程，特别是在荒漠、森林、高山等困难地区更是如此，因此尽量减少外业控制点的数量，甚至实现无外业控制点定位一直是摄影测量工作者奋斗的目标。

随着 GPS 动态定位技术的发展，利用带有 GPS 的摄影测量系统可直接获取拍摄瞬间摄影中心的空间位置，该技术可以极大地减少地面控制点的数量，图 2-21 是传统的

光束法空中三角测量的控制点布设图和 GPS 辅助空中三角测量的控制点布设图, 图中可以明显看到 GPS 加入之后地面控制点的数量大大减少, 节省了外业测量的工作量。GPS 辅助空中三角测量可快速获得每张航摄像片的三个线性外方位元素, 从而减少了待求的未知数个数, 只需少量地面控制点就可以得到精度较高的加密点坐标, 在小比例尺地形图测绘中甚至可以不要地面控制点, 实现无地面控制点的空三加密。

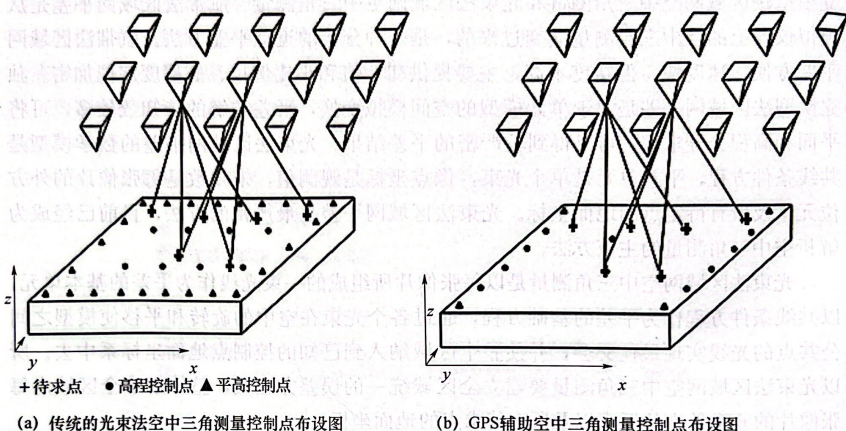


图 2-21 两种空中三角测量的控制点布设图

(1) GPS 辅助空中三角测量基本原理

GPS 辅助空中三角测量是利用装在飞机和设在地面的一个或多个基准站上的至少两台 GPS 信号接收机同时而连续地观测 GPS 卫星信号, 同时获得航摄像片, 摄影瞬间航摄影快门开启脉冲, 通过 GPS 载波相位差分测量定位技术的离线数据, 经过后处理, 获取航摄影曝光时刻摄站的三维坐标, 然后将其视为附加观测值, 引入摄影测量区域网平差中, 采用统一的数学模型和算法整体确定点位并对其质量进行评定的理论、技术和方法。

GPS 辅助空中三角测量的基本思想: 由 GPS 载波相位差分进行定位, 获得摄站点的空间坐标, 并将摄站点的空间坐标作为区域网平差中的附加非摄影测量观测值, 以空中控制取代地面控制的方法进行区域网平差, 这样可以大大减少甚至免除传统空中三角测量所必须的地面控制点, 从而大大提高空三加密的速度, 降低其成本。

(2) GPS 辅助空中三角测量的作业过程

GPS 辅助空中三角测量的作业过程大体上可分为以下四个阶段:

① 现行航空摄影系统改造及偏心测定

为了能测得摄影瞬间摄影中心的空间位置, 需要在航摄飞机顶部适当位置安装高动态 GPS 天线, 以便能接收到 GPS 卫星信号; 在航摄像机中加装曝光传感器及脉冲装置, 以记录和输出航摄像机快门开启时刻的脉冲信号; 在 GPS 机载信号接收机上加装

外部事件输入装置,将航摄像机曝光时刻的脉冲准确地载入GPS信号接收机的时标上。这三者(GPS天线、GPS接收机、航摄像机)稳固地连成一体(图2-22),构成GPS辅助航空摄影系统。

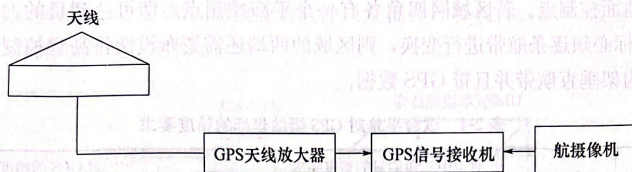


图 2-22 带 GPS 的航空摄影系统

GPS 天线一般固定在飞机的顶部,而航摄像机总是安装固定在飞机的底部,GPS 天线中心与航摄像机摄影中心并不重合,存在偏差(偏心),在正常状态下偏心距是一个常数,偏心距可以用近景摄影测量、经纬仪测量法或平板玻璃直接投影法测出。

② 带 GPS 信号接收机的航空摄影

在航空摄影过程中,以 $0.5 \sim 1.0\text{s}$ 的数据更新率,用至少两台分别设在地面基准站和飞机上的 GPS 接收机同时而连续地观测 GPS 卫星信号,以获取 GPS 载波相位观察和航摄像机曝光时刻。

③ 解求 GPS 摄站坐标

GPS 历元就是某一时刻接受卫星信号的时段数,例如:GPS 接收机采集数据时将采样间隔设置为 10s ,那么每一个 10s 称为一个历元,航摄像机像片曝光的时刻,不一定和 GPS 的观测历元重合,这个时候就要由差值法通过相邻两个历元的 GPS 天线位置内插出曝光时刻 GPS 天线位置。因此 GPS 摄站坐标的求解分为两步:首先要用专业软件求出每一观测历元时刻 GPS 天线的空间位置,然后再根据相邻两个 GPS 历元时刻的天线中心位置内插出曝光时刻 GPS 摄站坐标。

④ GPS 摄站坐标与摄影测量数据的联合平差

首先要确定 GPS 摄站坐标与摄影中心坐标的几何关系式,计算出 GPS 摄站坐标和摄影中心的线性关系式,然后将其代入光束法区域网平差的方程中,共同构建 GPS 辅助光束法区域网空三加密的误差方程和法方程。法方程的求解仍然可以采用传统的边法化边消元的循环分块方法求解未知数。

(3) GPS 辅助空中三角测量中的 GPS 精度和可靠性分析

利用 GPS 数据进行空中三角测量的预期精度和可靠性分析结果表明:

① GPS 摄站坐标在区域网联合平差中是极其有效的,只需要中等精度的 GPS 摄站坐标,即可满足测图的要求,详见表 2-1。

② 外方位线元素的利用一般比角元素更有效。附加的姿态测量数据在其精度很高时,可以用来改善高程加密精度。

③ 利用 GPS 数据的光束法区域网平差有较好的可靠性,这包括 GPS 数据自身的可靠性以及像点坐标观测值和少量地面控制点的可靠性。

④ 从理论上讲, GPS 提供的摄站点坐标用于区域网平差可完全取代地面控制点, 条件是此时区域网平差是在 GPS 直角坐标系中进行的。

⑤ 为了解决基准问题, 即为了获得在国家坐标系中的区域网平差成果, 要求有一定数量的地面控制点。若区域网四角各有一个平高控制点, 即可达到目的。但是, 如果 GPS 坐标必须逐条航带进行变换, 则区域的两端还需要布设两排高程控制点, 或另加飞两条构架垂直航带并且带 GPS 数据。

表 2-1 联合平差对 GPS 摄站坐标的精度要求

测图比例尺	摄影比例尺	对空中三角测量的精度要求		等高距	对 GPS 的精度要求	
		$\mu_{x,y}$	μ_z		$\sigma_{x,y}$	σ_z
1:100000	1:100000	5m	<4m	20m	30m	16m
1:50000	1:70000	2.5m	2m	10m	15m	8m
1:25000	1:50000	1.2m	1.2m	5m	5m	4m
1:10000	1:30000	0.5m	0.4m	2m	1.6m	0.7m
1:5000	1:15000	0.25m	0.2m	1m	0.8m	0.35m
1:1000	1:8000	5cm	10cm	0.5m	0.4m	0.15m
高精度点位测定	1:4000	1~2cm	6cm	—	0.15m	0.15m

2) POS 辅助全自动空中三角测量

定位定姿系统 (Position and Orientation System, 简称 POS) 集差分 GPS (DGPS) 技术和惯性测量装置 (IMU) 技术于一体, 可以获取移动物体的空间位置和三轴姿态信息, 广泛应用于飞机、轮船和导弹的导航定位。POS 主要包括 GPS 信号接收机和惯性测量装置两个部分, 也称 GPS/IMU 集成系统。利用 POS 可以在航空摄影过程中直接测定每张像片的 6 个外方位元素, 从而可以进一步减少外业像片控制测量工作, 提高摄影测量的生产效率。POS 的工作流程如图 2-23 所示。

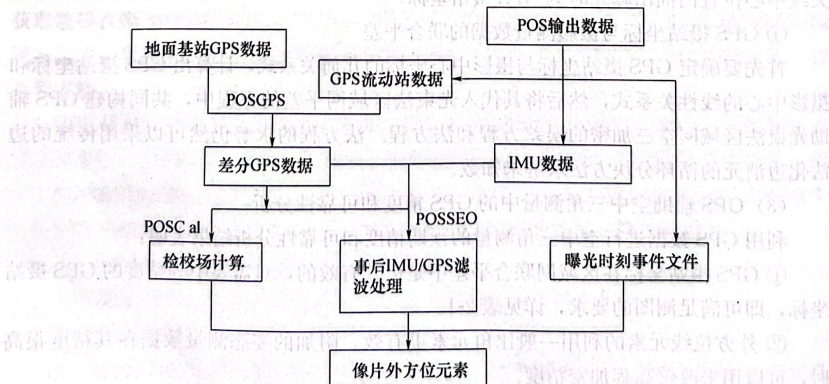


图 2-23 POS 的工作流程图

(1) POS 辅助空中三角测量系统的组成

POS 辅助空中三角测量系统主要包括航摄像机、导航控制系统、IMU 高精度姿态测量系统、IMU 与相机连接架、机载 GPS 及地面 GPS 基站接收机等。软件包括 GPS 数据差分处理软件、GPS/IMU 滤波处理软件以及检校计算软件。图 2-24 是 POS 辅助空中三角测量系统组成示意图。

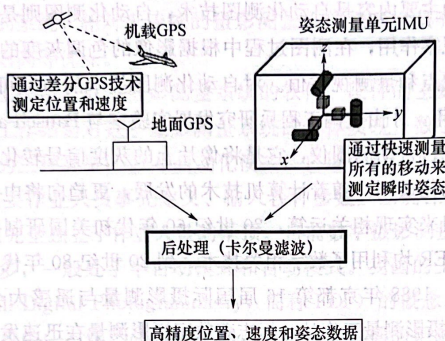


图 2-24 POS 辅助空中三角测量系统组成示意图

(2) 常规空中三角测量与 GPS/POS 辅助自动空中三角测量整体比较

表 2-2 中比较了常规空中三角测量和引入 GPS 后的 GPS/POS 辅助自动空中三角测量在航片拍摄、外业控制点测量获取和平差结果精度等方面的差异。

表 2-2 常规空中三角测量和 GPS/POS 辅助自动空中三角测量比较

比较项目	常规空中三角测量	GPS/POS 辅助自动空中三角测量
航空摄影	常规航空摄影飞行	带 GPS 相位差分的航空摄影飞行增加约 15% 的航摄费用
外业像片控制点联测	需一个作业季节进行外业控制测量	只需少量地面控制点在航摄时用 GPS 测量技术同步完成
内业选点和刺点	人工作业（慢、差、费）	全自动完成（快、好、省）
像片坐标量测	人工作业（慢、精度低）	全自动完成（快、精度高）
区域网平差	精度取决于地面控制点数量和分布	带 GPS 数据的联合平差精度均匀，可靠性好

2.2 数字摄影测量

2.2.1 数字摄影测量概述

摄影测量发展经历了模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三个阶段，随着计算机技术的快速发展，数字摄影测量已经成为摄影测量发展的主流方向。但是无论是哪种摄影测量，都需要寻找同名像点，在模拟摄影测量和解析摄影测量阶段都

责任编辑: 李春荣

封面设计:  汇音设计
TEL 010-68343948



数字摄影测量及无人机数据处理技术



专·精·志·远

为您提供专业服务

编辑部: 010-88376510

读者服务: 010-88386906

网上书店: www.jccbs.com



本社微信公众号



本社淘宝一店



本社淘宝二店



上架建议: 测绘技术

ISBN 978-7-5160-2477-5



9 787516 024775 >

定价: 45.00元