

带状区域像控点密度对无人机航摄精度的影响研究

孙昌瑜 13324310512

《吉林省水利水电勘测设计研究院》

摘要:

针对大面积的平原带状区域,使用飞马 V100 垂起无人机进行航摄,对 POS 数据采用后差分进行处理,然后利用“Agisoft Photoscan”软件进行解算。通过试验,探讨了像控点密度对航摄精度的影响。对于 DOM 成果,只需少量的像控点就可满足精度要求。像控点密度对于 DEM 的影响较大,但当像控点数量达到一定时,继续增加像控点密度,对 DEM 精度的提高并不明显,总结了一种适合平原地区布设像控点的方案,可供其它工程参考。

关键词:

像控点; 空三加密; DOM; DEM

1 项目背景

近几年来,无人机由于其自身体积较小、操作简便、受空域管制的影响小、能够快速获取影像等特点已被广泛应用于农业、交通、电力、水利等行业。工程中,通常利用无人机获取影像数据,以供设计部门规划使用。

我院受业主委托,对于一条输水线路工程进行前期测绘,该工程地处平原地区,全长约为 305KM,植被多以旱地、草地、水田为主,业主要求提供输水线路两侧各 500m 范围内的 DOM 影像及 DLG 数据。工程时间紧,任务重,我院决定采用飞马 V100 无人机对其进行航摄。输水线路如图 1 所示。



图1 输水线路图

2 技术路线

工程平面坐标系统采用 2000 国家大地坐标系，高程基准为 1985 国家高程基准。采用飞马 V100 无人机进行航摄，内业采用“无人机管家”及“Agisoft Photoscan”软件进行 POS 数据解算及影像数据处理，技术路线的主要流程如图 2 所示。

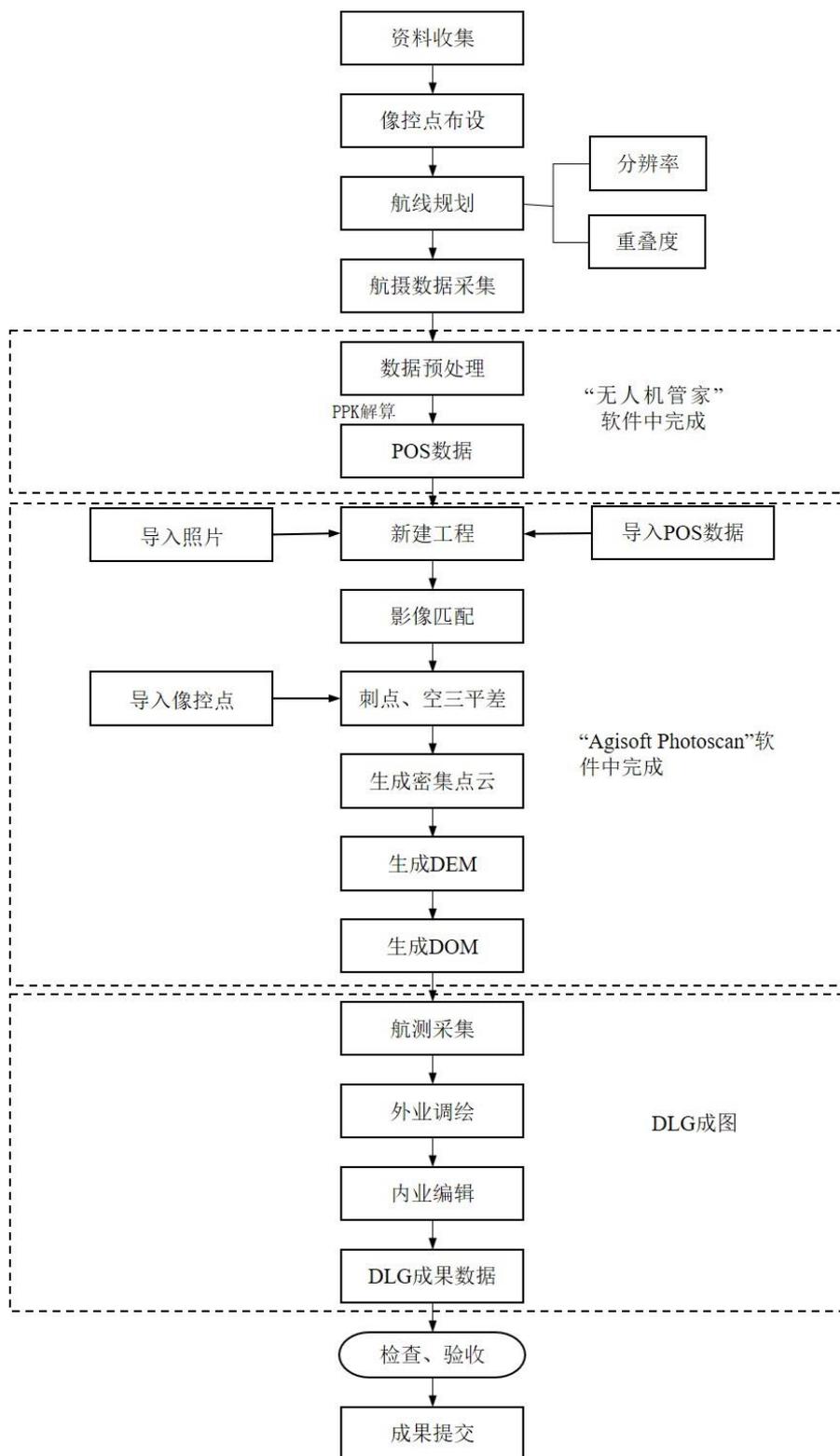


图2 技术路线图

3 外业实施

在利用无人机进行航摄前，首先需要进行像控点的布设。而采用传统的摄影测量布点方式，不但增加像控点数量，而且实施起来比较困难，因此，不能对无人机完全使用传统航测布点方式^[1]。像控点布设密度对其航摄精度有直接的影响，也直接影响外业航摄效率。因此，寻求一种合理布设像

控点密度的方法对于提高本工程的效率有很大帮助。鉴于此，本文利用飞马 V100 无人机进行带状区域试验，得出了一些有益的结论，也为今后无人机进行大面积带状区域航摄的应用提供了参考。

3.1 像控点布设方案

试验区长度为 11 公里，宽度为中心线两侧各 500 米，总面积为 11 平方公里。像控点布设的基本原则为：硬质路面采用 L 形布设，大小为长*宽（70cm*30cm），非硬质路面采用十字形，大小为：长*宽（130cm*30cm）。像控点位置周围环境空旷，地表起伏小，像控点布设如图 3 所示。为试验像控点密度对影像成果精度影响，设计三套布设方案，采用 GPS RTK 共采集 37 个控制点，控制点位置如图 4 所示。



图 3 像控点布设图

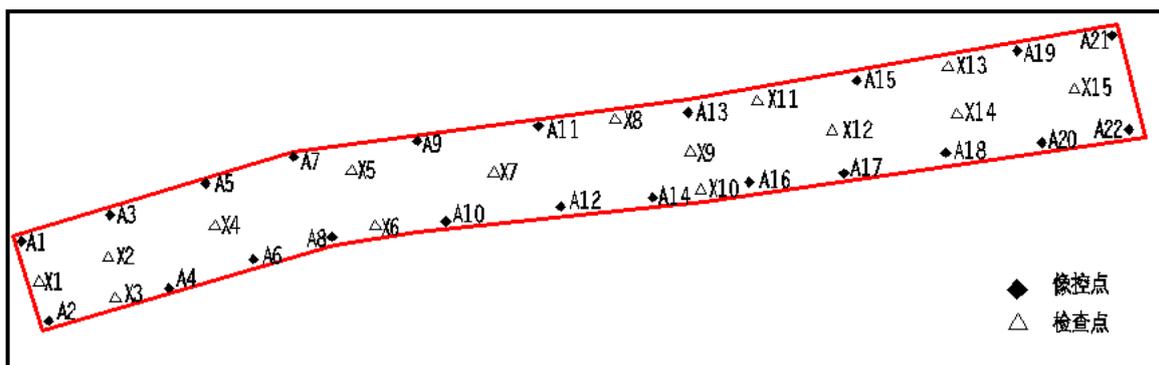


图 4 控制点点位分布

(1) 布设方案 I: 在带状区域周边布设像控点，平均 1.0Km-1.5Km 布设一对像控点，航摄区域拐点处加设像控点。图 1 中，采用 A1 至 A22 共 22 个点进行空三刺点，X1 至 X15 共 15 个点进行检查。

(2) 布设方案 II: 图 1 中, 带状航摄区域在 A7、A8 点处存在拐点, 考虑区域形状, 选取 A1、A2、A7、A8、A11、A12、A15、A17、A21、A22 共 10 个点进行空三刺点, 这 10 个点的排布为平均 2.5Km-3.0Km 一对, 其余点进行检查。

(3) 布设方案 III: 不考虑带状区域形状, 选取 A1、A2、A11、A14、A21、A22 共 6 个点进行空三刺点, 平均 5.0Km-6.0Km 一对, 其余点进行检查。

3.2 影像数据的获取

采用飞马 V100 垂起固定翼和配套的基站进行 2 个架次航摄。飞马 V100 无人机及航摄参数如表 1 所示, 飞行现场如图 5 所示。

表 1 数据源参数

类 型	参 数
相机型号	SONY RX1R II
传感器尺寸	35.9x24mm(全画幅)
有效像素	4200 万(7952X5340)
镜头参数	35mm 定焦
分辨率	7cm
航高	540m
航向重叠度	80%
旁向重叠度	60%



图 5 无人机飞行现场工作图

4 各方案的精度对比分析

外业航飞结束后, 下载基站数据及 POS 数据进行 PPK 解算, 解算软件采用飞马无人机配套的“无人机管家”软件进行, POS 解算完成后, 利用“Agisoft Photoscan”软件进行空三及影像处理。

4.1 空三成果精度分析

空三区域网平差后的检查点的精度是通过使用 GPS RTK 实测的点与由像点坐标和解算出的外方位元素计算出的检查点坐标的差值, 根据式 (1) 求出中误差

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

式中: m 为检查点的中误差, 单位 m ; Δ 为检查点实测值与解算值的差, 单位 m ; n 为检查点的个数。

不同布置方案的检查点精度如表 2 所示:

表 2 不同布置方案的检查点精度

布置方案	定向点数量	检查点数量	平面位置精度/m		高程精度/m	
			最大较差	中误差	最大较差	中误差
方案 I	22	15	0.13	0.08	0.18	0.10
方案 II	10	27	0.15	0.11	0.21	0.11
方案 III	6	31	0.23	0.16	0.27	0.20

由表 2 可知: 不同布置方案的空三检查点平面最大较差及中误差方案 I 最小, 但随着方案 II、方案 III 像控点的逐渐较少, 平面中误差变化不大。不同布置方案的空三检查点的高程精度随着像控点数量的减少其最大较差依次增大, 但高程中误差方案 I 与方案 II 精度相当, 都明显高于方案 III。三种不同的布置方案空三检查点的精度都满足《数字航空摄影测量空中三角测量规范》(GB/T 23236-2009)^[5] 1:1000 比例尺要求。

4.2 DOM 精度对比

DOM 的精度是通过野外实测检查点与 DOM 上提取的检查点的坐标差值, 按式 (2) 确定:

$$M_S = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta P_i * \Delta P_i}{N}} \quad (2)$$

式中: M_S 为平面中误差, ΔP_i 为 i 点的平面中误差, N 为检查点个数。

为了验证不同布置方案的 DOM 精度, 在试验区内均匀分布的采集了 100 个检查点, 其精度如表 3 所示。

表 3 不同布置方案的 DOM 精度

布置方案	定向点数量	检查点数量	DOM 精度/m	
			最大较差	中误差
方案 I	22	100	0.17	0.12
方案 II	10	100	0.19	0.14
方案 III	6	100	0.24	0.17

由表 3 可知: 不同布置方案的 DOM 精度相当, 虽然方案 I 的精度最高, 但随着方案 II、方案 III

像控点数量的减少精度影响不大，且三种方案的最大较差及中误差都未超过《基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字正射影像图》(CH/T 9008.3-2010)^[6]中规定的 1:1000 精度指标。因此，使用无人机进行航摄，所得到的 DOM 成果只需少量的像控点即可满足其精度要求。

4.3 DEM 精度对比

DEM 的精度是通过野外实测检查点的高程，然后利用 ArcGIS 软件提取对应检查点在 DEM 上的高程值，通过实测高程值与提取高程值的差值,按式 (3) 确定：

$$M_H = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta h_i * \Delta h_i}{N}} \quad (3)$$

式中： M_H 为高程中误差， Δh_i 为*i*点的实测值与 DEM 对应该点高程值的差值，*N*为检查点个数。

为了验证不同布设方案的 DEM 精度，在试验区内均匀分布的采集了 220 个检查点，其精度如表 4 所示：

表 4 不同布设方案的 DEM 精度

布设方案	定向点数量	检查点数量	DEM 精度/m	
			最大较差	中误差
方案 I	22	220	0.21	0.12
方案 II	10	220	0.23	0.14
方案 III	6	220	0.38	0.27

由表 4 可知：方案 I 与方案 II 的 DEM 精度相当，明显高于方案 III 的精度。在方案 I（平均 1.0Km-1.5Km 布设一对像控点的）基础上适当的增大像控点布设距离使其平均 2.5Km-3.0Km（方案 II）布设一对，对 DEM 的精度影响较小，但可以大大地减少外业像控点的布设数量，提高工作效率。但像控点的布设距离也不宜过大，方案 III 是平均 5.0Km-6.0Km 布设一对像控点，DEM 精度已经明显降低。方案 I、方案 II、方案 III 满足《基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型》(CH/T 9008.2-2010)^[7] 中规定的 1:1000 二级 DEM 精度指标，但方案 III 已接近限差。

通过以上可知：像控点的布设密度，并不是越多精度越高，当像控点密度达到一定数量后，增加像控点的数量，对 DEM 的精度提高并不明显。但当像控点布设较少，则 DEM 精度损失较大。因此，在实际工程中，应合理的选择像控点的布设密度，使其航摄效率得到提高。

为了更加直观的比较三种布设方案的 DEM 精度，统计各种方案的误差分布，如图 6 所示。

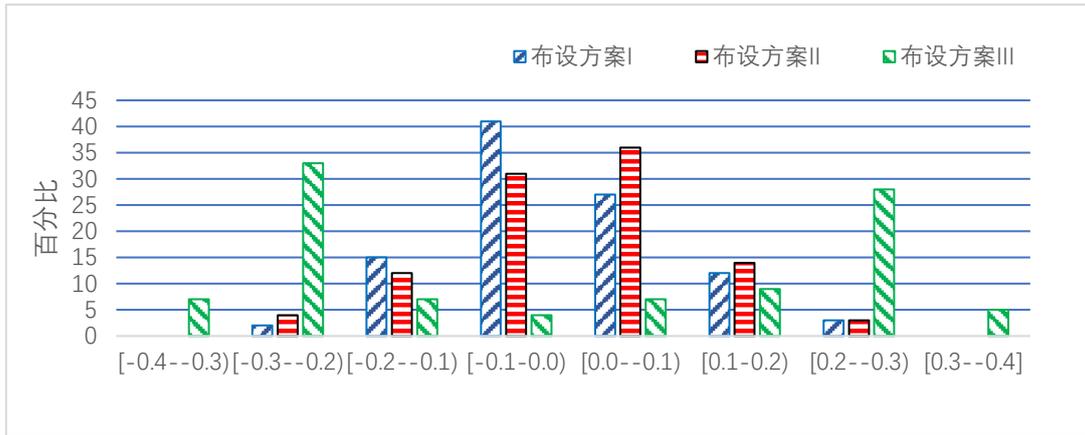


图6 不同布设方案 DEM 误差分布

由图6可知：方案I、方案II的误差分布大部分集中于[-0.1,0.1)，方案III的误差分布大部分集中于[-0.3,0.2)、[0.2,0.3)。分析发现，方案III的最大残差分布在航摄区域拐角处即像控点A7, A8处，分析其原因是由于方案III在航摄区域拐角处没有像控点，导致拐角处DEM检查点的精度不能得到很好的控制。因此，布设像控点时应在航摄区域拐角处加密像控点。

通过以上DOM, DEM的精度对比分析可知：在平原地区，方案II（平均2.5Km-3.0Km布设一对像控点，在区域拐角处加密像控点）可有效地满足其1:1000各项精度指标，且DEM精度较优。同时，也可以减少像控点布设数量，减少内业刺点工作，提高工作效率。因此，方案II为最优方案。

5 成果展示

通过试验，本工程采用平均2.5KM-3.0Km布设一对像控点，大大地减少了像控点的布设数量，提高了工作效率。部分成果如下图所示：



图7 部分项目 DOM 成果图



图8 局部放大 DOM 成果图

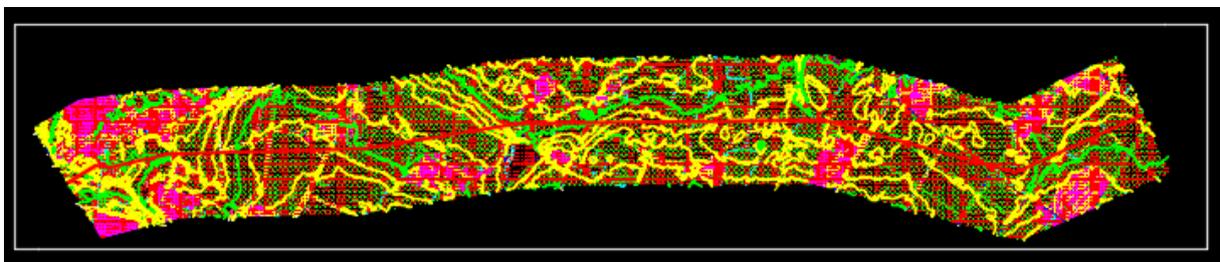


图9 部分项目 DLG 成果图

6 项目总结

本项目的顺利完成，主要依托于飞马 V100 垂起无人机，其具有模块化设计，组装方便、续航时间长等优点。本文以平原大面积带状区域航摄为例，采用飞马 V100 无人机对其进行航摄，探讨了像控点密度对航摄精度的影响。通过试验发现：

(1) 对于 DOM 影像，只需少量的像控点就可以满足精度指标，像控点密度的增加对 DOM 精度的提高并不明显。因此，工程如果只需要 DOM 影像，则无需布设大量像控点。从而，通过减少像控点的布设，提高工作效率。

(2) 像控点的布设密度对于 DEM 精度有直接的影响，但当像控点达到一定数量时，继续增加像控点密度，对 DEM 精度的提高并不明显。在实例中，方案 II（平均 2.5Km-3.0Km 布设一对像控点，在区域拐角处加密像控点）布设的像控点密度最为合适，其成果都能满足精度要求，且节省了外业工作量及内业空三加密工作，可供其它工程进行借鉴。

无人机虽然发展迅速，应用广泛，但它对于高植被覆盖区域，DEM 精度则不理想，需要外业人员对其进行实测高程。另外，本文是基于平原带状大面积区域进行的研究，对于高山区，像控点密度对航摄精度的影响需要今后进一步探讨。

参考文献:

- [1]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):109-112.
- [2]朱进,丁亚洲,陈攀杰,等. 控制点布设对无人机影像空三精度的影响[J]. 测绘科学, 2016(5):116-120.
- [3]范秀庆. 无人机免像控技术在地形图测量中的应用[J]. 测绘通报, 2017(6):159-160.
- [4]王春生,杨鲁强,王杨,等. 无人机低空摄影测量系统在水利工程测量中的应用[J]. 测绘通报, 2012(S1):408-410.
- [5]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 数字航空摄影测量空中三角测量规范:GB/T 23236-2009[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [6]国家测绘局. CH/T 9008. 3-2010 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字正射影像图[S]. 北京:测绘出版社, 2010.
- [7]国家测绘局. CH/T 9008. 2-2010 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型[S]. 北京:测绘出版社, 2010.