

航空摄影测量像片控制点布设方案研究

何文林 郭文

(四川省测绘局, 四川 成都 610081)

A STUDY ON PLAN OF SETTING OUT CONTROL POINTS OF AIRPHOTOGRAPHS

HE Wen-lin GUO Wen

[摘要] 本文研究外业像片控制点布设方法对航空摄影测量加密精度的影响, 利用不同地形类别的加密数据, 提出在保证成图精度的情况下如何减少外业工作量、降低生产成本、缩短生产周期的解决方案。

[关键词] 控制点 航空摄影测量 加密

[中图分类号] P231 [文献标识码] B [文章编号] 1001-8379(2003)01-0043-06

1 前言

1.1 必要性、可行性

航空摄影测量像片控制点布设是根据航空摄影资料、后续工序工艺流程及成图精度要求确定像片控制点的分布、数量、联测精度。按现行航空摄影测量外业规范布设像片控制点, 所需控制点较多, 外业施测工作量很大, 另外在困难地区, 有的地方外业人员很难到达, 有的地方甚至找不到满足要求的施测目标。如何在保证加密精度达到规范要求的前提下减少像片联测控制点数量、在困难地区调整控制点在区域网中的分布是我们迫切需要研究的问题。

大量生产实践表明: 按现行航空摄影测量外业规范布设像片控制点, 空三加密成果精度一般为规范允许值的 50~70%, 保险系数较大, 因此, 减少像片联测控制点数量后, 加密成果精度仍有可能达到规范要求。如何减少像片联测控制点数量及其减少后能否达到成图精度要求, 需要试验进行验证。采用外业方法施测像片控制点和大量检查点进行试验, 工作量很大。我们在 1:5 万数字正射影像 (1 米分辨率) 生产时, 在有现势性较好的 1:1 万地形图地区, 采用在 1:1 万地形图上读取像片控制点, 生产实践表明: 采用此方法生产的数字正射影像能达到 1:5 万数字正射影像 (1 米分辨率) 相应生产技术标准的要求。因此, 我们选用 1:5 万数字正射影像 (1 米分辨率) 生产中的部分资料进行试验。

1.2 研究内容

像片控制点数量及其分布对加密精度的影响。

2 试验

2.1 试验内容

选取平地、丘陵地、山地、高山地各一个区域网, 分别采用正规布点、品字型布点、航线两端及中间均隔一或两条航线布点、密周边并在区域网中间布设一个 (或两个) 高程点、区域网中间布设一个 (或两个) 高程点、密周边布点且在区域网中间不布设高程控制点共六种布点方案进行试验。

2.2 准备工作

2.2.1 试验采用的软、硬件

软件: AATB 自动空三及 PAT-B 空三解算程序;

硬件: VirtuoZo 数字摄影测量系统; 扫描仪: Vx4000。

2.2.2 试验区及资料情况

2.2.2.1 试验区域

1) 上海: 平地; 8 条航线 \times 10~12 像对/航线。

2) 赣州: 丘陵地; 9 条航线 \times 16~20 像对/航线。

3) 三明 06: 山地; 9 条航线 \times 26~29 像对/航线。

4) 三明 04: 高山地; 9 条航线 \times 26~29 像对/航线。

2.2.2.2 资料情况

1) 航摄资料: 摄影时间: 97 年至 99

年摄影, 比例尺: 3.5万, 焦距: 152mm;

2) 地形图: 比例尺: 1: 1万, 成图时间: 81年至96年, 成图方法: 立测法。

2.2.2.3 航片扫描

扫描分辨率: 25 μ 。

2.2.2.4 控制点、检查点来源及精度估算

2.2.2.4.1 控制点、检查点来源

控制点: 在 1: 1万地形图上读取。上海网读取 9 个平面点、3 排高程点、每条航线读取 6 个高程点, 高程控制点间基线数 4-5 条; 赣州网读取 9 个平面点、3 排高程点、每条航线读取 6 个高程点, 高程控制点间基线数 8-10 条; 三明 04、06 区域网读取 12 个平面点、4 排高程点、每条航线读取 8 个高程点, 高程控制点间基线数 8-10 条。

检查点: 每个区域网在 1: 1万地形图上读取至少 50 个检查点, 尽可能均匀分布。

2.2.2.4.2 控制点、检查点精度估算

2.2.2.4.2.1 平面精度估算

1) 1: 1万地形图地物点平面中误差为: 平地、丘陵地: 5m (图上 0.5mm); 山地、高山地: 7.5m (图上 0.75mm);

2) 图上判读误差: 1m (图上 0.1mm);

3) 像片上判点误差: 3.5m (像片上 0.1mm);

控制点、检查点平面中误差的估算值为: 平地、丘陵地 6.2m; 山地、高山地 8.3m。

2.2.2.4.2.2 高程精度估算

1) 1: 1万地形图等高点高程中误差, 平地: 0.5m; 丘陵地: 1.5m; 山地: 3.0m; 高山地: 6m。

2) 图上判读误差最大为 1/4 等高距, 即中误差为平地: 0.25m、丘陵地: 0.625m、山地: 1.25m、高山地: 2.5m。

3) 像片上判点误差可忽略不计;

控制点、检查点估算高程中误差的估算值为: 平地: 0.56m、丘陵地: 1.625m、山地: 3.25m、高山地: 6.5m。

2.3 试验加密中误差估算

2.3.1 不考虑控制点和检查点误差

如不考虑控制点和检查点误差, 可根据公式 (1)、(2) 估算加密中误差^[1]。

$$M_{\text{估算1}} = \pm 0.288 M_b \sqrt{n^3 + 2n + 46} \quad (1)$$

$$M_{\text{估算1}} = \pm 0.088 H/b M_b \sqrt{n^3 + 23n + 100} \quad (2)$$

式中:

M_s 估算 1—未顾及控制点和检查点误差的加密点平面中误差估算值, mm;

M_h 估算 1—未顾及控制点和检查点误差的加密点高程中误差估算值, m;

K —像片放大成图的倍数;

H —相对航高, m;

$$H = M_{\text{像}} f \quad (3)$$

$M_{\text{像}}$ —摄影比例尺分母;

f —摄影焦距;

M_q —视差量测的单位权中误差, mm;

N —航线方向相邻控制点的间隔基线数, 条。

2.3.2 考虑控制点误差

顾及控制点误差的加密点估算中误差, 根据误差传播定律, 根据以下公式估算。

$$M_{\text{估算2}} = \pm \sqrt{M_s \text{估算1}^2 + M_s \text{控}^2} \quad (4)$$

$$M_{\text{估算2}} = \pm \sqrt{M_h \text{估算1}^2 + M_h \text{控}^2} \quad (5)$$

式中:

M_s 估算 2—顾及控制点误差的加密点平面中误差估算值, mm;

M_h 估算 2—顾及控制点误差的加密点高程中误差估算值, m;

M_s 控—控制点平面中误差, m;

M_h 控—控制点高程中误差, m。

2.3.3 考虑检查点误差

顾及控制点和检查点误差的加密点估算中误差, 根据误差传播定律, 根据以下公式估算。

$$M_{\text{估算}} = \pm \sqrt{M_s \text{估算2}^2 + M_s \text{检查}^2} \quad (6)$$

$$M_{\text{估算}} = \pm \sqrt{M_h \text{估算2}^2 + M_h \text{检查}^2} \quad (7)$$

式中:

M_s 估算—顾及控制点和检查点误差的加密点平面中误差估算值, mm;

M_h 估算—顾及控制点和检查点误差的加密点高程中误差估算值, m;

M_s 检查—检查点平面中误差, m;

M_h 检查—检查点高程中误差, m。

综上, 本试验加密中误差估算值为:

M_s 估算=

$$\pm\sqrt{M_s\text{估算}^2 + M_s\text{控}^2 + M_s\text{检查}^2} \quad (8)$$

M_h 估算=

$$\pm\sqrt{M_h\text{估算}^2 + M_h\text{控}^2 + M_h\text{检查}^2} \quad (9)$$

本试验 $f=152\text{mm}$; $M\text{摄}=35000$; $b=80\text{cm}$;

M_q 取 0.015mm ; 假设成图比例尺为 $1:25000$,

$K=1.4$; $M_s\text{控}=M_s\text{检查}$ 、 $M_h\text{控}=M_h\text{检查}$ 。

根据 (1)、(2)、(3)、(8)、(9)

计算, 试验加密中误差估算值见表 1

表 1 试验加密中误差估算表(单位: 米)

试验区	基线	M_s 控	M_s 估算 1	M_s 估算 2	M_s 估算	M_h 控	M_h 估算 1	M_h 估算 2	M_h 估算
上海	6	6.2	2.4	6.6	9.1	0.56	1.870	1.952	2.031
赣州	9	6.2	4.1	7.4	9.7	1.625	2.825	3.259	3.642
三明 06	10	8.3	4.8	9.6	12.7	3.25	3.201	4.562	5.601
三明 04	10	8.3	4.8	9.6	12.7	6.5	3.201	7.245	9.734

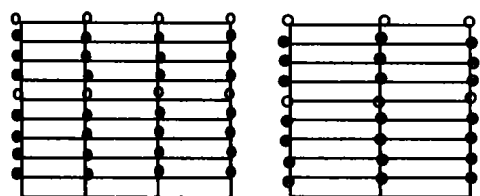
2.4 精度统计及分析

2.4.1 布点方案

下列各图中: \bigcirc 表示平高点, \otimes 表示高程点。

2.4.1.1 正规布点

上海、赣州网布设 9 个平面点、3 排高程点、每条航线布设 6 个高程点; 三明 04、06 区域网布设 12 个平面点、4 排高程点、每条航线布设 8 个高程点。布点形式见图 1。



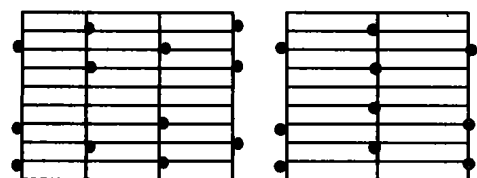
a 三明区域网

b 上海、赣州区域网

图 1

2.4.1.2 品字型布点

上海、赣州网布设 8 个平面点、3 排高程点、每条航线呈品字型系布设 3 个高程点; 三明 04、06 区域网布设 10 个平面点、4 排高程点、每条航线布设 4 个高程点。布点形式见图 2。



a 三明区域网

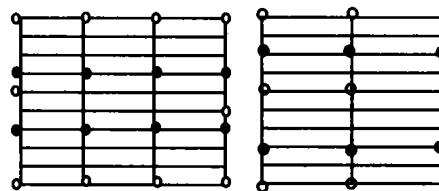
b 上海、赣州区域网

图 2

2.4.1.3 航线两端及中间均隔航线布点

上海、赣州网布设 6 个平面点、3 排高程点、隔一条或两条航线布设 3 个高程点、

3 点位于航线同一侧; 三明 04、06 区域网布设 10 个平面点、4 排高程点、隔一条或两条航线布设 4 个高程点、4 点位于航线同一侧。布点形式见图 3。



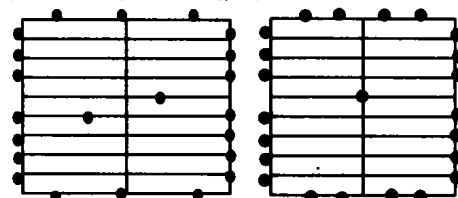
a 三明区域网

b 上海、赣州区域网

图 3

2.4.1.4 密周边布点、区域网中间布设一个或二个高程点

上海、赣州网布设 8 个平面点、首航线上端、末航线下端高程控制点之间增加两个高程控制点, 航线首末两端正常布点、区域网中间布设一个高程点; 三明 04、06 区域网布设 10 个平面点。首航线上端、末航线下端高程控制点之间增加一个高程控制点, 航线首末两端正常布点、区域网中间布设两个高程点。布点形式见图 4。



a 三明区域网

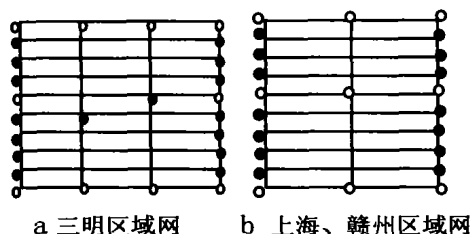
b 上海、赣州区域网

图 4

2.4.1.5 区域网中间布设一个或二个高程点

上海、赣州网布设 8 个平面点、首、末航线正常布设高程控制点, 其余航线首末两

端正常布点、区域网中间布设一个高程点；三明 04、06 区域网布设 10 个平面点。首、末航线正常布设高程控制点，航线首末两端正常布点、区域网中间布设二个高程点。布点形式见图 5。

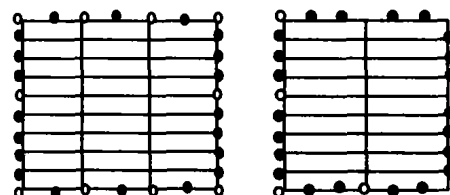


a 三明区域网 b 上海、赣州区域网

图 5

2.4.1.6 密周边布点、区域网中间不布点
上海、赣州网布设 9 个平面点、首航线

上端、末航线下端高程控制点之间增加两个高程控制点，其余航线首末两端正常布点、区域网中间不布设高程点；三明 04、06 区域网布设 10 个平面点、首航线上端、末航线下端高程控制点之间增加一个高程控制点，航线首末两端正常布点、区域网中间不布设高程点。布点形式见图 6。



a 三明区域网 b 上海、赣州区域网

图 6

表 2 六种布点方案加密精度统计表

类别	项 目 方 案	平面			高程		
		定向 点数	检查 点数	中误 差	定向 点数	检查 点数	中误 差
上海 平地	A 正规布点	9	70	5.4	27	51	1.615
	B 型布点	8	71	5.4	16	62	2.138
	C 航线两端及中间均隔一条或两条航线布点布点	6	73	5.4	15	63	2.198
	D 密周边布点、区域网中间布设一个或二个高程点	8	71	5.3	23	55	3.023
	E 区域网中间布设一个或二个高程点	8	71	5.4	21	57	3.326
	F 密周边布点、区域网中间不布点	9	70	5.4	22	56	4.238
赣州 丘陵地	A 正规布点	9	136	6.2	30	115	2.604
	B 品字型布点	8	137	6.3	18	127	3.210
	C 航线两端及中间均隔一条或两条航线布点布点	6	139	6.1	15	130	3.608
	D 密周边布点、区域网中间布设一个或二个高程点	8	137	6.2	30	115	4.109
	E 区域网中间布设一个或二个高程点	8	137	6.2	23	122	5.208
	F 密周边布点、区域网中间不布点	9	136	6.2	29	116	5.999
三明 06 山地	A 正规布点	12	123	7.3	40	91	3.498
	B 品字型布点	11	124	7.8	23	107	3.581
	C 航线两端及中间均隔一条或两条航线布点布点	10	125	7.2	18	113	3.800
	D 密周边布点、区域网中间布设一个或二个高程点	10	125	7.2	32	99	3.807
	E 区域网中间布设一个或二个高程点	10	125	7.2	26	105	4.038
	F 密周边布点、区域网中间不布点	10	125	7.2	30	101	3.507
三明 04 高山地	A 正规布点	12	134	7.4	48	95	3.514
	B 品字型布点	10	136	7.4	24	120	3.603
	C 航线两端及中间均隔一条或两条航线布点布点	10	136	7.4	24	120	4.076
	D 密周边布点、区域网中间布设一个或二个高程点	10	136	7.4	38	103	4.190
	E 区域网中间布设一个或二个高程点	10	136	7.4	26	118	4.046
	F 密周边布点、区域网中间不布点	10	136	7.4	36	105	4.546

注：1. 加密精度指标见表 1；2. 正规布点方案中检查点高程误差大于 2 倍中误差的点视为粗差，不参加统计中误差。

2.4.2 精度统计

试验精度见表2。

试验加密中误差与估算值比较如下：

2.4.2.1 与未考虑控制点、检查点误差的估算值比较

平面：全部大于估算值。

高程：上海、赣州区域网布点方案A的加密中误差小于估算值；上海、赣州其余布点方案和三明06、04区域网六种布点方案加密中误差大于估算值。

2.4.2.2 与考虑控制点误差、不考虑检查点误差的估算值比较

平面：全部小于估算值。

高程：三明06、三明04小于估算值；赣州区域网布点方案A、B的加密中误差小于估算值、其余布点方案加密中误差大于估算值；上海区域网方案A小于估算值、其余大于估算值。

2.4.2.3 与顾及控制点误差和检查点误差的估算值比较

平面：全部小于估算值。

高程：上海区域网的B、C、D、E、F布点方案和赣州区域网的D、E、F布点方案中的加密中误差大于估算值，其它加密中误差小于估算值。

以上比较表明：本试验所采用控制点、检查点误差较大，应予考虑，即试验加密中误差应小于顾及控制点误差和检查点误差的估算值。

2.4.3 高程控制点布设方案比较

六种布点方案所需控制点数、试验加密中误差见表3。表中点数按理论数统计，即：假设所有控制点均在标准点位上即可公用，区域网角点每点记为0.25点，边上点每点记为0.5点，中间点每点记为1点。

表3 其他布点方案所需控制点、加密高程中误差与方案A比较表 (单位:米)

布点方案	区域网布设三排高程点						区域网布设四排高程点					
	上海		赣州		控制点数		三明06		三明04		控制点数	
	中误差	增加%	中误差	增加%	点数	减少%	中误差	增加%	中误差	增加%	点数	减少%
A	1.615		2.604		18		3.498		3.514		27	
B	2.138	32	3.210	23	10	44	3.581	2	3.603	3	15	44
C	2.198	36	3.608	38	8	56	3.800	9	4.076	16	10	63
D	3.023	87	4.109	58	15	17	3.807	9	4.190	19	16	41
E	3.326	106	5.208	100	11	39	4.038	15	4.046	15	13	52
F	4.238	162	5.999	130	14	22	3.507	0	4.546	29	14	48

1)布点方案A：所需控制点最多，其高程加密精度是六种布点方案中最高的。

2)布点方案B：高程加密中误差相对方案A下降幅度最小，上海下降32%、赣州下降为23%；三明06下降2%、三明04下降3%，可认为这两个区域网无显著下降。

3)布点方案C：所需控制点最少。相对方案A，区域网布设三排高程点控制点减少56%，四排高程点区域网减少63%。高程加密中误差相对方案A，上海下降36%；赣州下降为38%；三明04下降16%；三明06下降9%。

4)布点方案F：高程加密精度是六种布

点方案中是最低的。相对方案A，上海高程加密中误差下降约162%；赣州高程加密中误差下降约130%；三明04下降29%；三明06无显著差别。此方案试验数据表明：即使采用密周边布点，区域网中间也必须布设高程点，否则加密精度很难达到要求。

5)布点方案B和C：两种布点方案的主要差别是方案B每航线首末两点和中间一点呈品字型；方案C三点位于航线同一侧，且未保证每航线3个高程控制点。方案C其所需控制点相对方案B，上海、赣州减少20%，三明06、三明04减少33%，上海、赣州、三明06、三明04高程加密中误差相对方案

B下降幅度分别为3%、12%、6%、13%，可认为两种布点方案高程加密中误差无显著差别。

6)布点方案B和E：控制点数量无显著差别，其区别是：方案B控制点在区域网中分布较均匀，方案E不均匀。方案E高程加密中误差相对方案B，上海、赣州、三明06、三明04分别下降56%、62%、13%、12%。因此，控制点应尽可能均匀分布。采用布点方案B与D、F，布点方案C与D、E、F的试验数据比较也得出相同的结论。

7)布点方案D和E：两种布点方案的主要差别是方案D缩短了区域网首末航线高程控制点之间的基线跨度。上海、赣州基线减少了约1/3、控制点增加约36%，高程加密中误差上海提高约9%、赣州提高约21%；三明04、三明06基线减少了1/2，控制点增加约23%，高程加密中误差无显著变化。采用密周边布点，加密精度有所提高，但提高幅度不显著。

8)布点方案D和F：两种布点方案的主要差别是相对方案F，方案D在区域网中间增加1-2个高程控制点。上海、赣州高程加密中误差提高约30%；三明04提高约8%；三明06异常。

2.4.4 平面控制点布设方案比较

上海、赣州两区域网的试验数据表明：每个区域网采用6、8或9个平面控制点，平面加密中误差无显著差异。

三明04、三明06两区域网的试验数据表明：每个区域网采用10、11或12个平面控制点，平面加密中误差无显著差异。

四个区域网的试验数据均表明：在平面控制点数量、分布一定的情况下，六种高程布点方案之间平面加密中误差无显著差异。因此，可认为平面加密精度只与平面控制点有关，与高程控制点的分布、数量相关性不强。

2.5 试验结论

2.5.1 平面控制点布设

A)加密点平面位置中误差与高程控制点分布、数量相关性不强。布设平面控制点时可不考虑高程控制点。

B)在满足加密必须的平面控制点基础

上，增加平面控制点数量，平面加密中误差无显著提高。

2.5.2 高程控制点布设

A)航线六点法：即正规布点高程加密精度最高，保险系数很大，但外业工作量较大。

B)品字型布点：所需控制点数量较航线六点法可减少40%以上，加密点高程精度下降幅度一般可控制在20%范围内，丘陵地、山地、高山地高程加密中误差小于估算值；平地高程加密中误差略大于估算值，在生产中应适当减少估算基线数。具有推广价值。

C、航线两端及中间均隔一或两条航线布点：所需控制点数量较航线六点法可减少50%以上，加密点高程精度下降幅度一般可控制在30%范围内，丘陵地、山地、高山地高程加密中误差小于估算值；平地高程加密中误差略大于估算值，在生产中应适当减少估算基线数。具有推广价值。

D)区域网周边正常布点，区域网中间只布设一个或两个高程控制点：高程加密精度一般达不到要求，在特困地区可考虑使用此布点方案。

E)密周边布点：即在首末航线增加高程控制点，高程加密精度有所提高，但提高幅度不显著。

F)区域网中间不布设高程控制点：即使采用密周边布点，高程加密精度一般达不到规范要求。

3 结束语

现行航空摄影测量外业规范对像控点数量的要求偏严，实际生产中可适当减少像控点数量，建议采用品字型布点和航线两端及中间均隔一或两条航线布点，既能保证成图精度，又能减少外业工作量、降低外业生产成本、缩短生产周期。

[参考文献]

- [1] 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准 GB12341-90: 1: 25000、1: 50000、1: 100000 地形图航空摄影测量外业规范. 1990.

[收稿日期] 2002-09-20

[作者简介] 何文林(1966—)，男，四川威远县人，工程师，主要从事测绘生产技术管理工作。