

前移补偿小比例尺航摄底片 影象质量的评定与分析

张世兴

摘要

影响小比例尺航空摄影质量及其量测性能的主要因素是像移或者软片性能,这是在1:5万地形图修测中选定摄影方案时应该考虑的主要问题之一。为此,本文就两种高分辨率测图软片(柯达2412和国产双—200)与两种高感光度软片(柯达2402和国产HV—2)所摄取的航摄底片进行了影象质量的分析和量测性能的比较,其中高分辨率软片使用了象移补偿装置,其结论是:在1:5万和1:8万摄影比例尺情况下,象移补偿装置对提高影象质量甚微,而影响影象质量的主要因素在于感光材料的微观特性。

【关键词】 前移补偿; 分辨率; 影象质量。

1 引言

航空摄影中,一般都采用高感光度软片,以便缩短曝光时间,将象移控制在可以容许的范围内。但是高感光度软片其分解力较低,颗粒度较大,因而提高影象质量就受很大限制,基于这一基本出发点,东德Zeiss厂和西德Opton厂和瑞士Willd厂相继研制了用于改正影象前移的装置(FMC),它的使用明显地改善了大比例尺航空摄影的分解力,增加了影象判读效果,提高了量测精度^[1],因而受到了人们的高度重视。对于小比例尺航空摄影能否通过使用象移补偿装置进一步提高量象质量呢?

针对1:5万地形图的修测,于1987年9月在青岛试验区专门设计了一条试飞航线,并敷设有地面分解力标志,分别采用四种航摄软片、三种摄影比例尺,进行了使用FMC和不使用FMC的航空摄影,然后对试飞航线的航摄底片进行全面象质评定。例如动态分解力的测定;直边地物刃边均方梯度的测定,以及立体照准精度的分析等。

表1列出了八条试飞航线摄影条件的组合和有关技术参数。

表 1

$1/m$	FMC	胶片型号	k	t (秒)	航 摄 仪	f	摄影日期
1/8 万	有	柯达 2412	8	1/400	RMKA	152	1987.7.24
	有	双-200	8	1/400	RMKA	152	1987.7.24
	无	柯达 2412	5.6	1/1000	RC-10A	88	1987.7.1
1/5 万	有	柯达 2412	8	1/400	RMKA	152	1987.7.14
	有	双-200	8	1/400	RMKA	152	1987.7.24
	无	柯达 2402	5.6	1/1000	RC-10A	152	1987.7.7
1/10 万	无	柯达 2402	5.6	1/800	RC-10A	88	1987.7.7

2 象移补偿装置的作用

在航空（或航天）摄影时，由于飞行器的运动，使摄影相机上的软片所摄取的地物影象也随之移动，因而产生了影象的移位（如图 1 所示）， P_1P_2 为像移值，象移的大小与飞行器相对于地面的飞行速度 w 、曝光时间 t 以及摄影比例尺 $1/m$ 成正比，即：

$$\delta = \frac{w}{m} \cdot t \quad (1)$$

或 $\delta = \frac{f \cdot w}{H} \cdot t$

象移的存在使得沿航线方向以外的线状地物程度不同地变宽，垂直航线方向的线状地物变宽程度最大，因而影响了航线方向的分解力和在 x 方向的量测精度。

表 2 是按公式（1）计算出的不同摄影条件下的产生的像移值。

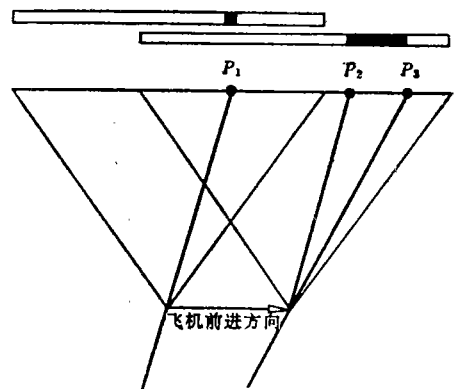


图 1 象移的产生

表 2 像 移 值

航摄类型		航空摄影								航天摄影		
飞行速度		200公里/小时				360公里/小时				7.5公里/小时		
曝光时间		1/100	1/400	1/800	1/1000	1/100	1/400	1/800	1/1000	1/250	1/500	1/1000
比 例 尺	1:2500	222	55.5	27.7	22.2	400	100	50	40			
	1:5000	111	27.8	13.9	11.1	200	50	25	20			
	1:1万	55	13.9	7.0	5.5	100	25	12.5	10			
	1:5万	11	2.8	1.4	1.1	20	5	2.5	2			
	1:8万	6.9	1.75	0.8	0.7	12.5	3.1	1.56	1.2			
	1:10万	5.5	1.4	0.7	0.6	10	2.5	1.2	1.0			
	1:84万									36	18	9

由表 2 看出在大比例尺航空摄影与小比例尺航天摄影情况下，将产生较大的像移值。为了改善影象质量，在这类条件下进行航空摄影必须考虑使用象移补偿装置。补偿方法有两种：一种是通过相机的旋转进行补偿（RFMC），另一种是通过软片相对于摄影机镜箱向前运动进行补偿（TFMC），通常采用后者的补偿方法。

由公式（1）可知，象移值在同一象幅内不是个常数，它与摄影高成反比，相对于地面点航高愈小， σ 值大愈。

3 实验资料影象质量分析

为了进行1:5万地形图修测或小比例尺航空摄影，1987年在青岛试验区采用了三种摄影比例尺进行航空摄影：1:5万，1:8万，1:10万，飞行速度为360公里/小时，曝光时为1/400秒，1/800秒和1/1000秒，它们所产生的最大象移为5微米，这比大比例尺航空摄影和小比例尺航空摄影影响小得多，为了更全面地了解象移补偿的作用，首先对航摄资料进行综合分析。本文就平均分解力，直边地物的均方梯度和立体观测照准精度等方面加以分析。

3.1 分解力

在试验区布设了两组大小相同的，亮度比相等且相互垂直的分解力视板，视板的影象落在象片中心线上，并按90%的航线重叠飞行，以便于求得各种摄影条件下的面积加权平均分解力（AWAR）^[2]，经观测计算求得AWAR以及垂直航线方向的和沿航线方向平均分解力，所得值列于表3。

表3中 \bar{R}_L 表示沿航线方向的平均分解力，由于分解力视板的线条是垂直于航线方向的如图2（A），所得到的分解力受象移影响最大； \bar{R}_T 表示垂直于航线方向的分解力，视板线条与航线方向平行如图2（B），所得到的分解力不受象移影响。如此看来，对同一摄影比例尺，当不使用像移补偿装置（即有象移影响）时 \bar{R}_L 总是小于 \bar{R}_T 。比较表3中所得结果看，无论那种比例尺， \bar{R}_L 略低于 \bar{R}_T ，这种降低可以忽略不计，而使用了象移补偿装置后，对于

表 3

摄影比例尺	胶片型号	象移补偿	AWAR(线对/毫米)	\overline{R}_L (线对/毫米)	\overline{R}_T (线对/毫米)
1 : 5 万	HV-2	无	24	24	24
1 : 5 万	2402	无	21.5	21.8	22.1
1 : 5 万	双-200	有	47.5	55	50.7
1 : 5 万	2412	有	49.8	5.55	39.7
1 : 8 万	2402	无	21	19.8	23.2
1 : 8 万	双-200	有	40.8	43.6	41.4
1 : 8 万	2412	有	41.8	46.8	40.1
1 : 10 万	2402	无	16.6	17.2	18

摄影比例尺为1:5万时 \overline{R}_T 提高了17%，而1:8万仅提高10%，这就是说，小比例尺航空摄影，本身象移很小，对分解力影响不明显，至于表3中相同方向的分解力相比，例如1:5万的双-200/2412与HV-2/2402，无论 \overline{R}_L 或 \overline{R}_T 前两种片型分解力均提高将近一倍；1:8万的提高约78%，这种提高不完全是象移补偿装置的作用，而是由于软片的微观特性起主要作用。

3.2 直边地物刃边均方梯度的测定

在研究象移影响时，为了比较象移补偿与非象移补偿的作用，在航摄原始胶片上，选定两个极端情况，即：沿航线方向的直边（象移应该为零）和垂直于航线方向的直边（象移值最大）。实验是在1:8万的三种不同型号的航摄原始底片上选取了四对方位大致相同的同名直边地物，分别测定沿航线方向的直边和垂直于航线方向的直边密度变化，计算其均方梯度。这一测量是在9W测微密度计上完成的，测定方法与测定清晰度方法相同^[3]，不同之处是采集数据的步距为5微米，并采用多次定向，多次量测取其最大值代表该刃边密度变化的速率，以保证刀刃与测量缝隙的平行性。均方梯度按下式进行计算：

$$G^2 = \frac{\sum (\frac{\Delta D_i}{\Delta X_i})^2}{n} \quad (2)$$

式中， $\Delta X = 5$ 微米， ΔD_i 为相邻两点的密度差， n 为刃边曲线上 ΔX 的个数，所测定的均方

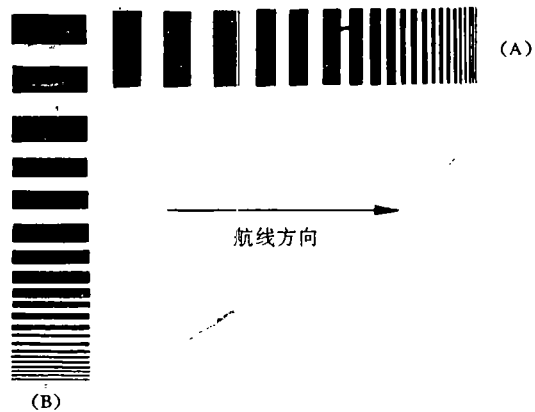


图 2

表 4

片 型		2412 (有 FMC)		双-200(有 FMC)		2402 (无 FMC)	
直边的 G ²		垂直航线 的刃边	平行航线 的刃边	垂直航线 的刃边	平行航线 的刃边	垂直航线 的刃边	平行航线 的刃边
目 标	A	2.71	3.48	2.17	3.32	1.46	2.87
	B	2.39	2.80	2.97	2.24	*	0.95*
	C	1.22	1.22	2.95	2.85	0.89	1.13
	D	2.77	2.13	2.58	2.77	1.14	1.94
平 均 值		2.27	2.41	2.66	2.79	1.25	1.98
两方向平均值		2.34		2.79		1.61	
两方向相对差		6 %		5 %		58 %	

* 由于颗粒大, 两组边缘密度变化不明显, 无法计算此组无效。

梯度列于表 4。

很明显, 柯达2402软片的均方梯度平均值与国产双—200 和柯达2412 相比, 相差几乎近 1 倍。这与分解力 (见表 2) 所得结论一致。

为了说明象移补偿的作用, 将两个方向的均方梯度平均值作相对比较, 按下式计算它们的相对差, 即

$$\text{相对差} = \frac{G_{\max}^2 - G_{\min}^2}{G_{\min}^2} \quad (3)$$

由表 4 可见, 无象移补偿时, 两个方向上均方梯度的相对差为 58%, 采用了象移补偿装置摄影, 两个方向的均方梯度的相对差降低到 5~6%, 这就是说, 象移补偿对沿航线方向的地物影像的微观质量可以得到一定程度的提高。

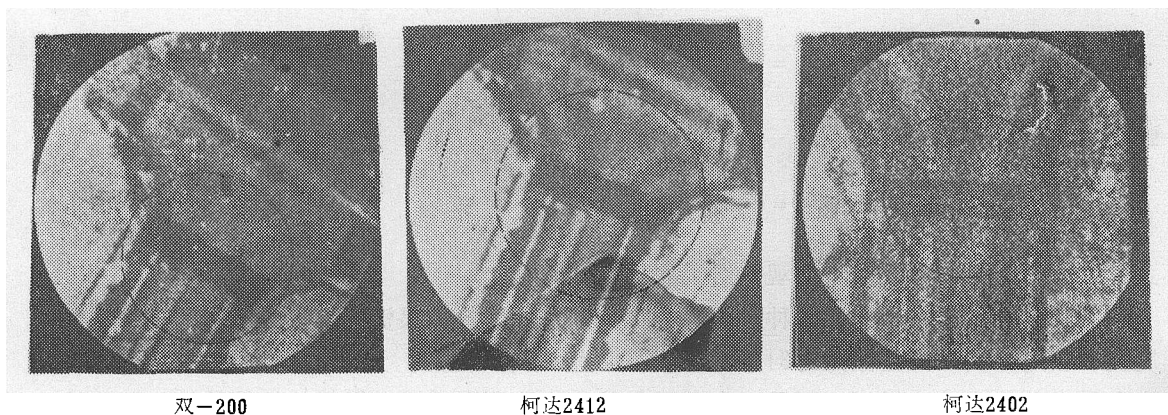


图 3 三种片子的颗粒性

至于无象移补偿时，从分解力的测定数据看，两个方向并无太大差异，但从均方梯度看两者相差较大，产生这一现象的原因主要是由于柯达2402片的均方根颗粒度比其它两片种大，使影象的微观密度变化速率下降，均方梯度较小，加之分解力值，是以极限分解力表示，对影象质量反映只是另一个侧面。

图3为青岛试验区所用其中三种类型软片所拍摄的地物影象放大41倍后的象片图。可以看出，由于2402片的乳剂颗粒较粗使微小碎部被淹没在颗粒噪声之中，例如象片所圈出的为马路上的人行横道线，在柯达2412片和双—200片中均能清晰可辨，而在柯达2402片中已无法观察到。

3.3 立体照准精度的分析

本实验是在BC₂解析测图仪上，利用TMO程序作单点立体观测，然后分析X、Y平面坐标的观测精度。该仪器测量系统的精度为±2微米，象片的照明可以使亮度在720到3300米烛光之间调整。这次观测选用了中等亮度，仪器观测系统的放大率可以在6倍到20倍之间连续调节。BC₂具有两个发光测标，一个是直径为0.06毫米的点测标，另一个是圆环测标，其内径为0.110毫米，外径为0.130毫米，这两个测标都位于固定的棱镜部件上，在量测期间可用拨动开关从点测标改变为圆环测标。为了量测的可靠性，我们在量测过程中始终用点测标进行切准。

TMO程序作单点坐标观测时只记录单点，每一个量测结果由一个点号识别，要想做重复量测，屏幕上只能显示点的量测次数和前次量测值及其加权平均值之间的差值，如果观测误差超过了仪器本身限定的15微米的限差，则仪器便停止记录和显示。本实验主要是研究观测精度，观测差值可能大于15微米，为了记录同一个点每次观测的坐标值，故采用同一个点号找点，观测员再次照准后用新编点号记录该次观测值，这样便可以将每一次的量测值都记录并显示在屏幕上。

对三种胶片（柯达2412、柯达2402和国产双—200）所摄的三种比例尺（1:5万、1:8万、1:10万）航摄底片用同一地区的象对（共七个象对）进行立体观测。量测时采用打格网的方法选点，格网点间距为2—3厘米，在格网点附近选取明显地物点，分别用8倍和15倍放大率各观测两次，整个象对的点观测完作为一个测回，每个象对在同一放大倍数下观测10个测回，每个点的测量中误差为 m_x 、 m_y ，即

$$m_{x(y)} = \frac{[\Delta\Delta]}{10} \quad (5)$$

整个象对的量测精度为：

$$m_{x(y)} = \frac{\sum m_{x(y)}}{m} \quad (6)$$

式中 m 为象对内的各网点数。观测结果列于表4。

从表5所列数据来看，三种比例尺中，有象移补偿的航摄资料，在X、Y方向的观测精度大致相同，其最大差值为1.31微米，（虚线框出的一组），无象移补偿的底片在X、Y方向上最大差值为2.41微米。但是，由于无象移补偿的摄影采用了微观特性较差的2402胶片，

表 5

1/m	软片型号	FMC	影像放大 8 倍观测		影像放大 15 倍观测	
			M _x (微米)	M _y (微米)	M _x (微米)	M _y (微米)
1/8 万	2412	有	5.55	5.41	4.21	4.41
	双-200	有	5.57	4.91	4.81	4.14
	2402	无	6.41	5.63	6.49	4.44
1/5 万	2412	有	4.95	4.63	4.73	4.24
	双-200	有	5.75	4.44	5.02	4.24
	2402	无	5.91	4.67	5.15	4.01
1/10 万	2402	无	7.40	5.34	6.62	4.21

表 6

像移补偿	8 倍放大率				15 倍放大率				相对精度 $\frac{8^2 - 15^2}{15^2}$
	\bar{M}_x (微米)	\bar{M}_y (微米)	$\sqrt{\bar{M}_x^2 + \bar{M}_y^2}$ (微米)	$\frac{\bar{M}_x - \bar{M}_y}{\bar{M}_y}$	\bar{M}_x (微米)	\bar{M}_y (微米)	$\sqrt{\bar{M}_x^2 + \bar{M}_y^2}$ (微米)	$\frac{\bar{M}_x - \bar{M}_y}{\bar{M}_y}$	
有	5.45	4.86	7.08	12%	4.69	4.26	6.33	10%	12%
无	6.90	5.48	8.81	26%	6.56	4.29	7.30	53%	12%
像移补偿 相对差 无像移补偿			24%				24%		

注： $\sqrt{\bar{M}_x^2 + \bar{M}_y^2}$ 为点位精度

所以总的观测精度比2412和双-200要差。

为了进一步分析像移补偿的作用，不考虑摄影比例尺的因素，将相应的平均值列于表 5。由表 6 可见，有像移补偿的航摄底片，两个方向的精度相对差10~12%，而无像移补偿时，两个方向的精度相对差26~53%。点位精度看：使用了像移补偿可以提高24%。观测过程中使用了两个放大倍率分别进行观测，从表 6 可以看出，无论是像移或考无像移补偿，15倍放大率的观测精度较 8 倍放大率高12%。

从对表 5 和表 6 的数据分析看，无论是 X、Y 方向的相对精度，还是观测点的点位精度，使用像移补偿后都有所提高，但影响甚微（仅有几个微米之差），所观测的三种比例尺所产生的观测精度之差异，基本上处于同一数量级内。

4 结 论

1. 在小比例尺（1:5万、1:8万、1:10万）航空摄影中，虽然像移补偿可以改善影像质

量,提高量测精度,但作用不十分显著,而胶片本身的性能对影像质量起决定性作用。本次试验中,进一步证明了国产双—200胶片与柯达2412片的感光性能和微观特性是相同的。在生产上完全可以用前者代替后者。

2. 试图用高感光度胶片缩短曝光时间来限制像移值,以代替像移补偿的作用,这不能保证影像质量的微观特性(分解力、清晰度及颗粒度等)特别是在大比例尺航空摄影中,曝光时间不能短于1/300秒,尤其是彩色摄影,还要考虑使用彩色补偿滤光片等因素,曝光时间更不能缩短。

3. 在立体观测中,采用较大的放大倍数(15倍)有利于提高量测精度。

参 考 文 献

- [1] F. Ackermann. 用前移补偿法改善影像质量——初试报告. 军事测绘专辑, 1988(24)
- [2] 宣家斌等. 航摄底片平均分解力的测定. C87-03-14论文之三.
- [3] 宣家斌, 张世兴, 李相华. 影像清晰度的测定方法及其在象质评价中的应用. 武测科技, 1987 (1)

On the Evaluation and Analysis of Image Quality of Small Scale Negatives with Forward Motion Compensation

Zhang Shixin

Abstract

In working out flight planning of small scale serial photographs for the revision topographic maps at the scale of 1:50000, it is quite important to consider with one is a main factor effecting on the quality of small scale aerial photographs and its measuring performance; either image forward motion or film characteristics. In view of this problem, the test of image quality analysis and the comparison of measuring performance were carried out using two kinds of film with different resolution and three photograph scale among them the Forward Motion Compensation Camera has been used for the film of high resolution.

Based on the analysis of experiments it has been shown that, the main factor effecting on the quality of photograph at scales of 1:50000 and 1:80000 is the macro-characteristic of film, and the effects of FMC on image quality could be omitted.

[Key words] forward motion compensation; resolution; image quality