

航空象片的 判讀和測量作業

內部讀物

人民解放軍炮兵司令部

1958.9. 北京

前 言

这本小冊子，是北京炮校偵察系給光測、測地學員授課用的材料。为了解决軍事地形学訓練中需要的航空象片判讀和測量作業，特印發此材料，供参考。

中國人民解放軍炮兵司令部

1958年5月

目 录

第一章 航空象片的特性	3
一、航空象片是地面的中心投影	3
二、航空象片与地圖差別的原因	6
三、地面起伏的影响	8
四、傾斜象片的比例尺	10
五、航空象片傾斜角所引起的移位	11
六、象片傾斜和地面起伏引起角的偏差	13
第二章 航空攝影	16
一、炮兵空中偵察的任务	16
二、航空攝影的种类	16
三、象片的重迭	19
四、航高的决定	20
第三章 航空象片的判讀	21
一、航空象片的用途	21
二、航空象片判讀的意义与种类	22
三、判讀的方法和規則	22
四、判讀特征(容易識別的主要特征)	23
五、地形判讀	27
六、战术判讀	31
七、立体判讀	34
八、判讀成果的整理	37

第四章 單張航空象片的作業.....	37
一、垂直象片比例尺的測定.....	38
二、象片平面性的檢查.....	41
三、從垂直象片上將目標移繪到地圖上.....	42
四、利用比例換算尺移繪目標.....	42
五、利用比例規移繪目標.....	43
六、利用透明紙移繪目標.....	44
七、平面網法.....	45
八、傾斜象片的移繪.....	46
九、利用四點法在未糾正的垂直航空象片上 繪制坐標網.....	49
十、在未糾正的航空象片上量取坐標的方法.....	50
十一、根據航空象片的目標指示.....	52
附錄	53
一、航空象片.....	53
二、單張航空象片、地圖和作業習題.....	66

第一章 航空象片的特性

利用航空象片进行测量作业有很大的优越性，因为航空象片可以供給我們詳尽的新鮮的地形資料。在同样大的範圍內航空象片比地圖有着多好几倍的地形点和地物。如果根据这些地形点来进行目算測圖法測量發射障地和观察所，其速度与精度都較使用地圖行目算測圖法为好。同时在象片上可以判讀出敌人的防御障地、炮兵發射障地等，以便我炮兵射击。

在学习判讀和單張象片的作业以前，我們需要了解航空象片的特性和航空攝影，以便給單張象片的作业打下理論的基础。

一 航空象片是地面的中心投影

从飞机上向地面进行攝影要使用專門的攝影机，即所謂航空攝影机（航攝儀）。正如其它攝影机一样，航空攝影机具有：構成物体影象的鏡頭、放置感光軟片的暗盒、固定航空攝影机各部份和保护感光片避免漏光的鏡箱（如圖1）。

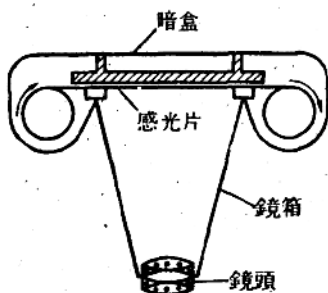


圖 1

航空攝影最好是在明朗無云的天气进行，这时陽光照射在地面上，地面上的每个点都反射着陽光，反射出来的光線一部份以狹窄的圓錐形射到鏡頭上，当光線通过鏡頭后，其方向發生改变，而重新交于一点。該点就是地面点的影象。但产生这个影象的具体位置在哪里？要回答這個問題，需要

提一下光学原理的某些問題。

当平行于凸透镜主光軸的光綫，通过透镜以后，光綫一定交于一点，該点称主焦点。焦点到光心的距离称焦距。通过主焦点垂直于主光軸的理想平面称焦面（圖 2）。

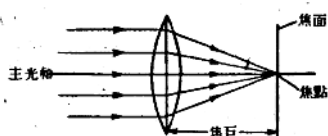


圖 2

假如光点（在这里是指地面上反射光綫的点）距离镜头很远，由它射到镜头的光綫几乎是平行的，这时我們可以認為它是平行的，所有光綫通过镜头后，重新相

交在焦面上的一点，在这一点我們就得到了光点的影象。必須着重指出：这些光綫中有一条光綫通过透镜的光心，它在通过透镜后方向是不改变的，这一条光綫称为中心光綫（或称投影光綫），因此我們可以作出这样的結論：

光点的影象位于中心光綫与焦面相交的点上。無數光点的影象就構成地面的影象（航空象片）它距离透镜的光心等于焦距。

在航空摄影机上，感光軟片的感光層应与镜头光軸垂直，其离开镜头光心的距离等于镜头焦距，即感光層与焦面相重合。

中心投影的定义是：空間任意一点 M 与一固定点 S 联成的直綫或其延長綫被一平面 P 所截，則此直綫与平面的交点 m 称为 M 点的中

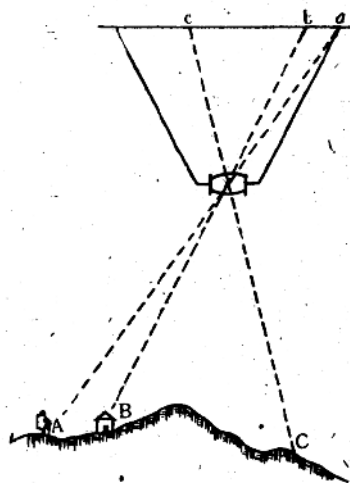


圖 3

心投影。

根据以上所述，可以知道，航空象片是地面的中心投影。所有投影光线通过的一点（镜头的光心）称为投影中心。我们眼睛看东西也是中心投影。

中心投影具有以下特性：

1. 所有物点（这里指的是地面点）在航空象片上的投影为一个点（图4）。

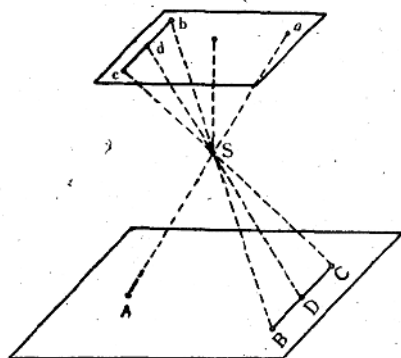


图 4

2. 任何一条直线，假如这条直线延长后不通过投影中心，在航空象片上的投影仍为一条直线。

通过投影中心的直线，在航空象片上是一个点，例如：象片上电线杆的影像，如果摄影时电线杆恰好位于镜头下方，则它在象片上是一个点。

3. 一般的说空间的一条曲线在象片上的投影也是一条曲线。

4. 两条直线在空间相交，则它们在航空象片上的影像也是相交的，并且在象片上的交点就是地面上交点的影像。

二 航空象片与地圖差別的原因

差不多所有必須描繪到地圖上的一切，都以适当比例尺很詳細的攝影到航空象片上去，在这一关系上，航空象片与地圖是很相象的。

但是在 1:100000 或更大比例尺的地形圖的地面投影，通常是使用所謂垂直投影。因为只有这种投影能够使地圖上所有必要的測量进行得最快与最容易。为了在某一个平面上得到物体的垂直投影，应从需要投影的所有物点，作垂綫垂直于这个面，其垂足就是物点的投影（如图 5），地圖就是地面縮小的垂直投影。

因此我們想要把象片代替地圖使用，就必须了解中心投影与垂直投影的区别。

假設所攝地面为平坦水平的地区，而攝影时航攝仪的光軸又处于完全垂直的位置，即感光片处于水平位置（这样得到的象片称垂直象片或平面象片，通常說的垂直象片是指近似垂直攝影的象片），从数学的观点来看，平坦而水平的地面同时是它的垂直投影，因为投影面可能与该地区完全重合。自地面所有点到航空

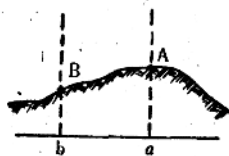


圖 5

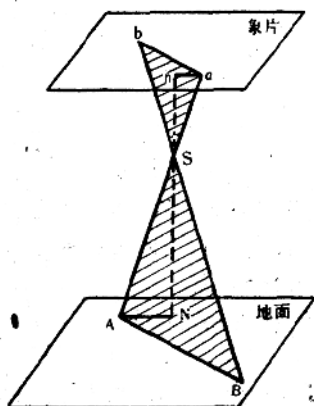


圖 6

象片上的中心光綫都通过鏡頭的光心。在上面所說的情況下，象片上的影象与地面相似，也就是說中心投影与垂直投影相似。为了肯定这一点，需要充分証明該航空象片的各部份比例尺都是相等的。

我們在航空象片上任取一綫段 ab （如圖 6）在地面上相应綫段为 AB ，因为象片平行于 AB ，所以 $ab \parallel AB$ 。

$$\triangle abs \sim \triangle ABS$$

$$\frac{ab}{AB} = \frac{as}{AS}$$

但由相似三角形 nas 和 NAS 看出

$$\frac{as}{AS} = \frac{ns}{NS}$$

式內 ns 航攝仪鏡頭焦距 ($ns=f$)

NS 航高 ($NS=H$)

比較上面兩式即可寫出
$$\frac{ab}{AB} = \frac{f}{H}$$

$\frac{ab}{AB}$ 就是綫段 ab 的比例尺，但由于 ab 是任意取的，所以

另外任何綫段的比例尺也是等于 $f:H$ ，即

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \dots\dots\dots (1)$$

式內 m 为比例尺分母。

因此，当地面是水平面而航攝仪鏡頭光軸又处于垂直位置时，所获得的象片与地面是相似的，这时象片比例尺处处一致。有人誤認為在垂直象片上，象片邊緣由于距鏡頭远，比例尺与象片中間不同是不对的。

但是，假如航空象片傾斜，或地形起伏的話，那么在象片上任意取一綫段 ab 就不再与地面相应綫段 AB 平行了，因此三角形 sab 和 SAB 一般的說就不再相似，象片各部份的比例尺也不

式內 $\frac{f}{H}$ 是平面航空象片的比例尺。

由相似三角形 SB_1O' 和 BB_1B_0 得

$$\frac{B_0B_1}{B_1O'} = \frac{BB_0}{H} \quad B_0B_1 = \frac{BB_0}{H} B_1O' = \frac{h}{H} R \dots\dots\dots (b)$$

式內 $R = B_1O'$; 用 $h = BB_0$ 表示地面点对 T 面的高程差

$b_1O = r$ 表示测量点与主点之间的距离

把 b 式的 B_0B_1 代入 a 式

$$\Delta h = \frac{h}{H} R \frac{f}{H} = \frac{h}{H} \left(R \frac{f}{H} \right)$$

由圖內可以看出, $R \frac{f}{H} = r$

所以最后得: $\Delta h = \frac{h}{H} r \dots\dots\dots (2)$

假設 h (高程差) 为正, 那么因起伏的影响使得象片上的 b_1 点, 由其原来位置 b_0 离开 O 点的方向移动。在这种情况下修正起伏误差应向主点方向修正。如 h 为负 (地面点低于平均平面), 应向主点相反方向修正 Δh 。

以上計算公式和修正方法对倾斜角小于 5° 的象片也适用。

例: 已知航高 $H = 4000\text{m}$ 测量点比平均平面高 (高程差)

120m

在象片上主点到测量点的距离 r 为 50mm

$$\Delta h = \frac{120\text{m}}{4000\text{m}} \times 50\text{mm} = 1.5\text{mm}$$

应向主点修正 1.5mm

習題: 已知航高 $H = 5000\text{m}$, 平均平面高程为 250m, 测量点的高程为 100m, 在象片上主点到测量点的距离 r 为 40mm, 問起伏误差多少? 向那方修正? (提示: 有了两个高程, 如何求高程差?)

(答案: 向主点相反方向修正 1.2mm)

四 傾斜象片的比例尺

現在我們假設地面是平坦水平的，而航空象片是傾斜的，這時航攝儀鏡頭光軸與鉛垂綫所夾之角為傾斜角 α 。由於航攝儀的象角是固定的（就象一般的光學儀器的視界是固定的一樣）在航空象片上所攝取的範圍是遠處大，近處小。假如地面有着許多方格（如圖 8），那麼這些方格的影像就與原來不相似，它們不再是方的，而是大小不同的梯形了（如圖 9），從圖中也可以看出，傾斜象片的比例尺不一致，只有在每條水平綫上比例尺是一樣（圖 9 中與主縱綫垂直的都稱為水平綫）。就象我們站在高山上向下望一樣，近景比例尺大，遠景比例尺小。

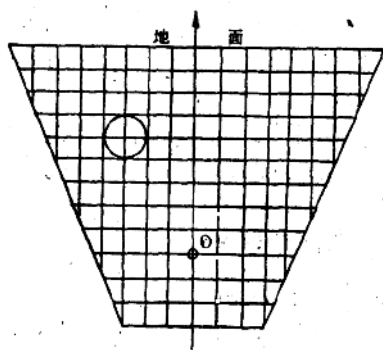


圖 8

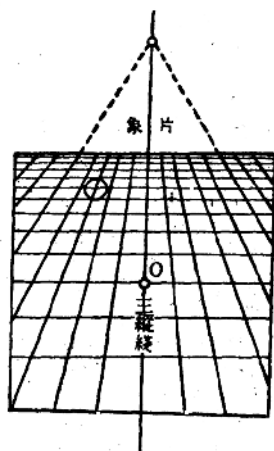


圖 9

在傾斜象片上沿水平綫的比例尺決定於公式：

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \left(\cos \alpha - \frac{x}{f} \sin \alpha \right) \dots \dots \dots (3)$$

式中 α 是光軸與鉛垂綫所夾之角，即傾斜角。

x 是象片上点的縱坐标, 即从主点沿主縱綫量取至象点的長度。

例: 航攝仪焦距 $f=20\text{cm}$ 航高 $H=3000\text{m}$

傾斜角 $\alpha=3^\circ$ 象点 β 的縱坐标 $x=-5\text{cm}$ (如圖10)

代入公式, $\frac{1}{m} = \frac{20\text{cm}}{3000 \times 100\text{cm}} (0.9986 - \frac{-5\text{cm}}{20\text{cm}} \times 0.0523)$

$$\frac{1}{m} = 1:14828.$$

根据以上所設条件, 可以計算出各个不同 x 点的比例尺, 如下表:

点号	x cm	沿水平綫的比例尺
A	-9	1:14677
B	-5	1:14828
O	0	1:15022
C	+5	1:15219
D	+9	1:15385

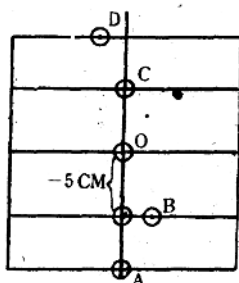


圖 10

在这个例子中最大比例尺与最小比例尺誤差的百分比, 以 1 公分相当現地的公尺数計算。

$$\frac{153.8-146.7}{150.0} = 5\%$$

上表所列仅是 $X=\pm 9\text{cm}$ 的面积內, 沿水平綫比例尺的变化, 如象幅为 $30 \times 30\text{cm}$, 其边缘部份的比例尺相差会更大。

五 航空象片傾斜角所引起的移位

假如从同一点对地面攝影兩次, 其中一次光軸处于真正垂直

的位置，第二次則有傾斜角 α 。若比較這兩張象片，那麼地面上所有點在傾斜象片上對其在平面象片上的位置發生直線的移位（通俗的說是移動了位置，產生一個誤差）。

可以證明，因象片傾斜引起的移位是向着一個點的，這個點叫等角點（等角點距離主點 $x = f \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$ ，它只是理論上的點，一般的說不能在象片上確定它的位置），而且這個移位的大小是隨着象點的位置不同而變化的。在主縱綫上的點移位最大，而在通過等角點的水平綫上的點，移位等於零。我們用圖11表示其移位的大小與方向，圖中 c 為等角點， o 為主點，虛綫的圓表示平面象片上點的位置，實綫的圓表示在傾斜象片上的點位，實綫與虛綫之間的差別表示移位的大小。

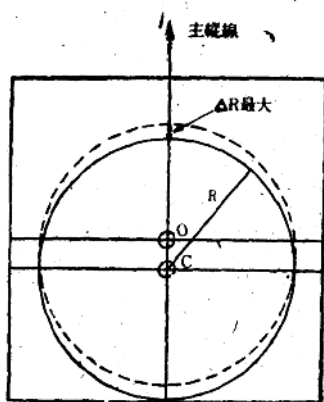


圖 11

注意：這個圓只是說明移位在那個方向大，那個方向小，並不是在圓上的點才有移位。

在傾斜角較小的象片上，因象片傾斜引起的移位，其最大值決定於公式：

$$\Delta R_{\text{最大}} = \pm \frac{r^2}{f \rho''} \alpha'' \dots \dots \dots (4)$$

式內 $\rho'' = \text{常数 } 57.3$

f 焦距(公厘) r 等角點到象點的距離 α'' 傾斜角(單位為度)

例： $f=280\text{mm}$ $\alpha=3^\circ$ $r=5\text{cm}$

$$\Delta r_{\text{最大}} = \frac{(50)^2 \times 3^\circ}{200 \times 57.3} = 0.65\text{mm}$$

下表列出 $\alpha=3^\circ$ 时不同 r 的移位最大值

$\Delta r_{\text{最大}} / r$	$r=30\text{mm}$	$r=50\text{mm}$	$r=70\text{mm}$	$r=100\text{mm}$	$r=150\text{mm}$
f					
200mm	0.23mm	0.65mm	1.28mm	2.60mm	5.85mm
500mm	0.09mm	0.26mm	0.51mm	1.04mm	2.34mm

由于 $\Delta r_{\text{最大}}$ 与象点至等角点的距离 r 的平方成正比，当 r 增大时 $\Delta r_{\text{最大}}$ 迅速增大，在倾斜角为一定时，象片边缘点的移位较中央大得多，所以我们进行测量作业应尽量使用象片的中央部份。因为等角点在象片上的位置不能确定，所以 Δr 不能象修正起伏那样直接在象片上修正，而要采取其它方法，例如用纠正仪纠正等。

六 象片倾斜和地面起伏引起角的偏差

(一) 由上节所述，当象片倾斜时，所产生的直线移位是向着等角点（或离开等角点）的，所以在平面象片和倾斜象片上其相应点对等角点的角度（以等角点为顶点）是相等的，等角点的名字就是从这里来的（如图12）。

同时我们也由图中可以看出，如果以主点作角顶点，那么在平面象片和倾斜象片上的角度就不一样，而产生一个偏差 $\Delta \varphi'$ 。当倾斜角小时 $\Delta \varphi'$ 的最大值决定于公式：

$$\Delta \varphi'_{\text{最大}} = \pm 0.26(\alpha^\circ)^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中 $\Delta \varphi'$ 因倾斜引起角偏差的最大值，以分为单位，

α° 倾斜角以度为单位。

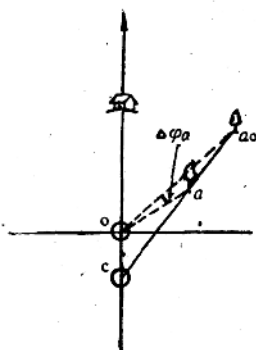


圖 12

根据公式 (5) 可以計算 $\alpha \leq 5^\circ$ ，通过主点的方向綫最大偏差

α	1°	2°	3°	4°	5°
$\Delta\varphi'_a \text{最大}$	$\pm 0'.26$	$\pm 1'.05$	$\pm 2'.36$	$\pm 4'.19$	$\pm 6'.54$

从表中可以看出，当傾斜角不大时，因象片傾斜引起角的偏差是很小的。若 $\alpha \leq 3^\circ$ $\Delta\varphi_a < 0.01$ 。

(二) 因起伏引起角的偏差：

在我們研究起伏誤差时，是假設象片为絕對水平的，这时因为地面起伏所引起的移位是向着主点 O 的。如果象片产生傾斜主点 O 就离开通过投影中心 S 的鉛垂綫，这时起伏誤差是向着（或离开）象片与通过 S 的鉛垂綫的交点，因而就引起了通过主点的方向綫产生偏差，其数值决定于公式：

$$\Delta\varphi'_{b \text{最大}} = \frac{hf\alpha'}{Hr} \dots\dots\dots (6)$$

式中 $\Delta\varphi'_{b \text{最大}}$ 是由地面起伏所引起通过主点方向綫，偏差最大

值以分为单位

α' 倾斜角以分为单位

r 象点到主点的距离

h 地面点到平均水平面的高程差

当 $f=20\text{cm}$ $H=3000\text{m}$ $\alpha=3^\circ=180'$ 时 Δp_h 最大 变化如下表:

$\begin{array}{c} r \\ \backslash \\ h \end{array}$	5cm	10cm	15cm
$\pm 25\text{m}$	$\pm 6'$	$\pm 3'$	$\pm 2'$
$\pm 50\text{m}$	$\pm 12'$	$\pm 6'$	$\pm 4'$
$\pm 100\text{m}$	$\pm 24'$	$\pm 12'$	$\pm 8'$

从表中看出, 当 $h \leq 50\text{m}$, 即地面最高与最低相差 100m 。 r 为 10cm 左右时, 误差是不大的。

結論:

1. 航空象片是地面的中心投影, 当象片有倾斜, 地面有起伏时它就与地圖不相似而产生偏差。

2. 垂直摄影平坦水平的地面所得象片的比例尺

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$$

在倾斜角小时, 比例尺误差不大, 可以近似的认为等于 $\frac{f}{H}$ 。

3. 因象片倾斜和地面起伏引起的移位都是在象片边缘大, 中间小。所以在进行测量作业时, 应尽量使用象片中部。

4. 因象片倾斜和地面起伏引起通过主点的方向偏差, 当 $\alpha \leq 3^\circ$ 时是很小的。利用主点作角顶描绘方向线精度很好, 可以认为与地面角度相似。