

土壤普查中的航片纠正转绘成图

卜兆宏 戴昌达

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤判读的成果(包括土壤和其他农用要素的界线),是根据单张航片的影象勾绘出来的。然而,由于航空摄影获得的各单张航片受中心投影规律的影响,存在着摄影时底片倾斜(α)引起的影象变形,航高变动(ΔH)引起的比例尺差异,以及地形起伏(h)引起的投影差等。这些变形和差异,使得各航片之间,甚至同一航片的不同部分,其比例尺都可能不尽一致。所以,航片不能简单拼接成图,而必须经过纠正转绘后,才能将单张航片判读的土壤成果编制成一张符合成图要求的图幅,供生产单位使用。

一、航片的纠正原理

航片与地面是一个以摄影机镜头为透视中心的中心投影,它们互成透视关系。而地面与地图面(即具有成图比例尺的水平象片)是一个透视中心在无穷远的正射投影,也互成透视关系。因此,象片面与地图面的关系互成直接变换关系。根据投影几何原理:“凡成直接变换关系的两个平面,定可重新放在一个光束(或射线束)中组成透视关系”(1)。因此,只要在航片上与地图面上找出必须的相应同名地物点,就可以采用光学仪器法和图解法把倾斜象片的影象纠正为地图面的影象。

从航片的几何特性解析中可知,倾斜象片的象点坐标(x, y)变换成地图坐标(X, Y)的关系公式为:

$$X = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + 1}, Y = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + 1}$$

式中 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3$ 为系数,是未知数。为了求解八个未知数,就要具备在象片和图面上有四对相应的同名点(或坐标),才可进行纠正。由于是靠这四对点来纠正航片,故称这些点或点位为纠正控制点或纠正控制点位图。

至于起伏不平的地面,如山区、丘陵,地形高差产生的投影差不可能完全消除,只能限制它小于0.4毫米。通常是采用分带纠正的办法来解决。

二、建立纠正转绘基础的方法

为了求得航片和图面上有四对相应同名地物点的象、图坐标或点位(不必具体知道数值),建立纠正转绘基础的方法有:解析法、辐射三角测量法和无外业法。

(一)解析法(2)

解析法,事先要在野外测量少数外业控制点的大地坐标值 X, Y 及高程。然后,室内在立体坐标量测仪上观测立体象对,测出所求象点和外业点的象坐标 x_i, y_i ,上下视差 q 和左右视差 p 值。再按照计算航片定向元素的关系公式和坐标关系公式,编出适用于电子计算机运算的程序(简称为电算程序)。将观测出的数据和已知点的大地坐标输入计算机,经电算后即可得到所有象点的大地坐标值。用展点仪把电算解析出的象点大地坐标展刺在图板上,作为纠正转绘基础——平面控制点位图。

(二)图解辐射三角测量法(3)

该法是基于自象主点附近($f/40$ 范围, f 为航摄机焦距)的象点(称辐射中心点)向四周发射出的方向线,基本上不会因象片倾斜和地形起伏而有偏离。自辐射中心点向象片四隅六度重迭范围内选刺出的共同明显地物象点、邻片主点所划方向线,就如平板仪测量前交、侧交、后交图解法定点位、划观测方向线一样。三条同名辐射方向线交会得的点位,就相当于实地正射投影的位置。根据这个原理,我们可以在外业少量控制测量后,用该法加密出许多供纠正转绘基础用的平面控制点位。

其具体作业过程可分为:1. 外业控制测量阶段:每条航线实测出2—3个外业控制点的大地坐标;2. 辐射三角测量阶段:(1)选刺出供纠正每片所需的象点至少四个(实际上包括辐射中心点、外业已知点、纠正象点,每片约有九点)。(2)蒙上聚酯薄膜刺下象点并划方向线,制作辐射方向模片。(3)用辐射方向模片拼菱形锁网,得自由比例尺的锁网点;3. 归正阶段:将任意比例尺的菱形锁网点归正到具有外业点位的成图比例

尺的锁网点。最后,通过简单的平差就可获得纠正转绘基础——平面控制点位图。

(三)无外业法*

解析法和辐射三角测量法,虽然各自的外业工作量大小不相同,但本质上都必须要有专门的人力物力搞外业测量。这在农业部门是难以实现的。无外业法则免除了外业测量阶段,这是在65年我所在水电部支持下席承潘教授指导试验成功的一种方法。然而,无外业法要革除外业测量控制,必须有航摄时记录的航高值来作控制。我们试验用的是PBTⅡ无线电航高胶卷记录,可估读至0.5米的航高 H_R 。

无外业法的基本原理,就是利用航高作控制,计算辐射三角测量中菱形锁网的比例尺(分母)值。其计算公式为:

$$m = 1_{象} \cdot H' / 1_{网} \cdot f'$$

式中: $1_{象}$ ——象片上联线接近或通过主点并对称于主点O的象点间的距离; $1_{网}$ ——菱形锁网上相应点间的距离; H' ——飞机至中等高程面的航高。平原地区 H' 就是无线电航高 H_R 值。丘陵区 $H' = H_R - h$ 。 $h = \Delta \cdot H_R / b + \Delta$, $\Delta = 1/2 (VP_B + VP_r - 2VP_o)$ 。其中VP为仪器(如立坐仪、视差杆)量出的象点(b, r, o)的左右视差读数, b为邻片上的基线值; 所求出的h为中等高程面至本片主点的高差; f' ——象片因伸缩变化后的焦距值,由式 $f' = 1_{象框} \cdot fk / 1_{象机框} = [x_{框} + y_{框}]_{象片} \cdot fk / [x_{框} + y_{框}]_{象机}$ 计算出。fk为航摄机焦距, $x_{框}$ 、 $y_{框}$ 分别为航片和象机上框标间x、y方向的距离。这样,每片锁部都可以求得一个比例尺值,当在一定限差内时,可以求出整个锁网的平均比例尺(m_{cp})。然后在锁网上量取相邻航线公共线段 l_T 。乘 m_{cp} / M (M为成图比例尺分母)后得 L_T 值。对 L_T 值归正平差后,便得到供归正锁网用的控制线段 L_k 值。锁网依 L_k 经投影归正后,便可在图板上得到一系列纠正点位,作纠正转绘基础用。

据此,无外业法的作业程序可概分为: 1. 准备工作阶段: 收集资料, 读取各片航高和分幅; 2. 辐射三角测量阶段(与前基本相似); 3. 量算阶段: 在象片、锁网上量取有关线段长度,按原理公式计算锁网比例尺; 4. 归正平差与归正阶段: 通过归正平差算出供归正锁网的控制线段长度 L_k 值,然后将锁网点位归正到成图比例尺,最后便获得纠正转绘的基础。

如果在土壤普查的准备工作中收集有地区的象平面图、航测地形图。或具有比较高精度的其他地形图、地物图,则可取这些图中地物最多的图为纠正转绘基础,而不必另行重建。然而,除象平面图外,均须或

多或少地用到上述制作辐射方向模片的原理、方法来校核、补建地形、地物图上的个别点位。

三、纠正转绘方法

根据纠正转绘基础的不同和用图要求的高低及仪器条件,航片的纠正转绘方法就有所不同。可选用的纠正转绘方法有: 光学仪器法、图解格网法和目估法。一般说来,光学仪器法可以达到比较高的用图要求,速度也较快。

(一)光学仪器法

供纠正转绘用的光学仪器有: 反光纠正转绘仪、单个投影器、航空象片转绘仪。其中以反光纠正转绘仪、单个投影器的纠正转绘精度较高,也可设法制象平面图。而以航空象片转绘仪比较经济方便,但只能制线划图。

虽然各种仪器由于结构不同,纠正转绘的操作有所差异(如单个投影器还要制缩小片),但在纠正转绘过程中都须做如下工作:

1. 上仪器前的航片和底图准备: 航片准备,即要对纠正点影象作好记号(如画以圆圈),对所转绘的土壤和农用要素界线用黑墨(色调过浅处)或白墨(色调过暗处)描绘清楚,以确保投影下来的影象清晰。对于丘陵、山区,还要参考旧地形图和分带高差计算(见图底准备),在立体镜下将象片的分带界线勾划出来。

底图准备,包括在地形图或地物图上选择出处于航片四角的四个明显地物点作为纠正转绘基础,必要时作辐射方向模片在图上后交出象主点点位。特别是丘陵山区,当纠正控制点位于丘陵、山区相对于田块中等高程面高差超过下表一半时,要作投影差改正。

表1 分带纠正转绘带高差(Q)表

航摄机 焦距	1:1万	1:2.5万	1:5万	1:10万	备注
70毫米	8米	20米	45米	90米	括号内的数字为象幅30×30厘米的Q值
100毫米	12米	30米	60米	120米	
200毫米	24米(13)	60米(33)	120米		

投影差改正值,按下式计算:

$$\Delta h = \frac{R \cdot h}{H_1 - h}$$

式中R为控制点位图上辐射中心至控制点位的距离; h为控制点位与田块中等高程面的高差; H_1 为飞机至田块中等高程面的航高, $H_1 = D_{图} \cdot M \cdot fk / d_{象}$ 。而 $D_{图}$ 为控制点位图上位于田块中等高程面的两点间距, M为成图比例尺, $d_{象}$ 为象片上相应点的间距, fk为航摄机焦距。田块中等高程(A.)面的选定,可参考

* 中国科学院南京土壤研究所(卜兆宏),无外业(用无线电航高)成图方法,1978(测绘地理学会地图会议油印资料)。

旧地形图所标明的最高和最低田块高程 (A_1 和 A_2) 由式 $A_0 = (A_1 + A_2) / 2$ 计算出。相对于中等高程面的高差 h 的求法有二: 一是根据地形图标明的高程内插确定; 一是在反光立体镜下用视差杆量测出相对于中等高程面的高差。

在控制点位图上投影差改正时, 将欲改正的点与辐射中心连成线。当 Δh 为负时, 改正后的新点位在线内; 当 Δh 为正时, 则新点位在连线外延长 Δh 。

当纠正转绘丘陵、山区上的界线时, 其相对田块中等高程面上的高差远远超过表 1 上的数值。即使都是田块, 往往山间沟谷中的田比大冲坪田的高差也可能超过表 1 上的数值。这时要做好控制点位图的最高、最低带的投影差改正, 以进行分带纠正转绘。其方法是先确定分带数 (C), 它由式 $C = (A_{山} - A_{最低}) / Q$ 计算出。式中 $A_{山}$ 为山顶高程, $A_{最低}$ 为最低田块的高程。然后根据各点相对于最高带中等程 ($A_{高}$) 面和最低田块中等程 ($A_{低}$) 面的高差, 按 Δh 式计算投影差改正值。此时 Δh 式中的 H_1 应为最低带和最高带的航高 ($H_{低}$ 和 $H_{高}$)。它们分别由下列式计算:

$$\begin{aligned} H_{低} &= H_0 - A_{低}, & H_{高} &= H_0 - A_{高}, \\ H_0 &= H_1 + A_0, & A_{低} &= A_{最低} + Q/2, \\ A_{高} &= A_{山} - Q/2, \\ h_{低} &= A_{控制点} - A_{低}, & h_{高} &= A_{控制点} - A_{高} \\ \Delta h_{低} &= Rh_{低} / H_{低} - h_{低}, \\ \Delta h_{高} &= Rh_{高} / H_{高} - h_{高}. \end{aligned}$$

最后, 在控制点位图上作投影差改正, 如图 1 所示。图中 $DEFG$ 为未作投影差改正的正射投影控制点位。 $D'E'F'G'$ 为纠正转绘最低带时的新点位。 $D''E''F''G''$ 为纠正转绘最高带时的新点位。中间各带的点位可由内插确定。图中转绘带数为 5 个, 中间三根短线是内插定的。

2. 纠正对点: 纠正对点在仪器上进行。通过纠正对点, 使反光投影或直射投影下来的象点、辐射中心点 (或主点) 与控制点位图上经投影差改正后的新点位重合。这时表明所有投影下来的影像, 都纠正为成图比例尺的水平象片了。

纠正对点步骤为: (1) 将土壤判读好的航片中心 (主点) 与仪器的象片盘中心重合, 把航片安置好; (2) 将经过投影差改正的控制点位图放在仪器的承影面上。象片转绘仪尚须按使用说明书安置好象、物方的镜片; (3) 根据影象点和纠正控制新点位的偏差情况, 反复转动比例尺缩放 K 、象片盘旋转 β 、象片盘和承影板 (或仅象片盘) 倾斜 α 、象片偏心 Δx 、 Δy (航片转绘仪没有) 等五个机械纠正动作, 同时在承影板上底图作上下、左右移动 ΔX 、 ΔY 和转动 β 。等三个手动作。首先使辐射中心点位 (或主点) 与相应象点重合, 最

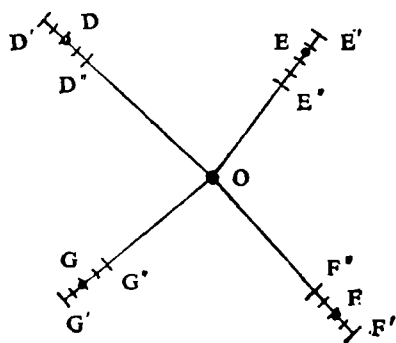


图 1 丘陵山区分带纠正转绘时控制点位的投影差改正图

后达到所有象点和控制纠正的新点位重合, 误差小于 0.4—0.8 毫米 (视不同仪器和要求而定) 时, 为完成纠正对点工作。

3. 手描转绘: 手描转绘, 就是当纠正对点好以后, 把投影下来的土壤界线和农用要素, 用铅笔手描转绘到控制点位图上。

手描转绘时, 应先转绘具有控制意义的地物要素 (如道路、水系、山丘与农田的界线), 再转绘细小地物 (如田块界线、土壤剖面点), 最后转绘土壤等专业界线。转绘图纸最好选用 0.1 毫米厚的磨毛聚酯薄膜, 并事先把控制点位透蒙刺在其上。转绘时为了防止片与片之间接边误差引起田块形状失真, 接边界线应选择在河边、水渠、道路、山丘界等线状地物上。

(二) 图解格网法

在没有任何光学仪器的情况下, 为了精确地纠正转绘航片, 可采用图解格网纠正转绘法, 简称为格网法。

格网法有复比法、透视格网法、辐射格网法。复比法只能纠正转绘个别点, 透视格网法有时作两相应的格网有困难, 故常选用辐射格网法。

辐射格网法, 是根据航片辐射中心 (或象主点) 发出的方向线夹角与图面上相应点发出的方向线夹角相等的原理, 来建立象片和图面的辐射格网。它适用于地形较破碎但高差又不宜太大的地区。其高差限度 Δh 为 $0.029M \cdot \delta$ 米, M 为成图比例尺, δ 为方向线因高差引起偏离的允许方向误差。当 M 为 1:1 万, δ 为 0.1 时, $\Delta h \leq 29$ 米; δ 为 0.7 时, $\Delta h \leq 203$ 米。

建立辐射格网时, 首先利用图上和航片上四个对应的已知点 ($CDEF$ 和 $cdef$) 及象主点 o 制作三张辐射方向模片。在图面上通过后交、侧交出图上主点 O_2 , O_1 和 O_3 (见图 2)。然后, 在一张航片的左右两半部分, 分别建立图面和航片的辐射格网。在图面上以 O_2 (或 O_3) 为圆心, 以 O_2O_3 为基准线, 上下两侧用量角器每 5° 或 10° 划一方向线, 直到 100° 止。这样在图面上

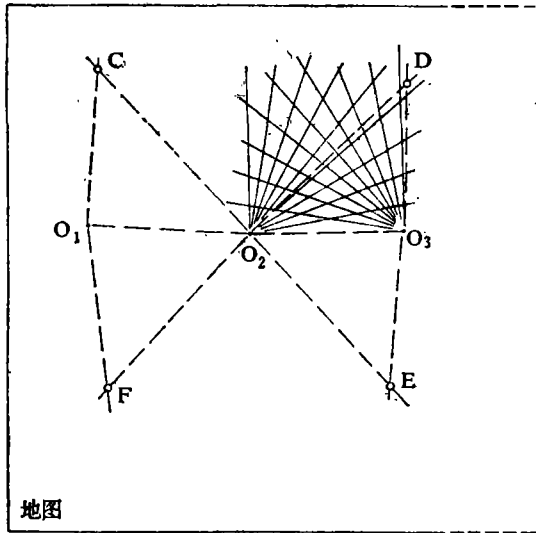
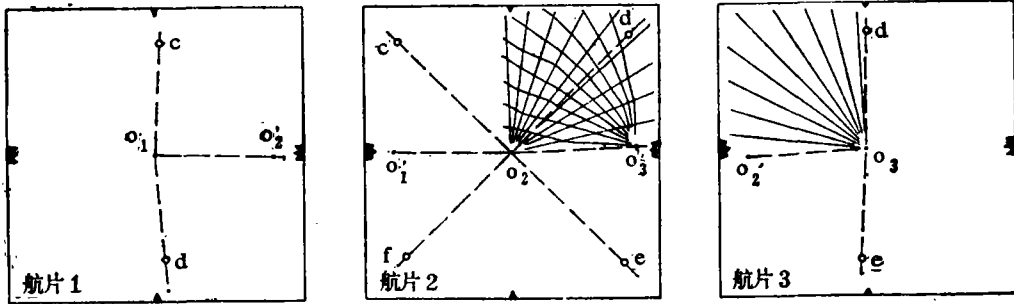


图2 航片和地图的辐射格网图

便建立了辐射格网(图2只画出右半部的一半)。在中间航片和右邻航片上各蒙一张划有每隔 5° 或 10° 的等分方向线的聚酯薄膜,并使其中心点与航片象主点重合,起始方向分别与 o_2o_3' 和 $o_2'o_3$ 重合。将右邻片每条辐射线对照影像,转描到中间航片上来。由于地形起伏和 o_3' 位于中间航片边缘,故转描过来的线就不是直线,而是折线。转描时,在立体镜下可提高速度和精度。这样,在中间航片上建立了辐射直线和折线组成的辐射格网,与图面上的辐射格网,互为透视关系,可相互投影。

在航片与图面上建立相应的辐射格网后,就按相应的格子,将航片上的土壤和农用要素,目估转绘在图上。

(三)目估转绘法

当航片与图上的地物已建立互为透视关系时,可采用目估法。例如象平面图、航测地形图、图解格网,都与单张航片互为透视关系。象平面图的目估转绘最为方便。航测地形图,则视地物的多少和精度而定。图上地物太少,点位精度即使很高,目估转绘也很困难,

最终图件的精度也不会高。图解格网,则取决于格子的大小。格网分得越小,目估转绘方便,精度也较高,但费工。

目估转绘时,首先目估所转绘的界线在航片上与其他图上地物相应的影像或格网的比例关系。然后根据这些比例关系,将象片界线目估转绘到图面上。由于是目估,就不免有失真或遗漏之处,因此,每转绘完一片就要进行检查、修正。

四、土壤图件的编绘和复制

通过纠正转绘,把单张航片编制成一幅综合农用要素线划图,或具有土壤专业内容的象平面图。综合农用要素线划图,由于内容过于繁杂而不便于生产单位使用。为此,须利用线划图或象平面图,进行土壤图件的编绘和复制。这个过程又叫成图。

成图时,要考虑用图的要求、使用的方便和制图的可能。通常一个地区,可以编制出地块图、土壤图、质地图、地下水埋深图、利用现状和轮作类型图、土壤改良规划图。北方盐土区,还可增编盐斑图、地下水矿化度图。这些图组成该地区的一套农用图件。

利用综合农用要素图编绘和复制一套农用图的工作过程:(1)综合要素图的整饰;(2)按图名分别着墨清绘地物、专业内容;(3)复制,或直接晒熏图,或经复照后晒熏图。

航空象片经纠正转绘成图所取得的一套农用图,完全有可能供公社、大队和生产队在科学种田中使用。尤其田块地块图,有些科学种田水平较高的地方(如苏州吴县),已开始把它作为建立土地档案的基础。由于土壤界线和剖面理化分析资料可落实到每个田块,使土壤普查的成果能直接为农业生产所应用。

参 考 文 献

- [1] 武汉测绘学院:画法几何与投影几何,第11章11节,1959。
- [2] A.H.拉巴诺夫(华瑞林译):解析摄影测量学。科学出版社,1978。
- [3] 武汉测绘学院:航空摄影测量学。上册,中国工业出版社,1963。