

航片在土壤普查中应用技术研究

第一报： 任意网格法转绘技术及其精度*

吕跃双 孙守斌 张跃志 张青 黄延林

(吉林省农科院土肥所) (吉林省农业厅土地利用处)

航空相片在自然资源和土壤调查中所显示的巨大优越性是可以肯定的。但是，由于航片受中心投影规律的影响，给各项专业成图带来了一定的困难，必须经纠正才能应用。特别是目前普遍地缺乏航片判读资料和转绘设备。加上技术力量薄弱，因此，对应用航片以及转绘的精度缺乏信心。这个问题不解决，势必影响自然资源和土壤调查的速度、质量。

在应用航片中，究竟选择什么样的纠正转绘方法？才能加快自然资源和土壤调查的速度，保证质量，提高精度。这要根据各地的实际和可能。过份强调用光学仪器转绘纠正是不太切合实际的，也是当前全面开展自然资源和土壤调查，一时难以办到的。

我们在全省土壤普查农安试点中，对这个问题做了初步的研究和探讨。

农安县地处平原区，地形起伏不大（一般相对高差在60米左右），我们以航片镶嵌图作底图，以大队为单位，采用任意网格法转绘到二万五千分之一地形图上，全县共完成三十个公社、一个国营农场转绘成图任务。这样获得的成果图幅，经省测绘局用座标展点仪复核原图座标网，并以十万分之一军用地形图做底图，检查其成果图件，图面符合精度要求。

为了验证任意网格法的精度我们又在三个不同条件的大队，设独立三角网进行五千分之一比例尺平面测图，用取得的标准图件与土壤普查时采用任意网格法转绘的成果图件比较鉴定，结果一致。

实践证明，任意网格法在平原区土壤航测制图转绘中，不仅是切实可行的，而且符合第二次全国土壤普查精度规范要求。现将任意网格法转绘技术及其精度，初步总结如下：

一、 任意网格法转绘的理论依据

航片纠正的目的，在于消除航片因倾斜所引起的各种偏差，使其相当于水平相片的构象，并符合所规定的成图比例。但是，纠正只能消除相片倾斜误差，而不能消除因地形起伏所产生的投影差。在理论上，只有真正平坦地区的航片才适于纠正。但在实际作业中，只要使图上所存在的投影差不超过所规定的某一允许值（通过计算得出）仍可采用纠正方法进行纠正。

我们知道，航片与地面是一个以摄影机镜头为透视中心的投影，它们互成透视关系，

*本研究是在省农业厅刘精同志指导下进行的，特致谢意。

而地面与地面图（具有成图比例尺的水平相片）是一个透视中心在无穷远的正射投影，也互成透视关系。因此只要在航片与地形图上、找出足够的相应同名地物点，就可以采用光学法或图解法进行纠正转绘。

任意网格法是图解纠正转绘方法之一。它能够将航片待转绘范围之内所确定的明显地物点与地形图上相应的明显地物点，建立起近似的垂直投影关系。其控制点间的误差，在成图图面上限制在全国第二次土壤普查规定的 ± 4 毫米以内。

此外，由于地形平坦，起伏不大，航片上任意象点的位移、其相关位置变化不大。这样就可以在地形图上和航片相应范围内，以具有相同地理座标的控制点为依据，将控制点间连成的线段、按相同格数进行等分，其间所存在的误差，近似平均分配到各格之间，从而起到了纠正的作用。这不仅把航片上的地物控制在成图的相对位置上，而且又把航片的固有误差和转绘时带来的误差近似均匀分散于这个统一坐标系里，为汇总拼图量算各种面积奠定了数学基础。

二、任意网格法转绘的方法与步骤

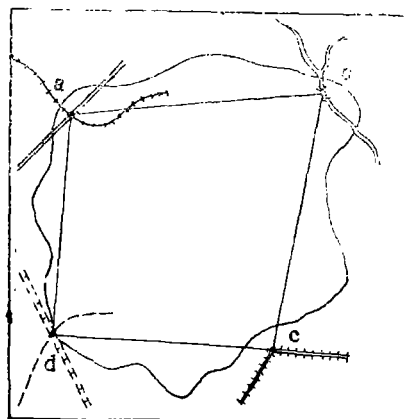
（一）选点。就是选择转绘控制点，即在航片与地形图上选择相应的明显地物控制点，这是任意网格法转绘的基础关键。因此，选点应注意下述两个问题：

（1）点的数量与分布。选点一般不应少于4个点，在特殊的情况下，也不能少于3个点。并要均匀分布在转绘的边界线附近。对于局部地形变化较大，航线的两端，主点附近应优先布点。如条件允许，在控制点间还应布设1~2个检查点。

（2）选点要明显、准确。由于航摄与地形图测绘时间不同，选点要选在地物明显、容易识别的固定处。不应把点选在地物阴影或在地物交叉点小于 30° 或大于 120° 处，以免由于角度过小或过大选点不准。所选地物点要用红或其它颜色墨水标记一园点，点的直径不应超过1毫米。点外再打一个园圈作辅助标记。然后，将选好的控制点连成任意四边形。如图一。

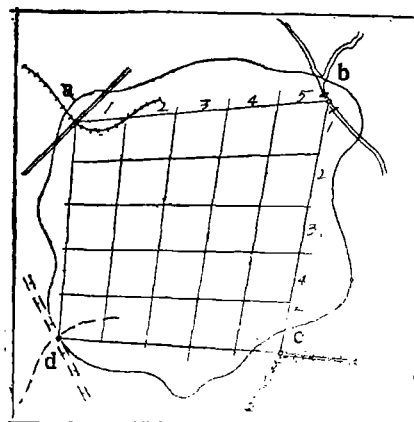
（二）划任意网格。将航片上ab边与cd边分成相等份数，并连成线；同样方法将bc边与ad边分成相等份数，并连成线。连线后就构成了任意网格。如图二。

网格的大小，依其所需要的精度和所要转绘内容复杂程度而定。按全国第二次土壤



航片

图一



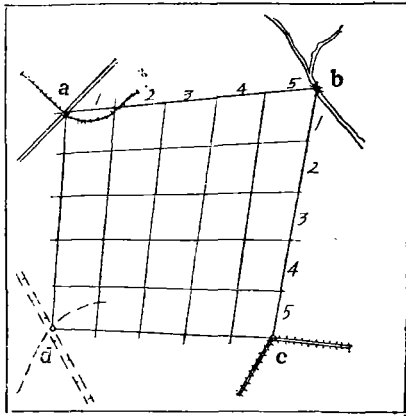
航片

图二

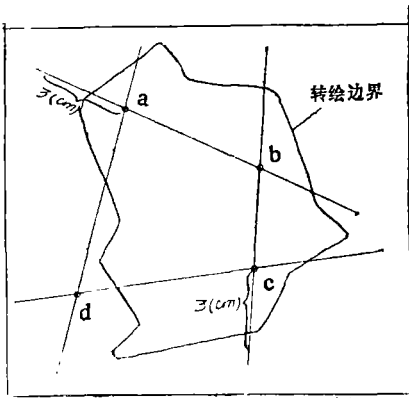
普查成果图件要求,公社级成果图比例尺为1/25000,我省平原区所使用的航片比例尺分别为1/14000;1/18000,1/28000。从实践来看,等分线段的间距不应超过1厘米,这样有利于控制转绘精度。如果选3个点,也可以在航片与地形图上建立等份的任意方格网格转绘精度是一致的。等分线段时,以标准直尺或绘图用尺为宜,以免造成不应有的误差。最后将网格

按顺序编号,以便转绘。同样方法,在地形图上找出与航片相对应的边,分成与航片相等的份数,并连成任意网格。这时航片与地形图相应网格的形状和数量是一致的。但网格的大小因比例尺不同而异。同样将网格编上与航片相同的号数。如图三。

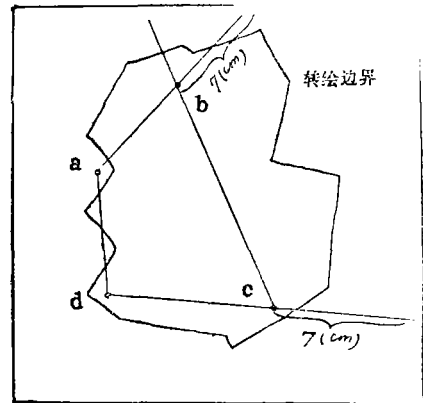
在特殊情况下,控制点如不能选在转绘边界附近,须要作点外延长线作控制时,延长线的长度一般不应超过3厘米,最长也不应超过7厘米。并用同样方法建立与控制点内、形状相同、格距相等的网格。点外延长线的两种情况如图四(1)及(2)。



地形图
图三



四个点都延长 延长线不超过3厘米

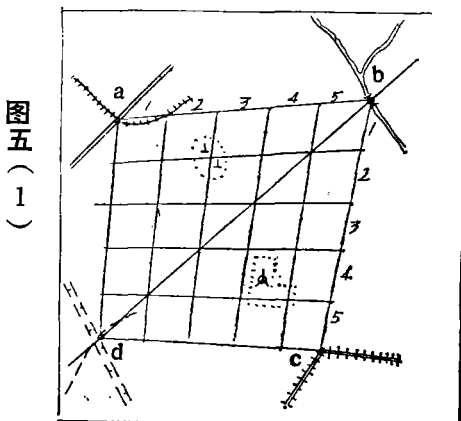


只有两个点延长 延长线不超过7厘米

图四(1)

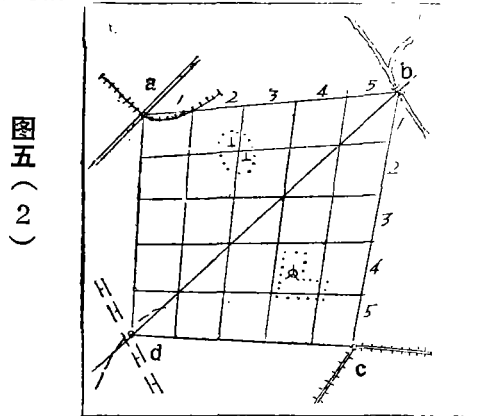
图四(2)

(三) 检查。就是检查航片与地形图上相应的线段是否通过同名地物;或者用直尺



图五(1)

1:28000 航片

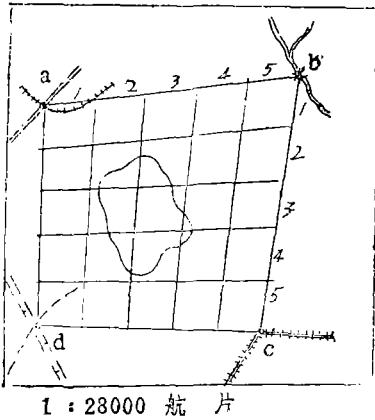


图五(2)

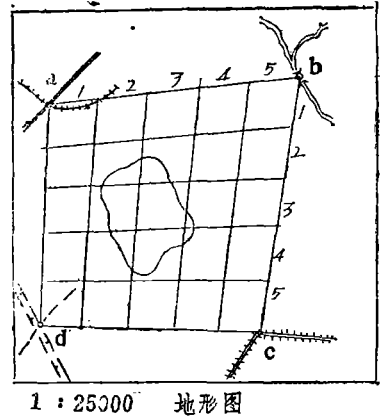
1:25000 地形图

检查航片与地形图上对应的网格是否在一条直线上（最多也不应超过1毫米），检查无误后，待转绘。如果不符合上述条件，应查其原因或重做，检查方法见图五（1）及（2）。

（四）转绘。根据航片上要转绘的土壤界线或其它地理要素，找出它们所在的格，目估转绘到地形图上相应的格内。如图六。转绘时，要注意对逐一地物、地类等要素识别清楚，然后精心转绘。转绘完了，要做复核和检查，直到无一漏转为止。



图六（1）



图六（2）

三、精度限差分析

航片判读成果转绘成图的精度是航测制图中任何一种转绘方法不可忽略的因素。为了探讨任意网格法转绘成图的精度，实用条件，转绘范围，以及能否满足土壤普查成图要求等问题，我们在农安县哈拉海公社、华家公社，选择了具有不同代表性的三个生产大队，分别进行实测和调绘。哈拉海公社头道大队地面相对高差40米，面积1000公顷；二道大队地面相对高差30米，面积1894公顷。这两个大队利用1/10000比例尺航片平面图进行实地调绘；华家公社三合大队，采用1/5000比例尺的平面测图。从三个大队实测和调绘的结果与土壤普查时，用任意网格法转绘制成的图件，进行对比验证。兹将分析结果分述如下：

（一）实用条件

任意网格法的实用条件，受多种因子影响，但主要的因子是，由航片与地形图所确定的相应地物控制点间的误差，是否在允许的范围之内来决定的。由于航摄时，航高差控制在50米，相片倾斜角一般不大于2°，按航摄规范有关规定，可视为近似垂直投影。若地势平坦、地面高差所产生的投影差，在允许范围之内，即可采用任意网格法转绘成图，由公式

$$Q = 0.001 \frac{f}{0.36L} M \text{ (米)} \quad \text{式中} Q \text{ 代表高差限值；} 0.36 \text{ 相片伸缩系数；} 0.001 \text{ 为}$$

控制點選刺的点位精度（限差值规定为 ± 0.5 毫米）。

将实测三个大队引起误差的最大值以及有关数值代入上式。f 航摄仪焦距（113.9毫米）L为象幅（180毫米，我们以作业面积 9×12 厘米计）其最大值为120毫米；M成图比例尺，分母为25000。则

$$Q = 0.001 \frac{113.9}{0.36 \cdot 120} \cdot 25000 = 66 \text{ (米)}$$

说明在地面相对高差小于66米时，即可应用任意网格法转绘成图。农安县三个大队地面相对高差均未超过这个范围。

（二）转绘范围

根据实测验证结果表明，在一个生产大队内，地面相对高差小于66米，一般在其所用的 $1/18000$ 比例尺的几张航片作业面积上，选布4个控制点、转绘成图，就可满足土壤普查成图的要求。

转绘范围的大小，由航片上点的最大位移值和控制点的多少而定。若控制点过多，虽然能相应提高精度，但点多难选，且网形复杂、容易出现差错。如用最少的控制点作控制，只要不超过允许的误差值，则控制点间的面积，便是此种方法的转绘范围。

从实测的三个大队，所用的航片镶嵌板，单张航片上点的最大位移值为 ± 2.2 毫米，而土壤普查成图图面误差允许有 ± 4 毫米。因此，在相邻二张航片上，应有一个控制点，其控制点间的距离应为30~40厘米。从以上分析看出，在一个大队的范围内，最好每张航片的作业面积上，至少有一个控制点，一般也不应少于4个控制点；在特殊的情况下，最少也不应少于3个点，其控制面积在二千公顷左右。

从实测三个大队的结果，点的最大位移值，均未超出允许范围。就是说，在一个大队内，布设四个控制点，转绘成图，是可以满足土壤普查制图精度要求的。

（三）精度限差分析

影响图面精度的因素很多，可概分为二类，一类是成图的固有误差；一类是偶然误差。点位位移的大小，是由上述二类误差决定的。

1、图面固有精度

（1）点的相对最大位移固有误差。主要包括投影差，倾斜误差和方向偏差。我们主要讨论投影差和倾斜误差。

①投影误差：

其计算公式为 $\sigma_{n\text{最大}} = \Delta h \cdot r_n / H - H_0$ 。

以实测三个大队为例，将其数值代入上式： Δh 地面高差为40米； r_n ，物距，象主点至相片作业面积（ 9×12 厘米）边缘的长度为60毫米；H，航摄仪镜头至基准面高程，为

2260米； H_0 ，地物点至基准面的高程20米，故：

$$\sigma_n \text{最大} = \pm 1.07 \text{毫米}$$

②倾斜误差：

其计算公式为 $\sigma_\alpha \text{最大} = rc^2 \cdot \alpha^\circ / f \cdot \rho^\circ rc$ ，物距为60毫米； α° ，相片倾斜角，按航测规定不超过 2° ； f ，焦距113.91毫米； ρ° ，弧度，当 $\alpha < 3^\circ$ $\sin \alpha$ 可用其弧度值 ρ° 表示。即 $\sin 90^\circ = 1$ 的弧度为 57.3° ，代入上式： $\sigma_\alpha \text{最大} = \pm 1.10$ 毫米

(2) 偶然误差

①相应地物刺点误差，在实际作业中，刺点和划网格误差可控制在 ± 1 毫米。

②目估网格转绘误差。由于规定成图网格等于或小于1厘米，因此，目估精度可准确控制到 $1/10$ 厘米，误差为 ± 1 毫米。

③航片镶嵌误差。只要精心镶嵌，相邻两张航片误差可控制在 ± 2 毫米，对于单张相片来说，任意一点的镶嵌误差为 ± 1 毫米。

综上所述误差（包括投影差，倾斜误差）在相片作业面积上任意一点的综合误差为 m 。以 m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 表示。其公式为：

$$m = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2} = \pm \sqrt{1.07^2 + 1.10^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2} \\ = \pm 2.2 \text{毫米}$$

即为航片镶嵌图上，任意一点相对最大位移值。

2、地物点间线段的图面固有精度。

以一个大队为转绘范围，一般 $1/18000$ 比例尺的航片，需用九张航片的作业面积，涉及到三条航线。由于局部航摄时，皆用同一类型航摄仪，其焦距一致，航高差在 $H/50$ 以内，可不必考虑不同航线的处理。而在一个生产大队内，线性地物可跨越三张航片的作业面积，牵扯二次接边；但根据控制点的布设规定，二控制点间不应超过三张航片的作业面积，所以地物跨越三张航片时，只能涉及一次接边，据前面计算点的最大位移值为 ± 2.2 毫米，则线性地物相对长度的综合误差为 $m = \sqrt{m_1^2 + m_1^2} = \sqrt{2.2^2 + 2.2^2} = 3.13$ 毫米。即在相邻二张航片作业面积上，线性地物长度在成图图面上固有最大误差为 ± 3.13 毫米。

3、面积固有精度分析

在转绘范围内，航片与地形图上确定的相应地物点，可视为近似正投影，而两控制点间所连成的线段，也应近似等距正投影。由这些等距垂直投影的线段所围成的面积与地形图上相应的面积，应近似相等。因此，影响面积精度的主要因素是控制点至转绘范围边界处点的位移造成的误差。据前面计算，点的最大位移值为 ± 2.2 毫米；由等于或小于该误差值的点、线围成的面积应在允许误差范围之内。从理论和实践来看，用任意网格法转绘之后，量算的面积，是可以满足精度要求的。

四、实 测 验 证 结 果

为了探讨证明任意网格法的实际精度，我们在三个大队实测的基础上，分别量算面积和

二十一条地物间线段的长度，与土壤普查成果图上相应的面积、线性地物长度对照比较：

(1) 地物点间线段长度的相对精度。

实测大队各地物点间线段较差的中误差，在土壤普查图面上表现的误差如下表：

地 点	线段条数	差值的中误差 (米)	差值在土壤普查图面上平 均 误 差 (毫米)	差值在土壤普查图面上— 条线段最大误差 (毫米)
华家公社三合大队	9	35.04	1.40	2.6
哈拉海公社头道大队	8	29.15	1.17	1.6
哈拉海公社二道大队	4	28.28	1.13	2.0

(2) 面积的相对精度

以实测三个大队的标准图件，分别量算面积，与土壤普查时，用任意网格法转绘的面积比较鉴定，其相对精度如下表：

地 点	计算方法	土 普 (公顷)	实 测 (公顷)	百分比(%)
华家公社三合大队	查 方 格	2029.43	2048.76	0.9
哈拉海公社头道大队	"	956.81	950.62	0.66
哈拉海公社二道大队	"	1881.59	1894.45	0.68

从精度限差讨论分析中，可以看出，图面固有精度是用较大值验证的。因此，用任意网格法转绘得出的图件精度略高于图面固有精度是合理的，与实测结果比较又基本一致。这说明任意网格法，在一定限定的条件下，应用于土壤普查航测成图其精确度是完全可以满足要求的。

五、小 结

从理论上和实践上看，任意网格法在平原区航片转绘中，确实是一种切实可行的办法，它不需要特殊的工具，建网简单，容易操作，符合精度，经济省工，便于推广，在目前技术力量薄弱，缺乏转绘仪器的情况下，是值得提倡的一种方法。

通过实践证明，运用任意网格法转绘，必须依航片镶嵌图作基础，两者是相辅相成的，使用航片镶嵌图有许多方便之处：

①镶嵌图视野开阔，在判读中可以纵观全局，乃是使用单张航片无法胜任的。②有利于全测区野外校核。③勾绘土壤界线以及地物要素等，在镶嵌图上能形成统一概念，可以避免不必要的接边和判读上的差错。④使用航片镶嵌图，便于群众干部帮助预判和判读。因为它为群众干部提供了一幅全测区完整、鲜明影像概念，为全测区正确判读创造了条件。⑤便于接图转绘，相对提高了转绘精度。

但是，使用航片镶嵌图也有不利的一面，如果航摄质量不高，航片三个固有误差（投影、倾斜等）就会增大，给制作航片镶嵌图带来了许多麻烦，制作镶嵌图时必须具备一定的技能和熟练的技巧，否则镶嵌图是很难制成的。同时制作镶嵌图，起码需要二套航片，相对提高了成本。