

攝影測量學 及 立體攝影測量學

第一卷

副 教 授 尼·德·伊里尹斯基編著
技術科學候補博士

武漢測量制圖學院

中華人民共和國

1957

第一卷 前言

第一卷是由航攝像光的解析及其量測的講稿所制訂成的。大部份解析關係的推导是由作者在备課过程中应用其原有的科学研究和現有的参考文献所完成的。

講稿的中文翻譯是由講師、航測系助理系主任刘葆樑和翻譯章菊女、支福虎完成的；在必要的情況下，教研組主任陳運付教授、黃古德講師及其他教師曾給予了幫助。

講課口譯是由刘葆樑講師担任，齒表准備由陳家耀同志完成。

我在这裡对系主任、教授、博士王之卓、講師刘葆樑、教研組主任、付教授陳運、講師黃古德、翻譯章菊女及教研組其他同志备課和講課中给我的幫助表示衷心的感谢。

H. D. 伊里英斯基

第1卷目錄

緒言

第八章 航相像片的分析

一般情况 ----- 1

§1. 坐标系、單張像片的定向元素 ----- 5

第1分節

傾斜航相像片和攝像地區上透視共軛點間坐標的解析關係

§2. 傾斜航相像片P上水平地面上的透視共軛點M和M'在坐標系X₀Y₀和X'N'Y'中的坐標間之解析關係 ----- 12

§3. 像片P上和水平地面E上透視共軛點坐標間解析關係的特殊情況 ----- 22

§4. 假如M'點不在水平地面E上，傾斜航相像片和地面上的透視共軛點M和M'坐標間的解析關係 ----- 34

§5. 导出公式的彙集和“航相像片分析”第八部分的高級總結 ----- 44

航相像片上影像的比例尺 ----- 53

§6. 當攝像地區為一平面時運用坐標系X₀Y₀和X'₀Y'₀情況下航相像片上影像的比例尺 ----- 55

§7. 當攝像區域為一平面時，運用坐標系X₀Y₀和X'N'Y'情況下，航相像片上影像的比例尺 ----- 58

§8. 在攝像地區為一平面的情況下，運用坐標系X₀Y₀和X'N'Y'時，航相像片上影像比例尺 ----- 61

§9. 在像片上的綫段“l”為比例尺，假如這綫段處於任意位置，而攝像地區是平面的（圖18） ----- 64

§10. 在航相像片上綫段“l”為比例尺，假如這綫段處於任意方向，而攝像地區是有起伏的 ----- 67

§11	航摄像片上(对解决若干实际问题具有近似意义)无限短小线段比例尺	73
§12	在本章第二節所推导出各公式的集	75
§13	若在确定像片上线长中(摄影地区是平区)运用主比例尺 $\frac{1}{H}$ 值时,误差的某些分析	79
§14	第二節的結論	88
	第三節	
	航摄像片和地区上相应角度間的关系	91
§15	在像片和水平地区上相应角度間的解析关系	91
§16	在像片和任意形状的摄影地区上相应方向线間的解析关系	99
§17	由任意像点引作方向线时,研究像片和地区上相应方向間的解析关系	105
§18	公式(III)的分析	109
§19	"航摄像片"本节的第三節之結論	112
	第四節	
	傾斜航摄像片上区投影像的状态(摄影地区是平区的)	115
§20	傾斜航空像片上的区投影像由于傾斜角的影响而产生的扭曲在像片的x-y坐标系上進行这问题的研究是最简单的	120
§21	"航摄像片的解析"第四部分之結論	123

第 1 卷目錄

緒言

第八章 摄影像片的分析

一般情况 - - - - - 1

§1. 坐标系、单张像片的几何元素 - - - - - 5
 第一节

倾斜摄影像片和摄影地区、透视共轭点间坐标的解析关系

§2. 倾斜摄影像片 P 和水平地面 E 透视共轭点 M 和 M' 在坐标系 X_0Y_0 和 $X'N'Y'$ 中的坐标间之解析关系 - - - - - 12

§3. 像片 P 上和水平地面 E 上透视共轭点坐标间解析关系的特殊情况 - - - - - 22

§4. 假如 M 点不在水准线 E 上，倾斜摄影像片和地面上的透视共轭点 M 和 M' 坐标间的解析关系 - - - - - 34

§5. 导出公式的集组和“摄影像片分析”第八部分的高级结论 - - - - - 44
 第二节

摄影像片上影像的比例尺 - - - - - 48

§6. 摄影地区为水平面时运用坐标系 X_0Y_0 和 $X'_0Y'_0$ 情况下摄影像片上影像的比例尺 - - - - - 55

§7. 摄影地区为水平面时，运用坐标系 X_0Y_0 和 $X'CY'$ 情况下，摄影像片上影像的比例尺 - - - - - 58

§8. 在摄影地区为水平面的情况下，运用坐标系 X_0Y_0 和 $X'N'Y'$ 时，摄影像片上影像比例尺 - - - - - 61

§9. 在像片上的线段“ l ”为比例尺，假如这个线段处于任意位置，而摄影地区是平坦的（图 18） - - - - - 64

§10. 在摄影像片上线段“ l ”为比例尺，假如这线段处于任意方位，而摄影地区是有起伏的 - - - - - 67

近似的(或正确地)判断透视变形的大小, 计算变形的方法和将整张像片的透视形像变换(设定比例尺)平面图的方法是下节摄影测量教程研究的对象。

为了推演分析航摄像片中所需要的解析关系公式, 我们首先运用透视理论, 但采取适合于摄影测量学内符号中的定义, 来研究单张像片中心投影的元素, 在开始之初, 我们给予正像的中心投影元素, (前1) 然后真像的特异(前2)

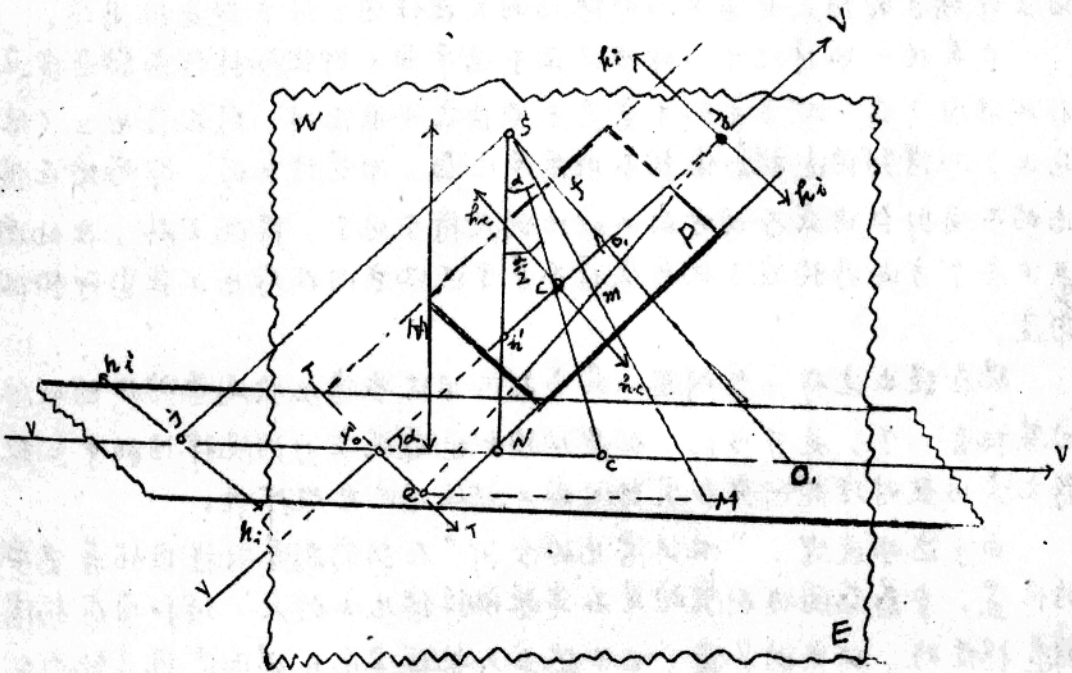


图 1

在面 l 上

E —— 表示物面。

S —— 表示投影中心 (航摄机物镜节点)

P —— 表示物方正像平面 (航摄象片摄影时的象面)

W —— 表示主垂面, 经过 S 点而垂直于面 l 和物面 E 的平面, (通常地面并非平面, 因此平面 W 是由点 S 的位置和它垂直于像面的主距确定的)。

主垂面 W 按线 $v-v'$ 切面 (此线称主垂线) 并按 $v-v'$ 线切面物面 (此线称主垂线的投影)。

TT' —— 表示透視軸, 此线由面 l 和物面相交而成。

i —— 表示主合点, 该点由在主垂面 W 内经投影中心 S 而平行于物面 (或航摄时水准面) 的直线和主垂线 $v-v'$ 相交而得到的, 位于物面 E 的平行于主垂线投影的许多直线, 其透視均交于这主合点 i 上。

$h-h'$ —— 真水平线, 是由通过投影中心 S 而平行于物面 E 的平面 (航摄时像经过 S 点而平行于水准面的平面) 与面 l 相交而得到, 真水平线 $h-h'$ 另外也可作为由位于物面 E 内许多直线组的透視像合点轨迹而确定, 前面曾讨论过的主合点 i 同样也可作为真水平线 $h-h'$ 和主垂线的交点而确定。

$h_j-h'_j$ —— 面水平线, 它位于物面内, 并由经 S 点而平行于面 l 的平面和物面 E 相交而得。

j —— 表示物面的主合点 (根据其定义这点正好如与主合点相反)

$f = SO_1$ —— 表示航摄仪主距, 向量 f 向面 l 垂直。

o_1 —— 面 l (像片) 主点, 向量 f 的底, 而 " o_1 " 是面 l (像片) 主点在物面上的投影。

n —— 像底点, 由在 W 平面内经过 S 点的直线垂直于物面 E 而得, (在航摄时 S_n 为铅垂线) 而 N 点表示像底点 n 在物面 E 上的投影, 像底点 " n " 总是在主垂线 $v-v'$ 上, 而它的投影 N 在主垂线的投影 $v-v'$ 上。

c 表示等角点，它永远在主垂线上，并由（经 S 点且位于平面 W 上的）等分 $\alpha = \angle n S O$ ，角的直线与主垂线相交而得到。

因而得。

$$\angle n S c = \angle c S O = \frac{1}{2} \alpha$$

c 点是等角点在物面上的投影，这个点永远位于主垂线的投影上（在 l_1 等比水平线（等比水平线像经过像点“ c ”而平行于 l_1 的直线）。

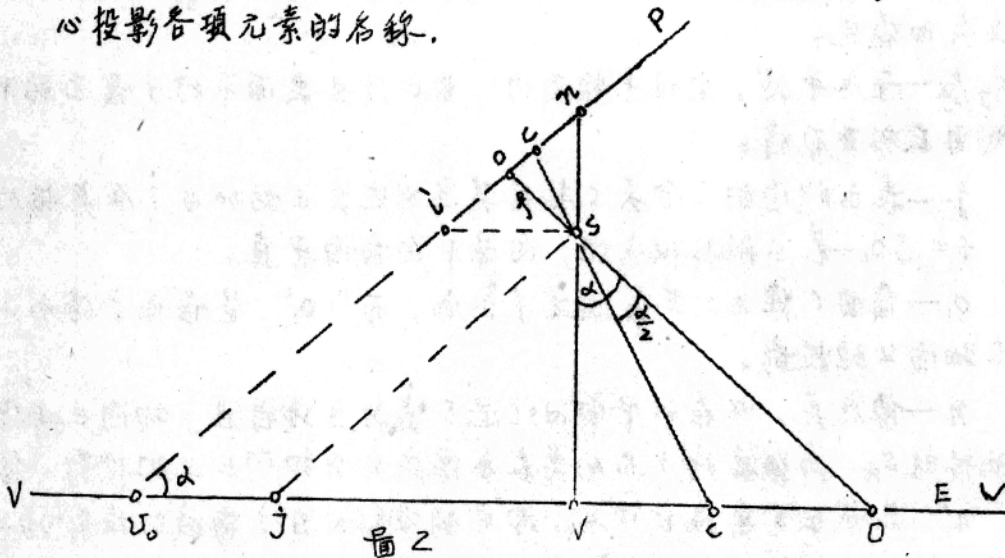
α 表示镜头对物面的倾斜角。

H 视高（航摄时，像投影中心在水准面和某地面点上的高程）。

$S M$ 表示投影光线（如果由 S 点处向点 $M, L, K \dots$ ，引出几条投影光线，则这是交在 S 点的投影光束）。

$M u M$ 位于镜头和物面上的相互视点：这些点位于同一投影光线上，真像时上述许多元素在名称上相同，并且建立（确定）这些元素的实质也类似上面所研究的，不过若干元素，因投影中心 S 点位于镜头 P 和物面 E 点之间，就处于另一位置（例如： α 为时，于点就在 T 的另一方等）。

在图上是在 W 平面上所有主要线点和线的投影，并给予真像中心投影各项元素的名称。



注冊 1 和 2 明顯的看出，完全保存着几何構成的实质，因此如果我们要建立正像解析關係，則完全可以採用，並且对于負像也可採用它（在許多情況下仅改變最后結果，即在真坐標值或方向中的符号）。

后一种情况使解林氏提出的航空像片分析方面問題大大簡易；即可以研究和推求仅对于正像，或仅对于負像的解析關係，事实上，在大多数情況下，必須与航攝像片（正像）有關係，因此所有一切推演均适用于正像。

在转入研究与航攝像片分析關係有關的問題之前，必須確定像片上和地面上測量時最常遇到的坐標系，和確定航攝像片在空間对于坐標系位置的定向元素，這一問題我們将在本章第一節中來研究。

§ 1 坐標系，單張像片的定向元素

在推導傾斜航攝像片和地面上透視共軌真坐標間的關係式，地面上的線段和其透視長度間的關係式，地面上方向線所組成的角度和這些方向線在航攝像片上的透視所組成的各角度間的關係式等時必須要运用像片上和地面上的坐標系，並確定這些坐標系間的關係。

可以進行研究的坐標系統是很多的，但是我們這裏只是按照正像圖形討論某几种在實踐中应用的坐標系。

1. 主要的固定坐標系 $S X' Y' Z'$ ，其坐標原真為 S （投影中心）在該坐標系統中，橫坐標 X' 平行于測區水平面上的橫坐標軸 X 高程 Z' 是鉛垂線，它通过投影中心 S （被攝區域水平面上坐標系 $N X Y Z$ 的原真（軸 Z' 和 Z 重合）縱坐標軸 Y' 和 Y 和橫坐標軸及高程垂直（縱坐標軸 Y' 和 Y 也是彼此平行）。

2. 坐標系 $N X Y Z$ 是輔助坐標系，它也以某種方式和地面測量坐標系 $O_r X_r Y_r Z_r$ 相聯系着。

3. 在傾斜航攝像片面 P 上有輔助直角坐標系，其坐標原真，隨着條件的不同可在真“ O ”（主真），真“ h ”（底真）或真“ c ”（等角真）上。

輔助坐標系的橫坐標軸“ x ”可以取與主縱線方向相重合的直

线或倾斜航摄像片面 P 和主要固定标(坐标系)平面 $(x'z''')$ 的交线, 辅助坐标系的纵坐标轴 " y " 是垂直于倾斜航摄像片面 P 平面上的 " x " 轴。

各坐标系间的联系

主要固定坐标系 $z'x'y's'$ 辅助坐标系以及测量坐标 $0, x_r, y_r, z_r$ 之间的联系是利用定向元素来确定, 利用这些元素可以确定投影中心 S 的位置, 以及像片本身在曝光时对测量坐标 $0, x_r, y_r, z_r$ 或主要固定坐标系 $z'x'y's'$ 的位置。

定向元素可以分为两类, 内部定向元素和外部定向元素, 现在我们分别的来研究它。

内部定向元素

内部定向元素决定着投影中心 S 的位置, 它包括: f (主焦距, 有时称摄影镜箱的焦距) 和像主点 0 相对于摄影镜箱实用标框的位置。若在摄影镜箱实用标框面上取假定坐标系, 并以某种方法表示出该系的坐标轴 x'' 和 y'' (图 3) 则就可以用 x''_0 和 y''_0 来表示像主点 0 的坐标。

最常遇到的摄影镜箱实用标框上的框标位置如下。

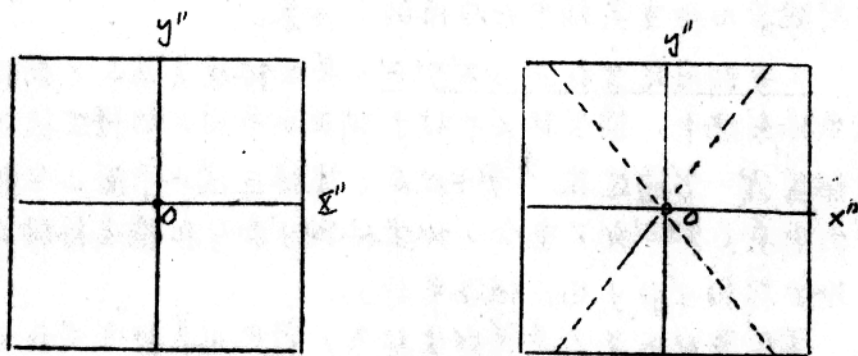


图 3

摄影镜箱实用标框上的框标位置总是尽量要这样的安置, 使得主点的坐标 x''_0 和 y''_0 等于零, 但是这不是经常能做到的, 所以坐标 x''_0 ,

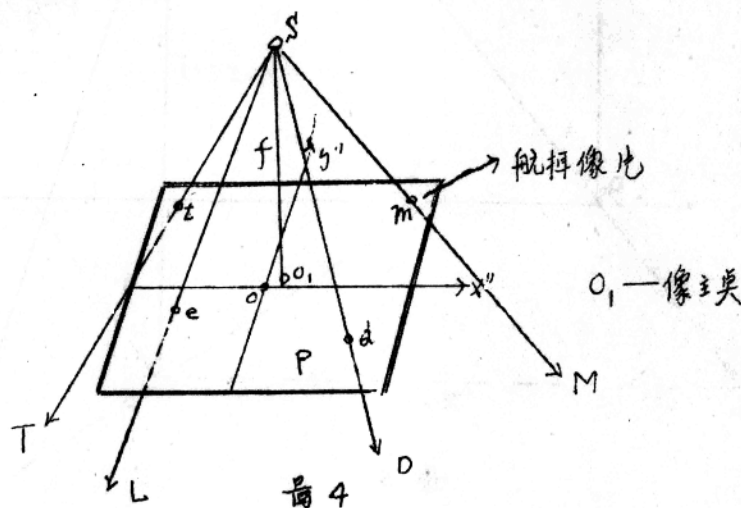
y''_0 或另外的这样的线。

和 γ_0'' 可能不等于零，通常坐标 x_0'' 和 y_0'' ，离开零的偏差值是很小的，可以用百分之几公厘表示，很少时达到 0.1~0.2 公厘。

为了求得投影中心 S 相对于像片的位置，必须要根据坐标 x_0'' 和 y_0'' 来求得像片上主点 O_1 的位置，并在该点上作垂线并截取距离 f (图 4)

内部定向的元素 f 和像主点的位置 O_1 要对每个摄影镜箱在实验室的条件下来测定，并且其测定精度要很高。

当知道内部定向元素之后，就可以恢复摄影时的光线束，为此，应该由求得的投影中心 S 引投影光线(直线)到像点(图 4)



外部定向元素

在一般情况下，像片在曝光时相对于地面的测量坐标系 $X_r Y_r Z_r O_r$ 的位置，决定着外部定向元素，这些元素包括以下六个要素(图 5)

$X_{r,s}, Y_{r,s}, Z_{r,s}$ 表示投影中心 S 的测量坐标。

τ 表示摄影时主光轴的方向角。

α 表示摄影镜箱的主光轴离开通过投影中心 S 的铅垂线之偏斜角

K 表示倾斜像片面上主纵线和倾斜像片 P 面上取作为辅助坐标系横坐标轴 x'' 间的夹角。

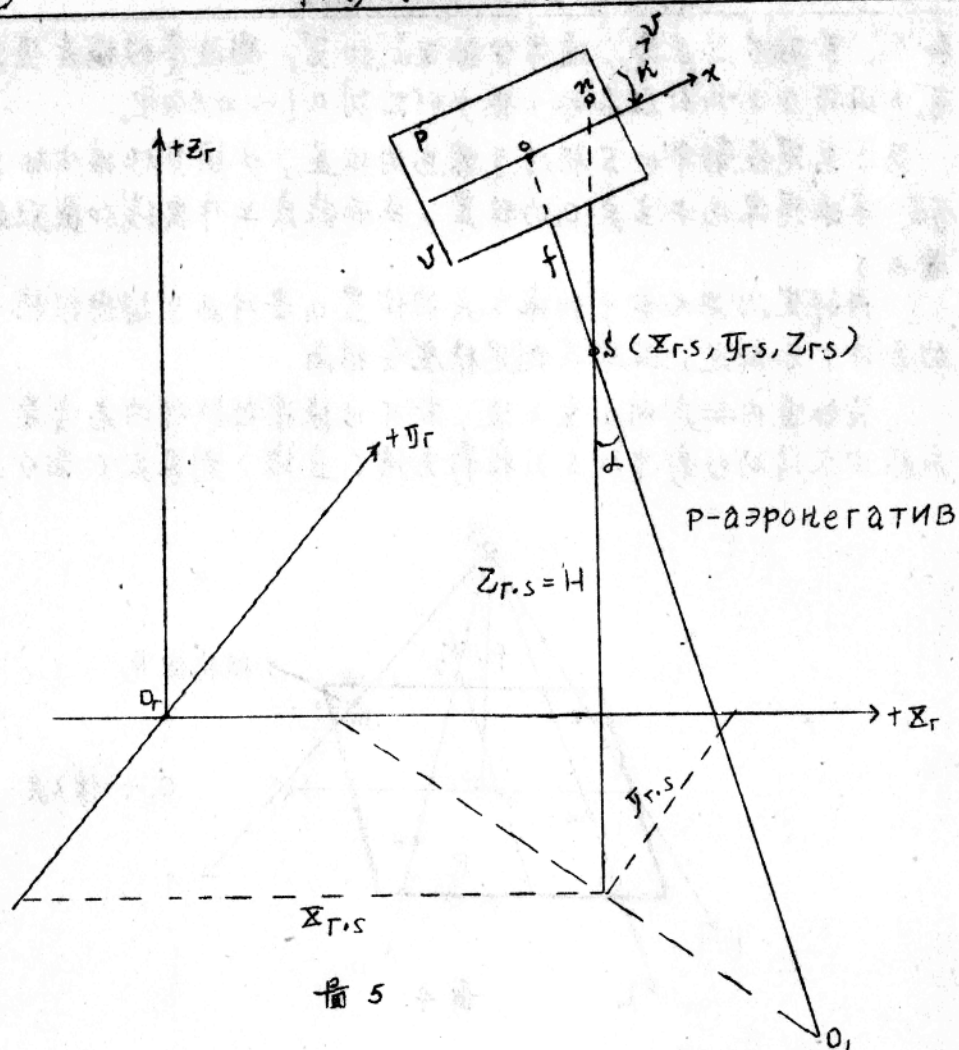


图 5

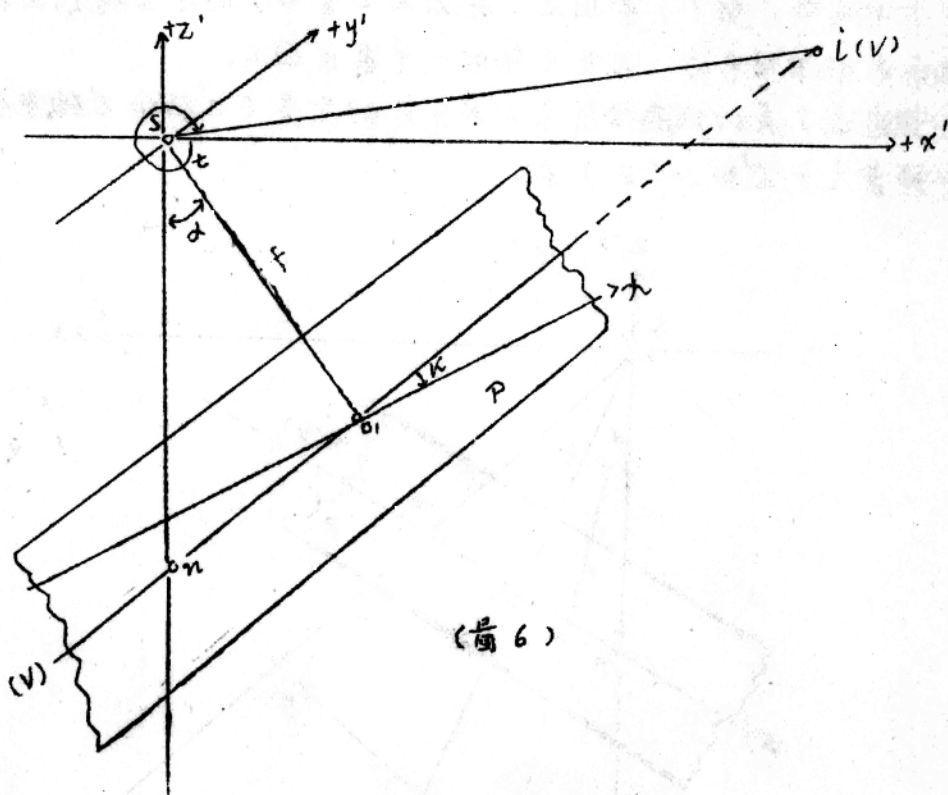
x_r, y_r 平面上的角度 γ 是自右方 x_r 轴的正向顺时针方向到摄影镜箱主光轴的投影间读取之。

α 角是在航摄负片面上由主纵线开始沿顺时针方向到“ x ”轴的正向间读取之。

当知道上述的外定向和内定向元素之后，就不难求出航摄负片在空间相对于地面测量坐标系 x_r, y_r, z_r, O_r 的位置。

为了研究有关航摄像片解析方面的问题，如果假设主要固定坐标系 S, x', y', z' 相对于测量坐标系的位置已经求得的话，则可以将问题简化，在此情况下，如果已知：

- α 摄影镜箱主光轴离轴通过投影中心 S 的铅垂线的偏斜角；
 t 摄影镜箱主光轴的方向角；
 K 倾斜航摄像片面上由主纵线方向 VV 和辅助坐标系 x 轴（以 O_1 为原点）所组成的夹角，以及航摄像片的内定向元素（ f 和 O_1 ）的话，则航摄像片相对于 $X'Y'Z'S$ 的位置（我们现在研究正像）就可确定（图 6）



(图 6)

在此情况下，角度 t 在 $Y'Z'$ 平面上，并由 Z' 轴正向到摄影镜箱主光轴的投影间读取之。

因此，在这种情况下，为了确定倾斜航摄像片相对于固定坐标系 $X'Y'Z'S$ 的空间位置，必须要知道三个外部定向元素： α ， t ， K 以及内部定向元素： f 和像主点的位置。

在“航摄像片解析”部份内，不准备研究定向元素的测定方法，

而假设所有元素已正确的知道,除此之外,为了简化实质上不能反映所研究问题严格性的解析关系的推演,假设投影中心 S 在地面坐标系中的位置为已知,知即假设主要的固定坐标系 S x' y' z' 严格的和辅助坐标系联系着,而元素 t 和 k 等于零。

考虑到这种情况,为了研究当前的问题可以运用前述坐标系中所推导出来的局部情况(即 $t=0$ 和 $k=0$)因此,可以运用以下的坐标系

1,主要固定坐标系 S x' y' (图7)其原点为 S ($x'=0, y'=0, z'=0$) 平面 W (图1)和固定坐标系 x' z' 重合,固定坐标系 x' 轴和被摄地区水平面相平行,并在 x' 轴的一个垂直面上。

z' 轴通过 S 点和地面坐标系 N x y z 的原点(z' 轴和 z 轴重合)
 y' 轴垂直于 x' 和 z' (z)轴。

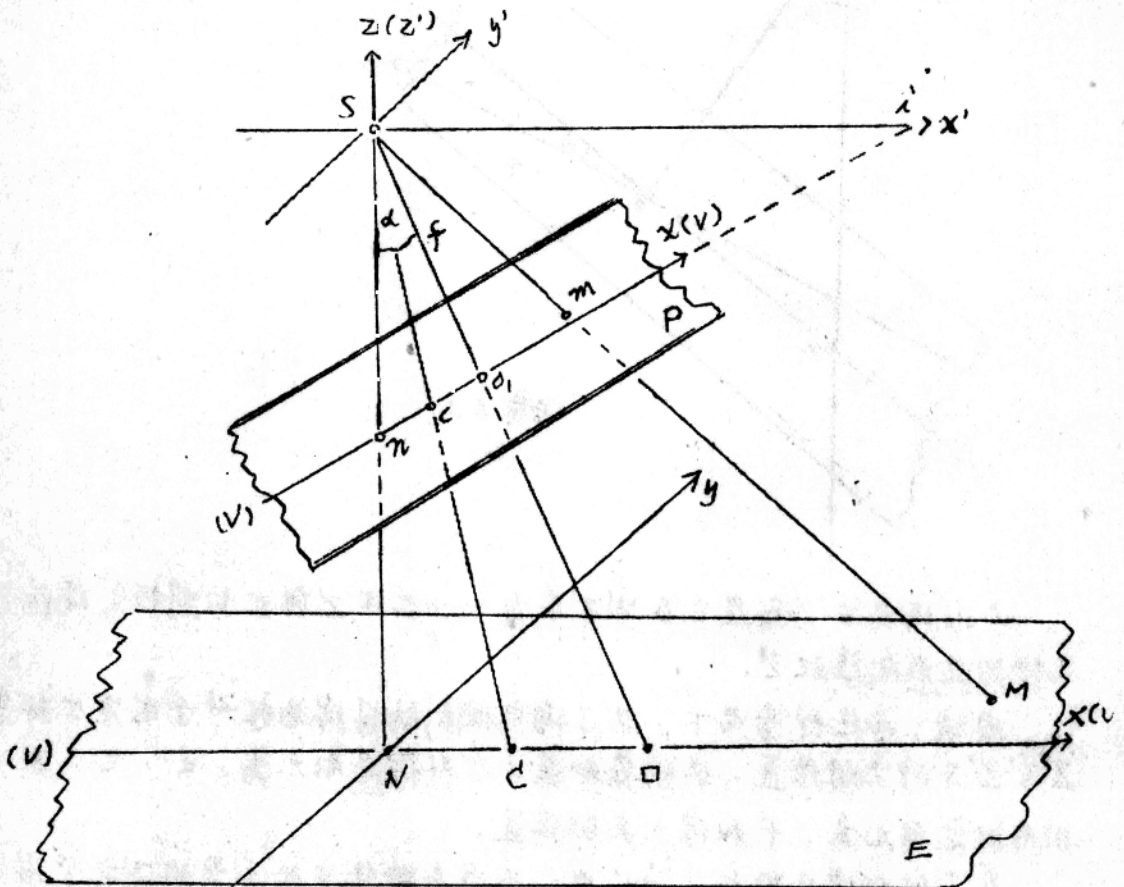


图 7

2. 地面坐标系 $N \times Y \text{ 乙}$ 平行于主要固定坐标系 $S \times Y' Z'$, 并且 X 轴和 Z' 轴重合 (图 7.)

3. 在倾斜航摄像片面内的辅助直角坐标系 $x \circ y$ (图 7) 取主纵线为 "x" 轴, 取其垂线为 "y" 轴 (坐标原点和像主点 O 重合)

根据这三种坐标系我们来进行有关航摄像片解析方面的研究工作
在编写摄影测量教本中有关航空像片解析的问题时, 许多学者除了运用上述的坐标系以外, 还运用某^些辅助直角坐标系 (图 7 中没有表示) 尤其是:

a, 在倾斜像片平面上有坐标系 $x \circ y$ (以等角 c 为坐标原点) 和 $X \pi y$ (以底点 π 为坐标原点) 在这二种坐标中, x 轴也和主纵线 $V V$ 的方向相重合。

b, 在水平面 E 上有坐标系 $X \circ Y$ (以主点的投影 O 为原点) 和 $X c Y$ (以等角点的投影 c 为原点) 在这二种坐标系中, X 轴也和主纵线投影 $V V$ 的方向相重合。

因此, 在推演各种解析关系式时, 这种情况将被看作特殊情况来研究。

现将所用的符号列举如下: 在“航摄像片解析”这部份中将全部保持用这些符号。

$S \times Y' Z'$ —— 主要固定坐标系, 其原点为 S ,

$X'_m Y'_m Z'_m$ —— 倾斜航摄像片平面 P 上 "m" 点在主要坐标系中的空间坐标;

$x_m y_m$ —— 倾斜航摄像片平面 P 上 "m" 点在辅助坐标系 $x \circ y$ 中的直角坐标;

$x^c_m y^c_m$ —— 倾斜航摄像片平面 P 上 "m" 点在辅助坐标系 $x \circ y$ 中的直角坐标;

$X Y Z N$ —— 地面的辅助空间坐标系, 原点为 N 点 (Z 和 Z' 重合)

$X_M Y_M Z_M$ —— 地面 M 点在坐标系 $X Y Z N$ 中的坐标;

$X^o_M Y^o_M$ —— M 点在水平地面 E 上辅助坐标系 $X \circ Y$ 中的直角坐标;

$X^c_M Y^c_M$ —— M 点在水平地面 E 上辅助坐标系 $X c Y$ 中的直角坐标;

$X'_M Y'_M Z'_M$ — M 点在物面上坐标系 $S X' Y' Z'$ 中空间坐标;

对起地具有高差的点的坐标以 $y_{Mn} x_{Mn}$ 表示, 而其投影以 x_{Mn} y_{Mn} 或 $y_{Mn} x_{Mn}$ 等表示之。

在航摄像片解析的这章内, 预定讲解四节, 在第一节内, 研究倾斜航摄像片和地面上透视共轭点坐标间的解析关系, 在第二节内, 研究有关直线扭曲和影像比例尺测定的问题, 在第三节和第四节内, 研究有关角度扭曲和航摄像片上面积扭曲问题。

第一節

倾斜航摄像片和被摄地面上透视共轭点间坐标的解析关系

$S 2$. 倾斜航摄像片 P 和水平地面 E 透视共轭点 m 和 M 在坐标系 $X O Y$ 和 $X' N Y'$ 中的坐标间之解析关系。

在本节中, 将研究这样的情况, 即在倾斜像片平面 P 上 (图 7) 取辅助坐标系 $X O Y$ (坐标原点 O 和像主点 O_i 重合) 而在平^平地面上取辅助坐标系 $X' N Y'$ (坐标原点 N 和底点的投影 N 相重合) (见图 7) 上述所研究的情况规定了 $t = 0$; $k = 0$, S 为坐标原点, 其在主要固定坐标系 $S X' Y' Z'$ 或 $S X' Y' Z$ 中的空间位置为已知。

一般来讲, 在一定的条件下, 某些最简单的解析关系可以用解答相似三角形和其它简单的简化来推导出来。

但是实际证明, 在研究“立体摄影测量”中的问题时, 主要是在推演各种精密解析关系时, 解答相似三角形的简化法是完全不适用的, 因此就有必要找出“航摄像片解析”部份以及摄影测量和立体摄影测量课程某些其他部份中的一般解答问题之方法, 根据作者的意见, 这样的方法即为利用空间坐标系 $S X' Y' Z'$ 和 $N X' Y'$ 和倾斜像片的辅助坐标系来确定解析关系 (见 § 1) 在推演时, 最好是运用立体解析几何的演绎工具, 因为它相当简单和很明显。

在编写讲义过程中所进行的研究证明了, 总的来说这样的研究航摄像片解析的问题在数学上是比较“完整”的

除了现有的公式外, 利用这样的方法还能得出在理论和实际

上都很重要的新的解析关系式，并确定在推导方法和立体摄影测量解析推导间产生直接的联系。

根据这些看法，我们在本节中首先研究某些次要的问题，然后再来推导主要的关系式。

1 某些主要点的空间坐标（在 $S X' Y' Z'$ 系统中）当 $t=0$ 和 $k=0$ 时的倾斜像片平面的方程式。

由图 8 不经任何推导可以直接得出，某些点在 $S Z' X' Y'$ 系中的空间坐标为：

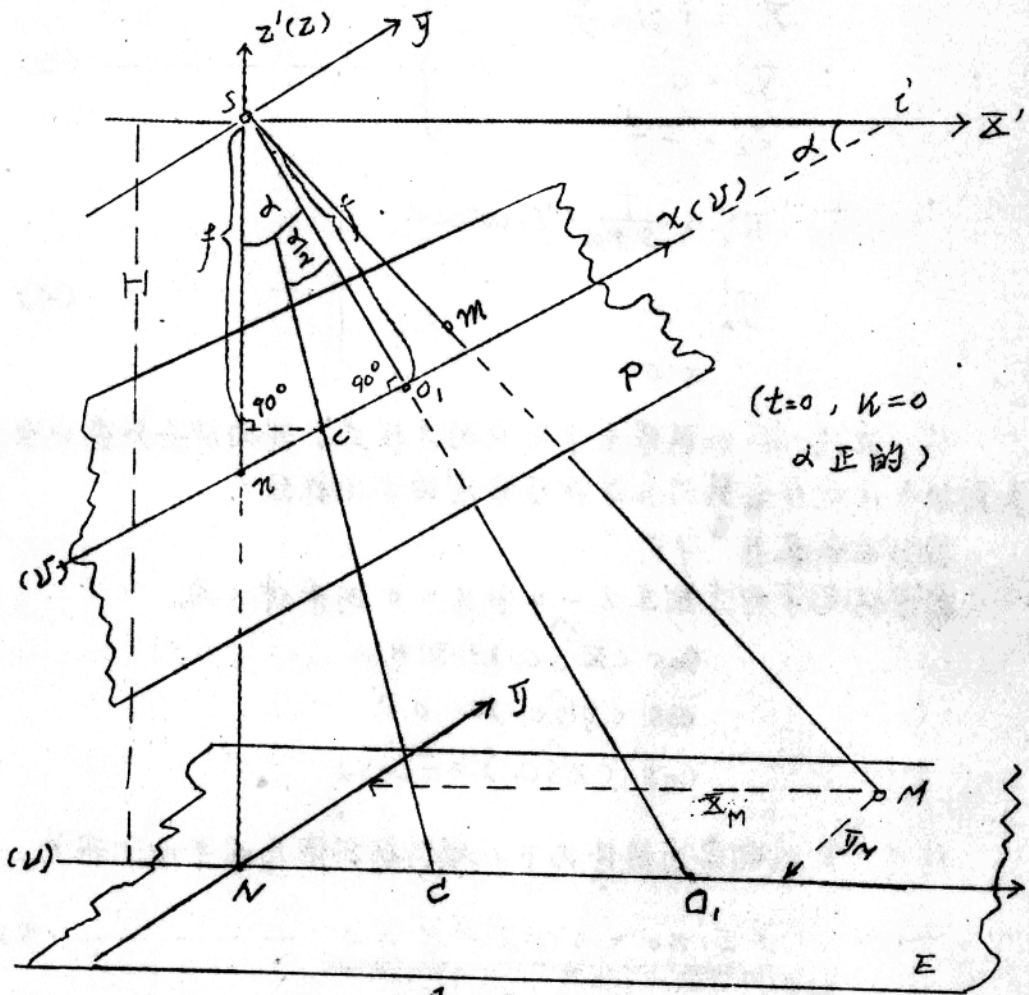


图 8