

# 电子计算机在 摄影三角测量中的应用

A·H·洛巴諾夫 著

鄒海明 譯

中国工业出版社

# 电子计算机在 摄影三角测量中的应用

A·H·洛巴诺夫 著

鄒海明 譯

中国工业出版社

本书詳細地闡述了以应用电子計算机使解算过程机械化为基础的空中摄影三角測量解析法的理論。此外，还介紹了电子計算机的基本知識，并扼要地闡述“烏拉尔”計算机和“箭牌”計算机，以及关于应用这些計算机建立摄影測量网的試驗性作业和試驗性生产作业。

本书乃是摄影測量教程与加选課程《摄影測量学的电气和电子方法》的教学参考书。本书也可作为研究摄影測量以及应用它解决各种任务等有关人員的参考資料。

本书由武汉測繪学院鄒海明同志翻譯，在翻譯过程中曾經王之卓等同志校閱。

Проф. доктор технических наук

А. Н. Лобанов

ФОТОТРИАНГУЛЯЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Издательство геодезической литературы

МОСКВА 1960

\* \* \*

电子計算机在  
摄影三角測量中的应用

鄒海明譯

\*

国家測繪总局測繪书刊編輯部編輯（北京三里河国家測繪总局）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本  $850 \times 1168 \frac{1}{32}$  · 印張  $4 \frac{7}{16}$  · 插頁 1 · 字数 103,000

1963年3月北京第一版·1963年5月北京第一次印刷

印数 0,001—1,347 · 定价(10-6)0.73元

\*

統一书号: 15165 · 1930(測繪 48)

## 編 者 的 話

本著作中闡述了应用立体座标仪和电子計算机解算空中三角測量解析法的理論。此外，还闡述并分析了根据这个方法使用“烏拉尔”計算机和“箭牌”計算机所完成的試驗性作业和試驗性生产作业的方法及成果。

謹以愉快的心情，向M. Д. 康辛教授、Г. В. 罗曼諾夫斯基教授、П. С. 帕沙副教授、M. H. 尤塔諾夫副教授、科学技术副博士E. M. 拉伯夫斯基、科学技术副博士A. B. 卡列夫及摄影測量教研組教师致以深切的謝意，因其在这个方法的研究过程中，以及在討論、評閱和校閱原稿时提供了宝貴的意見和批評。

A. 洛巴諾夫教授

## 序

苏联发展国民经济的七年计划提出了完成工农业生产过程综合机械化的任务。同时规定了生产的广泛自动化，从而要根本地减轻和改善劳动条件并大大地提高劳动生产率。在这种自动化的条件下，人们主要的工作是制订技术操作过程的程序和规则，以及操纵仪表和自动装置，这样就根本地改变劳动过程和提高劳动人民的文化和技术水平。

在编绘地形图时实现生产过程机械化和自动化的强有力的工具是电子技术，其中特别是电子计算机。

在航测生产中运用了电子计算机便首先地开辟了发展解析法，并把这些方法广泛地应用于建立摄影测量控制网的新的可能性。

俄国和苏联的学者对于处理像片的解析法的发展作出了巨大的贡献。早在1899年Г. H. 舍布耶夫和H. H. 维先洛夫斯基发表了“摄影测量学的几何原理”的著作，在该著作中研究了地物点及其在像片上的影像的座标相互关系[40]。在P. Ю. 齐列，B. Ф. 纳伊杰诺夫教授和H. M. 阿历克萨波尔斯基教授的名著中也相应地论述了解析法[33, 26, 1]。

在1926年出版了H. Г. 克利教授著的“摄影测量空间后方交会”一书，该书对进一步完善解析法[11]起了巨大的作用。

A. C. 斯基里多夫教授探讨了建立在应用他本人提出的立体全能测图仪[30]上的空中摄影三角测量的解析法。在A. C. 斯基里多夫“空中摄影三角测量”[31]著作中详细深入地阐述了这一方面的理论和实验性的研究结果。

在1936年Г. B. 罗曼诺夫斯基教授提出了用直线法测定航摄像片的高程，而在1938年Г. П. 汝可夫研究了空中摄影三角测量的微分法。这两种方法广泛地应用于苏联领域比例尺为1:100 000的制图作业中，而目前用于编制大比例尺的地图[9, 28]。

A. C. 瓦卢耶夫、П. Н. 腊帕索夫、A. A. 斯米尔诺夫及M. Н. 尤塔诺夫发展了地面摄影测量的解析法。

H. A. 烏尔馬耶夫教授在摄影测量方面作了許多理論上的研究工作。他的著作对于摄影测量学有巨大的貢獻，其中特别是对于处理航摄像片解析法的理論[36, 37, 38]方面，貢獻尤大。H. A. 烏尔馬耶夫首先指出了应用輻射三角仪建立空中摄影测量网的可能性。

在1945年M. Д. 康辛教授和Г. В. 罗曼諾夫斯基教授提出了独创的无扭曲模型的方法，这种方法根据航摄像片只要花最少的計算工作量便能确定出地面点的高程和平面位置[29]。

H. Г. 克利教授对于解决摄影测量的基本問題提出了十分重要的基綫平面間距法[13]。

在1949年M. Д. 康辛教授和 H. П. 柯热夫尼科夫副教授研究了运用无綫电测高仪的讀数建立平面摄影测量网的图解解析法。这个方法保証可以独立地测定像片导綫边的絕對值，因此，这与建立菱形鎖[15, 16, 17]相比便大大地提高了建立平面网的精度。

不久前出版的H. Д. 伊里英斯基的著作[10]闡述了改进确定航摄像片相对定向元素的解析法。

在A. C. 斯里利多夫、Ф. В. 德洛貝雪夫、M. Д. 康辛、H. Я. 波比尔、B. Ф. 杰依涅科諸教授，H. Н. 維先洛夫斯基副教授及其他的作者所編的著名的摄影测量学教科书中，以及在H. П. 米哈伊洛夫編的教学参考书[24, 25]中都十分重視解析法。

本书闡明在应用电子計算机的基础上的空中摄影三角测量的解析法。这个方法能够正确地 and 快速地根据航摄像片确定地面点的座标，以及确定編制地形图及解决其他問題所需要的航摄像片的外方位元素和相对定向元素。

这方法的实质如下。

在某一航綫的每一立体像对上量测出为了建立摄影测量网所选择的点的座标和視差。在这些点中包括有待定的点和控制点。

网的展开是从建立第一模型开始的。根据已量测得的第一立

体像对点位的座标和視差，計算航摄像片的相对定向元素。然后任意地选定左方像片的外方位元素，求出摄影測量基綫的方位角和傾斜角，計算出右方航摄像片的外方位元素和第一个模型点的摄影測量座标。

用类似的方法建立第二模型和其他模型。同时作为后一个立体像对的左方航摄像片的外方位元素不是应用任意的数值，而是利用处理前一立体像对后所得的数值。然而每一立体像对的摄影測量基綫是任意选定的。因此，在一般情况下后一模型的比例尺不同于前一个模型。可根据連接点把所有的模型归化成同一比例尺。

建立模型的結果使得自由的摄影測量网，該网各部分的比例尺都是一样的，并且它对于所有的模型有統一的座标系。

当确定地面点的大地座标时，摄影測量网应根据控制点进行大地定向。此时，不仅要考虑到摄影測量座标系的变换，而且要考虑网变形的改正。

因此，上述空中摄影三角測量解析法的基本程序如下：

1. 量測航摄像片。
2. 确定航摄像片的相对定向元素。
3. 确定摄影基綫的方位角和傾斜角。
4. 确定右方像片的傾斜角和旋角。
5. 确定右方摄影站点的摄影測量座标。
6. 确定模型点的摄影測量座标。
7. 归化模型的比例尺。
8. 确定网点的大地座标。

第一个程序是利用立体座标仪完成的，其它的程序是在电子計算机上完成的。第二个到第七个程序是在量測某一航綫或某些航綫所有立体像对后才进行的，并且重复的次数即为网中的立体像对数。

只是当确定了所有网点的摄影測量座标后，方可轉入第八个程序。

电子计算机上的计算是根据严密的公式进行的。因此，上述的方法没有任何方法上的误差。它的精度仅与原始数据有关。

网点的摄影测量坐标直接在建立第一模型时所选择的，对每个立体像对都是统一的坐标系中计算。该方法的这一特点消除了空中摄影测量其它解析法所固有的模型的相对定向过程。

建立每一模型都是利用同一公式进行的，以便可以保证编制电子计算机上循环的计算程序。循环的程序在计算网点的摄影测量坐标时并不限制像对的数目。在确定大地坐标时，如果只利用电子计算机的内存储器，锁的长度要受到限制。如果计算过的摄影测量坐标记录在外存储器上，同时计算网点的大地坐标时是应用记录下来的结果，那末在这种情况下像对的数量实际上便不受限制。

根据作者的建議摄影测量教研組与航空摄影測量队，中央計算所及苏联軍事測繪科学研究所共同地研究上述方法。在研究过程中除了作者外，积极参加的还有：А. А. 馬加米达利也夫、И. А. 什米特、Е. В. 菲利莫諾夫、Г. В. 拉扎列夫、М. Н. 布鲁舍夫、В. А. 阿列斯金科夫、Н. П. 格腊明尼茨卡娅、М. У. 布鲁季納諸工程师及Е. П. 舒雷金、К. А. 阿維爾基耶娃、В. Г. 波波娃、В. В. 舒金納、Н. Е. 謝米諾娃、В. И. 克魯奇諾瓦諸技术員。

在組織和进行試驗性作业中，А. П. 烏皮特、М. А. 維克斯列尔、Н. П. 普罗科菲也夫、Л. И. 沙特罗夫斯基、А. Ф. 什列伊尼格、Е. М. 莫伊謝夫、Л. С. 古林、С. И. 馬芒托夫都給予极大的协助。



# 目 录

## 編者的話 序

### 第一章 摄影三角測量理論

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1 基本符号和公式 .....        | 9  |
| 2 确定航摄像片的相对定向元素 .....  | 12 |
| 3 确定摄影基綫的方位角和傾斜角 ..... | 21 |
| 4 确定右航摄像片的傾斜角和旋角 ..... | 25 |
| 5 确定右摄影站点的摄影測量座标 ..... | 26 |
| 6 确定模型点的摄影測量座标 .....   | 27 |
| 7 归化模型比例尺 .....        | 28 |
| 8 确定网点的大地測量座标 .....    | 29 |
| 9 根据模型像片檢驗方法的理論 .....  | 32 |
| 10 傾斜航摄像片的三角測量法 .....  | 35 |

### 第二章 电子計算机的基本知識

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 11 电子計算机的工作原理和其方框图 ..... | 39 |
| 12 数的編碼 .....            | 41 |
| 13 往計算机內輸入数 .....        | 45 |
| 14 电子計算机的元件 .....        | 48 |

### 第三章 应用“烏拉尔”机的摄影三角測量

|                        |    |
|------------------------|----|
| 15 “烏拉尔”机簡述 .....      | 57 |
| 16 “烏拉尔”机的指令系統 .....   | 61 |
| 17 “烏拉尔”机上的計算程序 .....  | 64 |
| 18 确定航摄像片的相对定向元素 ..... | 76 |
| 19 按模型像片构建鎖网 .....     | 82 |
| 20 按航摄像片构建鎖网 .....     | 88 |

### 第四章 应用“箭牌”机的摄影三角測量

|                  |     |
|------------------|-----|
| 21 “箭牌”机簡述 ..... | 100 |
|------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 22 “箭牌”机的指令系统 .....    | 104 |
| 23 “箭牌”机上的计算程序 .....   | 111 |
| 24 确定航摄像片的相对定向元素 ..... | 120 |
| 25 按模型像片构建锁网 .....     | 127 |
| 26 按航摄像片构建锁网 .....     | 135 |
| 結束語 .....              | 139 |
| 参考文献 .....             | 141 |

# 第一章 摄影三角测量理论

## 1 基本符号和公式

图 1 表示：航摄像片，摄影站点  $S$ ，航摄像片的坐标系  $xy$ ，摄影测量坐标系  $XYZ$ 。

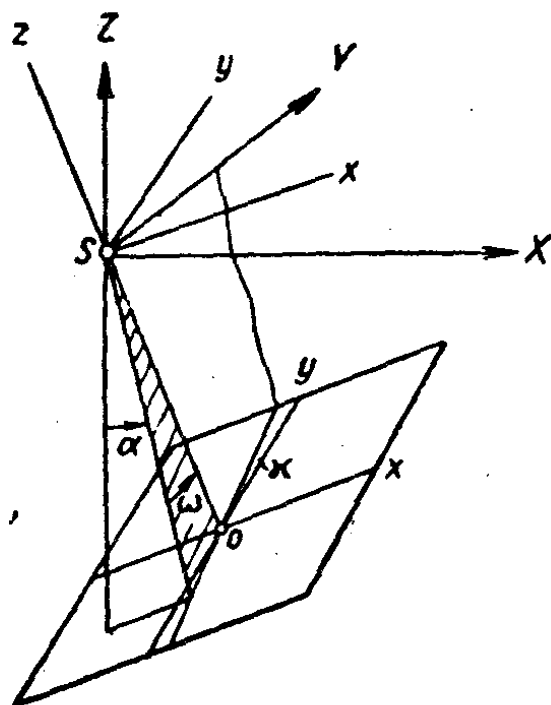


图 1 单张像片的外方位元素。

假定采用下面的量作为单张航摄像片的外方位元素：

$X_s, Y_s, Z_s$ ——摄影站点的坐标；

$\alpha$ ——航摄像片的航向倾角，由  $Z$  轴与主光线  $So$  在  $XZ$  平面上的投影构成；

$\omega$ ——航摄像片的旁向倾角，由主光线及其在  $XZ$  平面上的投影组成；

$\kappa$ ——航摄像片的旋角，介于像片的  $y$  轴和平面  $SoY$  在其上的迹线之间。

航摄像片上点的空间坐标和平面坐标之间具有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} X &= a_1 x + a_2 y - a_3 f \\ Y &= b_1 x + b_2 y - b_3 f \\ Z &= c_1 x + c_2 y - c_3 f \end{aligned} \right\}, \quad (\text{I.1})$$

其中  $f$  是用以获得航摄像片的摄影机焦距;  $a_i, b_i, c_i$  是航摄像片的转动张量的分量, 由如下公式确定

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega \\ b_1 &= \cos \omega \sin \kappa \\ b_2 &= \cos \omega \cos \kappa \\ b_3 &= -\sin \omega \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \right\}. \quad (\text{I.2})$$

量  $a_i, b_i, c_i$  是坐标系  $Sxyz$  的方向余弦, 在这坐标系中  $x$  和  $y$  轴是相应地平行于航摄像片内的  $x$  和  $y$  轴。例如,  $a_1$  是由轴  $x$  和  $X$  所组成的角的余弦 (表 1)。

表 1

| 轴   | $x$   | $y$   | $z$   |
|-----|-------|-------|-------|
| $X$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
| $Y$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ |
| $Z$ | $c_1$ | $c_2$ | $c_3$ |

9 个方向余弦中, 只有 3 个是相互独立的。

如果方向余弦已知, 则航摄像片的外方位角元素可以按下面公式求得:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= -a_3/c_3 \\ \sin \omega &= -b_3 \\ \operatorname{tg} \kappa &= b_1/b_2 \end{aligned} \right\}. \quad (\text{I.3})$$

水平航摄像片上像点的座标  $x^0, y^0$  和其在倾斜航摄像片上对应点的座标  $x, y$  有下述的公式联系:

$$\left. \begin{aligned} x^0 &= -f \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ y^0 &= -f \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \right\}. \quad (\text{I.4})$$

于此, 这二張航摄像片具有共同的投影中心和相等的主距。

立体像对  $P_n - P_n$  的外方位元素表示如下:

$X_S, Y_S, Z_S$ ——左摄影站点的摄影测量坐标;

$\alpha_n, \omega_n, \kappa_n$ ——左航摄像片的傾斜角和旋角 (图 2);

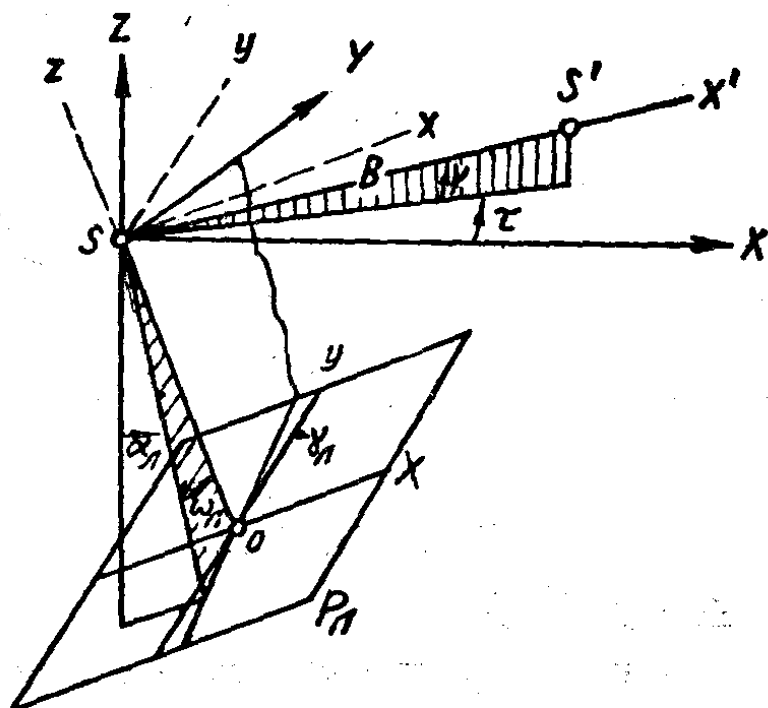


图 2 立体像对内左像片的外方位元素和其摄影基线。

$X_{S'}, Y_{S'}, Z_{S'}$ ——右摄影站点的摄影测量坐标;

$\alpha_n, \omega_n, \kappa_n$ ——右航摄像片的傾斜角和旋角。

摄影基线的傾斜角和方位角以  $\tau$  和  $\nu$  表示。

相对于左摄影站点的摄影测量坐标增量按下面的公式确定:

$$\Delta X = Nx^0; \Delta Y = Ny^0; \Delta Z = -Nf, \quad (\text{I.5})$$

式中

$$N = \frac{B_x + \frac{x^0}{f} B_z}{x^0 - x^{0'}}. \quad (\text{I.6})$$

公式 (I.6) 内的  $B_x$  和  $B_z$  是摄影基线在轴  $X$  和  $Z$  上的投影;  
 $x^0, y^0$  和  $x^{0'}$  是待定地面点在左方和右方水平航摄像片上的坐标,  
按公式 (I.4) 计算。

我們选取与  $\alpha, \omega$  和  $\kappa$  等角相类似的值 (图 3), 作为航摄像对的相对定向元素。

$\alpha$ ——在左航摄像片主核面内介于摄影基线的垂线和左光束

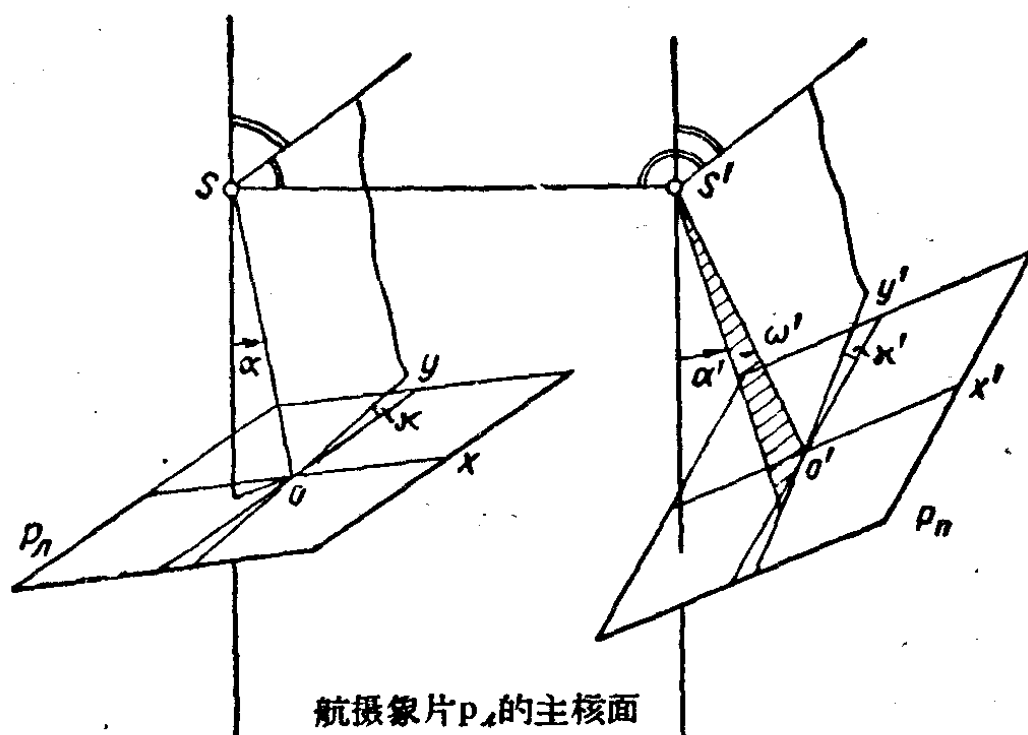


图3 像对的相对定向元素。

的主光线间的夹角；

$x$  ——在左航摄像片上介于 $y$ 轴和通过主光线 $So$ 并垂直于主核面 $SoS'$ 的平面在像片上的迹线间的角；

$\alpha'$  ——在左航摄像片主核面内介于基线的垂线和右光束的主光线间的夹角；

$\omega'$  ——右光束的主光线和 $SoS'$ 平面间所构成的夹角；

$x'$  ——在右航摄像片上介于 $y$ 轴和通过主光线 $S'o'$ 且垂直于平面 $SoS'$ 的平面与其相交的迹线间的角。

## 2 确定航摄像片的相对定向元素

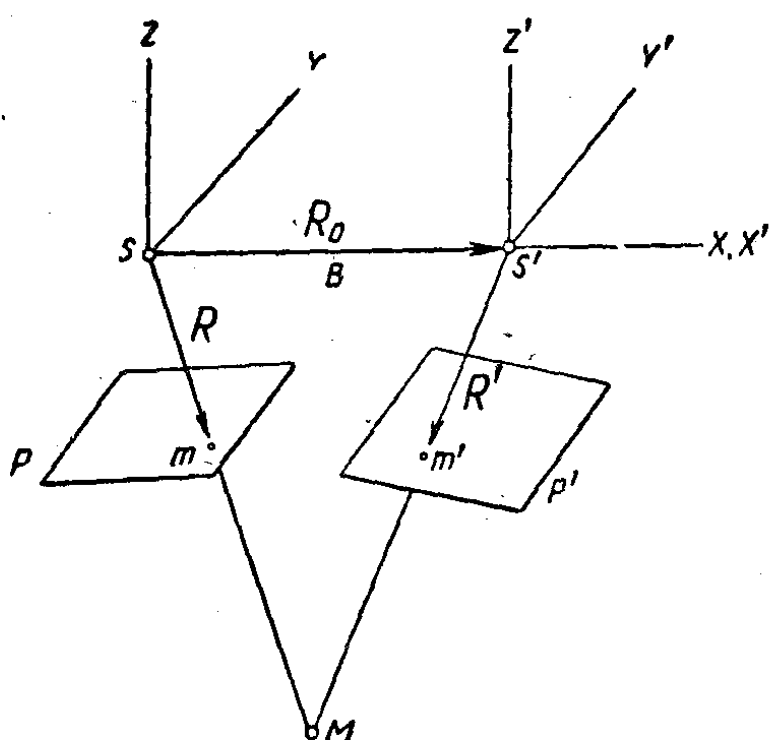
第一种方法。只有在足够精确地测定航摄像片相对定向元素的条件，才可能用解析法高精度地建立摄影测量网。然而解算这个问题的已知方法不能认为是十分完美的，因为它的精度随着航摄像片的倾斜，地区地形的起伏以及和在其上量测上下视差的点位对于标准位置的偏差等的增大而显著下降。

下面推荐的方法，避免了上述缺点。它保证能高度精确地测定出竖直航摄像片的相对定向元素，而与地区地形起伏的大小和象

点对于标准位置的偏差无关。按照这个方法，首先用逐渐趋近法求得左和右航摄像片坐标系的方向余弦，这些方向余弦确定了这些像片相对于立体模型的摄影测量坐标系的位置，然后作为方向余弦的函数，计算出航摄像片的相对定向元素。

在空中摄影三角测量中，方向余弦也被利用来测定摄影基线的方向，以及用来测定航摄像片的外方位角元素。

图 4 表示已经相对定向的航摄像对  $P-P'$ ，具有投影中心  $S$



和  $S'$ ，一对相应象点  $m$  和  $m'$ ，其相应的摄影射线  $Sm$ ， $S'm'$  和立体模型的点  $M$ 。

取点  $S$  作为坐标系  $XYZ$  的坐标原点。坐标轴  $X$  与摄影基线  $B$  一致，而轴  $Y$  指向垂直于航摄像片主核面的方向。

点  $S'$ ， $m$  和  $m'$  相对于点  $S$  的位置由向量  $R_0$ ， $R$  和  $R'$  确

图 4 已经相对定向的像对。

定。因为已经相对定向好的光束内的相应射线位于同一个核面内，所以这些向量具有共面性。

$$R_0 \cdot (R \times R') = 0 \quad (I.7)$$

或写成座标的形式

$$\begin{vmatrix} B & 0 & 0 \\ X & Y & Z \\ X' & Y' & Z' \end{vmatrix} = 0, \quad (I.8)$$

其中  $X$ ， $Y$ ， $Z$ ——点  $m$  在坐标系  $SXYZ$  内的座标；

$X'$ ， $Y'$ ， $Z'$ ——点  $m'$  在平行于坐标系  $SXYZ$  的坐标系

$S'X'Y'Z'$  內的座标。

从公式 (I.8) 推得

$$YZ' - ZY' = 0. \quad (\text{I.9})$$

按 (I.1)

$$\left. \begin{aligned} Y &= b_1x + b_2y - b_3f \\ Z &= c_1x + c_2y - c_3f \end{aligned} \right\}. \quad (\text{I.10})$$

对于豎直航摄像片，方向余弦  $b_1$ 、 $b_3$ 、 $c_1$  和  $c_2$  的一級微小量 [参考公式 (I.2)]:

$$b_1 = \kappa; \quad b_3 = -\omega; \quad c_1 = \alpha; \quad c_2 = \omega. \quad (\text{I.11})$$

在第一次趋近中，可以假定

$$b_2 = 1 \text{ 和 } c_3 = 1. \quad (\text{I.12})$$

利用 (I.10) 并考虑到对于左像片  $\omega = 0$ ，我們可以写出

$$\left. \begin{aligned} Y &= b_1x + y \\ Z &= c_1x + c_2y - f \\ Y' &= b'_1x' + y' - b'_3f \\ Z' &= c'_1x' + c'_2y' - f \end{aligned} \right\}. \quad (\text{I.13})$$

将这些量代入 (I.9) 并經简单的改化后，即得豎直航摄像片相对定向的方程式:

$$\frac{xy'}{f} c_1 - \frac{x'y}{f} c'_1 - \left( f + \frac{yy'}{f} \right) c'_2 + xb_1 - x'b'_1 + q = 0. \quad (\text{I.14})$$

这是一个由 5 个未知的方向余弦  $c_1$ 、 $c'_1$ 、 $c'_2$ 、 $b_1$  和  $b'_1$  的方程式。其中两个是属于左航摄像片的 ( $b_1$  和  $c_1$ )，三个是右航摄像片的 ( $b'_1$ 、 $c'_1$  和  $c'_2$ )。立体像对中每一个点可以組成一个方程式 (I.14)。这样一来，为了确定这些未知数，需要量测 5 点的座标和上下視差，然后組成如 (I.14) 式的 5 个方程。如果量测的点数大于 5，则这个问题可按最小二乘法解算。

引进符号

$$\left. \begin{aligned} \overline{a} &= \frac{xy'}{f} \\ \overline{b} &= -\frac{x'y}{f} \end{aligned} \right\}$$