解析摄影测量学

〔苏〕A. H. 拉巴诺夫 著

科 学 出 版 社

解析摄影测量学

〔苏〕A. H. 拉巴诺夫 著
华 瑞 林 译

科 学 出 版 社
1 9 7 8

内 容 简 介

本书较全面阐述了解析摄影测量学的理论和基于利用精密立体量测仪器以及电子计算机处理象片的解析方法.

全书共分八章. 第一章至第四章分别推导了单张象片和象片对的基本公式及其微分公式；第五章研究了确定象片和模型定向元素的各种方法；第六章详细地阐述了单航线和多航线（整块的）空中摄影三角测量的理论与实验成果. 最后两章系统地介绍了国际上近年来研制的自动化的立体坐标仪和单象坐标仪以及在象片上将点子打上标号的仪器，而且对利用象片资料编制地形图、象片图件和象片判读的自动化问题，提出了原则性的阐述.

本书可供从事摄影测量专业的工程技术、科研人员和有关专业的大专院校师生参考，对于从事自动化制图和遥感工作的人员也有一定的参考价值.

А. Н. Лобанов

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ

Издательство «Недра»

Москва, 1972

解析摄影测量学

〔苏〕A. H. 拉巴诺夫 著

华 瑞 林 译

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年12月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1978年12月第一次印刷 印张：8 1/2

印数：0001—9,830 字数：191,000

统一书号：15031·212

本社书号：1306·15—10

定价： 1.05 元

译者的话

本书全面地阐述了解析摄影测量学的理论，同时，介绍了为适应摄影测量解析法而使用的自动化的精密立体坐标仪、单象坐标仪以及在象片上将点子打上标号的仪器。并有电子计算机解求空中摄影三角测量的算法、程序与试验结果。从而对解析摄影测量的理论与实际，给予一个完整的阐述。本书还介绍了利用象片资料进行自动测图与象片判读的自动化等问题。

这本专著同其他的摄影测量方面著作相比较，显著地缩减了摄影测量后方交会、象片对的相互定向、模型的外部定向以及空中摄影三角测量整个过程的理论阐述。书中总结了在解析摄影测量方面利用电子计算机的经验，同时，反映了在国际上这个问题的现状与展望。

由于译者的水平有限，敬希广大读者对译文提出宝贵意见，以改进今后的工作。

译　者

目　　录

第一章　单张象片的基本公式

§1. 目标点及其在象片上构象点坐标间的关系式

表示地面点及其在象片上相应点坐标间的关系式，首先是单张象片的基本公式．

设从 S 点摄得象片 P（图 1），地面点 M 的构象为 m，让我们来求这两点坐标间的关系．

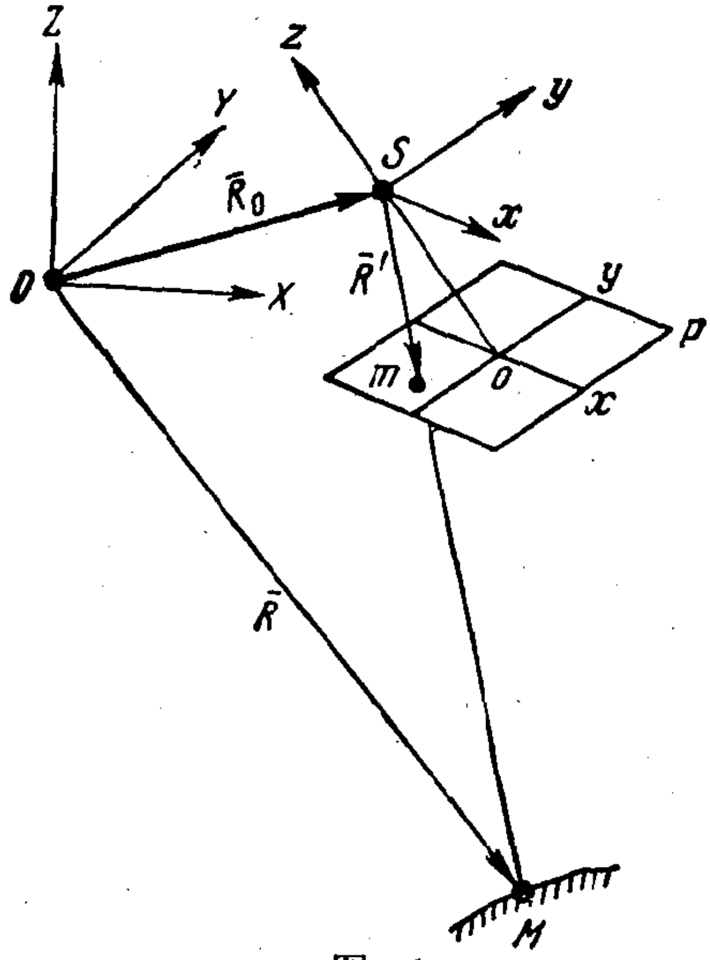

图　1

以向量 $\bar{R}_0$[1] 或坐标 X_0，Y_0，Z_0 确定摄影点 S 相对于起始点 O 的位置．M 点相对于同一个起始点的位置，以向量 $\bar{R}$ 和

1）向量符号按原书用短划表示，如 $\bar{R}_0$，未按我国习惯排法排．——译者

坐标 X, Y, Z 确定. 而 m 点相对于 S 点的位置,用向量 $\bar{R}'$ 或坐标 X', Y', Z' 确定.

向量 $\bar{R}'$ 和 $\overline{SM} = \bar{R} - \bar{R}_0$ 是共线的,因而

$$\bar{R}' = m(\bar{R} - \bar{R}_0), \tag{1.1}$$

式中 m——纯量.

我们把向量 (1.1) 投影到坐标轴 X、Y、Z 轴上,因为这些向量的组成要素是成比例的,所以可写成:

$$\frac{X - X_0}{X'} = \frac{Y - Y_0}{Y'} = \frac{Z - Z_0}{Z'}.$$

因此

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (Z - Z_0)\frac{X'}{Z'}, \\ Y &= Y_0 + (Z - Z_0)\frac{Y'}{Z'}. \end{aligned} \tag{1.2}$$

§2. 象片点空间坐标的确定

公式 (1.2) 内含有象片点的空间坐标, 而实际上通常是量测这个点的平面坐标.

象片点的空间坐标 X'、Y'、Z' 可以根据平面坐标 x、y 和象片的外定向角元素 α、ω、κ (图 2) 来求得.

设 oxy 是在象片上以象主点为原点 o 的坐标系, 我们引进空间辅助坐标系 $Sxyz$, 这个系统的 x, y 轴是和象片上的相应坐标轴相平行的,而 z 轴是沿着主光线 oS 的方向. 象点 m 在 $Sxyz$ 系统内的坐标等于 x, y 和 $z = -f$.

现在可以利用在解析几何里大家所熟知的坐标变换的公式写出:

$$\begin{aligned} X' &= a_1x + a_2y - a_3f, \\ Y' &= b_1x + b_2y - b_3f, \\ Z' &= c_1x + c_2y - c_3f, \end{aligned} \tag{1.3}$$

式中 a_i——X 轴同 x, y, z 轴组成的角度的方向余弦；

b_i——Y 轴同 x, y, z 轴组成的角度的方向余弦；

c_i——Z 轴同 x, y, z 轴组成的角度的方向余弦(表 1).

假如象片上的坐标原点不与主点重合，那末，公式 (1.3)

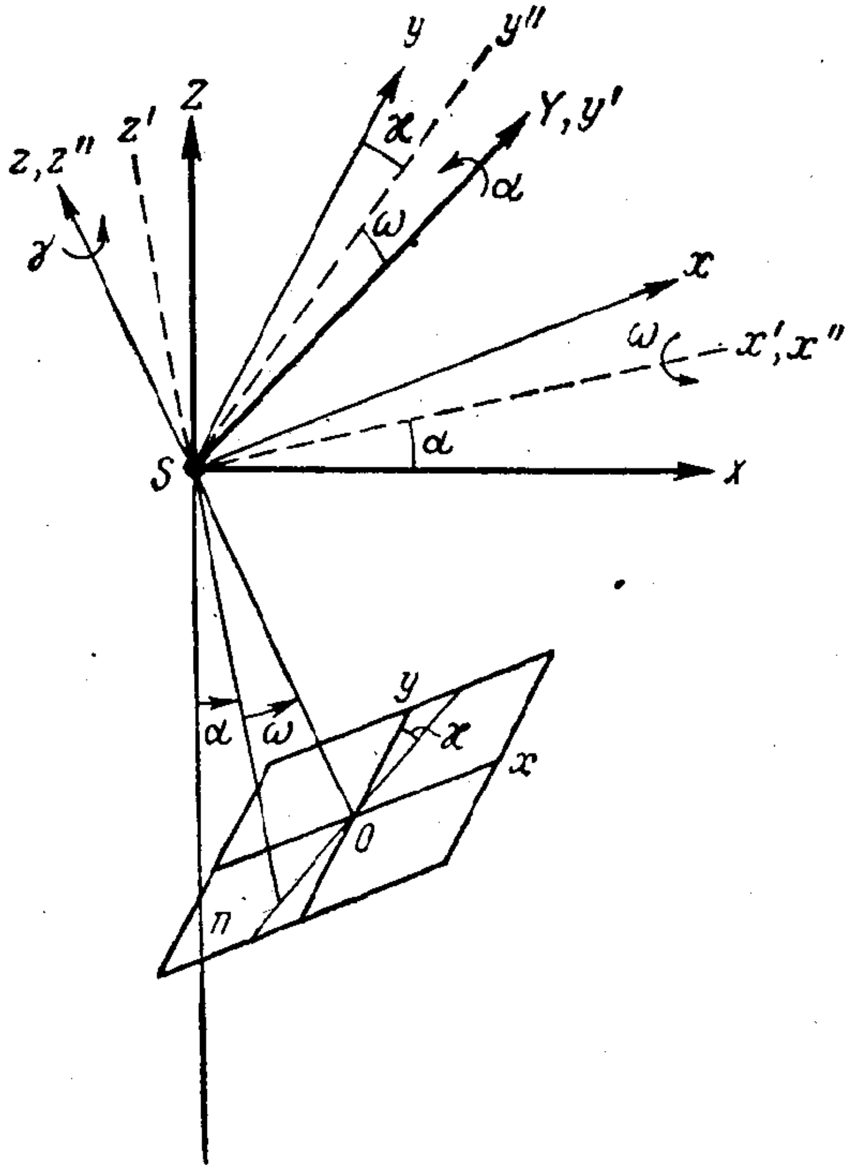

图 2

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

采用下面的形式:

$$
\begin{aligned}
X' &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3 f,\\
Y' &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3 f, \qquad (1.4)\\
Z' &= c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3 f,
\end{aligned}
$$

式中 x_0 和 y_0——象主点的坐标.

公式(1.3)和(1.4)可以从象点的平面坐标转换到空间坐标. 相反的转换公式具有下面的形式:

$$
\begin{aligned}
x - x_0 &= a_1 X' + b_1 Y' + c_1 Z',\\
y - y_0 &= a_2 X' + b_2 Y' + c_2 Z', \qquad (1.5)\\
z &= a_3 X' + b_3 Y' + c_3 Z' = -f.
\end{aligned}
$$

余弦 a_i, b_i, c_i 确定了 $SXYZ$ 和 $Sxyz$ 两个坐标系统的相对位置,称为方向余弦. 由解析几何学知道,它们之间是由六个独立的方程式联立的:

$$
\begin{aligned}
a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 = 1, &\quad a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 = 0,\\
b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1, &\quad b_1 c_1 + b_2 c_2 + b_3 c_3 = 0, \qquad (1.6)\\
c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 = 1, &\quad c_1 a_1 + c_2 a_2 + c_3 a_3 = 0.
\end{aligned}
$$

因而得出,九个余弦只有三个是独立的,也就是说,九个余弦取决于三个参数.

将(1.4)式的坐标改变成由余弦 a_i, b_i, c_i 组成的矩阵表示:

$$
A = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}. \qquad (1.7)
$$

矩阵(1.7)谓之三阶方阵,或称变换坐标的矩阵.

用下面的矩阵确定(1.5)式的坐标变换:

$$
A' = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}, \qquad (1.8)
$$

此式是以矩阵 A 的行代之以列而得,称之为转置矩阵.

将 (1.4) 和 (1.5) 式以矩阵的形式表示，可写成：

$$\begin{vmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix} \tag{1.9}$$

$$\begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{vmatrix}. \tag{1.10}$$

§ 3. 方向余弦的确定

在前面一节里已经指出，方向余弦取决于三个参数.我们取象片的外定向角元素 (参阅图 2) 作为这样的参数：

α——象片的纵向倾角，是主光线在 XZ 平面上的投影同 Z 轴组成的角度；

ω——象片的旁向倾角，是主光线在 XZ 平面上的投影同主光线组成的角度；

κ——象片旋角，由 y 轴和 Soy 平面在象片上的迹线组成的角度.

元素 α, ω, κ 是欧拉 (Эйлера) 角，我们求出用这些角度表示九个余弦的公式，为此，将 $SXYZ$ 坐标系旋转 α、ω 和 κ 角(参阅图 2).

由于第一次绕 Y 轴旋转 α 角的结果，$SXYZ$ 坐标系就变成 $Sx'y'z'$. 相应于这个旋转的矩阵为：

$$A_\alpha = \begin{vmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{vmatrix},$$

式中各元素是 XYZ 轴和 $x'y'z'$ 轴组成角度的方向余弦.

第二次绕 x' 旋转 ω 角，$Sx'y'z'$ 系改变成 $Sx''y''z''$，相应于这个旋转的矩阵的诸元素，是 x', y', z' 转同 x'', y'', z'' 轴

组成的角度的方向余弦:

$$A_\omega = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{vmatrix}.$$

第三次绕 z'' 轴旋转 κ 角以后,$Sx''y''z''$ 系转换成 $Sxyz$,相应于这个旋转的矩阵为:

$$A_\kappa = \begin{vmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

式中诸元素是由 x'', y'', z'' 轴与 x, y, z 轴组成角度的方向余弦.

借对于旋转 α, ω, κ 组成的矩阵相乘的方法，便得到由坐标 $x, y, z=-f$ 转换到坐标 X', Y', Z' 确定的矩阵 A:

$$A = A_\alpha A_\omega A_\kappa.$$

矩阵 A_α 乘以矩阵 A_ω——就等于组成新的矩阵 $A_{\alpha\omega}$，由于矩阵 A_α 的列乘以矩阵 A_ω 的行的结果，便得到它的组成要素。运用这个法则之后,便得:

$$A_\alpha A_\omega = \begin{vmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha\sin\omega & -\sin\alpha\cos\omega \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ \sin\alpha & \cos\alpha\sin\omega & \cos\alpha\cos\omega \end{vmatrix}.$$

将这个矩阵乘上矩阵 A_κ 之后,便得:

$$A = \begin{vmatrix} (\cos\alpha\cos\kappa - \sin\alpha\sin\omega\sin\kappa) & (-\cos\alpha\sin\kappa - \sin\alpha\sin\omega\cos\kappa) & -\sin\alpha\cos\omega \\ \cos\omega\sin\kappa & \cos\omega\cos\kappa & -\sin\omega \\ (\sin\alpha\cos\kappa + \cos\alpha\sin\omega\sin\kappa) & (-\sin\alpha\sin\kappa + \cos\alpha\sin\omega\cos\kappa) & \cos\alpha\cos\omega \end{vmatrix}.$$

由 (1.7) 式代入这个式子之后，便写成:

$$a_1 = \cos\alpha\cos\kappa - \sin\alpha\sin\omega\sin\kappa,$$

$$
\begin{aligned}
a_2 &= -\cos\alpha\sin\kappa - \sin\alpha\sin\omega\cos\kappa, \\
a_3 &= -\sin\alpha\cos\omega, \\
b_1 &= \cos\omega\sin\kappa, \\
b_2 &= \cos\omega\cos\kappa, \\
b_3 &= -\sin\omega, \\
c_1 &= \sin\alpha\cos\kappa + \cos\alpha\sin\omega\sin\kappa, \\
c_2 &= -\sin\alpha\sin\kappa + \cos\alpha\sin\omega\cos\kappa, \\
c_3 &= \cos\alpha\cos\omega.
\end{aligned}
\tag{1.11}
$$

如果方向余弦是知道的话，那末，由公式(1.11)得出可按下面的公式计算α，ω和κ角：

$$
\begin{aligned}
\operatorname{tg}\alpha &= -\frac{a_3}{c_3}, \\
\sin\omega &= -b_3, \\
\operatorname{tg}\kappa &= \frac{b_1}{b_2}.
\end{aligned}
\tag{1.12}
$$

公式(1.11)对于象片外定向元素的任何值都是适宜的.

竖直象片的外定向角元素，数值很小。因为当竖直航空摄影时，摄影镜箱的贴附框平面位于近乎水平的位置，而象片的x坐标轴同摄影测量坐标系的X轴组成不大的角度.因此，包含在公式(1.11)里的α、ω和κ角的三角函数，可以展开成级数。从而得到为了确定竖直象片的方向余弦非常简单的表达式.

展开三角函数级数的时候，考虑到小值一次项和二次项.便得：

$$a_1 = \left(1 - \frac{1}{2}\alpha^2\right)\left(1 - \frac{1}{2}\kappa^2\right) = 1 - \frac{1}{2}\alpha^2 - \frac{1}{2}\kappa^2,$$

$$a_2 = -\kappa - \alpha\omega.$$

相似地可以求得其余的余弦.将公式(1.11)提供成这样

的形式：

$$a_1 = 1 - \frac{1}{2}\alpha^2 - \frac{1}{2}\kappa^2,$$

$$a_2 = -\kappa - \alpha\omega,$$

$$a_3 = -\alpha,$$

$$b_1 = \kappa,$$

$$b_2 = 1 - \frac{1}{2}\omega^2 - \frac{1}{2}\kappa^2, \qquad (1.11')$$

$$b_3 = -\omega,$$

$$c_1 = \alpha + \alpha\kappa,$$

$$c_2 = \omega - \alpha\kappa,$$

$$c_3 = 1 - \frac{1}{2}\alpha^2 - \frac{1}{2}\omega^2.$$

在象片外定向角元素 $\alpha\omega\kappa$ 的系统里（参阅图 2），初期的旋转轴是 y 轴，而初期的角度是象片的纵向倾角 α. 这样的系统是在多倍仪、蔡司精密立体测图仪以及其他仪器里实现了. 在威尔特 (Вильд) 自动测图仪里，采用初期旋转轴是 X 轴的 $\alpha\omega\kappa$ 角定向元素系统（图 3），初期的角度是象片的旁向倾角 ω.

为了得到确定如图 3 所示的 ω、α 和 κ 角方向余弦的公式，我们将矩阵 A_ω、A_α 和 $A\kappa$相乘，也就是组成矩阵

$$A = A_\omega A_\alpha A_\kappa$$

结果我们求得：

$$a_1 = \cos\alpha\cos\kappa,$$

$$a_2 = -\cos\alpha\sin\kappa,$$

$$a_3 = -\sin\alpha,$$

$$b_1 = \cos\omega\sin\kappa - \sin\omega\sin\alpha\cos\kappa,$$

$$b_2 = \cos\omega\cos\kappa + \sin\omega\sin\alpha\sin\kappa, \qquad (1.13)$$

$$b_3 = -\sin\omega\cos\alpha,$$
$$c_1 = \sin\omega\sin\kappa + \cos\omega\sin\alpha\cos\kappa$$
$$c_2 = \sin\omega\cos\kappa - \cos\omega\sin\alpha\sin\kappa$$
$$c_3 = \cos\omega\cos\alpha.$$

因此，

$$\operatorname{tg}\omega = -\frac{b_3}{c_3},\ \sin\alpha = -a_3,\ \operatorname{tg}\kappa = -\frac{a_2}{a_1}. \qquad (1.14)$$

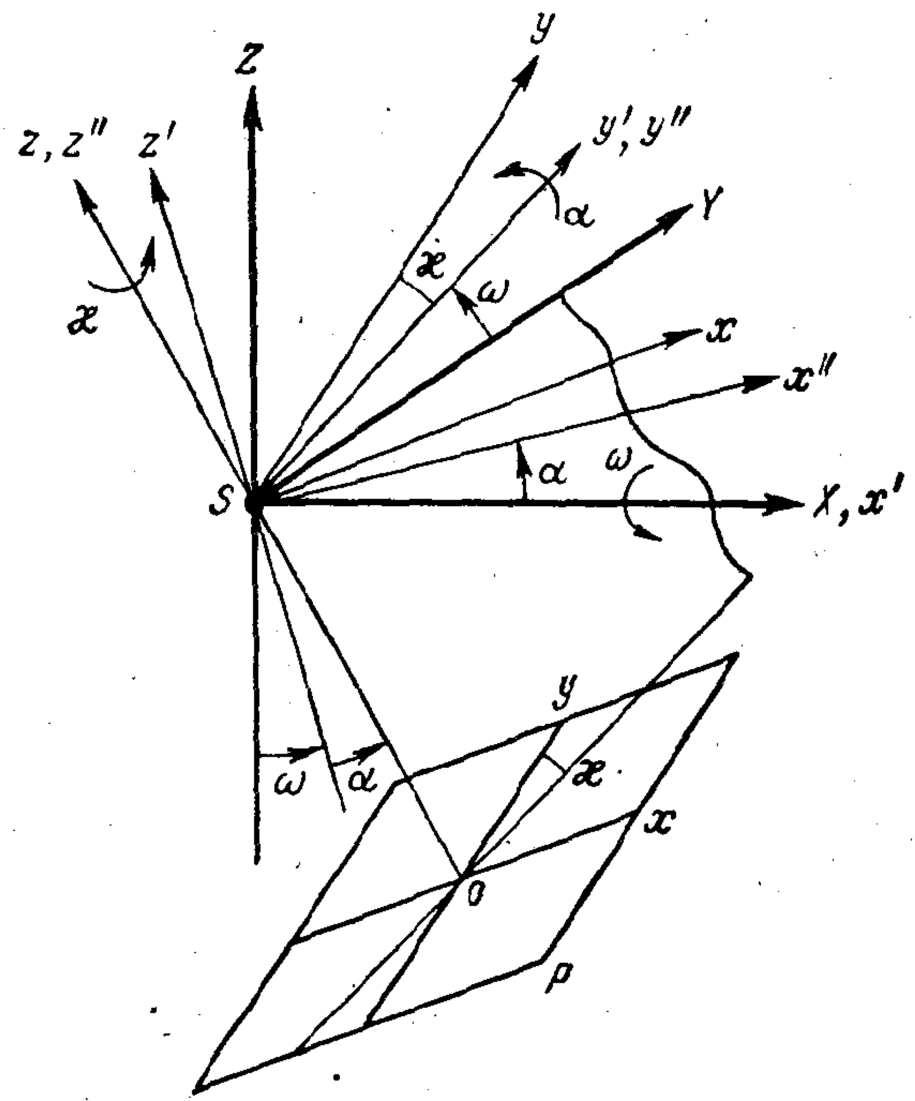

图 3

§4. 象片点与相应目标点坐标间的关系式

公式 (1.2) 表示目标点及其在象片上构象点坐标间的关系。在摄影测量学里，利用表示相反关系的公式，也就是根据

相应目标点的坐标可以确定象片点的坐标.

例如，当计算为了摄影三角测量解析法的检校和全能立体量测仪器的检验而利用的模型象片的时候，要解算这样的问题. 作为其他的例子是，当根据设定的在地形图(地面)上公里网交叉线的坐标,以计算在象片上相应点的坐标,可以引用为在象片上建立坐标网.

借(1.1)式的向量投影在辅助坐标系 $Sxyz$ 系统的轴上的方法,从而求得为了解算这些问题的公式(参阅图 1):

$$\frac{X^*}{x-x_0}=\frac{Y^*}{y-y_0}=\frac{Z^*}{z},$$

式中 X^*, Y^*, Z^*——在 $Sxyz$ 系统内 M 点的坐标;

$x, y, z=-f$——在 $Sxyz$ 系统内 m 点的坐标;

x_0, y_0——象主点坐标.

采用坐标变换的公式之后,便得:

$$\begin{aligned} X^* &= a_1(X-X_0)+b_1(Y-Y_0)+c_1(Z-Z_0), \\ Y^* &= a_2(X-X_0)+b_2(Y-Y_0)+c_2(Z-Z_0), \\ Z^* &= a_3(X-X_0)+b_3(Y-Y_0)+c_3(Z-Z_0); \end{aligned} \tag{1.15}$$

这里的 a_i, b_i, c_i——方向余弦;

X, Y, Z——在 $OXYZ$ 系统内 M 点的坐标;

X_0, Y_0, Z_0——在 $OXYZ$ 系统内 m 点的坐标.

因此,

$$\begin{aligned} x-x_0 &= -f\frac{a_1(X-X_0)+b_1(Y-Y_0)+c_1(Z-Z_0)}{a_3(X-X_0)+b_3(Y-Y_0)+c_3(Z-Z_0)}, \\ y-y_0 &= -f\frac{a_2(X-X_0)+b_2(Y-Y_0)+c_2(Z-Z_0)}{a_3(X-X_0)+b_3(Y-Y_0)+c_3(Z-Z_0)}. \end{aligned} \tag{1.16}$$

§5. 水平象片的基本公式

如果摄影镜箱轴的位置是铅垂的话,那末,外定向元素 α