

---

# 摄影测量学

Photogrammetry

# 像片纠正与正射影像图

1. 像片纠正的概念与分类

2. 数字微分纠正

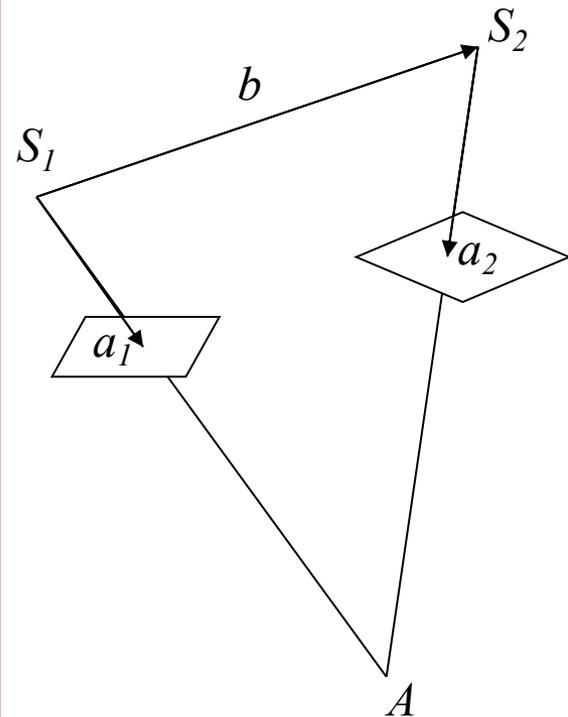
3. 立体正射影像对的制作方法

4. 数字正射影像图的制作方法

# 像片纠正与正射影像图

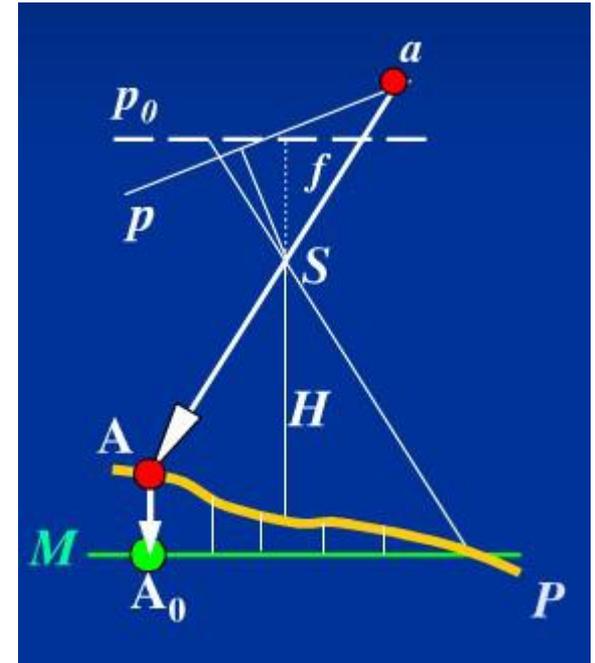
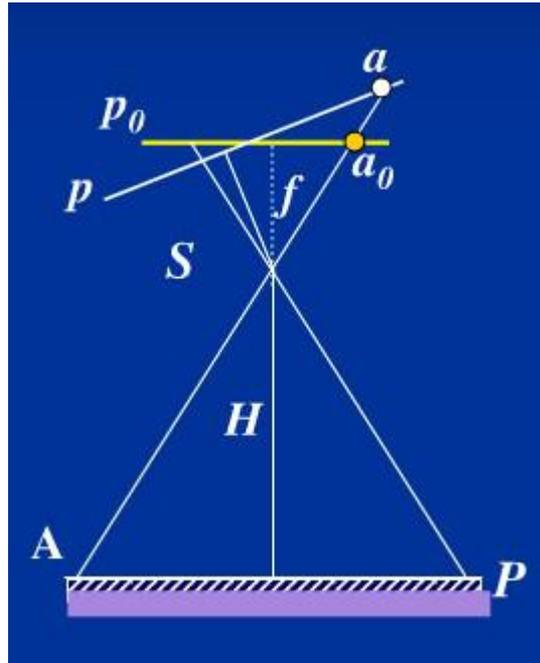
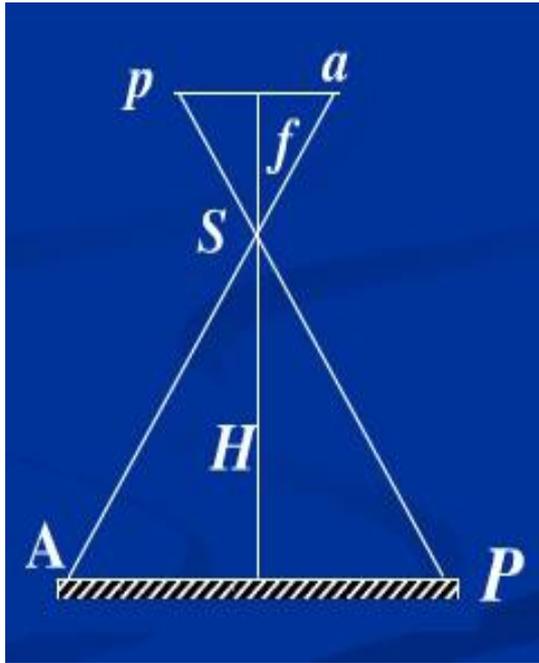
## 一. 像片纠正的概念与分类

- ◆ 两张像片 → 确定 $A$ 点的地面坐标 $X, Y, Z$ (解析摄影测量)或利用双像进行立体测图。
- ◆ 只用一张像片, 能否确定 $A$ 点的空间位置?
- ◆ 航摄像片与正射影像图的区别
  - 航摄像片是中心投影, 正射影像图是正射投影;
  - 航摄像片上存在由于像片倾斜和地形起伏引起的像点位移, 正射影像图上不存在像点位移;
  - 航摄像片上各点的比例尺不一致, 而正射影像图上各点的比例尺与规划的比例尺一致。



# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类



# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 像片平面图与像片纠正的概念

- ◆ 像片平面图或正射影像图是地图的一种形式，是用相当于正射影像的航摄像片上的影像来表示地物的形状和平面位置。
- ◆ **正射影像**: 地面点在图面上的平面位置正确，且还有相应的灰度值。
- ◆ 利用中心投影的航摄像片编制像片平面图或正射影像图，是将中心投影转变为正射投影的问题。
- ◆ **像片纠正**: 消除由于像片的倾斜所引起的**像点的位移**，同时改化规定的**比例尺**，这一作业过程为像片纠正。

# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 像片纠正方法分类

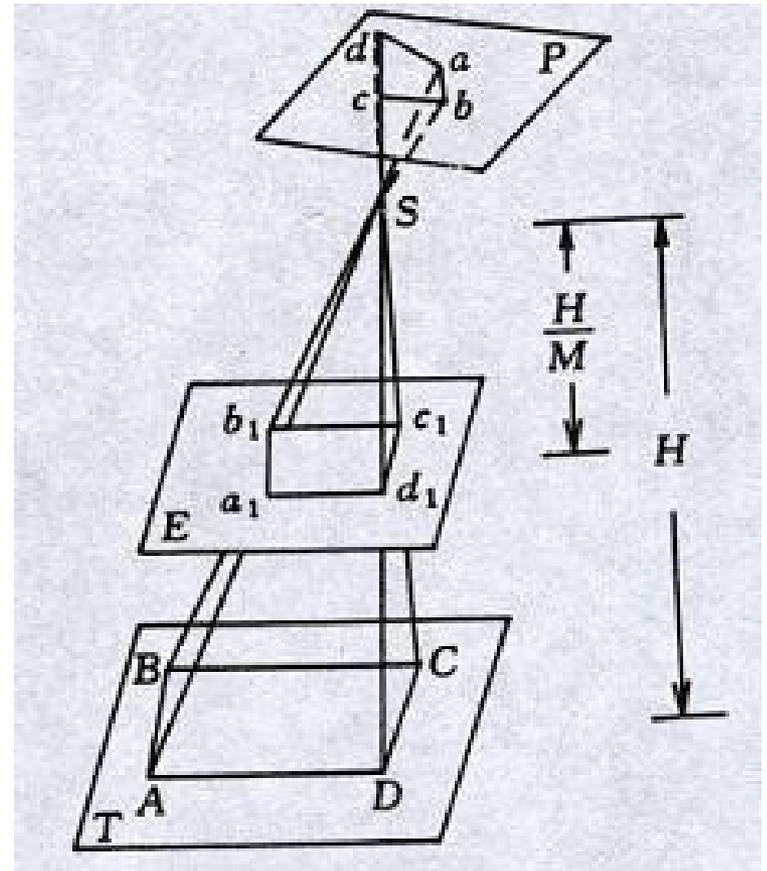
- ◆ **光学机械纠正法**:利用光学方法纠正图像是摄影测量中的传统方法,将航摄像片纠正成为像片平面图。
- ◆ **光学微分纠正(正射投影技术)**:解析摄影测量发展阶段制作正射影像地图的主要方法,使用一小块面积(一定长度的缝隙)作为一个**纠正单元**进行纠正的方法。(是在专门的仪器—正射投影仪上进行的)。
- ◆ **数字微分纠正**:根据已知影像的**内定向参数**和**外方位元素**及数字高程模型(**DEM**)进行纠正。

# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 光学机械纠正法

- ◆ **仪器**: 纠正仪
- ◆ **纠正过程**: 投影变换
- ◆ **适用地区**: **平坦地区** (投影差不超过图上 $\pm 0.4\text{mm}$ )
- ◆ **纠正方法**: 一次纠正法(投影变换方法)
- ◆ 一次纠正方法仍然是**中心投影**, 只适应对**平坦地区**的航摄像片进行纠正, 只能消除因像片倾斜引起的像点位移, 不能消除因地形起伏产生的投影差。



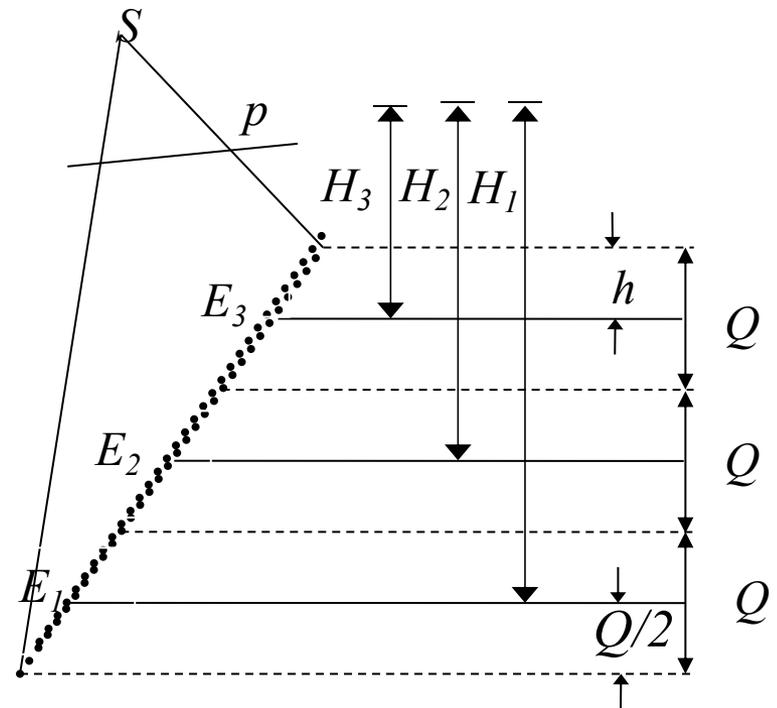
# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 光学机械纠正法

- ◆ 仪器: 纠正仪
- ◆ 适用地区: 坡度变化较平缓的丘陵区  
(投影差超过图上 $\pm 0.4\text{mm}$ )
- ◆ 纠正方法: 分带纠正法 ( $Q=2h$ )
- ◆ 分带纠正法是指在一张像片范围内, 按照地形高程将作业区划分为若干带区, 使每一带区内地形起伏引起的投影差小于规定的值。对每一带区分别纠正晒像, 然后镶嵌成为一张纠正像片。

$$\delta_h \approx \frac{hr_b}{H} \left( 1 - \frac{r_b}{2f} \sin 2\alpha \sin \beta \right)$$



# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 光学机械纠正法

- ◆ 纠正仪满足：几何条件&光学条件
- ◆ 理论基础：中心投影变换(像片与地面、像片与画面)

$$x = -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}$$
$$y = -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}$$

$$x' = x + x^0$$
$$y' = y + y^0$$
$$Z - Z_S = -H$$

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3}{C_1X + C_2Y + 1}$$
$$y = \frac{B_1X + B_2Y + B_3}{C_1X + C_2Y + 1}$$

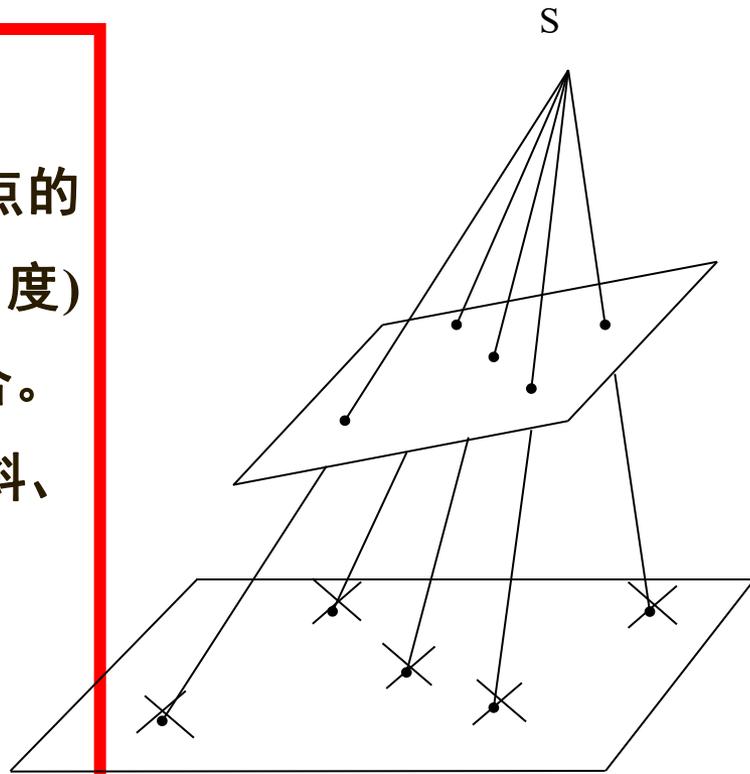
两透视平面的投影变换公式

# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 光学机械纠正法

- ◆ 实际上是利用图底上已知点的坐标用对点的方法进行纠正，用纠正仪的机械动作(自由度)将投影圈点(像点)与图底叉点(对应图点)重合。
- ◆ 纠正仪的自由度: 比例尺缩放、承影面倾斜、像片盘旋转、像片的横向偏心和纵向偏心
- ◆ 纠正点数: 5个
- ◆ 纠正方法: 对点纠正
- ◆ 纠正好后，在承影面上放相纸曝光晒像得纠正好的像片(正射影像)。

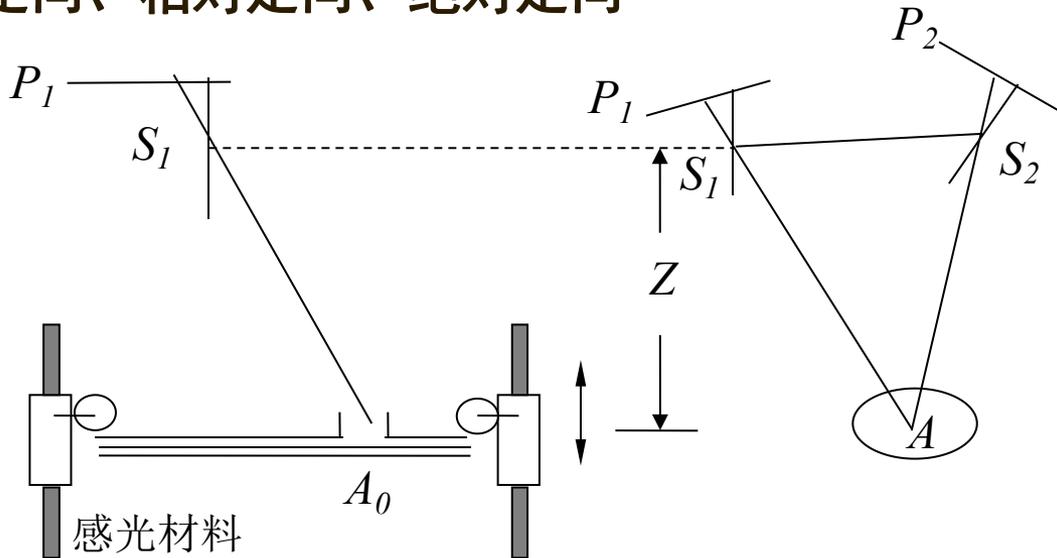


# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 光学微分纠正

- ◆ 分为直接微分纠正与间接(函数)微分纠正
- ◆ 构成：一台双像的光学测图仪+具有相同投影器的正射投影仪、同步运动
- ◆ 步骤：内定向、相对定向、绝对定向



# 像片纠正与正射影像图

## 一. 像片纠正的概念与分类

### 数字微分纠正

- ◆ 根据影像的内定向参数、方位元素以及数字高程模型，利用相应的构像方程(共线方程)，用控制点解算，从原始非正射投影的数字影像获取正射影像，这一过程是将影像化为很多微小的区域逐点进行，且使用的是数字方式处理，故称为数字微分纠正。
- ◆ 数字微分纠正技术是当前像片纠正和正射影像图制作的主要方法
- ◆ 依被纠正的最小单元将微分纠正可分为两类：**点元素纠正**、**面元素纠正**

# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 基本原理与解算方案

- ◆ 数字微分纠正与光学微分纠正一样，其基本任务是实现两个二维图像之间的几何变换
- ◆ 数字纠正：像素的几何位置和灰度
- ◆ 设任意像元在原始图像的坐标为 $(x, y)$ ，纠正后图像坐标为 $(X, Y)$ ，实际上直接存在着映射关系

间接数字  
微分纠正

$$x = f_x(X, Y)$$

$$y = f_y(X, Y)$$

直接数字  
微分纠正

$$X = \varphi_x(x, y)$$

$$Y = \varphi_y(x, y)$$

# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 反解法(间接法)数字微分纠正

(1) 计算地面点坐标：正射影像上任一像点 $P(X', Y')$ 对应的地面坐标 $(X, Y)$

$$\left. \begin{aligned} X &= X_0 + M \cdot X' \\ Y &= Y_0 + M \cdot Y' \end{aligned} \right\}$$

(2) 计算原始图像上像点坐标 $p(x, y)$  根据共线条件方程式，地面点的 $Z$ 坐标

根据DEM内插

任何地形

$$x_p = -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} + x_0$$
$$y_p = -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} + y_0$$

平坦地区

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 + \dots$$
$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + \dots$$

# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 反解法(间接法)数字微分纠正

(3) 像素坐标的解算: 根据内定向参数, 计算像点 $(x, y)$ 的像素坐标 $(I, J)$

$$\left. \begin{aligned} x &= h_0 + h_1 I + h_2 J \\ y &= k_0 + k_1 I + k_2 J \end{aligned} \right\}$$

$$I = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} + 1}$$

$$J = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} + 1}$$

(4) 灰度内插: 根据计算得像素坐标 $(I, J)$ , 采用双线性内插法, 内插像点的灰度值

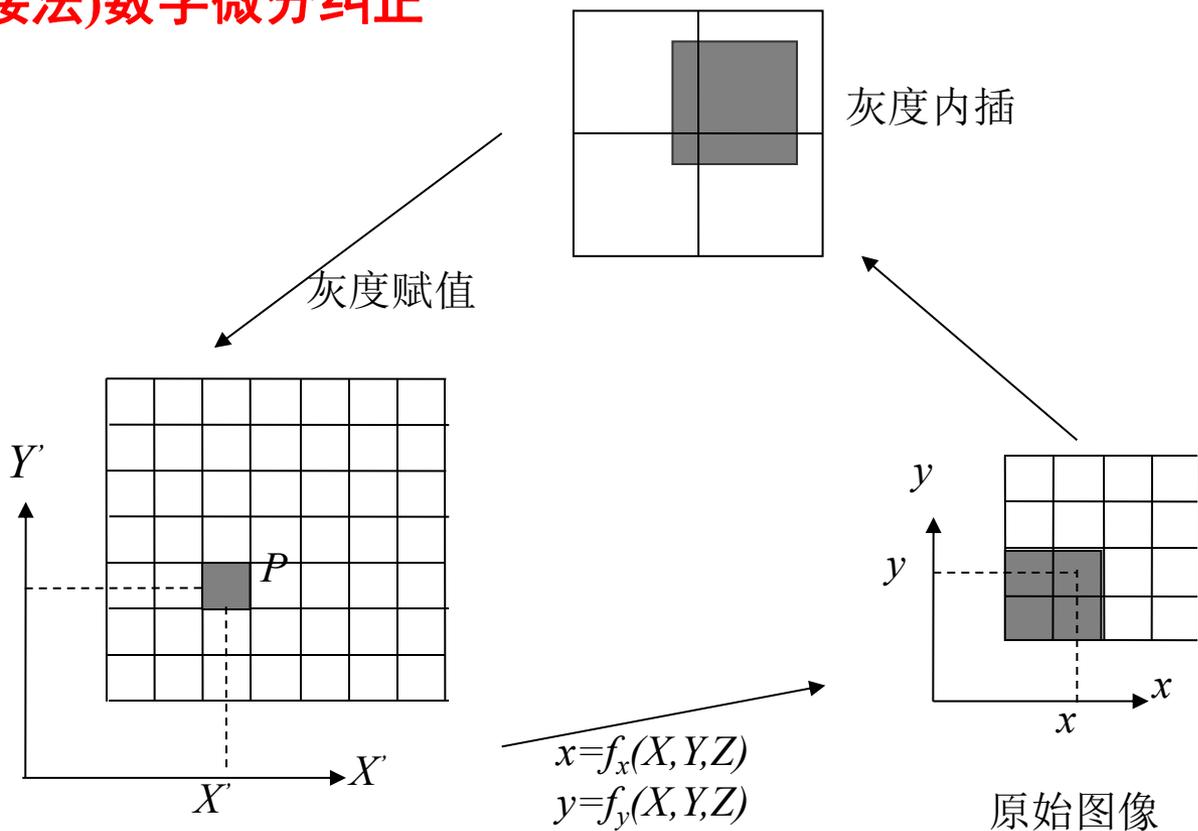
(5) 灰度赋值: 将计算的灰度值赋给正射影像上的像点 $(X', Y')$

$$G(X, Y) = g(x, y)$$

# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 反解法(间接法)数字微分纠正



# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 正解法(直接法)数字微分纠正

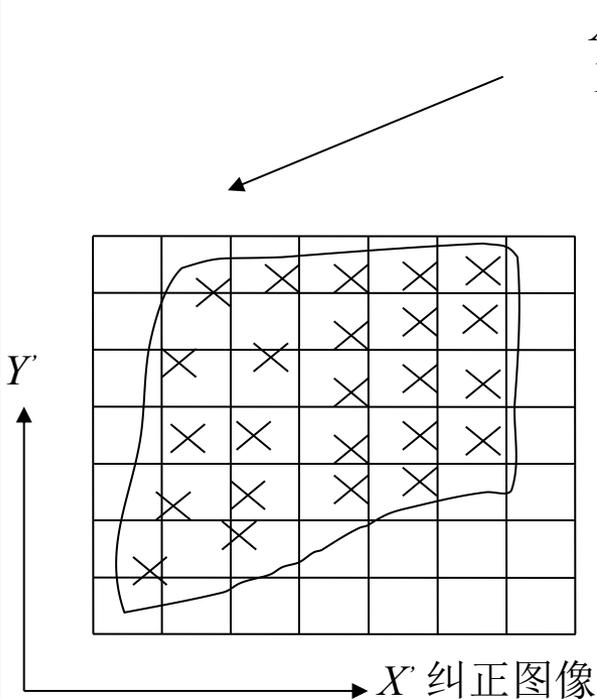
- ◆ 直接法数字影像纠正实际上是由**二维影像**坐标变换到**三维空间**坐标的过程
- ◆ 需反复迭代解算
- ◆ 纠正后的影像所得的像点不是规则排列，可能出现“空白”或重复像素，难以实现灰度内插，获得规则排列的正射数字影像

$$X - X_S = (Z - Z_S) \frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - a_3f}$$
$$Y - Y_S = (Z - Z_S) \frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - a_3f}$$

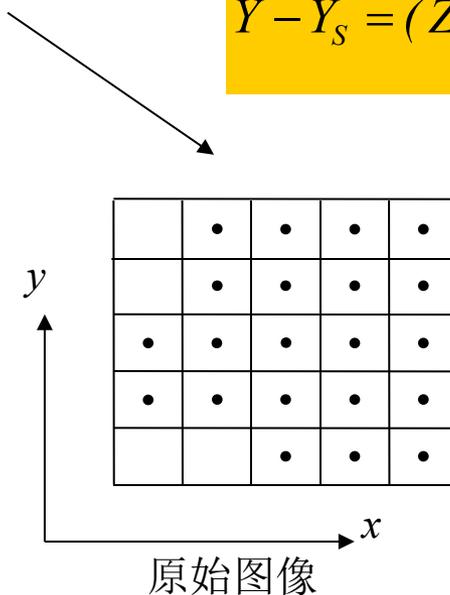
# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 正解法(直接法)数字微分纠正



$$X - X_S = (Z - Z_S) \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - a_3 f}$$
$$Y - Y_S = (Z - Z_S) \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - a_3 f}$$



$$X = \varphi_x(x, y)$$

$$Y = \varphi_y(x, y)$$

$$G(X, Y) = g(x, y)$$

# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 间接法、直接法比较

间接法



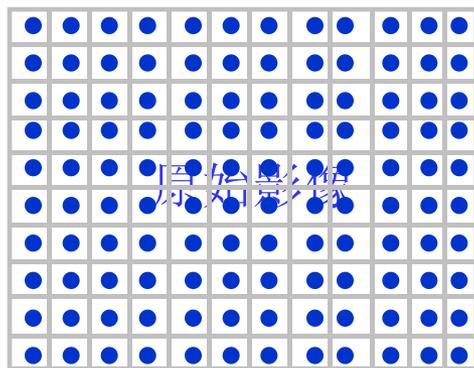
取灰度



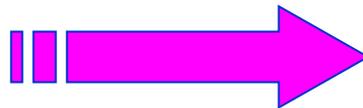
正射影像



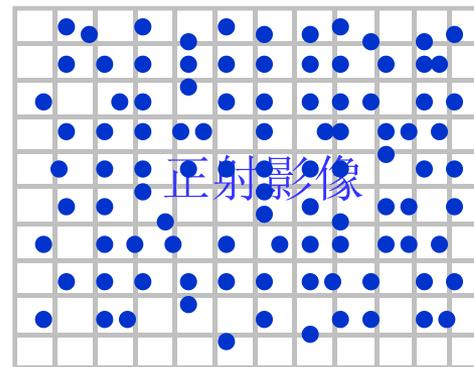
直接法



送灰度



正射影像



# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

间接法、直接法比较

计算

$(x, y, Z)$   $\rightarrow$   $(X, Y)$

直接法

$(Z)$

$(X, Y, Z)$   $\rightarrow$   $(x, y)$

间接法

送灰度

灰度赋值

原始影像

正射影像

取灰度



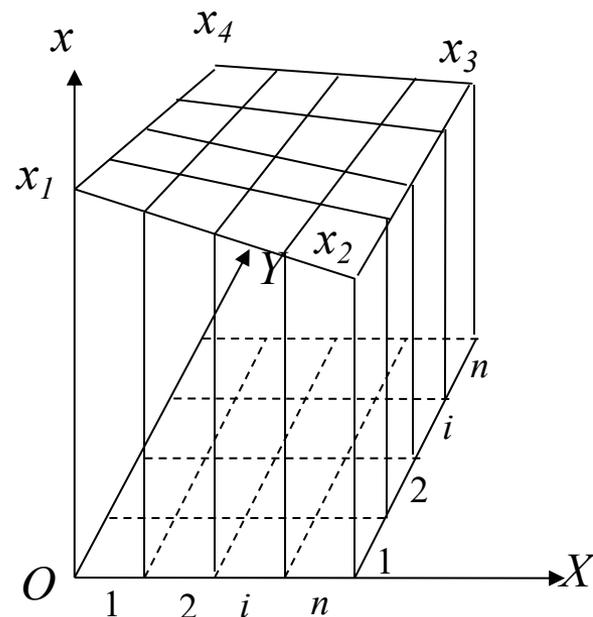
# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 数字微分纠正实际解法

◆ 实际上不是逐点纠正，以面元素作为纠正单元。取一个小正方形的块作为纠正单元，用反解法求出四个角点的像点坐标后，再内插出任意一个像元所对应的像点坐标后进行灰度内插。

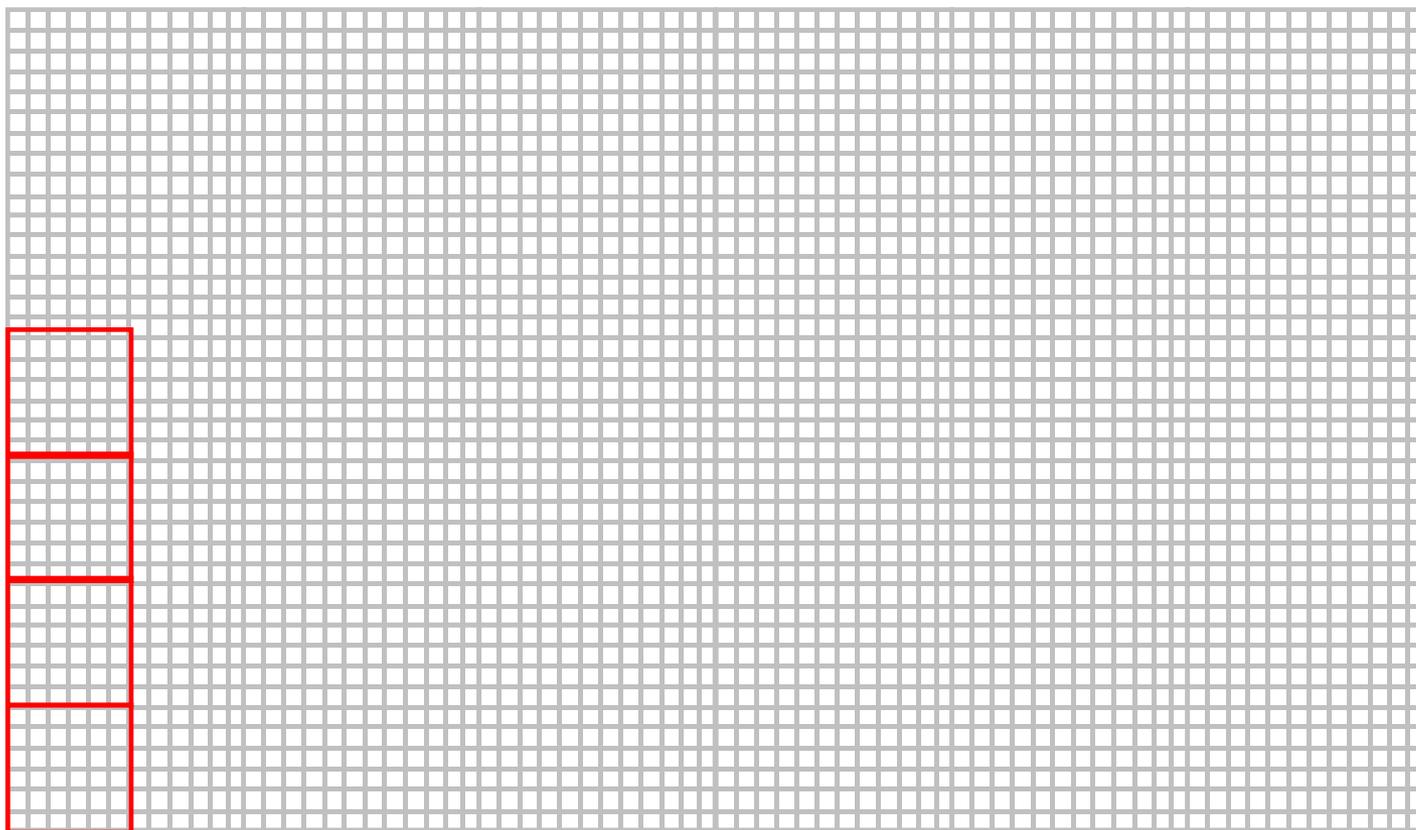
$$x(i, j) = \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)x_1 + i(n-j)x_2 + (n-i)jx_4 + ijx_3]$$
$$y(i, j) = \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)y_1 + i(n-j)y_2 + (n-i)jy_4 + ijy_3]$$



# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 数字微分纠正实际解法



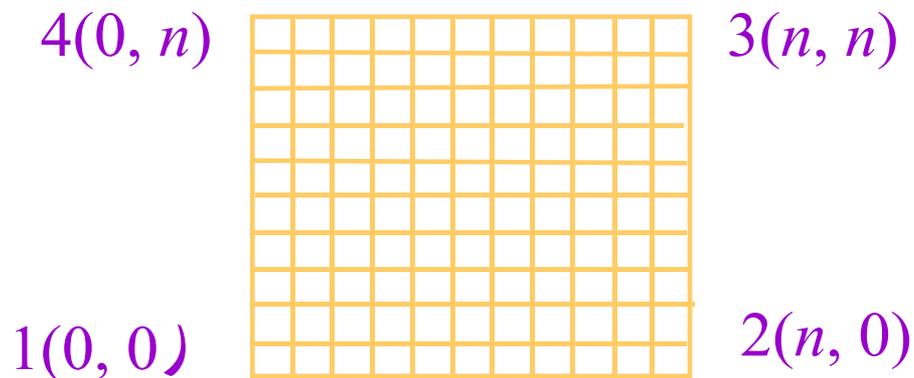
# 像片纠正与正射影像图

## 二. 数字微分纠正

### 数字微分纠正实际解法

$$(X', Y') \Rightarrow (X, Y) \quad (X'_1, Y'_1) \Rightarrow (X_1, Y_1) \quad (X'_3, Y'_3) \Rightarrow (X_3, Y_3)$$
$$(X'_2, Y'_2) \Rightarrow (X_2, Y_2) \quad (X'_4, Y'_4) \Rightarrow (X_4, Y_4)$$

$$x(i, j) = \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)x_1 + i(n-j)x_2 + (n-i)jx_4 + ijx_3]$$
$$y(i, j) = \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)y_1 + i(n-j)y_2 + (n-i)jy_4 + i jy_3]$$



# 像片纠正与正射影像图

## 三. 立体正射影像对的制作方法

### 立体正射影像对的制作方法

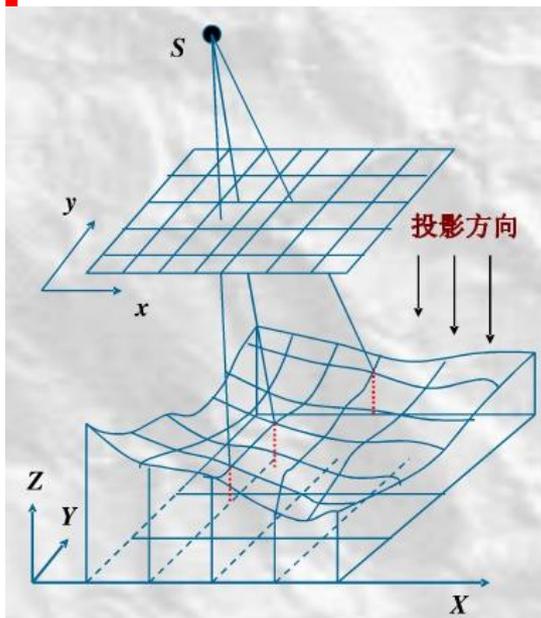
- ◆ 获得立体匹配片: 将DEM格网点的 $X, Y, Z$ 坐标用共线方程变换到像片上的同时引入一个**人工视差**, 该人工视差反映实地地形起伏情况。
- ◆ 依据人工视差引入的方法, 立体匹配片制作方法分为: 基于斜平行投影、基于对数投影

# 像片纠正与正射影像图

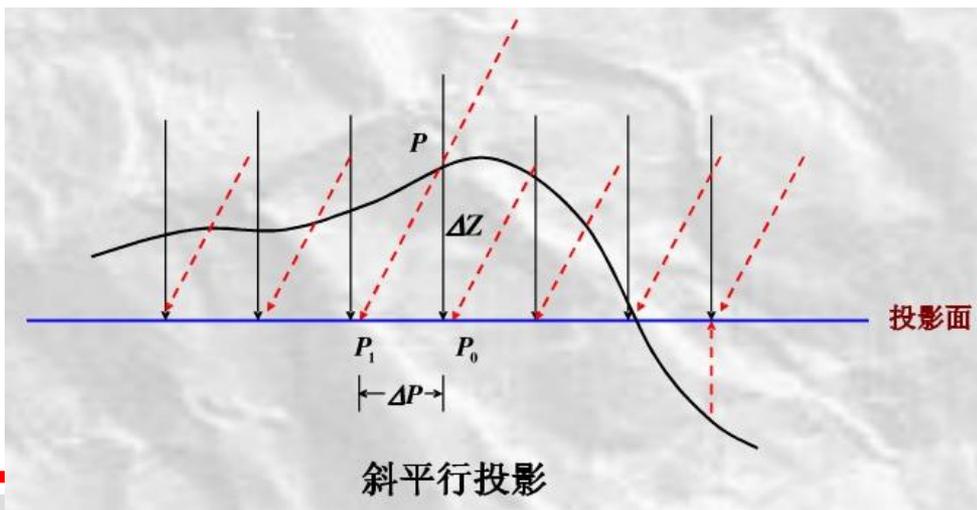
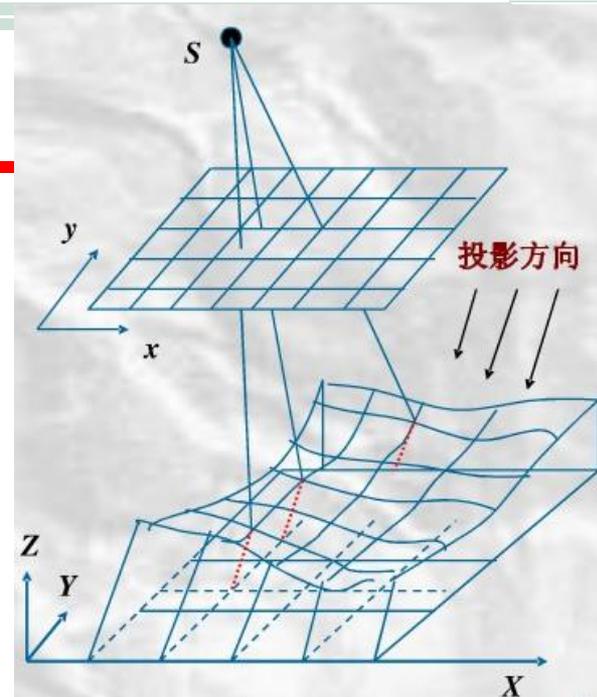
## 三. 立体正射影像对的制作方法

### 立体正射影像对的制作方法

#### ◆ 基于斜平行投影的立体正射影像对



$$\Delta P = \Delta Z \cdot \tan \alpha = k \cdot \Delta Z$$



没有上下视差  
存在左右视差

# 像片纠正与正射影像图

## 三. 立体正射影像对的制作方法

### 立体正射影像对的应用

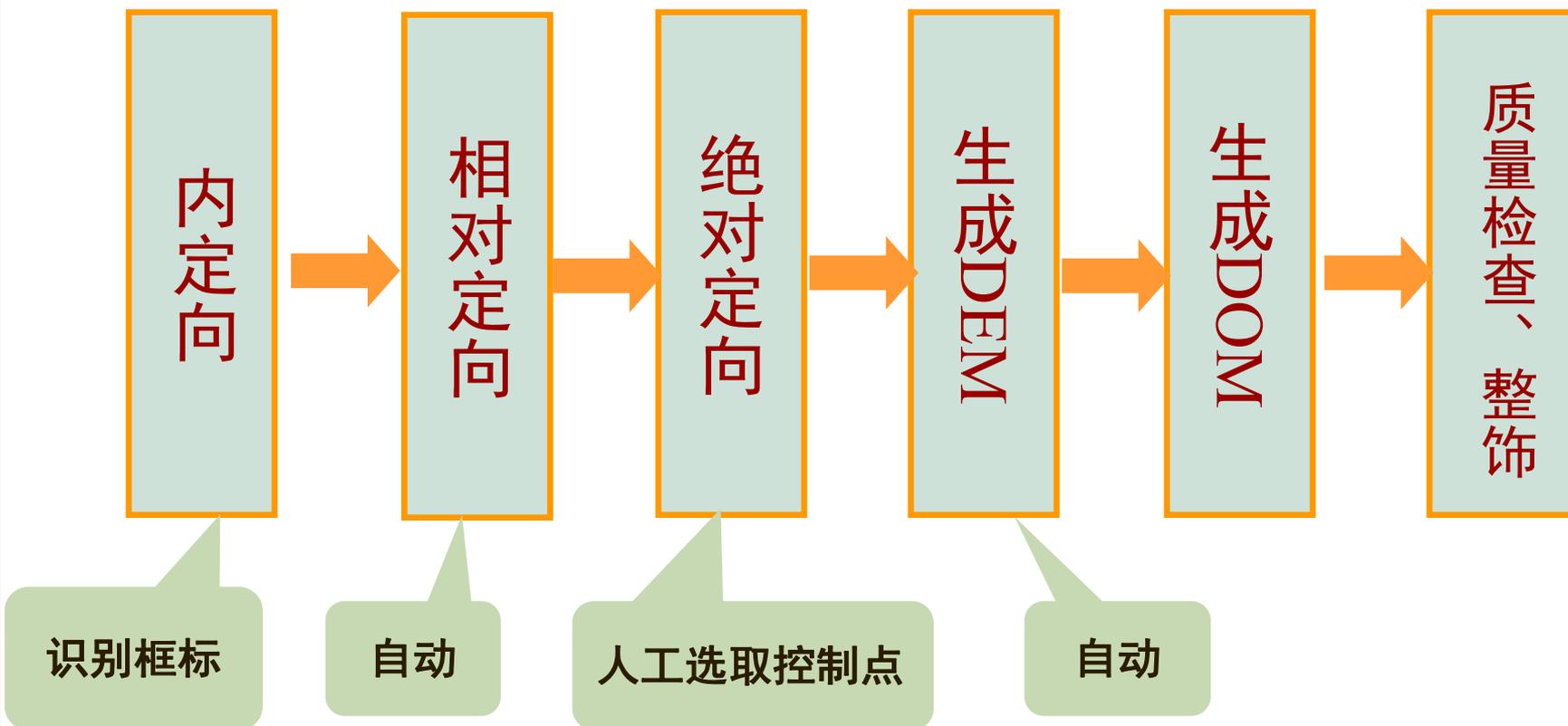
#### ◆ 立体正射影像对的优点

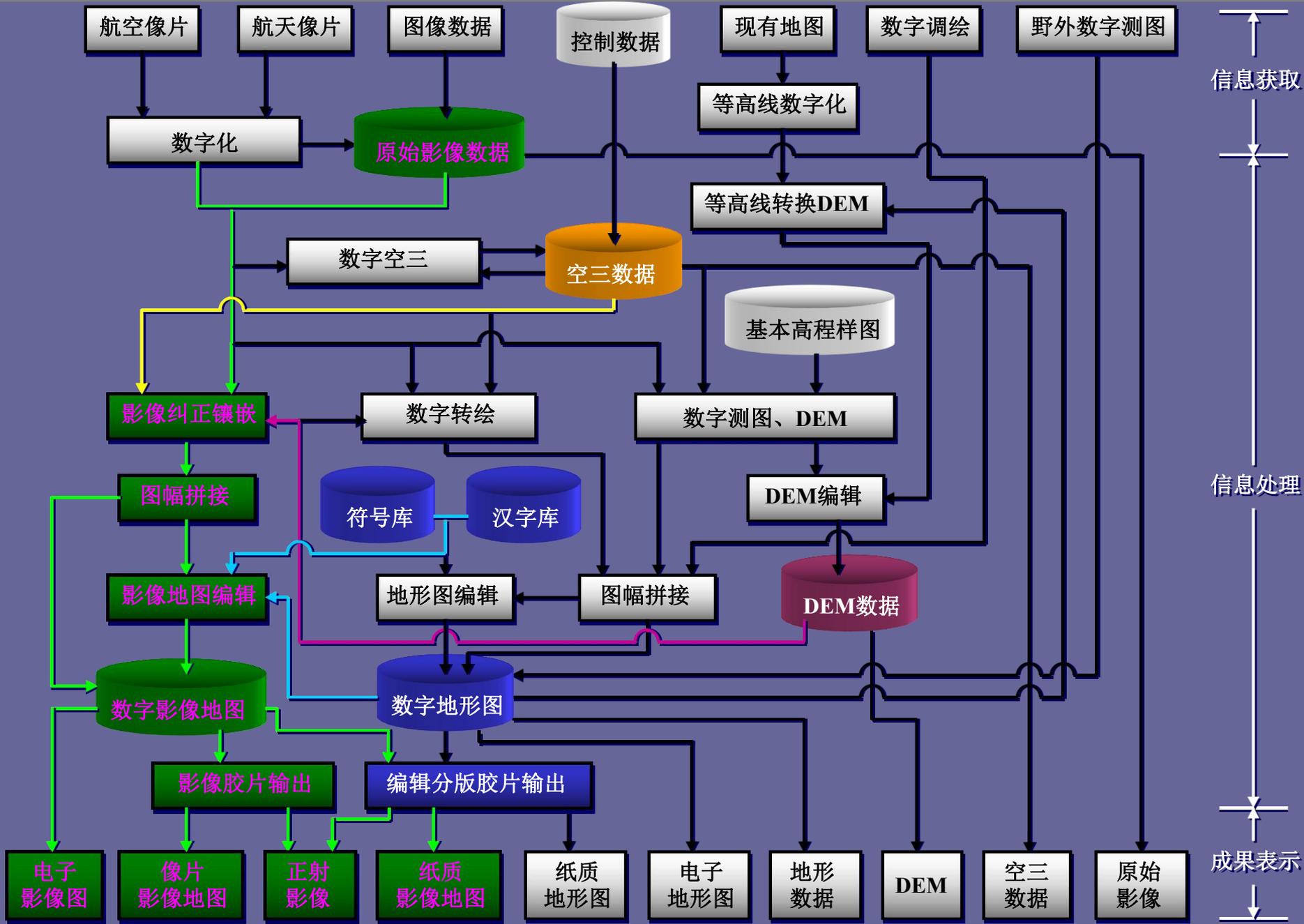
- 便于定向和量测
- 量测用的设备简单
- 只要具备影像覆盖范围内的DEM高程数据库和所摄像片的内外方位元素，就可以在摄影后制作出立体正射影像对。
- 用立体正射影像来修测地形图上的地物和量测具有一定高度物体的高度是十分有效的
- 用立体正射影像对要比单眼观测正射影像多辨认出50%的细部

# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

### 数字摄影测量软件DOM生产流程





数字影像地图生产数据流程图

# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

### ◆ 制作方法

- 全数字摄影测量方法
- 单片数字微分纠正
- 正射影像图扫描，但扫描后要进行仿射变换改正

### ◆ 工序

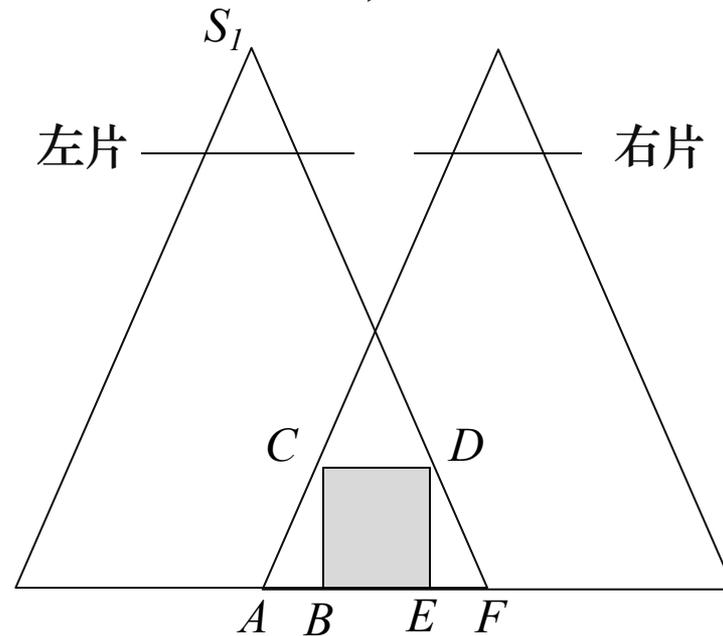
- 野外控制测量
- 空三加密：自动空三利用区域网平差计算，检测与剔除粗差
- DEM采集、编辑：生成可靠的DEM
- 正射纠正：在进行影像纠正时避免房屋、桥梁和道路扭曲变形，适合城市大比例尺影像图制作
- 影像拼接和镶嵌、色调调整

# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

正射影像上的**遮蔽**现象

◆ 影像上的遮蔽是指由于地面上有一定高度的目标物体遮挡，使得地面上的局部区域(包括目标物体本身的局部)在影像上不可见的现象。

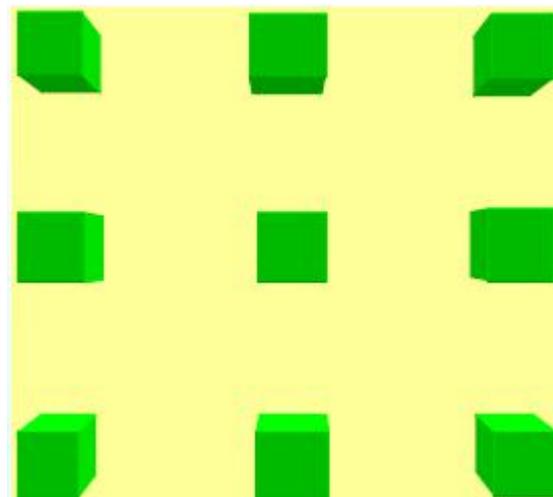
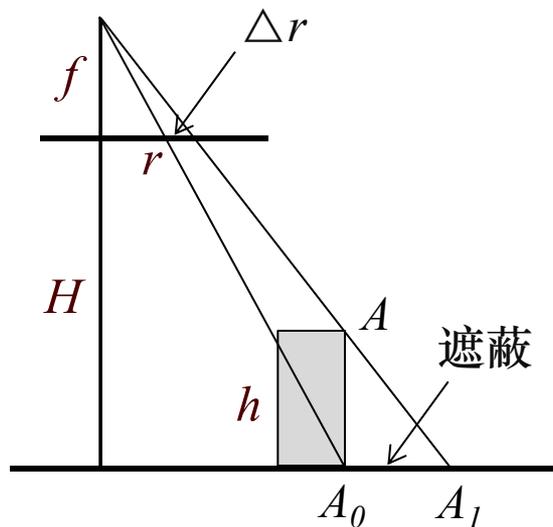
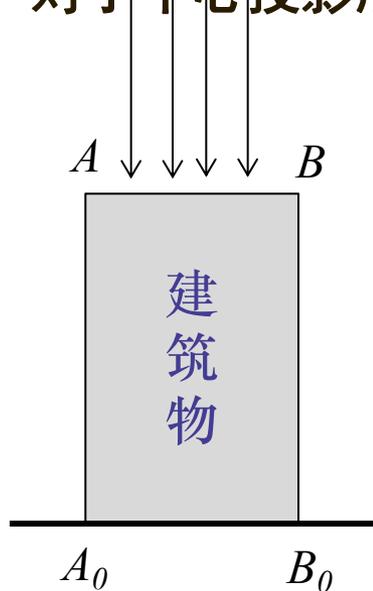


# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

正射影像上的**遮蔽**现象

- ◆ 影像上的遮蔽与投影方式有关。对于地物的正射投影，由于它是垂直平行投影成像，是不会产生遮蔽现象的。
- ◆ 对于中心投影所产生的遮蔽现象，其实质是**投影差**。



# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

正射影像上的**遮蔽**现象

- ◆ 正射影像上遮蔽的对策
  - 影像获取时的对策
  - **纠正过程中的策略**
  - 传感器选择的策略

# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

### 真正射影像的概念及制作

- ◆ 真正射影像是在数字微分纠正过程中，以**数字表面模型(DSM)**为基础进行数字微分纠正。
- ◆ 对于空旷地区而言：只要知道影像的内、外方位元素和所覆盖地区的DEM，按共线方程进行数字微分纠正，且纠正后的影像不存在投影差。
- ◆ 对于地表有人工建筑或树木等覆盖的地区：在该地区的DEM基础上，采集所有高出地表面的目标物高度信息，得到制作真正射影像所需要的DSM。

# 像片纠正与正射影像图

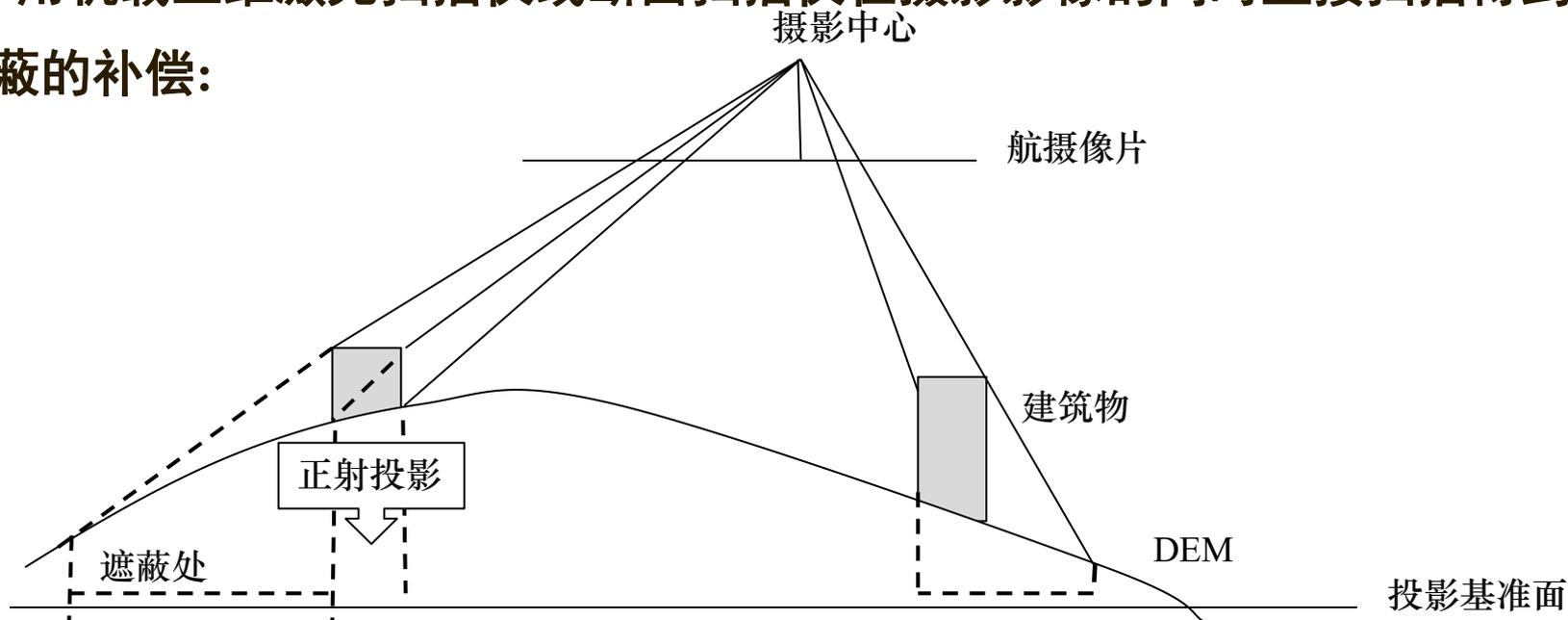
## 四. 数字正射影像图的制作方法

### 真正射影像的概念及制作

#### ◆ DSM的采集:

- 采用半自动的方式在摄影测量工作站或解析测图仪上采集得到
- 用机载三维激光扫描仪或断面扫描仪在摄影影像的同时直接扫描得到

#### ◆ 遮蔽的补偿:

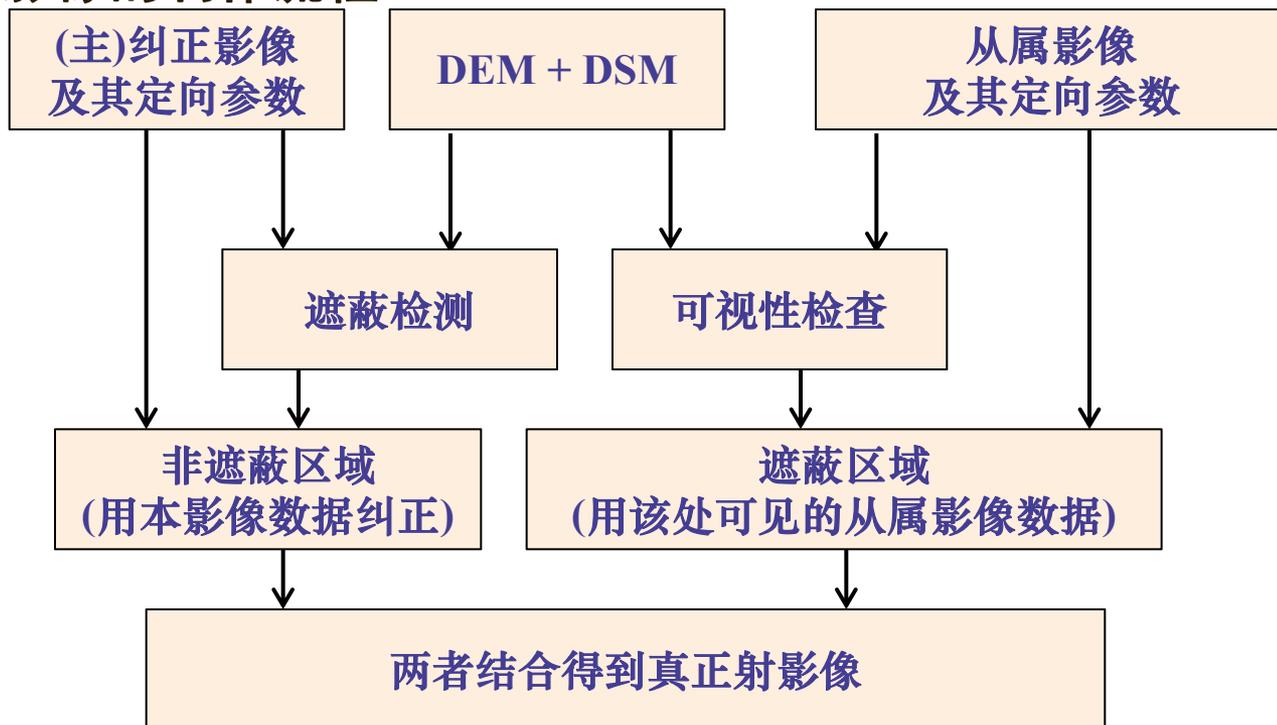


# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

### 真正射影像的概念及制作

#### ◆ 真正射影像的制作流程:



# 像片纠正与正射影像图

## 四. 数字正射影像图的制作方法

### 真正射影像的概念及制作



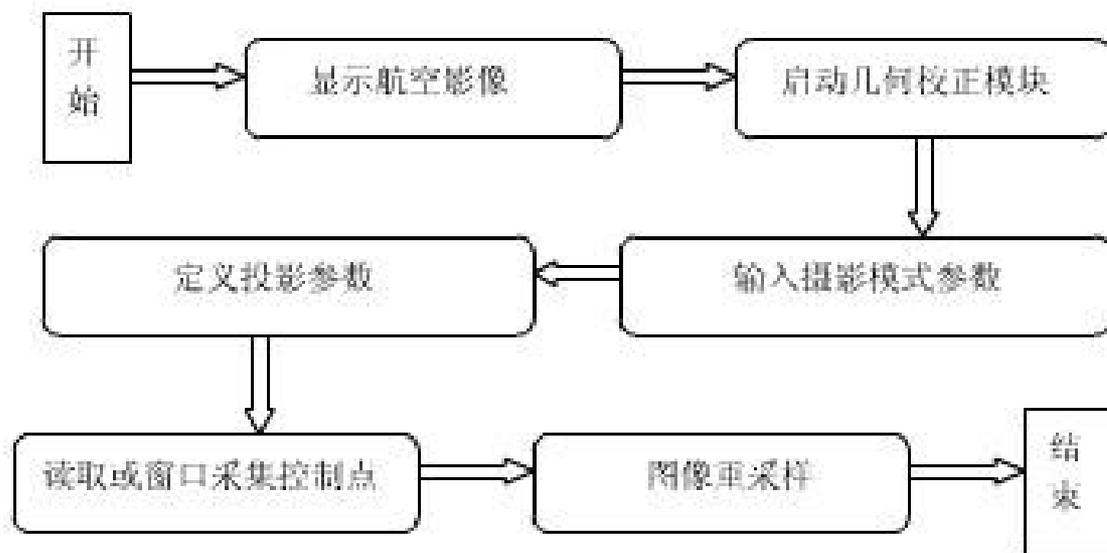
## 2.3 正射纠正的方法

### 2.3.1 资料准备

搜集与纠正地区相关的各种控制点坐标资料，纸图、栅格资料，（已具有坐标信息）、DEM、本摄区航摄鉴定表等相关资料，准备利用数字微分纠正的方法进行正射纠正。

### 2.3.2 纠正方法

利用专业遥感影像处理软件 ERDAS 提供的正射纠正模块进行纠正，纠正过程为：



(1) 输入航摄参数：进入 ERDAS 航空影像正射纠正模块后，严格按照航鉴表提供的参数输入各项参数，注意高程模型文件必须是 ERDAS 内部资料格式\*.img，且其投影应和参考影像的投影一致。

#### (2) 确定内定向参数

根据航片的实际情况，选择框标类型为四角框标或四边框标或边角框标，测定四个或八个框标点，输入对应的图像坐标，计算内定向误差（error），若  $error < 1$ ，则表示内定向成功，可以进行后面的操作。若  $error > 1$ ，则需分析原因，重新定向，直到  $error < 1$  为止。

### (3) 设置投影参数

根据需要，定义参考栅格影像、待纠正影像投影参数，注意两者投影参数应严格一致。进一步定义地图坐标单位（map units）为米（meters），定义完这些参数以后，另存为模型文件\*.gms，以便纠正后面航片时调用。

### (4) 采点纠正

分析已有资料，如果已经通过 GPS 测量、或摄影测量、或常规外业控制测量、或其它途径获得了足够的控制点坐标资料，则可直接保存为 ERDAS IMAGINE 的控制点文件格式或 ASCII 数据文件，采取文件采点模式，直接在数据文件中读取控制点坐标来进行纠正。如果已经拥有需校正区域的数字地图、或经过校正的图像、或注记图层资料，则可采用窗口采点的模式进行纠正。本例地区以 1:10000 栅格地图作为地理参考，在其上选取若干参考点作控制点，在航片上选取相应同名点，选点时注意选在特征明显的地方，不能太靠近影像边缘，点位元分布应均匀。

ERDAS 自动解求模型，计算中误差、残差及控制点 X、Y 坐标值误差。

根据实际情况确定残差限差，一般航片纠正残差限差小于 3 米即可，以保证纠正后影像不变形为基准。

### (5) 航空影像重采样

重采样过程就是根据未校正图像像元值计算生成一幅校正图像的过程。ERDAS 重采样常用三种方法：邻近点插值法（Nearest Neighbor）、双线性插值法（Bilinear Interpolation）、立方卷积插值法（Cubic convolution），采用邻近点插值法进行重采样，速度快，效果也比较好（采样过程中忽略零值）。

经过上面一系列的处理后，一幅具有坐标系统和投影信息的正射影像就生成了，检验图像校正的结果，若满足要求，本张航片正射纠正完成，即可进行下一张航片的纠正。

#### 2.4 生成数字正射影像地图

所需航片纠正完成后，根据需要裁切，利用 ERDAS8.5 输出具有头文件\*.TFW 的 TIF 文件，在 PhotoShop 下进行灰度处理，使灰度基本一致，再输入到 ERDAS 中，镶嵌生成一整幅 DOM，然后根据所需图幅的坐标，按坐标裁切，生成图幅正射影像 DOM。再进行图幅整饰，生成数字正射影像地图。

#### 3 纠正中应注意的问题

- (1) 纠正过程中，各种参数的选取一定要准确，不能有丝毫马虎。
- (2) 航片重叠度一般为 65%左右，纠正中根据情况可采用隔片纠正的方法，而不必每片都进行纠正，这样可节省大量的人力物力和财力，便于节省时间，提前完成任务。在工期要求紧的情况下，这种方法尤其值得推荐。
- (3) 本方法中 DEM 的覆盖范围必须是全部纠正区域，不能有缺少，否则无法完成微分纠正工作。
- (4) 纠正完成后拼接时，要利用 ERDAS 提供的各种拼接方法尽可能保证拼接的精度，不能有地物不接边的情况出现。