

---

## 摄影测量学

传统定义：利用光学摄影机获取的像片，经过处理以获取被摄物体的形状、大小、位置、特性及其相互关系的一门学科

RS：广义理解，遥感泛指一切无接触的远距离探测，包括对电磁场、力场、机械波（声波、地震波）等的探测。狭义的遥感是指应用探测仪器，不与探测目标相接触，从远处把目标电磁波特性记录下来，通过分析揭示出物体的特性性质及其变化的综合性探测技术。

**摄影测量与遥感**是对非接触传感器系统获得的影像及其数字表达进行记录、量测和解译，从而获得自然物体和环境的可靠信息的一门工艺、科学和技术。其中摄影测量侧重于提取几何信息，遥感侧重于提取物理信息。

产品：4D（DEM DLG DRG DOM）

Digital Elevation Model 数字高程模型 Digital Orthophoto Map 数字正射影像

Digital Raster Graphic 数字栅格图 Digital Line Graphic 数字线划图

DSM

任务：

1. 测制各种比例尺的地形图和专题图
2. 建立地形数据库
3. 为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据
4. 笼统而言，其任务是测量各种比例尺的 4D 产品，并为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据。

特点：

1. **影像记录目标信息**客观、逼真、丰富
2. 测绘作业**无需接触**目标本身，不受现场条件限制
3. 可测绘**动态目标**和**复杂形态目标**
4. 由**二维影像重建三维目标**
5. **面采集**数据方式
6. 同时提取物体的**几何与物理特性**
7. 影像信息可**永久保存、重复量测**使用

分类

传感器平台（或摄影距离）：

航天/卫星摄影测量 航空摄影测量 地面摄影测量 近景摄影测量 显微摄影测量

用途：

地形摄影测量 非地形摄影测量

处理手段：

模拟摄影测量 解析摄影测量 数字摄影测量

发展历程：

### 1. 模拟摄影测量

利用**光学/机械投影**方法实现摄影过程的反转，用两个/多个投影器模拟摄影机摄影时的位置和姿态构成与实际地形表面成比例的几何模型，通过对该模型的量测得到地形图和各种专题图。光学纠正仪、模拟立体测图仪

光学像片->光学机械测图仪器->人工建立立体模型->人工量测和解译机械绘图

## 2.解析摄影测量

以**电子计算机**为主要手段，通过对摄影像片的量测和解析计算方法的交会方式来研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质及其相互关系，并提供各种摄影测量产品的一门科学。解析测图仪、数控正射投影仪、坐标量测仪

光学像片->解析测图仪器->计算机建立立体模型->人工量测和解译自动记录

## 3.数字摄影测量

基于摄影测量的基本原理，通过对所获取的**数字/数字化影像**进行处理，自动（半自动）提取被摄对象用数字方式表达的几何与物理信息，从而获得各种形式的数字产品和目视化产品。数字摄影测量系统、数字摄影测量工作站

数字影像->数字测量摄影系统->自动建立立体模型->自动量测和解译自动记录

发展阶段	原始资料	投影方式	仪器	操作方式	产品
模拟摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	手工操作	模拟产品
解析摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助作业员操作	模拟产品 数字产品
数字摄影测量	数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作 +作业员干预	数字产品 模拟产品

影像原理

凸透镜成像规律  $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

量测用摄影机指的是航空摄影机、地面摄影测量用的摄影经纬仪，以及近景摄影测量用的摄影机。这类摄影机的对物镜要求较高，且机械结构要稳定。对航空摄影机而言，还要求整个摄影系统应具备摄影过程的自动化装置。安装在飞机上对地面能自动地进行连续摄影的摄影机称为航摄机或航摄仪。

航空摄影机特点：物镜成像分解力高；物镜成像畸变差小

### (1) 光学特性

- 物镜透光率高
- 光学影像反差大
- 焦面照度均匀



### (2) 焦面上设置有框标

### (3) 有胶片压平系统

### (4) 像距为定值（主距）

### (5) 有减震装置

### (6) 有影像位移补偿装置

### (7) 抗温差

摄影机分类	焦距 (mm)	视场角 (2β)
短焦距摄影机	<150	>100° (特宽)
中焦距摄影机	150~300	70°~100° (宽角)
长焦距摄影机	>300	≤70° (常角)

像场：物镜焦面上中央成像清晰的范围。

像场角（视场角）：像场直径所对物镜后节点的夹角。（常角、宽角、特宽角）

焦距：物镜节点到焦点的距离。

像片主距：物镜后节点到像平面的距离。（长焦距、中焦距、短焦距）

- 在焦距相同的条件下，像场角越大，摄影的范围也越大
- 在像幅尺寸相同的条件下，像场角越大，摄影的范围也越大

框标：设置在摄影机焦平面（承影面）上位置固定的光学机械标志，用于在焦平面上（亦即像片上）建立像方坐标系。

航摄像片为量测像片，有**光学框标**和**机械框标**，

航摄像片的大小为 **18cm×18cm, 23cm×23cm**

### 遥感传感器

**传感器**：传感器是记录地物反射或者发射电磁波能量的装置，是遥感平台的核心部分。

**组成**：任何类型的传感器都由收集器、探测器、处理器、输出器四个基本部件组成。

**1) 收集器**：负责收集地面目标辐射的电磁波能量。具体元件多样，如透镜、反射镜、天线、激光发射器等

**2) 探测器**：将收集到的电磁辐射能转变为化学能或电能。如热敏探测元件、光电管、感光胶片等

**3) 处理器**：对转换后信号进行各种处理，如信号放大、变换、校正、编码、显影、定影

**4) 输出器**：输出信息的装置。如磁带记录仪、阴极射线管等

传感器指向：

天底向（Nadir）：传感器指向垂直地面

非天底向（Off-nadir）：传感器指向非垂直地面方向

可变的非天底向指向：传感器阵列本身可旋转固定的非天底向指向

1.电磁波来源分类：主动式遥感器、被动式遥感

2.按是否成像分类：成像遥感器、非成像遥感器（微波散射计、激光水深计）

3.按成像原理分类：摄影型、扫描型、成像雷达

4.对不同波段敏感度与响应能力：光学遥感器、微波遥感器

发展特点：追求更高的空间分辨率、更精细的光谱分辨率、更快速的数据获取能力，综合多种遥感器的遥感卫星平台，服务于不同的需求。

多波段、多极化、多模式合成孔径雷达卫星，具有全天候和高空间分辨率等特点。

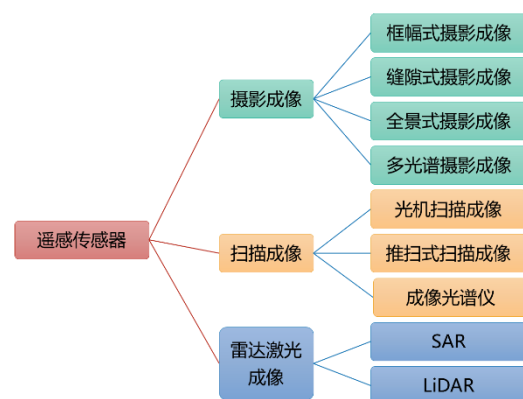
斜视、立体观测、干涉测量技术的发展。

可见光斜视、立体观测可以用于卫星地形测绘，干涉测量技术利用相邻两次的合成孔径雷达影像进行地形测量和微位移形变测量的技术。低空领域的快速成像（无人机成像）。

摄影成像：

光学镜头及放置在焦平面的感光胶片

放置在焦平面的光敏元件，经过光/电转换，以数字信号来记录物体的影像。



1.框幅式摄影成像（航天遥感中使用这类相机较多）

成像原理与普通胶片照相机相同，在某个摄影瞬间，地面上视场范围内目标的辐射一次性地通过镜头中心在焦平面上成像。

一个摄影中心和一个像平面。

## 2. 缝隙式摄影成像

又称推扫式摄影成像或航带摄影成像。

在飞机或卫星上，摄影瞬间所获取的影像，是与航线方向垂直且与缝隙等宽的一条线影像。当飞机或卫星向前飞行时，摄影机焦平面上与飞行方向成垂直的狭缝中的影像也连续变化。当摄影机内的胶片不断卷动，且其速度与地面在缝隙中的影像移动速度相同，则能得到连续的航带摄影像片。

胶片卷动速度  $V$  与飞行速度  $v$  和相对航高  $H$  有关，以获得清晰的影像

$$V = v \times f / H, \quad f \text{ 为焦距}$$

多中心投影，不同缝隙对应的投影中心不同

## 3. 全景式摄影成像

又称扫描摄影成像或摇头摄影成像。

在物镜的焦面上平行于飞行方向设置一条狭缝，并随物镜作垂直于航线方向的摆动扫描，得到一幅扫描成像的图像。

物镜摆动的幅面很大，能将航线两边的地平线内的影像都摄入底片。

特点为：焦距长，幅面大，扫描视场大，可达 180 度，出现全景畸变

全景畸变 (panoramic distortion)：像距不变，物距随扫描角的增大而增大，出现两边比例尺逐渐缩小的现象，整个影像产生全景畸变；扫描时，飞机向前运动，扫描摆动的非线性因素，使畸变复杂化。

## 4. 多光谱摄影成像

对同一地区，在同一瞬间摄取多个波段影像的摄影成像方式可充分利用地物在不同光谱区有不同的反射特征，来增多获取目标的信息量，以提高识别地物能力。

三种基本类型：

(1) 多摄影机型多光谱摄影成像：用几架普通的航空摄影机组装而成，对各摄影机分别配以不同的滤光片和胶片的组合，采用同时曝光控制，以进行同时摄影。

(2) 多镜头型多光谱摄影成像：由多个物镜组成的摄影机，是用普通航空摄影机改制而成，在一架摄影机上配置多个镜头，同时选配相应的滤光片与不同感光特性的胶片组合，使各镜头在底片上成像的光谱，限制在规定的波段区内。要求：

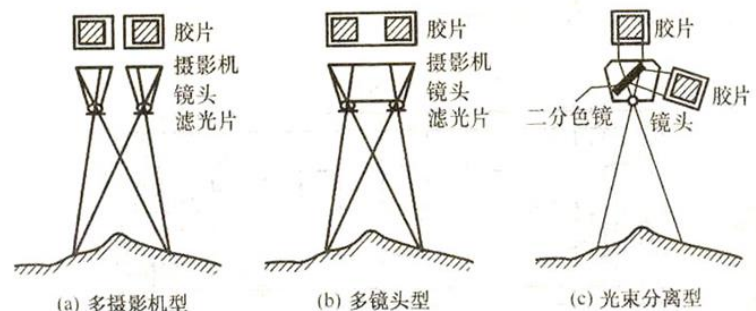
快门的同步性要好，以便在同一时刻获取地物的多光谱像片；

各物镜光轴严格平行，保证多光谱像片的套合精度；

事先确定曝光时间；

由于不同波长的光聚焦后的实际焦面位置不同，应使地物成像在最清楚的位置上

(3) 光束分离型多光谱摄影成像：利用单镜头进行多光谱摄影。摄影时，光束通过一个镜头后，经分光装置分成几个光束，然后分别透过不同滤光片，分成不同波段，在相应的感光胶片上成像，实现多光谱摄影。



多光谱摄影机工作方式示意图

## 扫描成像

1. 光/机扫描成像：依靠机械传动装置使光学镜头摆动，形成对目标地物逐点逐行扫描。探测元件把接受到的电磁波能量能转换成电信号，在磁介质上记录或再经电/光转换成为光能

---

量，在设置于焦平面的胶片上形成影像

光/机扫描仪：利用平台的行进和旋转扫描镜对与平台行进的垂直方向的地面（物平面）进行扫描，获得二维遥感数据。

组成：扫描系统（旋转扫描镜）、聚焦系统（反射镜组）、分光系统（棱镜、光栅）、检测系统（探测元件—光电转换系统、放大器）、记录系统等组成。

eg. 红外扫描仪、多光谱扫描仪（MSS）、专题制图仪（TM）

1.瞬时视场角：扫描镜在一瞬时时间可以视为静止状态，此时，接受到的目标物的电磁波辐射，限制在一个很小的角度之内，这个角度称为瞬时视场角。即扫描仪的空间分辨率。

2.总视场角：扫描带的地面宽度称总视场。从遥感平台到地面扫描带外侧所构成的夹角，叫总视场角。

2.推扫式成像:把探测器按扫描方向（垂直于飞行方向）阵列式排列来感应地面响应，以代替机械的真扫描。中巴资源卫星、SPOT/HRG、IKONOS、QuickBird、北京1号小卫星若探测器按线性阵列排列，则可以同时得到整行数据；若面阵式排列，则同时得到的是整幅图像。

线阵列传感器多使用**电荷耦合器件 CCD**（charge coupled device），每个探测器元件感应响应“扫描”行上一个唯一的地面分辨单元的能量，探测器的大小决定了每个地面分辨单元的大小。

特点：

- 空间和辐射分辨率高：线性阵列系统可以为每个探测器提供较长的停留时间，以便更充分的测量每个地面分辨单元的能量。
- 几何精度更高：记录每行数据的探测元件间有固定的关系，具有更大的稳定性。
- 体积小、重量轻、能耗低：CCD是固态微电子装置。
- 结构上可靠性高：因为没有光机扫描仪的机械运动部分。
- 存在的问题：由于使用了多个感光元件把光同时转换成电信号，因此当感光元件间存在灵敏度差时，往往会产生带状噪声，需要进行校准。

成像光谱仪：既能成像又能获取目标光谱曲线的“谱像合一”的技术，称为成像光谱技术。

按该原理制成的扫描仪称为成像光谱仪。主要应用于高光谱航空遥感，在航天遥感领域高光谱也开始应用。

目的：在获取大量目标窄波段连续光谱图象的同时，获得每一个像元几乎连续的光谱数据

特点：高光谱成像是遥感进展的新技术，其图象是多达数百个波段的非常窄的连续的光谱波段组成，光谱波段覆盖了可见光、近红外、中红外和热红外区域全部光谱带。光谱仪成像时多采用扫描式和推帚式，可以收集200或以上波段的收据数据。使图象中的每一像元均得到连续的反射率曲线，而不像其他一般传统的成像谱光仪在波段之间存在间隔。

雷达成像

雷达（RADAR，Radio Detection and Ranging，无线电波探测与测距），主动发射已知的微波信号（短脉冲），再接收这些信号与地面相互作用后的回波反射信号，并对这些信号的探测频率和极化位移等进行比较，生成地表的数字图像或模拟图像。

侧视机载雷达（Side-Looking Airborne Radar，SLAR）—20世纪50年代，美国军方

真实孔径雷达（Real Aperture Radar，RAR）

合成孔径雷达（SAR，Synthetic Aperture Radar）

全天候，穿透云雾能力、全天时工作、穿透植被树叶、目标与频率的相互关系、运动检测

使用的是波长 1mm-1m(即频率 300MHz-300GHz)的微波波段, 比可见光-红外(0.38-15um)波长要大的多, 最长的微波波长可以是最短的光学波长的 250 万倍。**遥感中常用为 0.8-30cm**

激光雷达, 或称机载激光雷达 (Light Detection And Ranging 激光探测与测距), 是一种高精密度的激光测试技术。其基本原理是由激光器发射光脉冲信号, 探测器接收前方物体反射的光脉冲信号, 通过测定光脉冲发射和接收的时间差来确定前方物体的距离(或速度)。

LiDAR 系统组成:

- (1) 定位与导航系统: 动态差分 GPS(即 DGPS)技术和惯性测量装置(即 IMU-Inertial Measurement Unit);
- (2) 激光扫描仪: 用来量测地物地貌的三维空间坐标信息, 由激光发射器、接收器、时间间隔测量装置、传动装置、计算机和软件组成;
- (3) 数码相机: 获取地面的地物地貌真彩或红外数字影像信息
- (4) 中心控制单元: 实现三个重要设备的精确同步, 采用导航、定位和管理系统构成同步记录 IMU 的角速度和加速度的增量以及 GPS 的位置、激光扫描仪和数码相机的数据。

激光雷达测高是通过量测光波从发射到被目标反射返回后接收所经历的时间  $t_L$  来计算目标到激光器的距离的。因此, 目标到激光器的距离  $R$  可以表示为:  $R = \frac{1}{2}ct_L$

LiDAR 数据的主要特点

- (1) 数据密度高
- (2) 数据精度高
- (3) 植被穿透能力强
- (4) 不受阴影和太阳高度角影响

卫星分类: 陆地卫星系列\气象卫星系列\海洋卫星系列

## **航空摄影的获取及空中摄影的基本要求**

### **一、航空摄影的实施过程**

采用摄影测量方法测制地形图, 必须要对测区进行有计划的空中摄影。将航摄仪安装在航摄飞机上, 从空中一定的高度上对地面物体进行摄影, 从而取得航摄像片。

搭载航摄仪的飞机的飞行稳定性要好, 在空中摄影过程中要能保持一定的飞行高度和航线飞行的直线性, 飞机的飞行航速不宜过大, 续航的时间要长。

航空摄影可分为**面积航空摄影**、**条状地带航空摄影**和**独立地块航空摄影**三种。

**面积航空摄影**: 主要用于测绘地形图或进行大面积资源调查。

**条状地带航空摄影**: 主要用于公路、铁路、输电线路定线和江、河流域的规划与治理工程等, 它与面积航空摄影的区别一般只有一条或少数几条航带。

**独立地块航空摄影**: 主要用于大型工程建设和矿山勘探部门。这种航空摄影只拍摄少数几张具有一定重叠度的像片。

航空摄影任务委托书

- 当需要采用航空摄影测量的方法测制某一地区的地形图时, 测图单位应向承担空中摄影的单位提出航空摄影任务委托书, 并签订航摄协议书或合同。
- 摄影单位要根据协议书或合同的要求制订航摄技术计划, 按要求完成航空摄影的任务。所以, 航空摄影的实施过程一般为任务委托、签订合同、航摄技术计划制订、空中摄影实施、摄影处理、资料检查验收等几个主要环节。

主要内容: 划定需航摄的区域范围、确定航摄比例尺、提出航摄仪的类型、焦距、像幅的规格、确定对像片重叠度的要求、规定提交资料成果的内容、方式和期限。航摄资料成果包括航摄底片、航摄像片(按合同规定提供的份数)、像片索引图、航摄软片变形测定成果、航摄机鉴定表、航摄像片质量鉴定表等。

## 航摄技术计划的主要内容

1. 搜集航摄地区已有的地形图、控制测量成果、气象等有关资料
2. 划分航摄分区
3. 确定航线方向和敷设航线（航线方向一般按东西向直线飞行，且一般按图廓线敷设）
4. 计算航摄所需的飞行数据和摄影数据（主要是绝对航高、摄影航高、像片重叠度、航摄基线、航线间隔距、航摄分区内的航线数、曝光时间间隔和像片数等）
5. 编制领航图
6. 确定航摄的日期和时间

## 空中摄影实施

空中摄影应选在天空晴朗少云、能见度好、气流平稳的天气进行，摄影时间最好是中午前后的几个小时。

飞机做好航空摄影各项准备工作后，依据领航图起飞进入摄区航线，按预定的曝光时间和计算的曝光间隔连续地对地面摄影，直至第一条航线拍完为止。然后飞机盘旋转弯 180°。进入第二条航线进行拍摄，直至一个摄影分区拍摄完毕，再按计划转入下一摄影分区拍摄。

## 摄影处理与资料验收

- 摄影处理包括底片冲洗、正片晒印、像片索引图的拍照冲晒等工作。航空像片拍摄完后，立即将装有底片的暗盒取出，在专用的冲印设备中进行处理，并按相应的技术标准检查，万一出现质量问题，如云层遮挡、漏拍、漏光、重叠度超限等，应马上采取重拍等补救措施。
- 按航空摄影技术规范和航空摄影合同，以及航摄技术计划中的条款进行检查验收。

## 航空摄影技术要求

利用安装在航摄飞机上的航摄仪从空中一定角度对地面进行摄影

### 1 航高

**航高**：摄影机相对某一水准面的高度。

**相对航高**：摄影机相对某一基准面的高度。（通常基准面取测区地表平均高程平面）

**绝对航高**：摄影机相对平均海水面的高度。

2 **航测比例尺**：视航摄像片水平、地面也近似水平时，像片上的线段  $l$  与地面上相应的水平距  $L$  之比为摄影比例尺  $1/m=l/L=f/H$

- 当像片有倾斜、地面有起伏时，航测比例尺实际上在像片上处处不相等。一般采用整幅像片的**平均比例尺**来表示航摄像片的比例尺
- 对于选定的航摄仪和航测比例尺，及  $f$  和  $m$  为已知，则航空摄影时利用按要求计算得到的航高  $H$  进行摄影飞行。

摄影测量规范中规定：

- 同一航线内，各摄影站的高差不得大于 50m
- 实际航高与设计航高的差异一般不得大于 5%

### 3 成图比例尺

4 **航摄倾角**：摄影瞬间摄影机的主光轴（摄影机轴）与铅直方向的夹角  $\alpha$  称为航摄倾角

- 当  $\alpha=0$  时为垂直摄影，是最理想的情况；
- 实际情况下要求倾角不大于  $2^\circ$ ，最大不超过  $3^\circ$



---

5 **像片重叠度**：两张像片拍摄地物有重叠时，重叠部分占整张像片的比例

**航向重叠度**：沿航线飞行方向相邻的两张像片的重叠（60%~65%， $\geq 53\%$ ）

**旁向重叠度**：相邻航带中相邻的两张像片的重叠度（30%~40%， $\geq 15\%$ ）

6 **摄影基线**：航向相邻两个摄影站间的距离

7 **基高比**：摄影基线 **B** 与航高 **H** 的比值  $B/H$  确定了像片解译者所看到的垂直夸大

8 **航线弯曲**：把一条航线的航摄像片根据地物影像拼接起来，各张像片的主点连线不在一条直线上，而呈现为弯弯曲曲的折线，称**航线弯曲**

**航线弯曲度**：航线最大弯曲矢量与航线长度之比的百分数。要求航线弯曲度 $<3\%$

9 **像片旋角**：相邻像片的主点连线与同方向第一张相片框标连线间的夹角。要求像片旋角不超过  $6^\circ$ ，最大不超过  $8^\circ$

像片旋角过大会减少立体像对的有效范围

10 **像对**：航向相邻两张像片组成一个像对

**理想像对**：相邻两像片水平、摄影基线水平组成的像对

**正直像对**：相邻两像片水平、摄影基线不水平组成的像对

**竖直像对**：相邻两像片不严格水平、摄影基线不水平组成的像对

### 空中摄影质量的评定

空中摄影完成之后，当日应进行摄影处理，并对摄影质量进行评定。质量的检查评定包含如下项目：

- ① 负片上影像是否清晰、框标影像是否齐全，像幅四周指示器件的影像（如水准气泡、时钟、像片号等）是否清晰可辨。
- ② 由于太阳高度角的影响，地物阴影长度是否超过摄影规范的规定，地物阴暗和明亮部分的细部能否辨认清楚。
- ③ 航摄负片上是否存在云影、划痕、斑点、折伤和乳剂脱落等现象。
- ④ 负片上的黑度、影像反差、灰雾度不得大于规范要求，是否满足影像清晰、色调一致、层次丰富、反差适中的要求。
- ⑤ 航带的直线性、航带间的平行性、像片影像的重叠度、航高差和摄影比例尺等都要检查评定，并不得超出规定的技术指标。

### 中心投影的基本知识

- **投影**：用一组假想的直线将物体向几何面投射
- **投影射线**：投影的直线
- **投影平面**：投影的几何面（原平面）
- **在投影平面上的投影**：在投影平面上得到的图形
- 投影有**中心投影**与**平行投影**两种
- 而平行投影中又有**斜投影**与**正射投影**之分

**中心投影**：投影射线会聚于一点的投影称为中心投影

中心投影的主要特性：

- 点的像仍是点
- 直线的像一般仍是直线，在投影面上只能显示为一线段
- 若直线的延长线通过投影中心，则该直线的像是一个点

正片、负片



**平行投影**：投影射线平行于某一固定方向的投影称为平行投影

**斜投影**：投影射线与投影平面斜交

**正射投影**：投影射线与投影平面正交

**双心投影**：两个投影中心和两个投影平面当作一个整体，对同一个物体进行投影

### 航摄像片与地形图的区别

**投影方式不同**：航摄像片为中心投影、地形图为正射投影

**地形图的特点**

- 图上任意两点间的距离与相应地面点的水平距离之比为一常数，等于成图比例尺
- 图上任意一点引画的两条方向线间的夹角等于地面上对应的水平角

**比例尺**：地形图有统一比例尺，航片无统一比例尺

**表示方法**：地形图为线划图，航片为影像图

**表示内容**：地形图需要综合取舍

**几何差异**：航摄像片可组成像对立体观察

摄影测量的主要任务之一：把地面按中心投影规律获取的、以摄影比例尺表示的航摄像片转换成以测图比例尺表示的正射投影地形图

### 航摄像片中的重要点、线、面

**点**：摄影中心 S

像主点 o

地主点 O

像底点 n

地底点 N

等角点 c

地面等角点 C

主合点 i

主循点 J

**线**：透视轴 TT

主光线 SoO

主垂线 SnN

基本方向线 VV

主纵线 vv

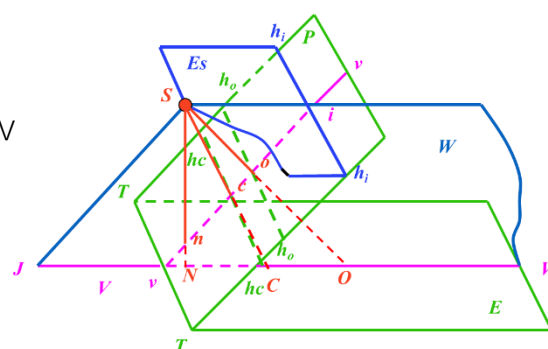
等角线 ScC

主合线 hihi

主横线 ho<sub>o</sub>ho

等比线 hchc

摄影机轴 So=f



**面**：地面 E（物面）=基准面 像片面 P=投影面 主垂面 W 真水平面 Es 合面

E 为水平的地面（物面）也称为基准面，P 为倾斜的像片，即投影面，S 为摄影中心，E 面与 P 面的交线 TT 又称为透视轴，透视轴上的点称为二重点。

过 S 向 P 面作的垂线与像片面相交于 o，与地面交于 O，So 称为摄影机轴，o 称为像主点，So=f 称为摄影机主距。摄影机轴与地面的交点称为地面主点 O。

过 S 作垂直 E 面的铅垂线称主垂线，主垂线与像片面 P 的交点 n 称为像底点，与地面 E 的交点 N 称为地底点，SN 称为航高，用 H 表示。

过主垂线 Sn 及摄影机轴 So 的垂面 W 称为主垂面。主垂面垂直于像片平面 P，又垂直于地面 E。主垂面 W 与像平面 P 的交线称主纵线 vv，与地面的交线称为基本方向线（摄影方向线）VV。摄影机轴 So 与主垂线 Sn 的夹角  $\alpha$  称为像片倾角。作角  $\alpha$  的平分线与像平面交于点 c 称为等角点，相应地与地面 E 的交点为地面等角点 C。

过 S 作平行于 E 面的水平面 Es 称为合面，合面与像片面的交线 hihi 称为主合线，主合线与主纵线的交点 i 称为主合点。过 c、o 分别作平行于 hihi 的直线得 hchc、hoho，分别称为等比线及主横线。

---

过 S 作  $w$  的平行线交  $VV$  于 J, 称为循点。

$o$ 、 $n$ 、 $c$  在主纵线上,  $O$ 、 $N$ 、 $C$  在基本方向线上

根据中心投影特点可知,  $i$  点是 E 面上一组平行于基本方向线  $VV$  的平行线束在 P 面上构像的合点, 而  $n$  是一组垂直于 E 面的平行线束在 P 面上构像的合点。

综上所述, 航摄像片上主要的点、线及与透视相关的点、线、面有: 像主点  $o$ 、像底点  $n$ 、等角点  $c$ 、主合点  $i$ 、主纵线  $w$ 、合线  $hihi$ 、等比线  $hchc$ 、基本方向线  $VV$  及主垂面  $W$  等。

**底点特性:** 铅垂线在像平面上的构像位于以像底点  $n$  为辐射中心的相应辐射线上

**等角点特性:** 在倾斜像片和水平地面上, 由等角点  $c$  和  $C$  所引出的一对透视对应线无方向偏差, 保持着方向角相等

**等比线特性:** 等比线的构像比例尺等于水平像片上的摄影比例尺, 不受像片倾斜影响

### 常用坐标系

- **摄影测量几何处理的任务:**
  - 根据像片上像点的位置确定相应地面点的空间位置, 因此必须首先选择合适的坐标系来定量描述像点和地面点, 然后才能实现坐标系的变化, 从像方测量值求出相应点的物方坐标。
- **像方坐标系 (用来表示像点的平面坐标和空间坐标, 3 个)**
  - 像平面坐标系
  - 像空间坐标系
  - 像空间辅助坐标系
- **物方坐标系 (用于描述地面点在物方空间的位置, 3 个)**
  - 摄影测量坐标系
  - 地面测量坐标系
  - 地面摄影测量坐标系

框标平面坐标系 ( $P-xy$ )

像平面坐标系是以像主点为原点的右手坐标系 ( $O-xy$ )

实际情况  $O-xy$  与  $P-xy$  往往不重合需将框标平面坐标系平移至与像平面坐标系

### 像空间坐标系 $S-xyz$

**定义:**

- 以摄影中心  $S$  为坐标原点;
- $x$ ,  $y$  轴与像平面坐标系的  $x$ ,  $y$  轴平行;
- $Z$  轴与主光轴重合;
- 空间右手直角坐标系;

**特点:**

- 每个像点在像空间坐标系的  $z$  坐标都是  $-f$ ;
- $x$ ,  $y$  与像平面坐标系相同;
- 像空间坐标系随像片的空间位置变动, 在每张像片上都是独立的。

## 像空间辅助坐标系 S-XYZ

- 由于像空间坐标系不统一，计算不方便，需建立相对统一的坐标系，称为像空间辅助坐标系。
- 原点：摄影中心 S。
- 坐标轴选择：三种情况。

A、每条航线第一张像片像空间坐标系。

B、Z 轴铅垂，X 轴航向，右手系。

C、基线坐标系：摄影基线为 X 轴，基线与左片主光轴构成 XZ 平面，右手系。

## 物方坐标系

**1.摄影测量坐标系  $P-X_pY_pZ_p$ ：**像空间辅助坐标系原点平移至地面点 P

**定义：**将像空间辅助坐标系的坐标原点沿 Z 轴反方向平移至地面点 P，得到的坐标系称为摄影测量坐标系

**特点：**坐标轴与像空间辅助坐标系平行，易于由像点的空间辅助坐标求得相应地面点的摄影测量坐标

**2.地面测量坐标系  $T-X_tY_tZ_t$ ：**地面测量坐标系为国家统一坐标系，平面坐标系为高斯-克吕格三度带或六度带 1980 西安坐标系，高程坐标系为 1985 黄海高程系

指地图投影坐标系，为国家统一坐标系，平面坐标系为高斯-克吕格三度带或六度带 1980 西安坐标系，高程坐标系为 1985 黄海高程系。

地面测量坐标系是左手系。

**3.地面摄影测量坐标系：**原点为地面某一控制点， $Z_{tp}$  轴与地面测量坐标系的  $Z_t$  轴平行， $X_{tp}$  轴与航线一致

原点为地面某一控制点， $Z_{tp}$  轴与地面测量坐标系的  $z$  轴平行， $X_{tp}$  轴与  $X_p$  大致一致，构成右手直角坐标系。

## 航摄像片的内、外方位元素

- 用摄影测量方法研究被摄物体的几何信息和物理信息时，必须建立该物体与像片之间的数学关系，为此，首先需要确定航空摄影瞬间摄影中心与像片在地面设定的空间坐标系中的位置和姿态。
- 描述这些位置和姿态的参数称为像片的方位元素。
  - 表示摄影中心与像片之间相关位置的参数称为内方位元素
  - 表示摄影中心和像片在地面坐标系中的位置和姿态的参数称为外方位元素

## 内方位元素

像片的内方位元素：

- 描述投影中心（物镜后节点）相对于像平面位置关系的参数；
- 三个参数：主距  $f$ 、像主点 O 在框标坐标系中的坐标  $x_0$  和  $y_0$
- 内方位元素一般为已知。
- 恢复内方位元素可恢复摄影时的摄影光束

确定方法：摄影机检校 (Camera Calibration)

- 主要方法包括：
  1. 实验室检校
  2. 控制场检校
  3. 光束法自检校

## 外方位元素

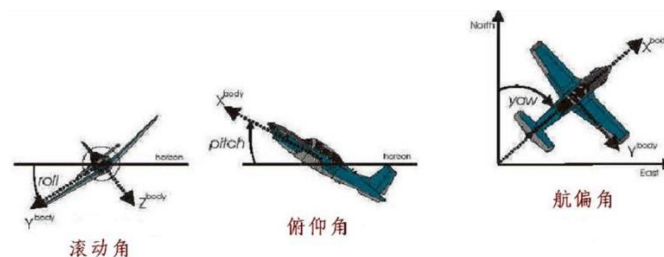
- 像片外方位元素：已建立的摄影光束，确定摄影光束在像片摄影瞬间在地面直角坐标系中空间位置和姿态的参数
  - 1.三个直线元素：描述摄影中心在地面空间直角坐标系中的坐标值( $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ )
  - 2.三个角元素( $\varphi$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ )：摄影光束空间姿态（像片在摄影瞬间空间姿态的要素）

## 三个直线元素

- 三个直线元素反映摄影瞬间，摄影中心  $S$  在选定的地面空间坐标系(物方坐标系)中的坐标值，用  $X_s, Y_s, Z_s$  表示。通常选用的是**地面摄影测量坐标系**
- 其中  $X_{tp}$  轴取与  $Y_t$  轴平行， $Y_{tp}$  轴取与  $X_t$  轴平行，构成右手直角坐标系

## 三个角元素

- 外方位的角元素可以看做是摄影机主光轴从起始的铅垂方向绕空间坐标轴按某种次序连续 3 次旋转而形成的。
  - 首先绕第一轴转一个角度，其余两轴的空间方位随同变化；
  - 在绕变动后的第二轴旋转一个角度，两次旋转的结果达到恢复摄影机主光轴的空间方位；
  - 最后绕经过两次转动后的第三轴（主光轴）旋转一个角度，即像片在其自身平面内绕像主点旋转一个角度。
- 三个角元素可理解是航空摄影时飞机的：俯仰角、滚动角和航偏角



## 以 Y 轴为主轴的 $\varphi, \omega, \kappa$

- 航向倾角  $\varphi$ （绕  $y$  轴转）旁向倾角  $\omega$ （绕  $x$  轴转）像片旋角  $\kappa$ （绕  $z$  轴转）
- 转角的正负号：
  - 国际上规定绕轴逆时针方向旋转（从旋转轴正向的一端面对坐标原点看）为正，反之为负；
  - 我国习惯规定  $\varphi$  角顺时针方向为正， $\omega, \kappa$  角以逆时针方向旋转为正；

## 外方位元素

### 外方位元素的确定方法：

- 利用控制点空间后方交会（地→空型）
- 利用 GPS / IMU (POS)（空→地型）
- 光束法平差
- GPS：全球定位系统
- IMU：惯性测量装置
- POS：定位与定向系统

## 像点坐标变换与中心投影构像方程

在解析摄影测量中，为了利用**像点坐标**计算相应的**地面点坐标**，首先应建立像点在不同的**空间直角坐标系**之间的坐标变换关系

像点坐标变换

像点的平面坐标变换——旋转（原点相同而轴向不一致）、旋转+平移（原点不同）

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \text{ 或 } \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = R^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

### 确定方向余弦

方向余弦是像空间坐标系和像空间辅助坐标系相应两坐标轴系间夹角的余弦值（R-1=RT）

方向余弦可以用三个角元素来计算： $\varphi, \omega, \kappa$

- 首先将坐标轴绕**主轴 Y 轴** 旋转  $\varphi$  角，是  $XYZ$  坐标系变成  $X_\varphi Y_\varphi Z_\varphi$  坐标系
- 然后绕旋转后的  $X_\varphi$  轴（**副轴**）旋转  $\omega$  角，使得  $X_\varphi Y_\varphi Z_\varphi$  坐标系变为  $X_{\varphi\omega} Y_{\varphi\omega} Z_{\varphi\omega}$  坐标系，达到  $Z_{\varphi\omega}$  与主光轴  $SO$  重合
- 最后绕经过旋转后的  $Z_{\varphi\omega}$ （**第三轴**）旋转  $\kappa$  角，直到与像空间坐标系  $S-xyz$  重合

## 中心投影的构像方程（共线方程）

共线方程：摄影中心 S、地面点 A 和像片点 a 在一条直线上

设：在地面摄影测量坐标系  $D-X_{tp}Y_{tp}Z_{tp}$  中，摄影中心 S 和地面点 A 的坐标分别为  $X_s, Y_s, Z_s$  和  $X_A, Y_A, Z_A$ ，则：

- 地面点 A 在像空间辅助坐标系中的坐标  $(X_A - X_s, Y_A - Y_s, Z_A - Z_s)$

- 像点 a 在像空间辅助坐标系中的坐标  $X, Y, Z$

S、A、a 三点共线，从相似三角形关系可得： $\frac{X}{X_A - X_s} = \frac{Y}{Y_A - Y_s} = \frac{Z}{Z_A - Z_s} = \frac{1}{\lambda} = \text{相似比}$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} X_A - X_s \\ Y_A - Y_s \\ Z_A - Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A - X_s \\ Y_A - Y_s \\ Z_A - Z_s \end{bmatrix}$$

中心投影的构像方程式，也称共线方程（十二要素）

$$x = -f \frac{a_1(X_A - X_s) + b_1(Y_A - Y_s) + c_1(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) + c_3(Z_A - Z_s)}$$

$$y = -f \frac{a_2(X_A - X_s) + b_2(Y_A - Y_s) + c_2(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) + c_3(Z_A - Z_s)}$$

$$a_1 = \cos\varphi\cos\kappa - \sin\varphi\sin\omega\sin\kappa$$

$$a_2 = -\cos\varphi\sin\kappa - \sin\varphi\sin\omega\cos\kappa$$

$$a_3 = -\sin\varphi\cos\omega$$

$$b_1 = \cos\omega\sin\kappa$$

$$b_2 = \cos\omega\cos\kappa$$

$$b_3 = -\sin\omega$$

$$c_1 = \sin\varphi\cos\kappa + \cos\varphi\sin\omega\sin\kappa$$

$$c_2 = -\sin\varphi\sin\kappa + \cos\varphi\sin\omega\cos\kappa$$

$$c_3 = \cos\varphi\cos\omega$$

---

**像点位移和方向偏差：**一般摄影像片不能简单作为影像地图使用。

**像点位移：**在中心投影情况下，当像片有倾斜，或地面有起伏时导致了航空摄影像片上构像相对于理想情况下的构像，产生了位置差异叫做像点位移。

**方向偏差：**由像点位移导致了像片上任意方向线与地面上相应的水平方向线（水平像片上理想方向线）产生了偏差。

**(1) 地面水平时像片倾斜引起的像点位移**

**(2) 地形起伏在水平像片上引起的像点位移：**

地形起伏引起的像点位移也同样会引起像片比例尺及图形的变化；

由于像底点不在等比线上，因此，综合考虑像片倾斜和地形起伏的影响，像片上任何一点都存在像点位移，且位移的大小随点位的不同而不同，由此导致一张像片上不同点位的比例尺不相等。

- 除了上述两种几何因素引起像点位移外，**物镜畸变、大气折光、地球曲率及底片形变**等一切物理因素也会导致像点为位移。
- 它们在每张像片上的影响都有相同的规律，属于一种**系统误差**，可用相应的数学模型来表示。
- 在解析空中三角测量加密控制点时，可对原始数据中的像点坐标按一定的数学模型改正。此外，在解析测图仪系统中，一般也具有对这种系统误差改正的功能。

## 双像立体测图

### 人眼的立体视觉与立体量测

- 在摄影测量中，利用单幅影像是**不能**确定物体上的空间位置的，在单张像片的内、外方位元素已知的条件下，它也只能确定被摄物体点的**摄影方向线**。
- 要确定被摄物体点的空间位置，必须利用具有一定重叠的两张像片，构成立体模型来确定被摄物体的**空间位置**。按照立体像对与被摄物体的几何关系，以数学计算方式来解求物体的三维坐标。
- **双像立体测图**是指利用一个立体像对重建地面立体几何模型，并对该几何模型进行量测，直接得到符合规定比例尺地形图或建立数字地面模型等，也称**立体摄影测量**。

### 生理视差是判断景物远近的根源

视差可以理解为是由于观测者的运动而造成的远近目标物体运动快或慢的视感觉。

**人造立体视觉：**如果在双眼前分别放置感光材料 P 和 P'，则景物分别记录在感光材料上。

当移开实物 AB 后，仍进行双眼观察，仍能看到与实物一样的空间景物 A 和 B。这就是**人造立体视觉效应**

**摄影测量进行三维坐标量测的理论基础：**按照立体视觉原理，在一条基线的两端用摄影机获取同一地物的一个立体像对，观察中就能重现物体的空间景观，测绘物体的三维坐标。根据这一原理，规定在摄影测量中，像片的航向重叠要求达到 60% 以上，是为了获取同一景物在两张航片上都有影像，以构成立体像对进行立体量测。

### 观察人造立体的条件

**人造立体视觉必须符合自然界立体观察的四个条件：**

- ① 由两个不同摄站摄取同一景物的一个**立体像对**
- ② 两张像片的**比例尺应相近**（差别小于 15%）
- ③ 两像片**同名点的连线与眼基线近似平行**
- ④ 一只眼睛只能观察像对中的一张像片。这一条件称为**分像条件**

---

**像对的立体观察：**用光学仪器或肉眼对一定重叠率的像对进行观察，获得地物和地形的光学立体模型

1. 用立体镜观察立体
2. 重叠影像观察立体：互补色法、光闸法、偏振光法、液晶闪闭法  
-品红和蓝绿、光闸眼镜、偏振眼镜、液晶眼镜的左右镜片交替地闪闭

**超高感：**在像对立体观察中所看到的立体模型是视觉模型，观察者往往会感到立体模型的起伏程度与实地不一致。这种现象是由于立体模型的**水平比例尺和垂直比例尺不一致**造成的。当立体模型的垂直比例尺大于水平比例尺时，立体模型比实际地形显得陡峭，这种现象称为立体观察时的超高感。

产生超高感的原因是**立体观察仪的主距大于摄影机的主距**。

### 像对的立体量测

**单测标量测法：**用一个真实的测标量测，测标与地面点相切时，测标位置即空间点的位置

**双测标量测法：**是用两个刻有量测标记的测标进行量测。

**立体坐标量测仪：**用于量测像点坐标的仪器

分为**普通立体坐标量测仪**和**精密立体坐标量测仪**。

量测精度达到 3-5um 的立体坐标量测仪称为精密立体坐标量测仪。

**像对：**从不同摄站摄取的具有重叠影像的一对像片。

**摄影基线：**立体像对相邻摄站间的连线( $S_1S_2$ ), B

**同名像点：**同一地面点 A 在不同像片上的构像  $a_1$  和  $a_2$

**同名光线：**同一地面点向不同摄站的投射光线  $Aa_1S_1$  和  $Aa_2S_2$

**核面：**过摄影基线 B 与任一地面点 A 的平面

**主核面：**包含像主点的核面

**垂核面：**包含像底点的核面，一个像对只有一个垂核面

**核线：**核面与像片平面的交线

**核点：**摄影基线与像片平面的交点

**同名核线：**同一核面的左右像片的核线

### 立体摄影测量的基本原理

**双像立体测图，**是指利用一个立体像对重建地面立体几何模型，并对该模型进行量测，直接给出符合规定比例尺的地形图，获取地理基础信息。

使用一个立体像对构建地面立体模型的方法称为**立体摄影测量**。

**实质：**重建摄区立体模型，在立体模型上进行量测

利用像对进行立体测图，必须重建与实地相似且符合比例尺及空间方位的几何模型，其重建立体模型的过程是：

- 1、恢复像片的**内方位元素**，也称为**内定向**。
- 2、恢复像片的**外方位元素**。通常分为两个步骤：
  - (1) 恢复**相对定向元素**
  - (2) 恢复**绝对定向元素**



## 双像立体测图步骤

- **内定向**：恢复像片的内方位元素，建立与摄影光束相似的投影光束。
- **相对定向**：恢复两张像片的相对方位，建立与地面相似的立体模型。
- **绝对定向**：将立体模型纳入到地面坐标系中，并归化模型的比例尺。
- **立体测图**：用量测工具量测立体模型，测制地形图。

## 方法

### 1、模拟法立体测图

主要是用双像投影模拟空中摄影过程。使用由**投影器和其他机械装置等构成的专用仪器**，用**光学像片及人工双眼**寻找同名像点，通过投影器的**机械装置恢复内方位元素**后，利用投影器的运动来模拟相对定向，使同名光线对对相交，建立立体模型。然后，仍然借助于机械螺旋的运动来模拟绝对定向，恢复模型的空间位置及大小。

特点：建立立体模型时，不用计算出相对定向元素和绝对定向元素，而完全用机械运动来模拟。

### 2、解析法立体测图

**解析测图仪**，仍使用光学像片，由人的双眼寻找同名像点。像片装在像片盘上，按相应的公式计算出像对的**相对定向元素和绝对定向元素**，并将这些元素存储在计算机中。

测图时，软件自动计算模型点对应的同名像点坐标，自动推动像片盘和测标运动，是测标切准模型点，进而进行立体量测。

特点：精度高，不受模拟法的某些限制，产品首先以数字形式存储在计算机中。

### 3、影像数字化立体测图

是目前主流的一种方法。所用的仪器称为**数字摄影测量系统**，由数字化仪、计算机、输出设备及数字摄影测量软件等组成。利用**数字相关技术代替人眼观察**，自动寻找同名像点并**量测坐标**；采用解析计算方法建立数字立体模型，由此建立数字高程模型，**自动绘制等高线**，制作正射影像图。

特点：整个过程除少量人机交互外，全部自动化。

## 立体像对的相对定向元素和模型的绝对定向元素

双像立体测图实质：**立体像对—重建—>立体模型—量测—>地形图**

重建立体模型的过程：

- (1) 恢复像片对的内方位元素：**内定向**
- (2) 恢复像片对的外方位元素：**相对定向、绝对定向**

**A 相对定向元素**：描述两张像片**相对位置**关系的元素。

**相对定向目的**：建立与实地相似的立体模型。

**完成的标准**：完成相对定向的唯一标准是两像片上**同名光线对对相交**。

**相对定向元素**是描述立体像对中两张像片的相对位置和姿态关系的元素，因此，可以利用两张像片各自选定的同一个**像空间辅助坐标系**来讨论相对定向元素。

选取了不同的像空间辅助坐标系，因此有不同的**相对定向元素**。

**一般确定两像片相对定向元素有两种方法**：

一是将左像片置平或将其位置固定不变，称为**连续像对相对定向系统**

二将摄影基线固定水平，称为**独立像对相对定向系统**

**B 绝对定向元素**：确定相对定向所建立的**几何模型**的比例尺和空间方位的元素。

相对定向后，所建立的模型是在选定的**像空间辅助坐标系**中，且模型的比例尺也是未知的，要把模型纳入**地面摄影测量坐标系**中，需要借助于已知的**地面控制点**来进行**两个坐标系间的转换**，这种坐标变换在数学上是一个不同原点的空间相似变换/

## 模拟法立体测图原理

需要在**模拟型立体测图仪**上完成

用光学投影或机械投影的方法实现摄影过程的几何反转，建立与实地相似的几何模型。

### 1.基本思路

- 1 立体观察下通过微动投影器定向螺旋，**消除承影面上同名点的上下视差来完成相对定向**
- 2 将相对定向后建立的立体模型纳入到**地面坐标系**中，并归化模型的比例尺，这一过程称模型的**绝对定向**。（制作图底-确定模型比例尺-模型置平）
- 3 在模拟测图仪上测图 4 接边 5 检查 6 清绘、整饰

## 解析法立体测图

数字投影：利用电子计算机，通过严格的**数学解算方法**保证像点坐标和模型点坐标之间满足**共线关系**，建立被摄目标的数字立体模型，同样可以完成对被摄目标的立体量测。

**解析测图仪是由精密立体坐标量测仪、计算机、数控绘图仪、接口设备及相应软件组成的立体测图系统。**

### 优点

- 1、精度高 2、功能强 3、效率高 4、可产生数字测绘产品，便于成果进入 GIS 管理应用

**工作原理：以共线条件方程为基础**

解析测图仪有两种方式实现数字投影运算：

- 1 输入物方空间坐标（物方空间解析测图仪）

物方坐标可以是：模型坐标、地面坐标、地理坐标。常见的是输入模型坐标。

- 2 输入像方空间坐标（像方空间解析测图仪）

### 解析测图仪的软件

- 1、计算机操作系统
- 2、摄影测量软件

**(1) 实时程序：**为了保证随着手轮与脚轮的运动使作业员观测到连续的、完整的立体模型，计算机必须以极高的频率根据输入的坐标量的变化进行重复的数值计算，这种计算称为实时计算。由厂家编写好的。

**(2) 应用程序：**解析内定向、解析相对定向、解析绝对定向、模型的存贮与恢复、点观测面积体积和矢量计算、空中三角测量采集数字地面模型数据

## 摄影测量解析基础

已知每张像片的 6 个外方位元素就能确定被摄物体与航摄像片的关系

### 双像解析摄影测量的三种方法

- 空间后方交会-前方交会
- 立体像对的相对定向-绝对定向
- 双像解析光束法

### 获得（恢复）影像的外方位元素的方法：

**I 单像空间后方交会：**利用至少三个不在一条直线上的已知地面控制点坐标及其对应的像点坐标，根据共线条件方程，计算像片外方位元素。

**共线条件方程泰勒公式展开，并取一次小值项**

为了提高解算外方位元素的精度，常有多余观测方程。在空间后方交会中，通常是在像片的四个角上选取的四个或更多的地面控制点，因此需要使用**最小二乘法平差计算**。

通常将控制点的地面坐标视为**真值**，而把相应的像点坐标视为**观测值**，加入相应的改正数

### 解算过程

1. 获取已知数据：包括像片比例尺，平均航高，内方位元素，从外业测量成果中，获取控制点的地面测量坐标，并转化成地面摄影测量坐标
2. 量测控制点的像点坐标：并进行像点坐标系统误差改正
3. 确定未知数的初始值：在竖直摄影情况下，三个角元素初值，线元素初值： $X_{s0}$ 、 $Y_{s0}$  的取值可以用四个角上控制点坐标的平均值
4. 计算旋转矩阵  $R$ ：利用角元素的近似值计算方向余弦，组成旋转矩阵
5. 逐点计算像点坐标近似值：利用未知数的近似值代入共线方程，计算控制点相应的像点坐标的近似值  $(x)$   $(y)$
6. 组成误差方程式：按公式组成误差方程式，逐点计算误差方程式的系数和常数项
7. 组成法方程式：解算未知数的改正数
8. 计算改正数：当改正数小于指定值，计算完成，得到外方位元素值；否则将解算的未知数加上初始值，作为新的初始值，重复 4-8 步
9. 精度评定

**II 立体像对的前方交会：**已知立体像对中两张像片的内、外方位元素和同名像点坐标，确定相应地面点坐标的方法

- 单像空间后方交会可以求得像片的外方位元素，但不能根据单张像片的像点坐标反求相应地面点的空间坐标。
- 像片的外方位元素和一个已知的像点，只能够确定该像片的空间方位及摄影中心  $S$  至像点的射线空间方向。
- 只有利用立体像对上的同名像点，才能够得到两条同名射线在空间相交的点，即该地面点的空间位置。

### 计算过程

- ① 获取已知数据：立体像对两张像片的内、外方位元素  $x_0, y_0, f, X_{s1}, Y_{s1}, Z_{s1}, \varphi_1, \omega_1, \kappa_1, X_{s2}, Y_{s2}, Z_{s2}, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2$
- ② 用各像片的外方位角元素计算左、右像片的方向余弦值，组成旋转矩阵  $R_1$  和  $R_2$
- ③ 逐点计算像点的像空间辅助坐标系  $(u_1, v_1, w_1)$  及  $(u_2, v_2, w_2)$
- ④ 根据外方位元素计算基线分量  $(B_u, B_v, B_w)$ ；
- ⑤ 计算投影系数  $(N_1, N_2)$
- ⑥ 计算待定点在各自的像空间辅助坐标系中的坐标  $(U_1, V_1, W_1)$  及  $(U_2, V_2, W_2)$
- ⑦ 最后计算待定点的地面摄影测量坐标  $(X, Y, Z)$

**单像空间后方交会：**从地面控制点出发，向后方（像方）反推算出像片的外方位元素；

**立体像对前方交会：**由立体像对出发，据像对上同名像点，向前方（物方）求地面点坐标

### 双像解析的空间后交-前交方法

双像解析摄影测量，就是利用解析计算的方法处理一个立体像对的影像信息，从而获得地面点的空间信息。

1. 野外像片控制测量：转换为地面摄影测量坐标
2. 用立体坐标量测仪量测控制点（四个或更多）及所有待定点的像点坐标，并进行像点坐标系统误差改正
3. 空间后方交会计算两张像片外方位元素
4. 空间前方交会计算待定点地面坐标

### 立体像对的相对定向

无论是模拟法相对定向还是解析法相对定向，**同名射线对对相交**是相对定向的**理论基础**。所谓同名光线对对相交，其实质是恢复了核面，即同名光线与基线共面。

**模拟法相对定向**时，利用投影器的运动使同名射线对对相交来恢复核面，投影器上的各小螺旋的微小改变，相当于恢复了五个相对定向元素。

**解析法相对定向**恢复核面，需要从共面条件式出发解求五个相对定向元素，才能建立地面立体模型。

**解析法相对定向**：用解析计算的方法解求相对定向元素，从而确定立体像对两像片的相对位置关系。

### 共面条件方程

一对同名射线与基线共面（混合积等于零）  $S_1 S_2 \bullet (S_1 a_1 \times S_2 a_2) = 0$

- (1) 连续像对解析相对定向
- (2) 单独像对解析相对定向

### 立体像对的绝对定向

**相对定向**仅仅是恢复了摄影时像片之间的**相对位置**，所建立的立体模型是一个以相对定向中选定的**像空间辅助坐标系为基准**的模型，还要将立体模型从像空间辅助坐标系中的坐标转化为**地面摄影测量坐标系**。

**绝对定向元素（7个）**

- 比例缩放系数  $\lambda$
- 坐标原点的平移量  $X_s, Y_s, Z_s$
- 两个坐标系的三个旋转角  $\Phi, \Omega, K$

**解析绝对定向**就是利用已知的地面控制点，从绝对定向公式出发，解求**绝对定向元素**

**双像解析的相对定向-绝对定向法**过程为：

- ① 用连续像对或单独像对的相对定向元素的误差方程式解求像对的**相对定向元素**
- ② 由相对定向元素组成左、右像片的**旋转矩阵**  $R_1$  和  $R_2$ ，并利用前方交会式求出模型点在**像空间辅助坐标系**中的坐标
- ③ 根据已知**地面控制点**的坐标，按绝对定向元素的误差方程式解求该立体模型的**绝对定向元素**
- ④ 按绝对定向公式，将所有待定点的坐标纳入**地面摄影测量坐标**中

### 双像解析的光束法严密解

**光束法**：用已知的少数控制点以及待求的地面点，都按共线条件方程式同时列误差方程式，在立体像对内联合进行结算，**同时解求两像片的外方位元素和待定点的坐标**，俗称**一步定向法**。光束法**理论较严密，精度较高**。

## 解析空中三角测量

当测区内有许多像片和个立体像对时，则需要大量的地面控制点。如果这些点都采用野外实测，则**野外工作量大、成本高、效率低**

利用少量的外业实测的控制点确定全部影像的外方位元素及加密测图所需的控制点。

**解析空三测量**：以像片上量测的像点坐标为依据，采用较严密的数学模型，按最小二乘法原理，用少量地面控制点为平差条件，用计算机解算测图所需地面控制点的空间坐标。

- 看似是控制点加密，所以又称为**电算加密**
- 要将**空中摄站及影像**放到整个的加密网中，起到点的传递和构网作用，故被称为**空中三角测量，也叫空三加密**

1、**意义**：可见即可得、快速点位测定、精度高，代替部分野外工作

2、**应用**：提供定向控制点、部分取代大地测量野外控制点、用于地籍测量，建立坐标地籍、获得大量点地面坐标、解析法地面摄影测量

3、**目的**：地形测图的摄影测量加密、高精度摄影测量加密

**加密区域**：单航带法、区域网法

**平差模型**：航带法区域网平差、独立模型法区域网平差、光束法区域网平差

## 必需的信息

**摄影测量信息**：主要指在影像上量测的控制点、连接点的影像坐标，或在所建立的立体模型上量测的上述各类点模型坐标。

**非摄影测量信息**：主要指将空中三角测量网纳入到规定物方坐标系所必须的基准信息。主要是利用若干已知大地测量坐标的物方控制点作为平差的基础。

## 像点坐标系误差及改正

### 像点坐标量测

- 解析空中三角测量，主要是通过量测相应的**控制点、加密点及连接点的像点坐标**，以解析或数字形式建立立体模型并进行严格数据解算。**像点平面坐标量测**对于解析空中三角测量的作业是至关重要的。
- 传统像点坐标的量测，主要仪器：立体坐标量测仪，单像坐标量测仪和解析测图仪，目前像点的量测已逐步转向数字的、自动化形式，可以直接在计算机上进行。对于左、右影像上的同名像点通过影像匹配的方法**实现像点坐标自动量测**。
- 解析空中三角测量的像点坐标是以像平面坐标为基准的。利用大量像片进行空三加密时，由于**摄影物镜畸变差、摄影材料（底片）变形、大气折光、地球曲率**等物理因素影响，使地面点的像点坐标发生了移动，**偏离了地面点、投影中心和像点三点共线的条件**。
- 这些因素对每张像片的影响具有相同的规律性，是**系统误差**。由于系统误差的积累影响，对加密点的精度有明显的影响。这就有必要事先改正原始数据中像点坐标的这种系统误差。

## 航带网法空中三角测量

### A 基本思想：

- 航带法空中三角测量研究的对象是**一条航带的模型**，即首先要把立体像对所构成的单个模型连接成航带模型，然后，把一个航带模型视为一个单元模型进行解析处理。

- 但是，由于在单个模型连成航带模型的过程中，各单个模型中的偶然误差和残余的系统误差将传递到下一个模型中去，这些误差传递累计的结果会使航带模型产生扭曲变形，所以航带模型绝对定向后，还需做**模型的非线性改正**。

## **B 建网过程：**

### **1.建立航带模型**

(1) **像点坐标量测与系统误差改正**：量测每个像对预先选定好的加密点及控制点的像平面坐标，并对其进行系统误差纠正。

(2) **连续像对法相对定向建立各立体模型**

(3) **模型连接**，建立起**统一的航带模型**。模型连接的实质就是比例尺归化，然后计算模型点坐标。(条件：相邻两模型重叠范围内三个连接点的高度值应相等)

### **2.绝对定向定向**

(4) 航带网模型的**绝对定向**：将航带模型视为一个整体，采用与单个模型定向完全相同的方法，解算出所有模型点经绝对定向后的地面摄影测量坐标

### **3.航带模型的非线性改正**

(5) 航带网模型的**非线性变形改正**：用一个多项式曲面拟合航带网复杂的变形曲面

(6) 将加密点地面摄测坐标变换为大地坐标

**C 航带网法区域网平差**：以单航带为基础，由几条航带构成一个区域整体平差，解求各航带的**非线性变形改正系数**，进而求得整个测区内全部待定点的坐标。

(1) 按单航带模型法分别**建立航带模型**，以取得各个航带模型点在本航带统一的辅助坐标系中的坐标值。

(2) **各航带模型的绝对定向**：从第一条航带开始，第一条航带根据本航带内已知的地面控制点和下一航带的公共点进行绝对定向，以达到各条自有航带网纳入到**全区域统一的坐标系**中的目的，从而求出区域内各航带模型点在全区域统一的地面摄影测量坐标系中的概略位置。

(3) 计算重心坐标及重心化坐标：计算**各航带各自的重心**（不必取全区域统一的重心）。

(4) 根据模型中控制点的加密坐标应与外业实测坐标相等以及相邻航带公共连接点的坐标应相等为条件，列出误差方程式，并用最小二乘准则平差计算，整体解求**各航带的非线性改正系数**。

(5) 用平差计算得出的**多项式系数**，分别计算**各模型点改正后的坐标值**。此时，在控制点上仍会有残差，可根据此残差的不符值来衡量加密的精度。在相邻航带的公共点上下两条航线的两组坐标值也会有矛盾，当互差在允许限度内，一般取均值作为加密点成果。

## **独立模型法区域网空中三角测量**

- 独立模型法在建立单模型的基础上，基于**单独法相对定向建立单个立体模型**，再由**一个个单个模型相互连接组成一个区域网**。
- 由于各个模型的像空间辅助坐标系和比例尺均不一致，因此在模型连接时，要用模型内的已知控制点和模型间的公共点进行**空间相似变换**。
- 是把单元模型视为**刚体**，利用各单元模型间的**公共点彼此连接成一个区域**。
- 在连接过程中，每个单元模型只做**旋转、缩放和平移**，利用**空间相似变换式**能够完成上述任务。
- 在变换中要使模型间公共点的坐标尽可能一致，控制点的计算坐标与实测坐标尽可能一致，同时观测值的改正数的平方和应为最小，然后根据最小二乘法原理对全区域网实施整体平差，解求每个模型的 7 个绝对定向参数，从而求得待定点的地面摄测坐标。

- 
- 1 单独法相对定向建立单元模型，获取各单元模型的模型坐标，包括摄站点
  - 2 利用相邻模型公共点和所在模型中的控制点，各单元模型分别作三维线性变换，按各自的条件列出误差方程式及法方程式
  - 3 建立全区域的改化法方程，并按循环分块法求解，求得每个模型点 7 个绝对定向元素
  - 4 按平差后求得的 7 个绝对定向元素，计算每个单元模型中待定点的坐标，若为相邻模型的公共点，取其均值作为最后结果

## 光束法区域网空中三角测量

### 基本思想

- 以一张像片组成的一束光线（待定点与控制点的像点与摄影中心及相应地面点构成一束光线）作为一个平差单元，以中心投影的共线方程作为平差的基础方程
- 通过各光线束在空间的旋转和平移，使模型之间的公共光线实现最佳交会，将整体区域最佳地纳入到控制点坐标系中，所以要建立全区域统一的误差方程式
- 整体解求全区域内每张像片的 6 个外方位元素以及所有待求点的地面坐标。

(1) 获取每张像片外方位元素及待定坐标的近似值

(2) 从每张像片上控制点、待定点的像点坐标出发，按共线条件列出误差方程式

(3) 逐点法化建立改化法方程式，按循环分块的求解方法，先求出其中一类未知数，通常先求每张像片的外方位元素；

(4) 按空间前方交会求待定点的地面坐标，对于相邻像片公共点，取其均匀值作最后结果  
光束法区域网平差以像点坐标作为观测值，理论严密，但对原始数据的系统误差十分敏感，只有在较好地预先消除像点坐标的系统误差后，才能得到理想的加密结果。

### 三种区域网平差方法的比较

- 航带法产生于计算机问世之初，是一种分步的近似平差方法。首先通过单个像对的相对定向和模型连接建立自由航带，然后在进行每条航带多项式非线性改正时，顾及航带间公共点条件和区域内的控制点，使之得到最佳符合。
- 从这个思想，航带法区域网平差的数学模型是航带坐标的非线性改正公式，平差“观测值”是自由航带中各点的摄影测量坐标，平差单元为航带。整体平差未知数是各航带的多项式改正系数。显然航带法的特点是未知数少，解算方便快捷，但精度不高，所谓的观测值并不是真正的原始观测值，彼此并不独立，因此它不是严密的平差方法。目前航带法主要用于为严密平差提供初始值和小比例尺低精度点位加密。
- 独立模型法源于单元模型空间相似变换。影像坐标经过相对定向求出独立模型坐标，通过各单元模型在空间的平移、旋转和缩放，使得模型公共点有尽可能相同的坐标，并通过地面控制点，使整个空中三角测量网最佳纳入到规定的坐标系中。
- 独立模型法的数学模型是单元模型的空间相似变换公式，观测值是计算的模型坐标，平差单元为独立模型，未知数是各模型空间变换的 7 个参数，此外未知数还有加密点的地面坐标。这种方法是一种相当严密的平差方法，如能顾及模型坐标间的相关特性，独立模型法在理论上与光束法同样严密。
- 光束法是最严密的一步解法，误差方程式直接对原始观测值列出，能最方便地顾及影像系统误差的影像，最便于引入非摄影测量附加观测值，如导航数据和地面量测



数据。它还可以严密地处理非常规摄影以及非量测相机的影像数据。目前**光束法**已广泛应用于各种高精度解析空三和点位实际生产中。

- 与前两种方法相比，光束法也有其缺点。首先像点坐标所描述的像点坐标和各未知数的关系是**非线性**的，因此必须建立**线性化**的误差方程式和提供未知数的初始值。其次光束法未知数多、计算量大、计算速度相对较慢。此外它不能将平面高程分开处理，只能三维网平差。

	航带法	独立模型法	光束法
平差单元	航带	单元模型	单张像片（光束）
观测值	各点概略地摄坐标	模型坐标	像点坐标
未知数	各航带非线性变形改正系数	各模型空间相似变换参数及加密点坐标	各像片外方位元素及加密点坐标
平差数学模型	多项式	空间相似变换公式	共线方程
原理	近似	严密	最严密
精度	低	高	最高
应用	小比例尺低精度加密	测图加密	低级大地测量三角网及高精度数字地籍测量测量地界点

**理论精度：**把待定点的坐标改正数视为随机变量，在最小二乘平差中求出坐标改正数的方差-协方差阵

**实际精度：**利用大量的野外实测控制点作为多余检查点，其值作为真值，将平差计算得到的点位坐标与实测坐标相比，计算点位坐标精度。

**GPS 辅助空中三角测量**

- 目的是极大地减少甚至完全免除常规空中三角测量所必需的地面控制点，以节省野外控制测量工作量、缩短航测成图周期、降低生产成本、提高生产效率。

**POS 辅助空中三角测量**

- POS 系统，全称定位定向系统，由 GPS 和 IMU 惯性导航设备构成，

**全数字摄影测量**

利用摄影方法获取地面的几何信息，首先必须对影像进行量测，无论是在模拟摄影测量阶段还是解析摄影测量阶段，量测工作均需要人工进行。

- 在模拟立体测图仪上，测绘地物地貌时
- 在立体坐标量测仪上进行像点坐标的立体量测时

人眼的立体观察下，使测标切准立体模型点。这种通过人眼与脑的观测也就是**人工的影像定位、匹配与识别**。

摄影测量工作者一直在研究如何用计算机代替人工完成一些摄影测量任务**自动化测图**的重要内容包包括：

- 用计算机代替人的双眼寻找同名像点
- 实现对同名像点的量测及建立立体模型等

利用数字灰度信号，采用数字相关技术量测同名像点，在此基础上通过解析计算，进行内定向、相对定向和绝对定向，建立数字立体模型，从而建立数字高程模型，绘制等高线，制作正射影像图以及为地理信息系统提供基础信息等，这就是数字摄影测量。由于整个过程以数字形式在计算机中完成，因此又称为全数字摄影测量

实现数字影像自动测图的系统称为数字摄影测量系统(Digital Photogrammetric System, DPS)或数字摄影测量工作站(Digital Photogrammetric Workstation, DPW)。这种系统实质上是:

- 一个普通计算机摄影测量处理系统
  - 硬件设备仅有影像数字化装置、影像或图形输出装置及
  - 由预先编制好的置于计算机内的软件系统来完成各种摄影测量处理工作
- 目前的数字摄影测量系统功能及应用来看处于发展成熟阶段，虽然已有许多新的功能问世，但其自动化功能还有一定局限性，在几何处理方面做的较完善，即可以进行自动内定向、相对定向，自动建立数字高程模型，制作正射影像图等
- 但其他的工作均采用半自动或人工方式进行。特别是地物的测绘，目前全部是人机交互方式。虽然已有关于道路和房屋等人工地物的自动、半自动提取研究成果的报道，但距离实用化还有一段距离。
- 因此，为了提高数字摄影测量的自动化程度，必须加强对人工目标自动化提取方法的研究。

特点

- 自动像点量测
- 处理的数据量大，依赖于计算机的发展
- 速度快
- 精度：子像元级相当于  $2\mu\text{m}$  (立体坐标量测仪  $1\sim 20\mu\text{m}$ )
- 影像解译：自动提取与识别 (物理属性)
- 自动化程度
  - 自动化 (内定向、相对定向、DEM、DOM)
  - 半自动化 (道路、房屋勾绘)
  - 人工交互 (地物要素提取)

数字影像：直接从空间飞行器中的扫描式传感器产生

数字化影像：利用影像数字化器对摄取的光学像片经过采样和量化而获取

像片上的像点是连续分布的，但在数字化过程中不可能将每一个连续的像点全部数字化，而只能是每隔一个间隔 $\Delta$ ，读取一个点的灰度值，这个过程称为采样，其实质是将连续的函数模型离散化了， $\Delta$ 称为采样间隔，被量测的像素点通常是矩形或正方形的微小影像块，矩形或正方形的尺寸称为像素的大小 (或尺寸)，它通常等于采样间隔，因此，当采样间隔确定以后，像素的大小也就确定了。

影像数字化过程：采样和量化

影像数字化仪器：扫描仪 (器)：1 电子光学扫描器：平台式、滚筒式；2 固体陈列扫描器

数字影像是个规则排列的灰度格网序列，但当对数字影像进行几何处理时，如对核线的排列、数字纠正等，由于所求得的像点不一定恰好落在原始像片上像元素的中心，要获得该像点的灰度值，就要在原采样的基础上再一次采样，即重采样。

最邻近像元法、双线性采样、三次卷积法

摄影测量中立体测图的关键是要寻找同名像点在左右像片上的位置，在模拟测图仪上作业，是作业人员通过双眼不断地在左右像片上寻找同名像点，进行立体观察和量测，寻找同名像点的过程，也就是探求影像的相关。

**影像相关**是数字摄影测量的核心问题之一，是指在数字摄影测量中以影像匹配技术代替传统的人工观测，以达到自动确定同名像点（特征）的目的。影像相关也是立体测图，尤其是自动化立体测图的基础。

应用：自动内定向、自动相对定向、空中三角测量中自动转点、影像匹配自动点位测定

**影像匹配算法分类：**

1. **基于灰度的影像匹配：**着眼于局部影像的相似性或相关程度
2. **基于特征的影像匹配：**着眼于同名影像特征之间的相似性
3. **基于解译（关系）的影像匹配：**着眼于计算机自动识别影像上各种目标及其相互的关系，必须建立在影像解译和专家系统基础上
4. **相关过程**就是依次把一个目标区的灰度阵列，与其搜索区内搜索到的某一个与目标区阵列有同等大小的阵列，根据它们的灰度值按某一数字相关方法进行计算，判断它们的相似程度并最终找出同名像点。

**相关过程**就是依次把一个目标区的灰度阵列，与其搜索区内搜索到的某一个与目标区阵列有同等大小的阵列，根据它们的灰度值按某一数字相关方法进行计算，判断它们的相似程度并最终找出同名像点。

若在搜索区寻找同名像点时，搜索工作只在一个方向进行，这种情况的相关运算是一维的，因而称为**一维影像相关**。

**同名像点位于同名核线上，沿同名核线寻找同名像点**属一维影像相关

基于灰度的影像相关是指仅利用待相关点所在的一个小区域内的影像灰度信息来寻找左右像片同名点的方法

**相关系数法**（灰度不一致时不可行）、**协方差法**、**最小二乘影像相关**（精度高）

### 核线相关与同名核线确定

二维影像相关时，必须在给定的搜索区内沿  $x$ 、 $y$  两个方向搜索同名像点，因此，搜索区是一个二维影像窗口，计算量是相当大。核面与两像片面的交线为同名核线，同名像点必定在同名核线上。**沿核线寻找同名像点，即核线相关**。这样，利用核线相关的概念就能将沿  $x$ 、 $y$  方向搜索同名像点的二维相关问题转化为沿同名核线搜索同名像点的一维相关问题，从而大大减少了计算工作量。

**同名核线：**同一核面与像对相交所得的一对核线。

**核线的性质**

1. 在倾斜影像上的所有核线**相互不平行，但交于核点**。
2. 在**理想影像平面上**，所有核线**相互平行**，不仅同一影像面上的核线平行，而且影像对上的相应的核线也平行，上下视差为零，这一特性对于立体观测是十分有用的。
3. 左（右）影像上的某一点，其同名点必定在其右（左）影像上的同名核线上，这一特性是实现核线相关的基本依据。**（同名像点必然位于同名核线上）**

**同名核线的确定**

- **基于共面条件的方法**

**直接在倾斜影像上获取核线影像：**已知左影像上任意一个像点  $a(x_a, y_a)$ ，确定左影像上通过该点的核线  $l$  以及它在右影像上的同名核线  $l'$ 。

- **基于数字影像几何纠正提取核线：**将倾斜影像上的相互不平行的核线投影(或纠正)到一对“相对水平”——平行于摄影基线的影像上后，则核线相互平行。

### 沿核线重采样，形成核线影像

由于在一般情况下数字影像的扫描行与核线并不重合，为了获取核线的灰度序列，必须对原始数字影像灰度进行重采样。

从而根据核线的一个起点坐标及方向( $k$ )，就能确定核线在倾斜像片上的位置，用双线性内插等方法求核线上的像素灰度值。

**数字地面模型 (DTM)**：就是一个用于表示地面特征的空间分布的数据阵列，最常用的是用一系列地面点的平面坐标  $X$ 、 $Y$  及该点的地面高程  $Z$  或属性组成的数据阵列。

建立 DEM 的过程时，首先按一定的数据采集方法。获得数据点（控制点或参考点）：

1. **由现有地形图上采集**。现在常用的方法是使用扫描装置采集。
2. **由摄影测量方法采集**。可用解析测图仪或自动化的测图系统获取数据点。
3. **野外实地测量**。即在实地直接测量地面点的平面位置和高程。一般使用水准仪获取全站仪进行采集，也可以用差分 GPS 获取。
4. **由遥感系统直接测得**。如航空和航天飞行器搭载雷达和激光测高仪获得的数据

预处理：1.数据格式转换 2.坐标系统变换 3.数据编辑 4.栅格数据转换

**内插方法**：根据参考点（已知点）上的高程求出其他待定点上的高程，在数学上属于插值的问题。

- 1.**移动曲面拟合法**：以待定点为中心，定义一个局部函数（核函数）去拟合其周围的数据点，进而求出待定点的高程。
- 2.**线性内插**：使用最近的三个数据点，其高程观测值为  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ，则可以确定一个平面，从而求出一个新点  $P(X,Y)$  的高程  $Z_p$
- 3.**双线性内插**：根据最近邻的四个点可以确定一个多项式  $z=a+bx+cy+dxy$ ，求出多项式的四个系数，然后根据待定点的  $X$ 、 $Y$  坐标求解出待定点的高程
- 4.**多面函数法内插**：在每一个数据点上建立一个曲面，然后在  $Z$  方向上将各个曲面按一定比例叠加成一张整体连续曲面，使其严格通过各个数据点。
- 5.**分块双三次多项式（样条函数内插）**：对每一分块定义出一个不同的多项式曲面，为保证各分块曲面间的光滑性，所确定的  $n$  次多项式曲面与其相邻分块的边界上所有  $n-1$  次的导数都连续。这个  $n$  次多项式就称为样条函数。

### 数字摄影测量系统

- 1) 按设计原理分类：混合型数字摄影测量系统、全数字型数字摄影测量系统
- 2) 按功能分类：功能强的多用途数字摄影测量系统、功能单一的专用数字摄影测量系统

#### 1. 组成

- 1) 硬件：(1) 计算机 (2) 外部设备：立体观察设备、操作控制设备  
(3) 输入、输出设备
- 2) 软件：(1) 计算机操作系统 (2) 专业软件：数字影像处理、模式识别、解析摄影测量

#### 2. 功能

建立数字高程模型；自动空中三角测量；影像匹配；核线影像；影像定向；量测；影像处理；影像数字化；制作立体匹配片；制作透视图、景观图；制作影像地图；数字测图；正射影像镶嵌与修补；制作正射影像；自动绘制等高线

## 数字摄影测量系统的作业与产品

### 1. 作业方式

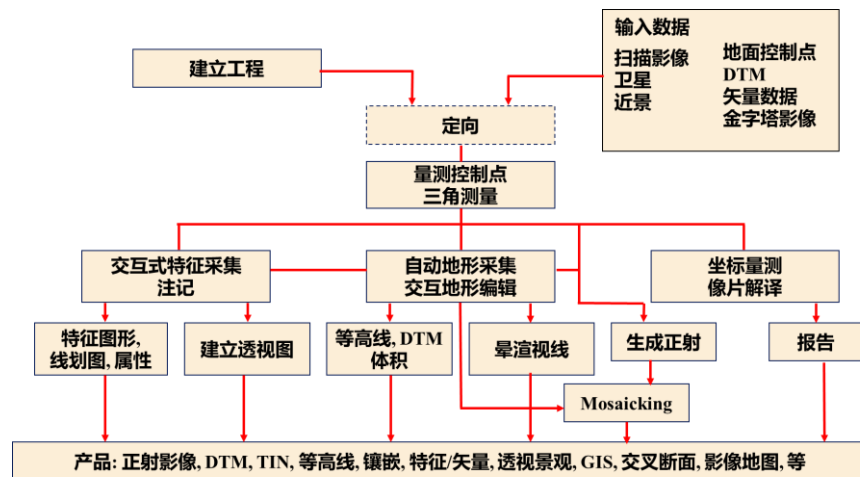
#### 1) 全自动或几乎全自动

内定向；相对定向；核线重采样；数字空三中的自动转点、平差计算；DEM 生成；数字微分纠正；DEM 自动生成等高线

#### 2) 半自动或人工干预

控制点识别；DEM 的交互式编辑；矢量测图等

### 2. 工作流程:作业准备、空中三角测量、摄影测量数据获取、数字地图编辑、地图成品输出



### 3. 产品：4D

发展趋势：

- 1、数据处理多元化
- 2、专业分工层次化
- 3、操作工序一体化
- 4、作业环境网络化
- 5、任务管理实时化
- 6、人机操作简单化

**无人驾驶航空器**（UA：Unmanned Aircraft），是一架由遥控站管理（包括远程操纵或自主飞行）的航空器，也称遥控驾驶航空器（RPA：Remotely Piloted Aircraft），以下简称无人机。无人机系统**驾驶员**，由运营人指派对无人机的运行负有必不可少职责并在飞行期间适时操纵飞行控制的人。无人机系统的**机长**，是指在系统运行时间内负责整个无人机系统运行和安全的**驾驶员**。

分类

按平台：飞艇、固定翼无人机、伞翼无人机、扑翼无人机、变翼无人机、旋翼式无人机

按用途：军用无人机、民用无人机

按尺寸：微型无人机、轻型无人机、小型无人机以及大型无人机

按活动半径：超近程、近程、短程、中程、远程

按任务高度：超低空、低空、中空、高空、超高空

微型无人机系统无人机航测遥感系统组成：

- ① 无人飞行器平台
- ② 动力装置
- ③ 导航飞控系统
- ④ 电气系统
- ⑤ 传感器平台
- ⑥ 地面站系统
- ⑦ 通讯链路
- ⑧ 数据处理软件

大气污染监测、水污染监测及突发性环境应急事件监测、森林火灾监测与应急指挥系统、无人机航空摄影像测量

## 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，是用相当于正射投影的航摄像片上的影像来表示地物的形状和平面位置。
- 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。当像片水平且地面为水平的情况下，航摄像片就相当于该地区比例尺为  $1:M(=f/H)$  的像片平面图。
- 但实际上，由于航空摄影时不能保持像片的严格水平，而且地面也不可能是水平面，致使中心投影航摄像片上的影像由于像片倾斜和地形起伏产生像点位移，使影像的构形产生位移与变形及比例尺不一致。因此，不能简单地用原始航摄像片上的影像表示地物的形状和平面位置。
- 若对原始的航摄像片进行处理，实现从中心投影到正射投影的过程称之为像片纠正
  - 用某些光学投影的仪器进行投影变换，使变换后得到的影像相当于摄影仪物镜光轴在铅垂位置时摄取的水平像片，同时改化制图比例尺
  - 或应用计算机按相应的数学关系式进行解算，从原始非正射的数字影像获取数字正射影像
- 像片纠正所采用的方法亦经历了从模拟纠正到数字纠正的过程。

(1) 光学机械纠正法（只适用对平坦地区）：用光学机械纠正法对航摄像片进行纠正，是摄影测量的传统方法，对平坦地面的航摄像片进行纠正，是用纠正仪进行投影变换的。

(2) 光学微分纠正：对要纠正的像片分为若干个小块面积进行块纠正。把每一个小块视为一个平面按中心投影方式进行变换，但并不是用“对点”的方式进行纠正，而是按每小块面积的断面高程来控制纠正元素，使之实现从中心投影到正射投影的变换。

(3) 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，按一定的数学模型用控制点解算，直接利用计算机对数字影像进行逐个像元的微分纠正，称为数字微分纠正。数字微分纠正概念在数学上属映射范畴。

**反解法（间接法）**：由纠正后的像点出发，根据像片的内、外方位元素及  $P$  点的高程反求其在原始图像上相应像点  $p$  的坐标，经内插出灰度值

**正解法（直接法）**：正解法数字微分纠正是从原始图像出发，将原始图像上逐个像元用正解公式解求纠正后的像点坐标。“空白”（无像点）、重复（多个像点）的情况

## 摄影测量外业工作任务及作业流程

**像片控制测量（像片联测）**：在实地依据若干已知国家平高控制点，利用外业仪器测定出所选像片控制点的地面坐标，并在像片上标示出点位的工作。

- **像控点**：直接为摄影测量加密或测图需要，在实地测定平面坐标和高程的控制点。
- **控制像片（像控片）**：标绘像片控制点和选刺加密点位的像片。

**像片解译（判读）**：是指根据航片上地物影像的特征，识别出与像片影像相应的地物的类别、特性和某些要素或者测算某种数据指标的过程。

**像片调绘**：经过实地调查，利用像片进行判读、调查和绘注有关地理要素等工作的总称。（地形、地物的名称以及数量、质量、说明注记等）

- **调绘像片（调绘片）**：实地调查用规定符号绘出必要地物、地貌并注相关名称的像片。

**像片补测**：将像片上没有影像或者影像不清晰但地形图又需要表示的地物、地貌补绘在像片上；主要是用于航摄漏洞，以及大面积的云影、阴影、影像不清楚地区的补测。

**像控点的布点方案：全野外布点、稀疏布点（非全野外布点）**

- (1) 航带网法布点 (2) 区域网布点