# 绪论

## 摄影测量的定义

摄影测量学是对研究的物体进行摄影、量测和解译所获得的影像，获取被测物体的几何信息和物理信息的一门科学和技术。

## 摄影测量的分类

1. 根据摄影机所处位置
2. 根据应用领域
3. 根据处理手段置

# 摄影基本原理

## 摄影的基本原理

小孔成像，投影于感光材料，感光后生成不稳定的潜像（肉眼不可见），再进行显影、定影处理。

## 物镜

## 量测用摄影机的特点

1. 像距是一个固定的已知值，几乎等于物镜焦距*f*。
2. 承片上有框标（有坐标系）。
3. 内方位元素已知。

## 摄影测量的基本要求

1. 比例尺

式中：为比例尺分母，为主距，为航高。

要求：且。

1. 像片重叠度

要求：航向重叠在60%~65%，旁向重叠15%~30%，三度重叠。

三度重叠：航线方向三张像片必须有公共重叠影像，称三度重叠。

1. 航带弯曲度

偏离航带两端像片像主点之间连线的最远像主点到该线段的垂距与该线段长度之比，称为航带弯曲度，即

规定：航带弯曲度。

1. 像片旋角

规定

## 摄影像片的误差

1. 底片变形：采用适当方法加以改正
2. 摄影物镜畸变差：航摄机加工、安装过程中存在的残余误差，使经过物镜的入射光线与出射光线不平行，使像点偏离正确位置。
3. 大气折光差
4. 地球曲率

# 单张像片解析

## 中心投影的基本知识

1. 投影的分类
2. 平行投影：投射线平行。
3. 正射投影：投射线垂直于投影面。
4. 中心投影：投射线会聚与一点的投影。
5. 空间物体、投影中心、投影平面的相对位置
6. 正片：投影中心位于一侧（物体和投影面一侧）。
7. 负片：投影中心位于物体和投影面之间。

图3‑1空间物体、投影中心、投影平面的相对位置

*B*

*C*

*A*

*c*

*b*

*a*

*S*

*c*

*b*

*a*

*S*

*B*

*C*

*A*

*C*

*B*

*A*

*S*

*b*

*c*

*a*

负片位置

正片位置

正片位置

1. 摄影测量学的主要任务之一

中心投影的像片正射投影的地形图

## 中心投影的特别点、线、面

主垂面

像平面

图3‑2 中心投影的特别点、线、面

如图3‑2所示，设为水平面（地面）、为倾斜的像片面，为像片旋角，为摄影中心，则中心的投影的特别点、线、面包括：

1. 迹线（透视轴）：像平面与地面的交线。迹线上任一点称为迹点，又称二重点。
2. 像主点：过投影中心作像平面的垂线交像平面于点，称为像主点。
3. 主距：投影中心与像主点的距离。
4. 地主点：延长与地面的交点。
5. 像底点：过投影中心作地平面的垂线与像平面的交点。
6. 地底点：过投影中心作地平面的垂线，垂足为，即地底点。
7. 航高：投影中心到地面的垂距。
8. 主垂面：过和所作的平面，且。
9. 主纵线：主垂面与像平面的交线。
10. 摄影方向线：主垂面与地平面的交线。
11. 等角点和地等角点：在主垂面内作的平分线与像平面和地平面的交点。
12. 合面（真水平面）：过投影中心所作的平行于地平面的平面。
13. 合线：合面与像平面的交线，合线上任一点称为合点。
14. 主合点：合线与主纵线的交点。
15. 像水平线：像平面上任一平行于合线的直线。
16. 等比线：过等角点的像水平线。
17. 主横线：过像主点的像水平线。
18. 主遁点：在主垂面内过投影中心作像平面的平行线与地平面的交点。

## 摄影测量常用坐标系

### 像平面坐标系（右手系）

1. 框标坐标系

以航向两对边框标连线为轴，旁向两对边框标为轴，交点为原点。

1. 像平面直角坐标系

以像主点为坐标原点，、轴分别平行于框标坐标系的、轴。

* 注解：像平面直角坐标系与框标坐标系非常接近。

1. 以主纵线为轴的像平面坐标系

取主纵线为坐标系的轴，指向主合点方向为正，主横线或等比线为轴。

### 像空间坐标系-（右手系）

以投影中心为坐标原点，轴和轴分别与像平面直角坐标系的轴和轴平行，轴与主光轴重合，向上为正，在像平面直角坐标系中坐标为的点在像空间坐标系中坐标为。

### 像空间辅助坐标系-（右手系）

以投影中心为坐标原点，、、轴分别与航线第一张像片的像空间坐标系对应轴系平行；也可以铅锤方向为轴，方向与航向一致。

### 摄影测量坐标系-（右手系）

将像空间辅助坐标系沿轴反向平移至轴与地面交点，得到的坐标系-。

### 地面摄影测量坐标系-（右手系）

坐标原点在某一地面控制点上，轴铅锤，轴与航向一致。

### 地面测量坐标系-（左手系）

高斯平面直角坐标系和某一高程基准组成的左手系。

## 航摄像片的内、外方位元素

### 内方位元素

描述摄影物镜像方节点与像片之间相关位置的3个参数，包括摄影物镜像方节点到像片面的垂直距离（主距）和像主点在框标坐标系中的坐标。

### 外方位元素

在恢复内方位元素的基础上，确定航摄像片在摄影瞬间的空间位置和姿态的6个参数。包括：

1. 三个直线元素（位置）

摄影瞬间摄影中心在地面摄影测量坐标系中的坐标。

1. 三个角元素（姿态）

航向倾角、旁向倾角、像片旋角。

## 中心投影的构像方程——共线条件方程

1. 定义及表达式

共线条件方程用于描述摄影瞬间像点、摄影中心、物点三点共线的几何关系。可根据此公式由地面点坐标和外方位元素求解对应像点坐标（有什么意义呢？像点坐标可以量测，地面点坐标一般需要求的）。

式中：为主距，、、（）为方向余弦，和为物点和摄影中心在地面摄影测量坐标系中的坐标，为对应像点在像空间坐标系中的坐标。

1. 推导

设物点和摄影中心在地面摄影测量坐标系中的坐标分别为和，像点在像空间辅助坐标系和像空间坐标系中的坐标分别为和。

式中：为比例因子。根据上式可得

像点在像空间坐标系和像空间辅助坐标系中的坐标转换关系为

式中：，是由像空间坐标系到像空间辅助坐标系的旋转矩阵（属于正交矩阵），、、（）为方向余弦。进而可得

展开得

消去比例因子即得共线条件方程

## 单张像片的空间后方交会

1. 定义

利用一定数量的地面控制点和对应像点坐标，根据共线条件方程式，（一般按间接平差方法）反求像片的外方位元素，称为单张像片的空间后方交会。（反之，若已知外方位元素，可根据像点坐标求解对应地面点的坐标？不可，尺度不知用前方交会）

* 注解

6个未知数，至少需要6个方程（3个控制点），像点在像平面直角坐标系中的坐标可以通过量测并结合已知的内方位元素进行改正得到。

1. 空间后方交会的步骤
2. 获取已知数据（主距、地面控制点坐标等）。
3. 像点坐标量测并作系统误差改正。
4. 确定未知数（参数）初值。
5. 列观测方程，逐点计算像点坐标近似值。
6. 求解误差方程系数阵及常数项（线性化）。
7. 计算法方程系数阵和常数项阵，求解法方程。
8. 迭代计算（控制参数改正数在限差以内）。
9. 将参数改正数与限差比较，若在限差以内则迭代结束，否则继续。

## 航摄像片的像点位移与比例尺

摄影中心

像片

地面

1. 像点位移的定义

由像片的倾斜、地面起伏引起的地面点的实际构像位置与理想状态下的构像位置存在差异。

1. 像点位移产生的原因

像片倾斜、地形起伏，由此引起比例尺也产生变化。

1. 主比例尺

图3‑3 由地面起伏引起的像点位移

摄影机主距与所摄地区平距航高的比值（近似比例尺）。

# 立体观察与立体量测

## 生理视差

为距离，为交会角，为眼基线

设两眼凝视于点，在两眼的网膜窝中央得到构像和，若点附近有点较点为近，同样得到构像和，此时相对于与相对于存在差异，即，亦即两物点在左右两眼网膜窝上构像的差别，称为生理视差。

## 人造立体观察

图4‑1 生理视差

### 人造立体视觉的条件

1. 两张像片必须在左、右两个位置同时对同一物体进行摄影得到。
2. 分像条件：左眼看左像，右眼看右像。
3. 像片放置：同名像点的连线应与眼基线近似平行，同名像点间距应小于眼基距。

### 像对立体观察的方法

1. 立体镜观察
2. 叠影式观察

## 像点坐标量测

# 双像解析摄影测量

## 立体像对的特别点、线、面

立体像对：同一航线相邻摄站拍摄的具有60%左右重叠度的两张像片。如图，、为立体像对

1. 同名像点：地面点在立体像对左右两张像片上的构像。
2. 同名光线：同名像点的构像光线和称为同名光线。
3. 摄影基线：立体像对中两摄站的连线。
4. 核面：同名光线和摄影基线位于同一平面内，称为核面，有无数个。通过像主点的核面为主核面（左右2个）；通过像底点的核面为垂核面（只有1个）。
5. 核线：核面与像平面的交线。
6. 同名核线：同一核面与左、右两张像片相交的两条核线、。同名像点必在同名核线上。
7. 核点：摄影基线的延长线与像片面的交点。一般情况下，核线互不平行，所有核线汇聚于核点。

## 双向解析摄影测量的方法

1. 空间后方交会-前方交会方法

分别求出立体像对左右两张像片的外方位元素，再根据待定点的一对像点坐标，求解待定点的地面坐标。

1. 相对定向-绝对定向方法
2. 相对定向

确定两张像片相对于以左摄站为原点的像空间辅助坐标系的方位元素——相对定向元素，得到平行的像空辅助坐标系，然后用前方交会方法计算模型点坐标，建立与地面相似的立体模型。

1. 绝对定向

对立体模型作三维的旋转、平移、缩放，变换为地面摄影测量坐标系。

1. 光束法

控制点和待定点一起列误差方程式，根据共线条件方程同时解算两张像片的12个外方位元素和待定点地面坐标。

## 空间后方交会-前方交会方法

### 空间前方交会

1. 定义及表达式

利用立体像对的中两张像片的内、外方位元素和像点坐标计算对应地面点的三维坐标。

表达式

1. 推导过程

设、、分别为物点以及左、右摄影中心、在地面摄影测量坐标系中的坐标，、分别为物点在左片对应像点的像空坐标和像空辅助坐标，、分别为物点在右片对应像点的像空坐标和像空辅助坐标，根据像空坐标系和像空辅助坐标系间的转换关系有

，

式中：、分别为左片和右片的像空坐标系到像空辅助坐标系的旋转矩阵，可由左、右像片的外方位元素计算得到。摄影基线向量

令

（点投影系数？与比例尺λ的关系）

根据上式可得

解得

，根据克莱姆法可解得

### 空间后方交会-前方交会的步骤

1. 像片控制测量（4个或以上）
2. 像点坐标量测
3. 空间后方交会计算外方位元素
4. 空间前方交会求解地面点坐标

## 相对定向-绝对定向方法

### 相对定向元素

描述立体像对左、右两张像片相对关系。

1. 连续像对的相对定向元素

左片：，

右片：，，，，，

* 5个相对定向元素

右片相对于左片的角方位元素、、，摄影基线的分量、。

* 注解

1. 因方向接近摄影基线，远大于、，可认为只决定模型的比例尺而不决定左右两张像片的方位关系，故不考虑为相对定向元素。
2. 左片的像空辅助坐标系与其像空坐标系相同，右片的像空辅助坐标系与左片的像空辅助坐标系平行，连续的像片形成航带。
3. 单独像对的相对定向元素

左片：，，，

右片：，，，，

* 5个相对定向元素：，，，，

### 绝对定向元素

5个相对定向元素+左片的6个外方位元素、、、、、+确定模型比例尺的摄影基线，从而确定立体模型在地面摄影测量坐标系中的位置、姿态和比例尺，称为绝对定向元素。

### 相对定向和绝对定向

1. 相对定向的原理

共面条件方程，即同名光线与摄影基线共面，亦即（混合积为零）。

1. 绝对定向

三维坐标转换，求解、、、、、、，至少需要2个平高控制点和1个高程控制点，可采用重心化坐标（均值）计算。

## 双像光束法整体解算

# 空中三角测量

## 空中三角测量的定义和分类

### 空中三角测量的定义

为减少外业工作量，只在野外测定少量必要的地面控制点，在室内利用像片之间的几何关系，用摄影测量方法解求这些双像摄影测量所必需的控制点地面坐标，称为空中三角测量。又称控制点的摄影测量加密。

### 空中三角测量的分类

1. 按发展阶段划分

模拟空中三角测量、解析空中三角测量、数字空中三角测量。

1. 按平差计算范围的大小划分

单模型空中三角测量、单航带空中三角测量、区域网空中三角测量。

1. 按平差模型的不同划分

航带法空中三角测量、独立模型法空中三角测量、光束法空中三角测量。

## 航带法空中三角测量

以一条航带为平差单元，其基本流程如下：

1. 像点坐标量测，得控制点和加密点在像平面直角坐标系中的坐标。
2. 连续像对法相对定向建立立体模型。相对定向后，像空辅助坐标系平行，但原点、尺度不一致。
3. 模型连接，建立统一法的航带模型，并计算得到模型点的摄影测量坐标。可分为以下两步：
4. 模型连接：对各像对的模型进行比例尺的归化，通常取第一个模型的比例尺作为整条航带模型的比例尺，以相邻模型共点高程相等为条件进行归化。
5. 转化为摄影测量坐标：平移，尺度缩放至接近实地。
6. 绝对定向，得到地面摄影测量坐标
7. 非线性变形改正：由于量测像点坐标时存在偶然误差以及像点坐标存在的各种残余误差，这两种不同性质的误差会独立或非独立地累积致使航带网产生非线性的变形。
8. 转换为大地坐标

# 数字地面模型与数字摄影测量

## 数字地面模型

### 数字地面模型的定义

描述地球表面形态多种信息空间分布的有序数据阵列。

### DEM内插方法

1. 整体函数内插

将研究的整个区域视为一个光滑、连续的整体来拟合。

1. 局部函数内插

将整个区域划分为若干块，对各分块采用不同函数来拟合。

1. 线性内插：
2. 双线性内插（基于规则格网的内插）：
3. 双三次多项式内插
4. 多面函数内插
5. 逐点内插

## 数字摄影测量

### 数字摄影测量的定义

基于摄影测量原理，应用计算机技术、数字图像处理、计算机视觉、模式识别等多学科的理论与方法，从影像提取所摄对象并用数字方式表达几何和物理信息的学科。

### 数字影像的获取与重采样

1. 重采样的定义

在对数字影像进行几何处理如旋转、核线排列、数字纠正时，经计算变换后的影像不位于整数点上时，并无现成的灰度值存在，此时，就必须采用适当方法，把该点周围整数点位上灰度值对该点的灰度贡献值积累起来，构成新的灰度值。

1. 灰度重采样的方法
2. 双线性插值
3. 双三次卷积法
4. 最邻近像元法：取离采样点最近的像元灰度值作为重采样点的灰度值。

### 内定向

建立像素坐标系（扫描坐标系）和像平面直角坐标系之间的关系。

必需数据：影像数据和相机参数文件（类型、框标点的理论坐标、物镜畸变差等）。

成果：框标的像素坐标、内定向参数、精度报告。

### 同名核线的确定

同名点位于同名核线上，利用同名核线能将沿、两个方向搜索同名点的二维影像问题简化为沿同名核线寻找的一维影像问题，大大减少影像相关的工作量。

* 确定方法：

1. 基于数字影像几何纠正的核线关系
2. 基于共面条件的核线几何关系

### 影像匹配

1. 定义

利用计算机对数字影像进行数字计算的方式完成影像的相关，识别出两幅或多幅影像的同名点，也称影像相关。

1. 二维相关（二维搜索）

以目标点为中心选取个像素的灰度阵列作为目标色。

1. 一维相关（一维搜索）

也称核线相关，由于同名像点必在同名核线上，此时同名点只需在一个方向搜索，即一维影像相关。

1. 分频道相关

为了同时满足相关结果的可靠性和精度，采用由粗到精的相关方式。先低通滤波，降低分辨率，在大范围内进行初相关，找到同名点的粗略位置，作为预测值，再逐渐采用高分辨率影像，在小范围内进行精确的相关。

金字塔影像：在分频道相关时，需要获得不同等级分辨率的数字影像。这些影像采用逐次低通滤波，并增大采样间隔方式得到，形成一个像元数逐渐减小的影像序列，将这些影像叠置起来，恰似一座金字塔，称为金字塔影像。

1. 影像匹配的方法
2. 基于物方的影像匹配
3. 基于特征的影像匹配
4. 最小二乘影像匹配：原理是相关影像灰度差的平方和最小
5. 影像匹配的算法
6. 相关函数法
7. 协方差函数法
8. 相关系数法
9. 差平方和法
10. 差绝对值和法

### 影像纠正

对中心投影的航摄像片进行处理，消除由像片倾斜引起的像点位移，由地形起伏引起的投影差，归化不同测站的摄影比例尺，形成既有航摄像片优点又有地形图数字精度的正射影像，这一过程称为影像纠正。

实质：中心投影正射投影。

### 数字摄影测量的流程

数据准备：影像数据、相机参数、控制点文件

定向建模

影像匹配与编辑

核线重采样

空中三角测量

数字测图矢量化，得到数字线划图

生成DEM

### 外业工作

1. 像片控制测量
2. 像片判读、调绘与补测
3. 像片判读

根据地物的光谱特性、空间特征、时间特征和成像规律来识别地物的过程。分为野外判读、室内判读以及综合判读。判读标志分为以下两种：

1. 调绘

在判读调查基础上，按用图要求对影像内容进行取舍，并将结果按规定的图式符号和注记描绘在像片上。

### 近景摄影测量