

立体观察与像点坐标量测

武汉大学

遥感信息工程学院

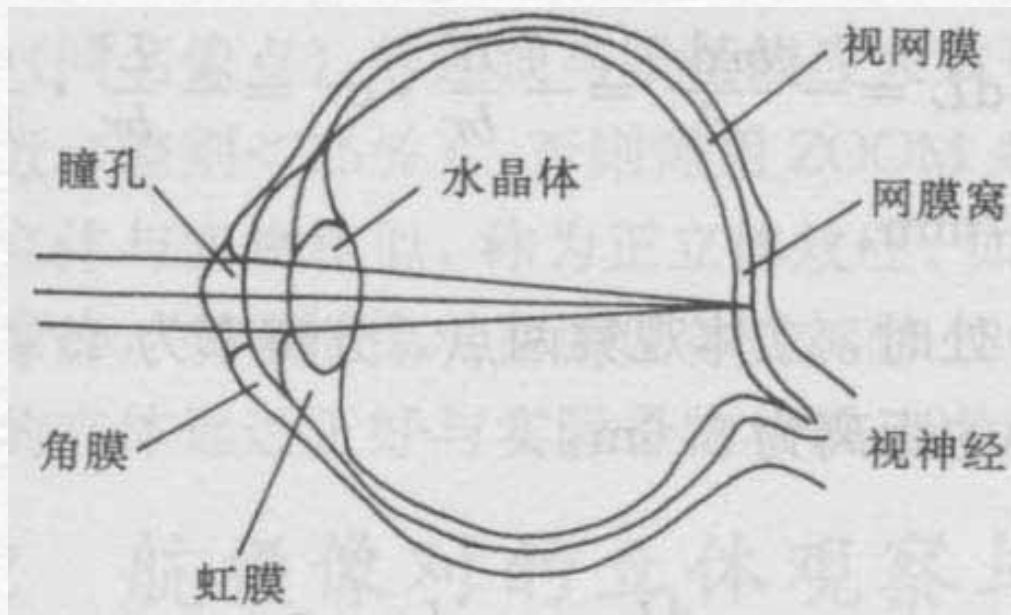
摄影测量教研室

主要内容

- 一、立体视觉原理
- 二、像对的立体观察
- 三、像点坐标获取

§ 4.1 立体视觉原理

人眼基本构造



视网膜上大约有 10^8 个杆状细胞，直径 $2\mu\text{m}$ ；
 6.5×10^6 个锥状细胞，直径 $2 \sim 8\mu\text{m}$

§ 4.1 立体视觉原理

人眼感知过程

来自物体的光刺激视网膜的杆状和锥状细胞（物理过程）使其感光（生理过程），通过视神经纤维传至后大脑视觉中心，经记忆加入已有的概念与经验（心理过程），从而形成感知

§ 4.1 立体视觉原理

人眼分辨力

单眼能够判别最小物体的能力称单眼分辨力

用单眼所能观察出两点间的最小距离称第一分辨力

用单眼所能观察出两平行线间的最小距离称第二分辨力

$$\text{第一分辨力} \quad \varphi'' = \frac{0.0035}{17} \rho'' = 45''$$

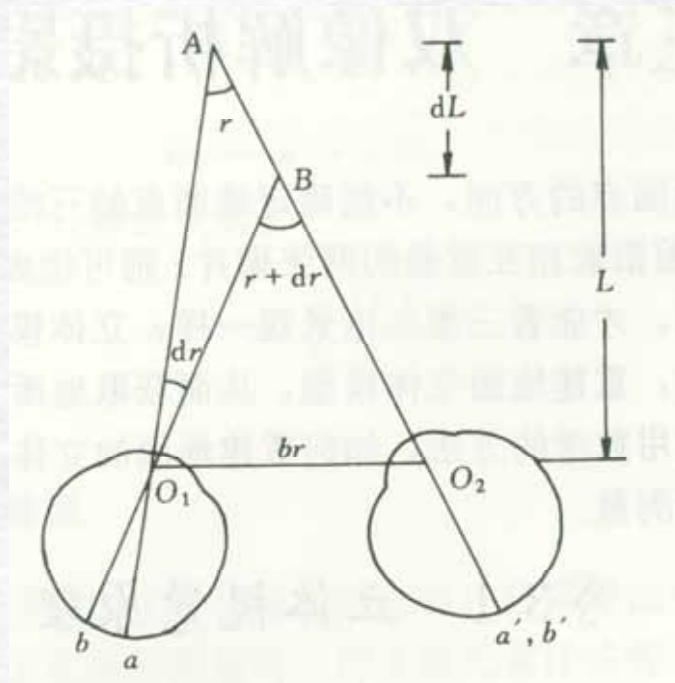
$$\text{第二分辨力} \quad = 20''$$

双眼观察精度比单眼提高 $\sqrt{2}$ 倍

§ 4.1 立体视觉原理

人用双眼观察景物可判断其远近，得到景物的立体效应，这种现象称为人眼的立体视觉

人眼立体视觉

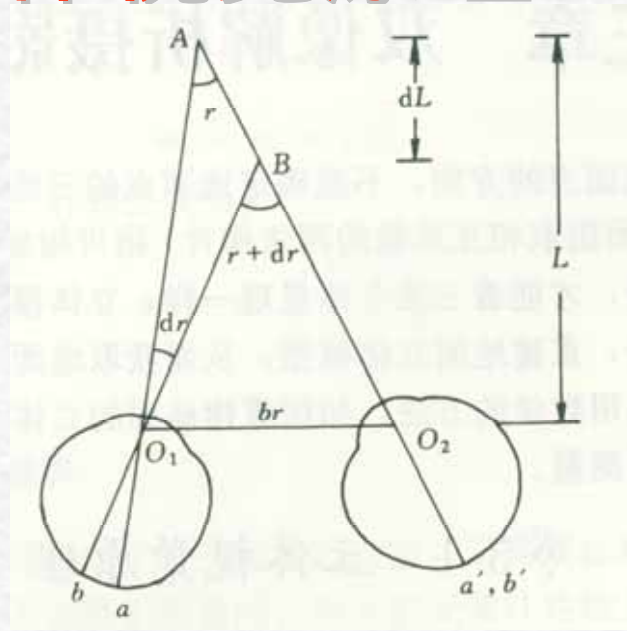


$$\text{生理视差 } \sigma = ab - a'b'$$

§ 4.1 立体视觉原理

人眼的观察能力

交会角	r
眼基线	b_r
视距	L
生理视差	
眼主距	f_r



当人眼观察50m处景物时，设双眼观察的分辨力为30"，人眼基线长65mm，人眼主距17mm，则 $dL=5.6m$

人眼分辨远近物点的极限距离

$$L_{\max} = \frac{b_r}{\Delta\gamma_{\min}} \rho'' = \frac{65}{30} \times 207692 = 450m$$

$$\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{b_r}{2L}$$

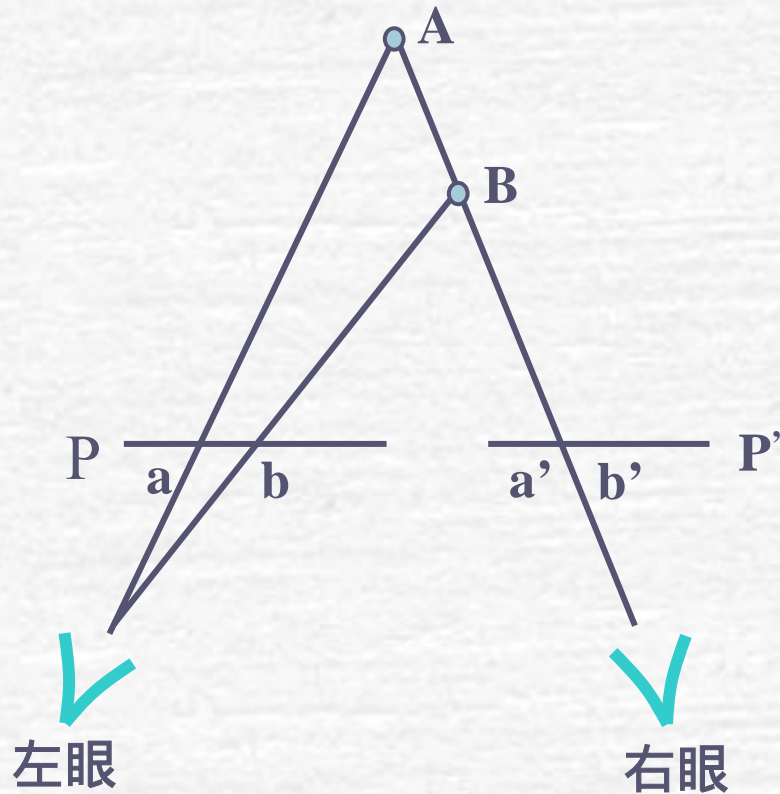
$$\gamma \approx \frac{b_r}{L}$$

$$d\gamma = -\frac{b_r}{L^2} \cdot dL$$

$$dL = -\frac{b_r dr}{\gamma^2} = -\frac{L^2}{b_r} \cdot \frac{\sigma}{f_r}$$

§ 4.1 立体视觉原理

人造立体视觉的产生



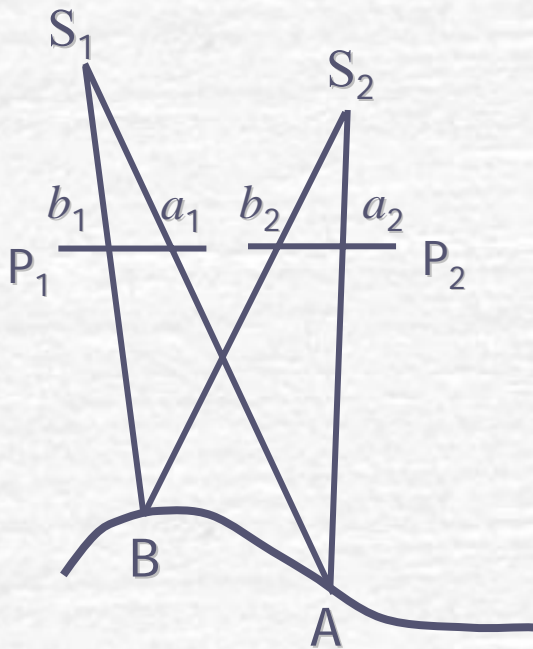
§ 4.1 立体视觉原理

人造立体观察的条件

- 立体像对
- 分像条件
- 两像片上相同景物（同名像点）的连线与眼基线应大致平行
- 两像片的比例尺应相近（差别 $<15\%$ ）

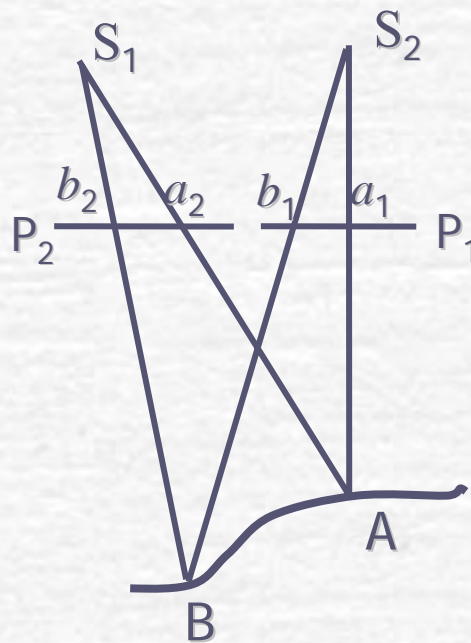
立体效应

正立体



立体模型与实物相似

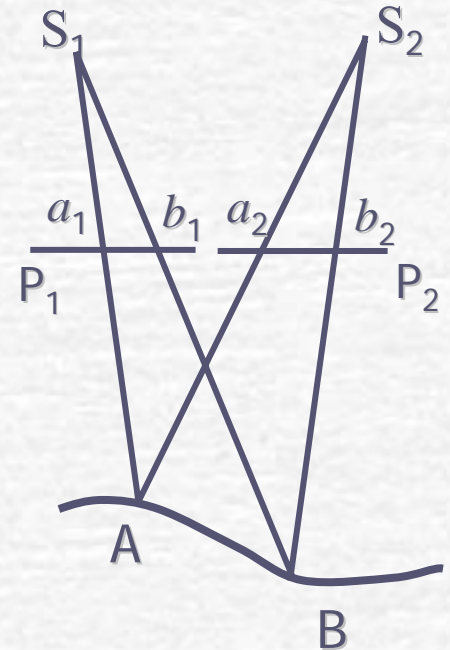
反立体



立体模型与实物相反

(正立体效应基础上左右像片旋转180°)

反立体



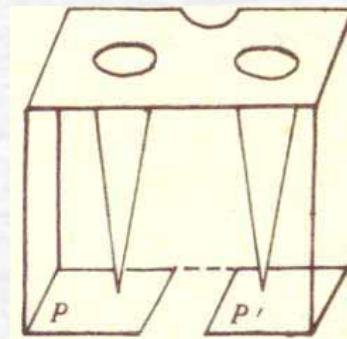
零立体：起伏的视模型变平(正立体效应基础上左右像片旋转90°)

§ 4.2 像对的立体观察

像对的立体观察方法

► 立体镜观察

桥式立体镜



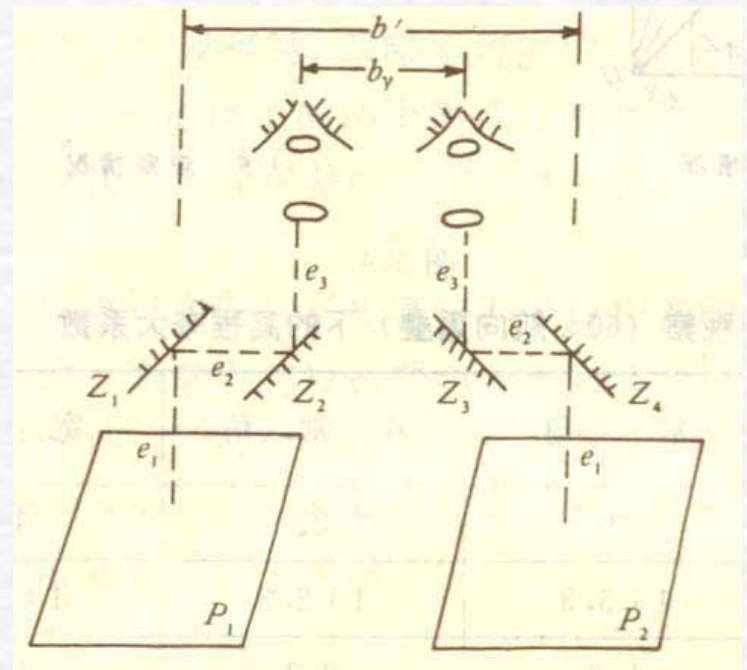
在一个桥架上安置两个相同的简单透镜

透镜光轴平行，间距约为眼基距，高度等于透镜主距

§ 4.2 像对的立体观察

➤ 立体镜观察

反光立体镜



扩大眼基距，可对大像幅进行立体观察

像对的立体观察方法

§ 4.2 像对的立体观察

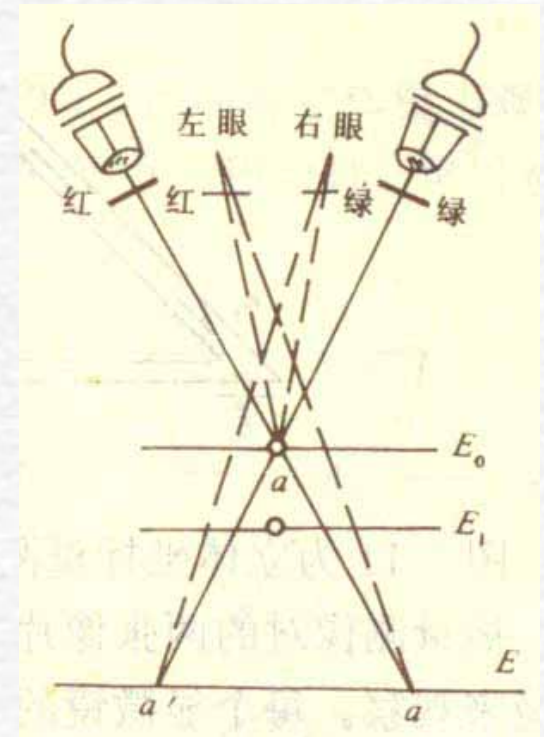
像对的立体观察方法

➤ 叠映影像立体观察

互补色法

在投影器中插入互补色滤光片
(品红色、蓝绿色)

观测者双眼分别带上同色镜片



§ 4.2 像对的立体观察

像对的立体观察方法

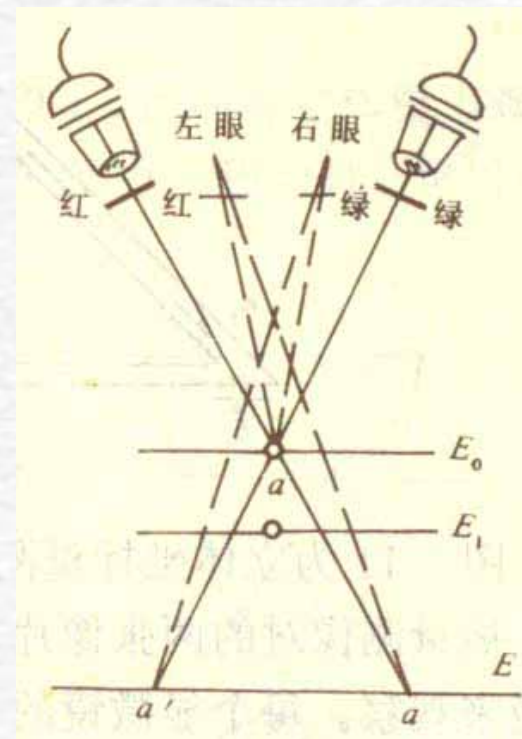
➤ 叠映影像立体观察

光闸法

在两投影光路中各安装一光闸
(一个打开、一个关闭)

观测者双眼分别带上与投影器
光闸同步的光闸眼镜

光闸起闭频率 $> 10\text{Hz}$



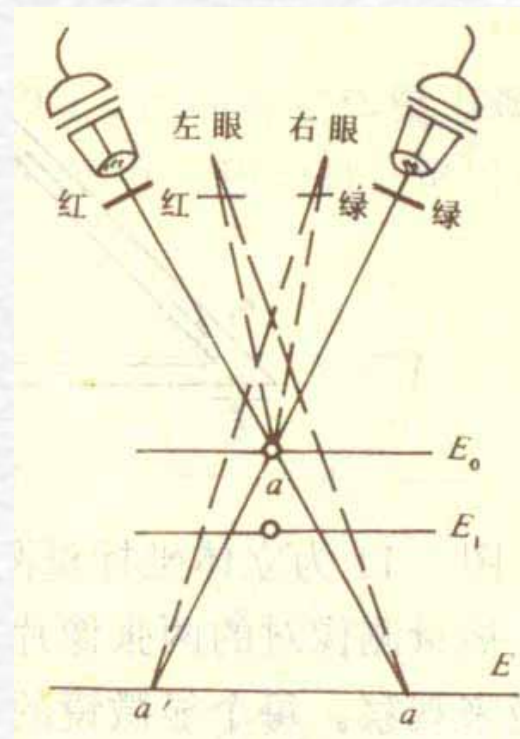
§ 4.2 像对的立体观察

➤ 叠映影像立体观察

偏振光法

在两投影光路中安装两块偏振平面互成 90° 的起偏镜

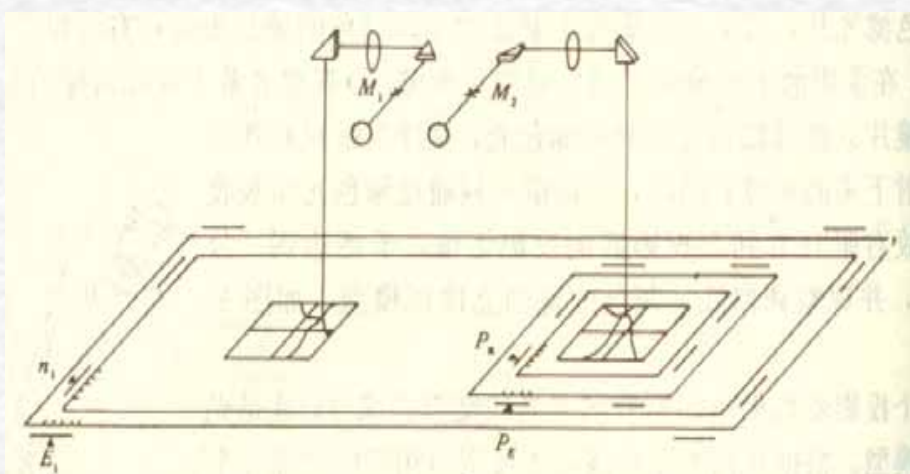
观测者带上一副检偏镜片与起偏镜相同
左右偏振平面相互垂直



像对的立体观察方法

§ 4.2 像对的立体观察

► 双目镜观测光路的立体观察



通过双筒望远镜观察

每个望远镜像面有一固定的测标

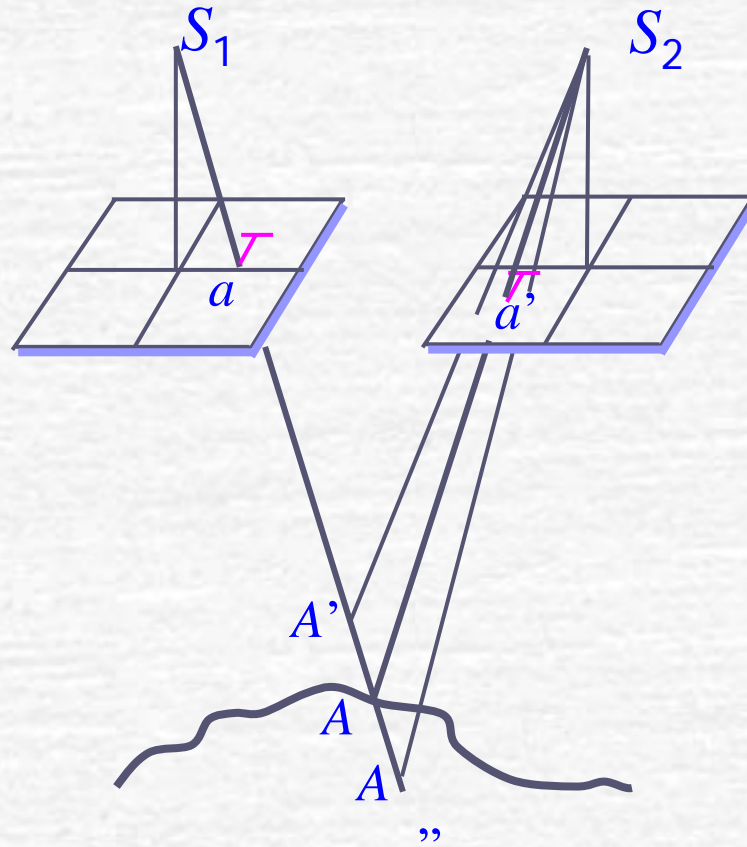
像片可在两个相互垂直方向共同移动，也可一张像片相对于另一张像片移动

可以分别对左右像片进行调焦、亮度调节及必要旋转，观测系统放大倍率可调节

像对的立体观察方法

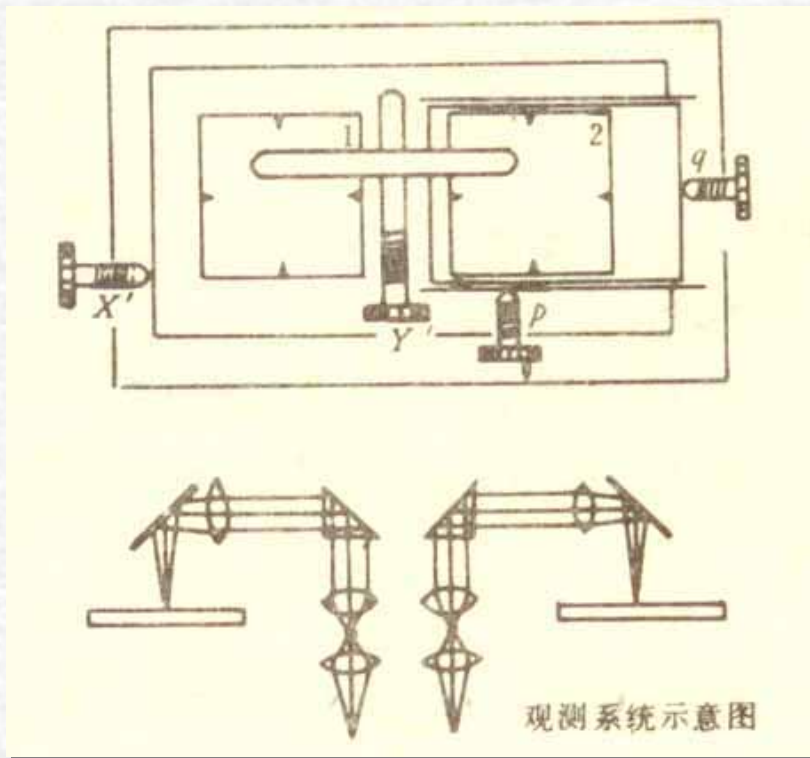
§ 4.3 像点坐标获取

立体量测原理



§ 4.3 像点坐标获取

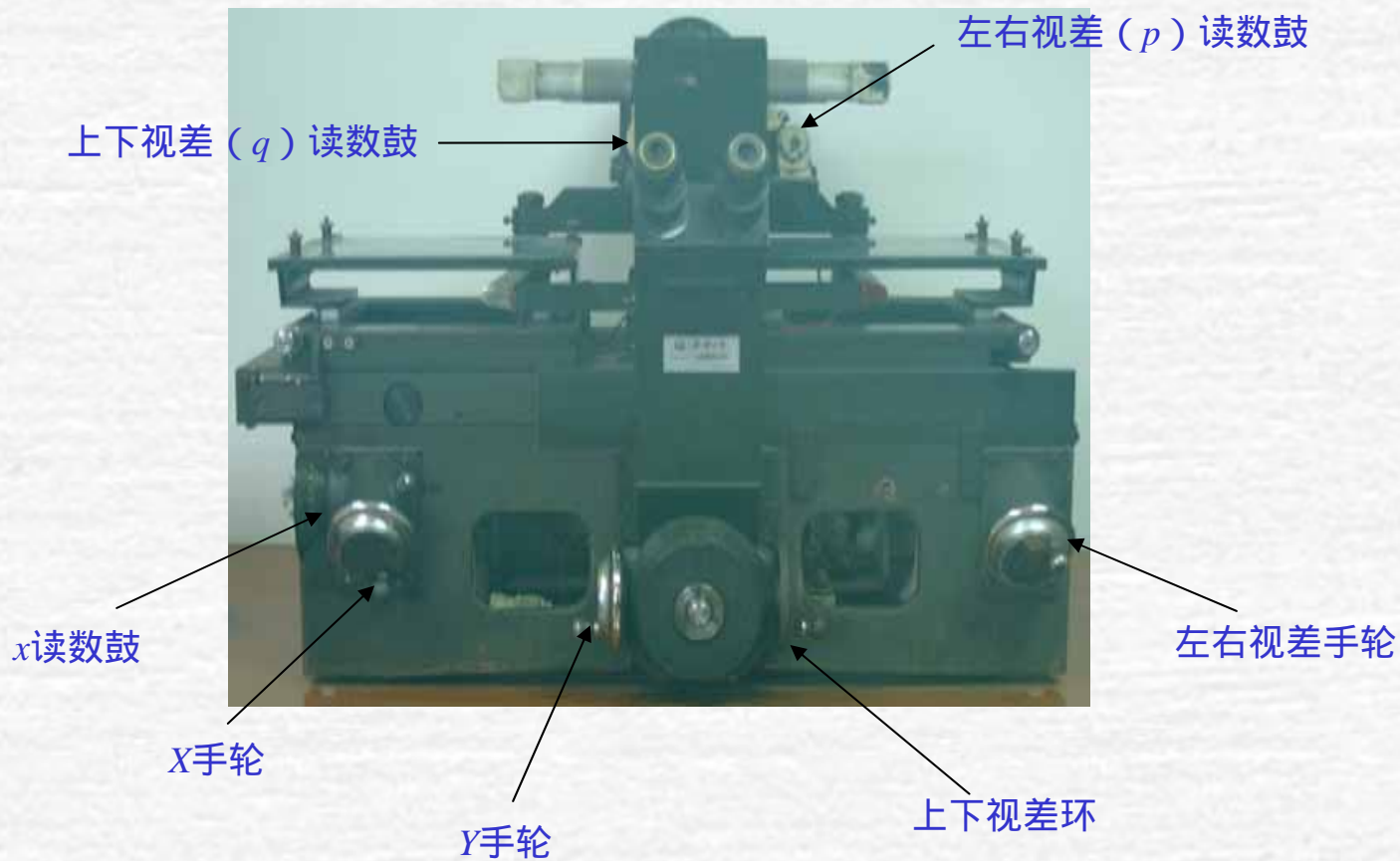
立体量测原理



左右像片同名像点的坐标量测值为 (x_a, y_a) , $(x_{a'}, y_{a'})$

左右视差 $p = x_a - x_{a'}$ 上下视差 $q = y_a - y_{a'}$

§ 4.3 像点坐标获取



Steko 1818 型立体坐标量测仪

立体坐标量测步骤

- **仪器归零**：各个手轮应放在零读数 (x_0, y_0, p_0, q_0) 位置上，左、右测标分别对准左、右像片盘的中心即仪器坐标系与像片坐标系重合
- **像片定向**：移动 X 手轮，单眼观察测标的移动看是否沿像片上的 x 轴向运动，若测标不在 x 轴向上，则需要用 K 螺旋旋转像片，使测标保持在 x 轴上移动
- **像点量测**：移动 X, Y, p, q 手轮，使测标立体切准量测像点，并记下相应读数鼓上的读数 x, y, p, q
- **坐标计算**： $x_a = x - x_0, y_a = y - y_0$ ； $x_a' = x_a - (p - p_0), y_a' = y_a - (q - q_0)$

§ 4.3 像点坐标获取



§ 4.3 像点坐标获取

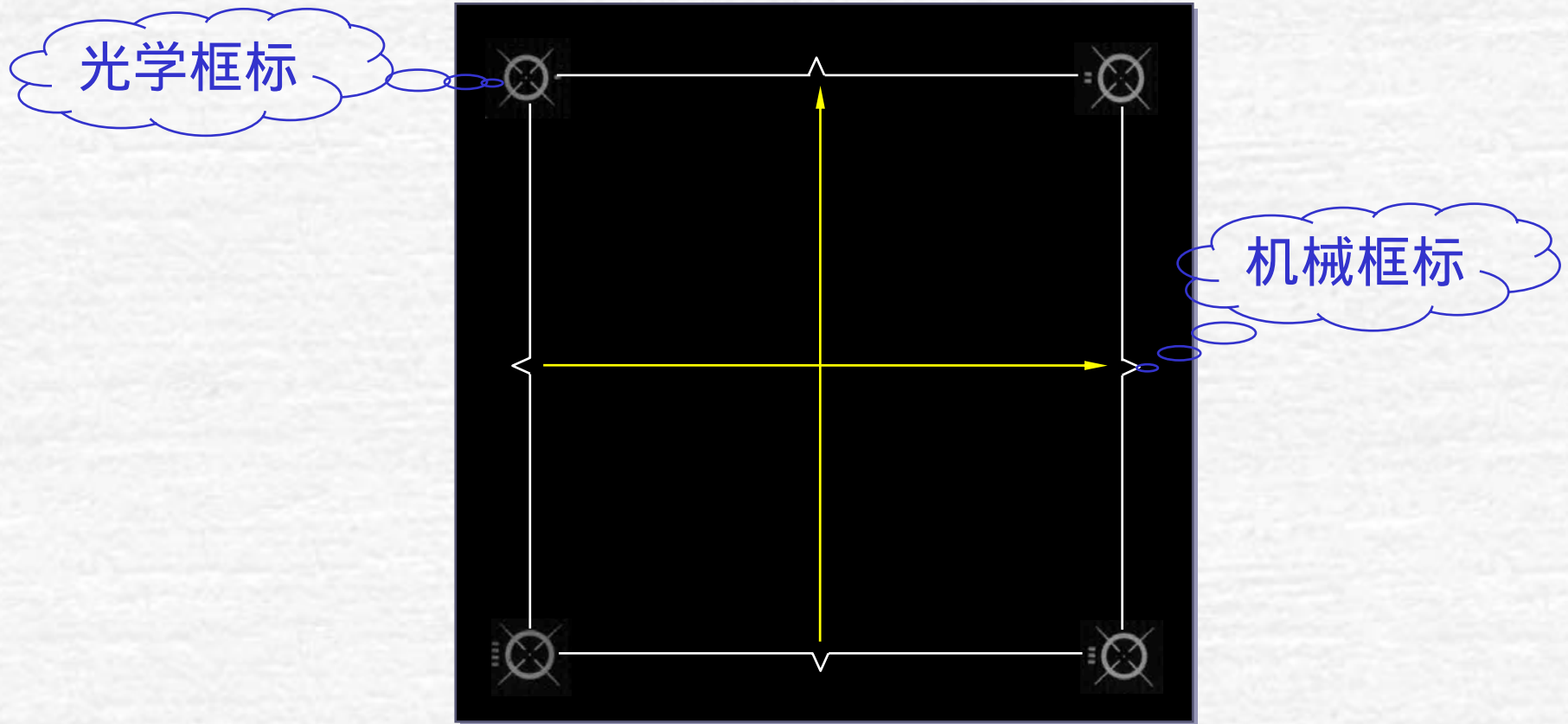


§ 4.3 像点坐标获取



数字摄影测量工作站

§ 4.3 像点坐标获取



解析内定向

- 利用平面相似变换，将像片架坐标变换为以像主点为原点的像平面坐标

正形变换

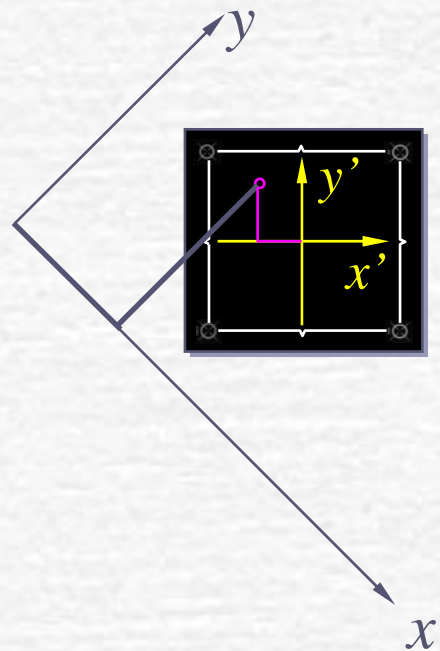
$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x - a_2y \\y' &= b_0 + a_2x + a_1y\end{aligned}$$

仿射变换

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y\end{aligned}$$

双线性变换

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy\end{aligned}$$



解析内定向计算过程

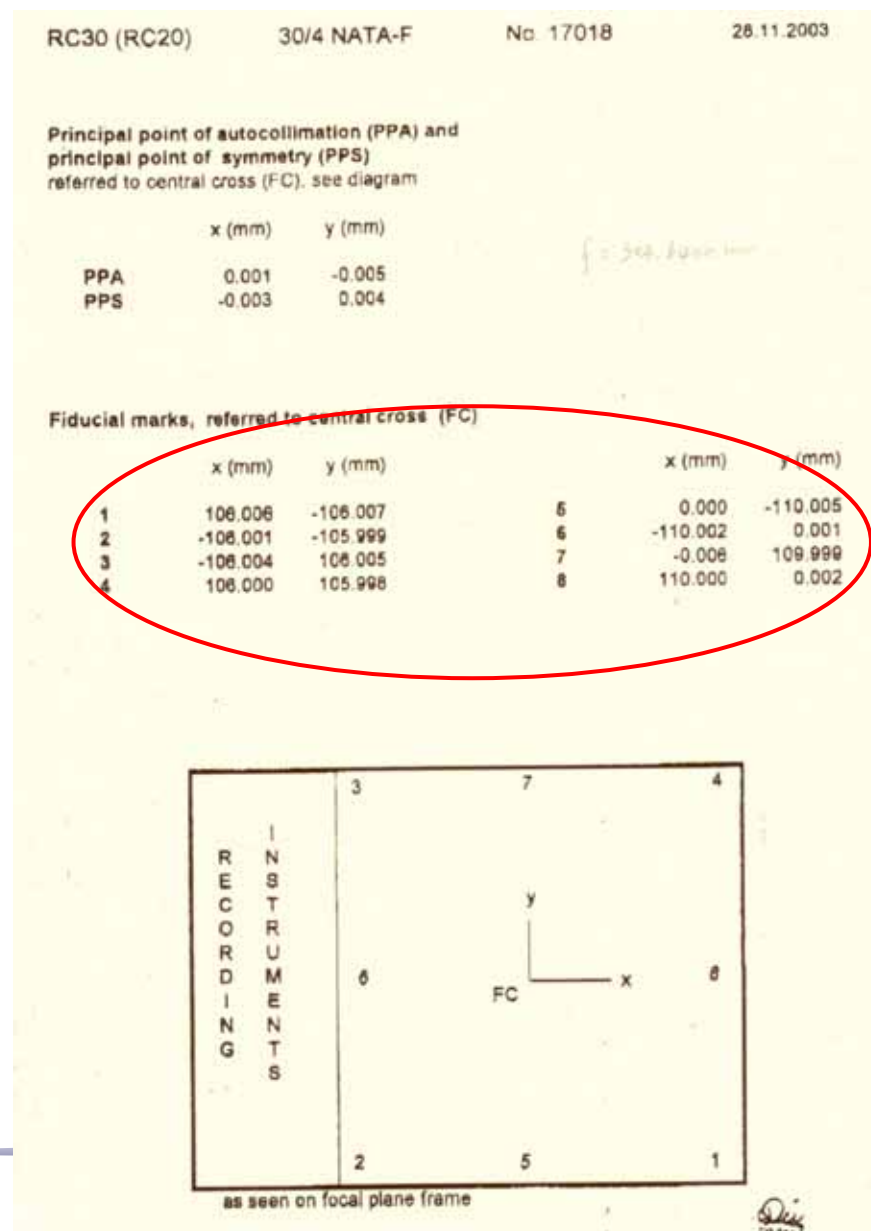
- 1、获取框标点的理论坐标
- 2、选用合适的变换模型
- 3、建立误差方程

$$v = Ax - l$$

- 4、建立法方程并解算

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T l)$$

- 5、由变换参数计算像点坐标



像点坐标计算

正形变换

$$x' = a_0 + a_1x - a_2y$$

$$y' = b_0 + a_2x + a_1y$$

仿射变换

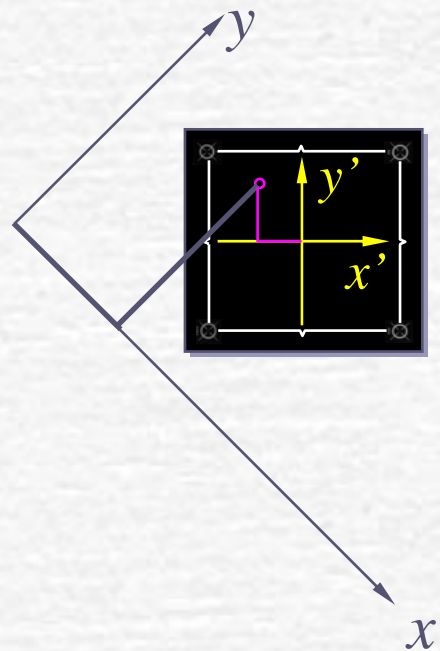
$$x' = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y$$

双线性变换

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$



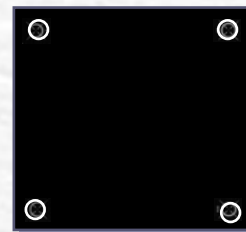
像片系统误差源

- ❖ 摄影机的系统误差
- ❖ 底片变形
- ❖ 航摄飞机带来的系统误差
- ❖ 大气折光误差
- ❖ 地球曲率的影响
- ❖ 摄影处理与底片复制中的系统误差
- ❖ 观测系统误差

像片系统误差预改正（摄影材料变形）

- 四个框标位于像片的四个角隅时可用仿射变换

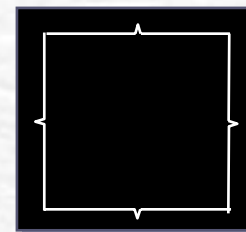
$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y\end{aligned}$$



- 四个框标位于像片的中央时可用比例缩放

$$\begin{aligned}x' &= x \frac{L_x}{l_x} \\y' &= x \frac{L_y}{l_y}\end{aligned}$$

L_x, L_y 为框标距的理论值
 l_x, l_y 为框标距的量测值
 x', y' 为像点坐标的量测值
 x, y 为像点坐标的改正值



像片系统误差预改正（摄影机物镜畸变差）

- 摄影机鉴定时提供物镜畸变差参数

$$\Delta x = -x'(k_0 + k_1 r^2 + k_2 r^4)$$

$$\Delta y = -y'(k_0 + k_1 r^2 + k_2 r^4)$$

k_0 、 k_1 、 k_2 、 k_3 为物镜畸变差改正系数

Δr 为畸变差

- 摄影机鉴定时提供各向径物镜畸变差值

$$\Delta r = \frac{(r_2 - r)\Delta r_1 + (r_1 - r)\Delta r_2}{r_2 - r_1}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta r}{r} x'$$

$$\Delta y = \frac{\Delta r}{r} y'$$

像片系统误差预改正 (大气折光差改正)

- 大气折光引起像点在径向的变形

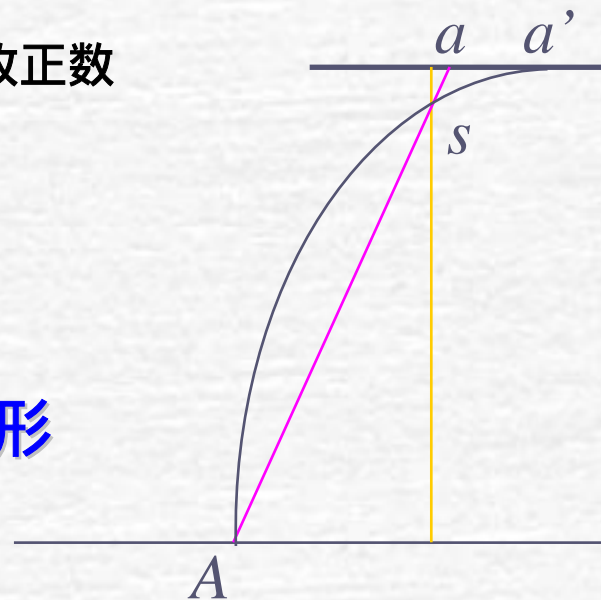
$$\Delta r = -\left(f + \frac{r^2}{f}\right)r_f$$

$$\text{其中, } r_f = \frac{n_0 - n_H}{n_0 + n_H} \cdot \frac{r}{f}$$

Δr 为像点误差改正数

r 为向径

r_f 为折光差角



- 大气折光引起像点在坐标向的变形

$$dx = \frac{x'}{r} \Delta r$$

$$dy = \frac{y'}{r} \Delta r$$

像片系统误差预改正 (地球曲率)

- 地球曲率引起像点在径向的变形

$$\delta = \frac{H}{2Rf^2} r^3$$

Δr 为像点误差改正数

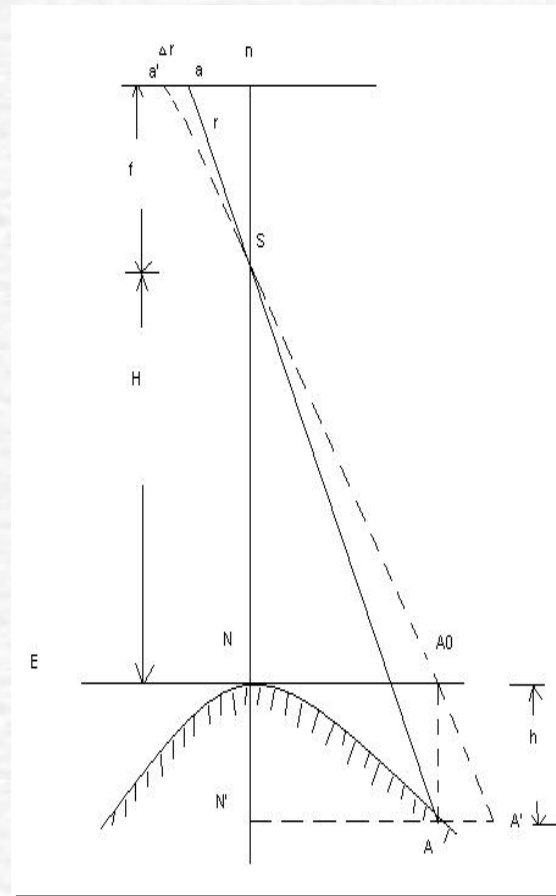
r 为向径

R 为地球曲率半径

- 地球曲率引起像点在坐标向的变形

$$\delta x = \frac{x'}{r} \delta$$

$$\delta y = \frac{y'}{r} \delta$$



像片系统误差预改正

- 内定向并经系统误差预改正后的像点坐标

$$x = x' + \Delta x + dx + \delta x$$

$$y = y' + \Delta y + dy + \delta y$$

内定向

镜头畸变

大气折光

地球曲率

本讲参考资料

教材

张剑清，潘励，王树根 编著，《摄影测量学》，武汉大学出版社

参考书

- 1、金为铎，杨先宏 等编著，《摄影测量学》，武汉大学出版社
- 2、李德仁，郑肇葆 编著，《解析摄影测量学》，测绘出版社