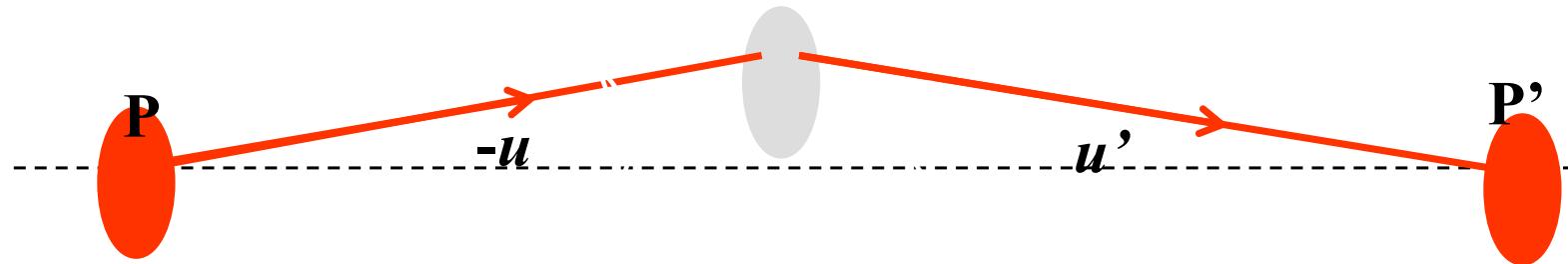


§ 3 轴上像点的单色像差：球差

■ 单色像差的来源



$$\sin u = u - \frac{u^3}{3!} + \frac{u^5}{5!} - \frac{u^7}{7!} + \frac{u^9}{9!} \dots$$

近轴条件下：

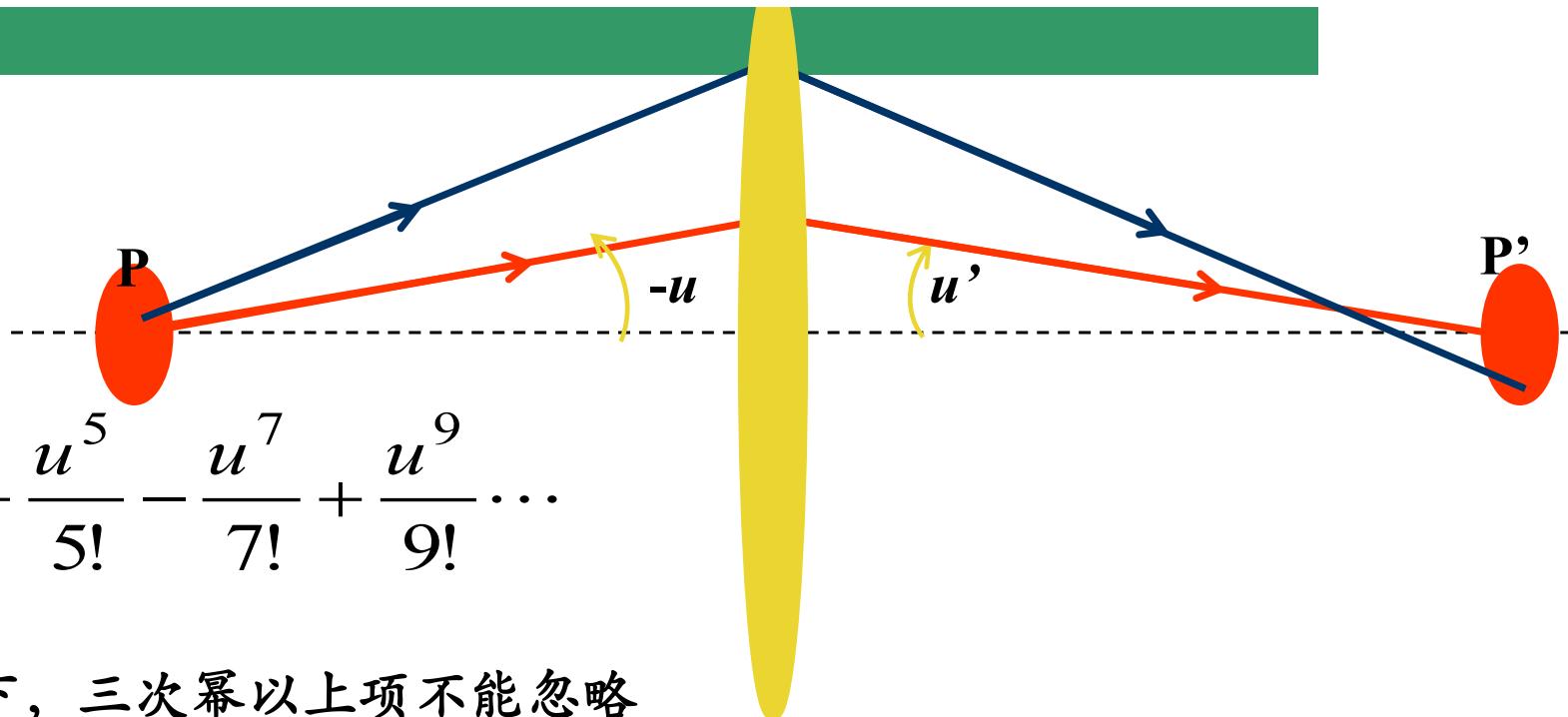
$$\sin u \approx u$$



球面系统在近轴条件下可以理想成像

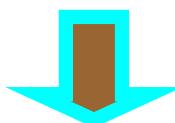


物像一一对应



$$\sin u = u - \frac{u^3}{3!} + \frac{u^5}{5!} - \frac{u^7}{7!} + \frac{u^9}{9!} \dots$$

非近轴情况下，三次幂以上项不能忽略



球面系统不能理想成像



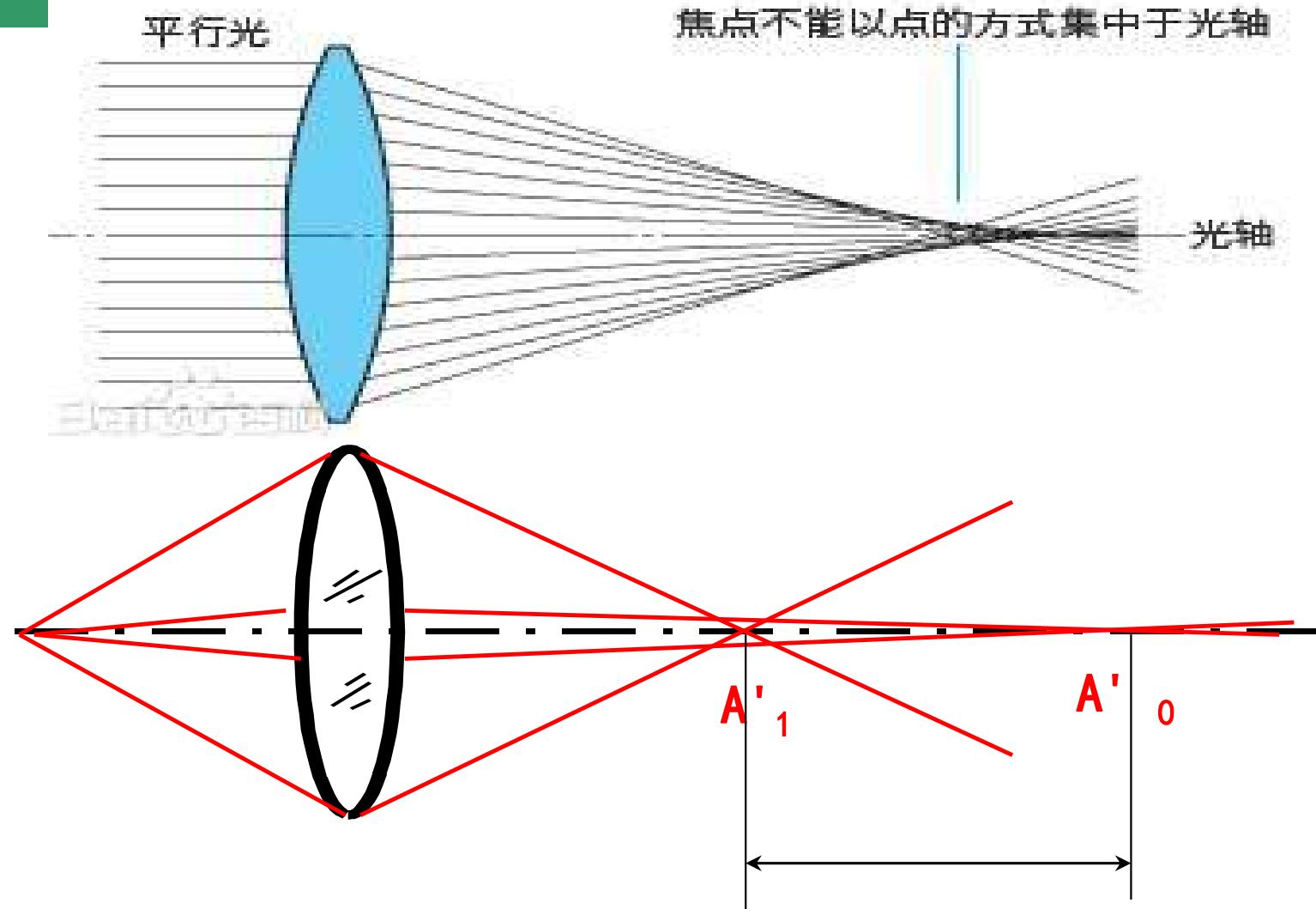
出现像差

$$\sin u = u - \frac{u^3}{3!} + \frac{u^5}{5!} - \frac{u^7}{7!} + \frac{u^9}{9!} \dots$$

单色像差(或初级像差)---5种：

- 1) 球差(spherical aberration)
- 2) 彗差(coma) (正弦差)
- 3) 像散(astigmatism)
- 4) 场曲(curvature of field)
- 5) 畸变(distortion)

1. 球差的定义



不同孔径光线对交点与理想像点的位置之差。

2. 球差的表示方法

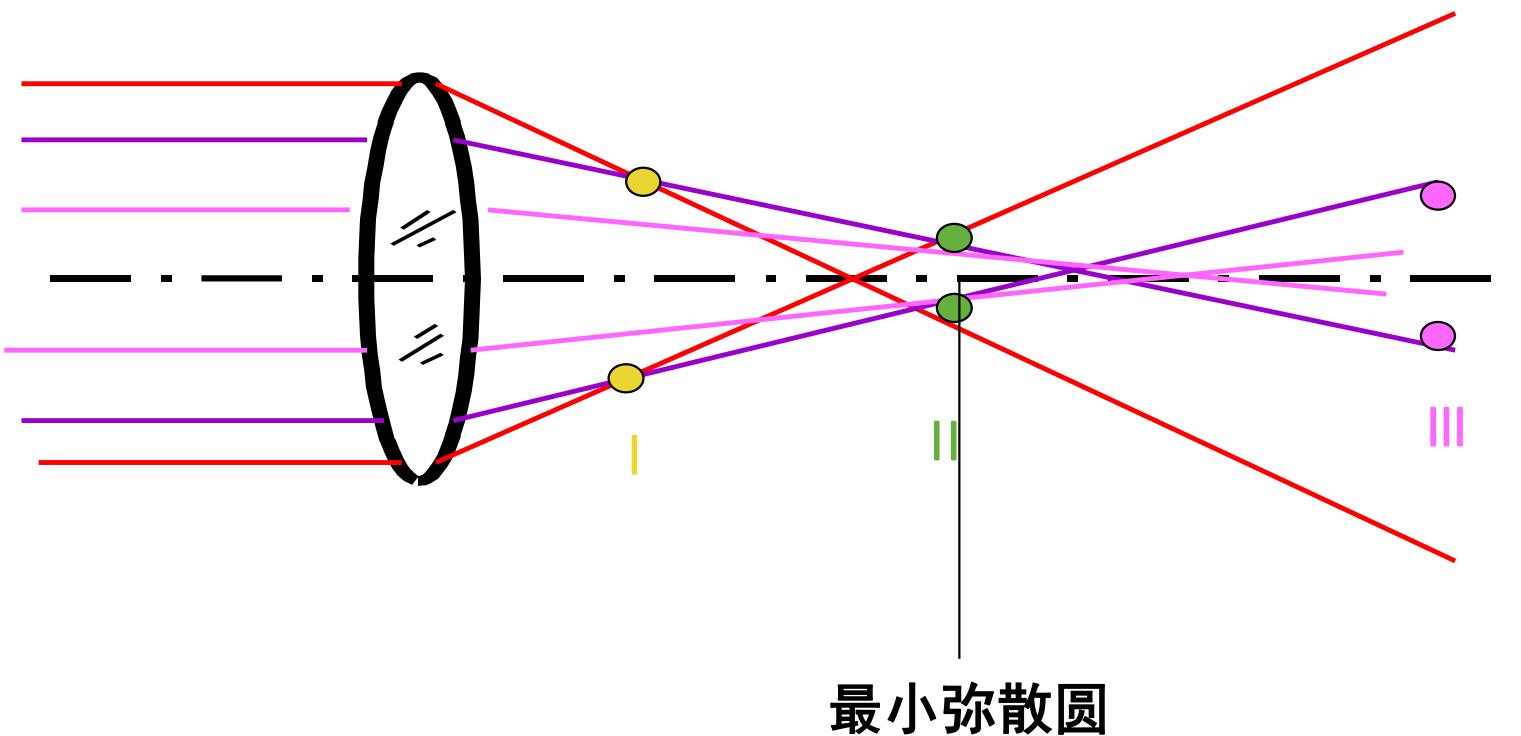
$$\delta L' = L' - l'$$

L' 大口径边缘光线对距系统最后一面的距离。

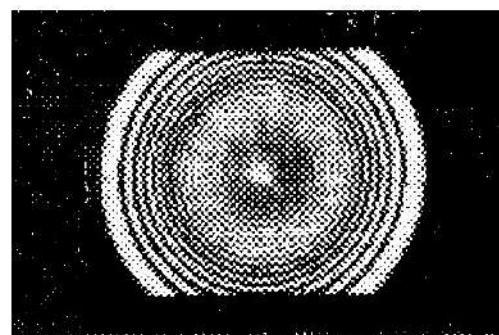
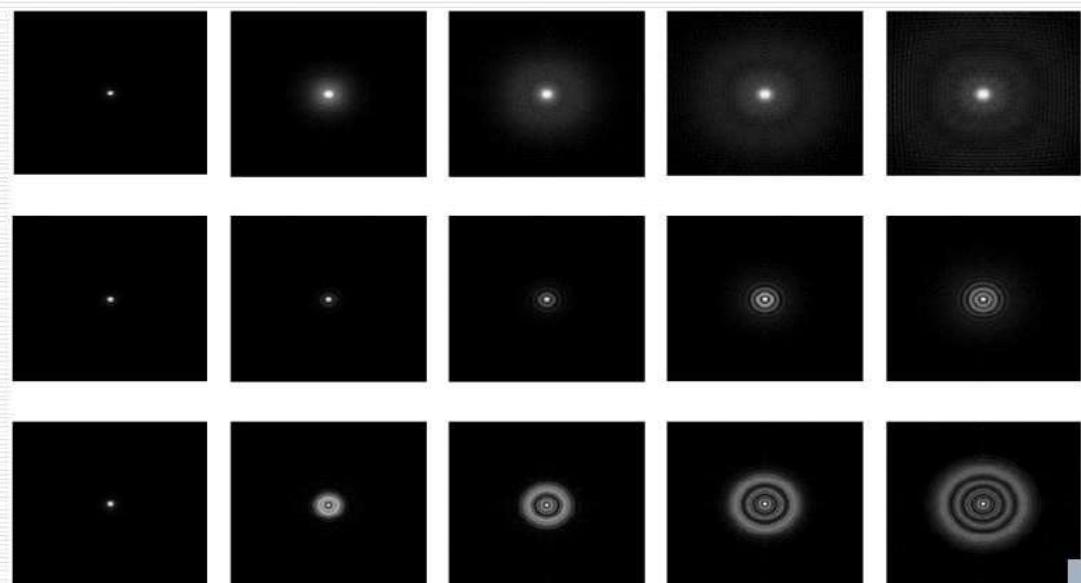
l' 近轴（理想）像点位置。

$\delta L'$ 符号规则：由理想像点计算到实际光线交点。

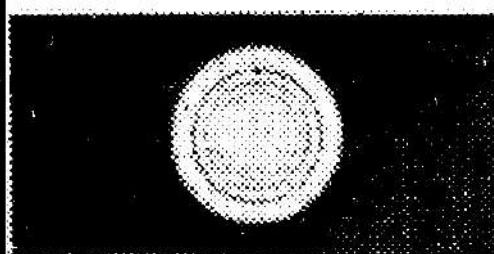
3. 存在球差时的像点形状



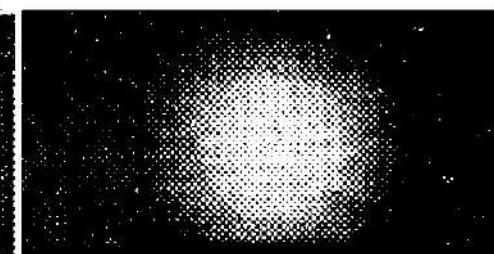
球差星点像



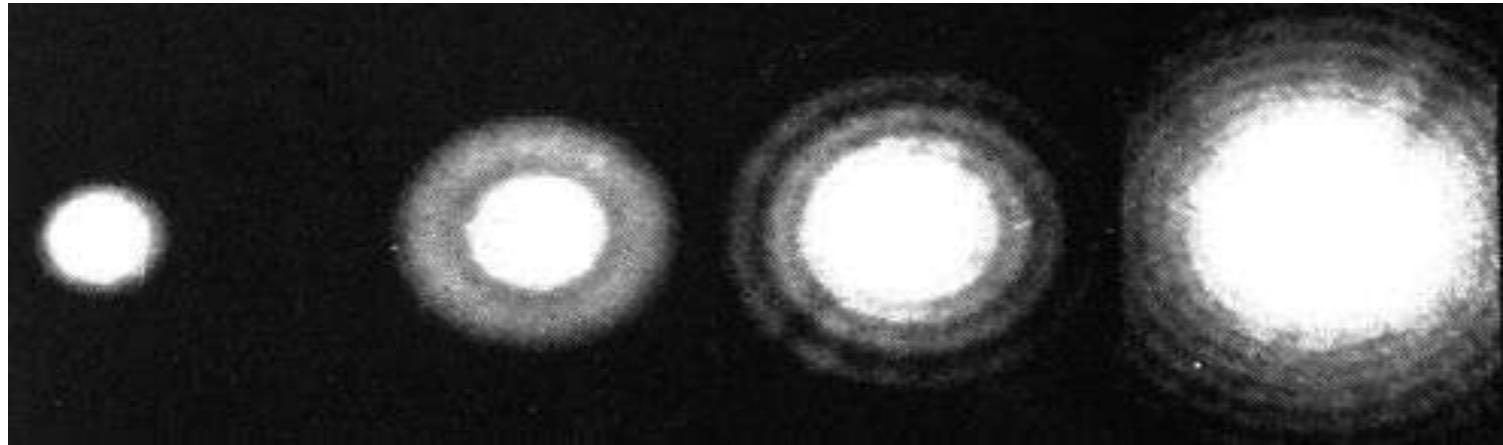
I



II



III



图示：不同大小球差的照片

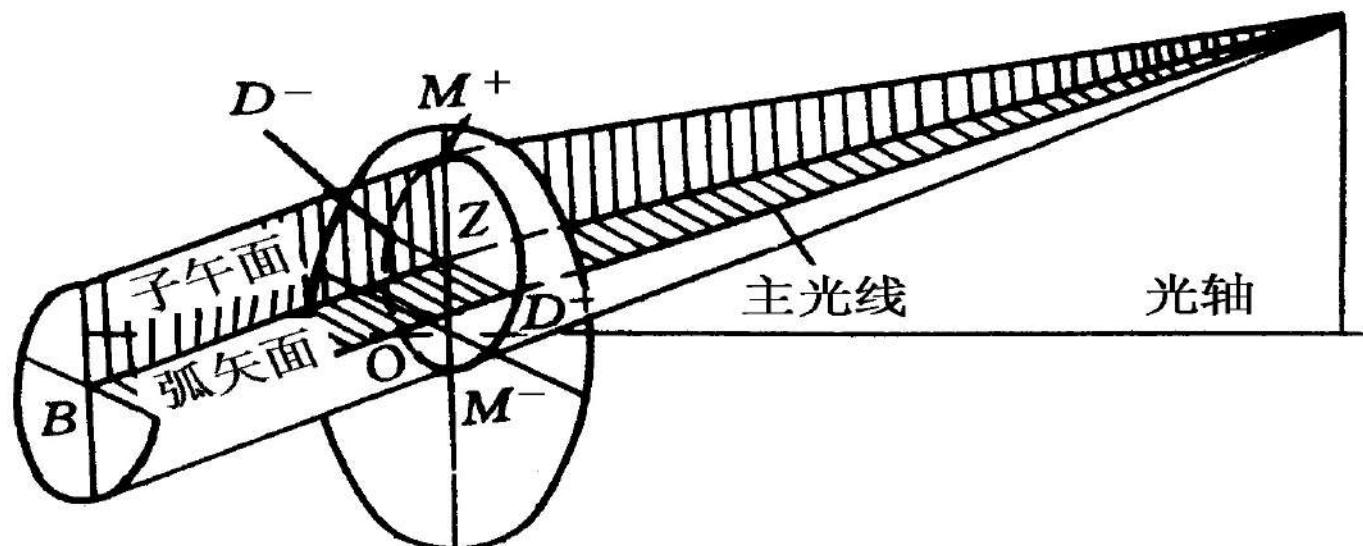
球差的校正：

- ◀ ■ 加光阑；
- 复合透镜，如正负透镜组合、球面曲率及折射率的配合等；
- 非球面透镜；
- 变折射率透镜 → 中间折射率大

§ 4 轴外像点的单色像差

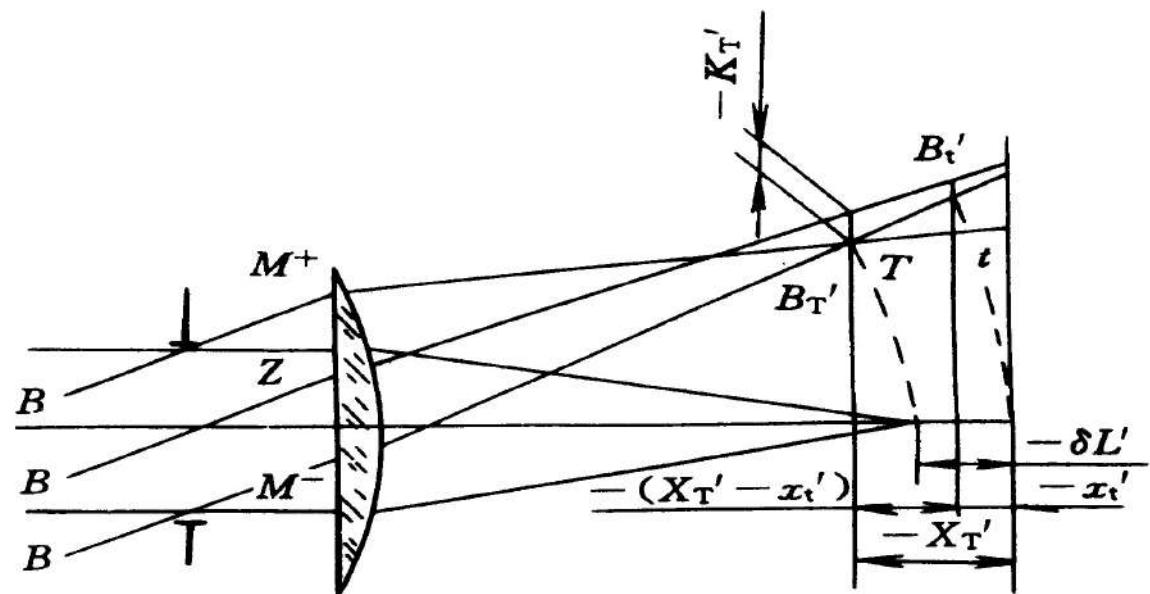
弧矢面：过主光线和子午面垂直的平面。

子午面：主光线和光轴决定的平面。



一. 子午像差

子午光线对



子午光线对交点 $B'_{T'}$

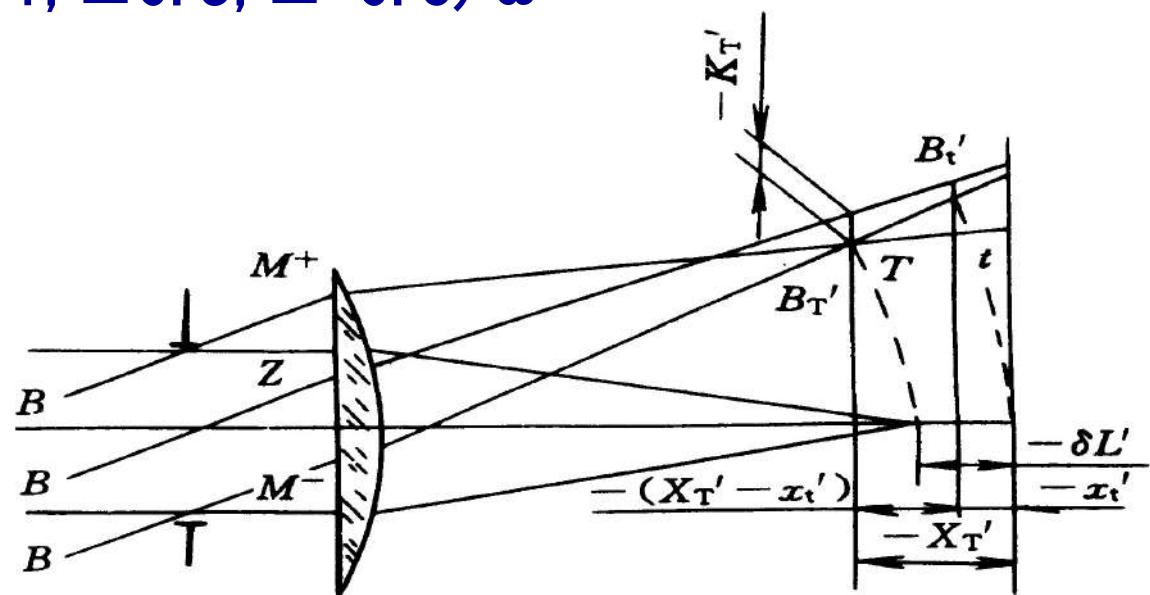
子午光线对交点与理想像平面不重合。

同样，子午光线对交点与主光线不重合。

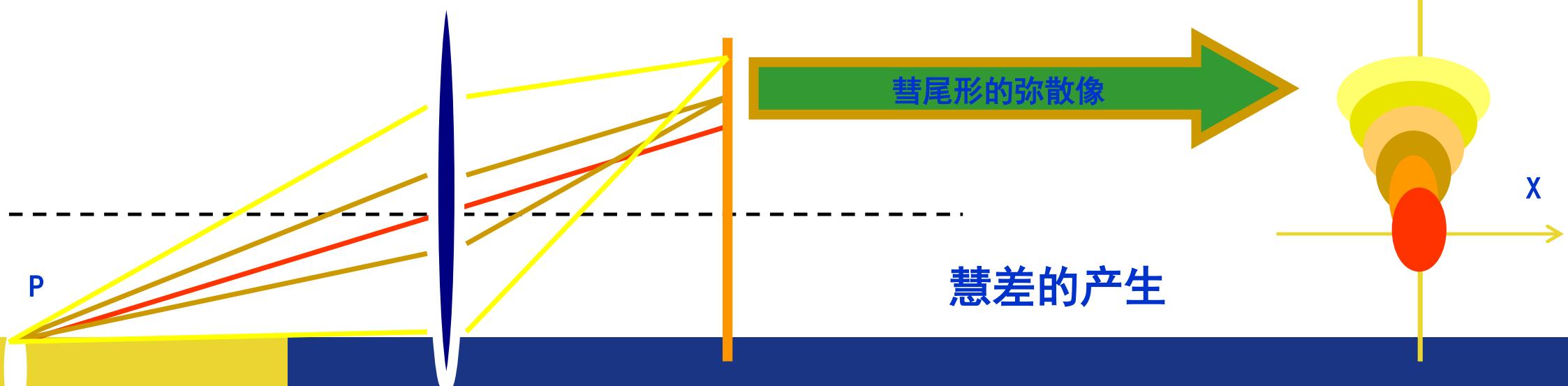
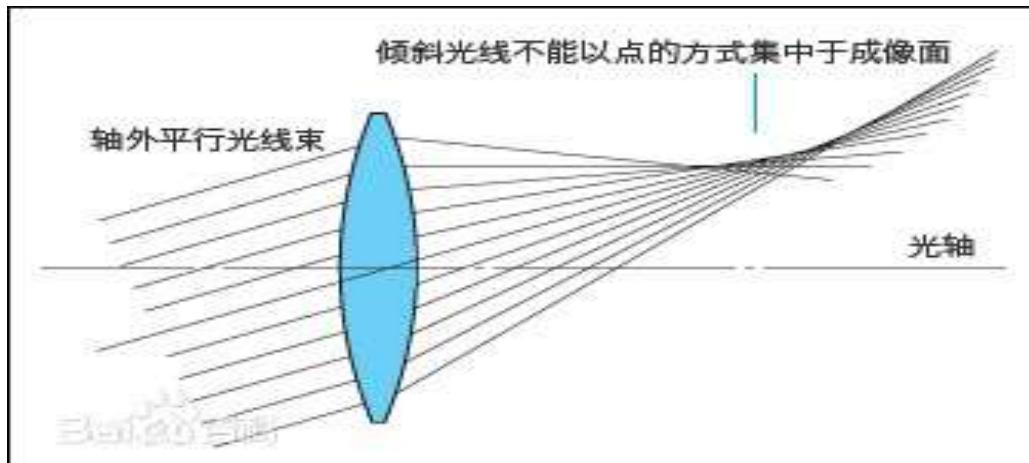
子午彗差：子午光线对交点到主光线的距离 K_T' 。

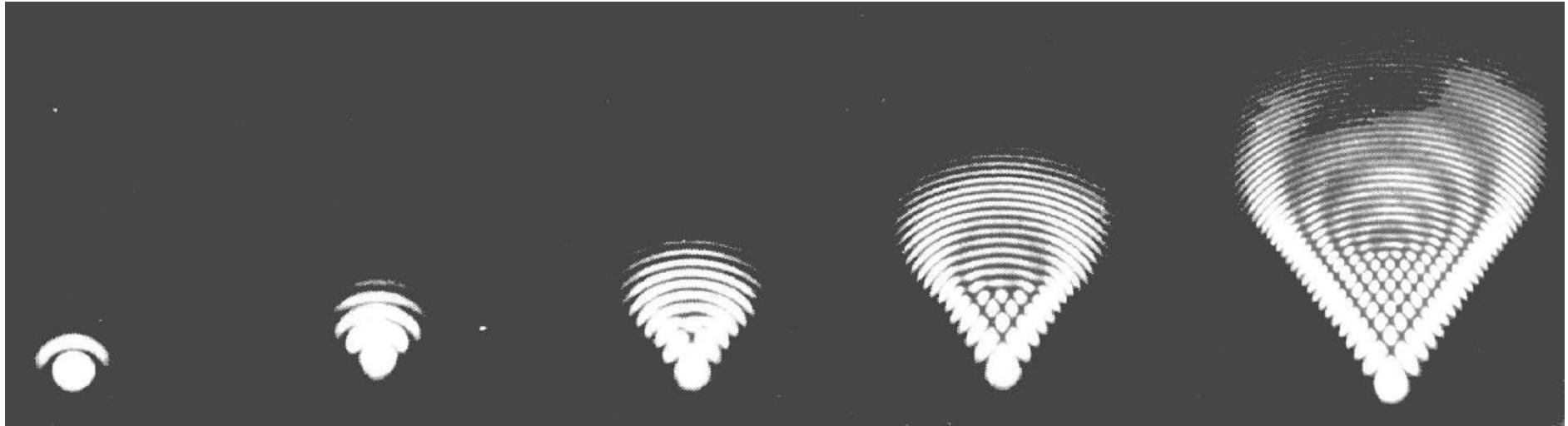
孔径选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) hm

视场选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) ω



彗差 (Coma) 靠近光轴的物点发出的大孔径光线不聚焦于一点





不同大小彗差的照片

彗差的校正：



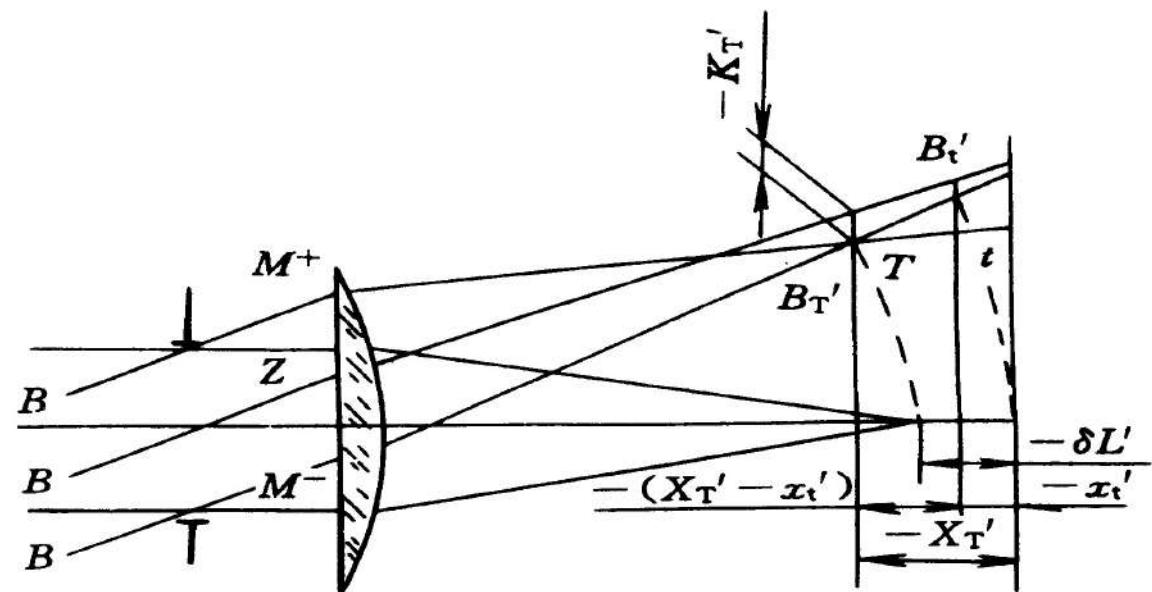
- 加光阑；
- 复合透镜；
- 非球面透镜；

不晕点---同时消除了球差和彗差的一对共轭点

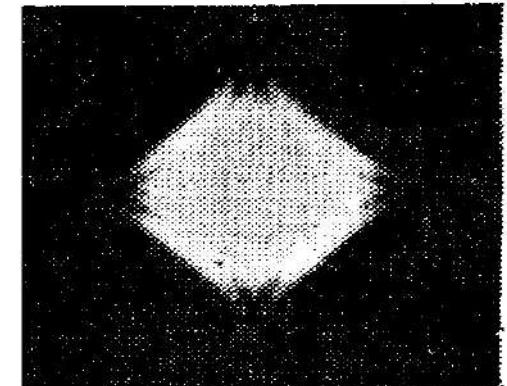
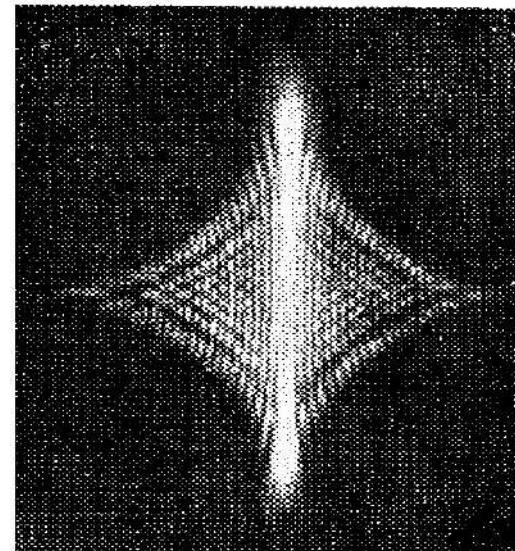
子午场曲： 子午光线对交点到理想像面的距离 X_T'

孔径选取：(±1, ±0.85, ±0.7071, ±0.5, ± 0.3) hm

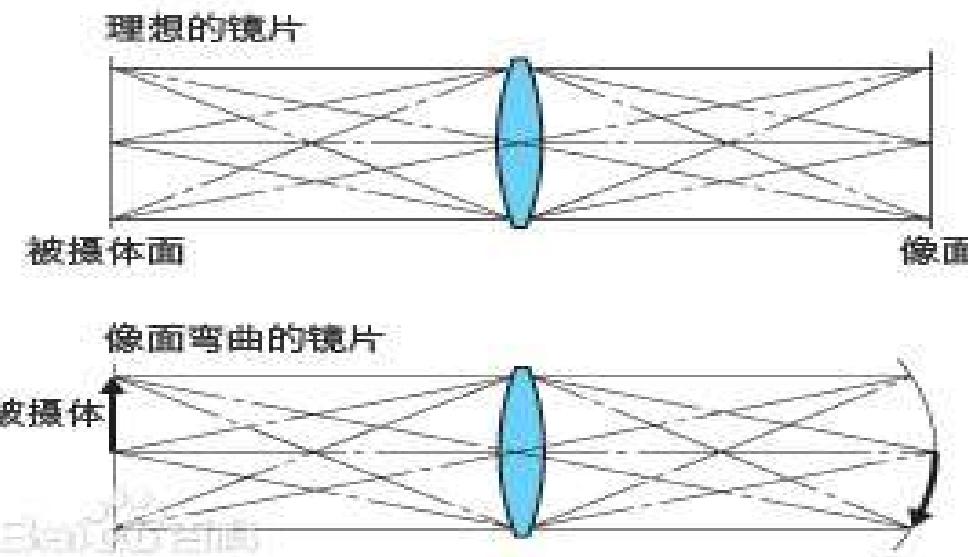
视场选取：(±1, ±0.85, ±0.7071, ±0.5, ± 0.3) ω



像差形状及特性



场曲:若存在场曲, 像面不是平面, 是一个曲面



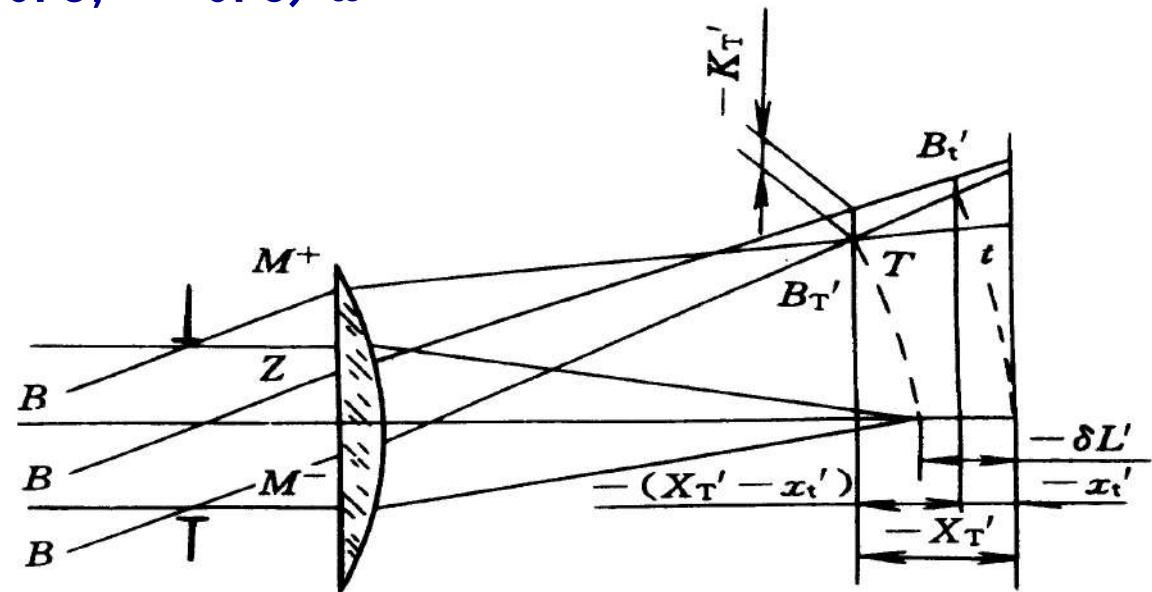
细光束子午场曲：子午细光线对交点到理想像面的距离 x_t' 。

轴外子午球差：子午宽光束交点到细光束交点的距离。

$$\delta L'_T = X'_T - x_t'$$

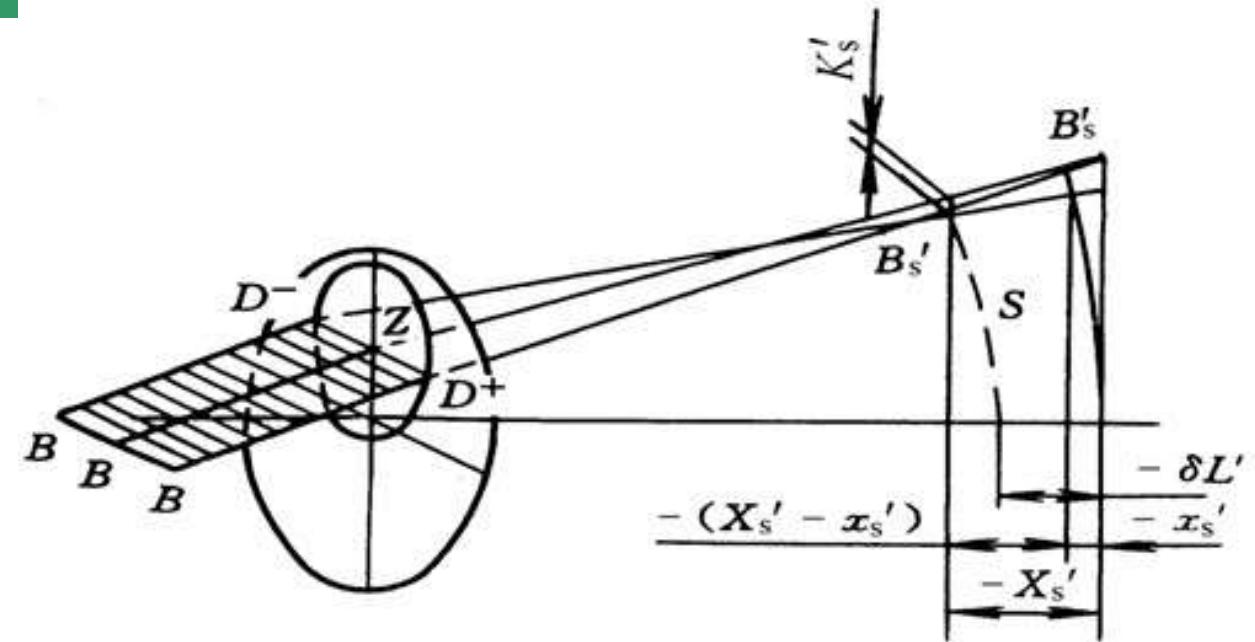
孔径选取：(± 1 , ± 0.85 , ± 0.7071 , ± 0.5 , ± 0.3) hm

视场选取：(± 1 , ± 0.85 , ± 0.7071 , ± 0.5 , ± 0.3) ω



二. 弧矢像差

弧矢光线对



弧矢光线对交点 B'_s

弧矢光线对交点与理想像平面不重合。

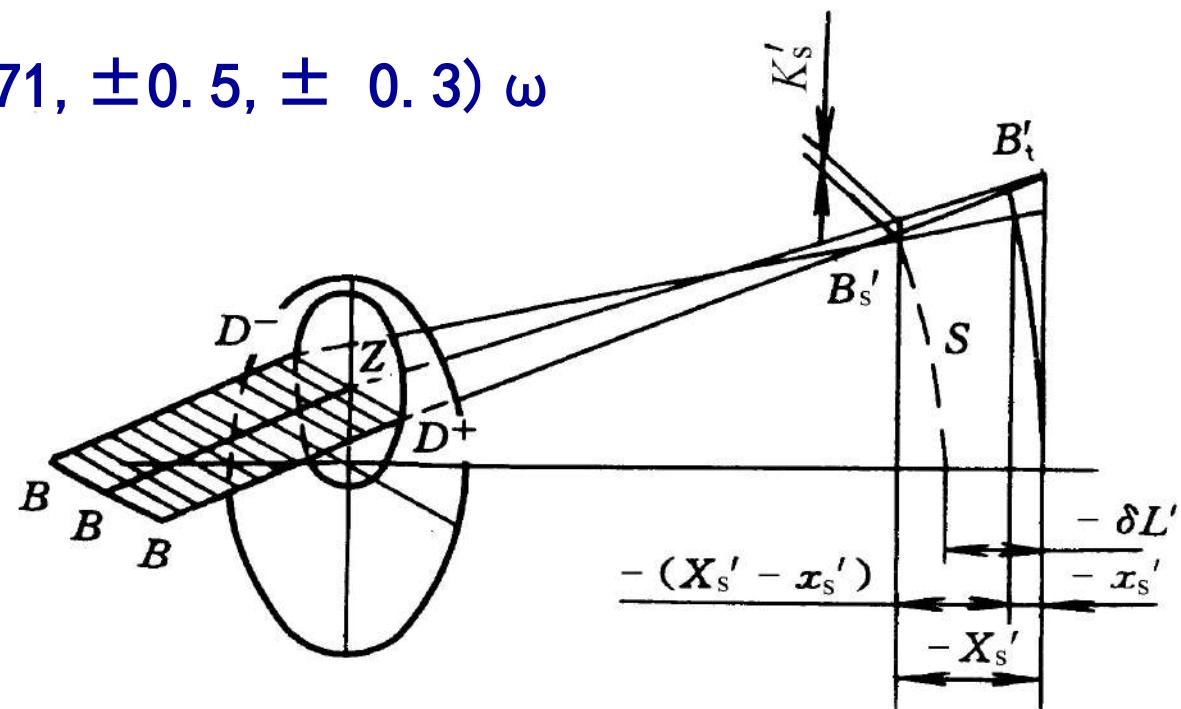
同样，弧矢光线对交点与主光线不重合。

弧矢场曲：弧矢光线对交点到理想像面的距离 X_s' 。

弧矢彗差：弧矢光线对交点到主光线的距离 K_s' 。

孔径选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) hm

视场选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) ω



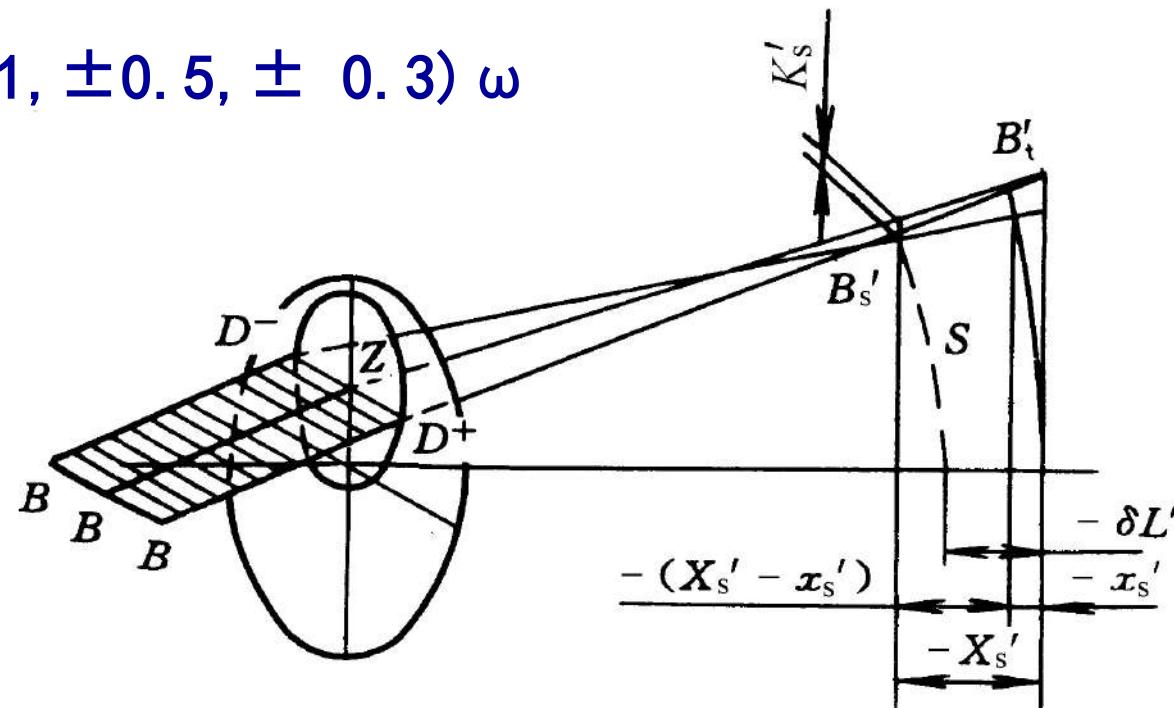
细光束弧矢场曲：弧矢细光线对交点到理想像面的距离 x_s' 。

轴外弧矢球差：弧矢宽光束交点到细光束交点的距离。

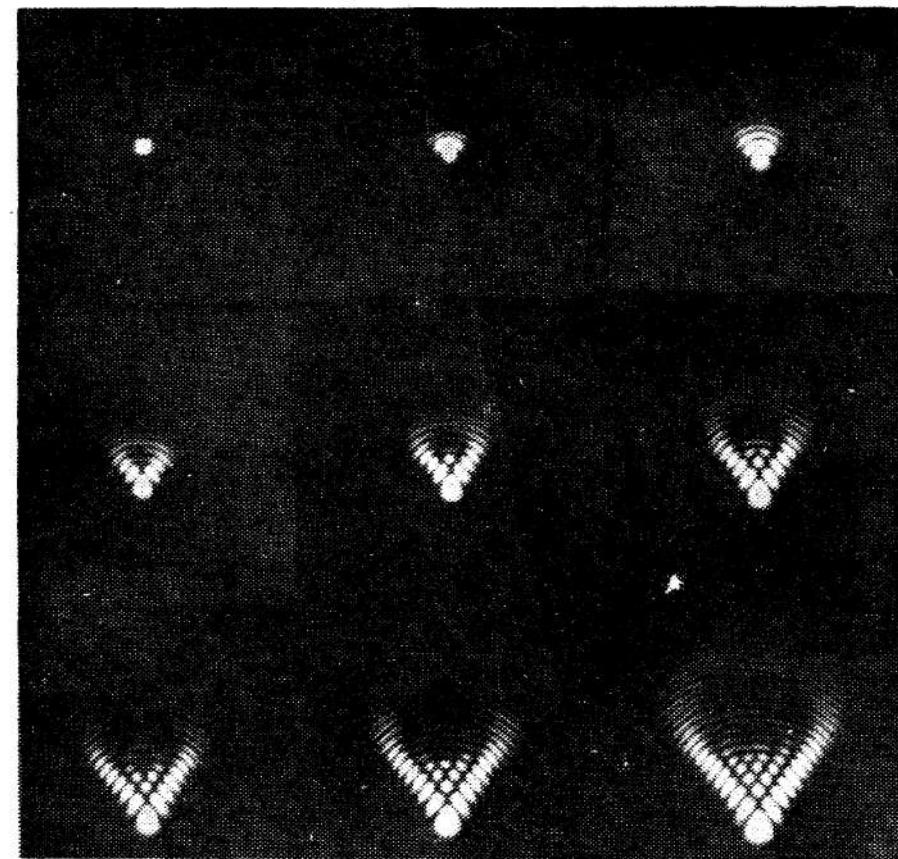
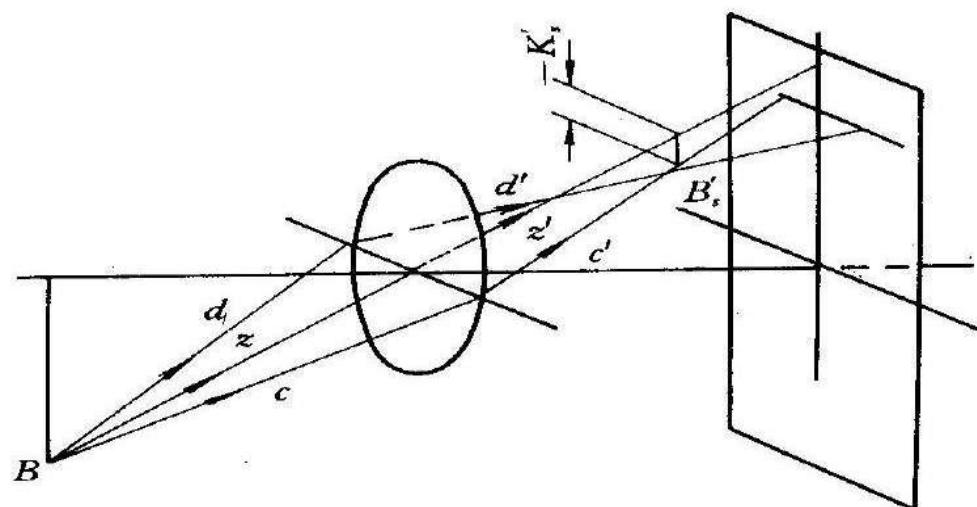
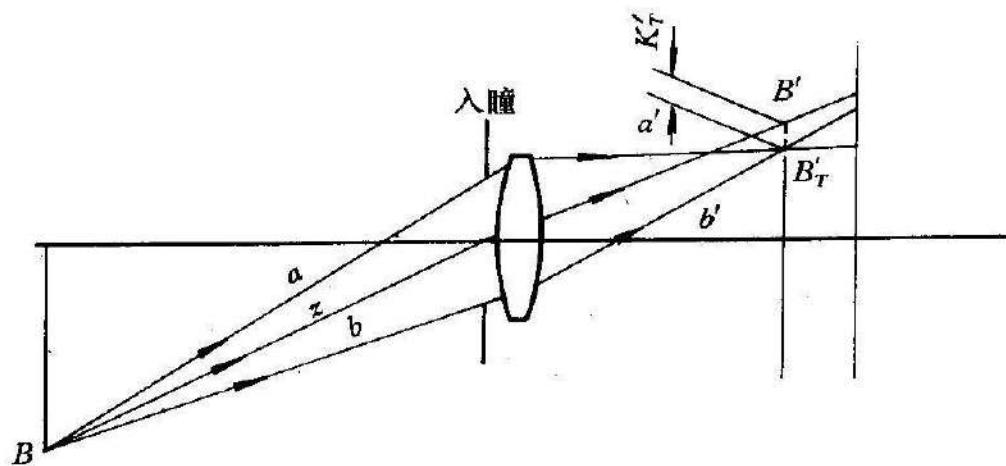
$$\delta L_s' = X_s' - x_s'$$

孔径选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) hm

视场选取：($\pm 1, \pm 0.85, \pm 0.7071, \pm 0.5, \pm 0.3$) ω



子午彗差, 弧矢彗差



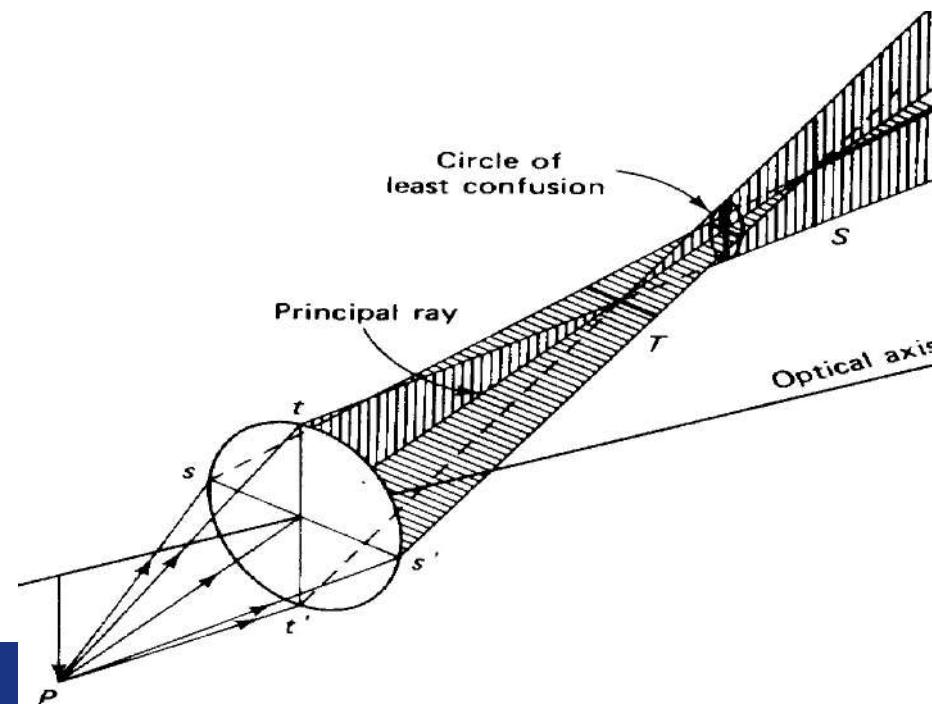
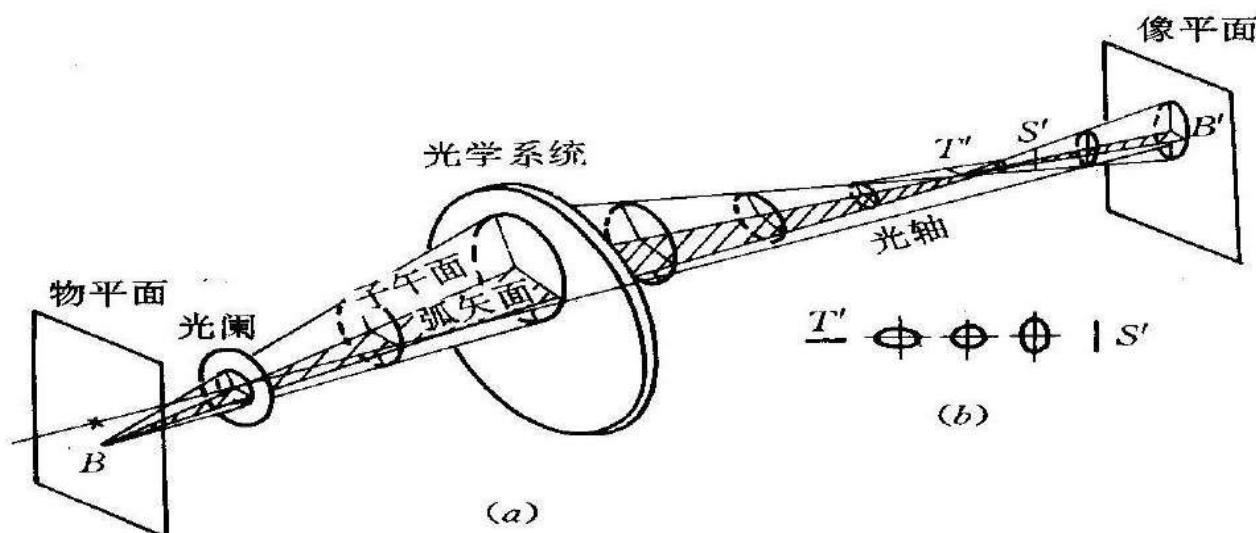
弧矢彗差大约等于子午彗差的三分之一
光学系统有彗差时像点的形状如彗星

像散

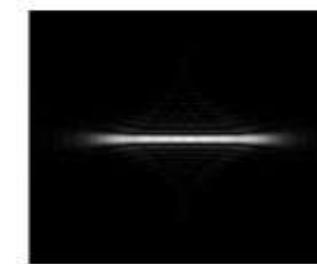
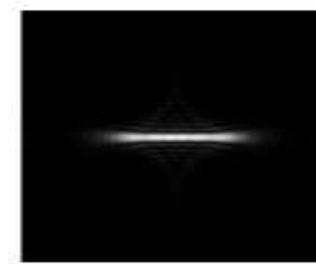
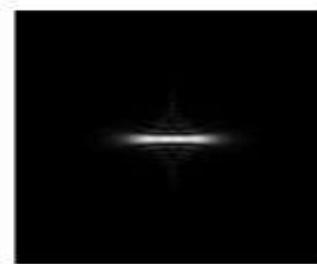
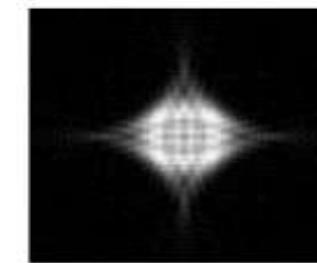
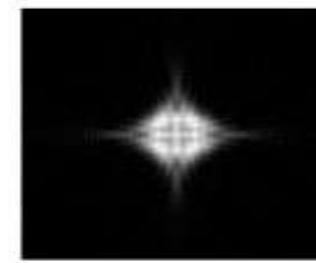
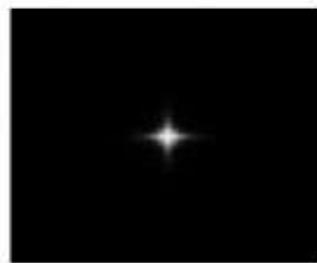
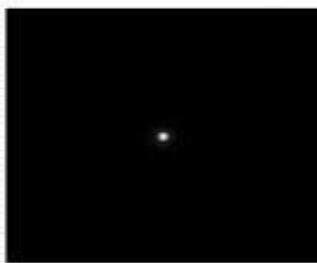
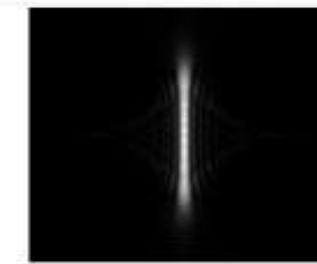
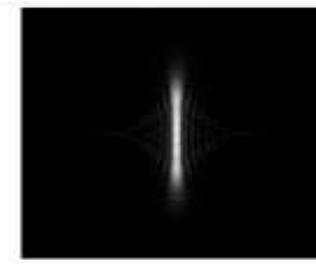
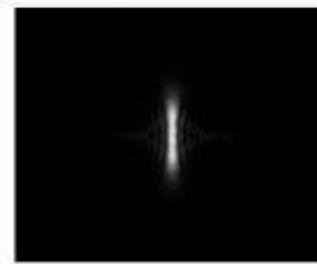
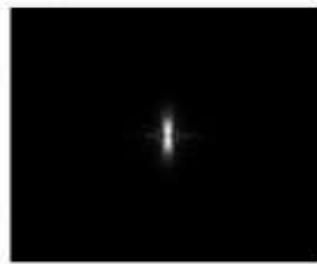
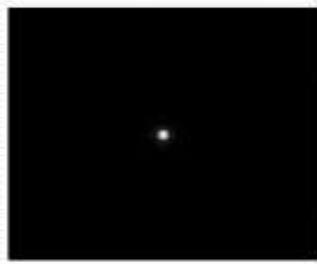
轴外物点发出的窄光束
经透镜后不再交于一点。

$$\text{像散: } x'_{ts} = x'_t - x'_{s}$$

轴外物点发出的同心光束，
水平方向和竖直方向的光线的聚
焦点在不同平面上。



像散



平均场曲：

$$x' = \frac{x_t' + x_s'}{2}$$

■ 加光阑

像散和场曲的校正： ■ 复合透镜

■ 非球面透镜；

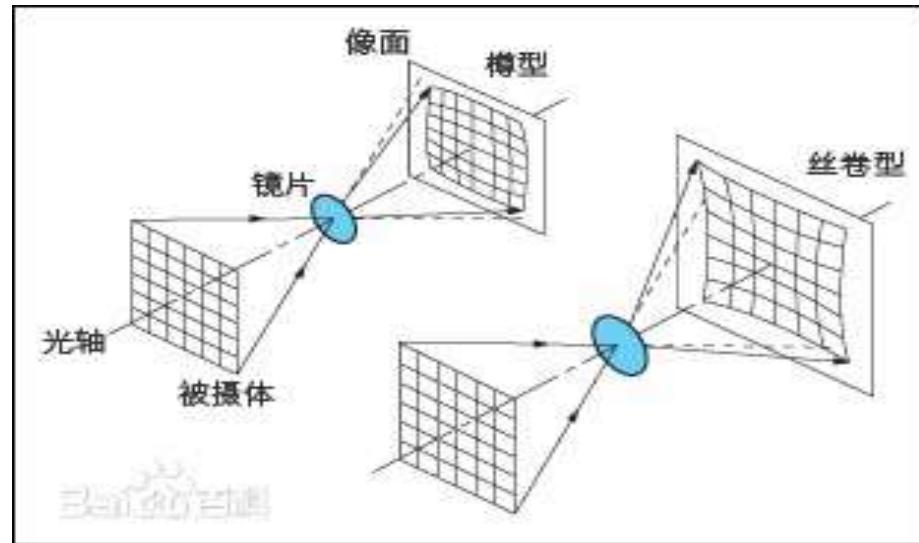
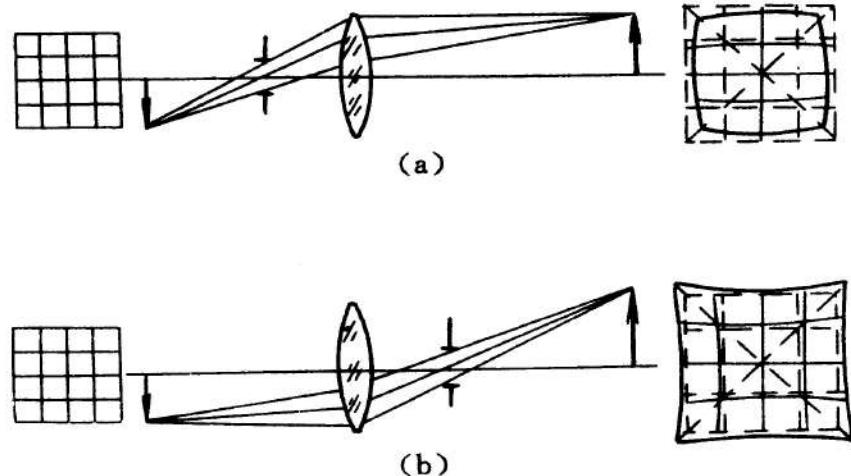
正弦差：彗差与像高的比值。

$$SC' = \lim_{y' \rightarrow 0} \frac{K'_s}{y'} \quad SC = \frac{\sin U_1 u'}{\sin U' u_1} \cdot \frac{l - l_z'}{L' - l_z'} - 1$$

畸变：成像光束的主光线的实际像高和理想像高之差。

$$\delta y_z' = y_z' - y_o'$$

畸变



像的大小和理想像高不等。

畸变不影响像的清晰, 只影响像的变形。

如果实际像高小于理想像高: 桶形畸变。

如果实际像高大于理想像高: 鞍形畸变。

畸变和视场的三次方成正比。



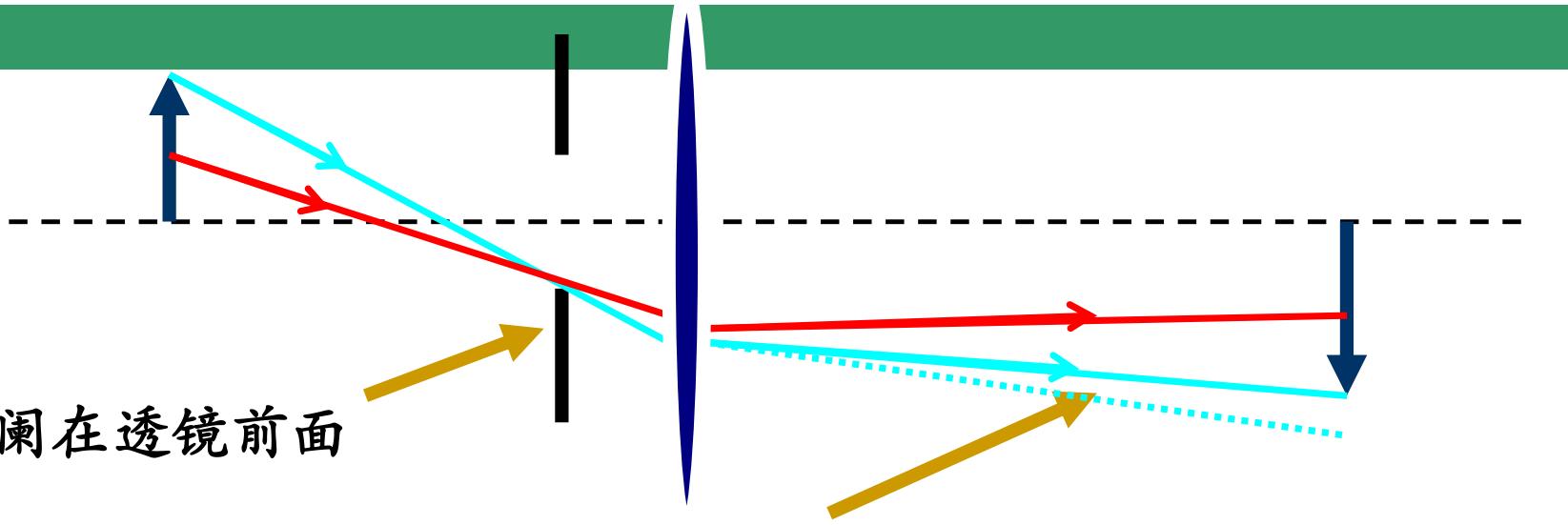
枕型畸变



广角畸变

佳能 EOS 5D Mark II





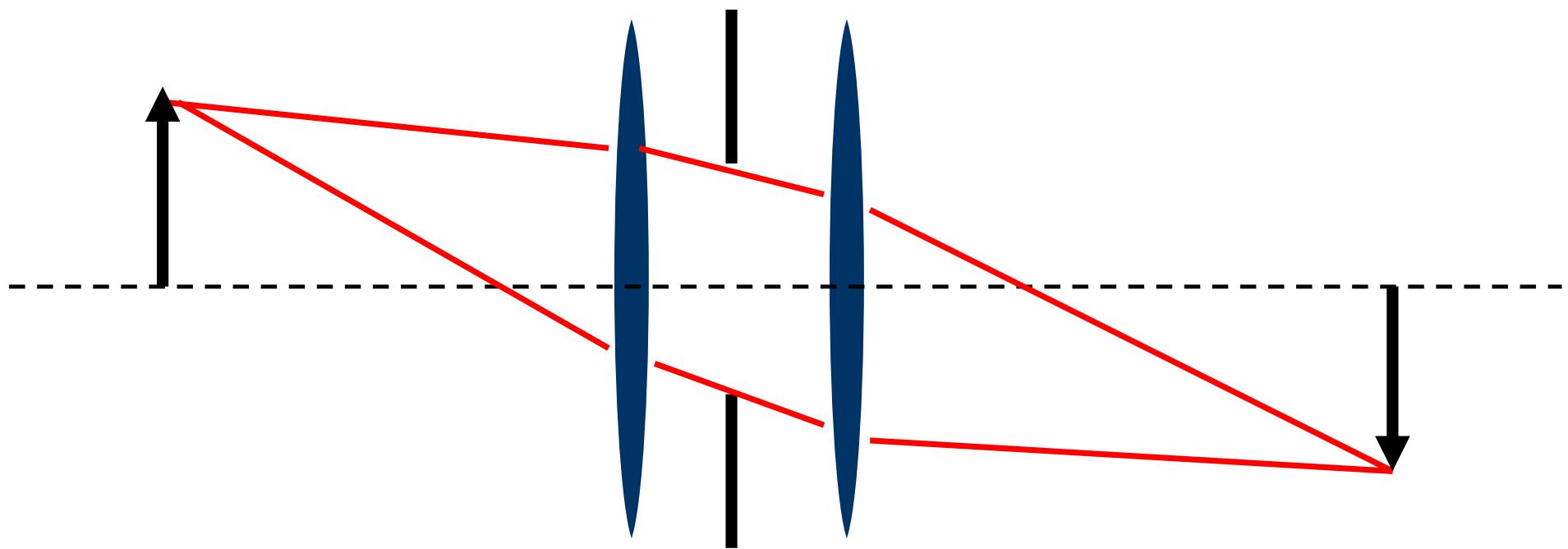
类似于正球差，入射角度大的出射光线比理想成像光线向光轴偏折得更厉害

离光轴远的物点放大率变小，负畸变

光阑在透镜后面，情况相反

桶形畸变

枕形畸变



特殊光阑位置消除畸变