

第五节

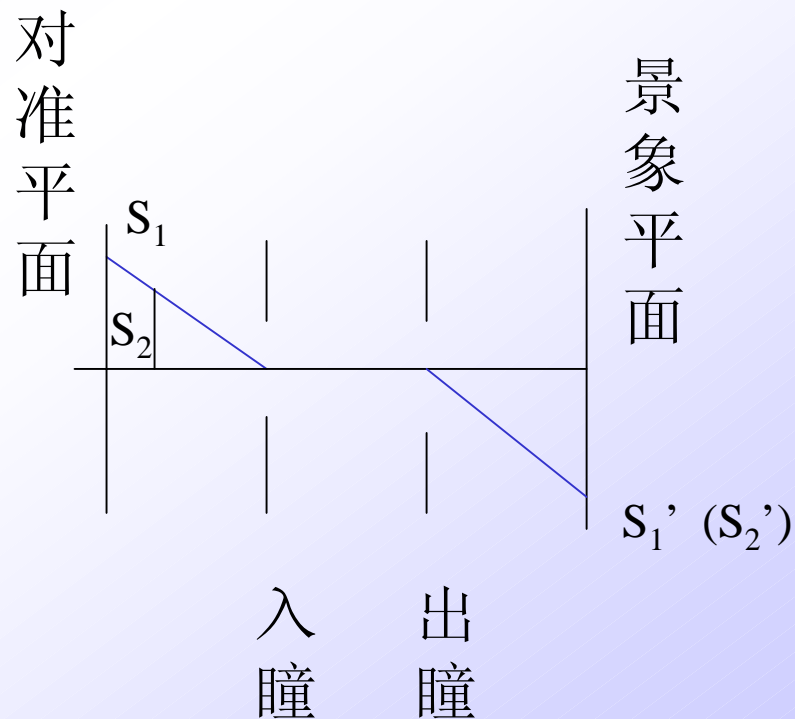
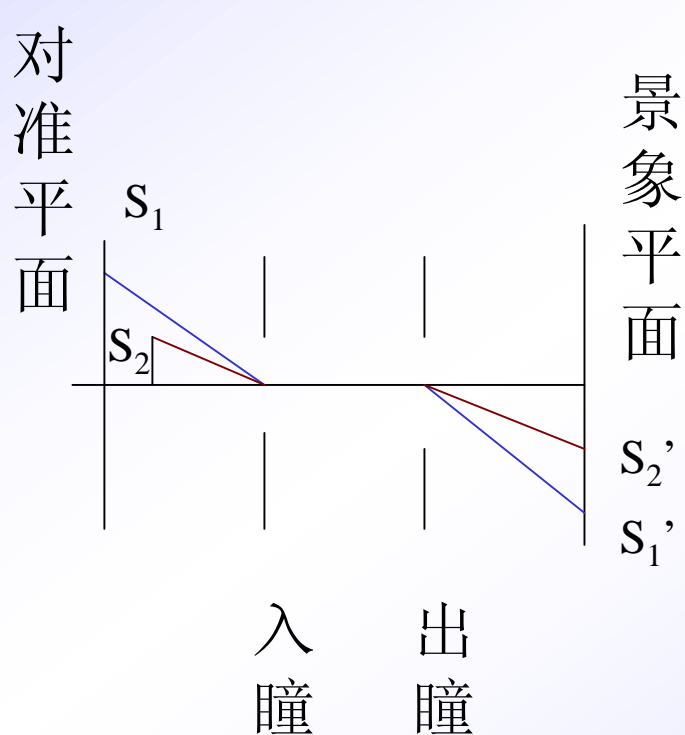
光学系统的景深

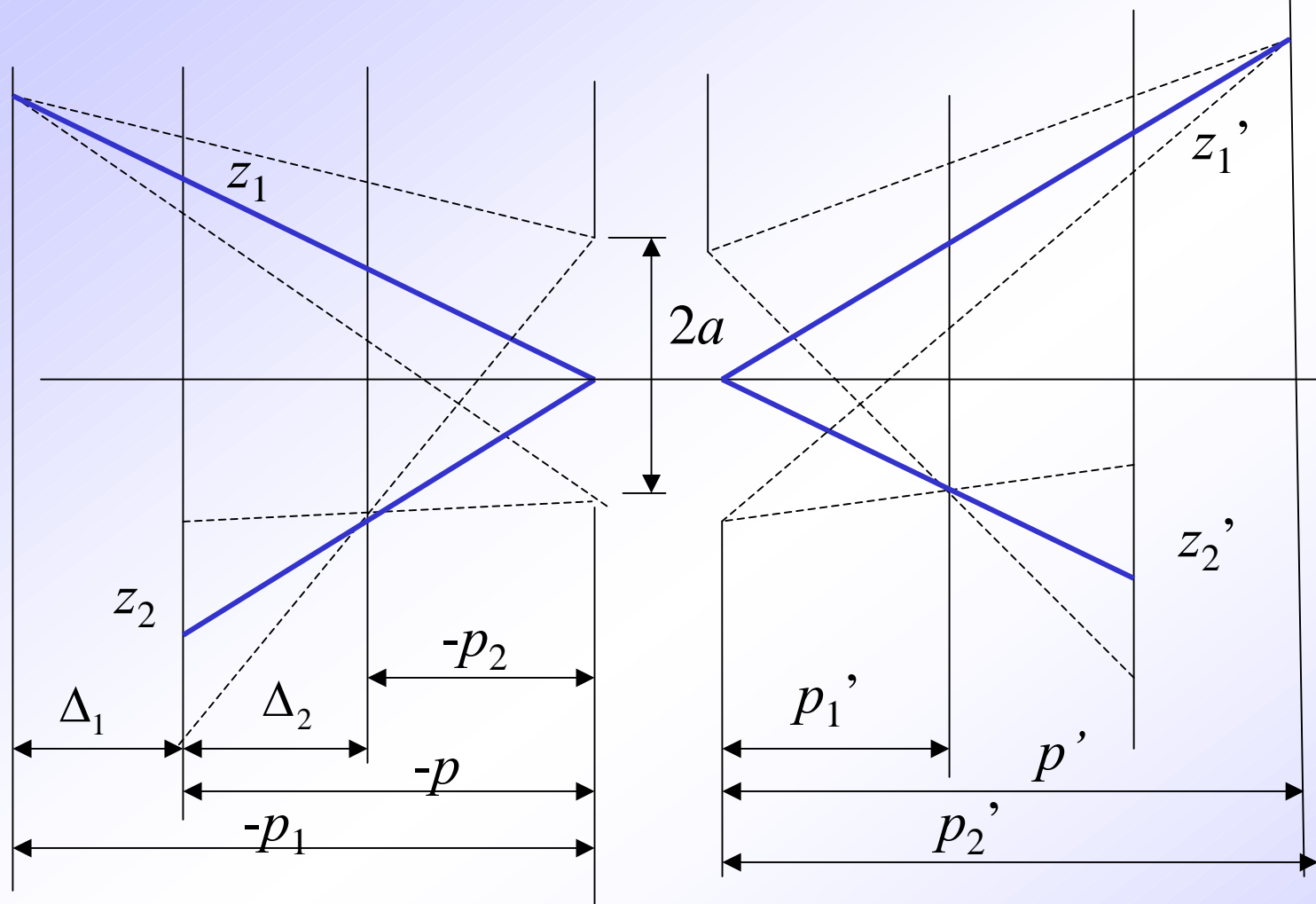
一、空间点的象

以入射光瞳中心点P为透射中心，以点P为投影中心，将空间点沿主光线方向对准平面上投影，则投影点在景象平面上的共轭点便是空间点的平面象。

入瞳直径减小→弥散斑小

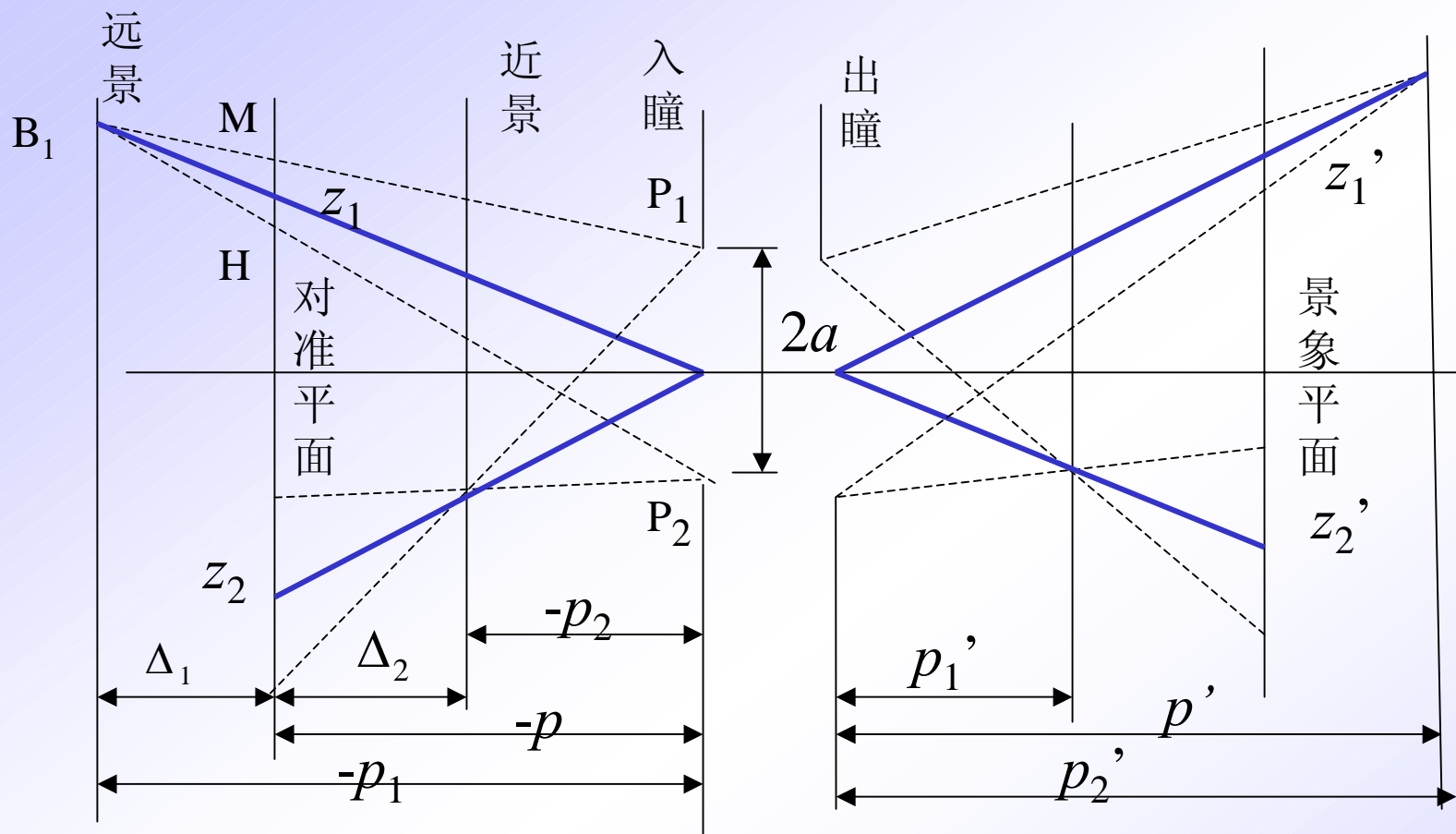
入瞳位置变→景象变→透视失真（景象畸形）





二、景深:

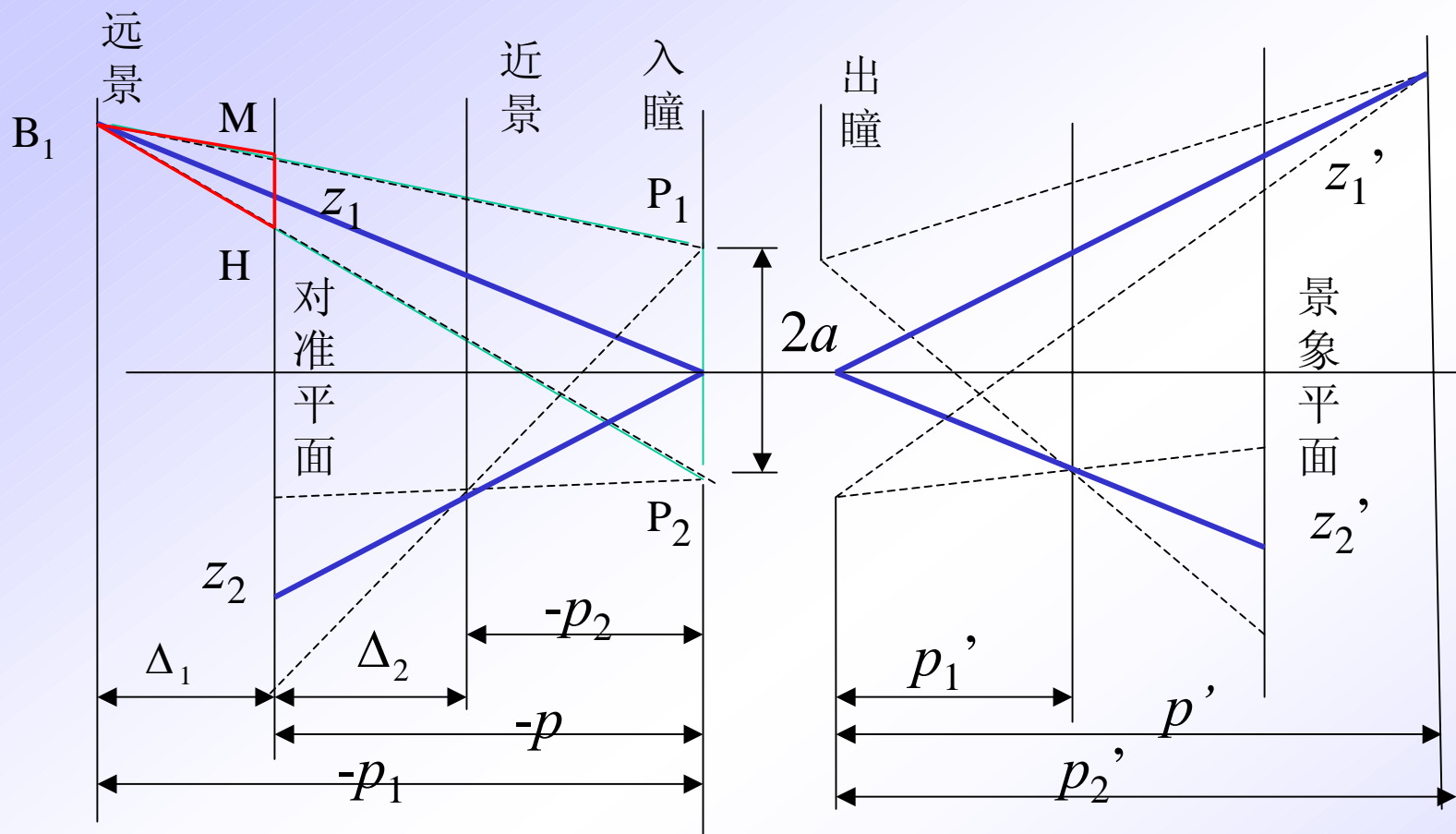
在景象平面上获得清晰象的空间深度称为成象空间的景深
(入瞳一定)



远景：能成清晰象的最远的平面 近景：能成清晰象的最近的平面

1. 远景深度 Δ_1 =有限长

象平面弥散斑对入眼的张角 <1 分（眼睛最小分辨角）弥散斑可认为是空间点在平面上所成的像。



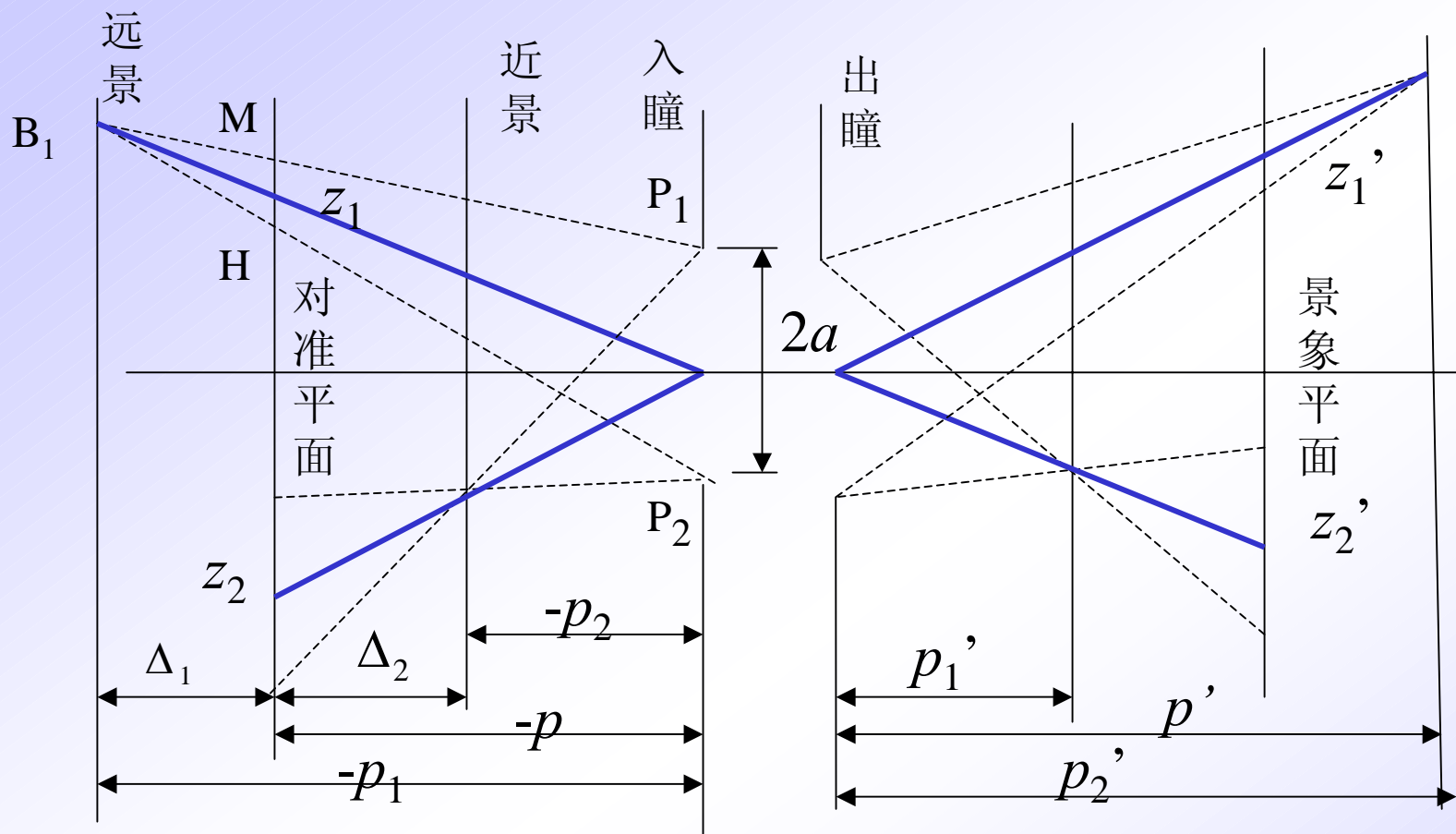
景深 Δ =远景深度， Δ_1 +近景深度 Δ_2 。

以入瞳中心为坐标原点。

$$Z_1' = \beta Z_1,$$

$$Z_2' = \beta Z_2$$

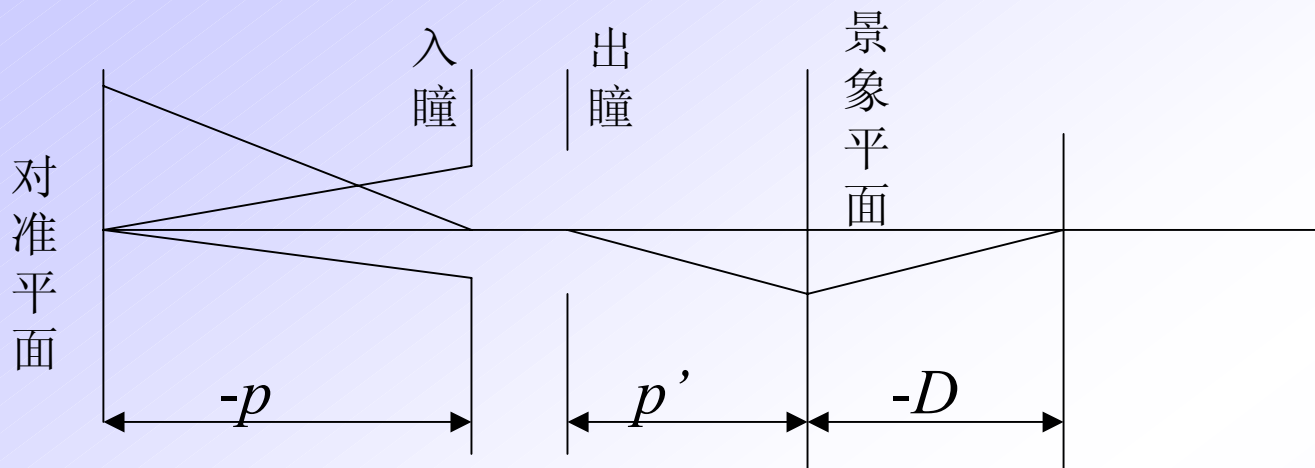
$$\Delta B_1 M H \sim \Delta B_1 P_1 P_2 \quad \therefore \frac{Z_1}{2a} = \frac{p_1 - p}{p_1} \quad \frac{Z_2}{2a} = \frac{p - p_2}{p_2}$$



$$Z_1 = 2a \frac{p_1 - p}{p_1} \quad Z_2 = 2a \frac{p - p_2}{p_2} \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{2ap}{2a - Z_1} \quad p_2 = \frac{2ap}{2a + Z_2} \quad (2)$$

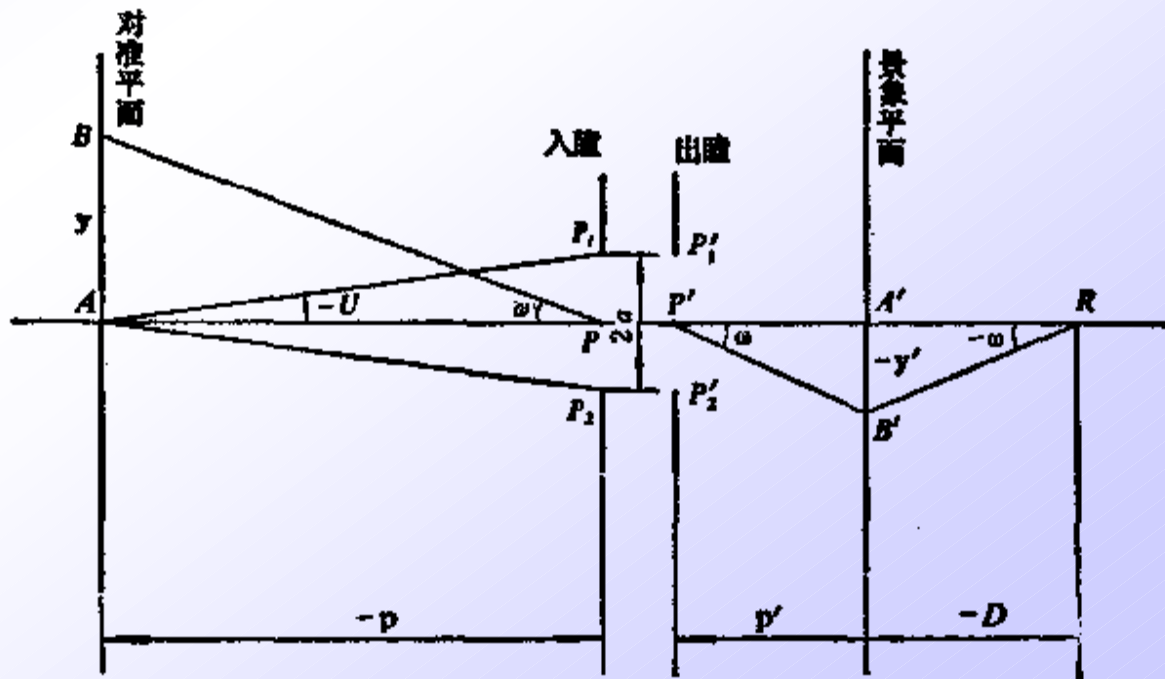
$$Z_1' = \beta_1 Z_1 = 2a\beta \frac{p_1 - p}{p_1} \quad Z_2' = 2a\beta \frac{p - p_2}{p_2} \quad (3)$$



用眼观察照片时，为了得到正确的空间感觉，照片上图象各点对眼睛的张角应与直接观察空间时各对应点对眼睛的张角相等，满足这一条件的距离称为正确透视距离，用D表示。

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y}{-p} = \operatorname{tg} \omega' = \frac{-y'}{-D}$$

$$D = \frac{-y'}{y} p = -\beta p$$



照片上弥散斑直径允许值 $Z' = Z'_1 = Z'_2 = D\varepsilon = \beta p\varepsilon$

ε 眼睛极限分辨角

对准平面弥散斑的允许值 $Z = \frac{Z'_1}{\beta} = p\varepsilon = Z_1 = Z_2$

$$\Delta_1 = p_1 - p = \frac{pz_1}{2a - z_1}$$

$$\Delta_2 = p - p_2 = \frac{pz_2}{2a + z_2}$$

$$= \frac{p^2\varepsilon}{2a - p\varepsilon}$$

$$\Delta_2 = \frac{p^2\varepsilon}{2a + p\varepsilon}$$

$$\Delta_1 > \Delta_2 \quad \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 4ap^2\varepsilon / (4a^2 - p^2\varepsilon^2)$$

即当入瞳大小 $2a$ 和对准平面的位置以及极限角一定时，


远景深度>近景深度

用孔径角取代入瞳直径

$$2a = 2p \operatorname{tg} u$$

$$\therefore \Delta = \frac{4p\varepsilon \operatorname{tg} u}{4\operatorname{tg}^2 u - \varepsilon^2}$$

$$\therefore 2a \downarrow \rightarrow u \downarrow \rightarrow \Delta \uparrow$$

\therefore 在照相时，缩小光圈（入瞳直径） 景深大，即获得大的空间深度的清晰象。

2. 远景深度 $\Delta_1 = \infty$

若欲使对准平面以后的整个空间都能在景象平面上成清晰象，即 $\Delta_1 = \infty$

由前面知
$$\Delta_1 = \frac{p^2 \varepsilon}{2a - p\varepsilon}$$

$$2a - p\varepsilon = 0$$

$$\therefore p = \frac{2a}{\varepsilon}$$

即从对准平面中心看入瞳时，其对眼睛张角应等于极限分辨角。

近景为：

$$\begin{aligned} p_2 &= p - \Delta_2 = p - \frac{p^2 \varepsilon}{2a + p\varepsilon} \\ &= \frac{2ap}{2a + p\varepsilon} \\ &= \frac{(2a)^2 / \varepsilon}{2a + 2a} \\ &= \frac{2a}{2\varepsilon} \\ &= \frac{a}{\varepsilon} = \frac{p}{2} \end{aligned}$$

∴把照相物镜调焦于 $p = \frac{2a}{\varepsilon}$ 处，在景象平面上可以得到自入瞳前距离为 $\frac{a}{\varepsilon}$ 处的平面起至无限远的整个空间内物体的清晰象。

3. $p = \infty$ 即把照相物镜调焦到 ∞ 。

$$p\varepsilon = z_2$$

$$\begin{aligned} p_2 &= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2ap}{2a + z_2} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2ap}{2a + p\varepsilon} \\ &= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2a}{\frac{2a}{p} + \varepsilon} = \frac{2a}{\varepsilon} \end{aligned}$$

$$p_1 = \infty$$

\therefore 景深是自物镜前距离为 $\frac{2a}{\varepsilon}$ 的平面开始到无限远。

4. 景深与焦距关系

$$Z_1' = \beta Z_1 = -\frac{f}{x} Z_1 = \frac{f'}{x} Z_1$$

$$f = -f'$$

$$\therefore Z_1 = \frac{x}{f'} Z_1' \quad Z_2 = \frac{x}{f'} Z_2'$$

$$\Delta_1 = \frac{pZ_1}{2a - Z_1} = \frac{p}{\frac{2a}{Z_1} - 1}$$

$$\Delta_2 = \frac{pZ_2}{2a + Z_2} = \frac{p}{\frac{2a}{Z_2} + 1}$$

x, z' 一定时, $f' \uparrow \rightarrow Z_2 \downarrow \rightarrow \Delta \downarrow$

\therefore 景深随焦距的增大而减小

例：现有一照像机，其物镜 $f' = 75mm$ ，现以常摄距离 $p = 3m$ 进行拍摄，相对孔径采用 $\frac{D}{f'} = \frac{1}{22}$ 试求景深。

解：

$$2a = D$$

$$\frac{f'}{22} = 3.41mm$$

$$\varepsilon = 1' = 0.00029 = \left(\frac{\pi}{180^\circ \times 60} \right)$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta &= \frac{4ap^2\varepsilon}{4a^2 - p^2\varepsilon^2} = \frac{2 \times 3.41 \times 3000^2 \times 0.00029}{3.41^2 - 3000^2 \times 0.00029^2} mm \\ &= 1637.37mm = 1.63737m \end{aligned}$$