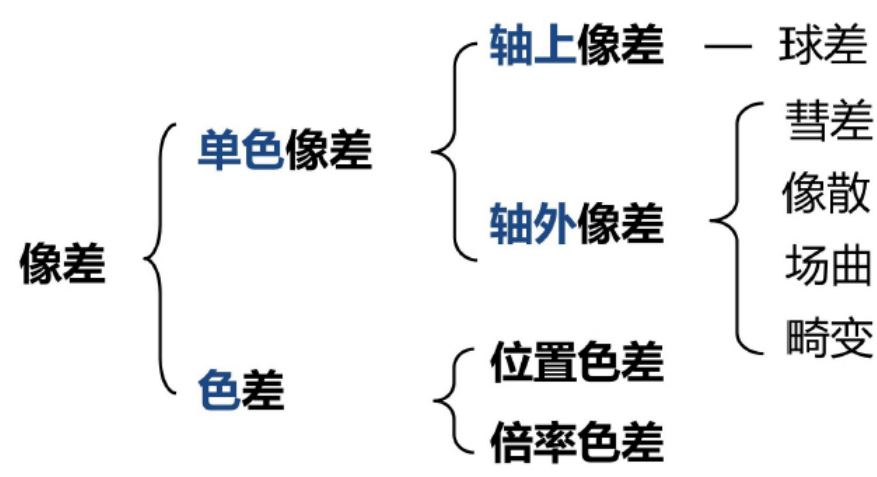


CH7：几何像差



CH7：几何像差

- 1、基本概念：
- 2、球差：
单色 宽光束轴上点 的 轴向 像差
- 3、彗差：
单色 宽光束轴外点 的 垂轴 向差
- 4、像散：
单色细光束 轴外点 的 轴向 像差
- 5、场曲：
单色细光束 轴外点 的 轴向 像差
- 6、畸变：
单色细光束 轴外点 的 垂轴 向差
- 7、位置色差：
复色细光束 轴上点 的 轴向 向差
- 8、倍率色差：
复色细光束 轴外点 的 垂轴 向差
- 9、Q&A：

CH8：初级像差

- 1、初级球差：
- 2、初级轴外像差：
- 3. 匹兹凡面弯曲：
- 4. 初级色差：
- 5. 初级相差总结：

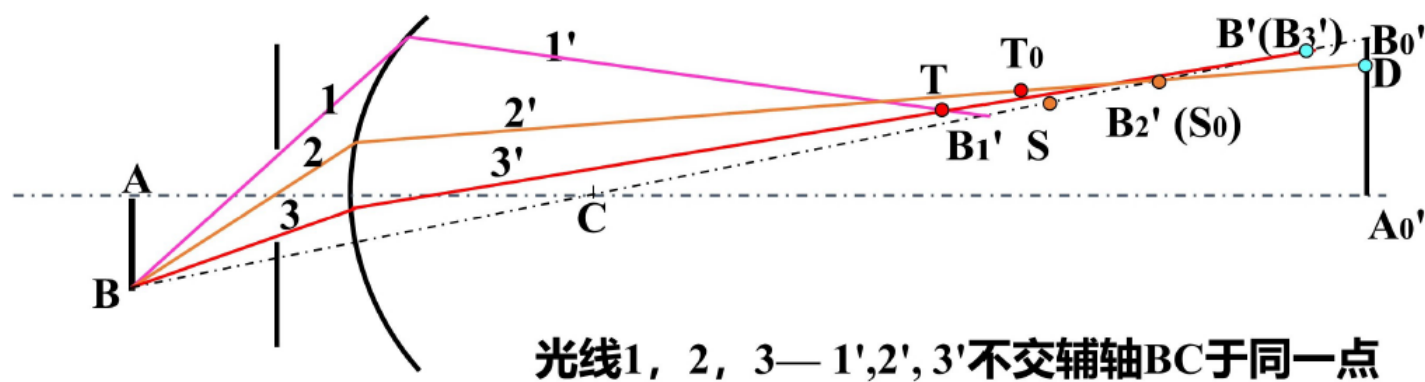
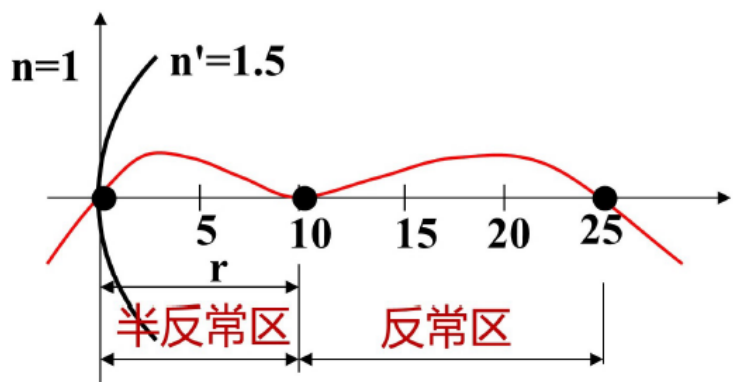
1、基本概念：

- 第一近轴光线
- 第二近轴光线
- 宽光束、细光束（根据上下光线之间的孔径来定义）
- 子午平面、弧矢平面
- 子午光线、弧矢光线
- 边缘光线
- 主光线、上光线、下光线
- 前光线、后光线
- 辅轴
- 子午焦线、弧矢焦线（像散）

2、球差：

单色 宽光束轴上点 的 轴向 像差

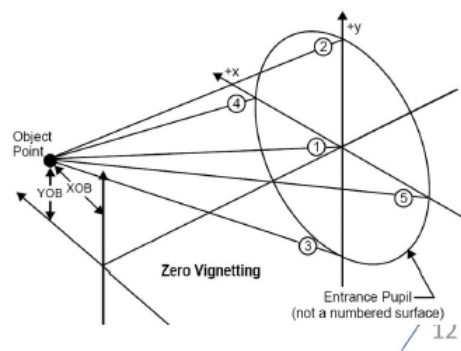
- 轴向球差计算
- 垂轴球差计算 ($\tan U$)
- 初级球差、高级球差
- 球差曲线
- 近轴区、赛得区 (A_1)
- 最大剩余球差 (0.707)
- 单个折射球面的球差
 - 三个无球差点的位置
 - 一对共轭齐明点的成像特性
 - 齐明透镜 (会考计算)
 - 反常区、半反常区、正常区的分布位置以及成像特性



A_0' — A的理想像点 B_0' — B的理想像点 B' — B的近轴像点, 与 B_0' 不重合

宽光束 { 上下光线交点T: 不在主光线上, 不在辅轴上
前后光线交点S: 不在主光线上, 但在辅轴上

细光束 { $T \rightarrow T_0$: 在主光线上
 $S \rightarrow S_0$: 在主光线与辅轴交点 B_2' 上



3、彗差:

单色 宽光束轴外点 的 垂轴 向差

- 子午彗差计算
- 弧矢彗差计算
- 影响因素
 - 孔径
 - 视场

4、像散:

单色细光束 轴外点 的 轴向 像差

- 影响因素
 - 视场
- 子午像、弧矢像的形状
- 像散曲线

5、场曲：

单色细光束 轴外点 的 轴向 像差

- 子午场曲计算
- 弧矢场曲计算
- 影响因素
 - 视场
- 场曲曲线

6、畸变：

单色细光束 轴外点 的 垂轴 向差

- 绝对畸变计算
- 相对畸变计算
- 正畸变、负畸变
- 桶形畸变、枕形畸变
- 畸变的度量曲线
- 与光阑的位置关系
- 无畸变的光学系统（两种）

7、位置色差：

复色细光束 轴上点 的 轴向 向差

- 位置色差计算
- 位置色差曲线
- 影响因素

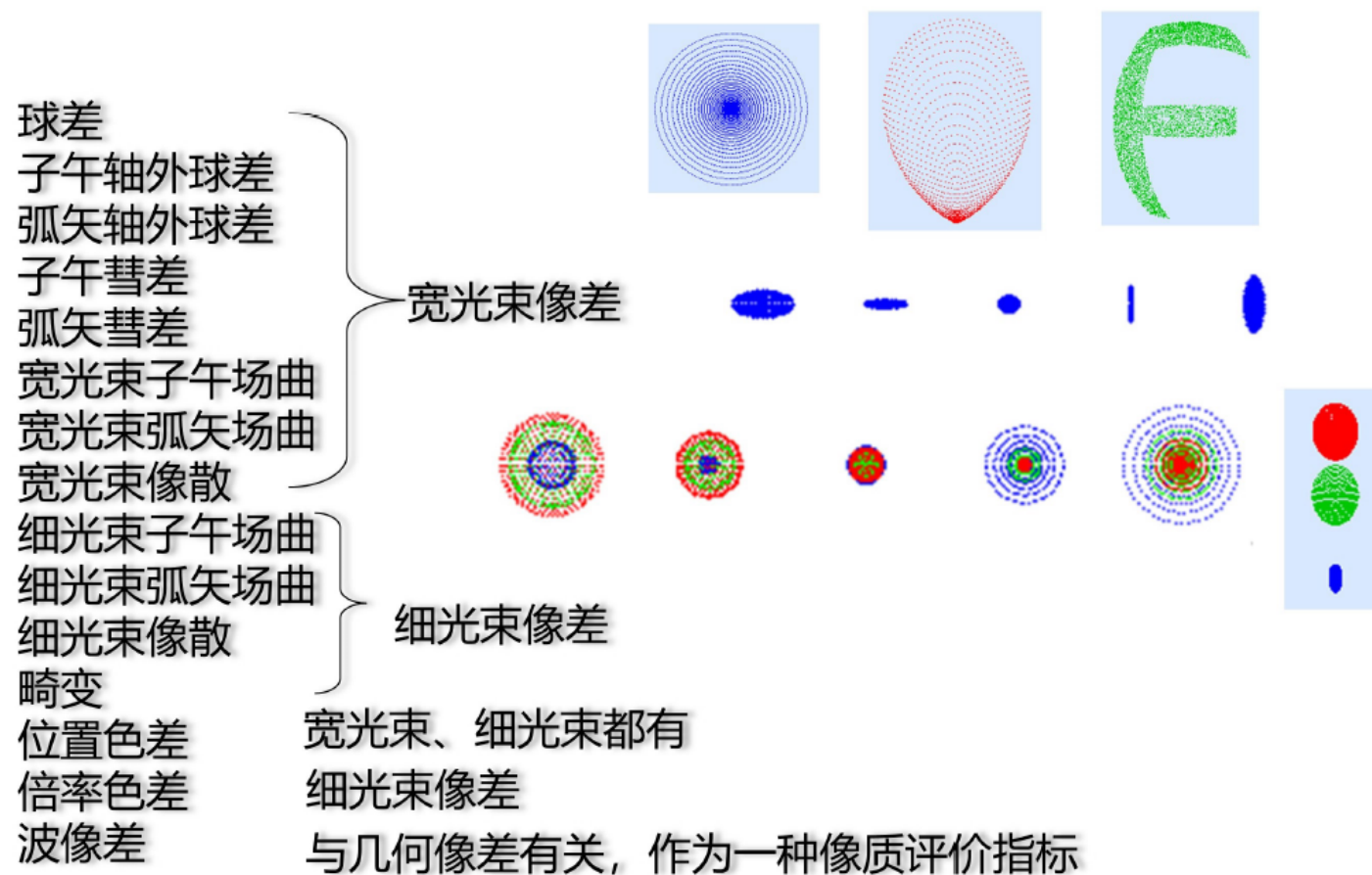
8、倍率色差：

复色细光束 轴外点 的 垂轴 向差

- 倍率色差计算
- 与光阑的位置关系
- 影响因素
 - 视场

9、Q&A:

1. 不同的像差的影响因素是怎么确定的？
 - 轴外/轴上 => 视场
 - 宽光束/细光束 => 孔径
 - 单色光/复色光 => 折射率



CH8：初级像差

1、初级球差：

• 赛德区：

初级球差分布系数

$$S_1 = l u n (i - i') (i' - u)$$

$$\delta L_0' = \frac{n_1 u_1^2}{n_k' u_k'^2} \delta L_0 - \frac{1}{2 n_k' u_k'^2} \sum S_1$$

当物方无球差时 $\Rightarrow \delta L_0' = -\frac{1}{2 n_k' u_k'^2} \sum S_1$

初级球差系数，第一赛得和数

$\sin I = \frac{L-r}{r} \times \sin U$ 由 $i = \frac{l-r}{r} u$, 得 $i' \propto i \propto u$

- 结论
1. $S_1 \propto u^4, \delta L_0' \propto u^2$ 与展开式一致
 2. 球差随整体缩放线性变化，这对实际、高级球差与其它像差也正确。

• 薄透镜：

- 单个薄透镜不能消球差
- 正透镜恒产生负球差，负透镜恒产生正球差，当入、出射光线关于透镜对称时，球差取得极值（绝对值最小）

薄透镜系统

$$\delta L_0' = -\frac{1}{2 n_k' u_k'^2} \sum S_1 = -\frac{1}{2 n_k' u_k'^2} \sum_1^k h^4 A$$

• 平行平板

$$\delta L_{p0}' = \frac{n^2 - 1}{2 n^3} d u_1^2 > 0$$

- 平行平板只产生**正球差**，当 u_1 为 0 时无球差
- 平板厚球差大
- 平板孔径大球差大

2、初级轴外像差：

🔗 偷懒了，直接搬运ppt内容 >-<

🔹 初级(Seidel)轴外像差

1. 初级彗差

$$K_{s0} = -\frac{1}{2n'u'} \sum S_{II}$$

$$K_{t0} = -\frac{3}{2n'u'} \sum S_{II}$$

2. 初级像散与像面弯曲

$$x_t' = -\frac{1}{2n'u'^2} (3\sum S_{III} + \sum S_{IV})$$

$$x_s' = -\frac{1}{2n'u'^2} (\sum S_{III} + \sum S_{IV})$$

$$\Delta x' = -\frac{1}{n'u'^2} \sum S_{III}$$

3. 初级畸变 $\delta y_p' = -\frac{1}{2n'u'} \sum S_V$

其中

$$\begin{aligned} \sum S_I &= \sum l u n i (i - i') (i' - u) \\ \sum S_{II} &= \sum S_I \frac{i_p}{i} \propto u^3 W \\ \sum S_{III} &= \sum S_{II} \frac{i_p}{i} = \sum S_I \left(\frac{i_p}{i}\right)^2 \propto u^2 W^2 \\ \sum S_{IV} &= J^2 \sum \frac{n' - n}{n' n r} \propto u^2 W^2 \\ \sum S_V &= \sum (S_{III} + S_{IV}) \frac{i_p}{i} \propto u W^3 \end{aligned}$$

所以

$$\begin{cases} K_{s0}, K_{t0} \propto u^2 W \\ x_t', x_s', \Delta x' \propto W^2 \\ \delta y_p' \propto W^3 \end{cases}$$

/ 30

S_i 是第 i 赛得和数，分别代表不同的初级相差：球差、彗差、像散、场曲、畸变

u 是孔径， W 是视场， i_p 是主光线在曲面上的入射角

- 讨论
 - 当总球差为 0 时，也会有彗差
 - 当总球差不为 0 时，必有彗差，当 i_p 等于 0（即主光线过球心）时，无彗差
 - 像散为 0 时，仍然有场曲

3. 匹兹凡面弯曲：

当像散为 0 时，仍然由有场曲

- 单个薄透镜

$$\sum S_{IV} = J^2 \frac{n-1}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = J_2 \frac{\phi}{n}$$

其中, $\phi = (n-1)(\rho_1 - \rho_2)$

单薄透镜不能校正匹兹凡和，正负光焦度分离和厚透镜是校正 S_{IV} 的两种方法

4. 初级色差：

$$\delta l_{ch}' = l_F' - l_C' = \frac{n_1 u_1^2}{n_k' u_k'^2} \delta l_{chl} - \frac{1}{n_k' u_k'^2} \sum C_I$$

当 $\delta l_{chl} = 0$ 有 $\delta l_{ch}' = -\frac{1}{n_k' u_k'^2} \sum C_I$

$\sum C_I = \sum l u n i \left(\frac{dn'}{n'} - \frac{dn}{n} \right)$ 其中 $dn = n_F - n_C$

产生原因: $C_I \neq 0$

初级位置色差分布系数

初级位置色差系数
第一色差和数

$$\sum C_I = \sum h^2 \frac{\phi}{v}$$

v 是阿贝常数

- 平行平板的位置色差

平行平板的初级位置色差 $\sum C_I = -\frac{dn}{n^2} du_1^2 \Rightarrow \delta l_{ch}' = \frac{dn}{n^2} \cdot d > 0$

平行平板恒产生正色差，当且仅当光束平行入射时不产生位置色差

- 位置色差影响因素

$$\sum C_I \propto u^2 \Rightarrow \delta l_{ch}' \propto u^0$$

近轴光存在初级位置色差

$$\sum C_{II} \propto uW \Rightarrow \delta y_{ch}' \propto W$$

初级倍率色差与视场一次方成比例，当视场较小时就会受到影响

- 单薄透镜的位置色差
 - 正透镜产生负色差
 - 负透镜产生正色差
 - 色差大小与物距（像距）有关
- 薄透镜系统的位置色差

透镜对系统位置色差的贡献与其所处的位置有关， h 越小色差越小

- 位置色差的校正（有可能会考计算）
 - ★ 双胶合的微小间隙透镜组 ($h_1 = h_2$)

$$\begin{cases} \frac{\varphi_1}{\nu_1} + \frac{\varphi_2}{\nu_2} = 0 \\ \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi \end{cases}$$

两个透镜的光焦度必须异号，用不同牌号的玻璃，阿贝常数之差尽可能大

- 有间隔的分离透镜组 ($h_1 \neq h_2$)

$$\begin{cases} \frac{\varphi_1}{\nu_1} + \frac{h_2^2}{h_1^2} \frac{\varphi_2}{\nu_2} = 0 \\ \varphi_1 + \frac{h_2}{h_1} \varphi_2 = \varphi \end{cases}$$

$$\frac{h_2}{h_1} = 1 - d\varphi_1$$

- 初级倍率色差

$$\delta y_{ch}' = \frac{n_1 u_1}{n_k' u_k'} \delta y_{ch} - \frac{1}{n_k' u_k'} \sum C_{II}$$

初级倍率色差分布系数

$$\text{当 } \delta y_{ch} = 0 \text{ 有 } \delta y_{ch}' = -\frac{1}{n' u'} \sum C_{II}$$

初级倍率色差系数
第二色差和数

$$\sum C_{II} = \sum h n i_p \left(\frac{dn'}{n'} - \frac{dn}{n} \right) = \sum C_I \frac{i_p}{i}$$

产生原因： $C_{II} \neq 0$

以下部分，记住结论即可

- 单薄透镜的倍率色差

① 单薄透镜的初级倍率色差

$$\text{经推导得 } \sum C_{II} = h h_p \frac{\phi}{\nu}$$

- 当 $C_I = 0$ 时，必有 $h = 0$ ，此时 C_{II} 自动为零
- 当单片 $C_I \neq 0$ 时，要校正 C_{II} ，只有 $h_p = 0$ 即光阑与之重合

- 接触薄系统的倍率色差 (h, h_p 不变)

② 接触薄系统—认为 h, h_p 不变

$$\sum C_{II} = h h_p \sum \frac{\phi}{\nu}$$

- 要求 $\sum (\phi/\nu) = 0$ ，与校正位置色差一致。所以，校正位置色差的同时也校正了倍率色差。
- 当 $h_p = 0$ 即光阑与之重合时，不论位置色差如何都能校正倍率色差。

- 双分离透镜系统的倍率色差

③ 双分离透镜系统

$$\text{校正倍率色差要求 } h_1 h_{p1} \frac{\varphi_1}{\nu_1} + h_2 h_{p2} \frac{\varphi_2}{\nu_2} = 0$$

当位置色差校正后，倍率色差不能自动为零

分离透镜系统要同时校正两种色差，必须每一镜组本身校正色差

5. 初级相差总结：

初级球差

$$\delta L_0' = -\frac{1}{2n'u'^2} \sum S_I \propto u^2$$

初级彗差

$$\begin{cases} K_{s0} = -\frac{1}{2n'u'} \sum S_{II} \propto u^2 W \\ K_{t0} = -\frac{3}{2n'u'} \sum S_{II} \propto u^2 W \end{cases}$$

初级像散场曲

$$\begin{cases} x_t' = -\frac{1}{2n'u'^2} (3\sum S_{III} + \sum S_{IV}) \propto W^2 \\ x_s' = -\frac{1}{2n'u'^2} (\sum S_{III} + \sum S_{IV}) \propto W^2 \\ \Delta x' = -\frac{1}{n'u'^2} \sum S_{III} \propto W^2 \end{cases}$$

初级畸变

$$\delta y_p' = -\frac{1}{2n'u'} \sum S_V \propto W^3$$

初级色差

$$\begin{cases} \delta l_{ch}' = -\frac{1}{n'u'^2} \sum C_I \propto u^0 \\ \delta y_{ch}' = -\frac{1}{n'u'} \sum C_{II} \propto W \end{cases}$$

其中

$$\begin{aligned} \sum S_I &= \sum l u n i (i - i') (i' - u) \propto u^4 \\ \sum S_{II} &= \sum S_I \frac{i_p}{i} \propto u^3 W \\ \sum S_{III} &= \sum S_{II} \frac{i_p}{i} = \sum S_I \left(\frac{i_p}{i}\right)^2 \propto u^2 W^2 \\ \sum S_{IV} &= J^2 \sum \frac{n' - n}{n' n r} \propto u^2 W^2 \\ \sum S_V &= \sum (S_{III} + S_{IV}) \frac{i_p}{i} \propto u W^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum C_I &= \sum l u n i \left(\frac{dn'}{n'} - \frac{dn}{n} \right) \\ \sum C_{II} &= \sum C_I \frac{i_p}{i} \end{aligned}$$

哪些是细/宽光束像差?

哪些是沿/垂轴测量的?