

第四章 理想光学系统

引言

§ 4-1 理想光学系统及其原始定义

§ 4-2 理想光学系统的基点和基面

§ 4-3 物像位置和三种放大率、两种焦距和光焦度

§ 4-4 理想光学系统的图解求像

§ 4-5 光学系统的组合、焦距测量

§ 4-6 望远镜系统

§ 4-7 透镜

引言

单个折射球面（或反射球面）
单薄透镜

实际光学系统 $\left\{ \begin{array}{l} \text{对具有一定大小的物（视场）} \\ \text{以宽光束（孔径）} \end{array} \right\}$ 成像有缺陷

一个光学系统必须由若干元件组成，经反复精密计算，使其成像接近完善。

开始时，首先将系统看成是理想的

光学系统设计
实际光学系统
理想光学系统

§ 4-1 理想光学系统及其原始定义

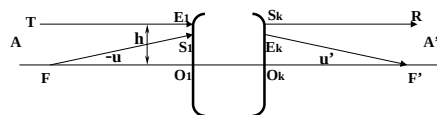
理想光学系统——这种光学系统所成的像与物是完全相似的

物空间 像空间
点——共轭点
直线——共轭直线
直线上的点——共轭直线上的共轭点
同心光束——共轭同心光束
平面——共轭平面

理想光学系统理论——高斯光学

§ 4-2 理想光学系统的基点和基面

一、焦点F, F'
与焦平面



物方无穷远A $\begin{matrix} TE_1 \rightarrow E_k F' \\ AO_1 \rightarrow O_k F' \end{matrix} \gg \begin{matrix} F': \text{后焦点, 像方焦点} \end{matrix}$

轴上物点F $\begin{matrix} FS_1 \rightarrow S_k R (// O_k F') \\ FO \rightarrow O_k F' \end{matrix} \gg \begin{matrix} A'(\infty \text{处}) \\ F: \text{前焦点, 物方焦点} \end{matrix}$

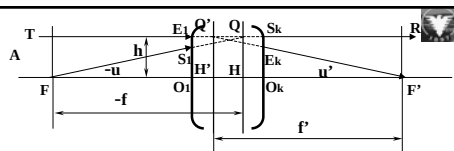
A $\rightarrow$ F': 物方无穷远垂直平面的共轭平面为通过 F' 的垂直平面（后焦平面，像方焦面）
F' $\rightarrow$ A: 像方无穷远垂直平面的共轭平面为物方过 F 的垂直平面（前焦平面，物方焦面）

注意 这里F与F'不为共轭点，A与A'也不为共轭点

3/40

4/40

二、主点H, H'和主平面



延长 TE_1 , FS_1 交于Q点 } Q, Q' 为
延长 SkR , $E_k F'$ 交于Q'点 } 一对共轭点

H, H'——物（像）方主点，前（后）主点
QH, Q'H'——物（像）方主面，前（后）主面
 $\therefore HQ = H'Q'$ 且HQ与H'Q'共轭, $\beta = 1$

物、像方主面是一对 $\beta=1$ 的物像共轭面

$QH \perp O_1 O_k$ } H, H' 亦为
 $Q'H' \perp O_1 O_k$ } 一对共轭点

光学系统总包含一对主点（主平面），一对焦点（焦平面），前者是一对共轭点（面），后者不是

三、焦距

$$\left\{ \begin{array}{l} f' = H'F' = \frac{h}{\tan u'} \quad \text{像方焦距, 后焦距} \\ f = HF = \frac{h}{\tan u} \quad \text{物方焦距, 前焦距} \end{array} \right.$$

以主点H (H') 为原点定正负

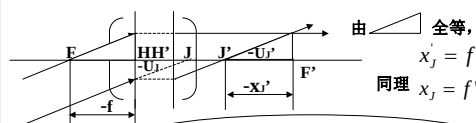
只要一对主点、一对焦点的相对位置一定，一个光学系统的理想模型就定了。单个折射球面、球面镜和薄透镜都相当于两个主面重合在一起的情况。



H, H', F, F' 四点称为光学系统的基点

四、节点和节平面—— $r=1$ 的一对共轭点

物方入射于J的任意光线，将以相同方向从J'射出，即 $U_J = U_{J'}$



当光学系统 $f = -f'$ 时，节点与主点重合

怎样寻找节点

5/40

6/40

§ 4-3 物像位置和三种放大率、两种焦距和光焦度

一、理想光学系统的物像位置关系和横向放大率 β

1. 以 F, F' 为原点

$$\frac{y}{-y'} = \frac{f'}{-x} = -\frac{x}{f'} \quad \text{即} \quad \beta = \frac{y'}{y} = -\frac{x'}{x} = -\frac{f}{x}$$

牛顿公式: $xx' = ff'$

2. 以 H, H' 为原点

由 $x = l - f$ 代入牛顿公式得 $\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1$ 高斯公式 此时 $\beta = -\frac{f'}{f} \frac{l}{l'}$

由高斯公式 $\frac{n'}{n} \frac{f'}{l'} + \frac{n}{n'} \frac{f}{l} = 1$

回忆单个折射球面公式, 有什么联系和区别

后面会看到 $-\frac{f'}{f} = \frac{n'}{n}$

单个折射球面公式具有普遍性

当 $n' = n$ 时, 化为 $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$ 与单个透镜物像公式相同。这时 $\beta = \frac{l'}{l}$

β 与 l, l' 有关。当 l 一定时, β 与 y 的大小无关

一个大的系统? 可看成三个分系统组成

3. 过渡公式——利用主点间隔 d 和光学间隔 Δ , 这里 $\Delta_{k-1} = \overline{F_{k-1}F_k}$

高斯公式: 利用主点间隔 d $l_2 = l'_1 - d_1, \dots, l_{k+1} = l'_k - d_k$

牛顿公式: 利用光学间隔 Δ $x_2 = x'_1 - \Delta_1, \dots, x_{k+1} = x'_k - \Delta_k$

特殊情况 薄透镜

望远镜: $\Delta = 0$

4. 横向放大率 $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{y'_1}{y_1} \cdot \frac{y'_2}{y_2} \cdot \dots \cdot \frac{y'_k}{y_k} = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_k$

以上公式中有 f, f' , 它们是否相等?

折射球面公式 $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'}{f'}$ 是否有普遍意义?

二、理想光学系统两焦距的关系和拉氏公式

由 $h = -l \tan(-U) = l' \tan U'$

即 $(x + f) \tan U = (x' + f') \tan U'$

并由 $x = -\frac{y}{y'} f, x' = -\frac{y'}{y} f'$

代入之得 $y f \tan U = -y' f' \tan U'$

对近轴区, 有 $y f u = -y' f' u' \Rightarrow \frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$ 两焦距的关系

结合 $nyu = n'y'u'$

若 $n' = n$, 则 $f = -f'$ 如空气中折射系统;

若 $n' = -n$, 则 $f = f'$, 如反射球面

若包含 k 个反射面, 则 $\frac{f'}{f} = (-1)^{k+1} \frac{n'}{n}$

例: 一种长焦距反射式天文望远镜

若用折射系统?

理想光学系统的拉氏公式 $ny \tan U = n'y' \tan U'$

三、光束的会聚度和系统的光焦度

考虑介质的不同

由 $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'}{f'}$

折合物距 $\frac{1}{n}$ 倒数: V (-) 表示发散光束

折合像距 $\frac{1}{n'}$ 会聚度 V' (+) 表示会聚光束

折合焦距 $\frac{1}{f'}$ 倒数: 光焦度 Φ (-) 表示起发散作用

光焦度等于像方光束会聚度与物方光束会聚度之差

它表征光学系统偏折光线的能力。

单位: 屈光度——以米为单位的焦距的倒数

比较 $V' - V = \Phi$

$f' = 500\text{mm}, n' = 1, \Phi = 2\text{屈光度}$

$f' = -200\text{mm}, n' = 1, \Phi = -5\text{屈光度}$

眼镜的度数 = 屈光度数 $\times 100$

四、轴向放大率、角度放大率及其与横向放大率的关系

1. 轴向放大率——像与物沿轴移动量之比

由 $xx' = ff'$ 得 $x dx' + x' dx = 0$

$\frac{dx}{AA_1} = -\frac{dx'}{A'A_1'}$ $\alpha = \frac{dx'}{dx} = -\frac{x'}{x} = -\frac{x'}{f'} \frac{f}{x} = -\frac{f'}{f} \beta^2$

所以 $\alpha = \frac{n'}{n} \beta^2$ 仍成立, 当 $n' = n$ 时, $\alpha = \beta^2$

立体物像不再相似

2. 角放大率——像方、物方倾斜角的正切之比

$\gamma = \frac{\tan U'}{\tan U} = -\frac{f y'}{f' y} = -\frac{f}{f'} \frac{1}{\beta}$ $\therefore \gamma = \frac{n}{n'} \frac{1}{\beta}$ 若 $n' = n$ $\gamma = \frac{1}{\beta}$

$\alpha \gamma = \beta$ 仍成立

例 已知 $FF' = 120, f' = 40$, 求主点位置

$\therefore \beta_H = -\frac{x_H}{f'} = -\frac{f}{x_H} = 1 \therefore x_H = 40, x'_H = -40$

△对薄透镜，几个特殊位置的 β 、 α 、 γ

1. 物在无穷远，像与像方焦点重合
 $l \rightarrow -\infty, l' = f', x = -\infty, x' = 0$
 $\beta = -\frac{x'}{f'} = 0, \alpha = \frac{n'}{n} \beta^2 = 0, \gamma = \frac{n}{n'} \beta = \infty$
2. 物在2倍物方焦距处
 $l = -2f', l' = 2f', x = -f', x' = f'$
 $\beta = -1, \alpha = 1, \gamma = -1$
3. 物与物方焦点重合时
 $l = -f', l' = \pm\infty, x = 0, x' = \pm\infty$
 $\beta = \mp\infty, \alpha = \infty, \gamma = 0$
4. 物与H重合 $\beta = 1, \alpha = 1, \gamma = 1$

13/40

§ 4-4 理想光学系统的图解求像

依据

- ① 平行于光轴的光线经理想光学系统后必通过像方焦点；
- ② 过物方焦点的光线经理想光学系统后必为平行于光轴的光线；
- ③ 过节点的光线方向不变；
- ④ 任意方向的一束平行光经理想光学系统后必交于像方焦平面上一点；
- ⑤ 过物方焦平面上一点的光线经理想光学系统后必为一束平行光。

为解决任给一条光线求其共轭光线的问题，有必要利用辅助光线123并结合依据45

例

如H'在H前

还可能有什么辅助光线吗？

一、已知光学系统的基点F, F', H, H', J, J'，由物求像或由像求物

① B → B' ② AB → A'B' ③ BE → B'E'

β 与 l 有关，E点放大率不等于B点放大率

二、已知二光组基点，由物求像或由像求物

14/40

三、已知二光组基点，求合成光组的基点

- ①
- ② 主面前移，焦距长，工作距离短
- ③ 主面后移，焦距短，工作距离长

例

在单反相机中，广角镜头和远摄镜头各应采用何种光组组合方式？

§ 4-5 光学系统的组合

一、两个光组的组合——已知 $F_1, F_1', H_1, H_1', F_2, F_2', H_2, H_2'$ 以及 $d(\Delta)$ ，求总光组的 F, F', H, H'

1. 图解组合
2. 找出分光组与等效总光组之间的关系
3. 求出 f, f' ，确定 H, H', F, F' 的位置

——合成光组的像方参量 x_F', l_F', x_H', l_H' 以第二个光组的像方焦点、像方主点为起始点

——合成光组的物方参量 x_F, l_F, x_H, l_H 以第一个光组的物方焦点、物方主点为起始点

15/40

由图可知，
 F_1' 和 F_2' 是第二光组的一对共轭点；
 F 和 F_2 是第一光组的一对共轭点。

绿△相似 $\frac{-f'}{f_2'} = \frac{Q'H'}{H_2'M_2'}$
 红△相似 $\frac{f_1'}{\Delta} = \frac{M_1'H_1'}{F_2N_2'}$

于是可求出

$$\begin{cases} x_H' = x_F' - f' \\ -x_H = f - x_F \end{cases} \quad \begin{cases} l_F' = f_2' + x_F' \\ l_F = f_1 + x_F \end{cases} \quad \begin{cases} l_H' = f_2' + x_H' \\ l_H = f_1 + x_H \end{cases}$$

这些公式与光组是否在空气中无关

组合放大率：一般已知 x_1 ，则 $x = x_1 - x_F = x_1 - \frac{f_1 f_1'}{\Delta}$

则 $\beta = -\frac{f}{x} = -\frac{\frac{f_1 f_2}{\Delta}}{x_1 - \frac{f_1 f_1'}{\Delta}} = \frac{f_1 f_2}{f_1 f_1' - x_1 \Delta}$

一般光组在空气中，有 $f = -f'$ ，于是

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{d - f_1' + f_2'} = \frac{f_1' f_2'}{f_1' + f_2' - d} \quad \varphi = \frac{1}{f'} = \frac{f_1' + f_2' - d}{f_1' f_2'} = \varphi_1 + \varphi_2 - d \varphi_1 \varphi_2$$

两个有一定焦距的光组组合，系统的总焦距或光焦度除与各自的光焦度有关外，还与其间隔 d 有关

例 两个正光焦度组合
 当 $d < f_1' + f_2' \Rightarrow \varphi > 0$
 $d = f_1' + f_2' \Rightarrow \varphi = 0$
 $d > f_1' + f_2' \Rightarrow \varphi < 0$

二、多光组组合

显然 $\begin{cases} l_F' = \frac{h_k}{u_k'} \\ f' = \frac{h_k}{u_k'} \\ l_H' = l_F' - f' \end{cases}$ 怎样求各 h

即 $u_1, h_1 \Rightarrow u_1' = u_2$ 过渡： $h_2 = h_1' - d_1 u_1'$...

1. 正切计算法——初值 $u_1=0, h_1$ 任选

$$\begin{cases} u_1' = u_1 + \frac{h_1}{f_1'} \\ u_2' = u_1' + \frac{h_2}{f_2'} \\ \dots \dots \dots \\ u_k' = u_{k-1}' + \frac{h_k}{f_k'} \end{cases} \quad \begin{cases} h_2 = h_1 - d_1 u_1' \\ h_3 = h_2 - d_2 u_2' \\ \dots \dots \dots \\ h_k = h_{k-1} - d_{k-1} u_{k-1}' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} l_F' = \frac{h_k}{u_k'} \\ f' = \frac{h_1}{u_k'} \end{cases}$$

2. 截距计算法

由 $f' = \frac{h_1}{u_k'} = \frac{h_1}{u_1'} \cdot \frac{u_2 u_3 \dots u_k}{u_2' u_3' \dots u_k'} = \frac{l_1' l_2' l_3' \dots l_k'}{l_2 l_3 \dots l_k}$

令 $l_1 = -\infty$ 反复利用高斯公式得各截距，最后算出 f' ，并有 $l_F' = l_k'$

3. 各光组对总光焦度的贡献

每个光组对总光焦度的贡献，除与自身的光焦度有关外，还与它在系统中的位置有关。与前面得到的结论一致。

特例 $\begin{cases} \text{此时 } \phi = \phi_1 \\ \text{位于中间实像面上的光组对总光焦度无贡献} \\ \text{此时 } d=0, \phi = \phi_1 + \phi_2 \\ \text{二正透镜组合，越靠近总光焦度越大} \end{cases}$

例1 已知二薄光组组合， $f'=1000$ ，总长（第一光组到系统像方焦点的距离） $L=700$ ，总焦点位置 $l_F'=400$ ，求组成该系统的二光组焦距及其间隔。

方法1：列出方程组并求解

方法2：令 $u_1=0, h_1=100$ 则 $u_2' = \frac{h_1}{f_1'} = 0.1$

已知 $l_F' = \frac{h_2}{u_2'} = 400$ 故 $h_2 = 40$

并有 $d = L - l_F' = 700 - 400 = 300$

于是 $u_1' = \frac{h_1 - h_2}{d} = \frac{100 - 40}{300} = 0.2$

所以 $f_1' = \frac{h_1}{u_1'} = 500, f_2' = \frac{h_2}{u_2' - u_1'} = -400$

例2 已知二薄光组组合， $d=50, \beta=-5$ ，共轭距 $L=150, l_1=-35$ ，求二光组焦距。

设 $u_1 = -0.5$

因 $\beta = \frac{u_1}{u_k'} = \frac{-0.5}{u_k'} = -5$ 故 $u_2' = 0.1$

由条件可得 $l_2' = L - d - (-l_1) = 150 - 50 - 35 = 65$

所以 $\begin{cases} h_1 = l_1 u_1 = -35 \times (-0.5) = 17.5 \\ h_2 = l_2' u_2' = 65 \times 0.1 = 6.5 \end{cases} \Rightarrow u_1' = \frac{h_1 - h_2}{d} = 0.22$

得 $f_1' = \frac{h_1}{u_1' - u_1} = 24.306, f_2' = \frac{h_2}{u_2' - u_2} = -54.167$

23/40

24/40

显微镜

成像原理 物镜 + 目镜

AB在物镜前焦点稍前处
物镜 → A'B' (放大倒立实像)
 A'B'在目镜前焦点稍后处
目镜 → A''B'' (放大虚像)
 位于无穷远或明视距离处

$A = n \sin U$ — 数值孔径

机械筒长——上下端面之间的距离 (160mm), 有的可调

上端面 目镜
下端面 物镜

三、光学系统焦距的测定

用左图, 可得到 F' , 但 $f'=?$

必须用轴外平行光

$$y' = -f' \tan u' = -f' \tan u$$

写成 $y' = -f' \tan W$

例如, 135相机, 底片24×36, 则像高

$$y' = \frac{1}{2} \sqrt{24^2 + 36^2}$$

可据此算出各种焦距镜头的视场角。

如折射球面, 节点在球心

$$y' = (f' - r) \tan(-W)$$

注意节点

是否所有光学系统对无穷远物成像时都可用此公式?

焦距测定必须提供一定角度的平行光——平行光管

分划板 -y

$f_1' = -\frac{y'}{\tan u_2} = \frac{y'}{y} f_1'$

§ 4-6 望远镜系统

光学系统的两种情况:

焦点在有限距离, 焦距有限大小
 望远镜系统是以平行光入射, 再以平行光出射的系统

焦点、主点在无穷远, 焦距无穷大
 无穷远物 → 望远镜系统 → 无穷远像

由 $f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} \rightarrow \infty$ 得 $\Delta = 0$

最简单的望远镜至少有两个独立光组, 第一光组的像方焦点与第二光组的物方焦点重合

物镜 目镜

一、放大率 β 、 α 、 γ

$x_1' = \frac{f_1 f_1'}{x}$
 $x_2 = x_1 - \Delta = x_1'$
 $x' = x_2' = \frac{f_2 f_2'}{x_2} = \frac{f_2 f_2'}{x_1'} = \frac{f_2 f_2'}{f_1 f_1'} x$

只要B高度一定, B'总在这条线上

由 $\beta_1 = -\frac{x_1'}{f_1'}$, $\beta_2 = -\frac{f_2}{x_2}$ 得 $\beta = \beta_1 \beta_2 = \frac{f_2}{f_1'}$ 一般 $\beta = -\frac{f_2'}{f_1'}$

并有 $\alpha = \frac{dx'}{dx} = \frac{f_2 f_2'}{f_1 f_1'}$ 且 $x' = \alpha x$

$\gamma = \frac{\tan u'}{\tan u} = -\frac{y f}{y' f'} = -\frac{1}{\beta} \frac{f}{f'} = \frac{f_1 f_2 \Delta}{\Delta f_1' f_2' \beta} = \frac{f_1}{f_2'}$

仍有 $\alpha \gamma = \beta$ — 诸放大率的关系不变

$\alpha = \beta^2$
 $\gamma = \frac{1}{\beta}$

望远镜的三种放大率均与物距无关, 仅与二光组的焦距有关

望远镜成放大像还是缩小像?
 眼睛通过望远镜观察时感觉如何?

二、视觉放大率

正常眼: 能使无穷远物发出的平行光聚焦于视网膜上。

人对物体主观感觉的大小与视角有关

目视光学仪器用视觉放大率

$$\Gamma = \frac{\tan U'}{\tan U}$$

物体经目视仪器所成的像对人眼张角的一半
 人眼直接观察时物对人眼张角的一半

对于望远镜系统,

$$\Gamma = \frac{\tan U'}{\tan U} = -\frac{f_1'}{f_2'}$$

物镜焦距
目镜焦距

29/40

30/40

三、讨论

$$\begin{cases} \beta = -\frac{f_2'}{f_1'} \\ \alpha = \left(\frac{f_2'}{f_1'}\right)^2 \\ \gamma = -\frac{f_1'}{f_2'} \end{cases}$$

- ① 要求主观放大, 故 $|f_1'| > |f_2'|$ 或写成 $|f_o'| > |f_e'|$
- ② 一般 $f_1' > 0, f_2'$ 可正可负。
 - $f_2' > 0$ 成倒像, 观察不便, 但便于测量, 必要时加倒像系统
 - $f_2' < 0$ 成正像, 用于观察, 但无实像面, 不能测量
- ③ 在 $|f_1'| > |f_2'|$ 时
 - $|\beta| < 1$ 物经望远镜成缩小像
 - $|\alpha| \ll 1$ 但距离拉近很多
 - $|\gamma| = |\Gamma| > 1$ 对眼睛的张角变大
- ④ 系统一定, 则 β, α, γ 为定值, 与物距 l 无关

四、望远镜与其他光组的组合

1. 望远镜系统 + 望远镜系统 $\Rightarrow$ 望远镜系统

$\beta_{1234} = \beta_{12}\beta_{34} = -\frac{f_2'}{f_1'} \cdot \left(-\frac{f_4'}{f_3'}\right) = \frac{f_2'f_4'}{f_1'f_3'}$

左图为一正像系统, 中间部分实为一透镜转像系统
2. 望远镜系统 + 有限焦距系统 $\Rightarrow$ 有限焦距系统

等效系统的像方焦点与第二系统的像方焦点重合。焦距为

$$f' = \frac{h_1}{u'} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{h_2}{u'} = \Gamma f_2' = \frac{1}{\beta} f_2'$$

该种系统的物方焦距与物方焦点? 将第二系统的焦距扩大到 Γ 倍

有限焦距系统对无穷远物成像时, 焦距短则像小, 否则像大

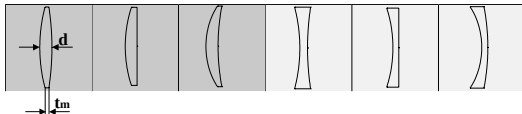
望远镜与眼睛组合, 相当于把眼睛的焦距扩大到 Γ 倍

一、透镜

§ 4-7 透镜

球面透镜 (主要考虑工艺过程简单)
非球面透镜 (提高像质, 简化结构)

$d > t_m$ 凸透镜 (双凸, 平凸, 月凸)
 $d < t_m$ 凹透镜 (双凹, 平凹, 月凹)



在考虑高斯问题时令 $d = 0$

薄透镜

二、薄透镜

薄透镜: H, H' 重合, J, J' 重合, $f = -f'$

对其两个折射球面利用 $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$ 并过渡: $l_2 = l_1' - d = l_1'$

得 $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$ 薄透镜的高斯公式 (物像位置关系)

$\varphi = \frac{1}{f'} = (n-1)(\rho_1 - \rho_2) = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ 光焦度 (焦距) 计算

当 $\varphi > 0, f' > 0$ 对平行光起会聚作用, 有实的像方焦点。正透镜, 会聚透镜

$\varphi < 0, f' < 0$ 对平行光起发散作用, 有虚的像方焦点。负透镜, 发散透镜

薄透镜的放大率 $\beta = \beta_1\beta_2 = \frac{l'}{l} = \frac{u'}{u}$

$\alpha = \beta^2$

$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{1}{\beta}$

薄透镜的共轭距

$L = |l' - l| = \left|2 - \beta - \frac{1}{\beta}\right| f'$

为什么通过薄透镜中心的光线方向不变?

薄透镜成像的最小共轭距

一般理想光学系统的共轭距表达式也是这样吗?

三、厚透镜的焦距

考虑厚度, 由 $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$ 对于两个面得

$\begin{cases} f_1' = \frac{nr_1}{n-1}, f_1 = -\frac{r_1}{n-1} \\ f_2' = -\frac{r_2}{n-1}, f_2 = \frac{nr_2}{n-1} \end{cases}$ 将厚透镜看成二薄光组组合, 按

当 $d = 0$ 时, 可得 $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2$

$\varphi = \frac{n_1'}{f_1'} + \frac{n_2'}{f_2'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

当 $d \neq 0$ 时, 为厚透镜, 此时

$f' = -\frac{f_1'f_2'}{\Delta}, \Delta = d - f_1' + f_2'$

代入之得

$f' = \frac{nr_1r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$

从何处量起?

$\varphi = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n} d \frac{1}{r_1r_2} = (n-1)(\rho_1 - \rho_2) + \frac{(n-1)^2}{n} d\rho_1\rho_2$

四、厚透镜的主面

利用二光组组合求主面的公式, 可得透镜主面、焦点位置为

$$\begin{cases} l_F' = f'(1 - \frac{n-1}{n}d\rho_1) \\ l_F = -f'(1 + \frac{n-1}{n}d\rho_2) \end{cases} \begin{cases} l_H' = -f' \frac{n-1}{n}d\rho_1 = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = -f' \frac{n-1}{n}d\rho_2 = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

1. 双凸透镜 $r_1 > 0, r_2 < 0$ 当 $d < |r_1|$ 时, $f' > 0$

且 $\begin{cases} l_H' < 0 \\ l_H > 0 \end{cases}$

H, H' 都在透镜内部 H 在 H' 的前面

当 $d = r_1 - r_2$ 时, 二球心重合, 主面重合于球心, $f' > 0$

此时 $l_H' = r_2, l_H = r_1$

当 $d < \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1}$ 时是正透镜, 主面在内

$d = \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1}$ 时是望远镜, $f' \rightarrow \infty$

$d > \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1}$ 时是负透镜, $f' < 0$, 主面在外

2. 双凹透镜 $r_1 < 0, r_2 > 0$ 不管 d 怎么变, $f' < 0$ 恒成立
 也有 $l_H' < 0, l_H > 0$ 主面也总在内部

3. 平凸透镜 $r_1 > 0, r_2 \rightarrow \infty$
 $f' = \frac{r_1}{n-1} > 0$ 可看成是正薄透镜+平行平板,
 $l_H' = -\frac{d}{n}, l_H = 0$ 移 $f' = \Gamma f_H'$ 加平板后产生轴向位移
 $l_H' = d - \Delta l'$
 $\Delta l' = d(1 - \frac{1}{n}) \therefore l_H' = -\frac{d}{n}$ 为何 H 无位移

4. 平凹透镜 $r_1 < 0, r_2 \rightarrow \infty$ $f' < 0$ 与 d 无关
 $l_H = 0$ 可看成负薄透镜+平行平板
 $l_H' = -\frac{d}{n}$

37/40

5. 弯月形凸透镜 $r_1 > 0, r_2 > 0, r_1 < r_2$
 于是 $f' > 0$ 所以, H 在 H' 之前, 且在透镜之外;
 $l_H' < 0, l_H < 0$ H' 也可能位于透镜之外
 $d - (l_H - l_H') > 0$

6. 弯月形凹透镜 F' $r_1 > 0, r_2 > 0, r_1 > r_2$
 当 d 小时, $f' < 0$
 $l_H' > 0, l_H > 0, d - (l_H - l_H') > 0$ H 在 H' 之前, H' 在透镜之外
 $d = r_1 - r_2$ 时, $f' < 0, l_H' = r_2, l_H = r_1$ 两主面位于公共球心处
 $d = \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1}$ 时, $f' \rightarrow \infty$, 望远镜系统 (伽氏)
 $d > \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1}$ 时, $f' > 0$, 成为会聚透镜

38/40

讨论: 平凸、平凹——薄透镜 + 平板, 即有限焦距系统 + 望远镜
 双凹、弯凸—— f' 恒为负或正不变
 双凹: $\varphi_1 < 0, \varphi_2 < 0, \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2 < 0$ 负+负
 弯凸: $\varphi_1 > 0, \varphi_2 < 0$ 但 $r_1 < r_2$ 使 $\varphi_1 + \varphi_2 > 0, \varphi > 0$ 正+负
 双凸、弯凹—— f' 的正负与厚度有关
 双凸: $\varphi_1 > 0, \varphi_2 > 0$ 总光焦度与 d 有关 正+正
 弯凹: $\varphi_1 > 0, \varphi_2 < 0$ 但 $r_1 > r_2$ 使 $\varphi_1 + \varphi_2 < 0$ 正+负
 总光焦度与 d 有关
 厚的弯月形凹透镜可用于校正像面弯曲, 它可在厚度不太大时得到正光焦度。
 除此之外, 其它类型的很厚的透镜在应用上并无大的意义。

为什么要研究? 不同类型厚透镜都相当于二光组组合

39/40

本章小结

- 理想光学系统有关概念, 基点和基面及其确定
- 理想光学系统的物像关系, 焦距、光焦度和放大率, 拉氏不变量
- 理想光学系统作图, 辅助光线的使用
- 光组组合, 怎样实现长焦距短工作距离、短焦距长工作距离, 分光组在总光组中的光焦度贡献与什么有关
- 测焦距
- 望远镜系统特点
- 薄透镜物像关系, 厚透镜及相关光组组合

与本章内容有关的问题

40/40