

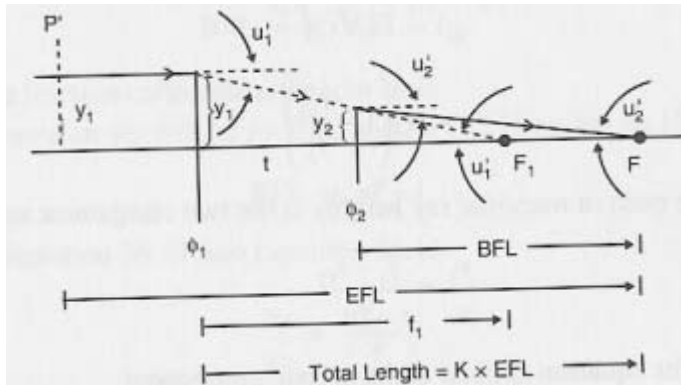


图 36.1 远距镜头示意图

36.1 前言：

除了一些剩下的精华以外，这门教程至此基本结束了。最终测验包含了远距镜头的设计。远距镜头的后主平面（焦距以它为基准测量）落在镜头的前面。这就得到小的封装尺寸下的长焦距，另一种定义就是镜头本身的长度（从第一面到最后面）小于焦距的长度。在 ZEMAX 优化之前，需要做一些设计前的准备工作。该章节将提供远距镜头的设计思想。

36.2 初级远距镜头

远距镜头包含两个主要的透镜单元：正透镜组和距其一些距离的负透镜组组成，如图 36.1 所示，所有相关参数均已标出。

该章节的目的在于决定远距镜头的前后两个元件的焦距，将通过 PRTE 来实现。

36.2.1 正透镜组的焦距

通过折射方程，得到经过第一个元件后的主光线的夹角：

$$u_1' = -y_1\phi_1 = \frac{-y_1}{f_1} \quad (36.1)$$

然后计算出边缘光在第二个元件上的高度：

$$y_2 = y_1 + u_1' t_{12} \quad (36.2)$$

代入 36.1：

$$y_2 = y_1 + \left(\frac{-y_1}{f_1} \right) t_{12} \quad (36.3)$$

$$y_2 = y_1 \left(1 - \frac{t_{12}}{f_1} \right) \quad (36.4)$$

算出边缘光在两个元件表面的高度比：

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{f_1 - t_{12}}{f_1} \quad (36.5)$$

将转换方程应用于第二个元件：

$$y_3 = 0 = y_2 + u_2' t_{23} \quad (36.6)$$

但 $t_{2,3}$ 是后焦距:

$$t_{23} = \text{BFL} \quad (36.7)$$

将 36.7 代入 36.6 得到 u'_2 :

$$u'_2 = \frac{-y_2}{\text{BFL}} \quad (36.8)$$

而如果你仔细观察图 36.1, 你会发现:

$$u'_2 = \frac{-y_1}{\text{EFL}} \quad (36.9)$$

从而得到:

$$\frac{y_2}{\text{BFL}} = \frac{y_1}{\text{EFL}} \quad (36.10)$$

或

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{\text{BFL}}{\text{EFL}} \quad (36.11)$$

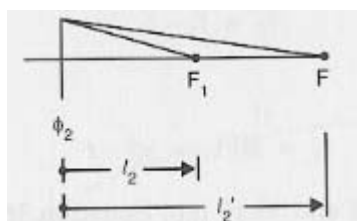


图 36.2 负元件的物象共轭

从图 36.1 可得到:

$$\text{BFL} = \kappa \cdot \text{EFL} - t_{12} \quad (36.12)$$

这里 κ 是远距比。

令 $f = \text{EFL}$, $t = t_{1,2}$, 方程 36.12 变为:

$$\text{BFL} = \kappa f - t \quad (36.13)$$

将 36.13 代入 36.11:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{\kappa f - t}{f} \quad (36.14)$$

结合方程 36.14 和 36.5:

$$\frac{f_1 - t}{f_1} = \frac{\kappa f - t}{f} \quad (36.15)$$

解得 f_1 :

$$(f+t-\kappa f)f_1 = tf$$

$$f_1 = \frac{tf}{f+t-\kappa f} \quad (36.16)$$

36.2.2 负透镜组的焦距

如图 36.2 所示，根据高斯镜头公式可求得负透镜组的焦距。这里我们看到第二个元件，第一个元件焦点 F_1 和系统焦点 F 。

第二个元件的顶点和 F_1 之间的距离是物距 l_2 ，顶点和 F 之间的距离是象距 l'_2 。

$$\frac{-1}{l_2} + \frac{1}{l'_2} = \frac{1}{f_2} \quad (36.17)$$

由图 36.1 得到：

$$l_2 = f_1 - t \quad (36.18)$$

和：

$$l'_2 = \text{BFL} = \kappa f - t \quad (36.19)$$

将 36.18 和 36.19 代入 36.17：

$$\frac{1}{f_2} = \frac{-1}{f_1 - t} + \frac{1}{\kappa f - t} \quad (36.20)$$

式子右边分母通分：

$$\frac{1}{f_2} = \frac{-(\kappa f - t) + (f_1 - t)}{(f_1 - t)(\kappa f - t)}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{-\kappa f + f_1}{(f_1 - t)(\kappa f - t)} \quad (36.21)$$

解得 f_2 ：

$$f_2 = \frac{(f_1 - t)(\kappa f - t)}{(f_1 - \kappa f)} \quad (36.22)$$

36.2.3 示例

令系统焦距为 $10''$ ，远距比 0.8。正负透镜对作为 t 的函数将满足这些条件。

方程 36.16 得到：

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = \frac{10t}{2+t} \\ \text{From Eq. 36.22} \\ f_2 = \frac{(f_1 - t)(8 - t)}{f_1 - 8} \end{array} \right\} \quad (36.23)$$

如果令 $t=3''$ ，那么 $f_1=6''$ ， $f_2=-7.5''$ ， $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的曲线如图 36.3 所示。

36.2.4 远距镜头 ZEMAX 优化前的准备

一旦得到了远距镜头前后元件的焦距，你需要利用 16 章的薄透镜焦距公式分别对两个元件消色差，所以对于前后元件而言，将分别有两个变量。两个透镜组均为双胶合。

下一步是将（利用方程 4.22）将起始半径大小输入 ZEMAX。最初可假设前一个元件组

是等曲率的双凸，后一个是双凹。总共有六个半径。在 ZEMAX 中分别输入每个消色差透镜参数和真实厚度。优化两个透镜组从而获得正确的焦距（EFL）和色差校正。

以例子开始的 t 值将前后两部分组合在一起，将光阑放在两个透镜组中间。调整组合后的系统使其恢复到系统的初始性能。这些包括：系统的焦距、 $f/\#$ 、前后透镜组的焦距、目标物理长度、轴向色差。允许前一个元件透镜间空气间距为变量，使得后一个元件透镜间空气间距和其一致。

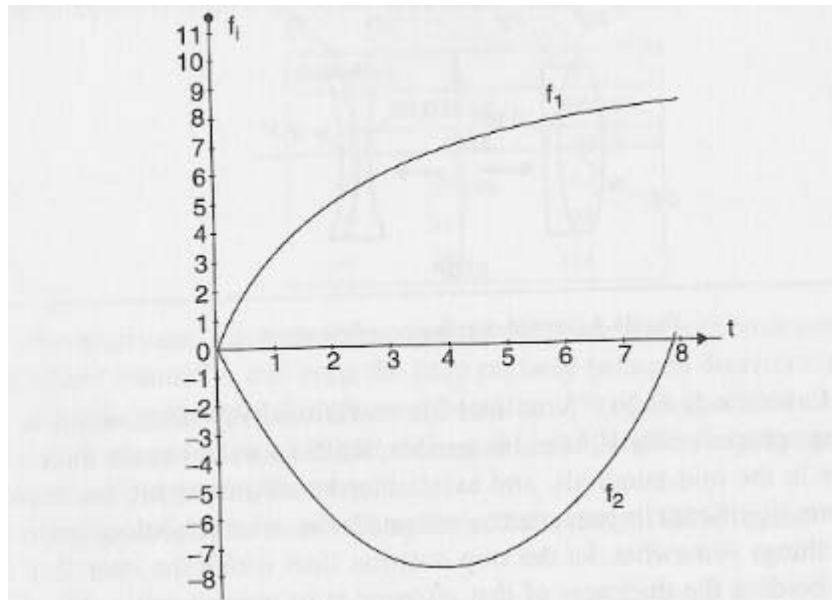


图 36.3 在 $f=10'$ 和 $k=0.8$ 时作为 t 函数的远距镜头曲线

36.3 ZEMAX 中的远距镜头

初始值设置好后开始校正象差。先看 SPHA，这是一个很大的量，需通过透镜弯曲来校正。在透镜弯曲时，主平面分别平移，确保 p_1 和 p_2 之间有合适的间隔，从而保证系统的初始性能得到保留。在你添加视场的时候保留折射性。随着视场的增加，透镜的孔径尺寸也需增加，密切关注 Layout，确保透镜厚度足够，防止前后表面交叉。在全视场优化后，看 Layout（在 Layout 设置中选用 7 条光线）。注意到子午面内 10° 视场的近轴成像质量很差，三个视场的 RMS 点大小在 50 左右，轴向色差较大，但即使是在严格的条件下，仍然有空间来获得显著的提高。为获得一些性能的提高，在保持透镜间空气间隔和曲率半径的同时，使光阑位置在透镜间平移。

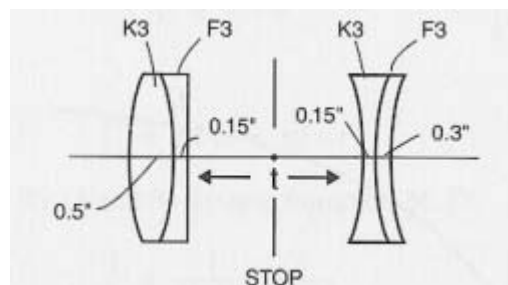


图 36.4 远距镜头初始结构

通过放宽远距镜头的限制条件可获得更大的改进。你需要保持系统的初始参数（EFL 和 $f/\#$ ），物理长度在 3% 的范围内浮动。使光阑位置在两透镜之间平移（保持空气间距不变）。横向色差较麻烦，需要折中处理，另一方面，轴向色差需好好控制。

从现在开始你将靠自己了，祝你好运。

36.4 最后测验

设计一个焦距为10”， f/5.5， 远距比为 0.8（可通过操作数 TOTR 控制）的消色差远距镜头，设计镜头时，工作波长为 F， e， C， 使用肖特 K3 和 F3 玻璃。视场角 $\bar{u}$ =10°。令 t 的初始值为 t=3”。光阑位置最初可放在前后元件的中间。最初的透镜厚度如图 36.4 所示。表 36.1 提供了玻璃的手册数据。

Table 36.1		
Glass	Crown	Flint
Schott	K3	F3
n_e	1.52031	1.6168
v_e	59.15	37.18

满足以下的 RMS 点大小要求（用 square， centroid）：

Table36.2		
	Strict	Relaxed
$\bar{U}$	RMS	RMS
0°	236μm	34μm
7°	245	77
10°	283	114

在严格条件限制的情况下，保持前后元件的焦距与计算值相同、光阑位置在两个元件之间。对限制条件较为宽松的情况下，物理长度可有要求值 3%的浮动范围。

需要很好的校正色差，子午面和弧矢面的视场需合理的平坦。

建议文件夹名：Telephot，文件名 telf101b，等。