

系统光学参量允许偏差计算

(Zemax 公差计算实例)

一 公差分配思路

原准备用 ODP841 进行公差分配计算，但该软件是用于几何传函的计算，对小象差系统计算的结果比 Zemax 中的 MTFT 好的多，这是因为没考虑衍射效应对象差的干扰。我们设计的系统鉴别率是很高的。因此用 ODP841 计算偏差很大。故采用 Zemax 计算。

首先介绍公差计算的总体思路：

在光学设计中给所有工艺允许的总公差是：使最差情况下的传函由于工艺因素的总下降量不大于 0.15 lp/mm （下降后的传函仍有 $\text{MTF}=0.15$ ，以便 CCD 仍能分辨它对应的空间频率），对于本系统就是在 $F=1.23$ 光圈、 $1H$ ， $0.7H$ 口径下允许鉴别率总下降量不大于 0.15 lp/mm 。

公差分配的环节有：

半径、厚度 1（透镜厚度）、厚度 2（透镜气隙）、玻璃折射率、玻璃色散、中心偏 1（加工偏心）、中心偏 2（装配偏心）、余量

上面的公差余量是为了在实际的工艺实施中，由于工艺原因必需放宽公差时，总公差允许量不致于超。

在计算公差时，先按经验以工艺上最宽松的条件给出各结构参量的公差预定值，这样作是为了先考核最差情况对总公差的影响。当总公差超限时，也不能以此作为公差分配的最终结果，因为在工艺允许的条件下，应尽量提高成像质量，因此应减少对总公差影响大的诸结构公差，这样才能最有效的提高成像质量。

二 公差分配

1 思路

对本样例镜头，用 Zemax 公差计算功能时应遵循如下原则：

- (1) 因为 $F=2\sim 8$ 口径均比 $F=1.2$ 口径的传函高很多，因此应以 $F=1.2$ 口径传函为准考核传函变化量。
- (2) 在 $F=1.2$ 口径的传函中，应要求 $0W, 0.7W$ 的传函，而 $0W$ 传函比 $0.7W$ 传函高很多，因此应以 $0.7W$ 视场传函为准考核传函变化量所允许的半径公差。
- (3) 在计算传函时，应以 $\text{MTF}=0.3$ 为基准考核传函的空间频率。
- (4) 正态分布的蒙特卡罗数应取 20 以上，我们取 50（此数越大，得到的公差计算结果的可信度越高，但计算量就越大）。

- (5) 用传函计算公差时，各结构变量公差预定值的给定，可参考“各结构公差计算时预定公差的给定原则”给出。
- (6) 为了加速公差计算，应以光学设计中有象质要求的各种情况下，传函最低的情况，计算公差的允许值。

2 各结构公差计算时预定公差的给定原则

2.1 TFRN(光圈公差)预定公差的给定

这个量是给各面半径加工的允许偏差值，先统一给 5 道圈，计算出总偏差再调整。

2.2 TTHI(厚度公差) 预定公差的给定

这个量给定各面位置的绝对偏差允许值，对于变焦系统，由于有变焦曲线的严格限制，因此对各透镜面位置的绝对值应进行控制。对本系统，各面只有相对位置的要求，没必要限定绝对位置，因此只需给出：1，2；2，3；... 的面要求就可以了。

现各厚度加工的允许偏差预定值统一给 0.05 mm。

2.3 TEDX,TEDY(零件允许平行偏心公差) 预定公差的给定

这是光学零件与机械零件的配合公差中的偏心（平行）允许公差，给出 0.05mm 偏心允许预定值。

2.4 TETX,TETY(零件允许倾斜偏心公差) 预定公差的给定

这是光学零件与机械零件的配合公差中的偏心（倾斜）允许公差，给出 $6' = 0.1^\circ$ 偏心允许预定值。

该公差实际上是限定了透镜隔圈端面垂直度的允许偏差。

2.5 TSDX, TSDY(光学零件表面允许平行偏心公差) 预定公差的给定

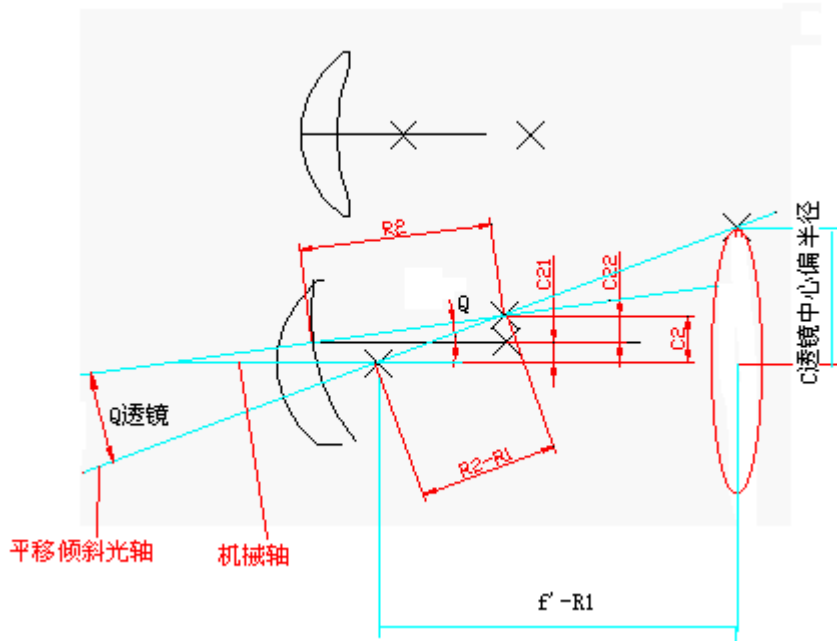
这是光学零件表面公差中的偏心（平行）允许公差，给出 0.05mm 偏心允许预定值。

2.6 TSTX,TSTY(零件允许倾斜偏心公差) 预定公差的给定

这是光学零件表面公差中的偏心（表面倾斜）允许公差给该量公差预定值为 0.05mm。在 Zemax 公差计算输入文件中，单位确是度。

那么就用计算式： $Q = \arctg(0.05/R)$ 将角度值求出（度为量刚）。

注： $TSDX$ ， $TSDY$ ， $TSTX$ ， $TSTY$ 是透镜定心膜边时用以控制表面倾斜和平行偏位的。但在工序完公后确要通过零件的透过偏心来验收，两者如何统一呢？



在上图中：

在车边工艺中，第一面是作为基准的，因此上图中第一面既无偏心，也无倾斜。第二面 C_{21} 是表面偏心公差， C_{22} 是表面倾斜公差。则同向影响总偏心 $C_2 = C_{21} + C_{22}$ ，由相似三角形有：

$$\frac{C_2}{R_2 - R_1} = \frac{C}{f' - R_1} \rightarrow C = \frac{C_2 * (f' - R_1)}{R_2 - R_1}$$

这就是由工艺上控制公差（控制 C_{21} ， C_{22} ），向产品验收公差的转换计算式。

在推导上算式时， $f' - R_1$ 是在假定镜很薄时得到的，如果透镜较厚，可以在 AUTOCAD 中作图求出。

我们给此类公差时，是以工艺控制公差的方式给出的，故在此不进行转换计算。

2.7 TIRR（球差的一半与象散的一半表示的表面不规则度，单位是光圈单位）

预定公差的给定

这是光圈的局部偏差的允许值，用光圈允许的局部偏差 ΔN 表示，预定值给 0.5。

2.8 TIND(d 光折射率允许偏差) 预定公差的给定

1 有关表格

由“光学仪器设计手册”上册 355 页有表：

技术	物 镜	目 镜	分划板	棱 镜	不在光
----	-----	-----	-----	-----	-----

指 标	高精度	中精度	一般精度	2W>50°	2W<50°			路中的零件
ΔNd	1B	2C	3D	3C	3D	3D	3D	3D
Δ (NF-NC)	1B	2C	3D	3C	3D	3D	3D	3D
均匀性	2	3	4	4	4	4	3	5
双折射	3A	3	3	3	3	3	2	4
光吸收系数	4	4	3	3	4	4	3	5
条纹度	1C	1C	1C	1B	1C	1C	1A	2C
气泡度	3C	3C	4C	2B	3C	1C	3C	8E

设计的光学系统属于中等精度类，这里只计算 ΔNd ， Δ (NF-NC)对传函的影响。先按低精度给，如果对传函影响过大，则给到高精度再计算对传函影响量。为了查出 ΔNd ， Δ (NF-NC)的级别与类别的具体要求，可由“光学仪器设计手册”上册 409 页有表：

类 别	允许差值		级 别	同批毛坯中的最大差值	
	折射率	中部色散		折射率	中部色散
1	$? 5 \times 10^{-4}$	$? 5 \times 10^{-5}$	A	$? 0.5 \times 10^{-5}$	$? 1 \times 10^{-5}$
2	$? 7 \times 10^{-4}$	$? 7 \times 10^{-5}$	B	$? 1 \times 10^{-5}$	
3	$? 10 \times 10^{-4}$	$? 10 \times 10^{-5}$	C	$? 2 \times 10^{-5}$	
			D	折射率在所定类别的允许差值之内	中部色散在所定类别的允许差值之内

说明：在象质要求很高（如 400 万象素，或平行光管无镜，高倍测量显微物经）的镜头中，常通过选玻璃进行配对装配来减小玻璃折射率和色散偏差对系统成象质量的影响，这就要求按玻璃炉号进行装配。此时对玻璃的级别就应有要求。我们的系统是中等精度的镜头，不存在按炉号选玻璃配对装配的问题，即可不考率玻璃的级别。

2 d 光折射率的偏差预定值的给的定

先按 3 类给定，即 d 光折射率的偏差预定值为：0.001 。

2.9 TABB(阿贝常数允许偏差) 预定公差给定

由上玻璃类别中知道给定的是中部色散偏差，而它与阿贝数偏差关系见下式：

$$v = \frac{nd - 1}{NF - NC}, \text{ 两变取对数有: } \lg(v) = \lg(nd - 1) - \lg(NF - NC)$$
$$\text{两边再取微分有: } \frac{dv}{v} = - \frac{d(NF - NC)}{NF - NC} \text{ ---- } > dv = \frac{-v}{NF - NC} * d(NF - NC)$$

阿贝数的偏差必需由玻璃类别的中部色散允许偏差通过上式转换才能得到,对本产品，中部色散偏差取 3 类，即 $d(NF-NC)=0.0001$ ，这样再知道玻璃牌号，查出阿贝数，就可将中部色散偏差传成阿贝数的偏差。