

# 光学设计指引贴子

## 《对成像镜头设计质量的评估》

编程：高国欣

二〇一二年八月六日

## 光学设计指引贴4

### 《对成像镜头设计质量的评估》

一 象质要求 第3页

#### 1 MTF要求

(1) 常用条件下的传函要求 第3页

(2) 两端条件下的传函要求 第4页

(3) 焦深要求 第4页

• 由弥散斑确定的焦深 第4页

• 由透镜对正要求确定的焦深 第4页

(4) 全视场传函一致性要求 第6页

(5) 高、中、低频传函要求 第6页

(6) 色光传函要求 第6页

2 弥散要求 第6页

二 光能要求 第6页

三 畸变要求 第7页

四 色差要求 第7页

1 垂轴色差要求 第7页

2 轴向色差要求 第7页

五 工艺性要求 第8页

1 外形尺寸要求 第8页

(1) 压边量要求 第8页

(2) 中心厚与边厚要求 第8页

(3) 中心厚度公差要求 第9页

(4) 倒角宽度要求 第9页

(5) 倒角角度要求 第10页

(6) 偏心要求 第10页

(7) 表面误差要求 第11页

(8) 对材料要求 第12页

2 同心性要求 第13页

3 公差要求 第13页

4 玻璃材料要求 第14页

价格参考 第14页

光学与理化性能 第14页

## 光学设计指引贴4

### 《对成像镜头设计质量的评估》

不少光学设计同行感到镜头设计不好掌握，其实多数是对镜头设计达到什么状态就算好的把握不住。镜头设计的目标值定的过低，以致于设计出的镜头总是不理想，同时也失去了进一步提高的动力。目标也不能定的太高，使系统复杂化，成本过高，得不偿失。

镜头成像质量是其最重要的性能指标之一，应从：MTF要求（频率要求、高中低频的MTF要求、色频率要求、MTF视场一致性要求、MTF温度要求、调焦MTF要求、变焦MTF要求、），弥散要求，焦深要求，光能集中度要求，视场均匀性要求，畸变要求（DIST畸变要求、

TV畸变要求），色差要求，公差要求，工艺性要求（中心边缘厚度差要求、单镜两半径同心性要求、中心边缘厚度要求、成本要求、玻璃加工软硬度、耐酸性等）来全面评估镜头。

在这里的评估指标对各种成像镜头基本上都适用，其中使用在不同场合的镜头所需另外的约束，不在小结中，请根据各系统的性能要求添加合理约束。

#### 一 象质要求

##### 1 MTF要求

##### (1) 常用条件下的传函要求

常用条件是指物距除两端点、变焦除两端点（五点变焦）、温度除两端点、最佳象面处的传函要求：

频率 (CMOS、CCD、LCOS、DMD上)  
 $= 1 / (2 * \text{最小象元直径})$

MTF > 50% (接收器各点处)

频率 (目视系统象面处, 对应出射角 = 3' 的弥散, 其直径定为最小象元直径)  $= 1 / (2 * \text{最小象元直径})$

MTF > 30% (舞台投影镜头),

MTF > 50% (小视场广告投影镜头)。

## (2) 两端条件下的传函要求

指物距两 endpoint、温度两 endpoint、变焦两 endpoint (五点变焦)、最佳象面处的传函要求:

MTF (CMOS、CCD、LCOS、DMD上)  
 > 40% (接收器各点处)

对于舞台投影镜头, 由于不能用塑料镜头, 故热变形, 热折射率变化均不考虑, 各物距调焦后的传函 MTF > 30%。

## (3) 焦深要求

### • 由弥散斑确定的焦深

当弥散光线散布方均根植 RMS 不大于最小象元直径时, 象由点组成, 成像是清楚的, 下面计算的弥散半径 (= RMS) 等于最小象元直径的象面的离焦尺寸:

$F\# = F' / \phi$  入瞳, 对应轴向光束投射角  $\rightarrow Q = \text{ArcTan} [(\phi \text{ 入瞳} / 2) / F']$   
 $= \text{ArcTan} [1 / (2 * F\#)]$ , 设  $F\# 1.8$ ,  
 则  $Q = \text{ArcTan} [1 / (2 * F\#)] = \text{ArcTan} [1 / (2 * 1.8)] = 15.5^\circ$

假定计算出的最小象元尺寸 = 0.008mm,  
 则由弥散斑确定的焦深 =  
 $0.008 / \text{Tan} 15.5^\circ = 0.029\text{mm}$ 。

如果  $F\# = 1.5$ ,  $Q = \text{ArcTan} [1 / (2 * F\#)]$   
 $= \text{ArcTan} [1 / (2 * 1.5)] = 18.4^\circ$ , 弥散斑确定的焦深 = 0.024mm。

### • 由透镜对正要求确定的焦深

焦深由光轴对成像面的垂值偏差所决定，允许 $\pm 10'$ 。在焦深范围内 $MTF > 20\%$ 。

例如0.46英寸的DMD，如果最大视场角 $= \pm 25^\circ$ ，那么 $F' = (0.46 * 25.4 / 2) / \tan 25^\circ = 12.53$ ，因此光轴对成像面的垂值偏差 $= \pm 10'$ 时，引起DMD角顶对中心点沿轴向移位 $= \pm 12.53 * (10 * 0.00029) = 0.036\text{mm}$ ，即焦深 $= \pm 0.035\text{mm}$ ，在焦深范围内，中心与角顶成像将同时清楚。

再看一例：0.19英寸的DMD，如果最大视场角 $= \pm 25^\circ$ ，那么 $F' = (0.19 * 25.4 / 2) / \tan 25^\circ = 5.2$ ，因此光轴对成像面的垂值偏差 $= \pm 10'$ 时，引起DMD角顶对中心点沿轴向移位 $= \pm 5.2 * (10 * 0.00029) = 0.015\text{mm}$ ，即焦深 $= \pm 0.015\text{mm}$ ，

在焦深范围内要求 $MTF > 0.2$ ，中心与角顶成像将同时清楚。

● 由弥散与对正要求共同确定的焦深

由于0.46英寸情况下，透镜容易对正，因此由弥散确定的焦深允许略放松；但0.19英寸情况下，透镜不易对正，因此由弥散确定的焦深应略严，最后有：

对手机投影镜头焦深 $= \pm 0.015\text{mm}$ 。  
对0.46英寸的接受器（分辨率60lp/mm），焦深 $= \pm 0.03\text{mm}$ ， $MTF > 20\%$ 。

手机投影镜头的对正精度（焦深要求）将更难保证，这成为手机投影镜头批量生产的难点之一，为了使手机焦深要求不致过严， $F\# > 2$ ；但这会制约手机亮度，因此手机设计的另一难点，是需对各虑色镜进行频谱透过率的定量分析，给出合

理的频谱透过率，角度透过率的综合技术指标要求。

#### (4) 全视场传函一致性要求

为了各视场传函（即象面各点传函）不致相差过大，应要求各视场传函一致性 $<10\%$ 。

#### (5) 高、中、低频传函要求

为了使传函的低频（分辨轮廓的能力），中频（分辨层次的能力），高频（分辨细节的能力）都达到较好的程度，应使： $MTF > 0.9$  (10 lp/mm时)， $MTF > 0.8$  (20 lp/mm时)， $MTF > 0.5$  (最大频率时)。

#### (6) 色光传函要求

在常用工作条件下，主波长传函 $MTF > 0.45$ 、其它传函 $MTF > 0.35$ 。

## 2 弥散要求

MTF只是象质要求之一，对于MTF合乎要求的系统，象质只能说较好，还不能说很好。这是因为在能分辨的鉴别率图案周围，有可能产生拉出的弱光带，影响对比度。客户对此还是比较挑剔的。这个问题主要是由弥散斑的RMS（弥散散布半径的方均根植）、GEO（弥散散布半径的最大值）共同决定的。

好的镜头要求 $RMS < \text{最小象元直径}$ 、 $GEO < 3 * RMS$ 。

以上要求是在常用条件下的约束，对于端点状态下，允许略超。

## 二 光能要求

在MTF和弥散达到要求后，光能集中度亦影响象的晖光程度，光能越集中，晖光就越弱，好的光能集

中度要求在最小象元尺寸下, 光能集中度 $>90\%$ 。

全视场亮度的一致性, 是由视场光能均匀性决定的, 它由最大视场能量与中心视场能量比来定义的, 其要求如下:

投影镜头: 视场均匀性 $>80\%$ 。

舞台投影镜头: 视场均匀性 $>70\%$ 。

照像镜头: 视场均匀性 $>50\%$ 。

说明: 视场均匀性 $>70\%$ (舞台投影系统)是指投影镜头视场均匀性要求, 其照明系统的视场均匀性 $>70\%$ , 因此舞台投影系统的总视场均匀性 $>50\%$ , 与照像镜头的视场均匀性是一样的。

### 三 畸变要求

相对畸变的百分数 $<1.5\%$ , 对于投影镜头, 主要是TV畸变定义

为长边中心凸或凹点相对中心直边点的百分比) $<1\%$ 。

制版镜头畸变要求很严, 不在此小结内。

## 四 色差要求

### 1 垂轴色差要求

最大视场垂轴色差 $<$ 最小象元直径。

例如最小象元尺寸 $=0.008\text{mm}$ , 则最大视场垂轴色差 $<0.008\text{mm}$ 。

### 2 轴向色差要求

弥散张角 $=\text{ArcTan} \left[ \frac{1}{(2 \cdot F\#)} \right]$ ,  
轴向色差 $<$ 最小象元直径 $/ \left[ \frac{1}{(2 \cdot F\#)} \right]$   
 $=$ 最小象元直径 $\cdot (2 \cdot F\#)$ 。

例如：最小象元直径=0.008mm,  
 $F\#=1.8$ , 轴向色差 $<0.008*2*1.8$   
 $=0.03\text{mm}$ 。

## 五 工艺性要求

### 1 外形尺寸要求

(1) 压边量要求

(2) 中心厚与边厚要求

光学零件外径余量			
透光口径(mm)	外径(mm)		外径(mm)
	用滚边固定	用压圈固定	
到6	D+0.6	—	用滚边固定 D+2.0 用压圈固定 D+2.5
>6—10	D+0.8	D+1.0	D+2.5 D+3.0
>10—18	D+1.0	D+1.5	— D+3.5
>18—30	D+1.5	D+2.0	— D+4.5

  

透镜边缘及中心最小厚度		
透镜直径 (mm)	正透镜边缘最小厚度(mm)	负透镜中心最小厚度(mm)
3—6	0.4	0.6
>6—10	0.6	0.8
>10—18	0.8—1.2	1.0—1.5
>18—30	1.2—1.8	1.5—2.2
>30—50	1.8—2.4	2.2—3.5
>50—80	2.4—3.0	3.5—5.0
>80—120	3.0—4.0	5.0—8.0
>120—150	4.0—6.0	8.0—12.0



## ▪ (3) 中心厚公差要求 ▪ (4) 倒角宽度要求

透镜中心厚度公差

透镜类别	仪器种类	厚度公差(mm)
物镜	显微镜及试验室仪器	$\pm 0.01 - \pm 0.05$
	照相物镜及放映镜头	$\pm 0.05 - \pm 0.3$
	望远镜	$\pm 0.1 - \pm 0.3$
目镜	各种仪器	$\pm 0.1 - \pm 0.3$
聚光镜	各种仪器	$\pm 0.1 - \pm 0.5$

圆形光学零件的倒角

零件直径 D	倒角宽度 b		
	非胶合面	胶合面	辊边面
3-6	0.1+0.1	0.1+0.1	0.1+0.1
>6-10			0.3+0.2
>10-18	0.3+0.2	0.2+0.1	0.4+0.2
>18-30			0.5+0.3
>30-50			0.7+0.3
>50-80	0.4+0.3	0.2+0.2	0.8+0.4
>80-120	0.5+0.4	0.3+0.3	-
>120-150	0.6+0.5	-	-

■ (5) 倒角角度要求 (6) 偏心要求

圆形零件倒角角度

零件直径与表面半径的比值 (D/r)	倒角角度		
	凸面	凹面	平面
<0.7	45 度	45 度	45 度
>0.7—1.5	30 度	60 度	
>1.5—2	—	90 度	

偏心差 C 允许值

透镜性质	偏心差(mm)	透镜性质	偏心差(mm)
显微镜与精密仪器	0.002—0.01	望远镜	0.01—0.1
照相投影系统	0.005—0.1	聚光镜	0.05—0.1

■ (7) 表面误差要求

光学零件表面误差参考数值

仪器类型	零件性质	表面误差		仪器类型	零件性质	表面误差	
		N	$\Delta N$			N	$\Delta N$
显微镜和精密仪器	物镜	1-3	0.1-0.5	望远系统	棱镜	反射面	1-2 0.1-0.5
	目镜	3-5	0.5-1.0			折射面	2-4 0.3-0.5
屋脊面						0.1-0.4 0.05-0.1	
照相系统投影系统	物镜	2-5	0.1-1.0		反射镜	0.1-1.0 0.05-0.2	
	滤光镜	1-5	0.1-1.0				
望远系统	物镜	3-5	0.5-1.0		场镜、滤光镜、分划板	5-15 0.5-5.0	
	转换透镜	3-5	0.5-1.0				
	目镜	3-6	0.5-1.0				

■ (8) 对材料要求

对材料的要求

技术指标	物 镜			目 镜		分划板	棱镜	聚光镜	反射镜
	高精度	中精度	低精度	$2w > 50^\circ$	$2w < 50^\circ$				
$\Delta n_D$	1B	2C	3C	3C	3D	3D	3D	3D	—
$\Delta(n_F - n_C)$	1B	2C	3C	3C	3D	3D	3D	3D	—
均匀性	3	3	4	4	4	4	3	5	3
双折射	2	2	3	3	3	3	3	3	2-3
光吸收系数	3	3	4	3	4	4	4	5	—
条纹度	1C	1C	2C	1B	1C	1C	1A	2C	—
气泡度	1C	1C	1C	1B	1C	1A	1C	1C	—

## 2 同心性要求

单镜同心性需>0.1，否则车边易垂轴串动，使中心偏超差，也会使边缘光圈超差。

单镜前后面的同心性约束如下（设单镜的前后面口径=H1，H2；前后面半径=R1，R2）：

$$\text{同心性} = \left| \frac{\frac{H1}{2 * R1} - \frac{H2}{2 * R2}}{2} \right| > 0.1$$

## 3 公差要求

一般情况下焦距=15~40mm的成像镜头，中等精度公差分配如下：

默认(公差)

面型公差			元素 (Element) 公差	
<input checked="" type="checkbox"/> 半径	<input checked="" type="radio"/> 毫米:	0.200000	<input checked="" type="checkbox"/> 偏轴 X	0.03
	<input type="radio"/> 边缘的:	5	<input checked="" type="checkbox"/> 偏轴 Y	0.03
<input checked="" type="checkbox"/> 厚度	毫米:	0.05	<input checked="" type="checkbox"/> 倾斜:	0.05
<input checked="" type="checkbox"/> 偏轴 X	毫米:	0.03	<input checked="" type="checkbox"/> 倾斜 (Degrees):	0.05
<input checked="" type="checkbox"/> 偏轴 Y	毫米:	0.03	<input checked="" type="checkbox"/> 倾斜 (Degrees):	0.05
<input checked="" type="checkbox"/> 倾斜 (TIR)	<input type="radio"/> 毫米:	0.200000		
	<input checked="" type="radio"/> 度数 (Degrees):	0.05		
<input checked="" type="checkbox"/> 倾斜 (TIR)	<input type="radio"/> 毫米:	0.200000		
	<input checked="" type="radio"/> 度数 (Degrees):	0.05		
<input checked="" type="checkbox"/> S + A Irreg	边缘的:	1		
<input type="checkbox"/> Zern Irreg	边缘的:	0.200000		
<input checked="" type="checkbox"/> 索引		0.001000		
<input checked="" type="checkbox"/> Abbe %		1.000000		
开始行 (Start At Row):		1	<input checked="" type="checkbox"/> 使用焦点对比	

确定 (O) 放弃 (C) 保存 (S) 加载 (L) 复位 (R) 帮助 (H)

然后根据98%概率的MTF是否大于0.15，和公差最敏感的前10个公差，进行调整。

在ZEMAX 2009，蒙特卡罗取3000，进行公差计算。

- 4 玻璃材料要求
- 价格参考  
见“玻璃批次价格表.PDF”
- 光学与理化性能  
见“玻璃材料性能.xls”

GGX1945813

2012年8月6日整理