

杂光系数测量装置的改进与测试条件标准化的探讨

刘瑞祥

照相物镜一类光学系统杂光系数的测量与评价,现在更加引起了人们的重视,它与光学传递函数、分光透过率、畸变一起,成为评价光学系统性能的主要项目。

关于照相物镜杂光系数的测量,许多国家都在进行这方面的工作,研制出一些不同的装置,持有一些不同的看法^[1]。

根据我们的经验,对于大多数照相物镜、电影摄影物镜、电视摄影物镜等来说,采用黑斑法进行杂光系数测量的结果,与实际使用效果的相关性还比较好。即是说,它可以作为镜头杂光的一种度量。同时,结合其它测试还能够发现造成某些镜头杂光大的主要因素。但是必须注意到,黑斑法确实有它的缺点,诸如:测试结果受亮场、黑体尺寸和接收孔大小的影响,只有采用一个共同的标准进行测试,相互间的比较才有意义等等。

这里仅就黑斑法中的有关问题,进行一些分析和探讨。

黑斑法装置的原理

杂光系数一般定义为:放在亮度均匀的无限大面扩散光源一点上的绝对黑体,由镜头所成像的照度与周围像照度之比。

黑斑法装置的原理如图1所示。一般都采用积分球作为亮度均匀的面扩散光源,在其一点上安置有人工黑体。黑体经被测镜头成像后,用带有接收小孔的光电测光器接收,测得黑体像的照度,然后再测得白目标的照度,二者之比即为杂光系数,即

$$K = \frac{I_f}{I_n + I_f} \dots\dots (1)$$

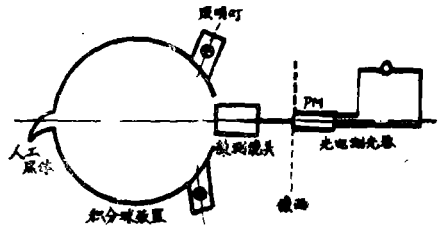


图1 黑斑法装置原理图

一般说来,因为 $I_f \ll I_n$

$$\text{所以 } K \approx \frac{I_f}{I_n} \dots\dots (2)$$

其中:

I_f ——杂光照度,

I_n ——正常成像光照度。

装置的几点改进

我们现有的杂光系数测量装置,是参照苏联НОВИК^[2]等人的装置而设计的。在实际工作中我们相继发现与证明了它的一些缺欠,作了改进。

1. 排除大准直物镜

НОВИК为了解决长焦距镜头杂光系数的测量问题,曾采用过加准直物镜的办法。我们的装置也采用过一个 $f' = 1000$ 毫米, $D/f' = 1:8$ 的大准直物镜。国内一些单位仍沿用此法。实际上,这对于大多数照相物镜来说,既不是必需的,相反地却要影响测量结果。由于准直物镜机械框架的限制,面扩散光源对被测物镜的张角将要变小;更重要的是,所测杂光系数实际上是被测物镜与准直物镜的综合结果。这会引进很大的误差,对于杂光系数小的镜头影响更大(参看

表1)。

表 1. 加准直物镜与不加的比较

| | | |
|---------------------------|----|----|
| 镜头 COOKE f25毫米 f/1.8 | | |
| 测试条件 接收小孔 $\phi = 1.1$ 毫米 | | |
| 黑体直径 $D = 120$ 毫米 | | |
| K (%) | 加 | 10 |
| | 不加 | 8 |

由此不难看出，所增加的2%主要是由准直物镜的杂光以及准直物镜与被测物镜之间的多次反射造成的。即使准直物镜作得很好，它本身的杂光系数也会达到1%，这对于杂光系数小的物镜来说，已经是很大的量了。

2. 积分球照明条件的改善

最初，我们曾用四个12伏30瓦白炽灯照明，直接由灯室投射到积分球壁上。我们发现这样有二个问题，一是照明不均匀，二是光度水平低。

对同一装置来说，照明不均匀可能不致影响重复性，但对不同装置就会造成差异。

光度水平低，将会给镜头小光圈的杂光系数测量带来各种问题，引起误差。

我们改用12伏50瓦碘钨灯照明，提高了光度水平。同时将灯室里边也喷上了氧化镁，并在灯前面加上硫酸纸进行散射，改善了均匀性。

积分球照明均匀性的另一个较大的问题是，由于经常更换白板与黑体，不可避免地会使白板玷污，反射系数下降，这样就会造成测量误差。譬如，当其反射系数下降到周围为70%时，所测杂光系数将是实际值的1.4倍，即造成40%的相对误差。

为了避免这一误差，可将黑体固定不动，测量它相邻的球壁像的照度作为白板照度。由于它对镜头张角很小， $\cos^4\alpha$ 定律的影响是很小的（参看表2）。

由此可见，测量 $\pm 3^\circ$ 以内的白目标照度所造成误差完全可以忽略，这样既方便，又保证了测量精度。

表2 $\cos^4\alpha$ 的影响

| α (°) | $\cos^4\alpha$ | $1/\cos^4\alpha$ |
|--------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.99939 | 1.0006 |
| 2 | 0.99756 | 1.0024 |
| 3 | 0.99452 | 1.0055 |
| 4 | 0.99028 | 1.0098 |
| 5 | 0.98487 | 1.0150 |

3. 光电测光器的改进

我们把更换接收小孔进行测试改成取 $\phi = 1.1$ 毫米的固定小孔，这样既方便，又容易保证测量的再现性。

在实验中我们发现，光电测光器的接收面的反射对测量影响比较大。我们用科光 $KGf' = 100$ 毫米、1/2.8 电视镜头进行实验，分别用白图纸和黑大绒作为接收面，发现相对误差可达20%。

为了既便于调整又消除这种影响，我们用黑大绒作了一个罩，中间留有 $\phi = 10$ 毫米左右的孔。黑体像在白图纸上调实后，把罩盖上，基本上解决了这个问题。但是有的镜头后截距比较短，取放不方便，这个问题仍需加以解决。

关于测试条件标准化的探讨

为了进一步提高杂光系数的测量精度，确定合理的实验条件，我们从理论上和实验上进行了一些分析和探讨。

1. 黑体尺寸与接收小孔尺寸的影响

我们选择几种固定焦距镜头和变焦距镜头，分别改变黑体尺寸和接收小孔尺寸，保证其它条件不变，进行了实验。

关于黑体直径的影响，典型的实验结果如表3和图2所示。

由上面的结果可以看出，随着黑体尺寸加大，杂光系数下降。

表3. 黑体直径对杂光系数的影响

被测镜头: $f = 58$ 毫米, $1/2$, $2\omega = 41.2^\circ$ 接收小孔: $\phi = 1.1$ 毫米

| 黑体直径 $D_{黑}$ (毫米) | | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $D_{黑}$ 对被测镜头张角 α° | | 1.72 | 2.29 | 2.86 | 3.44 | 4.01 | 4.58 | 5.16 | 5.73 | 6.30 | 6.88 |
| $2\omega/\alpha$ | | 24 | 18 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6.5 | 6 |
| K (%) | F_2 | 10.7 | 8.8 | 7.9 | 6.8 | 6.0 | 5.3 | 4.9 | 4.2 | 3.9 | 3.5 |
| | F_4 | 9.4 | 8.0 | 7.0 | 6.4 | 5.6 | 4.8 | 4.1 | 3.6 | 3.2 | 3.0 |

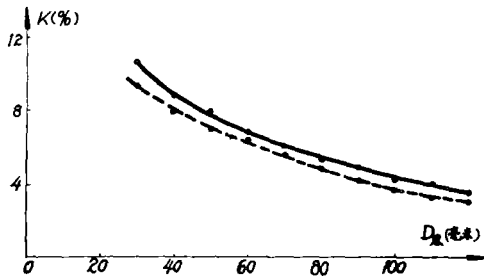


图2 黑体直径对杂光系数的影响例

通常认为: 在积分球上取掉一块, 这部份对杂光的贡献也就没有了。但只要黑体不是太大, 或者说, 只要视场角所对应的亮场面积与黑体面积之比超过一定大小, 这种影响就可以忽略不计。所以, 一般对黑体尺寸只规定一个大致范围, 譬如说使黑体像的大小为画面对角线的 $1/10 \sim 1/8$ 。

由表中数据可以看出, 当相应的面积之比超过100倍时($2\omega/\alpha \geq 10$), 变化仍然很明显。如果按照画面对角线的 $1/10$ 或 $1/8$ 确定黑体尺寸, 实测结果是不同的。根据我们的分析, 这是由于二次反射是造成杂光的主要原因之一, 光轴附近的亮场造成的二次反射光对轴上杂光系数影响比较大, 随着相应亮场部份的角度加大, 其影响变小。这样, 靠近光轴的亮场尺寸即使变化不大, 也会影响测量结果。从这种意义上来说, 黑体尺寸愈小, 测量结果越精确。

对其它镜头进行实验, 得到了相类似的结果, 如图3所示, 变化趋势与前面结果是相同的。

这充分说明, 合理选择黑体尺寸是一个

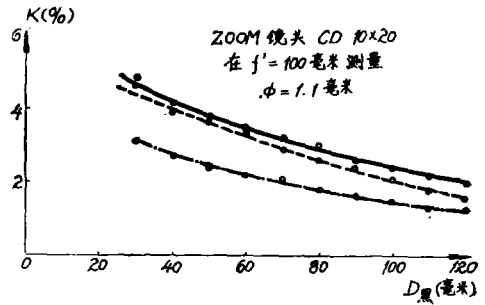


图3 黑体尺寸对变焦距镜头杂光系数的影响

重要问题, 目前关于黑体尺寸的一些说法是含混的。必须确定一个共同的尺寸, 否则测量结果必然不一致。由于各个装置的积分球直径不尽相同, 所以采用角尺寸说明是比较方便的。为了满足上述要求, 同时考虑到不致使测量太困难以及镜头视场角小时不致被黑体充满整个视场, 参考国外一些装置的黑体尺寸, ^{[3], [4]}, 为了便于比较, 对大多数照相物镜来说, 黑体尺寸对被测镜头张角可选择为 1° ; 对于视场角小的物镜, 尺寸可相应缩小。综合起来, 建议如下确定黑体尺寸:

| | | | |
|--------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 镜头视场角 2ω | $2\omega > 10^\circ$ | $5^\circ \leq 2\omega \leq 10^\circ$ | $2\omega \leq 5^\circ$ |
| 黑体尺寸 张角 | 1° | $1/2^\circ$ | $1/4^\circ$ |

关于接收小孔尺寸的影响, 一个代表的实验例如表4和图4所示。

通常认为: 选择小孔尺寸只要排除了像差和衍射的影响, 就不会影响测量结果。实际却不然。由表4和图4可以看出, 在满足上述要求的前提下, 所测结果却不一致, 随着接收孔变小, 杂光系数变小。这同样是由于

表4 接收小孔尺寸对杂光系数的影响镜头同上, 在全孔径测量

| $D_{黑}$ (mm) | 120 | 110 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|--------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| D' (毫米) | 7.0 | 6.4 | 5.8 | 5.2 | 4.6 | 4.0 | 3.5 | 2.9 | 2.3 | 1.7 |
| K (%) | 接收孔 $\phi 1.1$ 毫米 | 2.8 | 3.4 | 3.9 | 4.3 | 4.8 | 5.7 | 6.5 | 7.4 | 9.0 |
| | $\phi 1.7$ | 3.1 | 3.5 | 4.1 | 5.3 | 6.0 | 7.6 | 10.0 | | |
| | $\phi 3$ | 4.5 | 5.1 | 6.0 | 6.8 | 7.8 | 9.0 | | | |
| | $\phi 4$ | 5.3 | 6.0 | 7.0 | 7.9 | 9.2 | | | | |
| | $\phi 5$ | 6.0 | 6.8 | 7.9 | | | | | | |

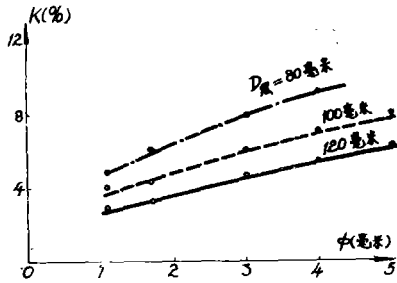


图4 接收小孔影响例图

黑体取代白板之后, 这部份的影响被扣除了。如上所述, 因为二次反射光对轴上杂光系数的影响, 随着亮场靠近光轴而增大, 这就必然使黑体像中的杂光分布, 随着接近于光轴而变小, 由此而产生使所测得的杂光系数变小的效应。

综上所述, 在利用黑斑法进行杂光系数测量时, 必须严格规定黑体直径与接收小孔尺寸, 否则各个装置或各次测量的结果必然不一致。

2. 关于积分球装置的一些问题

积分球的参数与条件直接影响测量结果。首先, 它的直径必须满足被测物镜近摄距的要求, 以保证在实际的像面上进行测量。但由于各种镜头的近摄距是十分不相同的, 很难同时满足它们的要求。作为一种补救办法, 可使球直径满足大多数物镜的要求, 对于近摄距较球直径大很多的镜头, 可以采用其它办法在无限远共轭距上测量。

球壁涂料一般选为 MgO 、 $BaSO_4$ 、 Al_2O_3 等反射系数高、漫射性好、在可见光

范围内光谱特性平坦的材料。

根据积分球照度公式可知, 积分球内壁上一一点 P 的照度为:

$$E_p = E_p^0 + E_p^0 \frac{\rho(1-f)}{1-\rho(1-f)}$$

3 ()

式中 E_p^0 是直射光照成的内壁照度, ρ 是内壁的反射率, $f = s_2/s_1$; s_1 是积分球的总内反射表面 (包括开口) 的面积, 即 $s_1 = 4\pi R^2$, s_2 为开口面积 (观测口, 照明灯口及黑体开口面积之和)。照度不均匀性主要由第一项直射光引起, 第二项相互反射光在内壁上各处所形成的照度是均匀的。如果在灯室前面放一透镜使照明灯发射一狭光束, 它的直射光不在观测用的黑体一侧半球面上, 那么这一半球面上的照度就没有 E_p^0 项, 只有相互反射形成的第二项, 照度就很均匀了, 如图 5 所示。其次, 如果将灯室里面喷涂与球壁一样的涂料, 并在前面加一硫酸纸或很薄的毛玻璃进行散射, 并合理配置灯的位置也能改变照明的均匀性。

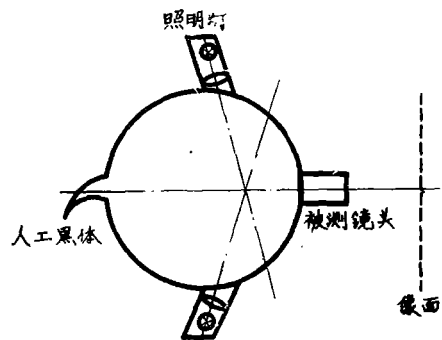


图5

关于积分球的光度水平或者说亮度，究竟达到什么程度为好，我们认为，这必须根据光电倍增管或其它光电元件的灵敏度和暗电流以及被测镜头的参数和所要求的精度来确定。

结 束 语

由于杂光系数测量的再现性受很多因素影响，只有明确规定一些条件，排除一些次要因素的影响，才能使测量结果可以相互进行比较。在此基础上，经过测量与主观评价

实验，才能提出恰当的评价指标。这是今后要进一步从理论上和实验上来解决的问题。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞祥, 光学机械1977, 5, 11.
- [2] Ф.С. Новик, Л. М. Толмова, Техника кино и телевидения 1960, No8.48.
- [3] 竜岡静夫, コンタクト, 1971, No 12, 17.
- [4] Syuitsu Matsuda and Tadayshi Nitoh, Appl. Opt. 11 (1972), 1850