

# 杂光系数及其测量

刘 瑞 洋

所谓杂光，即是用电影、电视、照相等摄影镜头形成物体的实象时，除了成象光线，还有其它非成象光线在象面上扩散，这些非成象光线就叫做杂光。杂光是很有害的。人们早就注意到它的影响，并从理论上和实验上进行过一些探讨。(参看<sup>[1]</sup>)

五十年代以来，人们主要致力于杂光系数的精确测量，并进一步从理论上实验上分析其成因，研究计算杂光的方法，探讨消除或减小杂光的措施。

G. Kuwabara<sup>[2]</sup> 采用各种直径的、中心带有对被测镜头张角为 $1^\circ$ 黑孔的白色圆盘作为物体，用照相机对一些镜头进行了测量。结果表明：杂光系数与白目标对镜头的张角平方成正比，超过一定值之后，杂光系数不再增大。他还指出，随着黑孔直径的增加，残余杂光量（即散射造成的杂光量）减少。

为了测量电影摄影镜头的杂光，Ф.С. Новик<sup>[3]</sup>等人建立了一台装置，用光电法进行测量。

六十年代初，我所和国内的一些光学厂，试制了杂光系数测量装置，为照相物镜检验做了一定工作。(参看<sup>[4]</sup>)

日本 NHK 技术研究所，为了评价电视镜头的质量，由龙冈静夫<sup>[5]</sup>等人建立了杂光系数测量装置并进行了许多实验。

K. Rosehauer 等<sup>[6]</sup>探讨了杂光对光学传递函数的影响，但未得出明确的结果。

最近几年，在理论上和实验上又有了新的进展。仁藤忠芳等人<sup>[7][8]</sup>新设计了一台装置，它可以连续扫描并自动记录；Smith<sup>[9]</sup>提出了杂光的傍轴理论；中村泰博<sup>[10]</sup>研究出用

计算机模拟镜头幻象。Martin 等人<sup>[11][12]</sup>又提出了测量杂光的小光源法并引入杂光扩散函数的概念。

目前 TC-42 对照相物镜的检验方法开展了标准化工作，杂光试验法是其中的一项。为了尽快赶上和超过世界先进水平，我们必须加倍努力，把工作做得更好。

本文对杂光的成因、危害、度量、评价和国外的测量装置进行一些分析，并对杂光系数测量标准化问题谈一些看法。

## 杂光的成因及其危害

造成光学系统杂光的原因，主要有以下几个方面。

1. 由透镜表面的多重反射，特别是二次反射造成。Kuwabara 和龙冈静夫等人证实过这一点。根据我们的经验，杂光大的镜头，往往会看到二次反射象（幻象）。在一些光学系统中含有反射平面，这种影响往往表现更为显著。现代制造的变焦距镜头，由于结构复杂，镜片数目多，这种影响突出地表现出来（参看图 1）<sup>[13]</sup>。随着镀膜质量的提

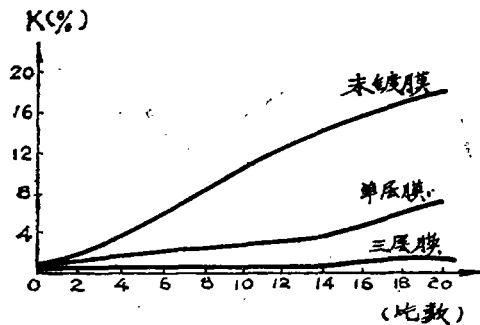


图 1 镜头的杂光和镜头片数的关系

高，这种影响大大缩小。但仍是一种主要原因。

2. 透镜表面研磨不好，或表面有灰尘、指纹、划痕等造成的散射。Kuwabara 用一前面有指印的镜头做过实验，其结果很好地说明了这一点（参看图 2）。

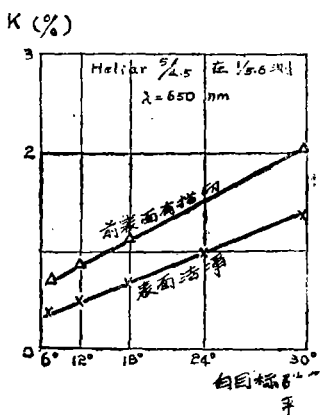


图 2 污染对杂光的影响

3. 透镜边缘面的反射、散射。涂黑可以收到很好的效果。但对一些厚透镜和凹透镜来说，由于边缘较厚，即使涂黑也反射相当多的光。透镜边缘涂黑要考虑到全反射的影响，最好是黑漆的折射率大于玻璃的折射率，并且漆对玻璃的浸润性要好。

4. 玻璃内部缺陷，如气泡、条纹等造成的散射。图 3 是气泡的影响例。F. W. Rosberry<sup>[14]</sup> 所作实验表明，必须特别注意条纹的影响。

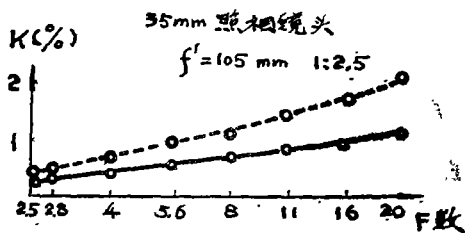


图 3 镜头内部气泡的影响

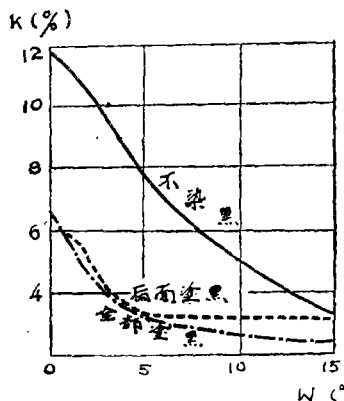
5. 胶合面的反射、散射，增透膜的散射。上述几点，皆是由玻璃部份造成。透镜表面的反射率为 4~8%；普通的  $MgF_2$  膜仅为 0.7~1.4%；三层膜为 0.1~0.5%。而

$n$  差不大的胶合面，反射率为 0.05% 数量级。良好涂黑的透镜边缘面的反射率，对斜入射来说，为 0.3% 的样子。为了减小这部份的影响，对一些关键表面进行良好处理就很有必要。

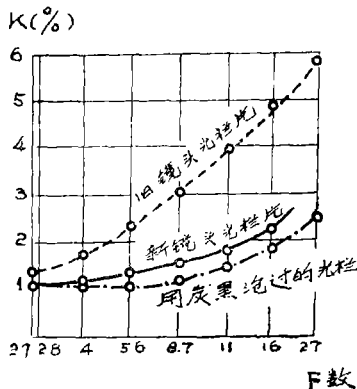
6. 镜筒和内部机械件的反射、散射；

7. 光阑和快门叶片的反射、散射<sup>[15]</sup>。

图 4 绘出这种影响的例子。由图可见，前面的反射光对轴上没有太大影响，但对轴外影响显著。光阑后面的反射影响大，必须妥善处理。同时可以看到，光阑的影响随着光圈缩小逐渐加大。



(a) 轴外



(b) 轴上

图 4 光阑对片反射的影响

8. 摄影机内部和受光面的反射、散射。如图 5、图 6 所示<sup>[15]</sup>。

在这些原因中，透镜表面和边缘面的反射，光阑叶片的反射，镜筒的反射是造成杂光

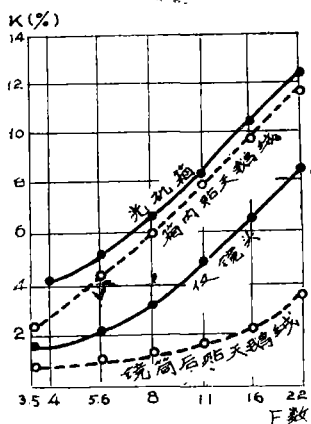


图5 摄影机内部反射的影响

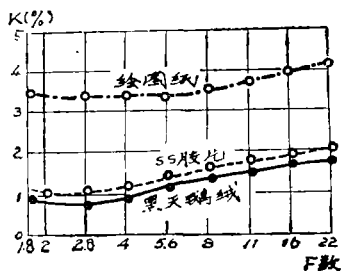


图6 受光面反射的影响( $f'=50\text{mm}1/1.8$ )

的主要原因。由散射造成的杂光一般来说是次要的。

杂光在象面上扩散时，暗的部份和亮的部份同样增加照度，使象的对比和调制传递函数下降，特别是对暗部的影响大。这就使整个画面层次减少，清晰度变坏。杂光严重时，所摄得的景象给人一种蒙上了一层雾的感觉，甚至产生杂光斑点（如图7）。杂光的影响和危害与拍摄目标的亮度分布、摄影条



图7 杂光的影响例

件关系很大。一般地说，当物体是大面积，其各处亮度大致相同时，譬如航摄时的情况，在大口径时杂光大致均匀地分布在象面上；对于小光圈，杂光即集中到画面中心部份，形成如同曝光过度似的杂光斑点。

当被摄目标是小面积、高亮度的东西的情况下，即会在画面中生成本来不存在的景象，将此叫做幻象。这主要是镜片表面和镜筒表面的二次反射造成的。

对于彩色应用来说，杂光还使彩色的饱和度和下降，影响彩色平衡。

## 杂光的度量与评价

由前述可知，杂光大小随空间物体亮度分布而变化。为了对杂光进行度量，必须明确度量条件。为此，通常选用亮度均匀的无限大漫扩散光源作为物体，放在它一点上的O照度黑体的象的照度与周围象照度之比就定义为杂光系数。这时的杂光量实际上是最大值。

解 O照度黑体及其周围在象方的照度分布如图8所示。镜头象面上一点的照度为正常成象光线照度  $I_n$  和其它非成象光线照度（杂光照度）  $I_f$  之和，由此，杂光系数就定义为

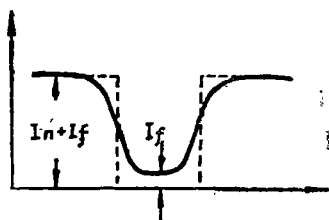


图8 黑体象的照度分布

$$K = \frac{I_f}{I_n + I_f} \times 100\% \quad (1)$$

一般地，对实际镜头来说  $I_f \ll I_n$ ，故也可用

$$K = \frac{I_f}{I_n} \times 100\% \quad (2)$$

来代替(1)式。

杂光系数受很多因素影响。即使是同一型式的镜头，它亦随着表面清洁度，工作不

同及其它条件而变化。一般来说，它是视场角和光圈数的函数。

关于杂光系数的实际允许值，龙冈静夫假设物体的明部和暗度亮度比为10:1，平均亮度取其几何平均值，从理论上进行了计算，得出了一个3%的允限（参看<sup>[1]</sup>）。这个结果有很大的人为因素，而且仅考虑了对高对比目标的影响。实际上杂光主要是影响低对比目标，使层次减少。

为了规定杂光系数的实际允许值，切实可行的办法是，选择一批镜头，在标准条件

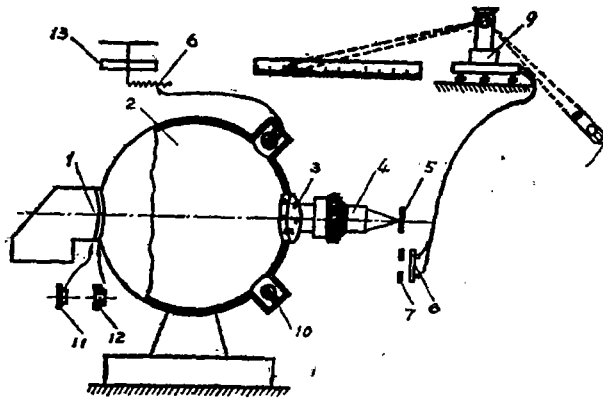
下测得其杂光系数，然后实拍，进行视觉实验，以求得所允许的值。根据目前我们所集累的资料来看，优良的照相物镜包括各种变焦距镜头，在常用孔径（如F5.6）上的杂光系数应小于3%，一般地都应小于5%。

### 杂光系数测量装置的初步分析

这里对几种测量装置略加介绍并进行一些分析。

#### 1. НОВИК 的装置。

该装置的原理图如图9所示。



1. 黑体 2. 积分球 3. 准直物镜 4. 被测镜头 5. 毛玻璃  
6. 变阻器 7. 小孔 8. 晒光电池 9. 检流计 10. 白炽灯  
11. 白靶 12. 带有各种直径的孔的目标板 13. 电压表

图9 НОВИК 装置的原理图

该装置用直径1米的积分球作为亮背景，由8×127伏40瓦白炽灯照明。对应于被测物镜不同的焦距，备有不同的黑目标孔。为了测量长焦距物镜的杂光系数，备有一准直物镜。它可以对 $f' = 18 \sim 1000$ 毫米的镜头，测量其轴上和轴外的杂光系数。

这种装置有两个基本问题。一是由于准直物镜的影响，所测结果并不是被测系统的真实结果，而是准直物镜和被测系统的综合结果，这必将造成大的误差。二是测量轴外杂光系数时，必须将镜头转过一个角度。这样对一半视场而言，目标不是无限大了，而且接收孔面与真实象面相差一个角度。这种影响是不能忽略的。

#### 2. 龙冈的装置。

原理图如图10所示。它是以太东大学物理学部小穴研究室中的装置为原型而设计成的。该装置采用直径1米的积分球，切去约1/3，用6×150瓦氙光灯(3000°K)照明。人工

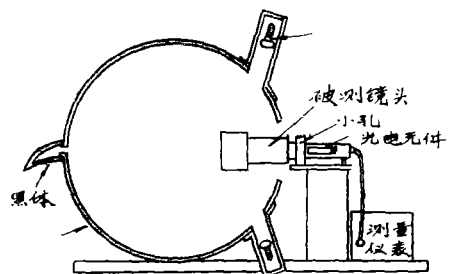


图10 龙冈装置的原理

黑体做成牛角状，反射率约0.08%，对被测镜头张角为1°，为了测量轴外杂光系数，从镜头光轴开始，每隔5°张角放置一个黑体，共有9个。

其光电测光器接收小孔为0.1毫米和0.2毫米两种，表面粘有黑天鹅绒，以减小受光面反射的影响。

用这种装置测量轴外杂光系数时，轴外和轴上测量平面不是一个，必须相应地后退。因此所得杂光系数并不表示它真实象面上的结果。

### 3. 仁藤忠芳的装置

该装置的原理图如图11。

它使用直径1.5米的积分球作为亮度均匀的无限大面扩散光源，采用牛角状玻璃管涂黑作为人工黑体，直径30mm。为了测量轴外杂光系数，向右每3°，向左每5°放一个黑体，共有15个排列在一水平弧线上。

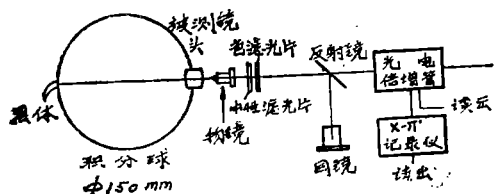


图11 仁藤装置的原理图

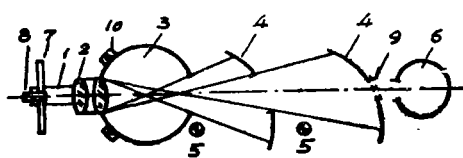
为了便于测量，它配备有目视观测系统。红、绿、兰三色滤光片和中性密度滤光片，采用切换方式进行更换。

该装置采用连续扫描的方式求出杂光系数，免除了更换白板和黑目标的操作，这是可取之处。但其轴外测量与龙冈装置同样，有不可克服的局限性。

### 4. 关于测量杂光系数的其它方案。

J.H.Mcleod<sup>[16]</sup> 用黑窄条代替黑斑，基本原理仍然相同。

为了测量长焦距物镜的杂光系数，Нужин, В.С<sup>[17]</sup> 描述了一种使用积分球加球截来加大积分球等效直径的方法。但这只是一种近似，实际上测量平面不是真实象面，其原理图如图12所示。



1. 转杆 2. 被测物镜 3. 积分球 4. 球截  
5. 光源 6. 黑体 7. 横尺 8. 光接收器  
9. 白板 10. 光源

图12 Нужин测长焦距镜头杂光系数装置的原理图

上述装置通常称为黑斑法。

S.Martin和B.J.Brewer 等人，认为黑斑法缺点很多：1) 没有基本意义。因为所测杂光系数的数值取决于实验装置特定的几何形状，再现性受亮场、黑体和接收孔大小的影响；2) 不易正确进行比较；3) 实验条件与使用条件十分不相同，不能满意地预言使用效果；4) 判断杂光源有困难；5) 黑体有照度等。他们提出小光源法 (The elementary source method)。为了评价杂光，他们还引入杂光扩散函数(g.s.f.)的概念。这种方法目前仍处于探索阶段。

## 关于杂光系数测量标准化的几点看法

由上述分析可以知道，目前得到普遍应用的仍是黑斑法。这种装置大致由：积分球装置、镜头夹持器、光电测光器、显示和记录仪器及支撑导轨等组成。

为了达到杂光系数测量标准化，必须保证以下几点：

1. 合理选择积分球的直径，使其满足被测物镜近摄距离的要求，以保证在真实象面上进行测量。

2. 合理选定黑体和接收小孔尺寸。关于这一点可有以下几种方案：

1) 根据被测物镜的种类和参数，详细规定黑体尺寸与接收孔尺寸。而不用“大约”、“以上”这种字眼；

2) 固定黑体或接收孔的尺寸，而规定

另一个的大小；

3) 将黑体尺寸和接收孔尺寸固定。

否则，尽管仪器原理相同，但测试结果将会差别很大。对此必须进一步加以探讨。

另外，关于轴外杂光系数的测量，由前所述可知，几种方案都有不可克服的局限性，所测杂光系数并不表征真实象面上的情况，完全可以不测，仅由轴上杂光系数给出一种度量即可。

### 参 考 文 献

(1) 龙冈静夫：テレビカメラ用レンズの光学性能の評価および測定。

NHK 技术研究 Vol.20 No.5 p.321 (1968)

(2) G. Kuwabara  
On the Flare of Lenses.

J.O.S.A. Vol.43 No.1 p.53 (1953)

(3) Ф.С.Новик, Л.М.Голотова  
Об измерении коэффициента светорассеяния киносъёмочных объектив.

Т.К. И.Т. 1960. 8. стр.48.

(4) 关于变焦距镜头测试的一些问题  
电影光学 1974. No.3 54页

(5) 龙冈静夫  
写真レンズのフレア

应用物理 35卷 9期 649页

(6) K. Rosehauer and K. Rosenbruch

Flare and Optical Transfer Function.

Appl. Opt. Vol.7 No.2 p.283—287 (1968)

(7) Syuitsu Matsuda and Jadayoshi Nitoh

Flare as Applied to photographic lens.  
Appl. Opt. 1972. P.1850.

(8) 仁藤忠芳  
レンズのフレアについて

光学技術コンタクト 1972 No.4 P.17.

(9) G. Smith.

Veiling glare due to reflections from component surfaces: The paraxial approximation.

Opt. Act. Vol.18 No.11 p.815—827 (1971)

(10) 中村泰博

電算機によるレンズゴーストシミュレーション.

光学技術コンタクト. Vol.13 No.2 p.18 (1975)

(11) S. Martin

Glare characteristics of lenses and optical instruments in the visible region.

Opt. Act. Vol.19 No.6 p.499—513 (1972)

(12) R. J. Brewer

The measurement of veiling glare.

Opt. Act. Vol.19 No.6 p.547—548 (1972)

(13) 横田英嗣

マルチコーティングの今後

写真工業 1973. No.12 p.35—44.

(14) F. W. Rosberry

The performance of lenses made from inhomogeneous glasses.

Appl. Opt. 1965 p.21—24.

(15) 龙冈静夫

写真レンズのフレア

光学技術コンタクト 1971. No.12. p.17.

(16) J. H. McLeod

A Method for measuring veiling glare.

J. O. S. A. 1955 p.402.

(17) Нужин, В. С

Определение светорассеяния длиннофокусного объектива.

О. М. П. 1968. No.3. стр.8.