

提高杂光系数测量用积分球装置中 照明均匀性的理论分析与实验

刘瑞祥

摘要: 本文从积分球的基本理论出发, 作一些简化和近似, 分析了改进杂光系数与像面照度分布测量用积分球装置照明均匀性的途径, 并结合研制 ZG-2 型杂光测定仪的具体实践, 进行了实验和讨论。结果表明, 使照明光源朗伯化是最重要的解决办法。由此, 在直径 1.6m 的积分球内, 半球上面的亮度均匀性偏差可小于 $\pm 3\%$, 远优于国际标准草案的要求。

一、引 言

无论是在用黑斑法测量照相物镜的杂光系数, 还是用扫描法测量照相物镜的像面照度分布时, 通常都采用积分球作为亮度均匀的无限大面扩展光源^{[1]、[2]}, 并且对它的均匀性提出了要求^{[3]、[4]}。我们曾经对这个问题做过一些探讨^[5]。在本文中, 我们将由积分球理论出发, 作一些简化和近似, 分析改进积分球照明均匀性的途径, 并结合 ZG-2 型杂光测定仪研制的实例加以讨论和验证。

二、对积分球亮度均匀性的要求

杂光系数定义为: 放在无限大的亮度均匀的面扩散光源一点上的黑体, 经物镜成像后, 黑体像的照度与其周围像照度之比^[1]。在实际测量中, 不可能得到亮度完全均匀的面扩散光源, 因而一些标准对积分球的照明均匀性作出了规定, 如表 1 所示。

表 1 对积分球亮度均匀性的要求

文 件	视 场 范 围	偏 差 允 量
JOERA Circular 7	全 视 场	$\pm 10\%$
TC-42/WG-12 Working Draft No.2 (Item No.124)	半 视 场	$\pm 5\%$
	全 视 场	$\pm 8\%$
ISO/TC172/SC1/WG1, No.3	全 视 场	$\pm 5\%$

当被测镜头是短焦距镜头时, 它们的视场角比较大, 要达到上述要求, 就必须进行认真的分析讨论, 并采取相应的措施。

一个非自发光面扩散光源，它的亮度 B 与照度 E 之间有如下关系

$$B = \frac{\rho E}{\pi} \quad (1)$$

其中 ρ 为该扩散面的反射系数。将等式两边取对数并微分化简得到

$$\left| \frac{\Delta B}{B} \right| = \left| \frac{\Delta \rho}{\rho} \right| + \left| \frac{\Delta E}{E} \right| \quad (2)$$

由此可见，亮度均匀性偏差完全取决于积分球壁照度的均匀性和球壁各处涂料反射率的均匀性。下面分别对这两者的影响作进一步的讨论。

三、积分球内壁的照度

1. 实际配置

当球的内壁为具有均一反射率的完全扩散面时，就把该球叫做积分球。实际使用积分球作为面扩散光源测量杂光系数时，通常照明光源及相应开口的配置如图1所示。一般多采用四个照明灯，即另外二个灯配置在与纸面相垂直并通过轴 OO' 的截面内。

2. 分析与计算

当讨论上述配置情况下积分球的照明特性时，可以把它简化成图2，分析一个灯照明时引起的不均匀性，进而把结果推广。

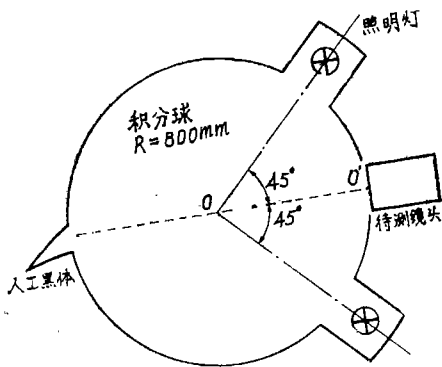


图1 测量近摄距 $\leq 1.6\text{m}$ 镜头杂光系数时的配置图

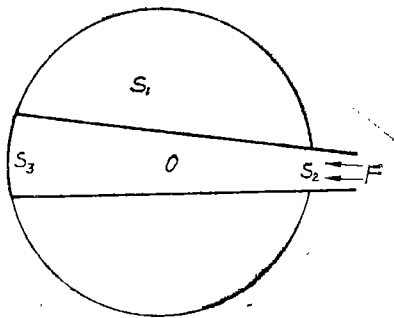


图2 简化后的计算模型

一束光从开口 S_2 射入积分球，它在球壁上的直接照射面积为 S_3 。设球的内表面积为 S_1 ，扣除 S_2 后的实际内表面积为

$$S = S_1 - S_2 = (1 - S_2/S_1)S_1 = (1 - f)S_1 \quad (3)$$

其中 $f = S_2/S_1$ 。

S_3 之外球壁上任一点 P 的照度，应当是由把 S_3 看成一个面光源而引起的直射照度 E_p^0 和多次漫反射照度 E_p^{∞} 相加构成的。

$$E_p = E_p^0 + E_p^{\infty} \quad (4)$$

可以证明^[6],

$$E_p^0 = \frac{\rho F}{4\pi R^2} \quad (5)$$

其中 F 为入射的总光通量, R 为积分球的半径。这说明由 S_3 这个面光源引起的直射照度与位置无关, 故令 $E_p^0 = E_0$ 。而多次漫反射照度 E_p^{Σ} 为

$$E_p^{\Sigma} = \frac{\rho(1-f)E_0}{1-\rho(1-f)} \quad (6)$$

由(4)式, 总照度为

$$\begin{aligned} E &= \left[1 + \frac{\rho(1-f)}{1-\rho(1-f)} \right] E_0 \\ &= \frac{E_0}{1-\rho(1-f)} = \frac{F}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho(1-f)} \end{aligned} \quad (7)$$

由此可以得知, 当反射无穷多次时, 即各处附加照度概率均等时, 如果 $\rho =$ 常数, 上面两项 E_p^0 和 E_p^{Σ} 对各处的贡献是一样的。这时, 照明的不均匀性完全是由光源直射 S_3 的照度所引起的, 设它为 E' , 则 $\Delta E = E'$ 。在 S_3 比较小的情况下, 可以令

$$\Delta E = E' = \frac{F}{S_3} \quad (8)$$

(8) 式简单地说明, S_3 越小, ΔE 将越大, 对照明均匀性的解决越不利。由 (7) 式和 (8) 式可以得到

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{S_1}{S_3} \cdot \frac{1-\rho(1-f)}{\rho} \quad (9)$$

从(9)式可以看出, ρ 增大或者 f 下降对改善均匀性有利。但是一般来说, 如果采用 BaSO_4 作涂料, $\rho \approx 0.95$, 在 ZG-2 杂光测定仪中, $f \approx 1/70$, 即使 $S_1/S_3 = 2$, 这就是说, 照明光源的直射面积为半球, 简单计算后就可以知道, 这时 $\Delta E/E \approx 13\%$ 。更何况, S_3 变大后, 这种直射光照度本身又将是 非常不均匀的。按图 3 所示那样, 实际测量一个 12V50W 卤钨灯沿半径 $R = 800\text{mm}$ 的圆周上的照度变化情况如表 2 所示。

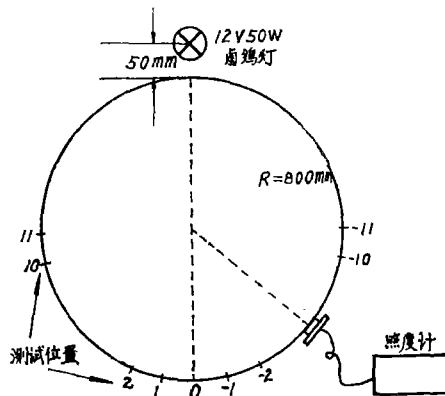


图 3 卤钨灯沿球面照度分布测量示意图

几
四

表 2 12V50W 卤钨灯在半球面上形成的照度

位 置	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E' (lx)	99	86	78	79	72	56	45	42	47	57	63	72
位 置	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
E' (lx)	98	90	71	64	55	47	48	58	63	65	63	63

表 2 中的数据表明,这时的照度不均匀性是很大的。实际经验也表明,如果使几个灯直射积分球壁,则肉眼就易观察到互相交织的明暗变化。无论如何,这种直射光的影响是必须采用合理的办法来尽量减小的。

3. 圆板光源所形成的照度^[7]

半径为 r 的亮度均匀的完全扩散圆板光源 AB 在距其中心为 d 处的 P 点所成的照度为

$$E = L\pi\sin^2\theta \text{ [lx]} \tag{10}$$

其中 L 为圆板光源的亮度,单位是 $[\text{cd}/\text{m}^2]$ 。

如果过圆板 AB 和 P 点作一球 (图 4),那么在 P' 点处垂直于 OP' 的面内的照度等于在 P 点处的照度。

圆板光源的这种性质为我们提高积分球照明均匀性问题提供了有力的途径。这就是说,如果能把照明光源改造成完全扩散面光源,则其直射所形成的照度各处相同,这就排除了 S_3 区域内外之间的差别。在具体的实验装置中,如果把灯室内壁喷涂与球壁相同的涂料,并且在出光口处加上毛玻璃进行散射,那么它就可以近似地被认为是一个透射式面扩散光源。

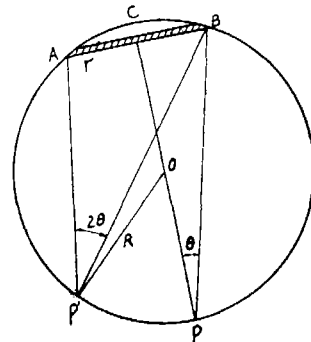


图 4 圆板光源轴外点的照度

四、 ρ 的均一性问题

在上面的讨论中认为 $\rho = \text{常数}$ 。实际上,当涂料选定之后, ρ 还与涂料的颗粒度,涂层的厚度等有关,这需从工艺上加以控制,以便把 $\Delta\rho/\rho$ 尽量减小,譬如说 $\pm 2\%$ 以下。

五、积分球亮度偏差的实测结果

在研制 ZG-2 杂光测定仪中,积分球直径 $2R = 1.6\text{m}$,应用上述一些要点进行了处理。用亮度计对球壁上每隔 5° 进行抽样检查,复盖 $\pm 35^\circ$ 视场角时, $|\Delta B/B|_{\text{max}} = 2.75\%$ 。同时,用照度计测量了积分球出口处不同位置上的照度,其均匀性偏差为 $\pm 0.3\%$ 。

六、结 语

本文从积分球的一些基本理论出发,分析了提高积分球亮度均匀性的途径。实验结果证

明了这些途径是有效的。由此可以得出结论，为了保证积分球照明的均匀性，除了采用高反射率、扩散性好的涂料，尽量减小积分球上的窗口，最主要的还是要采用透射式朗伯光源一类的照明光源。采用这些措施后，积分球的照明均匀性将得到根本性的改善。

文中的积分球亮度偏差的实测结果，是由余景地、吴东海等人测得的，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞祥，“杂光系数及其测量”，《光学机械》，1977，5，11—16.
- [2] American Standard“*Distribution of Illuminance Over the Field of a Photographic Objective or Projection Lens*”.
- [3] JOERA Circular 7;“写真レンズのフレア率の測定方法”.
- [4] TC42/WG12、“*Draft proposal for ISO standard on measurement of veiling glare index of photographic objectiveo*”, 1979.
- [5] 刘瑞祥，“杂光系数测量装置的改进与测试条件标准化的探讨”，《光学机械》，1981年，3.
- [6] 胡维生等，“绝对光谱漫反射比的测量和反射色标准”，1978年，10月.
- [7] 久保田 広等，《光学技術ハンドブック》，328.

Theoretical Analyses and Experiments for Improving Uniformity of Illuminance of Integrating Sphere Used for the Measurement of Veiling Glare Index

Liu Ruixiang

Abstract

Using certain simplification and approximation, this paper analyses the measures for improving [the uniformity of illuminance of integrating sphere used for the measurement of veiling glare index (VGI) and light distribution] over the field of photographic objectives from the basic theories about the integrating sphere. Experiments and discussions are presented in combination with the development of ZG-2 VGI measurement instrument. It has been shown that the key may of improving the uniformity is to make use of a Lambertian-like source as the illuminance source. By careful consideration and approaches the deviation in the uniformity over half of an integrating sphere of diameter of 1,6 meter can be less than ± 3 percent which is much better than the requirement of draft proposal for ISO standard.