

透镜散射光的检测

引言

光学元件的散射光，在光学元件以成象为目的的应用中，造成亮度的翳晦区，它叠加于图象，并使微弱细部的识别和测量受到了干扰。这种散射光的来源可能出自所用的原材料，例如磷酸盐玻璃中的气泡；在光的各向异性的玻璃中可能出现的相位分离和微晶结构；还有在很多塑料中，由于聚合过程不同而出现的不均匀性。

此外，光学元件表面的光泽或是压铸一聚合成型件表面的光泽也有很大的影响；还有，由于加在原材料中某些未溶的色素也易产生散射光。

究竟散射光产生多大的干扰和影响，取决于采用什么光学元件。因此，无论是允许的极限值还是所考虑的角度范围均是可以变化的。

散射光的测量方法

为了测量散射光，通常适当的办法是根据使用情况控制角度范围，然而，事实上大多是用一个乌比利希球或是等值的方法进行测量，其中，把 4° 以下范围的光当作非散射光，而把 $4^\circ-90^\circ$ 之间的光当作散射光来测量。在这种情况下，极限角定的并不精确，在 25° 到 7° 范围内，分别根据试样上的出射点得到不同的散射光。

这种方法的优点是十分简便；缺点是在大多数的使用情况测量值的精确度不够。

不论目的在于成象光学还是在于目视光学，多数情况为大角度范围散射光的干扰程度，小于小角度范围散射光的干扰程度。从

人们的经验中得知，汽车上的挡风玻璃如果很脏，它所产生的散射光在白天一般还可宽容，而在夜间，当一辆迎面而来的车灯方向与相对观察的方向形成一个很小的夹角时，这种散射就变得不可容忍，并有导致肇事的危险。

这种情况在熔焊时特别明显，除了亮度高出很多个数量级的弧光之外，还可看到亮度较差的焊缝的熔化。

基于这一原因，西德标准规定测量 1.5° 到 2° 之间的散射光。测量装置(4)的结构和光路图见图1所示。平行光经过试样 P (或滤光片)并由凹面反射镜 H_2 使其聚焦在 B_n-B_L 平面。散射光从中心点的旁侧入射，旁侧距离等于散射角切线与焦距 H_2 的乘积。环形光栏放在适当位置，只能让散射光在 ω 角为 1.5° 至 2° 的范围通过。

采用这种方法时，反射亮度系数由下式得出

$$l^* = \frac{L}{\tau \cdot E} \dots \dots \dots (2)$$

测出的结果为滤光片后面散射光 L 的亮度和照度 $\tau \cdot E$ 的商 (τ 为滤光片的透射率)

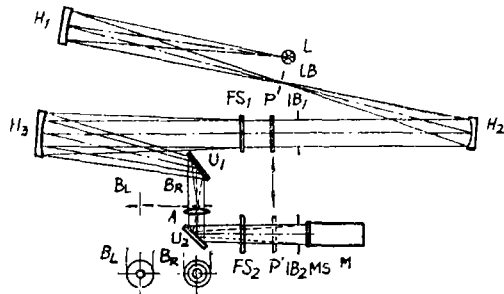


图1 无西德标准4646 第二部分所指的作用，对试件散射光测量的光路图解

L 高压汞灯，使用这种灯可能伴随出现滤光

片的荧光,但据经验,这种荧光较小,可以忽略不计;

H_1, H_2, H_3 表面反射镜
 U_1, U_2

A 镀膜的消色差透镜

IB_1, IB_2 虹形光栏

M 适于 $V(\lambda)$ 带有调制盘 MS 的光电倍增管

LB, B_L 孔状光栏

B_R 环形光栏,用此光栏定义空间角,

P, P' 被测件

FS_1, FS_2 衰减滤光片架

测量时,首先将试样置于平行光束 P 的位置,并插进孔状光栏 B_L 。射于接收器的光通量 Φ_{1L} 与经过滤光片的光成比例,并因此而与 $\tau \cdot E$ 成比例,随后用环形光栏代替孔状光栏,射于接收器上的光通量 Φ_{1R} 与在空间角 ω 范围来自滤光片和孔径的总的散射光相一致。接着,把试样放在 P' 的位置,这时接收器上的光通量 Φ_{2R} 与通过孔径而引起的散射光相适应。 $\Phi_{1R} - \Phi_{2R}$ 的差与 ωL 成比例,因此,返回的发光系数 I^* 对所包括的空间角来说,按下式产生于上面提到的光通量:

$$I^* = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\Phi_{1R} - \Phi_{2R}}{\Phi_{1L}} \dots \dots \dots (3)$$

这种测量方法是利用了入射圆孔光栏 LB 与凹面反射镜 H_3 在光栏平面的成象,因此不适用于透镜散射光的测量。透镜也许可能使得图象模糊,也可能引起原来没有的散射光,为了能够测量出这些情况,人们必须将试样的折射率加以补偿,这样,也许会产生一些困难,即补偿透镜的散射光必须是已知的,而且两块试样之间的中间反射可能存在误差。

透镜的折射率为正值时,可以去掉凹面反射镜 H_3 并利用透镜本身聚焦,但这样就使必须使环形孔径 B_R 的直径与通常试样的焦距相匹配。

对测量具有折射效应的透镜和眼镜片另外一个问题是在测量位置上棱镜作用,它会造成光栏平面图象偏移。由于上述原因,为了对这种试样进行测量,必须研究一种新

结构的测量装置。

新的方法

测量时应掌握的角度范围必须保持在 $1.5^\circ - 2^\circ$, 结果,就必须缩小新的结构中测量场的直径。测量原理和参考文献[4]中所述相同。图二中指出光路图,一个氦·氖激光器的光束,射到试样被测的位置 P , 该试样的放置可以围绕光轴旋转,根据测量位置的棱镜作用光束发生偏折。由于在试样上的散射,围绕着偏振的但无散射的光束形成了一个散射锥体,距离试样中心40厘米的地方,有所选择地放置环形或孔状光栏,然后,消色差透镜 A ($f = 200$ 毫米) 使试样中心部分成象在接收器上 S 上,带有光栏、消色差透镜和接收器的测量装置的第二部分是可以转动的,旋转轴通过试样的中心(近似于试样的主切位置),用这种办法来达到:偏振的中心光束传输,在 ± 33 厘米/分的旋转范围内,不论被测位置上试件棱镜作用如何,始终平行于检测装置的光轴,因为试样本身的放置是可以围绕光轴转动,所以棱镜的偏折往往处于转动的平面之内。

受环形光栏控制角度范围适于在 $1.5^\circ - 2^\circ$ 的标准范围。由于把试样距环形光栏的距离提高到400毫米,那么,在以 $f = 300$ 毫米 (H_3) 的正常方法耐用的环形光栏直径是15.75毫米和21毫米;相对于此,现在用的环形光栏直径则是21毫米和28毫米。

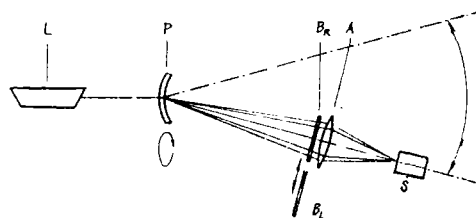


图2 按西德标准4646 第二部分的作用检测试样散射光测量装置的光路图
 图中 L —HeNe 激光器, P —试样, B_R —环形光栏, B_L —孔状光栏, A —消色差透镜。
 S —辐射接收器

误差的观察

与图1表示的那种仪器相比较,这种装置不能精确地使极限角保持在 $1.5^\circ-2^\circ$,因为,其一缺少适合于 H_3 的成象要素,其二,激光光束有一个终端直径和—发散度。此外,试件 P 由于透镜作用使光束扩展。激光束的直径 d 在上述情况为0.9毫米,发散角 $\nu=1$ 毫弧度。如果试件后顶点屈光度为 S ,它与光栏平面的距离为 a ,那么,光束在光栏面上的直径 D 计为:

$$D = d + a(\nu - d \cdot S) \dots\dots\dots(4)$$

后顶点屈光度为正值试件,基于其聚焦效应,首先使得光束直径缩小,它以负值在 $d \cdot S$ 之前表示。如果光束扩展度超过了光栏环形宽度,也就是说, $D > 7$ 毫米的时候,得到的将是由于光束扩展而引起的测量结果明显的错误。这一条件允许试样折射效应限制在 $+20.75$ 至 -14.25 屈光度(dpt)之间。而这一范围全部包括了普通眼镜玻璃的范围。

只有当人们知道散射光的角度分布,才可能准确鉴定误差。这与材料和被测件的加工有关。如果事先未知特别情况,则首先以朗伯分布作为基础。这一点应当用于误差的鉴别。然后,下式适用于辐射通量 $d^2\phi$,它是由 dF^1 接收面(等于极坐标上 $2\pi a^2 \sin\theta d\theta$)与光源面 dF (光密度为 L)距离为 a ,又与光源法线成 θ 角度的情况下测出的:

$$\frac{d^2\phi}{dF} = L \cdot \cos\theta \frac{dF^1}{a^2} \dots\dots\dots(5)$$

特殊的辐射 M (等于均匀光源的 $\frac{d\phi}{dF}$ 或 $\frac{\phi}{F}$)处于角度 θ_1 和 θ_2 之间的环形内,则为:

$$M = L \cdot 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta \cdot \cos\theta d\theta \dots\dots\dots(6)$$

$$M = -L \cdot \pi(\cos^2\theta_2 - \cos^2\theta_1) \dots\dots\dots(7)$$

因为是在上述 $1.5^\circ-2^\circ$ 环形光栏方法

中所列,所以产生:

$$M = 1.674 \cdot 10^{-3} \cdot L \dots\dots\dots(8)$$

在应用凹面反射镜 H_3 的情况下, $1.5^\circ-2^\circ$ 的角度范围包括了试样的所有范围。

如无凹面反射镜 H_3 ,则必须要照顾到测量光束的直径和由于试样折射效应所产生的发散度。

与光轴距离为 r 、穿过试样的一束光,在光栏平面的轴距(见4式)为:

$$R = r - ar \cdot S \dots\dots\dots(9)$$

这样所产生的影响,好像是试样的散射分布围绕

$$\theta_0 = \frac{r}{a} - r \cdot S \dots\dots\dots(10)$$

而移动。现在人们以 $dF = 2\pi dr$ 和 $r_0 = d/2$ 从(5)式得出

$$\phi = 4\pi^2 L \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_0^{r_0} \cos(\theta + \theta_0) \sin\theta r dr d\theta \dots\dots\dots(11)$$

$$\phi = 4\pi^2 L \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_0^{r_0} \left(\cos\theta \cos\left(\frac{r}{a} - r \cdot S\right) - \sin\theta \sin\left(\frac{r}{a} - r \cdot S\right) \right) \sin\theta r dr d\theta \dots\dots\dots(12)$$

在上述 $D=7$ 毫米的极限情况下, $\frac{r}{a} - r \cdot S = 1.75 \cdot 10^{-2} \ll 1$,而人们可以将角函数展开并加以积分:

$$\phi = 4\pi^2 L \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{r_0^2}{2} \cos\theta - \sin\theta \left(\frac{r_0^3}{3a} - \frac{r_0^3}{3} S \right) \right) \sin\theta d\theta \dots\dots\dots(13)$$

假如用光源面 $r_0^2 \pi$ 去除并与(6)式比较,则可看到,第一项和特殊辐射 $M = \phi / \pi r_0^2$ 一样,而第二项产生了误差 ΔM :

$$\Delta M = \frac{2}{3} \pi L \left(\frac{r_0}{a} - r_0 S \right) (\sin\theta_1 \cos\theta_1 - \sin\theta_2 \cos\theta_2 + \theta_2 - \theta_1) \dots\dots\dots(14)$$

又因为 $\theta_1, \theta_2 \ll 1$, $\sin\theta \cdot \cos\theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$

下转49页

率,其余部分(从反射结果来看)在偏振器部分被吸收。

如果通过变数 V_k 使方程式(10)适合于图3的曲线簇,那么,则得 $V_k = 8.2$ 度。在协调一致情况下,这时按方程(8)利用表中调制部分的特性数据算得, $V_k = 8.1$ 度。

表1 调制电路几部分的特性数据

玻璃棒:	
玻璃种类	SF57/NS5K
费尔德常数($\lambda = 514.5nm$)	$\omega = 4.28 \cdot 10^{-5}$ 度/1
长度	$L = 200mm$
直径	8 mm
线圈:	
线圈层数	$K = 26$
每层匝数	$N = 190$
CuI导线的直径	$d = 1mm$
线圈体的长度	$l = 200mm$
线圈体的半径	$a = 5mm$
直流电阻	$R_{sp} = 12.71\Omega$
调制电子学系统	
电压放大	$V = 69.3$
比较仪的标称电压	$U_s = 7.75V$
最大输出电流	$I_{max} = \pm 2.5A$

利用一台氩离子激光器(它的输出功率已经过内部调制,稳定在 $\pm 0.5\%$)在长时间的实验中表明,应用法拉第调制器可使测量平面的辐射功率在 $\varphi_0 = 70^\circ$ 的情况下,相对稳定在每小时 $1 \cdot 10^{-1}$ 。此外,还可以肯定,调制电路具有一种很好的自身稳定性。这样,就使得提高专用情况下功率放大器的放大电压 V 具有实际意义。用 He-Ne 激光器($\lambda = 632.8nm$)作试验,(它的输出功率未经调制时,稳定在每小时 $\pm 2\%$)经过调制在放大 $V = 800$ 之后,稳定性达到每小时 $\pm 3 \cdot 10^{-1}$,这时工作角为 $\varphi_0 = 20^\circ$,这样,还有测量面上80%的激光器的输出功率可供使用。

参考文献见原文

译自“Optik”52(1978/79) No.2 167—173

[大舟 译 李景阳 校]

[上接45页]

$$AM = \frac{4}{9} \pi L (\theta_2^3 - \theta_1^3) \left(\frac{r_0}{a} - r_0 S \right) \dots \dots \dots (15)$$

如果代入上列选择数值,则产生约5%的最大相对误差,在出现最为经常 ± 6 屈光度的镜片玻璃中,最大误差甚至仅有2%。此外,如果散射光是已知的话,可以考虑计算这一误差。

与西德标准规定方法的比较

为了证实这些计算,用标准方法和本文

描述的方法测量了一系列无折射效应玻璃的散射光,二者区别一般情况只有百分之几,最大的区别在于检测试样中的非均匀性。在非均匀试样中可能产生差别,因为标准方法平均通过较大的测量场。

使用 HeNe 激光器代替标准方法中所使用的高压氙灯,不会因此而产生显著的差别,因为实际中出现试样的散射,没有严格的波长相关性。

译自 Optik 50(1978) No4 297—304

(大舟 译)