

可得到: $\delta A = 2 \times 10^{-4}$ 度。上式可提供提高测量精度的途径。事实上, 研制成的椭圆偏仪部分参数优于上述估计值。

用 Zernike 多项式计算湍流介质的光学品质

吴宝根 杨仕润

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

流动化学激光器在光腔区内的湍流混合, 激光介质折射率有序和无规则涨落引起输出光束品质的退化。有序扰动的贡献使远场峰值强度降低和发散角变大, 而无规则的随机扰动还使光束抖动和焦点前后移动。用平均 Strehl 比来评价这种介质的光学品质, 它定义为平均远场分布的极大值与相同孔径均匀平面波的远场峰值之比。用足够短的脉冲曝光干涉仪测出光通过介质引起的瞬时近场相位分布

$$\phi(x, y, t) = k \int_0^L [n(x, y, z, t) - n_0] dz \quad (1)$$

若介质无吸收, 则由 Fraunhofer 积分可计算出这场分布。

$$I(x_0, y_0, t) = \frac{A_0^2}{\lambda^2 F^2} \left| \iint e^{i\phi(x, y, t)} \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda F} (xx_0 + yy_0) \right] dx dy \right|^2 \quad (2)$$

对多幅干涉图进行处理, 代入 (2) 式求出瞬时远场分布, 然后再平均

$$\overline{I(x_0, y_0)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x_0, y_0, t_i) \quad (3)$$

由定义, 平均 Strehl 比为

$$\overline{S}_r = \frac{1}{\pi^2} \left[\overline{I(x_0, y_0)} \right]_{\max} \quad (4)$$

处理一幅干涉图约 15 分钟, 计算 (2) 约三小时, 这显然是一件十分费时的工作。

我们用 Zernike 多项式拟合每一瞬时测得的相位数据

$$\varphi(x, y, t_i) = \sum_{j=1}^{55} A_j(t_i) Z_j \quad (5)$$

Z_j 是 Zernike 多项式, 它是单位圆上正交的完全多项式组。由位移定理, 去掉前四项而不影响远场峰值强度大小。对不同时刻的 A_2 、 A_3 、 A_4 求平均, 可以给出平均倾斜角的 x, y 分量和散焦项, 以此作为最可几参考球, 并认为平均的最大峰值强度就在该参考球心上。以此参考球, 重新计算原来以平面度为参考的相位差数据, 得到新的相位差

$$\varphi'(x, y, t_i) = \sum_{j=2}^4 \left[A_j(t_i) - \overline{A_j} \right] Z_j + \sum_{j=5}^{55} A_j(t_i) Z_j \quad (6)$$

这里已去掉 Piston 项。因假定极大值已在焦点, 因此只需代入 Debye 积分

$$\overline{S}_r = \frac{1}{\pi^2} \left| \iint \exp[i\varphi'(x, y, t_i)] p dp d\theta \right|^2 \quad (6)$$

我们对八幅干涉图, 代表两种不同波象差数据, 用上述两种方法计算结果如表: 结果表明, 两种算法结果基本一致。第二种算法并未假定小象差, 误差可能来源于统计样本数目太少。由于第二种算法只需二秒钟, 对大量干涉图处理, 显然是很可取的。

	Fraunhofer 积分 平均strehl比	Debye积分 平均strehl比	最大值所在 方位角	平均最可几 方位角
小象差	0.9553	0.9553	$\theta_x = 0.05$ $\theta_y = -0.11$	$\bar{\theta}_x = 0.0508$ $\bar{\theta}_y = 0.1144$
大象差	0.5915	0.5764	$\theta_x = 0.2$ $\theta_y = 0.4$	$\bar{\theta}_x = 0.1832$ $\bar{\theta}_y = -0.3827$

掠入射光栅谱仪中的超环面镜对线状X光光源诊断的影响

任 军 章辉煌 林尊琪

(中国科学院上海光机所高功率激光物理实验室, 201800)

在当前开展的实验室软X光激光研究中,一些实验室采用超环面镜作为X光光学的中继系统,把线状等离子体X光光源发射的X光耦合到X光增益和能量测量的主要诊断工具——掠入射光栅谱仪中。该系统在测量小尺寸点源时可对设定的波长消除像散。然而,在X光激光增益测量中,由于沿系统轴向放置的线源上的长度小元 Δe 大部分处于离焦状态,因此将使接收底片上的黑密度响应偏离线性,并将使系统实际空间分辨能力下降。有关现象曾被有些实验发现。

本文首次通过计算机的模拟计算,定量估算了该系统用于线状X光光源发射强度相对测量和源截面空间分辨测量时造成强度响应非线性及空间分辨能力下降的结果。

X光由系统聚焦工作时的源点发射,经超环面镜、狭缝、凹面光栅,在狭缝、光栅所处的罗兰圆上成像,狭缝平面与聚焦工作时超环面镜的子午焦面重合。子午像为一长短轴不同的椭圆轨迹线的集合。在无光栅时,将在像点成一弧矢像。

显然,离焦源点将形成新的子午像和弧矢像,其子午像在狭缝光阑处将有更多一部分的能流被阻挡,从而造成系统有效光通量的减少,减少的程度将随狭缝的变狭和高焦的增加而变大。经过光阑后的X光将在新的成像点成一新的弧矢像,在底片上造成发散。因此,一方面底片接收到的X光信号强度降低,另一方面导致系统实际空间分辨能力的下降。

由于一般认为点源聚焦状态下系统空间分辨率好于 $50\mu\text{m}$,因此在计算过程中,取这一空间分辨基元宽度为线源截面宽度。在像面上,鉴于实际数据处理过程中黑密度读数通常只取系统源空间可分辨的宽度,故底片上只有中间有一宽度内的部分才是有效的。计算中以两组不同接收立体角的系统参数作为比较。另外,由于忽略了衍射效应,故计算过程中采用了几何光学近似。

计算结果表明,首先,对于一定长度 $\Delta s = 0.4\text{mm}$ 的光源,它到焦点距离的不同,将在接收面上产生非线性响应,非线性几乎正比于它们的有效集光立体角。因此减小超环面镜系统的集光立体角是减小非线性响应的有效途径之一。

其次,随着光源高度的增加,使狭缝所能截取的X光能流范围扩大,导致有效水平集光立体角和系统集光立体角增大,使系统轴向离焦线性工作范围减小,从而加大了系统响应的非线性程度。

最后,通过对物空间焦点附近各种线源长度在底片上形成的有效能量积分的计算表