

正弦类高斯光束通过硬边光阑的衍射损耗^{*}

王喜庆 柯尊平

(西南交通大学应用物理系,成都,610031)

吕百达^{**}

(四川大学激光物理与激光化学研究所,成都,610064)

摘要: 对新型光束——正弦高斯光束、余弦高斯光束通过硬边光阑时的功率损耗作了详细的计算。比较和分析了计算结果,并对调制参数的影响进行了讨论。

关键词: 正弦高斯光束 余弦高斯光束 硬边光阑 衍射损耗 调制参数

Losses of sinusoidal-Gaussian beams propagating through a hard aperture

Wang Xiqing, Ke Zunping

(Department of Applied Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

L ÜBaida

(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract: In this paper, the losses of novel sine-Gaussian and cosine-Gaussian beams propagating through a hard aperture are calculated in detail. The results are analyzed and compared. The effect of modulation parameter is discussed.

Key words: sine-Gaussian beam cosine-Gaussian beam hard aperture diffraction loss modulation parameter

引 言

近年来,光束的描述和传输变换研究工作取得了新的进展。Casperson 等人对波动方程在直角坐标系下另一类新的特解——正弦类厄米高斯光束进行了系统的研究^[1~3]。作者对作为正弦类厄米高斯光束的特例——正弦高斯(SG)光束和余弦高斯(CG)光束通过硬边光阑时因孔径的限制而产生的衍射损耗作了计算,给出了一般的计算公式,并对矩形光阑的情况进行了数值计算和比较分析,对调制参数对正弦和余弦高斯光束的影响进行了讨论。我们所用方法和有关结果对光束的整形、滤波时的损耗计算有实际意义。

1 理论分析

在笛卡尔坐标下,正弦高斯光束在 $z=0$ 平面的场分布为:

$$E_s(x, y, 0) = A \exp(-x^2/w_0^2) \exp(-y^2/w_0^2) \sin(k_0 x) \sin(k_0 y) \quad (1)$$

* 西南交通大学科学研究基金资助。

** 西南交通大学客座教授。

其光强为: $I_s(x, y, 0) = A_0 \sin^2(\alpha_0 x) \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2/w_0^2) \exp(-2y^2/w_0^2)$ (2)

余弦高斯光束 $z=0$ 平面处的场分布和光强分别为:

$$E_c(x, y, 0) = A \exp(-x^2/w_0^2) \exp(-y^2/w_0^2) \cos(\alpha_0 x) \cos(\alpha_0 y) \quad (3)$$

$$I_c(x, y, 0) = A_0 \cos^2(\alpha_0 x) \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2/w_0^2) \exp(-2y^2/w_0^2) \quad (4)$$

式中, A_0 为归一化常数, w_0 为高斯光束的束腰宽度。

引入归一化坐标 $x = x/w_0, y = y/w_0$ 和 $\alpha_0 = \alpha_0 w_0$, 则(2)式, (4)式变为:

$$I_s(x, y, 0) = A_0 \sin^2(\alpha_0 x) \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) \quad (5)$$

$$I_c(x, y, 0) = A_0 \cos^2(\alpha_0 x) \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) \quad (6)$$

参数对正弦高斯光束或余弦高斯光束主要起调制作用, 可称为调制参数。由(5)式, (6)式所描述的正弦高斯光束、余弦高斯光束通过任意形状的硬边光阑时, 功率透过率 T_s 及 T_c 分别为:

$$T_s = \frac{\iint_S \sin^2(\alpha_0 x) \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy}{\iint_{S_0} \sin^2(\alpha_0 x) \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy} \quad (7)$$

$$T_c = \frac{\iint_S \cos^2(\alpha_0 x) \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy}{\iint_{S_0} \cos^2(\alpha_0 x) \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy} \quad (8)$$

式中, \iint_S 是对整个通光孔的面积分。

使用积分公式^[41]:

$$\int_0^{\infty} \exp(-x^2) \cos(\alpha_0 x) dx = \frac{1}{2} \exp(-\alpha_0^2/4) \quad (9)$$

则(7)式, (8)式为:

$$T_s = \frac{\iint_S \sin^2(\alpha_0 x) \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy}{[1 - \exp(-\alpha_0^2/2)]^2} \quad (10)$$

$$T_c = \frac{\iint_S \cos^2(\alpha_0 x) \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2x^2) \exp(-2y^2) dx dy}{[1 + \exp(-\alpha_0^2/2)]^2} \quad (11)$$

由(10)式, (11)式得出正弦高斯光束、余弦高斯光束通过任意形状的硬边光阑时的损耗 L_s 和 L_c 分别为:

$$L_s = 1 - T_s \quad (12)$$

$$L_c = 1 - T_c \quad (13)$$

(12)式, (13)式对任意形状的硬边光阑都成立, 原则上可进行数值计算。下面以边长为 $2a$ 的方孔为例, 对不同的 α_0 值进行计算。

考虑到积分的对称性及偶函数的特性, L_s 及 L_c 可由下式表示:

$$L_s = 1 - \frac{\int_0^{a/w_0} \sin^2(\alpha_0 x) \exp(-2x^2) dx \int_0^{a/w_0} \sin^2(\alpha_0 y) \exp(-2y^2) dy}{[1 - \exp(-\alpha_0^2/2)]^2} \quad (14)$$

$$L_c = 1 - \frac{\int_0^{a/w_0} \cos^2(\alpha_0 x) \exp(-2x^2) dx \int_0^{a/w_0} \cos^2(\alpha_0 y) \exp(-2y^2) dy}{[1 + \exp(-\alpha_0^2/2)]^2} \quad (15)$$

为讨论调制参数的影响, 我们还给出了 $z=0$ 处的光强 I_s 及 I_c 在 x 方向(y 方向相同)随 a/w_0 的变化情况。

$$I_s = \sin^2(x) \exp(-2x^2) dx \tag{16}$$

$$I_c = \cos^2(x) \exp(-2x^2) dx \tag{17}$$

(14) ~ (17) 式是进行数值计算依据的主要公式。

2 数值计算与分析

利用上节导出的公式,得到正弦高斯光束、余弦高斯光束通过硬边光阑的损耗及 $z = 0$ 处光强在不同 α 值情况下随光阑尺寸的变化情况,由于 x, y 方向的对称性,仅给出了 x 方向的结果,

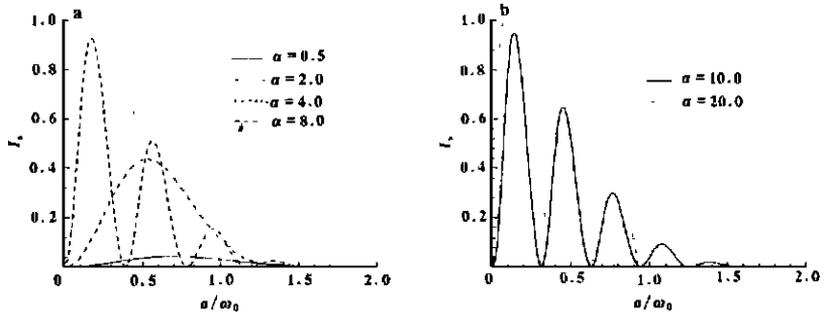


Fig. 1 The intensity of sine-Gaussian beams along x -axis at $z = 0$ plane as a function of the truncation parameter a/w_0

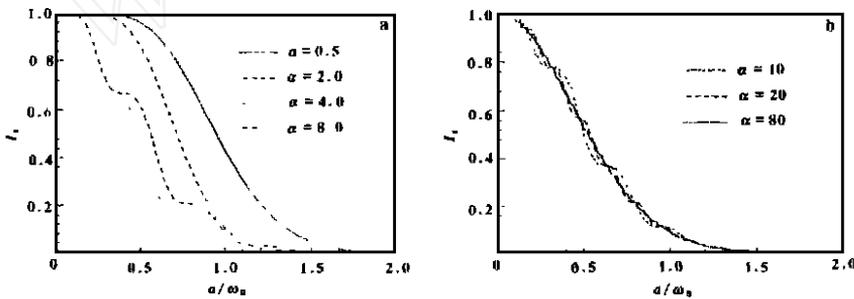


Fig. 2 The losses of sine-Gaussian beams propagating through a square hard aperture as a function of the truncation parameter a/w_0

计算结果见图 1 ~ 图 4;对于在给定相对光阑孔径的情况下,损耗随调制参数的变化情况进行了计算,计算结果见图 5 ~ 图 6。

图 1a 和图 1b 表示正弦高

斯光束对不同的值 $z = 0$ 处的光强 I_s 随 a/w_0 的变化情况,图 2a,图 2b 为 正弦高斯光束对不同的值衍射损耗 L_s 随 a/w_0 的变化情况;图 3a,图 3b 表示余弦高斯光束对不同的

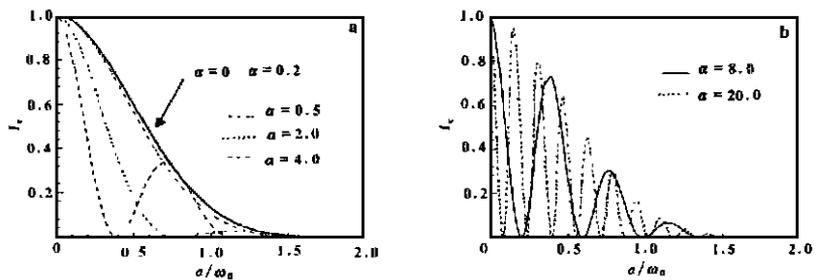


Fig. 3 The intensity of cosine-Gaussian beams along x -axis at $z = 0$ plane as a function of the truncation parameter a/w_0

值 $z = 0$ 处的光强 I_c 随 a/w_0 的变化情况,图 4 为余弦高斯光束对不同的值衍射损耗 L_c 随 a/w_0 的变化情况,图 5,图 6 分别为正弦、余弦高斯光束在不同的相对孔径下衍射损耗随调制参数的变化。

对数值计算结果进行分析,得到以下结论:

由图 1a 和图 3a 可以看出,不论有无孔径限制, α 的值应大于 0.2,对正弦高斯光束,当

值小于 0.2 时,正弦函数的周期太大,光强已很小,因此无多大实际意义;而对余弦高斯光束,其情况与基模高斯光束基本相同,即,当 $\alpha = 0$ 时, $\cos \alpha = 1$, $\alpha = 0$ 时即为基模高斯光束。由图 1,图 3 可以看出,随着 α 的增大,光强的峰值数目在不断增加,这是正弦函数/余弦函数周期变小的缘故,从傅里叶分析的角度看,这对光束的剖面合成提供了极大便利。

由图 1,图 3 还可看出,相当于孔径为无限大的 a/w_0 值与基模高斯光束的相同,这一点从函数本身是很容易理解的。SG 光束的总能量小于

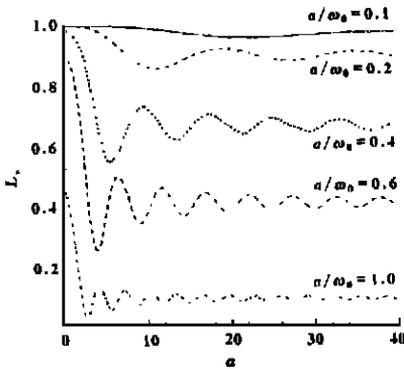


Fig. 5 The losses of sine-Gaussian beams as a function of modulation parameter

不同所决定的。当 α 较小(如 $\alpha < 1$)时,SG 光束的衍射损耗远大于 CG 光束的衍射损耗,也就是说在相同的相对光阑孔径下,SG 光束通过的能量远小于 CG 光束通过的能量,在相对光阑孔径较小时更加明显,这可通过图 1a 和图 3a 的比较得到。由于 $\alpha = 0$ 时的 CG 光束就是基模高斯光束,由图 6 可以看出,给定相对光阑孔径下,CG 光束的衍射损耗随调制参数的变化是围绕基模高斯光束的衍射损耗震荡变化的,当 α 较大时,SG 光束也一样。

3 结束语

我们对正弦高斯光束和余弦高斯光束通过硬边光阑时的衍射损耗作了定量的计算和比较分析;对 α 参数的影响进行了讨论。所导出的公式可用于光束在不同定义的光斑尺寸之内所占功率百分比^[5]。所用方法还可用于其它形状光阑、其它光束的损耗计算,具有一定的普适性。所得结果对光束合成、滤波器的设计有一定的参考价值。

参 考 文 献

1 Casperson L W, Hall D G, Tovar A A, J O S A, 1997; A14(12) :3341

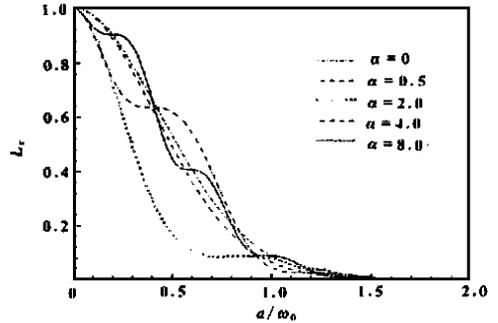


Fig. 4 The losses of cosine-Gaussian beams propagating through a square hard aperture as a function of the truncation parameter a/w_0

CG 光束的总能量,且均小于基模高斯光束的总能量。

由图 2,图 4 可以看出,当 α 较小时,损耗随相对孔径 a/w_0 的减小而严格单调增大;当 α 较大时,损耗随相对孔径的减小而增大,但有驻点存在,且对不同的 α ,在相同的相对孔径下,损耗有时相差很大,这主要是由于调制(正弦/余弦函数的周期性)的影响;当 α 很大($\alpha > 100$)时,对不同的 α ,在 a/w_0 相同时,损耗基本上相同,这是函数的周期太小的缘故。

由图 5,图 6 可以看出,当调制参数较大(如 $\alpha > 2$)时,在相同的相对光阑孔径下,若 SG 光束衍射损耗最大时则 CG 光束衍射损耗为最小,这是因为调制项的

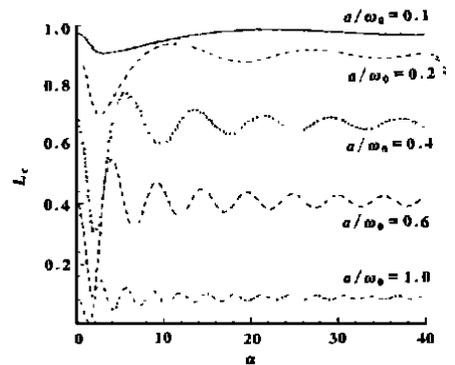


Fig. 6 The losses of cosine-Gaussian beams as a function of modulation parameter

高能束熔覆技术的研究现状及发展趋势^{*}

张 迪 单际国 任家烈
(清华大学机械工程系,北京,100084)

摘要: 综述了高能束熔覆技术的研究现状,提出了高能束熔覆技术领域存在的主要问题及解决途径,并指出高能束熔覆技术的发展趋势。

关键词: 激光束熔覆 聚焦光束熔覆 熔覆层质量控制

Status and development of cladding with high power density beam

Zhang Di, Shan Jiguo, Ren Jialie

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: This paper describes the status of cladding with high power density beam. The main problems and the solutions of them in this field are presented. The development tendency of cladding with high power density beam is pointed out.

Key words: laser cladding light beam cladding quality control of cladding layer

引 言

高能束熔覆技术是采用高能束为热源在金属表面获得优异的耐磨、耐蚀、耐热等性能的表面改性技术,它具有广阔的工业应用前景。新型熔覆材料的开发、熔覆材料引入方式的改进、熔覆层组织性能研究及质量控制一向是国内外同行的研究热点。近年来,高能束熔覆技术的推广应用以及新型高能束熔覆技术的开发已受到普遍关注。

1 熔覆材料及其引入方式的研究

高能束熔覆大多采用热喷涂用 Ni 基,Co 基,Fe 基自熔合金粉末。向自熔合金中添加 WC, TiC, SiC, ZrO₂, Al₂O₃, TiN 等陶瓷相及陶瓷相形成元素,可得到陶瓷复合涂层及梯度涂层。如在 5CrMnMo 钢上激光熔覆 Ni60, Ti 粉及石墨,制备 TiC_p 增强的金属基陶瓷复合涂层^[1];在 Q235 钢上激光熔覆 Cu-5%Al 合金粉末,得到 Fe_p/Cu 的复合涂层^[2];在 Ti 基体上激

* 国家机械行业 95 攻关项目。

2 Casperson L W, Tovar A A. J O S A. 1998;A15(4):954

3 Tovar A A, Casperson L W. J O S A. 1998;A15(9):2425

4 Erdelyi A, Magnus W. Oberhettinger F *et al.* Tables of Integral Transforms. New York:McGraw-Hill Book Company, 1954

5 吕百达. 激光技术,1992;16(5):278

作者简介:王喜庆,男,1959 年出生。副教授,在读博士。从事光束传输与变换等研究。