

文章编号 : 1001-3806(2002)05-0398-03

厄米-双曲余弦-高斯光束通过对称化光学系统的变换^{*}

吴 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化学研究所,成都,610064)

摘要: 研究了用于厄米-高斯光束对称化的光学系统对像散厄米-双曲余弦-高斯光束的变换。分析了偏心参数和模阶数对变换后的厄米-双曲余弦-高斯光束对称性的影响,通过大量数值计算说明复杂像散厄米-双曲余弦-高斯光束对称化的物理意义。

关键词: 对称化光学系统;厄米-双曲余弦-高斯光束;对称性;偏心参数;模阶数

中图分类号: O435 **文献标识码:** A

Transformation of Hermite-cosh-Gaussian beams through an optical symmetrizing system

Wu Ping

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

L ÜBaida

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

Abstract: In this paper, transformation of astigmatic Hermite-cosh-Gaussian beams through an optical symmetrizing system is studied. The influence of the decentered parameter and the mode index on the symmetrization of Hermite-cosh-Gaussian beams is discussed. Detailed numerical calculations are performed to illustrate the physical meaning of the symmetrization of astigmatic Hermite-cosh-Gaussian beams.

Key words: optical symmetrizing system; Hermite-cosh-Gaussian beam; symmetrization; decentered parameter; mode index

引 言

对称化的激光光束是许多激光应用所需要的,如光纤耦合、激光材料加工等都需要激光束具有旋转对

称性。激光光束对称化问题,Laads, Eppich 等人对此作了广泛的研究^[1~4]。Gao, Laabs 等提出了图 1 所示的三柱透镜光学系统,图中柱透镜 C₁, C₃ 的焦距为 f/2,柱透镜 C₂ 的焦距为 f,透镜的位置如图所示,用该光学系统实现了实宗量厄米-高斯光束的对称化。该光学系统的矩阵表示式为:

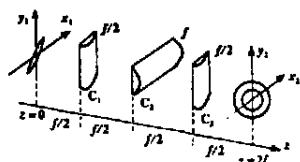


Fig. 1 Optical system used for symmetrization of Hermite-Gaussian beams

$$S_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 & f & f \\ 1 & -1 & f & f \\ -1/f & -1/f & -1 & 1 \\ -1/f & -1/f & 1 & -1 \end{bmatrix}, \text{对实宗量厄}$$

米-高斯光束 $f = z_R = w_0^2/\lambda$ 。式中, f 为焦距、 z_R 为瑞利长度、 w_0 为光束的束腰。

将该光学系统应用于像散厄米-双曲余弦-高斯光束,研究了厄米-双曲余弦-高斯光束通过该对称化光学系统的变换,大量数值计算结果说明:对厄米-双曲余弦-高斯光束该对称化光学系统可以实现二阶矩定义下的对称化,但变换后的光束并不一定具有圆对称性。

1 对称化光学系统对像散厄米-双曲余弦-高斯光束的变换

简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束的场分布为^[5]:

$$E_{mn}(x, y) = A_0 H_m \left(\frac{\sqrt{2}x}{w_0} \right) H_n \left(\frac{\sqrt{2}y}{w_0} \right) \times$$

* 西南交通大学科学研究基金资助项目。

** 西南交通大学客座教授。

作者简介:吴平,女,1965年4月出生。副教授。现主要从事光束传输变换研究。

收稿日期:2001-07-27;收到修改稿日期:2001-09-17

$$\exp\left[-\left(\frac{x^2}{w_0^2} + \frac{y^2}{w_0^2}\right)\right] \cosh(\dots) \cosh(\dots) = A_0 H_m\left(\frac{\sqrt{2}x}{w_0}\right) H_n\left(\frac{\sqrt{2}y}{w_0}\right) \exp\left(\frac{b^2}{2}\right) \left\{ \exp\left[-\left(\frac{x}{w_0} - \frac{b}{2}\right)^2\right] + \exp\left[-\left(\frac{x}{w_0} + \frac{b}{2}\right)^2\right] \right\} \left\{ \exp\left[-\left(\frac{y}{w_0} - \frac{b}{2}\right)^2\right] + \exp\left[-\left(\frac{y}{w_0} + \frac{b}{2}\right)^2\right] \right\} \quad (1)$$

式中, $b = w_0 \dots$ 为偏心参数。以 $TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束为例(光束参数为: $w_0 = 0.5\text{mm}$, $R_0 = \dots$, $z_0 = 0$) 研究厄米-双曲余弦-高斯光束经过对称化光学系统的变换。该光束经过对称化光学系统前在 x 方向的光强分布如图 2 虚线所示。为比较在图 2 中用实线给出了 $TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-高斯光束的光强分布。

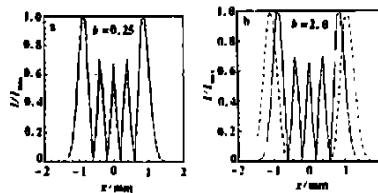


Fig. 2 Relative intensity distribution of $TEM_{4,0}$ Hermite-cosh Gaussian beams(dashed line) and $TEM_{4,0}$ Hermite Gaussian beams (solid line) at the plane $z = 0$

该光束在 x, y 方向瑞利长度不相等。为使瑞利长度相等, 将该光束通过一非对称望远镜系统 S_1, S_1 的矩阵表示为^[6]:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中, $\dots = \left[\frac{(1 + e^{-b^2/2} + b^2) ((2m+1)(L_m^0(-b^2) + e^{-b^2/2}) - b^2(2L_{m-1}^2(-b^2) + e^{-b^2/2}))}{(1 + e^{-b^2/2} - b^2e^{-b^2/2}) ((2m+1)(L_m^0(-b^2) + e^{-b^2/2}) + b^2(L_m^0(-b^2) + 2L_{m-1}^2(-b^2)))} \right]^{1/4}$, $\dots = 1$ 。

下面详细讨论 $TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过 $S = S_2 S_1$ 光学系统后(对厄米-双曲余弦-高斯光束 S_2 中的 $f = \dots$) 光强随偏心参数、模阶数和传输距离变化关系。

1.1 简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过 S 光学系统后, 光强随偏心参数 b 变化

$TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束的光束参数为: $w_0 = 0.5\text{mm}$, 经过 S 光学系统后, 在 $z = 3f$ 的平面上光束等照线(等光强分布的线) 随偏心参数 b 变化如图 3 所示。

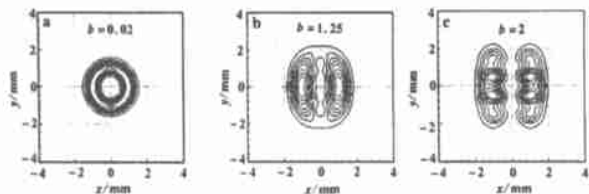


Fig. 3 Contour lines of $TEM_{4,0}$ Hermite-cosh Gaussian beams pass through an optical symmetrizing system for various values of the decentered parameter b

$TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束的对称性随偏心参数 b 变化:

偏心参数 b 小时(如图 3a 所示), $\cosh(bx/w_0) \cdot \cosh(by/w_0)$ 函数对厄米-高斯光束的调制影响小,

厄米-双曲余弦-高斯光束的光强分布(图 2a 中的虚线)与厄米-高斯光束的光强分布(图 2a 中的实线)近似, 它们经过对称化系统的变换特性也相似: 经过对称化系统后, 小偏心参数的厄米-双曲余弦-高斯光束可以对称化(如图 3a 所示)。偏心参数 b 较大时, $\cosh(bx/w_0) \cosh(by/w_0)$ 函数对厄米-高斯光束的调制影响较大, 厄米-双曲余弦-高斯光束的光强分布(图 2b 中的虚线)与厄米-高斯光束的光强分布(图 2b 中的实线)出现明显不同, 它们经过对称化系统的变换特性也会不同, 经过对称化系统后, 大偏心参数的厄米-双曲余弦-高斯光束光斑没有圆对称形(如图 3b, 图 3c 所示)。

取 $b = 2.0$, 由二阶矩的定义经计算知, 在通过对称化系统 S 前, $z = 0.0$ 位置, $TEM_{4,0}$ 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束在实验室坐标系的 x, y 方向的光束束宽 $w_x = 4.449\text{mm}$, $w_y = 2.127\text{mm}$ 远场发散角 $\vartheta_x = 2.001 \times 10^{-3}\text{rad}$, $\vartheta_y = 9.762 \times 10^{-3}\text{rad}$, 等相位曲率半径 $R_x^{-1} = 0.0$, $R_y^{-1} = 0.0$ 。该光束经过对称化系统 S 后, 在 $z = 2f$ 位置实验室坐标系下的 x, y 方向的光束束宽 $w_x = w_y = 2.989\text{mm}$ 远场发散角 $\vartheta_x = \vartheta_y = 1.587 \times 10^{-3}\text{rad}$, 等相位曲率半径 $R_x^{-1} = R_y^{-1} = 0.0$ 。由此可知, 经过对称化系统 S , 简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束在 x, y 方向有相同的光束束宽、远场发散角和等相位曲率半径,

实现了二阶矩定义下的对称化,但光斑不具有圆对称性。

1.2 简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过 S 光学系统后,光强随光束模阶数 m 变化

TEM _{m, n} 简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束的光束参数为: $n = 0, w_0 = 0.5\text{mm}$, 偏心参数 $b = 0.4$, 经过 S 光学系统后,在 $z = 3f$ 的平面上光束光强随模的阶数 m 变化如图 4 所示。

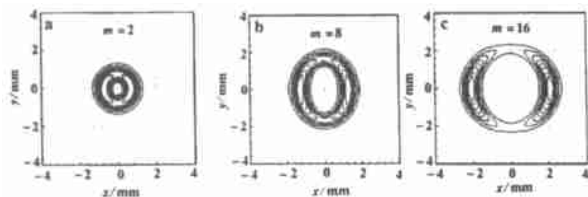


Fig. 4 Contour lines of TEM _{$m, 0$} Hermite-coslr Gaussian beams pass through an optical symmetrizing system for various values of the mode index m

厄米-双曲余弦-高斯光束的对称性随模阶数 m 变化。模阶数越小,厄米-双曲余弦-高斯光束经过对称化光学系统后光束光强分布的对称越好,在偏心参数不变的条件下,随着模阶数增大,厄米-双曲余弦-高斯光束的光强出现不对称的分布。

1.3 简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过 S 光学系统后,光强随传输距离 z 变化

设 TEM _{$4, 0$} 模简单像散厄米-双曲余弦-高斯光束的光束参数为: $w_0 = 0.5\text{mm}$, 经过 S 光学系统后,光束光强随传输距离 z 变化如图 5 ($b = 0.02$), 图 6 ($b = 2.0$) 所示。

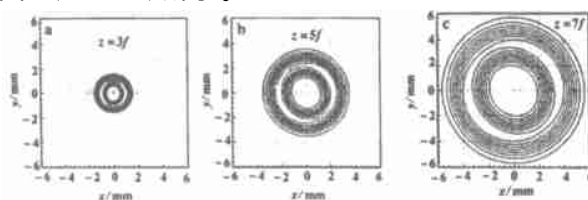


Fig. 5 Contour lines of TEM _{$4, 0$} Hermite-coslr Gaussian beams pass through an optical symmetrizing system for various values of the propagation distance z ($b = 0.02$)

由图 5 知,小偏心参数的厄米-双曲余弦-高斯光束可以对称化,对称化后的厄米-双曲余弦-高斯

光束在空间传输时,其对称性保持不变。但是,大偏心参数的厄米-双曲余弦-高斯光束光斑不具有圆对称性(如图 6 所示)。并且在空间传输时,其光斑形状不能保持不变。

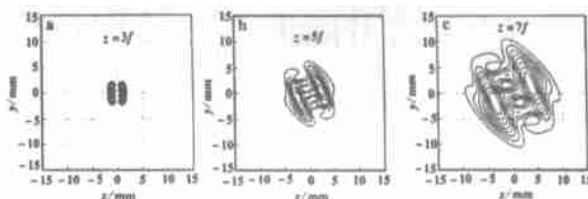


Fig. 6 Contour lines of TEM _{$4, 0$} Hermite-coslr Gaussian beams pass through an optical symmetrizing system for various values of the propagation distance z ($b = 2.0$)

2 结论

像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过对称化光学系统后,其光束光强分布的对称性与光束的偏心参数和模阶数有关。偏心参数小时(例如对 TEM _{$4, 0$} 光束, $b < 0.5$) 该光束经过对称化光学系统后,光强分布具有圆对称性;并且对称化的光束在空间传输时,可以保持其光强对称分布不变。偏心参数较大时(例如对 TEM _{$4, 0$} 光束, $b = 0.5$),像散厄米-双曲余弦-高斯光束经过对称化光学系统后,光强分布不具有对称性,这种光束在空间传输时,其光斑形状不能保持不变。大量计算表明:经过对称化光学系统,大偏心参数、高阶模的厄米-双曲余弦-高斯光束光斑虽然不具有圆对称分布,但在对称化光学系统的出射面上($z = 2f$),这些光束有二阶矩定义下的对称性,即在 x, y 方向有相同的光束束宽、远场发散角和等相位曲率半径。

参考文献

- [1] Laabs H, Gao C. J. Mod Opt, 1999, 46(4): 709 ~ 719.
- [2] Eppich B, Gao C. Opt Laser Technol, 1998, 30: 337 ~ 340.
- [3] Eppich B, Fiberg A. T. SPIE, 1996, 2870: 260 ~ 267.
- [4] Gao C, Laabs H. Opt Quant Electron, 1999, 34: 1207 ~ 1218.
- [5] Belafhal A, Ibnchaikh M. Opt Commun, 2000, 186: 269 ~ 276.
- [6] Gao C. Characterization and transformation of astigmatic laser beams. Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag, 1999.