

# 平凹柱透镜激光束扫描的角放大特性

肖韶荣

(南昌大学物理系, 南昌 330047)

**摘要** 对圆柱面——平面型平凹柱透镜和棱镜的扫描角放大特性进行了分析比较, 实际观测表明这种平凹柱透镜的扫描角的放大线性区较宽, 比棱镜优越。

**关键词:** 激光扫描; 角放大率; 平凹柱透镜

## 1 引言

光束偏转是激光应用中的一种重要技术。在中、低速激光扫描中, 一般使用转镜、检流计和谐振镜偏转扫描器<sup>[1]</sup>, 在高速激光扫描系统中, 则需要使用声光偏转扫描技术。在声光偏转技术中, 由于扫描角的限制, 使得扫描速度和可分辨点数不可兼得<sup>[2]</sup>。因此, 在声光偏转系统中, 为获得较大的可分辨点数和较高的扫描速度, 须扩大光束的扫描角。常用的办法有两种。一是在声光偏转器件的设计中, 采用“梯度晶体”或多级跟踪扫描<sup>[3]</sup>, 这种方法, 驱动电源复杂, 器件加工工艺难度大, 价格昂贵。另一种办法是用棱镜放大扫描角<sup>[4]</sup>。此法结构简单, 缺点是扫描角放大率不是常数。

本文将对圆柱面——平面透镜的偏转角的放大特性进行分析。给出这种平凹柱透镜用于角放大的观测结果。并与棱镜的角放大特性比较。

## 2 问题及原理分析

图1表明了入射光偏转时, 棱镜出射光的偏转放大作用, 其角偏转放大率 $M$ 为<sup>[4]</sup>:

$$M = \left| \frac{d\theta}{d\varphi} \right| = \left| \frac{\frac{\sin \delta \sin \varphi \cos \delta}{n \cos [\arcsin (\frac{\sin \delta}{n})] + \cos \varphi \cos \delta}}{\{1 - n^2 \sin^2 [\delta - \arcsin (\frac{\sin \varphi}{n})]\}^{1/2}} \right| \quad (1)$$

其中  $\theta$  为出射角,  $\varphi$  为入射角,  $\delta$  为棱镜楔角,  $n$  为棱镜材料的折射率。在确定的楔角  $\delta$  下, 不同入射角的角放大率  $M$  如图 2 中的曲线 1 所示, 曲线 1 表明  $M$  随入射角的增加而减小, 主截面内的光束在棱镜第一折射面法线两侧偏转时的角放大率  $M$  随偏转角度变化。法线上方的  $M$  值大于法线下方的  $M$  值。这种角偏转的变化, 对于图像显示或处理的应用系统是不利的, 将会引入幅面失真。

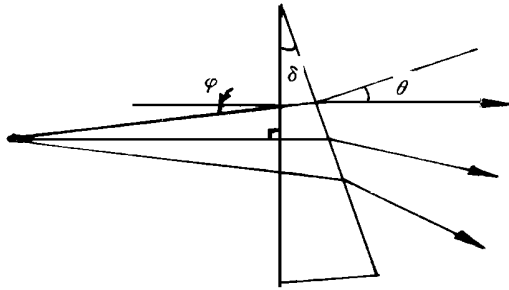


Fig 1 Prism angular magnifier

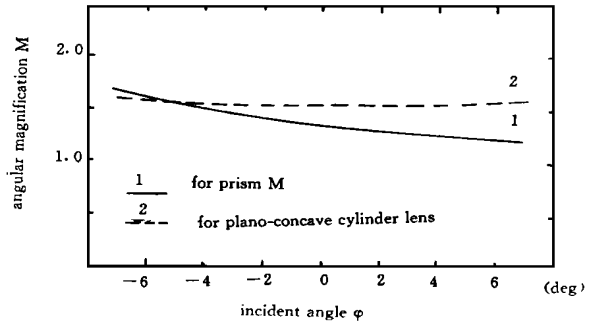


Fig 2 Dependence of prism and cylinder lens magnification on incident angle

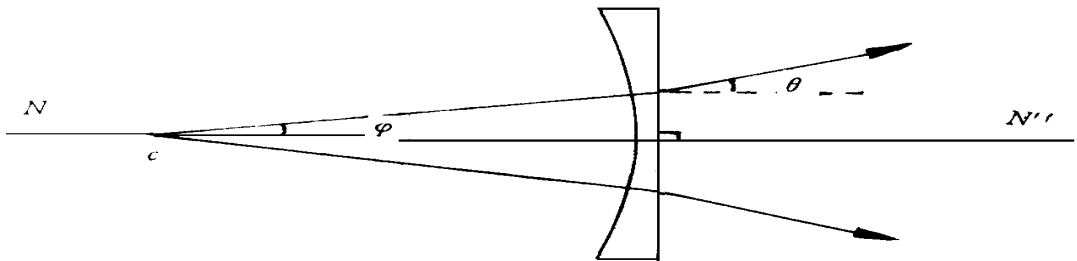


Fig 3 Plano-concave cylinder lens angular magnifier

图3所示的透镜, 其第一折射面是圆柱面, 第二折射面为平面。当入射光线的偏转中心在圆柱面的中心轴上时, 让光束在平凹柱透镜光轴  $NN'$  两侧对称的角度范围的偏转。在偏转过程中, 光束始终垂直圆柱面, 对两个折射面分别应用折射定律, 出射角  $\theta$  与入射角  $\varphi$  的关系为:

$$\sin \theta = n \sin \varphi \tag{2}$$

$n$  为透镜材料的折射率, 偏转角放大率  $M$  为:

$$M = \left| \frac{d\theta}{d\varphi} \right| = \frac{n \cos \varphi}{(1 - n^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \tag{3}$$

当  $\varphi$  不太大时,  $\theta \sim n\varphi$ ,  $M \sim n$ , 偏转角放大率  $M$  与入射光束偏转角  $\varphi$  的关系如图 2 中的曲线 2 所示, 在  $-5^\circ + 5^\circ$  范围内, 这种平凹透镜的角放大率  $M$  可视为常数。这一范围对目前的高速声光偏转器的角放大足够了, 一般高速声光偏转器的扫描角在  $10^\circ$  以下<sup>[5]</sup>。图 2 中的曲线 2 还表明, 光束的透镜光轴两侧扫描的角放大率为对称的, 与棱镜情况下不同。

式 (3) 表明圆柱——平面柱透镜的角放大率具有色散效应。因而, 它对不同波长的光束角放大同样具有一定的补偿作用。

### 3 观测与讨论

图4是平凹柱透镜用光束偏转角放大的观测装置示意图, 根据上文的分析, 将偏转中心置于圆柱面的曲率中心附近, 用一透镜将入射光束适当会聚, 使会聚光的光轴与圆柱面垂直, 以便消除由于光束有限大小产生的光束发散。图5是一平凹柱透镜的观测结果, 曲线表明入射光束的入射角与出射光束方位角的关系, 小角范围的曲线斜率基本上为常数。

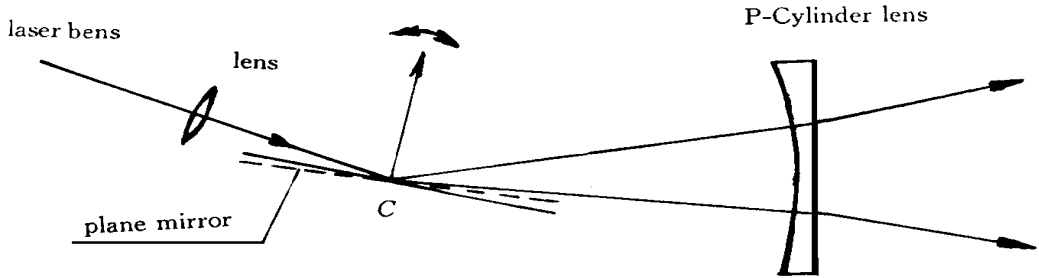


Fig 4 Schematic of the cylinder lens magnification

入射光束与圆柱母线垂直度误差  $\Delta\psi$  对扫描线型的影响, 在棱镜放大器中, 若入射光束与棱边不垂直, 则扫描轨迹是一条与棱边斜交的直线, 与棱镜情况不同, 当入射光束与圆柱面母线不垂直时, 扫描轨迹将是条弧线。扫描角为  $2\varphi$  时, 入射光束与圆柱面母线垂直度误差  $\Delta\psi$  引起的扫描轨迹线型跟踪误差  $\Delta L$ , 可由下式计算:

$$\Delta L = \frac{R}{n} (1 - \cos\varphi) (n - 1) \Delta\psi \quad (4)$$

$R$  为圆柱面的曲率半径,  $n$  为透镜材料的折射率。对于图 5 参数,  $R = 210 \text{ mm}$ ,  $n = 1.56$ ,  $\varphi$  取  $6^\circ$  时, 若入射光束与圆柱面母线的垂直度误差  $\Delta\psi$  为  $1^\circ$  时,  $\Delta L$  约为  $2 \mu\text{m}$ 。由此可见, 在小角扫描情况下, 用平凹透镜放大扫描角时, 入射光束与圆柱母线间的垂直度误差对扫描轨迹线型影响很小。扫描轨迹仍可视作直线。

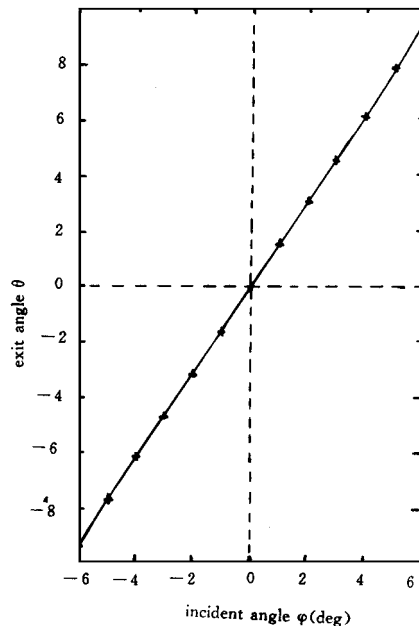


Fig 5 Test result for plano-concave cylinder

入射光束偏转中心与圆柱面曲率中心的偏离度, 直接影响扫描角的线性放大范围和放大率  $M$  的大小。在与母线垂直的截面内, 偏转中心沿透镜光轴的轴向偏离圆柱面曲率中心时, 出射角  $\theta$  与入射角  $\varphi$  的关系由下式确定:

$$\sin\theta = \sin\varphi \left[ 1 - \frac{\Delta^2}{R^2} \sin^2\varphi \right]^{1/2} \left( n^2 - \frac{\Delta^2}{R^2} \sin^2\varphi \right)^{1/2} + \frac{\Delta^2}{R^2} \sin^3\varphi +$$

$$\frac{\Delta}{2R} \sin 2\varphi n^2 - \frac{\Delta^2}{2R} \sin 2\varphi n^2 - \frac{\Delta^2}{R^2} \sin^2 \varphi^{1/2} - \frac{\Delta}{2R} \sin 2\varphi 1 - \frac{\Delta^2}{R^2} \sin^2 \varphi^{1/2} \quad (5)$$

其中  $\Delta$  为入射光束偏转中心沿透镜光轴向偏离圆柱面曲率中心的距离。一般情况下,  $\frac{\Delta}{R} <$

1, 把(5)式右边作泰勒展开。只取  $\frac{\Delta}{R}$  的一次项, 则(5)式简化为:

$$\sin \theta = n \sin \varphi + \frac{\Delta}{R} (n - 1) \sin \varphi 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi \quad (6)$$

在扫描角不大的情况下, 由于入射光束偏转中心轴向偏离圆柱曲率中心  $\Delta$  时, 引起的出射角误差  $\Delta\theta$  可由下式估计:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta}{R} (n - 1) \sin \varphi 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi \quad (7)$$

在给定的参数条件下, 扫描角范围为  $-6^\circ + 6^\circ$  时, 若偏离量  $\Delta$  为 1 mm, 出射角误差估值  $\Delta\theta_{\max} < 1$ , 此用棱镜放大扫描角时, 由于  $M$  随入射角的变化带来的误差还要小。当扫描范围增加时,  $\Delta\theta$  将有较大的增加, 在一定的角度范围处,  $\Delta\theta$  将超过棱镜的误差。

在  $\frac{\Delta}{R} \ll 1$  时, (5)式可进一步简化为:  $\sin \theta \sim n \sin \varphi$  小角扫描时,  $\theta \sim n\varphi$  回到(2)式。

入射光束偏转中心沿横向偏离圆柱面曲率中心时, 出射角  $\theta$  由下式给出:

$$\sin \theta = n \sin \left[ \varphi - \sin^{-1} \left( \frac{\Delta H}{R n} \right) \right] \quad (8)$$

其中  $\Delta H$  为偏转中心沿透镜光轴横向偏离曲率中心的距离。在不大偏差  $\Delta H$  情况, 即  $\frac{\Delta H}{R} \ll 1$  时, 有如下关系:

$$\sin \theta = n \sin \left( \varphi - \frac{\Delta H}{R n} \right) \quad (9)$$

小角扫描情况下, 出射角  $\theta$  可近似表述为:

$$\theta = n\varphi - \frac{\Delta H}{R} \quad (10)$$

此式表明由于入射光束偏转中心沿横向偏离圆柱面曲率中心, 出射角  $\theta$  将偏离一个附加角度亦即扫描轨迹将向偏离量  $\Delta H$  反方向移动  $\frac{\Delta H}{R} L$ ,  $L$  为偏转中心至观察平面的距离。  $\Delta H$  不会引起非线性误差。

## 4 结 论

分析和观测均表明, 与棱镜相比, 在一定的扫描范围内, 圆柱面——平面型柱透镜在激光束扫描角放大方面具有一定的优越性。

感谢长春光学精密机械学院王奎雄教授的指导和支持。

## 参 考 文 献

- [1] 王 本等. 激光扫描和光盘技术. 北京: 北京邮电大学出版社, 1990
- [2] Berg Norman J, et al. Acousto-Optic Signal Processing. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1983: 64
- [3] 贾有函等. 军用 CO<sub>2</sub> 激光扫描技术. 红外与激光技术, 1990(3): 1~ 6
- [4] Watson W H, Korpel A. Equalization of Acousto-optic Deflection Cell in Laser TV System. Applied Optics, 1970, 5(5): 1776~ 1779
- [5] NOES Technologies, NC. Acousto Optics Products Catalog, 1995. 45~ 47

## Plano-Concave Cylinder Lens Properties of Angular Magnification in Laser Beam Scanning

Xiao Shourong

(Department of Physics, Nanchang University, Nanchang 330047)

### Abstract

The plano-concave cylinder lens and prism properties of angular magnification in light scanning are analysed in the paper. Experiment shows that the cylinder lens linear range of angular magnification is wider than the prism's.

**Key words:** Laser scanning; Angular magnification; Plano-concave cylinder lens

**肖韶荣** 男, 1958年12月生, 理学硕士, 南昌大学物理系讲师, 在国内核心刊物上发表论文十篇。主要兴趣为光电子学及激光技术应用。