

## 扩束系统在激光加工系统中的重要作用

赵 侠

(华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 武汉, 430074)

摘要: 介绍了扩束系统的结构, 从理论上计算了扩束系统对激光光束质量的影响, 并对其进行了分析和讨论。

关键词: 扩束系统 激光加工 发散角 光斑 导光系统

## The importance of the beam expander in laser processing system

Zhao Xia

(National Engineering Research Center for Laser Processing, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: The construction of the beam expander has been introduced. The influence of the beam expander on the laser beam quality has been discussed and analyzed theoretically.

Key words: beam expander laser processing divergence beam spot beam delivery system

### 引 言

近年来, 随着激光器件的性能与激光功率的不断提高, 激光加工在工业生产中所占的比例越来越大。在激光加工应用中, 对激光的光束质量有不同的要求。其中又以激光切割和激光打标对光束质量的要求最为苛刻。例如, 对激光光束的平行度, 即发散角和聚焦光斑的要求就很高<sup>[1]</sup>。

为了获得高质量的光束, 在激光切割和打标系统中, 我们采用了激光扩束系统以达到良好的聚焦效果。

### 1 扩束系统的结构

扩束系统是由至少两个光学元件组成的光学系统, 主要用于扩展平行光束的横截面积。其设计在原理上与倒装望远镜一致。扩展倍数对应于望远镜的放大倍数。

一般来说, 扩束的基本方式可分为两种, 即伽利略法和开普勒法<sup>[2,3]</sup>。

#### 1.1 伽利略法

光束通过一个凹透镜(组)产生发散, 以这种放大的状态再通过一个凸透镜(组)复原成平行光, 凹透镜(组)的焦点  $F_1$  必须与凸透镜(组)的焦点  $F_2$  重合。这两个元件(组)之间的距离由它们实际的焦距决定, 如图 1a 所示。

#### 1.2 开普勒法

光束也是通过两组光学元件, 两组光学元件都有正的折射能力, 出现一个真实的焦点  $F_1$  ( $F_2$ ), 并出现一个倒影, 这两个元件(组)之间的

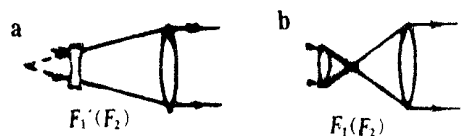


Fig. 1 a—Galilean telescope b—Keplerian telescope

距离由这两个焦距决定,如图 1b 所示。

### 2 扩束系统对提高光束质量的理论分析

#### 2.1 扩束系统对激光束聚焦光斑直径的影响<sup>[4,5]</sup>

以基模(TEM<sub>00</sub>)激光束为例,不考虑透镜球差时聚焦光斑的计算(见图 2),谐振腔内束腰的半径 R<sub>0</sub> 为:  $R_0 = R / [1 + (R^2 / r^2)]^{1/2}$  (1)

式中, R = R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> 为两腔镜表面的光束半径, r = r<sub>1</sub> = r<sub>2</sub> 为两腔镜的曲率半径。

光束在离开束腰后在距离 z 处的半径为  $R_z = R_0 [1 + (z / R_0^2)^2]^{1/2}$ , 其远场发散角为  $\theta = \lambda / R_0$ 。

在距束腰 l<sub>0</sub> 处放置一焦距为 f 的透镜, 在 l<sub>f</sub> 处得到一聚焦后的束腰半径 D<sub>f</sub>

$$1 / D_f^2 = (1 / R_0^2) (1 - l_0 / f)^2 + 1 / (f^2) \text{ 及 } l_f = f + (l_0 - f) f^2 / [(l_0 - f)^2 + (R_0 / f)^2]$$

一般规律是 l<sub>f</sub> 大于 f, 在焦平面内的焦斑直径大于 2R<sub>f</sub>, 但由于  $\theta$  很小, 故 l<sub>f</sub> 与 f 相差很小, 建议在基模时甚至多模时简化为  $R_f = f$  (2) 或  $R_f = f / R$  (3)

对发散角  $\theta$  很小的基模(TEM<sub>00</sub>)激光束, 用入射于透镜表面的光束半径 R 代替束腰半径 R<sub>0</sub> 更易于估算焦斑直径。

当透镜半径 2.8R 时, 受到衍射极限限制的焦斑直径为 R<sub>diff</sub> = 1.22 f / 2。

需要指出的是, 这一仅受衍射极限限制的焦斑直径只有在理想情况下才能实现, 实际上, 由于激光束不均匀, 透镜有球差、聚焦元件不理想等原因, 波长为 10.6μm 的基模 CO<sub>2</sub> 激光焦斑直径不小于 50μm, 而波长为 1.06μm 的 YAG 激光焦斑直径不小于 5μm<sup>[1]</sup>。

由(3)式可知, 在衍射极限范围内, 入射于聚焦透镜表面的光束半径 R 愈大, 聚焦光斑半径 R<sub>f</sub> 愈小。

#### 2.2 扩束系统对激光束发散角的影响

如图 3, 由(2)式和(3)式可得:  $\theta = \lambda / R$ 。

经过扩束系统前后, 光束发散角的关系为

$$\theta_2 = \lambda / (R_2 / R_1) = \theta_1 / K$$

式中,  $\theta_1, \theta_2$  为进入扩束系统前、后的光束发散角, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>

为进入扩束系统前、后的光束半径, K 为扩束系统的放大倍数, 即经过扩束系统后, 光束的发散角与扩展倍数成反比。

### 3 分析与讨论

(1) 在高功率的激光加工系统中, 经过扩束系统对光束横截面的扩展, 可以减少在传输中光束的功率密度, 即对其后的光学元件产生较小的热应力, 减少热破坏的可能。

(2) 由开普勒法设计的扩束系统, 在两个光学元件(组)之间的焦点处, 光束被强烈地聚焦, 因此, 该点处光束的能量密度很高。对于高功率激光加工系统, 在实际应用中, 可能会由于高

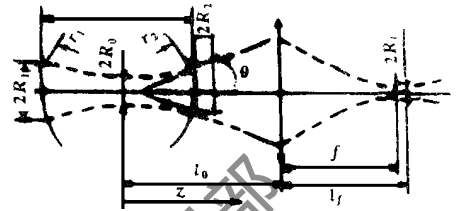


Fig. 2 The divergence and focusing of TEM<sub>00</sub> laser beam

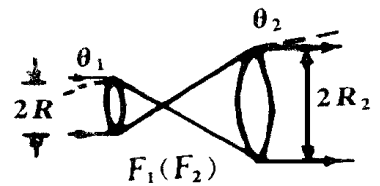


Fig. 3 The changing of beam divergence in beam expander

能量密度而产生大量的热量,使空气发生击穿,造成光束畸变,一般不宜采用。

(3)由伽利略法设计的扩束系统,光束要经过至少两块(组)镜片,这会吸收一部分激光的能量,要注意对镜组采取良好的冷却,实现起来会有一定的困难。

(4)为了减少扩束系统中透镜对光能的吸收,提高导光系统的传输效率,在设计扩束系统时,可以采用镀金的金属反射镜。例如在美国 SYNRAD 公司生产的 CO<sub>2</sub> 激光打标系统的打标头中,就是采用一块镀金凸面金属反射镜和一块镀金凹面金属反射镜,组成  $3\times\sim 4\times$  的激光扩束系统。如图 4 所示。

这种结构的扩束系统,结构紧凑,占用空间小,通过镀高反射率的膜系,对光束能量的吸收非常少,因此传输效率很高,同时,在大功率的场合中使用,也便于对扩束系统进行冷却。值得注意的是,经过这种结构的扩束系统,出来的光束与入射光不同轴。

经过以上的分析可知,在激光加工系统的导光系统中,如果加入了扩束系统,可以扩展激光束的横截面积,尽可能地让光束充满聚焦透镜的入口,以减少衍射,减小激光束的远场发散角,获得较小的聚焦光斑,提高能量密度,并能获得温度补偿,改善导光系统的性能,从整体上获得高质量的光束,从而大大提高激光加工的质量。

在我们研制开发的 CO<sub>2</sub> 和 YAG 激光打标/刻字系统和激光切割加工系统中,采用了伽利略法设计的扩束系统,刻痕较没有加扩束系统时更细更深,并且在整个刻写范围内的刻写质量均匀一致,取得了很好的效果。

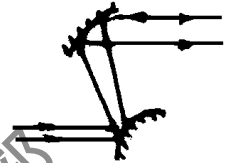


Fig. 4 Reflecting beam expander

#### 参 考 文 献

- 1 王家金. 激光加工技术. 北京:中国计量出版社,1992:440~445
- 2 玻恩 M,沃耳夫 E. 光学原理. 北京:科学出版社,1978:313~318
- 3 姚启钧. 光学教程. 北京:人民教育出版社,1981:217~223
- 4 闫毓禾,钟敏霖. 高功率激光加工及其应用. 北京:科学出版社,1994:66~69
- 5 阿雷克 F T,舒尔茨-杜波依斯 E O. 激光技术的应用. 北京:科学出版社,1983:178~183

作者简介:赵 侠,男,1965年5月出生。工学硕士,讲师。从事激光加工及其应用的研究。

收稿日期:1998-07-20 收到修改稿日期:1998-08-30

#### ·产品简讯·

### CCD 相机

美国俄勒冈州的 Pixel Vision 公司推出 14bit 的 BioXight 系列电荷耦合器件 (CCD) 相机,分辨力  $4096 \times 4096$  像素,数据收集达 80Mbyte/s。该相机填充因素为 100%,量子效率高于 90%。二级温差致冷保证低暗电流,以及积分率可变。每部相机都有多种输入 PCI 微机界面,传输数据通过光缆可达几千米距离。图像处理软件兼容 Windows95,98 和 NT。

(卢中尧 曹三松 供稿)