

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^[1]。

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^[2,3]。

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

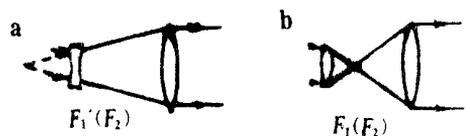


Fig. 1 a—Galilean telescope b—Keplerian telescope

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^[4,5]

以基模(TEM₀₀)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_0 为: $R_0 = R/[1 + (R^2/r)^2]^{1/2}$ (1)

式中, $R = R_1 = R_2$ 为两腔镜表面的光束半径, $r = r_1 = r_2$ 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 $R_z = R_0[1 + (z/R_0)^2]^{1/2}$,其远场发散角为 $\theta = R_0/R_0$ 。

在距束腰 l_0 处放置一焦距为 f 的透镜,在 l_f 处得到一聚焦后的束腰半径 D_f

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

一般规律是 l_f 大于 f ,在焦平面内的焦斑直径大于 $2R_f$,但由于 θ 很小,故 l_f 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 θ 很小的基模(TEM₀₀)激光束,用入射于透镜表面的光束半径 R 代替束腰半径 R_0 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 $R_{diff} = 1.22 f/2$ 。

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 $10.6\mu\text{m}$ 的基模 CO₂ 激光焦斑直径不小于 $50\mu\text{m}$,而波长为 $1.06\mu\text{m}$ 的 YAG 激光焦斑直径不小于 $5\mu\text{m}$ ^[1]。

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_f 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: $\theta = R_0/R$ 。

经过扩束系统前后,光束发散角的关系为

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

式中, θ_1, θ_2 为进入扩束系统前、后的光束发散角, R_1, R_2

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

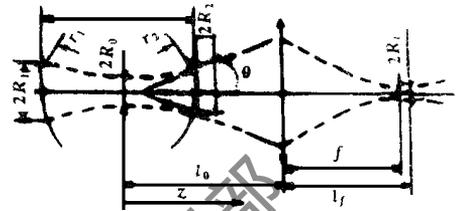


Fig. 2 The divergence and focusing of TEM₀₀ laser beam

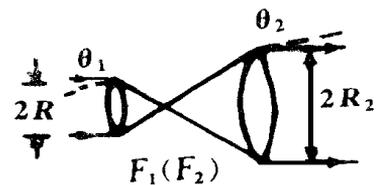


Fig. 3 The changing of beam divergence in beam expander

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,实现起来会有一些困难。

(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 CO₂ 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 CO₂ 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 4096×4096 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)