

激光功率与模式实时监测仪的研究

王又青 安承武 高树章 陆冬生

(华中理工大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

提要 报道了一种新颖的激光功率与模式实时监测仪的研究结果。该监测仪可同时在线实时检测 10~ 1500 W 激光功率和激光模式信号。响应迅速且性能稳定,是激光加工中理想的监测设备。

关键词 激光功率, 激光模式, 实时监测

1 引 言

随着激光技术的不断发展和成熟,激光在工业中的应用越来越广泛,特别是 100~ 1500 W 范围的工业用连续功率输出激光器,应用领域非常广阔。对于激光工业加工,激光输出功率和光束模式结构严重地影响着激光加工的质量。因此,在加工过程中,如果能实时监测激光功率和光束模式结构的变化,对于提高产品合格率有着极其重要的作用。特别是对于激光加工应用的基础研究,每一次实验中激光参数的准确测定,对于实验结果的分析具有举足轻重的影响。目前在激光加工应用中,虽然有专门的仪器分别用来测量激光功率或模式,但还没有能在生产线上同时实时监测激光功率与模式的专用仪器^[1~9]。本文所介绍的激光功率与模式实时(准确讲,应为“准实时”,为简单起见,下面仍称作“实时”)监测仪,即可满足激光工业加工和科学研究在这方面的需求。

2 工作原理

对于高功率激光束实施在线实时监测,一个较好的方法就是利用快速旋转的细针取出激光信号送到探测器上,转变成电信号后显示出来^[8,9]。其基本结构如图 1 所示。目前这种类型的激光功率计采用很窄的扁平条形针,通过针面与激光束截面成一夹角将激光信号周期性地反射到探测器上^[8];而模式仪的快速旋转取样针则是一柱形细针,其柱形表面与激光束垂直,通过迎着激光一侧的柱面反射激光信号到分布在两侧的探头上^[9]。这两种取样方法均不能满足采用单针取样而同时获得功率与模式信号的要求。结合这两者的特点,我们选择柱形细针作为取样针,并使其旋转平面与入射激光束成一小夹角,这样即可实现激光功率与模式信号的同时单针取样(图 2)。

取样针所在的旋转平面 ADE 与 xov 平面的小夹角为 B 。激光束平行于 z 轴入射,与取样针相交于 P 点,且 $AP = PE$ 。为了能定量地反映实际激光功率值,需要提取整个光束截面上的信

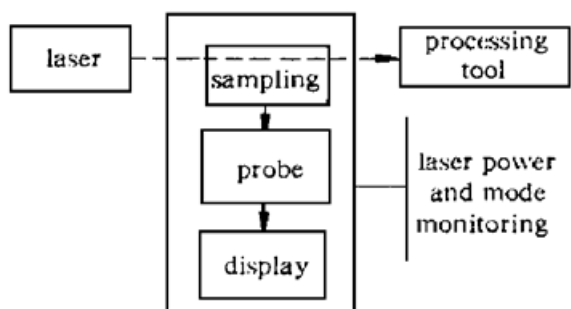


图 1 激光功率与模式监测仪框图

Fig. 1 Diagram of the online laser power and mode monitor

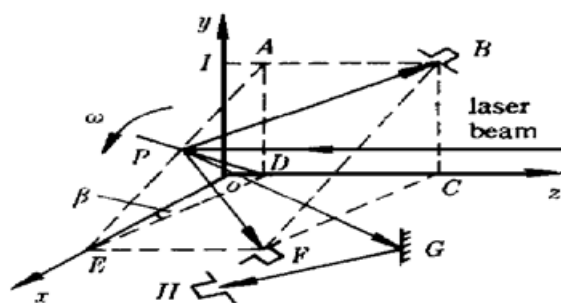


图 2 针扫描取样空间示意图

Fig. 2 Scheme of scanning sampling with a steel needle

号, 因此取正迎着激光入射的取样针柱形表面线上的主反射信号作为激光的功率取样信号。 β 使主反射信号偏离激光束线路而进入反射聚焦镜G, 进而聚焦在功率探测器H上, 相应功率值将通过图3所示的光电转换、放大、检波整流及数显等信号处理后显示出来。

模式信号探头对称位于激光束两侧的B, F处, 且 $\angle BPF = 90^\circ$ 。由几何光学可知, 当取样针DP旋转切割激光束时, 反射信号光是一宽度与光束直径几乎相等的带, 探头的口径很小, 针扫描到光束某一位置时, 对应信号带上某部分即被接收, 这样, 取样针每扫描光束一遍, 两探头上就对应地取得光束截面相互垂直方向上的强度分布, 即模式信号。热电探头将通过图4所示电路把模式信号转换成脉冲电信号后放大输出, 在示波器上即可观察到反映激光束截面光强分布的波形。

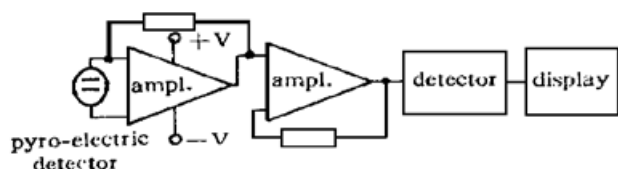


图 3 功率信号电路示意图

Fig. 3 Circuit of the laser power signal

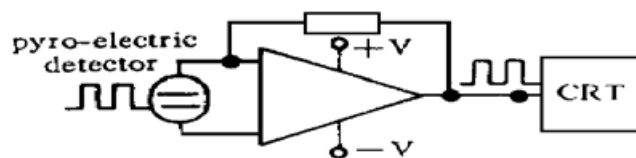


图 4 模式信号电路示意图

Fig. 4 Circuit of the laser mode signal

激光束的束径大小可由公式 $\phi = DP \cdot \omega \cdot \Delta\tau$ 求得, 其中 ω 为针的转速, $\Delta\tau$ 为所测模式信号的脉宽。本设计中取 $\beta = 8^\circ$, 由此导致的光斑尺寸在针上投影将只增加1%, 基本上不会影响利用模式信号估算激光横断面(即光斑)尺寸。

检测元件均采用响应时间较短的HRD系列热电探头, 光谱响应范围为0.2~400 μm , 实验表明其效果良好。

3 实验研究

3.1 功率测试实验

湖北省计量科学研究所专家对该激光功率与模式实时监测仪进行了专门检测标定, 图5即为经标定后对轴快流CO₂激光器的功率实测曲线, 结果表明, 该监测仪激光功率测试范围为10~1500 W, 线性关系良好。

实验测得该仪器的功率测试线性范围对应脉冲宽度范围为0.1~1.3 ms, 由取样中心的

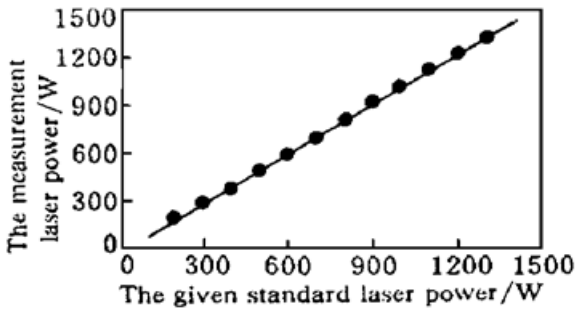


图5 校正后的实测结果

Fig. 5 The measured results after calibration

线速度可以计算出对应的激光束斑尺寸直径范围为 $\phi = v \cdot \Delta t = 2 \sim 26 \text{ mm}$ ($v = 20 \mu\text{m}/\mu\text{s}$ 为取样中心线速度, Δt 为模式信号脉宽), 也就是说, 该仪器能够准确测试的激光束的最大束径为 26 mm。

3.2 模式测试实验

模式实验通过在图 2 所示的激光光路上加入不同的光阑进行。图 6 是在 JGQ-3 型激光手术器上进行的实验结果(输出功率为 20 W)。在无挡光光阑时测试结果如图 6 (a) 所示; 在水平方向加一直径为 0.5 mm 的金属丝后的测试结果如图 6 (b) 所示; 将金属丝与水平成 45° 角时的测试结果如图 6 (c) 所示; 水平方向加两根金属丝后的测试结果如图 6 (d) 所示。从图中可看出: 该仪器如实地反映了激光光束截面上的光强分布, 即激光模式。从中所算得的束径约为 7 mm, 与实际烧斑十分吻合。

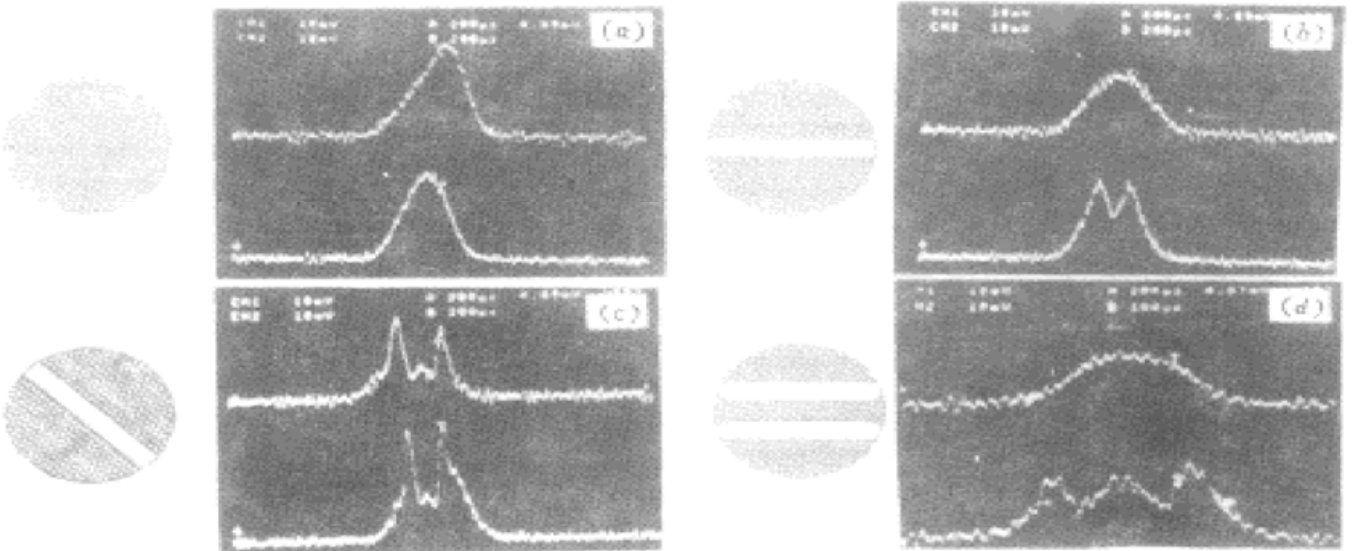


图 6 (a) 没加光阑时的激光束剖面光强分布; (b) 水平方向放置一根金属丝时的光强分布; (c) 与 x 轴 45° 角放置一根针时的光强分布; (d) 水平方向放置二根金属丝时的光强分布

Fig. 6 (a) Intensity distribution (ID) without diaphragms; (b) ID with a horizontally placed metal wire; (c) ID with a metal wire 45° to the horizontal axis; (d) ID with two horizontally placed metal wires

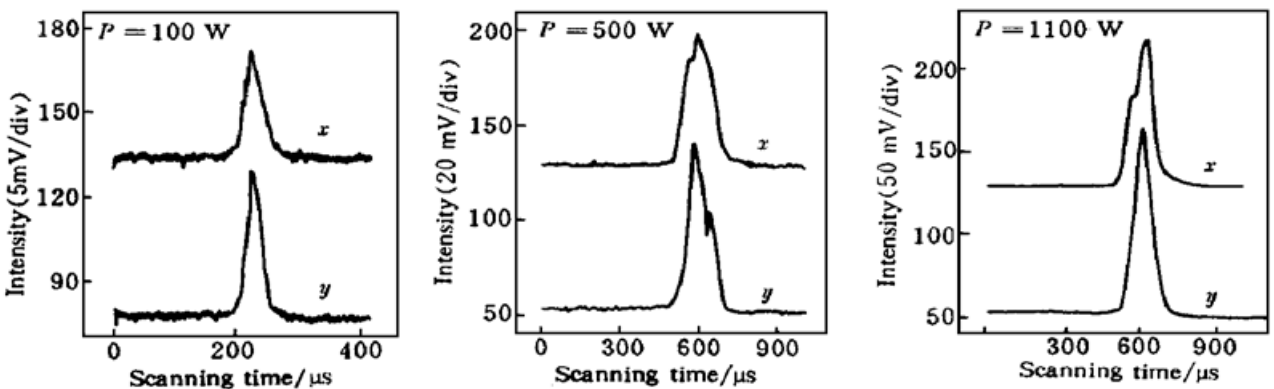


图 7 1600 W 轴快流 CO₂ 激光器中的模式变化

Fig. 7 Beam modes of a fast-flow CO₂ laser

图 7 是在 1600 W 轴快流 CO₂ 激光金刚石锯片焊接生产线上实时测试的不同功率时的模式结构, 可以看出随着输出功率增加, 激光模式由小功率下的基模变为高功率下的混合低阶模; 图 8 为 800 W 时分别用该仪器和用英国 LBA 3/A 激光模式分析仪所测得的模式结构图, 所得结果基本一致。

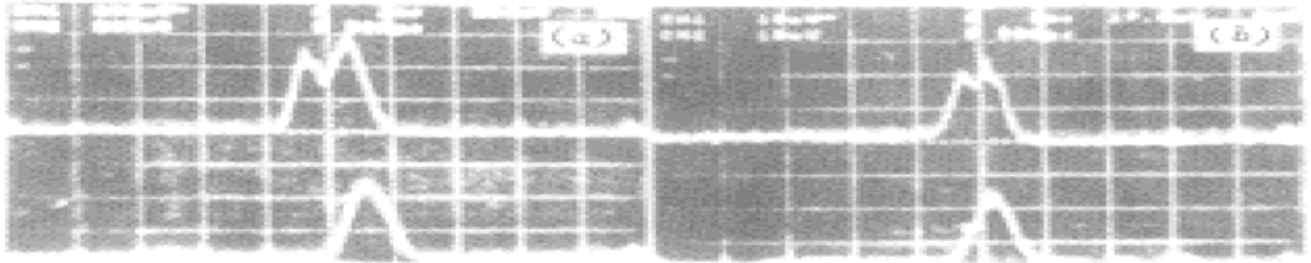


图 8 800 W 时用所研制仪器 (a) 和英国 LBA 3/A (b) 测得的模式结构

Fig. 8 Modes measured with the developed monitor (a) and with LBA 3/A (England) (b) at 800 W

3.3 激光功率与模式监测仪与国外类似产品的比较(见表 1)

表 1 监测仪的综合性能指标与英国 LBA3/A 型激光模式分析仪参数的比较^[9]

Table 1 The monitor of laser power and mode (MLPM) compared with the LBA3 laser mode monitor (England)

parameters	laser beam analyser LBA 3/A	MLPM	annotation
function	mode monitor	power and mode monitor	one instrument, two usages
sampling mode	rotational needle reflecting	same with LBA 3	
position of the sampling needle	vertical to the laser beam	8° to the beam normal	to be convenient to measure power
diameter of the sampling needle	0.8 mm	0.8 mm	
position of the probe	46° to the needle normal	45° to the needle normal	power signal collecting on normal
effect diameter of the probes	2.5 mm	3.0 mm	11 mm (for measuring power)
type of the probes	pyroelectric detector	pyroelectric detector	
maximum beam diameter to be measured	2.5 mm	26 mm	
range of the laser power to be measured	10~ 1000 W	10~ 1500 W	
error of laser power measurement		< ±4%	
rotational radius of the sampling center	56 mm	65 mm	
the minimum responsive power density	50 W/cm ²	35 W/cm ²	
rotational speed	3000 rpm	3000 rpm	
resolution of mode measurement		< 0.2 mm	
range of the wavelength to be measured		0.2~ 400 μm	

从表 1 可见, 所研制的激光功率与模式实时监测仪不仅增加了可同时实时测量功率的功

能,而且模式测量指标也达到了国外同类产品的水平。

参 考 文 献

- 1 H. Nakano, S. Sasaki, M. Maeda *et al.*. Dual-in-line laser diode module for fiber-optic transmission up to 4 Gbit/s. *J. Lightwave Technology*, 1987, **LT-5**(10): 1403~ 1411
- 2 G. M. Gandel'man, B. N. Levinskii. Apparatus to measure the mean power of laser radiation. *Measurement Techniques (English translation of Izmeritel'naya Tekhnika)*, 1984, **27**(3): 202~ 205
- 3 Li Junchang. Data processing of CO₂ laser power density distribution measurement. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1993, **A20**(4): 273~ 277 (in Chinese)
- 4 Lin Yu, Ren Enyang, Wu Baoshu *et al.*. Detects laser power density with slit parallel move method. *Appl. Laser* (应用激光), 1992, **12**(3): 120~ 123 (in Chinese)
- 5 Yuan Jiayong, Wang Yifan, Hu Lei. A new method for the measurement of laser power in resonator. *Optical Engineering* (光学工程), 1989, (1): 20~ 24 (in Chinese)
- 6 Zou Dating, Tian Qian. Mode measurement of dual-line laser with planar mirror F-P scanning interferometer. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1992, **19**(4): 276~ 281 (in Chinese)
- 7 Wang Ruihua. NBS laser power and energy measurement present situation. *Laser & Infrared* (激光与红外), 1989, **19**(6): 23~ 26 (in Chinese)
- 8 Instruction Manual of JGC-60 CO₂ Laser Power Meter. Beijing Institute of Electro-mechanics, 1994 (in Chinese)
- 9 Instruction Manual for Laser Beam Analyser LBA3, Edinburgh Instruments Ltd., England, 1993

A Monitor for Real-time Measurements of Laser Power and Modes

Wang Youqing An Chengwu Gao Shuzhang Lu Dongsheng

(National Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract This paper reports a new instrument for real-time monitoring 10~ 1500 W laser power and laser modes of stable performance and rapid response. The instrument may be useful in laser processing.

Key words laser power, laser mode, monitoring on line