

文章编号: 1001-3806(2006)05-0483-03

高功率激光实时检测与控制系统的研究

彭登峰, 王又青*, 李 波

(华中科技大学 激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 为了提高激光功率的稳定性和控制精度, 设计了一种新颖的高功率激光实时检测与控制装置。该系统由光功率采样单元和反馈控制单元两部分组成。采样单元利用尾镜的微量透射光进行激光采样, 经衰减后再由探测器接收并对其进行处理; 然后将处理信号送到反馈控制单元去自动调节放电电流, 以保证输出激光功率的稳定。实验表明, 该系统能够实时监控激光的输出功率, 有效提高激光功率的控制精度和稳定性。在 4kW 轴快流 CO₂ 激光器上的实际运行结果表明, 该系统可使得激光功率稳定度达到 $\pm 0.1\%$ 水平。

关键词: 激光器; 激光功率; 尾镜取样; 衰减器; 反馈控制

中图分类号: TN248.2+2 **文献标识码:** A

Real time power measurement and control system of high power CO₂ lasers

PENG Dengfeng, WANG Youqing, LI Bo

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan 430074 China)

Abstract A new kind of real time power control system of fast flow CO₂ lasers is developed to improve the stability of laser power which is composed of two parts: sampling unit and feedback control unit. In the sampling unit, an infrared detector is used to sample the laser power output from the rear mirror of the resonator. With an attenuator inserted between the detector and the rear mirror to prevent the detector from damage by the laser. In the feedback control system, the sampling signal is compared with the setting reference value, and the discharge current is automatically adjusted to make the output laser power stable around the setting power. The experimental results indicate that this system can automatically control the laser power on line and greatly enhance the stability and accuracy of the laser power without any accessory inserted in the output laser path. This system has been successfully used in a 4kW fast flow CO₂ laser with much better output power stability of $\pm 0.1\%$.

Key words lasers; laser power; sampling; laser power from the rear mirror; attenuator; feedback control

引 言

高功率 CO₂ 激光器在材料焊接与切割、金属表面热处理等工业加工领域被广泛应用, 有着很好的发展前景。激光功率是高功率激光器中最主要的参量, 激光输出功率严重地影响着激光加工的质量, 因此, 在加工过程中, 如果能实时监控激光功率的变化, 提高激光功率的稳定精度, 对于提高产品合格率有着极其重要的作用。

高功率 CO₂ 激光器输出功率的不稳定性来源于谐振腔机械结构的不稳定性; 工作气压、成分的变化; 电源电压、电流的波动变等因素^[1, 2]。除了稳定机械结构、优化谐振腔设计及调整工作气体等基本措施外^[3, 4], 稳定激光器输出功率一般有两类方法: (1) 在激光器运行中对放电电流进行实时检测和反馈调整。

由于放电电流并不能直接实时准确地反应激光功率的输出变化, 因此, 采用此种方法对激光功率进行控制时, 虽然采样装置简单, 但功率的控制精度及稳定性较差。(2) 对激光功率进行实时检测与反馈控制。以光功率作为反馈和控制参量, 直接对激光输出功率的起伏进行补偿, 能够消除或减少扰动的影响, 具有较高的稳定精度。因此, 对激光功率的实时检测与控制系统的研究具有重要的实际意义。

1 系统组成及原理

对激光功率进行检测的目的有两点: 一是实现功率的测量与监控, 二是对激光功率进行采样、反馈, 以

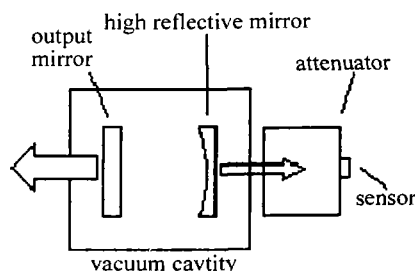


Fig 1 Sample unit of laser power

作者简介: 彭登峰 (1973-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光技术方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: yqwang@hust.edu.cn

收稿日期: 2005-09-20 收到修改稿日期: 2005-12-23

实现激光功率的闭环调节、确保激光器功率的稳定。该系统由两部分组成:一部分是激光功率采样单元,这一部分主要由尾镜取样装置、衰减器、探测器及信号处理电路组成。另一部分是光功率反馈控制单元,主要由PID调节器组成。采样检测原理如图1所示。

1.1 尾镜取样

为了实现对激光功率的实时检测而又不影响激光输出,采用新的取样方法:激光谐振腔尾镜一般采用低透射率的介质膜全反镜(反射率达99.5%),利用该尾镜的微小透射光进行激光采样,即尾镜取样^[5,6]。

功率检测系统一般应具有良好的线性,因此首先要求激光取样具有良好的线性,这就要求尾镜的基底材料有低的体吸收率、较高的热传导,以便于冷却和减小热畸变,同时也要求它对激光具有稳定的较低的透过率;对于薄膜材料的选取除需要考虑薄膜本身的特性,还要求在应用波段有很小的光吸收和低的体散射,及适宜的折射率等^[6]。而尾镜的透过率由镀膜膜系优化过程决定,本设计中的透过率约为0.5%。

1.2 光强衰减

理想的测试仪器应灵敏、探测器可直接接收激光输出等性能。但快响应的光电器件如光电型和热释电探测器的损伤阈值为单位面积毫瓦量级,远远低于待测值^[7]。为保护探测器不被损伤,本设计中先利用衰减器对光强进行衰减,使到达探测器的激光功率与入射光成线性关系。那么,通过对该参量进行精确测试,即可反应出真空输出功率。

1.3 探测器及信号处理电路

1.3.1 探测器 探测器可选用与待测波长所对应的光电传感器,该探测器应具有高的灵敏度、宽松的工作环境与较宽的频谱响应,无需致冷、操作简便等优点。对CO₂激光器可选用热电堆红外传感器。

红外热电堆的工作原理为塞贝克效应(Seebeck effect)^[8]。如果两种不同的材料或材料相同逸出功不同的物体A和B,在热结端相连,热结与冷结间存在一温度差 dT ,那么在冷结的两个梁间就会产生一开路电势 dV ,这就是塞贝克效应,亦称为温差电效应,用数学表述为:

$$dV = \alpha \cdot dT \quad (1)$$

式中, α 为塞贝克系数,单位为V/K。为提高探测器的性能,理想热电偶材料的特征应该是同时具有低热导率、高电导率和高塞贝克系数。

1.3.2 电路设计 探测器的输出信号一般为毫伏量级,为了能够精确测量,采用两级放大,经过滤波电路后得到0V~10V电压。电路原理图如图2所示。

一级放大电路放大倍数较高,且放大信号较弱,易

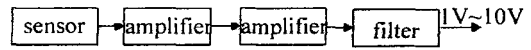


Fig 2 Signal processing circuit diagram

受干扰,采用精度较高的仪用放大器进行放大。调整二级放大电路的放大倍数,经滤波后,当激光器的输出功率不同时,对应于0V~10V电压。

1.4 功率设置与显示电路

功率的设置与显示可通过单片机系统来完成^[9],如图3所示:光功率信号通过模数转换,经单片机处理

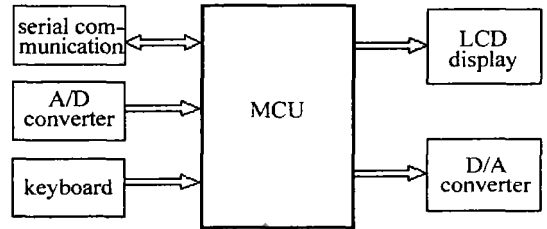


Fig 3 MCU controller unit

后,由LCD显示器显示当前功率;同时光功率的大小可通过串行通信送往PC机。功率的设置可通过PC机或键盘输入,经单片机处理后,由LCD显示器显示预置电压;同时经过数模转换后,为反馈控制系统提供参考电压。

1.5 功率反馈与闭环控制系统

对功率的实时检测,除了能够及时掌握激光器输出功率外,还有一个很重要的目的就是要实现对激光功率的控制,从而使激光器能够在预置的功率下稳定的运行。高功率CO₂激光器的功率控制主要是通过激光电源的调制实现的^[10]。功率的设置可通过PC机或工控机的软件来设置。如图4所示,激光器的输出

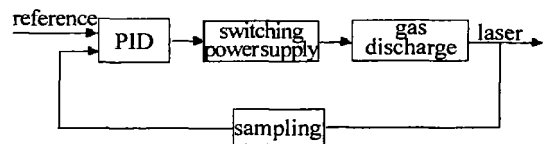


Fig 4 Laser power feedback control system

功率通过上述采样、检测装置将光功率信号实时反馈回来和预置功率信号(基准电压)进行比较,通过PID调节器改变电源的控制电压以实现闭环控制,保证输出激光功率的稳定。

2 试验研究

2.1 功率测试实验

为了验证功率检测系统的性能,保证功率检测的准确性和可靠性,在4kW轴快流CO₂激光器上测量了在不同输出功率下该检测装置的输出电压,并实测了功率读数与激光器输出功率之间的关系。在不同的输出功率下,功率与电压的关系曲线如图5所示。测量结果表明,检测系统输出的电压与激光器的输出功率有着良好的线性关系。

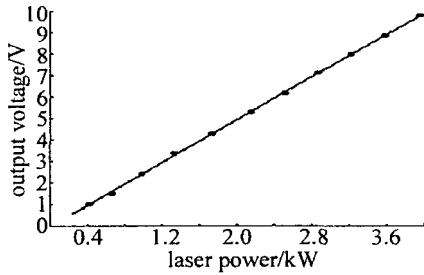


Fig 5 Linearity of the monitor

2.2 功率稳定性试验研究

在完成与激光器接口电路的设计及整个系统的安装与调试后,在 4kW 激光器上实际运行该系统。实测了激光功率长时间波动曲线(见图 6),并对几种不同的检测与控制方式进行了对比研究(见表 1)。采用传

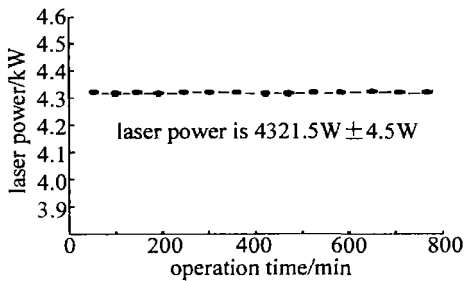


Fig 6 Stability of laser power

Table 1 Comparison of stability of laser power

feedback parameter	none	discharge current	laser power	laser power
control methods	opened-loop control	closed-loop control	PLC control	PID control
power stability	$> \pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$	$\pm 0.1\%$

统的电流反馈控制激光的输出功率,由于放电电流并不能准确反应激光功率的输出变化,功率的稳定性较差。采用光功率反馈控制,目前在已报道的同类产品中,美国 PRC 公司生产的 STS 系列高功率 CO₂ 激光器功率稳定度最高(小于 $\pm 0.5\%$),而在其它国内同类产品中^[6],功率稳定度一般为 $\pm 2\%$ 。而本文中所介绍的基于尾镜取样的功率反馈与闭环控制系统,可大大提高激光功率的稳定精度,激光功率波动

$\leq \pm 0.1\%$ 。在国内外目前还未见这样高的功率稳定度报道。

3 结束语

所介绍的功率检测控制控制系统现已应用于 2kW ~ 4kW 高功率轴快流 CO₂ 激光器中。基于尾镜采样的激光功率反馈自动控制与闭环调节系统实现了直线功率调节和极高的功率稳定度(小于 $\pm 0.1\%$),取得了令人满意的效果。该系统具有结构紧凑、性能稳定、响应迅速、工作环境适应性强等优点,实现了对激光功率的实时检测而又不影响激光输出,显示出了较大的应用价值。

参 考 文 献

- [1] LIU L, CHEN Q M. Application of grey prediction control in automatic control of CO₂ laser [J]. Laser Technology, 1999, 23(4): 234 ~ 237 (in Chinese).
- [2] SHI P Zh. Automatic measurement and control system of gas pressure for fast axial industrial CO₂ laser [J]. Applied Laser 1997, 17(4): 170~ 172 (in Chinese).
- [3] XIE Q, LI SH M, XU Zh *et al*. Gas control in a fast-flow axial CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2002, 26(2): 135~ 137 (in Chinese).
- [4] ZHOU D H, LI SH M. Review of axial flow CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2000, 24(1): 4~ 8 (in Chinese).
- [5] PENG H, WANG H Sh, LIU J A application of PLC in the control system of high power CO₂ laser [J]. Laser Journal 2003, 24(6): 72~ 73 (in Chinese).
- [6] LIU J HE Ch Y, LI J R. Power detection and control system for high power CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2003, 27(6): 588~ 590 (in Chinese).
- [7] MAN Ch Y, LU Y D, SHIH M. Laser parameter testing technology and equipment for laser processing machine [J]. Applied Laser 1999, 19(5): 324~ 326 (in Chinese).
- [8] XU Zh Y, XIONG B, WANG Y *et al*. Micro machined infrared thermopile detector [J]. Journal of Mechanical Strength 2001, 23(4): 539 ~ 542 (in Chinese).
- [9] ZHU D H. The principle and interface technique of microcontroller unit [M]. Beijing Publishing House of Electronics Industry, 2001, 165~ 185 (in Chinese).
- [10] DING F, WANG Y Q, LI B *et al*. Power control system design of 3kW fast flow axis high power CO laser [J]. Laser Journal 2004, 25(5): 16~ 17 (in Chinese).