

## Nd:YAG 脉冲激光器双光路时分复用系统研究

张健<sup>1</sup> 张庆茂<sup>1</sup> 陈国<sup>1</sup> 李泽曦<sup>1</sup> 吴锐欢<sup>1</sup> 郭亮<sup>1,2</sup> 刘颂豪<sup>1</sup>( <sup>1</sup> 华南师范大学 广东省微纳光子功能材料与器件重点实验室, 广东 广州 510006 )  
<sup>2</sup> 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641

**摘要** 为满足多光路、多工位激光加工需求,采用 Nd:YAG 脉冲激光器为光源,研制出激光器双光路时分复用系统。提出了时分复用的具体实施方案,设计出能够实现时分复用分光的可控 30° 旋转分光装置以及对装置的工作状态实现实时控制的时分复用控制电路,并确定了系统的工作时序。最终在不降低输出功率的前提下,实现了激光的时分复用、双光路输出。实验利用能量计采集数据,对光路耦合效率进行计算,实验表明,在电流为 50 A、脉宽为 4 ms、能量为 7.3 J 时,A 路耦合效率为 85.21%,B 路耦合效率为 85.23%,满足多工位加工需求。最后结合实际应用,将所设计的两光路,一路用于焊接,一路用于熔覆。

**关键词** 激光器;双光路激光;时分复用;耦合效率

**中图分类号** TP23; TP211.6 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.011402

## Nd:YAG Pulsed Laser Double-Pass Time-Sharing Multiplexing System

Zhang Jian<sup>1</sup> Zhang Qingmao<sup>1</sup> Chen Guo<sup>1</sup> Li Zexi<sup>1</sup> Wu Ruihuan<sup>1</sup>  
Guo Liang<sup>1,2</sup> Liu Songhao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratory of Nanophotonic Functional Materials and Devices, Guangdong Province, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006, China*  
<sup>2</sup> *School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China*

**Abstract** In order to satisfy the need of multi-pass and multi-station laser processing, Nd:YAG pulsed laser is chosen as the light source and the laser double-pass time-sharing multiplexing system is developed. A concrete implementation scheme for time-sharing multiplexing is put forward, and in order to achieve time-sharing multiplexing beam splitting, controllable 30° revolving beam splitting device is designed, besides, a time-sharing multiplexing control circuit is designed to achieve real-time control of the device, and the system working time sequence is determined. In this way, time-sharing multiplexing and multi-pass output can be realized under the premise of not reducing the output power. Energy meter is used to collect data for calculating the light path coupling efficiency. The results of experiments show that when the current is 50 A and pulse width is 4 ms, the coupling efficiency of path A is 85.21% and that of path B is 85.23%, in the state of which the demand of multi-station processing can be met. And combined with practical applications, two splitting light paths are designed, one is used for welding and the other for melting and coating.

**Key words** lasers; double-pass laser; time-sharing multiplexing; coupling efficiency

**OCIS codes** 140.3460; 140.3510; 140.3325

**收稿日期**: 2012-09-25; **收到修改稿日期**: 2012-10-15; **网络出版日期**: 2012-11-12

**基金项目**: 中央财政支持地方高校专项资金(510-C10293)、广东省教育部产学研结合重点项目(2010A090200048)、广东省教育厅学科建设专项(CXZD1139)和华南理工大学国家金属材料近净成形工程技术研究中心开放基金(2011006)资助课题。

**作者简介**: 张健(1982—),男,博士研究生,主要从事激光及其应用技术等方面的研究。

E-mail: zhangjian200623@sina.com

**导师简介**: 张庆茂(1966—),男,博士,教授,主要从事激光先进制造技术方面的研究。E-mail: zhangqm@scnu.edu.cn (通信联系人)

## 1 引言

为满足对低功耗、高效率和自动化激光加工的需求<sup>[1~4]</sup>,多工位多工件激光加工已成为新的发展趋势,对激光的多光路输出提出了新的要求<sup>[5~7]</sup>。现有的激光加工设备基本都是单光路传输系统,在加工不同形状、不同尺寸的工件时,需要多次装夹及调试,耗时,耗力,效率低下<sup>[8]</sup>,于是出现了多光路技术。现有的多光路技术有能量分光多光路技术<sup>[9]</sup>和多光源多光路技术<sup>[10]</sup>。能量分光多光路技术是通过在激光器输出端安装不同透射率的反射镜,对原有光束进行能量分光<sup>[11]</sup>。但这种技术降低了各输出光路的功率,在较大功率需求的场合不能达到激光加工要求,而且各光路只能同时出光,缺乏灵活性。多光源多光路技术是在激光器内部放置多个激光光源,以实现多光路输出,这种技术相当于几台激光器的简单叠加,成本高、能耗大,而且控制与调整复杂。

为此,结合 Nd:YAG 脉冲激光器特点<sup>[12~15]</sup>,设计了一种克服上述缺陷的激光器双光路时分复用系统。该系统通过可控 30° 旋转分光装置,将一束高功率激光光束在不同时间切换至不同的光路进行输出,实现时分复用。在保持原有输出功率的同时,实现双光路输出。利用能量计采集数据,对不同脉冲能量下的耦合效率进行了计算,耦合效率满足激光加工的要求。

## 2 原理与构成

Nd:YAG 脉冲激光器双光路时分复用系统由 Nd:YAG 脉冲激光器、45° 全反镜、可控 30° 旋转分光装置、时分复用控制电路、光纤耦合头、光纤和工作台组成。激光器输出光束至 45° 全反镜 1 上,反射至与入射光垂直的方向。在反射光束所在直线上分别放置可控 30° 旋转分光装置和 45° 全反镜 2。可控 30° 旋转分光装置装有一块受时分复用控制电路控制的可移动全反镜。当可移动全反镜处于抬升状态时,反射激光被该全反镜反射至光纤耦合头 B,工作台 B 输出光束;当可移动全反镜处于降落状态时,反射激光将被 45° 全反镜 2 再次反射至光纤耦合头 A,工作台 A 输出光束,从而实现了激光器的双光路输出。Nd:YAG 脉冲激光器双光路时分复用系统结构框图如图 1 所示。

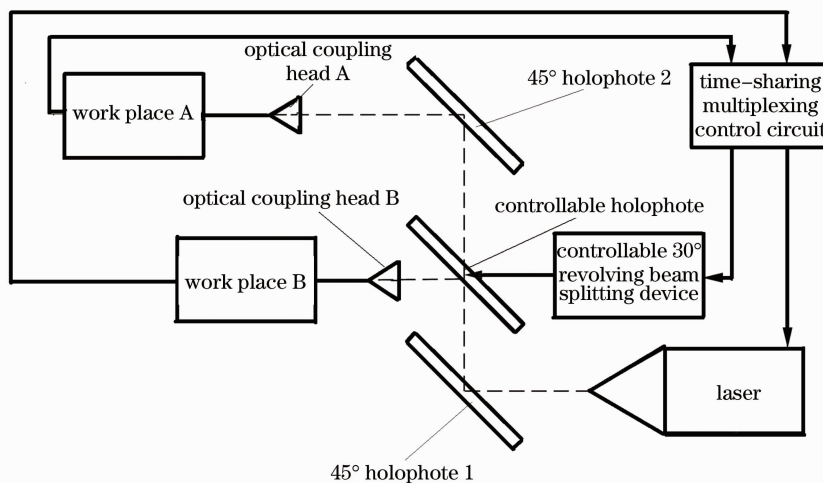


图 1 Nd:YAG 脉冲激光器双光路时分复用系统结构框图

Fig. 1 Structure graph of Nd:YAG pulsed laser double-pass time-sharing multiplexing system

## 3 时分复用的具体实现

在双光路时分复用系统中,可控 30° 旋转分光装置和时分复用控制电路对激光束时分复用的实现起到关键性的作用,是整个系统的核心。时分复用控制电路控制 30° 旋转分光装置中旋转磁铁的旋转及实现整个系统的逻辑控制,旋转磁铁控制全反镜的位置,进而控制整个系统的工作状态。而可控 30° 旋转分光装置又是时分复用实现必不可少的器件。因此对两者进行了具体的设计。

### 3.1 时分复用分光的实现

为达到时分复用的分光目的,设计了可控 $30^\circ$ 旋转分光装置。可控 $30^\circ$ 旋转分光装置由 $30^\circ$ 旋转磁铁、机械臂、导轨、轴套、可移动全反镜、全反镜固定架、挡光片和基座组成。 $30^\circ$ 旋转磁铁、机械臂、导轨安装在基座上,全反镜固定架安装在导轨滑片上,机械臂通过轴套连接全反镜固定架,并在全反镜固定架上安装一挡光片。当 $30^\circ$ 旋转磁铁工作时,机械臂旋转,可移动全反镜沿着导轨滑动,挡光片随之上下滑动。挡光片的滑动有利于时分复用控制电路捕获光信号,以便进行全反镜位置的检测。可控 $30^\circ$ 旋转分光装置如图2所示。

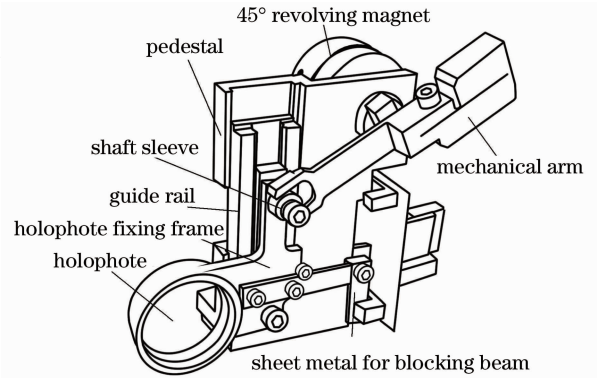


图2 可控 $30^\circ$ 旋转分光装置

Fig. 2 Controllable  $30^\circ$  revolving beam splitting device

### 3.2 时分复用控制的实现

为实现对上述装置的控制,达到时分复用的控制目的,对时分复用控制电路进行了研究。时分复用控制电路由微处理器、磁铁驱动电路、按键检测电路、全反镜位置检测电路和激光输出控制电路组成。按键检测电路或工业计算机接收到输入信号时,向微处理器发送电平信号,同时全反镜位置检测电路也向微处理器发送全反镜位置信号。当全反镜处于目标位置时,微处理器不做任何处理。当全反镜未处于目标位置时,微处理器首先向激光输出控制电路发送停止信号,再向磁铁驱动电路发送磁铁旋转信号,全反镜位置改变,最后向激光输出控制电路发送输出信号,激光器输出光束,最终达到改变激光光路的目的。时分复用控制原理图如图3所示。

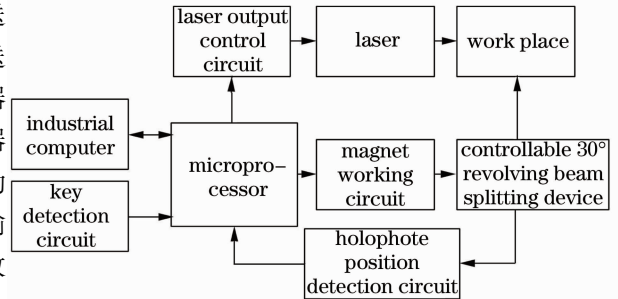


图3 时分复用控制原理图

Fig. 3 Control schematic of time-sharing multiplexing

### 3.3 时分复用系统的工作时序

为避免因分光装置中全反镜抖动而造成的光纤损坏并确保时分复用系统中各模块间逻辑关系正确,确定了系统的工作时序。微处理器接收到按键检测电路或工业计算机信号,全反镜检测模块检测确定全反镜位置后,激光输出控制模块关闭激光器输出,磁铁驱动模块工作状态改变,全反镜移动500 ms到达目标位置,微处理器延时300 ms使全反镜位置稳定,激光输出控制模块再开启激光器输出。系统工作时序如图4所示。

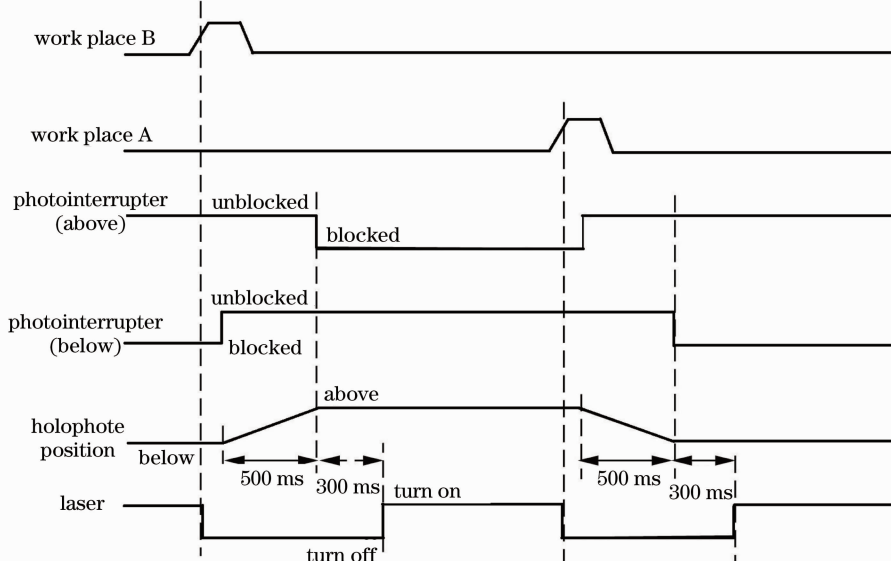


图4 系统工作时序图

Fig. 4 Time-sequence chart of working system

## 4 结 果

为测定本系统中不同光路的耦合效率,实验在电流为 50 A 的条件下,采用激光能量计分别在激光器输出端及两个工作台输出端,对不同脉宽的激光能量进行测量,计算两光路的耦合效率,如图 5 所示。从图中可以看出 Nd:YAG 激光器双光路时分复用系统两光路的激光耦合效率接近,而且随着脉宽的增加,耦合效率都在下降;这是由于随着脉宽的增加,单脉冲能量增加,光束质量也相应地有所下降,造成光束发散角的微小改变,导致光学镜片热效应不同,对光束的反射有差别,最终导致耦合效率有所不同。当脉宽为 4 ms,脉冲能量为 7.3 J 时,A 路耦合效率为 85.21%,B 路耦合效率为 85.23%,满足工业需求。

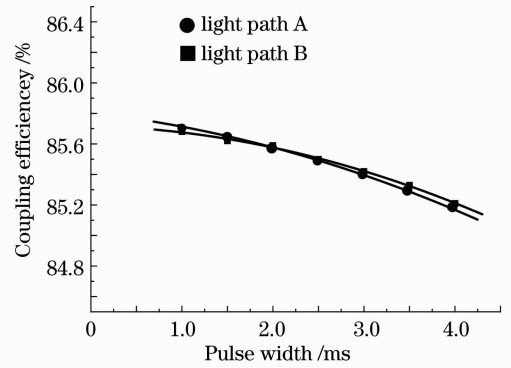


图 5 耦合效率曲线图  
Fig. 5 Coupling efficiency

结合实际应用需求,将激光器双光路时分复用系统所设计的两路光,一路用于激光焊接,一路用于激光熔覆。激光焊接工作台如图 6(a)所示,激光熔覆工作台如图 6(b)所示。该双光路时分复用系统还能根据具体需求,设计成两路都用于激光焊接或者两路都用于激光熔覆。同时还可以通过软件编程进行不同工位的切换加工。



图 6 激光加工工作台。(a)激光焊接工作台;(b)激光熔覆工作台

Fig. 6 Platform of laser processing. (a) Platform of laser welding; (b) platform of laser melting and coating

## 5 结 论

研制了 Nd:YAG 激光器双光路时分复用系统。通过控制可移动全反镜的位置,在不降低各光路输出功率的前提下,便捷地把激光切换至不同输出口输出,实现激光的时分复用,使其能够进行多工位多工件激光加工。通过检测全反镜的位置,能避免由于各种故障造成的全反镜不能准确地移动到指定位置,从而导致激光在非指定输出口输出的问题,增强系统的准确性、安全性。系统的可控 30°旋转分光装置可移植性强,能配合现有单光路激光器,改进成双光路输出,满足了现今激光加工对低成本、高效率的多光路激光器的需求。系统输出的两路激光,在单脉冲能量为 7.3 J 时,耦合率分别为 85.21% 和 85.23%,符合实际激光加工要求。

## 参 考 文 献

1 Luo Xi, Chen Peifeng, Wang Ying *et al.*. An exploratory investigation of wide-band beam shaping for high power laser processing[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(4): 0403003

罗曦,陈培锋,王英等. 新型高功率激光加工用激光光束展宽方法的探索性研究[J]. *中国激光*, 2011, **38**(4): 0403003

- 2 Yang Lei. Laser cutting thick plate [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2000, **37**(4): 41~44  
杨 蕾. 激光切割厚板材[J]. 激光与光电子学进展, 2000, **37**(4): 41~44
- 3 A. K. Dubey, V. Yadava. Laser beam machining: a review[J]. *International J. Machine Tools & Manufacture*, 2008, **48**(6): 609~628
- 4 Jiang Menghua, Li Qiang, Lei Hong *et al.*. Study on producing non-tapered holes with adaptively collimating high peak power pulsed Nd:YAG laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(10): 1003004  
姜梦华, 李 强, 雷 甸 等. 高功率自准直脉冲 Nd:YAG 激光加工无锥度直孔研究[J]. 中国激光, 2011, **38**(10): 1003004
- 5 Zhang Yongqiang, Chen Wuzhu, Zhang Xudong. PC-based open multi-functional NC system for laser processing [J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(6): 368~370  
张永强, 陈武柱, 张旭东. 基于 PC 的开放式多功能激光加工数控系统[J]. 应用激光, 2004, **24**(6): 368~370
- 6 Liu Juan, Tang Xiahui, Peng Hao *et al.*. Optimization of control system for three-working-position high efficiency laser welding [J]. *Laser Technology*, 2010, **34**(1): 56~59  
刘 娟, 唐霞辉, 彭 浩 等. 高效率 3 工位激光焊接系统的控制优化[J]. 激光技术, 2010, **34**(1): 56~59
- 7 M. Labudovic, D. Hu, R. Kovacevic. A three dimensional model for direct laser metal powder deposition and rapid prototyping [J]. *J. Mater. Sci.*, 2003, **38**(1): 35~49
- 8 Li Liqun, Tao Wang, Zhu Xianliang. Wire filling laser multilayer welding of high strength steel thick plate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(5): 1251~1255  
李俐群, 陶 汪, 朱先亮. 厚板高强度钢激光填丝多层焊工艺[J]. 中国激光, 2009, **36**(5): 1251~1255
- 9 Zhou Binkun, Gao Yizhi, Chen Tirong *et al.*. The Principle of Laser [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004. 24~200  
周炳琨, 高以智, 陈倜嵘 等. 激光原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. 24~200
- 10 刘霄海, 葛宏宇, 侯国忠. 一种多路激光光源设备的结构设计 [J]. 中国新技术新产品, 2010, (14): 148
- 11 Lan He, Ye Jian, Qin Hai *et al.*. Multilevel Homenergetic Beam Splitting System [P]. Chinese Patent, 201110337015.3, 2011-10-31  
蓝 劼, 叶 健, 覃 海 等. 多级等能量分光系统 [P]. 中国专利, 201110337015.3, 2011-10-31
- 12 S. Dadras, M. J. Torkamany, J. Sabbghzadeh. Spectroscopic characterization of low-nickel copper welding with pulsed Nd:YAG laser [J]. *Opt. Lasers Eng.*, 2008, **46**(10): 769~776
- 13 Xiao Chongli, Wan Chunming, Ling Ming. Side-pumped Nd:YAG pulsed laser with conduction cooling [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(4): 0414001  
肖崇凛, 万春明, 凌 铭. 传导冷却侧面抽运 Nd:YAG 脉冲激光器 [J]. 光学学报, 2011, **31**(4): 0414001
- 14 Liu Yonggang, Wang Baohua, Hou Wei *et al.*. Side-pumped Nd:YAG laser of 86 W quasi-fundamental mode diode-lasers [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, **48**(7): 071403  
刘永刚, 王宝华, 侯 玮 等. 86 W 准基模激光二极管侧面抽运 Nd:YAG 激光器 [J]. 激光与光电子学进展, 2011, **48**(7): 071403
- 15 Jiang Menghua, Li Qiang, Lei Hong *et al.*. A pulsed master-oscillator power-amplifier Nd:YAG laser with average power of 3000 W [J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(11): 1102006  
姜梦华, 李 强, 雷 甸 等. 平均功率 3000 W 的 MOPA 脉冲 Nd:YAG 激光器 [J]. 中国激光, 2011, **38**(11): 1102006