

大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器控制系统设计

孟范江, 杨贵龙, 李殿军, 郭 劲, 郭立红, 邵春雷
(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器不仅设备复杂, 而且具有高电压、高激光功率、强电磁干扰的特点。本文采用工控机、可编程控制器和触摸屏, 设计并实现了两级分布式大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器控制系统。详细阐述了系统硬件和软件的设计方案及实施过程。实际应用表明, 该控制系统工作稳定可靠, 具有较好的实际应用价值。

关键词: 大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器; 控制系统; 可编程控制器; 电磁干扰

中图分类号: TN248.2

文献标识码: B

Design of control system for high-power pulsed TEA CO₂ laser

MENG Fan-jiang, YANG Gui-long, LI Dian-jun, GUO Jin, GUO Li-hong, SHAO Chun-lei
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: High power pulsed TEA CO₂ laser is a complicate system. The high voltage and strong electromagnetic emission make its control system easy to fail or malfunction. The design and implementation of a high power TEA CO₂ laser control system is presented. With a two-level distribution control scheme, the system includes industrial computer, programmable logic controller and function units. By take dedicated measures in hardware and software design, a control system with good EMC characteristic was realized. It works well in the practical application.

Key words: high-power pulsed TEA CO₂ laser; Control system; PLC; EMI

1 引 言

大功率脉冲 TEA CO₂ (transversely excited atmospheric, TEA) 激光器的工作波长为 10.6 μm, 经过几十年的发展, 其脉冲峰值功率可达 10¹² W, 单脉冲能量可达 10³ J, 平均功率达到 10⁴ W, 是气体激光器在高功率和大能量方面与固体激光器竞争的最有希望的器件。在激光核聚变、分离同位素、光泵远红外激光器、工业加工、国防以及激光化学等方面获得了广泛的应用, 特别是在近年来国内外研究热点——激光推进技术研究中成为首选激光器, 有着极大的发展前景^[1]。它是一个集光、机、电于一体的大型设备, 其系统包括大功率高压电源子系统、脉冲大电流放电电子系统、高速风机子系统、高真空密封腔体。它工作时必需保持工作气体成分、气压以及温度的动态稳定, 因此, 其控制系统在运行中要对系

统中的电压、电流、气压、温度、气比等多种参量进行实时监测和反馈调整, 同时, 由于其工作时进行高电压、大电流脉冲放电, 会产生强烈的电磁干扰, 这种强电磁干扰对激光器系统内部及外部相关的电子系统具有很大的干扰和破坏作用^[2-4]。为此要求其控制系统必须能抗强电磁干扰, 可靠性高。本文根据大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器的工作需求, 对其控制系统进行了设计。

2 大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器系统结构及工作原理

大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器系统由触发子系统、脉冲开关子系统、储能放电电子系统、高压电源子

作者简介: 孟范江 (1957-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事高功率气体激光器技术研究。E-mail: mengfj2006@sohu.com

收稿日期: 2010-03-10; 修订日期: 2010-05-02

系统、制冷子系统、风机子系统、激光腔体和控制系统组成^[5]。其中控制子系统由触摸屏 (graphic operation terminal, GOT)、工控机、PLC 和激光器电气系统组成。其组成结构如图 1 所示。

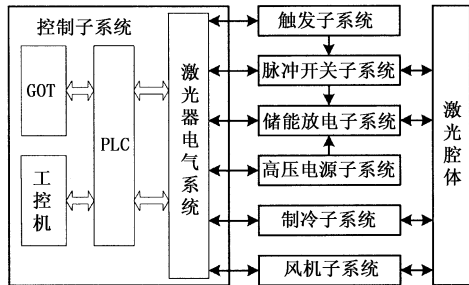


图1 大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器系统组成结构

Fig. 1 system structure of high-power pulsed TEA CO₂ laser

高压电源子系统对储能放电系统中的储能电容器充电至额定值后,控制子系统发出发射指令至触发子系统,触发子系统发出触发脉冲使脉冲开关子系统导通,储能电容器通过脉冲开关对主放电电极进行高压脉冲放电,激励主放电电极之间的气体产生激光。激光器充放电的重复频率为 100 ~ 400 Hz。制冷和风机子系统的作用是使脉冲开关和主放电电极中的气体循环流动降温,提供稳定放电气流条件。控制子系统的任务是根据操作者输入的指令,通过用户程序运算处理,对激光器系统进行实时控制。

3 控制子系统功能

由工控机与可编程控制器 (PLC) 构成两级分布式控制系统。工控机为上位机,PLC 为现场级。现场级的主要操作界面为 GOT,可独立地监视、控制激光器正常运行及参数设定。上位机也可以独立地监视、控制激光器正常运行,其操作界面采用窗口和菜单技术编制。PLC 和上位机之间通过 RS - 442 通信接口进行信息传递。它具有实时日历钟、自动判断激光器的报警级别、按照报警级别进行声光报警 (如温度过高、过流过压等) 以及自动故障停机等功能。PLC 系统与激光器电气安装在现场激光器侧的控制柜内,上位机系统安装在控制室内。

4 硬件设计

可编程序逻辑控制器是一种基于数字计算机技术、专为在工业环境中应用而设计的电子控制装置。具有可靠性高、抗干扰能力强、功能完善、扩充方便、组合灵活的优点,在工业中得到了广泛应用^[6]。

Q 系列 PLC 是日本三菱公司新推出的产品,它具有丰富的功能模块,包括数字量模块、模拟量模

块、高速通信模块等,最大 I/O 点数 8192,可根据需要选择不同的模块组合成控制系统,最多可连接 7 级扩展基板单元,达到 64 块基板单元。CPU 内置标准 ROM,存储容量可扩展至 32 M。体积比以往产品减少 60% 左右。系统软件功能丰富、完善,编程软件 GX-Developer 界面友好而功能强大,其配套的存储卡使程序修改和调试、设备维护十分方便。采用三菱公司 QPLC,配以 AD、D/A、I/O 和通信模块组成的控制系统硬件如图 2 所示。

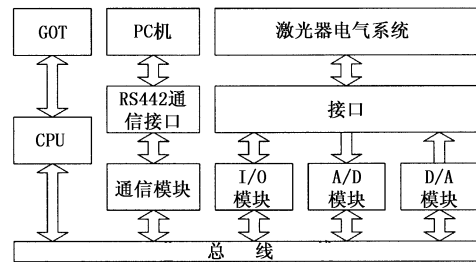


图2 控制系统硬件

Fig. 2 hardware of control system

5 软件设计

软件设计包括三个部分:PLC 程序、触摸屏操作界面和上位机程序。软件要求运行稳定可靠,每个设备都有检测,即检测功能齐全;操作直观、方便、用户界面友好;有较快的响应速度;便于扩充及维护;对电磁干扰有抑错、容错和纠错能力。

5.1 PLC 软件和触摸屏操作界面

可编程控制器的程序设计采用结构单位直观及方便的梯形图进行。根据软件需求,采用自顶向下、逐步细化的软件工程方法设计软件。软件细化成三级:先分成数个主模块,再将主模块进一步细化。其中二级模块中的开机系统自检模块细化如图 3 所示。

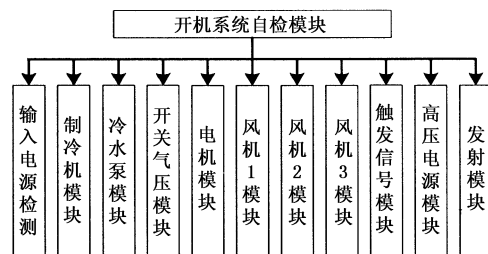


图3 开机系统自检模块细化图

Fig. 3 detail scheme of self-check for start-up system

触摸屏操作界面功能包括开机、参数设置、自动运行、维护等界面。设有开机密码、关键设备密码、启动进度过程显示、数据显示、设备状态显示、故障定位。其中自动运行操作界面如图 4 所示。

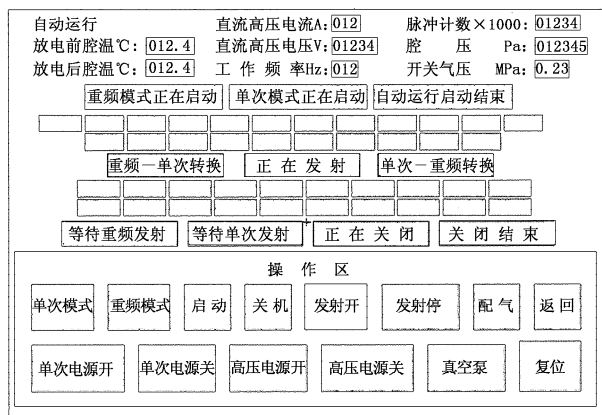


图4 GOT自动运行操作界面

Fig. 4 operation interface of automatic run in GOT

5.2 上位机监控软件设计

上位机软件系统包括远程控制、数据采集及显示、参数设置、权限设置、离线编程等功能。用户界面的设计及相应数据处理的 Microsoft Visual Basic 完成,而接口模块用 Microsoft MASM 进行编写。上位机软件系统功能实现如图5所示。

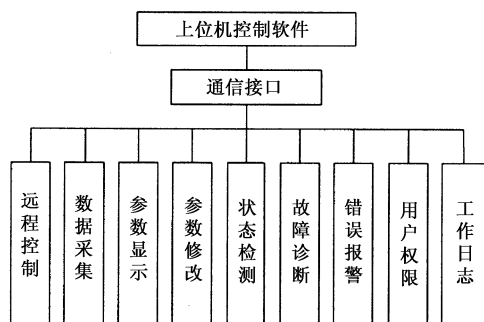


图5 上位机软件功能

Fig. 5 software function of up-computer

6 抗干扰设计

大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器系统的电磁干扰源中,既有大电流磁场干扰和高压电场干扰,还有弧光放电和火花放电产生的辐射干扰和电源谐波干扰,干扰频谱在几百千赫兹至 1 GHz。同时,由于系统内有多个子系统,由于系统体积的限制,多个子系统在空间上一般都靠得比较近,而且公用一个电网供电,因此,一方面相互之间会产生严重干扰,另一方面会污染电网和环境。由电磁兼容原理可知,造成设备性能降级或失效的 EMI 必须同时具备三个要素:EMI 源;EMI 传播路径;对 EMI 敏感的设备。解决电磁兼容问题的基本方法就是从这三个因素入手:削弱 EMI 源的能量,切断 EMI 耦合路径及提高设备对 EMI 的抵抗能力。消除这三个问题或其中一个,就能解决系统的电磁兼容问题^[7-9]。

6.1 硬件手段

控制子系统采用屏蔽箱体。由于屏蔽效能的关键是屏蔽体的缝隙、孔洞、开门的处理,因此,分别采用电磁密封衬垫、蜂巢式屏蔽通风板、铍铜指形簧片等材料对屏蔽柜进行了严密的电磁密封处理。信号通道采用宽带滤波器滤波、隔离后送入控制核心。同时采用空间隔离方法设计元器件布局、走线和接地,减小场耦合。对于计算机的电源干扰,主要有两个:一个是电源线上的瞬变,包括震荡瞬变和脉冲干扰;另一个是长时间的电压过低和波动。因此,控制电路的供电电源采用了有 TVS 管、交流稳压器、电源滤波器、超级隔离变压器组成的电源净化网络,并对各部分进行单独供电^[10-11]。

6.2 软件手段

软件抗干扰措施是当系统受到干扰后使系统恢复正常运行或输入信号受到干扰后去伪求真的一种辅助手段。所以软件抗干扰是被动措施,而硬件抗干扰是主动措施。但由于软件设计灵活,节省硬件资源,特别是由于控制系统工作在一个强电磁脉冲干扰环境中,仅采用硬件抗干扰措施是不够的,需要进一步借助于软件措施来克服。即在软件中加入一些抗干扰模块,才能更好地解决干扰问题。软件手段主要包括:指令复执技术、程序回卷技术、数字滤波技术、看门狗技术、输入输出软件抗干扰等措施。

7 结论

采用工控机、PLC、触摸屏以及电磁兼容技术设计系统的软硬件,实现了大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器两级控制,满足了大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器对其控制系统要求的抗强电磁干扰、可靠性高的要求。该控制系统经过实际长期运行考核,证明具有使用方便、工作稳定、安全可靠,具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] Li S M. Principles and design of laser device [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998: 96. (in Chinese)
李适民. 激光器件原理与设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 96.
- [2] Bhatia M S, Kumar G. On the EMI potential of various laser types [C]// IEEE Proceedings of the International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, 2002: 3-5.
- [3] Phulluke R, Agrawal V, Kumar G, et al. Conducted EMI issues and the design of EMI filters for AC power supply

- feeding a copper vapour type laser[C]// IEEE Proceedings of the International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, 2002: 267 – 271.
- [4] Meng F J, Guo L H, Yang G L, et al. Suppression of electromagnetic interference in the Big-power TEA CO₂ laser system[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2008, 20(2): 177 – 182. (in Chinese)
孟范江, 郭立红, 杨贵龙, 等. 大功率 TEA CO₂ 激光器系统中电磁干扰的抑制[J]. 强激光与粒子束, 2008, 20(2): 177 – 182.
- [5] Li D J, Yang G L. Impact of main discharge delay time on optoelectronic conversion efficiency in TEA CO₂ laser[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(5): 807 – 810. (in Chinese)
李殿军, 杨贵龙. TEA CO₂ 激光器主放电延迟时间对效率的影响[J]. 光学精密工程, 2006, 14(5): 807 – 810.
- [6] Qiu G W. Net-communication and application of programmable controllers [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000: 5. (in Chinese)
邱公伟. 可编程控制器网络通信及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 5.
- [7] C Attaianesi, V Nardi, G Tomasso. Improving the internal electromagnetic compatibility in AC drives [J]. WSEAS Transactions on Power Systems, 2006, 1(6): 1022 – 1027.
- [8] Hasson V. Review of design concepts and diagnostics for 100 kW class repetitive pulsed CO₂ laser [J]. SPIE, 2003, 5120: 717 – 730.
- [9] Edrisi M, Khodabakhshian A. Simple methodology for electric and magnetic shielding effectiveness computation of enclosures for electromagnetic compatibility use [J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2006, 20(8): 1051 – 1060.
- [10] Meng F J, Yang G L, Li D J, et al. EMC design of high-power TEA CO₂ laser system [J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2009, 3: 236 – 241. (in Chinese)
孟范江, 杨贵龙, 李殿军, 等. 大功率 TEA CO₂ 激光系统的电磁兼容性设计[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 3: 236 – 241.
- [11] Qian Z Y. Design of electromagnetic compatibility of electronic products [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2001, (3): 51 – 52. (in Chinese)
钱振宇. 产品的电磁兼容性设计[J]. 电源技术应用, 2001, (3): 51 – 52.