

# 1500 W 高频激励 CO<sub>2</sub> 激光器控制模型的研究

周茂华 丘军林

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘要** 结合高频放电 CO<sub>2</sub> 激光器, 提出了一种激光器智能控制模型, 并简单讨论了建构模型的方法和理论。

**关键词** CO<sub>2</sub> 激光器, 高频放电, 控制模型, 智能控制

**中图分类号** TN248.2<sup>+</sup>2 **文献标识码** A

## Research of Control Model of 1500 W HF-excited CO<sub>2</sub> Laser

ZHOU Mao-hua QIU Jun-lin

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** A intelligence control model of HF-excited Laser has been put forward in this paper. The method and theory of building this model is discussed in brief.

**Key words** CO<sub>2</sub> laser, HF-discharge, control model, intelligence control

## 1 引言

目前激光加工技术进入了一个新的发展时期, 对激光器性能指标提出了更高的要求。研究表明影响激光器的输出功率、光束质量和稳定性等性能指标的主要因素有: 放电在空间分布的不均匀性和在时间上的不稳定性、气体流动、腔内温度变化以及谐振腔反射镜热变形等等<sup>[1,2]</sup>。激光器开始运行时, 可以通过严格的设计和精心调整, 使之达到所要求的性能指标。但是当激光器长时间运行时, 由于上述因素的影响, 激光器将会出现输出功率下降, 效率变差, 同时光束质量也将会产生变化。激光器偏离了开始的状态。显然, 仅依靠激光器自身调整保证运行在较佳状态是不可能的, 人工调整无法满足实际应用需要。为此, 人们提出了许多激光器的控制方案, 例如以电流为调整量, 输出功率为反馈量的闭环控制系统、自适应激光谐振腔系统等等。这些方案都提出了很好控制思想, 但是应用到实际中的系统并不多见。通过分析, 可以发现激光器是一个很复杂的对象, 它有如下特点:

- 激光器是一个大滞后环节, 依靠偏量控制很难取得好的效果, 相反容易加剧系统的不稳定。
- 激光器无法用精确的数学模型描述, 具有许多不确定性<sup>[3,4]</sup>。

· 影响激光器的因数很多, 它是一个多输入多输出系统。

激光器的这些特点不仅给控制模型的设计带来很多麻烦, 而且采用常规的控制方法难以达到预期的控制效果。本文以高频激励 CO<sub>2</sub> 激光器为对象, 根据智能控制原理, 提出了一种新的激光器控制模型。

## 2 激光器智能控制模型

激光器是一个很复杂的对象, 具有非线性、时变性、多层次、多因素和各种不确定性, 难以建立精确的数学模型<sup>[5]</sup>, 所以采用经典控制和现代控制方法, 都不能达到满意的效果。即使能在激光器的某些环节上建立数学模型, 如谐振腔、气体放电的动力学模型, 但是由于这些模型过于复杂, 而且适用较差, 既不利于控制模型的设计也难以实现有效控制。

尽管激光器工作过程很复杂, 但是人们通过观察和判断, 用手调方式也能很好地控制激光器。这表明只要合理选择控制模型就能实现激光器有效控制。智能控制是一种仿人控制的控制理论, 它已有近 30 年的发展历史, 并取得了很大成果。它将人工智能的理论及技术、运筹学的优化方法同控制理论方法和技术相结合, 在对象未知情况下, 仿效人类智能, 实现对系统的控制<sup>[6]</sup>。根据激光器控制的特点,

按照智能控制原理,我们设计了一种激光器的智能控制模型,其结构框图如图 1 所。

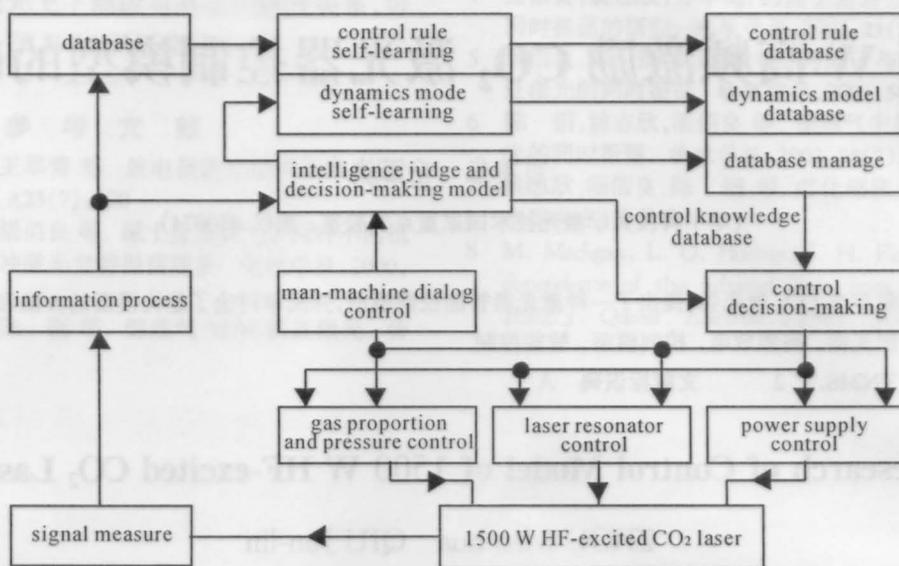


图 1 1500 W 高频激励 CO<sub>2</sub> 激光器控制模型

Fig. 1 Control model of 1500 W HF-excited CO<sub>2</sub> laser

### 3 可观测可控制矩阵

激光器可观可控测量: 放电电压和电流, 电源频率, 气体温度, 总气压, CO<sub>2</sub> 配比, N<sub>2</sub> 配比, He 配比, 激光输出功率, 后反射镜 X, Y 向调节, 输出镜 X, Y 向调节。分别用  $U, I, f, T, p, p_{CO_2}, p_{N_2}, p_{He}, p_{out}, \theta_x, \theta_y, \theta_{outx}, \theta_{outy}$  表示, 这些量都可以用传

感器精确的测量。激光器中还有些量是无法用精确数字表示, 仅是一个模糊概念, 例如放电的稳定度、质量和光束质量。这些模糊量也将参加控制, 并且在控制过程中起很重要的作用。这里采用模糊量的表示方法。表示如下

放电的稳定度:

$$S_e = [-5 \quad -4 \quad -3 \quad -2 \quad -1 \quad 0 \quad +1 \quad +2 \quad +3 \quad +4 \quad +5]$$

将稳定度这个模糊量分为 11 个级, -5 表示最差, +5 表示最好, 0 表示正常。

放电的质量  $Q_e$  和光束质量  $Q_o$  在控制过程中也是模糊量, 可以用同样方式表达。

系统可控的输入向量:

$$X = (U, I, f, T, p, p_{CO_2}, p_{N_2}, p_{He}, p_{out}, \theta_x, \theta_y, \theta_{outx}, \theta_{outy})$$

系统可观测的输出向量

$$Y = (P_{out}, T, p, S_e, Q_e, Q_o)$$

### 4 智能控制策略与规则

控制知识库由控制规则库和动力学模型库组成, 控制规则库是从常规控制和人的经验操作中提炼的规则, 一般规则形式为

$$[R_i::(\text{if } Y = Y_i \text{ then } X = X_i), (\text{Pr1 Pr2} \dots \text{Prn})]$$

例如: 要求调节输出功率到 1000 W, 已知此时配气比 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:2:3, 总气体压力为  $5.33 \times 10^4$  Pa, 则  $U=3500$  V,  $I=2.7$  A, 控制规则如下

$$R_i:: \left[ \begin{array}{l} \text{if } P_{out} = 1000 \text{ W} \quad \text{and} \\ \quad p = 5.33 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \text{and} \\ \quad \quad p_{CO_2} = 1 \quad \text{and} \\ \quad \quad \quad p_{N_2} = 2 \quad \text{and} \\ \quad \quad \quad \quad p_{He} = 3 \\ \text{then } U = 3500 \text{ V} \quad \text{and} \\ \quad \quad \quad I = 2.7 \text{ A} \end{array} \right], (\text{Pri})$$

虽然从动力学模型着手建立激光器的数学模型十分困难, 但它能有效预测输出变化的趋势, 在控制策略选择时有十分重要的作用。根据运行环境的不同, 动力学模型也不相同, 因此在控制知识库中有

多个动力学模型<sup>[3,4]</sup>。系统将根据不同情况,调用不同的动力学模型。

控制策略由一个智能评判和决策机构实现,检测传感环节测得一组信息 Y,即激光器当前的运行状态。评判决策机构根据 Y 从控制知识库中选取一组控制规则交由控制决策环节完成相应的控制过程。

### 5 自学习策略与规则

激光器智能控制模型的自学习是模型自我完善过程,它利用先前的控制信息、经验,为某一控制过程寻找一组理想的控制规则,或者修正和创建新的规则。动力学模型也可通过自学习得到进一步完善。自学习策略的一般过程如下:

- 1) 输出的期望值为  $Y_d$ ;
- 2) 选择一组规则  $R = (R_{i1} \ R_{i2} \ \dots \ R_{in})$ ;
- 3) 测取实测值为  $Y(n)$ ;
- 4) 评估  $Y_d$  和  $Y(n)$ ,如二者接近,自学习完毕;否则跳到 2)。

### 6 结束语

从实际应用中可以看出,采用精确的数学模型为基础的控制方法,不能取得理想的控制效果,有时还会加剧系统运行的不稳定性。智能控制方法有效地克服了这些控制方法的缺点,我们有理由相信智能控制模型为改善激光器的性能提供了一种有效的手段,必将得到广泛应用。

#### 参 考 文 献

- 1 丘军林. 新一代工业用高功率 CO<sub>2</sub> 激光器. 中国激光, 1994, 21(5):377
- 2 丘军林. 具有介质电极的高频放电. 激光技术, 1995, 19(5):274
- 3 M. W. Scott, G. D. Myers. Steady-state CO<sub>2</sub> laser model. *Appl. Opt.*, 1984, 23(17):2874~2878
- 4 陈宗柱. 电离气体发光动力学. 北京: 科学出版社, 1996
- 5 K. Smith, R. M. Thompson. *Computer Modeling of Gas Lasers*. New York: Plenum, 1978
- 6 王耀南. 智能控制系统. 长沙: 湖南大学出版社, 1996



图 1 激光器控制模型框图

激光技术 1996, 20(12):1151-1154