

TIG 焊熔宽的参数自调整模糊与积分的混合控制

黄石生 贺剑锋

(华南理工大学机械工程二系·广州, 510641)

摘要: 本文以 TIG 焊熔宽的自动控制系统为对象, 提出了参数自调整模糊与积分的混合控制模式, 以兼顾系统动、静态特性. 仿真结果表明了该方法的实用性和有效性.

关键词: TIG 焊; 熔宽; 参数自调整; 模糊控制; 积分控制

1 引言

随着生产和技术的发展, 对焊接质量提出了愈来愈高的要求, 其中, TIG 焊熔宽及焊缝成形质量控制仍然是国内外研究人员注重的重要研究课题.

模糊控制是基于模糊理论的一种智能控制方法, 具有许多优点, 例如, 在设计系统时不需要建立被控对象的数学模型, 由工业过程的定性认识出发, 较易建立语言变量的控制规则, 系统的鲁棒性强, 尤其适应于非线性、时变、滞后系统的控制等. 因此, 模糊控制的研究虽然只有 20~30 年的历史, 但已经在生物工程、化工、动力、交通管理、智能机器人等方面获得了应用, 并取得了良好的控制效果. 国内外研究人员也开始注意将模糊控制应用于焊接过程中^[1,2].

在 TIG 焊熔宽的控制中, 是以控制焊接电流的变化来达到控制熔宽的目的. 因受各种随机因素的影响, 用传统方法建立起来的这一过程的数学模型是极其粗糙的, 难以准确描述其系统特性, 而且此过程是参数缓慢时变的过程. 若采用常规的 PID 控制, 则将随着参数的改变而偏离最佳调节. 本文针对这一情况设计了参数自调整的模糊与积分的混合控制, 以满足过程对参数的不同要求, 提高系统的动、静态品质, 得到最佳的响应特性.

2 参数自调整的模糊与积分的混合控制

文[3][4]设计了参数自调整的模糊与积分控制器, 其积分形式采用模糊积分形式. 我们在本文中所设计的参数自调整的模糊与积分混合控制器, 采用精确量积分形式, 以期消除极限环振荡现象. 其系统结构如图 1 所示, 图中 K_E, K_C 为量化因子, K_I, K_U 分别为积分因子和比例因子.

2.1 常规模糊控制

常规模糊控制由量化及模糊化、模糊算法器、模糊判决三部分组成.

$E, \dot{E}$ 和 U 分别为误差 e , 误差变化率 $\dot{e}$ 和控制量 u 的模糊语言变量. $\underline{E}, \underline{\dot{E}}$ 和 $\underline{U}$ 分别规定为下列模糊子集:

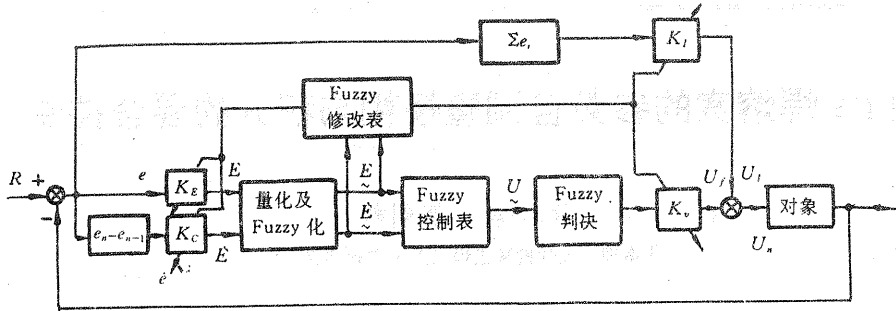


图1 参数自调整模糊与积分的混合控制器结构框图

$$\tilde{E} = \{NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB\},$$

$$\dot{\tilde{E}} = \{NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB\},$$

$$\tilde{U} = \{NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB\}.$$

它们的论域分别为:

$$\tilde{E} = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\},$$

$$\dot{\tilde{E}} = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\},$$

$$\tilde{U} = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}.$$

各模糊子集的隶属度采用正态分布型隶属函数, $\tilde{E}$ 和 $\dot{\tilde{E}}$ 的 NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB 的均值 μ 分别为 -6, -4, -1, 0, 1, 4, 6, $\tilde{U}$ 的 NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB 的均值 μ 分别为 -7, -4, -1, 0, 1, 4, 7. 所有模糊量的高斯曲线的 $\sigma = 2$. 控制经验规则采用在模糊控制中常用的 Mamdani 规则^[5], 如表 1 所示. 根据这些控制规则, 按照模糊推理合成规则进行运算, 采用最大隶属度方法进行模糊判决, 经反复调试、修改, 得到模糊控制表如表 2 所示.

表1 控制经验规则表

$\tilde{U} \backslash \dot{\tilde{E}}$	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	0	0
NM	PB	PB	PB	PM	PS	0	0
NS	PM	PM	PM	PS	0	NS	NS
0	PM	PM	PS	0	0	NM	NM
PS	PS	PS	0	NS	NS	NM	NM
PM	0	0	NM	NB	NB	NB	NB
PB	0	0	NM	NB	NB	NB	NB

2.2 模糊与积分的混合控制模式

由于模糊控制只取有限的控制等级, 限制了精度的提高, 因此, 稳态性能不理想, 稳态偏差难以满足要求, 而且在稳态时, 偏差是在零点附近小范围内, 而模糊控制器的输入、输出都不是连续值, 而是量化值(等级), 以及模糊控制规则是“离散等级”形式(等效于继电器非线性特性), 所以, 必然会出现零点极限环振荡现象. 为了提高模糊控制器的精度, 必须加入积分控制, 而传统的模糊控制中加入积分是采用模糊积分方式, 即是模糊控制器与积分控制器相串联, 对模糊控制器的输出进行积分^[3,4]. 该方法中积分器的输入是具有继电器型的控制表, 它只能在量化因子 K_E , 积分因子 K_I , 对象在零点附近的静态增益 K_P , 模糊控制器的最小非零值 $\Delta U_{\min}$ 满足

$$\Delta U_{\min} \cdot K_E \cdot K_I \cdot K_P < 1$$

表2 模糊控制表

U	E	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6		7	7	7	7	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-5		7	7	7	7	6	6	6	4	4	2	0	0	0
-4		7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-3		7	6	4	4	4	3	2	2	1	0	0	0	0
-2		4	4	4	2	2	2	3	3	1	0	-1	-2	-1
-1		4	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	-1	-2
0		4	3	2	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-3	-4
1		2	1	0	0	0	0	-1	-4	-4	-3	-4	-4	-4
2		1	2	1	0	-1	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-4
3		0	0	0	0	-1	-2	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6
4		0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7
5		0	0	0	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6		0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7

的条件时,方能消除极限环振荡,从本质上讲,它仍不能完全消除极限环振荡^[6,7]。本文中采用的方法是积分控制器与模糊控制器并联,积分控制器直接对未经量化和模糊化处理的偏差进行积分,积分控制器的输出与模糊控制器的输出叠加后,形成总的控制作用。由于偏差是连续变化的,则积分控制作用也是连续变化的,因而不具有继电型非线性特性。所以,本方法不仅可以消除余差,而且还能完全消除极限环振荡。我们进行的大量的仿真实验也验证了此结论的正确性。

2.3 模糊与积分混合控制器的参数自调整

如前所述,TIG 焊熔宽的控制过程是参数时变的过程,为此,本文设计了参数自调整的模糊与积分混合控制器,使其具有自调整的思想,就是当误差 e 或误差变化率 $\dot{e}$ 较大时,缩小 K_E 和 K_C ,降低大误差范围的分辨率,以获得平缓的控制特性,保证系统的稳定性,同时放大 K_U 和缩小 K_I 来提高快速性,减小超调,改善动态性能。当 e 或 $\dot{e}$ 较小时,系统已接近稳态,则放大 K_E 和 K_C ,提高系统对小偏差的分辨率,提高控制的灵敏度,同时缩小 K_V 和放大 K_I 加强积分作用,使系统尽快进入稳态精度范围内。本文中,设放大和缩小的倍数相同,语言变量 N 为下列模糊子集:

$$\tilde{N} = \{AB, AM, AS, OK, CS, CM, CB\}.$$

式中,AB,AM,AS,OK,CS,CM,CB分别为高放,中放,低放,不变,小缩,中缩和大缩。

$\tilde{N}$ 的论域规定为

$$\tilde{N} = \{0.5, 0.7, 0.9, 1, 2, 4, 6\}.$$

$\tilde{N}$ 的隶属度赋值表如表3所示,参数修改规则如表4所示,用与推导模糊控制表相同的方法可以推出参数修改表,经反复调试、修改,参数修改表如表5所示。

参数自调整的算法就是,先以原来的 K_E 和 K_C 对 e 和 $\dot{e}$ 进行量化,查修改表得出参数应放大(或缩小)的倍数 N ,计算 $K_E = K_E \cdot N$, $K_C = K_C \cdot N$, $K_I = K_I \cdot N$, $K_U = K_U \cdot N$,然后用新参数对 e 和 $\dot{e}$ 量化,再查控制表,求出 U 再与 $K_I \cdot \sum e_i$ 相叠加后输出作用于对象

(TIG 弧焊电源).

表 3 $\tilde{N}$ 隶属度表

$\tilde{N}$	0.5	0.7	0.9	1	2	4	6
AB	0	0	0	0	0.1	0.3	1
AM	0	0	0	0	0.3	1	0.4
AS	0	0	0	0.2	1	0.3	0
OK	0	0	0.3	1	0.3	0	0
CS	0	0.3	1	0.4	0	0	0
CM	0.5	1	0.5	0	0	0	0
CB	1	0.5	0	0	0	0	0

表 4 参数修改规则表

$\tilde{N} \backslash \tilde{E}$	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB
NM	CM	OK	OK	OK	OK	CS	CM
NS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS
0	OK	OK	AM	AB	AM	OK	OK
PS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS
PM	CM	CS	OK	OK	OK	CS	CM
PB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB

表 5 参数修改表

$\tilde{N} \backslash \tilde{E}$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	0.5	0.7	0.9	0.9	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.5
-5	0.7	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1		0.9	0.9	0.7
-4	0.7	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7
-3	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9
-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	2	4	6	4	2	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9
4	0.7	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7
5	0.7	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7
6	0.5	0.7	0.9	0.9	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.5

3 仿真实验结果

本文以 2mm 低碳钢为试件,在焊接电压为 10V,焊接速度为 80mm/min,氩气流量为 6.5L/min,焊接电流为 45A 阶跃变化到 60A 的焊接规范条件下,采用飞升曲线法求得 TIG 焊熔宽 (W_b) 和焊接电流 (I) 系统的近似动态模型为

$$G(s) = \frac{W_b(s)}{I(s)} = \frac{0.7e^{-0.23s}}{0.78s + 1}.$$

为了反映所建的过程的数学模型的粗糙性和参数的时变性,在仿真实验时,我们改变动态模型的参数和结构分别为:

$$G_1(s) = \frac{W_b(s)}{I(s)} = \frac{0.7e^{-0.23s}}{1.78s + 1},$$

$$G_2(s) = \frac{W_b(s)}{I(s)} = \frac{0.7e^{-0.23s}}{(0.78s + 1)(0.1s + 1)}.$$

就 PID 控制器、模糊与积分混合控制器、自调整参数的模糊与积分混合控制器进行仿真,首先让前述的三个控制器分别控制 $G(s)$,待控制稳定后,在 $t = 60T_s$ 时,让对象模型变为 $G_1(s)$,待控制稳定后,在 $t = 140T_s$ 时,又将对象模型变为 $G_2(s)$,以检验控制器的鲁棒性和其它动、静态品质,仿真结果如图 2 所示. 图中曲线 1 为 PID 控制,曲线 2 为模糊与积分混合控制,曲线 3 为自调整参数的模糊与积分混合控制.

图 2 的结果表明,就某一固定对象而言,各种控制器均能通过反复调整参数,最终选取一组控制器参数,获得较满意的系统响应. 尽管相应于不同控制器的系统响应的上升时间,超调量,过渡过程时间等是存在着差别,但均已能满足要求. 而这种差别是由于不同的控制方式所引起的^[8]. 而当对象的参数或结构发生变化时,各种控制器所控制的系统响应则相差甚远. 所以,当对象的参数或结构发生变化时, PID 控制器的响应特性不理想,表现出恢复时间长,超调量大. 模糊与积分混合控制器因其模糊控制的“离散性”和积分控制的“精确性”共同作用,保证了系统的快速性和准确性,它具有比 PID 强的鲁棒性,所以当对象的参数或结构发生变化时,其恢复时间,超调量比 PID 均要小,但是,因其模糊控制表,量化因子 K_E, K_C , 比例因子 K_U 和积分因子 K_I 始终固定不变,所以,它对对象变化的适应性还不是很强,需进一步完善. 自调整模糊与积分混合控制器保持了模糊与积分混合控制器的特点. 当对象的参数或结构变化时,最终是反映在系统的偏差和偏差变化率发生变化,而本控制器是根据不同的偏差和偏差变化率自动调整量化因子 K_E, K_C , 比例因子 K_U 和积分因子 K_I , 虽然模糊控制表的大小没有发生变化,但通过 K_E, K_C, K_U 的在线修改,相当于改变了模糊控制表的级数,也就是间接地修改了模糊控制规则,通过在线修改 K_I , 满足了系统不同时期对积分作用强、弱的要求. 所以,本控制器具有自适应的能力,鲁棒性较好. 不论是当对象参数发生变化,还是当对象的结构发生变化时,系统响应的恢复时间均短,超调量均小,能获得较好的控制效果.

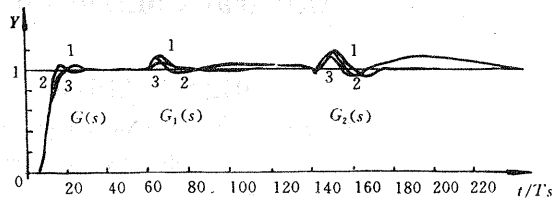


图 2 仿真结果曲线

4 结 论

本文所设计的参数自调整模糊与积分的混合控制器,既具有模糊控制响应快,超调小的特点,又具有积分控制精度高的特点,消除了极限环振荡现象,且具有自适应能力,以满足不同控制过程的要求,系统鲁棒性、适应性较强,得到了比较满意的结果.

参 考 文 献

- [1] 大岛健司等. ファッジー制御溶と接合技術. 溶接学会志, 1991, 60(1): 56—60

- [2]陈强等. 焊接过程的模糊控制. 全国第七届焊接学术会议论文集, 青岛, 1993, 6: 61—65
- [3]胡家耀等. 参数自调整 Fuzzy-PI 调节器. 信息与控制, 1987, 16(6): 26—32.
- [4]肖军等. 模糊控制在轧机厚度自动控制系统中的应用. 控制与决策, 1993, 8(3): 213—217
- [5]Mamdani, E. H. and Assiham, S. . A Fuzzy Logic Controller for a Dynamic Plant. Int. J. Man Machine Stud. , 1975, 7: 1—13
- [6]黄道平. 模糊控制器积分作用的进一步探讨. 炼油化工自动化, 1993, 1: 13—17
- [7]李平等. 模糊控制中的积分作用. 模糊系统与数学, 1993, 7(1): 12—19
- [8]李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990

The Parameter Self-Tuning Fuzzy and Integral Control on TIG Weld Width

HUANG Shisheng and HE Jianfeng

(The 2nd Department of Mechanical Engineering, South China University of Technology • Guangzhou, 510641, PRC)

Abstract: This paper deals with the automatic control system of TIG weld width. We put forward the parameter self-tuning fuzzy and integral control in order to consider demands of both dynamic and static performance. Simulation reveals that method is of utility and efficiency.

Key words: TIG welding; pool width; parameter self-tuning; fuzzy control; integral control

本文作者简介

黄石生 1938年生. 1964年毕业于华南理工大学. 长期从事弧焊机器人和焊接过程智能控制的教学和科研工作, 现为华南理工大学副校长, 教授, 博士生导师. 目前的研究领域为模糊控制, 神经网络及其在弧焊机器人和焊接过程智能控制中的应用, 新型弧焊电源的研制等.

贺剑锋 1962年生. 分别于1982年, 1988年在中南工业大学获工学学士和硕士学位. 曾先后工作于湘潭钢铁公司和湘潭大学, 现在华南理工大学自动控制理论与应用专业攻读博士学位. 感兴趣的研究领域为模糊控制, 预测控制, 神经网络控制及其在工业中的应用.