

脉冲 GTAW 焊缝成形智能控制方法¹⁾

陈善本¹ 赵冬斌² 娄亚军³ 吴 林³

¹(上海交通大学焊接研究所 上海 200030)

²(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

³(哈尔滨工业大学焊接国家重点实验室 哈尔滨 150006)

(E-mail: rwlab@mail. sjtu. edu. cn)

摘 要 在作者前期工作的基础上, 进一步展示了模糊神经网络与专家系统等智能化方法在电弧焊动态过程与焊缝成形控制中的应用结果. 在模糊推理与神经网络结合的单入单出焊接电流控制器 FNNC 设计的基础上, 设计了专家系统控制器用于调节焊接速度, 完成了焊接熔池动态过程双人双出智能控制器的设计, 实现了脉冲 GTAW 正反面熔宽与焊缝成形的同时智能控制. 与前期工作一并构成了对电弧焊接熔池动态过程和焊接质量智能控制途径的成功探索.

关键词 焊缝成形, 熔池动态过程, 多变量智能控制

中图分类号 TP202; TH122

Intelligent Control of Weld Seam Molding in Pulsed GTAW

CHEN Shan-Ben ZHAO Dong-Bin LOU Ya-Jun WU Lin

¹(Welding Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

²(Institute of Automatic, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

³(AWPNKL, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(E-mail: rwlab@mail. sjtu. edu. cn)

Abstract As an extension of our former work, this paper further shows the results of the intelligent methodologies, such as fuzzy-neural network and expert system techniques as applied to control of dynamic process of the weld pool and seam molding in pulsed gas tungsten arc welding. Based on the SISO fuzzy-neural network controller—FNNC for regulating welding current in our former work, the expert system controller for regulating welding travel velocity has been designed in this paper, which establishes a DIDO intelligent controller for welding pool dynamic process and realizes simultaneously manipulating the top and back weld widths and molding. Combined with our former work, this paper has shown a successful investigation on intelligent control of arc welding pool dynamic process and weld quality.

Key words Weld seam molding, weld pool dynamic process, multi-variable intelligent control

1) 国家自然科学基金(59575057, 59635160)和教育部国家重点实验室开放课题资助

Supported by the National Natural Science Foundation of P. R. China(59575057, 59635160)

收稿日期 2001-04-04 收修改稿日期 2001-10-25

Received April 4, 2001; in revised form October 25, 2001

1 引言

文献[1]及其参考文献阐述了实现焊接工艺的自动化与智能化的重要性,展示了焊接过程智能控制策略研究的部分结果:对脉冲 GTAW 对接熔池过程正反面视觉传感、模糊神经网络建模与控制系统实现.注意到文献[1]提出的模糊神经网络控制器 FNNC 仅只是针对焊接电流(脉冲占空比)单入单出控制策略,而实际焊接的控制实验工件的背面成型并不十分理想(参见文献[1]图 7),仍需进一步研究改进控制策略.从文献[1]图 8 的焊接熔池过程 FNNC 控制曲线及多次试验统计结果表明,如果既要控制焊道宽度,又要保证焊道成形良好,只调节占空比是难以达到这一目的的,必须同时进行焊接速度的调节.

本文在文献[1]单变量模糊神经网络控制器 FNNC 的基础上,加入一个调节焊接速度的专家控制系统控制器,组成了脉冲 GTAW 对接过程模糊神经网络和专家系统相结合的脉冲 GTAW 对接过程焊缝成形双变量智能控制系统.

2 焊缝成形双变量智能控制器设计

2.1 焊缝反面成形的双变量闭环智能控制器设计

脉冲 GTAW 对接过程焊缝成形双变量智能控制系统原理如图 1 所示.图中上端虚线框内为模糊神经网络控制器 FNNC^[1,3],用于调节焊接电流脉冲占空比 δ 来保证熔池反面最大熔宽 w_{bmax} ;下端虚线框内为专家控制系统,用来调节焊接速度 v_w ,与模糊神经网络控制器一起来完成焊缝成形质量的控制.专家控制系统的输入变量为熔池正面最大半长 l_{fmax} 和熔池正面后半部面积 s_{fmid} ,经信号转换器将其综合为成形指标 γ ,与给定值相比较,比较结果与专家控制系统知识库中某个产生式规则相匹配,输出当前相应的焊接速度 v_w .模糊神经网络控制器输出的当前的占空比 δ 和焊接速度 v_w 一起送给实际的焊接过程,实现焊缝反面成形的双变量闭环智能控制.

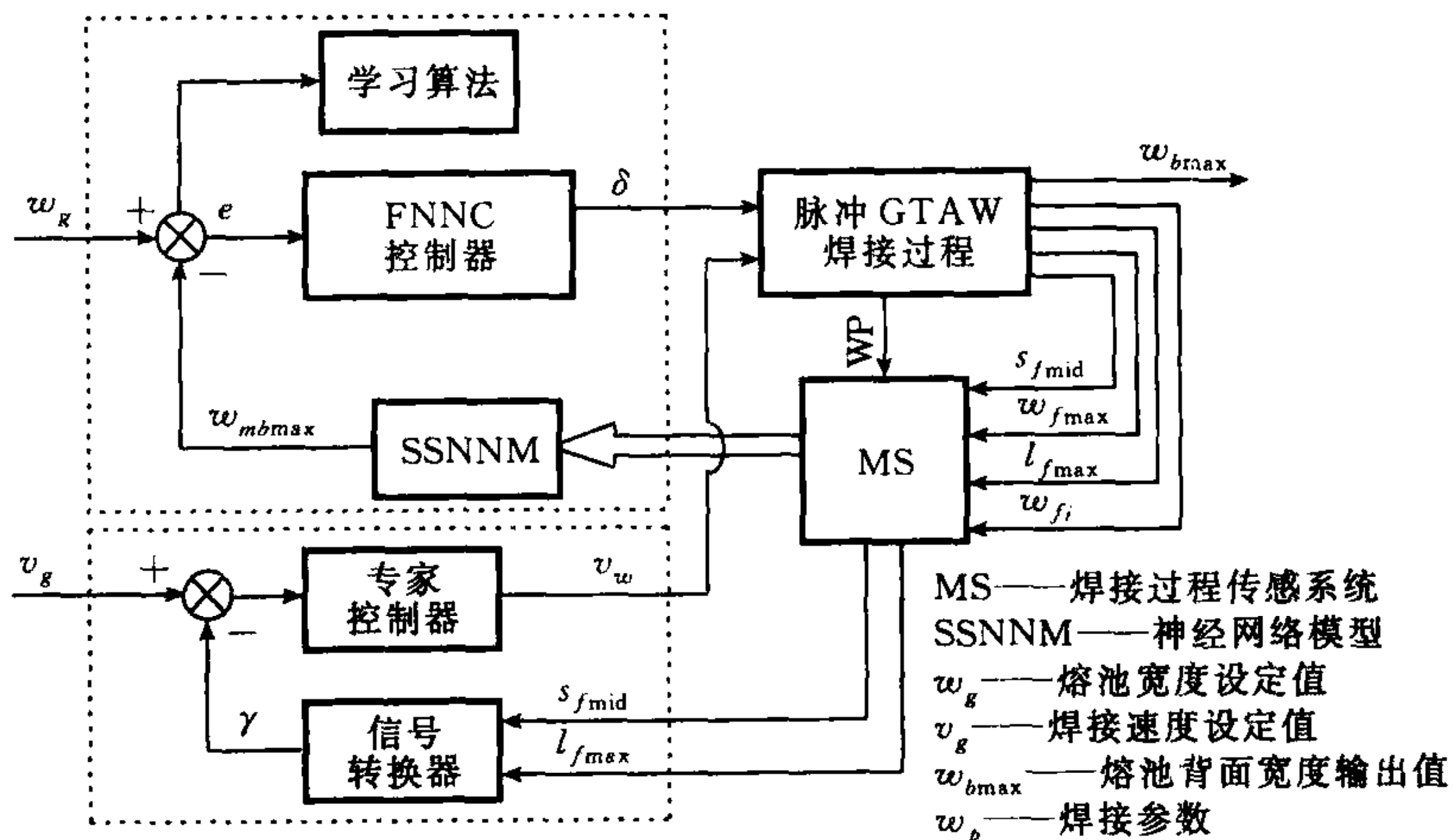


图 1 脉冲 GTAW 对接双变量闭环智能控制系统原理图

Fig. 1 Schematic of close-loop double-variable intelligent control system for pulsed GTAW on butt joint

2.2 填丝熔池反面宽度和熔池正面高度双变量自适应模糊控制器设计

为保证填丝脉冲 GTAW 平板对接过程熔池反面宽度和熔池正面高度稳定,需要同时调节脉冲占空比和送丝速度^[4],本文提出一种基于单层神经网络的双变量自适应模糊控制器设计来实现熔池三维尺寸以及成形控制,如图 2 所示.

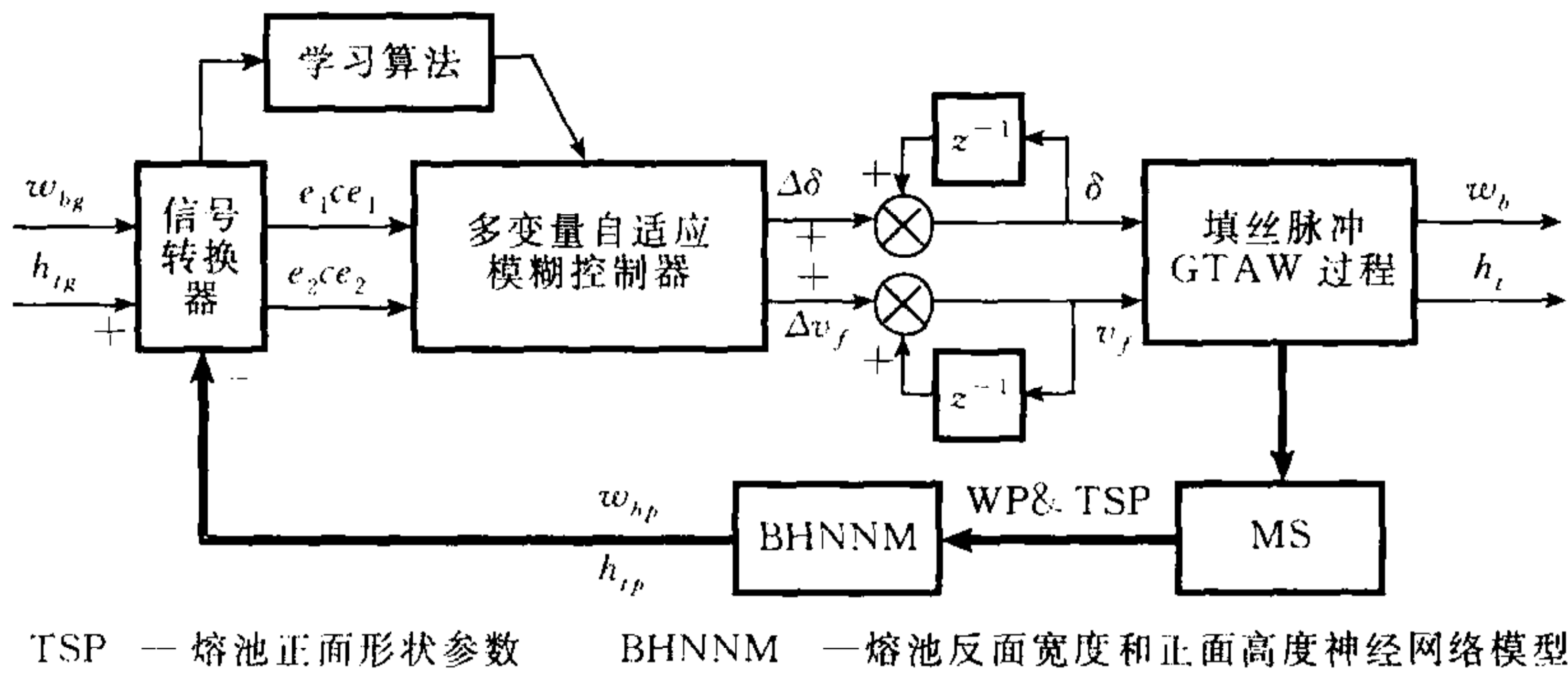


图 2 填丝脉冲 GTAW 双变量自适应模糊控制系统原理图

Fig. 2 Schematic of self-adaptive double-variable fuzzy control system for pulsed GTAW with wire filler

3 脉冲 GTAW 焊缝成形智能控制系统实验

3.1 焊缝背面成形双变量控制系统原理图 1 的实验

为了验证设计的脉冲 GTAW 对接双变量智能控制器的性能,采用哑铃形对接焊接实验.将 2mm 厚的散热条件圆弧变化的 A3 钢试件作为对象加以控制.给定的熔池反面最大熔宽为 6.0mm,图 3 为双变量智能控制得到的焊接过程曲线,图 4 为焊道照片.从控制过程

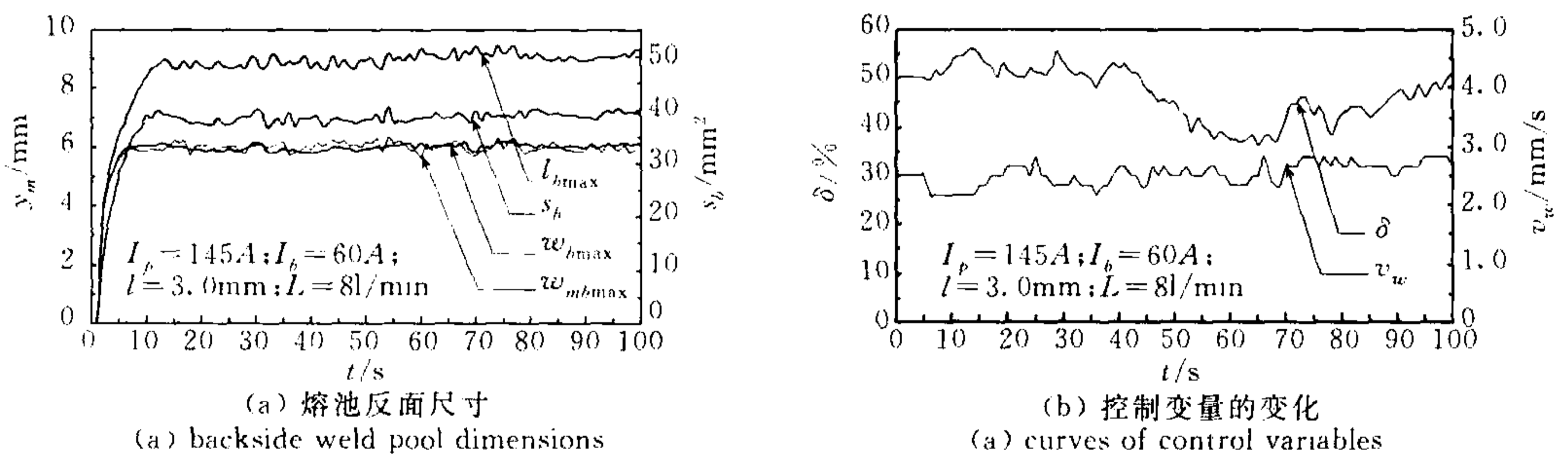


图 3 圆弧形试件脉冲 GTAW 双变量智能控制曲线

Fig. 3 Results of double-variable intelligent control for pulsed GTAW on arc-shaped workpiece



图 4 圆弧形试件脉冲 GTAW 双变量智能控制焊道照片

Fig. 4 Weld photos of double-variable intelligent control for pulsed GTAW on arc-shaped wokpiece

曲线上可以看出,采用双变量控制系统,不仅能够保证熔池宽度方向上的尺寸,而且熔池长度方向上的尺寸也较均匀,与单变量控制系统相比焊道成形也很稳定,与文献[1]FNNC 单变量控制器相比焊缝成形质量明显提高。

3.2 填丝熔池反面宽度和熔池正面高度的控制系统原理图 2 的实验

采用哑铃形对接试件,在给定熔池反面宽度 w_{br} 为 4.0mm 及熔池正面高度 h_{fr} 为 0.2mm 时,填丝脉冲 GTAW 平板对接熔池反面宽度和正面高度的控制结果以及脉冲占空比和送丝速度曲线如图 5 所示,图 6 为填丝脉冲 GTAW 平板对接双变量模糊控制焊件照片。

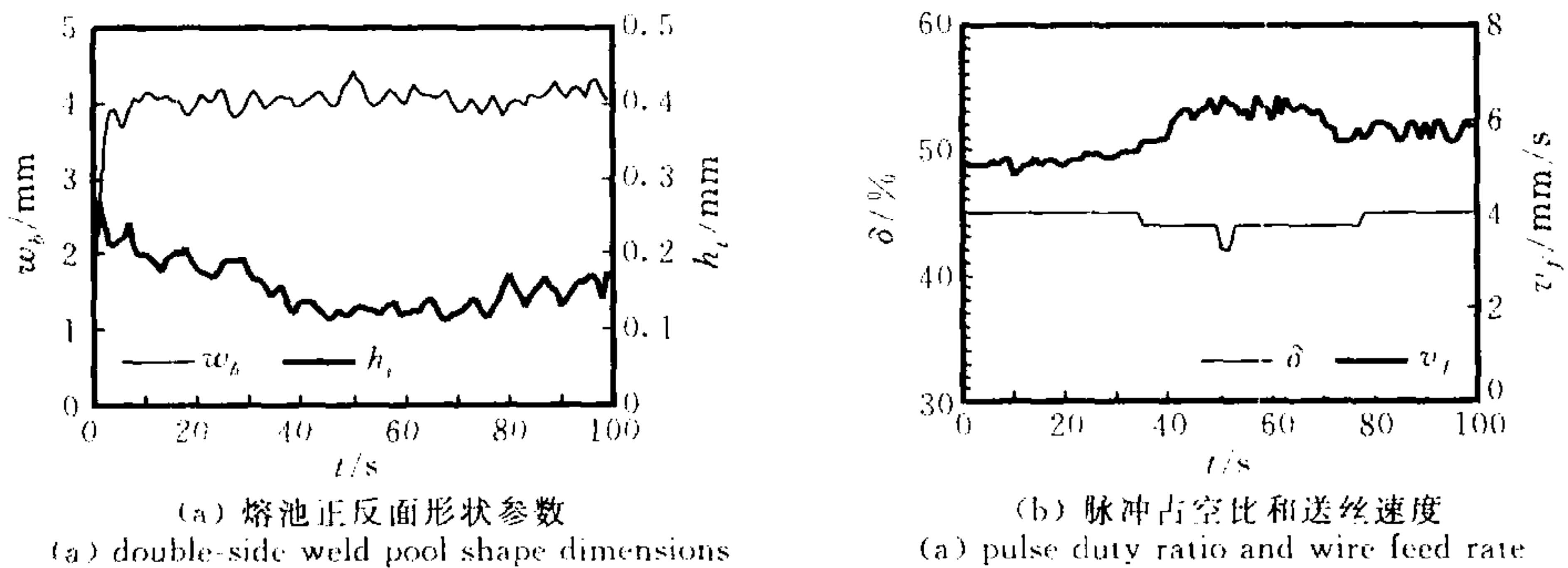


图 5 哑铃形试件填丝脉冲 GTAW 平板对接双变量模糊控制曲线

Fig. 5 Results of double-variable fuzzy control for pulsed GTAW with wire filler on butt joint of dumbbell-shaped workpiece



图 6 哑铃形试件填丝脉冲 GTAW 平板对接双变量模糊控制焊件照片

Fig. 6 Weld photos of double-variable fuzzy control for pulsed GTAW with wire filler on butt joint of dumbbell-shaped workpiece

实验结果表明,模糊神经网络和专家系统相结合的双变量控制器设计对于保证焊缝成形稳定是有效的控制策略。

5 结束语

本文的工作表明计算机视觉传感、人工神经网络、模糊逻辑等人工智能技术应用于脉冲 GTAW 熔池动态过程的传感、建模与控制问题是合适的。人工智能技术的发展与应用将会给焊接制造中诸多技术与工程难题的解决开辟新的途径。我们认为机器人焊接与焊接工艺自动化的许多问题需要人工智能技术的应用,随着计算机技术发展和计算实时性的提高,人工智能的焊接制造中的应用正在走向实用。

References

- 1 Chen S B, Lou Y J, Zhao D B, Wu L. Fuzzy-neural network modelling and control of pool dynamic process in pulsed

- GTAW. *Acta Automatica Sinica*, 2003, **28**(1):74~82(in Chinese)
- 2 Pan J L. Welding handbook. Beijing: Mechanical Engineering Press, 1990,130~240(in Chinese)
 - 3 Lou Y J. Intelligent control for pulsed GTAW dynamic process based on image sensing of weld pool[Ph. D. Thesis]. Harbin: Harbin Institute of Technology,1999(in Chinese)
 - 4 Zhao D B. Dynamic intelligent control for weld pool shape during pulsed GTAW with wire filler based on three-dimensional visual sensing[Ph. D. Thesis]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2000(in Chinese)

陈善本 简介见本刊第 28 卷第 1 期.

(**CHEN Shan-Ben** Received the Ph. D. degree in control theory and application from Harbin Institute of Technology in 1991. He was a professor in Harbin Institute of Technology. He is now a “Cheung Kong Scholar” professor approved by Chinese Educational Ministry, in Welding Institute, Material Processing Engineering School, Shanghai Jiaotong University. His current research interests include welding intelligence, intelligent control of welding process, robust control theory of uncertainty system, and the crossover research field.)

赵冬斌 2000 年于哈尔滨工业大学获博士学位,现为中国科学院自动化研究所副研究员. 主要研究方向为智能控制、机器人、机电一体化.

(**CHEN Shan-Ben** Received the Ph. D. degree from Harbin Institute of Technology in 2000. He is now an associate professor in Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interests include intelligent control, robotics, and mechatronics.)