

脉冲 MIG 焊动态过程的仿真

黄石生, 蒙永民, 薛家祥, 易志平, 王秀媛

(华南理工大学 机电工程系 焊接中心, 广东 广州 510641)

摘要:针对脉冲 MIG 焊系统的特点,采用目前应用最广的 MATLAB 软件,对动态过程建立了模型,并进行了仿真研究。通过 Hannover-XII 分析仪所获得的波形与计算机仿真结果相吻合,说明所建立的模型是正确的,这为定量地分析弧焊系统的动态过程提供了一个强有力的工具。

关键词:脉冲 MIG; MATLAB 仿真; 动态模型

中图分类号: TG434.5

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 2303(2001)04 - 0016 - 04

Simulation study on dynamic process of MIG pulse welding with MATLAB

HUANG Shi-sheng, MENG Yong-min, XUE Jia-xiang, YI Zhi-ping, WANG Xiu-yuan

(Welding Center, Dept. of Mechatronic Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on characteristics of MIG-pulse welding, the digital simulation mode for the different parts is developed with MATLAB. The results of computer simulation are verified by experiment results which are obtained from the analyzer Hannover-XII. This indicates that MATLAB is a new method for quantitative analysis in the dynamic process of arc welding system.

Key words: MIG pulse welding; MATLAB simulation; dynamic mode

引言

脉冲 MIG 焊是一种广泛应用的焊接方法,与普通的 MIG 焊相比,脉冲 MIG 焊可在很宽的范围内实现射滴过渡。1 脉 1 滴是其理想的过渡形式,为了对其进行有效的控制,国内外许多学者提出了 Synergic 控制法^[1]、电弧电压闭环控制^[2]以及弧长自适应控制^[3]等方法。由于脉冲 MIG 焊系统中的复杂性、非线性等特点,对过程的定量控制比较困难,因此,有必要寻找新的工具对系统进行定量的动态研究。

计算机仿真推动着焊接学科的进一步发展,是其由“经验”走向定量分析的重要方法^[4]。脉冲 MIG 动态过程的仿真必须首先建立系统的数学模型,其次选择算法可靠、界面友好的仿真软件,设计相关的仿真程序。MATLAB 是由美国 Mathworks 公司推出的,现已成为国际公认的最优秀的科技应用软件。该软件具有功能强大、界面友善、语言自然、开放性

强等特点,这使得其获得了对应用学科极强的适应力,成为计算机辅助分析、仿真等不可缺少的基础软件。MATLAB 的 5 大功能之一是具有可视化建模和仿真功能(Simulink),它支持连续、离散或者两者混合的线性和非线性系统,也支持具有多种采样频率的系统。我们就是利用 Simulink 作为工具,对系统控制的动态过程进行建模和仿真。

1 仿真模型的建立

1.1 电弧负载模型

根据熔化极气体保护焊(非短路过渡)电弧的特征,电弧电压可表示为:

$$U_f = U_1 + U_2 + U_3 \tag{1}$$

式中 U_1 为焊丝干伸长压降; U_2 为弧柱压降; U_3 为阳极和阴极压降之和。

$$U_1 = R_1 \times i \tag{2}$$

式中 R_1 为焊丝干伸长电阻。

收稿日期:2001-02-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59875020)

作者简介:黄石生(1938-),男,广东潮州人,教授,博士导师,从事焊接技术教学与科研,现任国家教育部科技委员、焊接学会常务理事、中国机器人中心顾问。

$$U_2 = E_1 \times l_a \quad (3)$$

式中 E_1 为弧柱电场强度, 单位为: V/mm; l_a 为电弧弧长。

焊接钢时, 阴极和阳极压降 U_3 为 19 V, R_1 为 0.02Ω ^[5]。由于 CO_2 气体保护焊的弧柱电位梯度为 1.77 V/mm, 根据不同气体弧柱电场强度的比例关系 $\varphi(Ar): \varphi(CO_2) = 0.5:1.5$, 此时, 可求得氩气保护时弧柱的电场强度为 0.59 V/mm。因此, 电弧电压 U_f 为:

$$U_f = 0.02 \times I + 0.59 \times l_a + 19.0 \quad (4)$$

仿真模型如图 1 所示。输入量有: 回路电流 i , 电弧弧长 l_a ; 输出量为 U_f 。

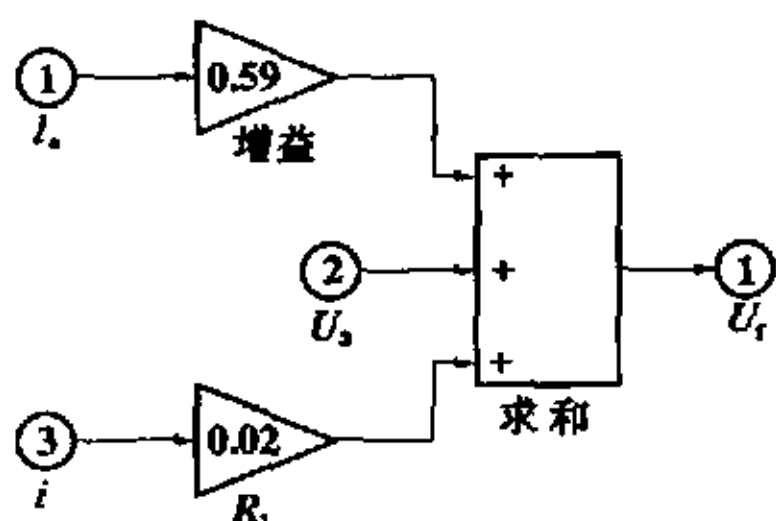


图1 电弧负载模型示意图

1.2 弧长变化的仿真模型

假设熔滴的长大过程对弧长的变化无影响。在熔滴过渡的一个周期内, 熔滴过渡时刻的弧长最长, 此时弧长为 l_{max} 。因此弧长的变化公式为:

$$l_a = l_{max} - V_s \times t \quad (5)$$

为了实现弧长的变化模型, 积分模块开始进行积分时由检测信号 2 来控制, 即当电流由峰值向基值转变时开始进行积分。弧长变化仿真模型如图 2 所示。系统的输入量为: 送丝速度 V_s , 检测控制信号 2, 弧长最大值 l_{max} ; 输出量为弧长 l_a 。

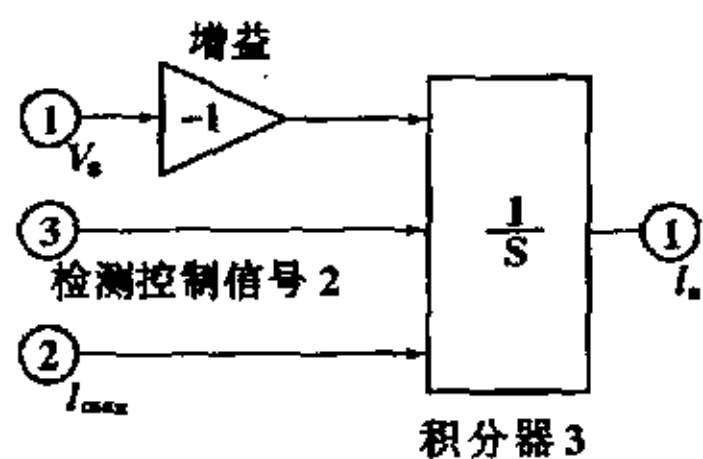


图2 弧长变化仿真模型示意图

1.3 电弧自身调节作用模型

焊接钢时, 电弧的稳定主要是靠焊丝熔化过程中的各种自身调节作用和反馈控制电压来实现的。

熔化极气体保护焊采用细焊丝(H08Mn2SiA)焊接

低碳钢时, 傅希圣老师得出来焊丝熔化半理论公式:

$$V_m = \frac{1}{H_0 + b} (\Phi j + a l_a j^2) \quad (6)$$

式中 V_m 为焊丝熔化速度; a 、 b 为焊丝材料决定的常数; Φ 为阳极等效电压; j 为电流密度; l_a 为焊丝干伸长; H_0 为熔滴热焓。

从式(6)可看出, 焊丝的熔化速度主要取决于焊接电流和焊丝干伸长, 而与弧长几乎无关。当电流恒定, 虽然电弧长度任意变化, 而只要焊丝伸出长度一定, 则焊丝的伸出长度就确定了。其本质是伸出长度部分的电阻热对焊丝的熔化起了很大的作用。当送丝速度与焊丝熔化速度不相等时, 熔化焊丝的电阻热随着焊丝伸出长度的增减而正比例增减, 焊丝的熔化速度从而得到调整, 使焊丝熔化速度与送丝速度之间处于动态的平衡中。

根据焊丝熔化速度、送丝速度以及弧长之间的关系, 可得到以下公式:

$$dl_a/dt = V_m - V_s \quad (7)$$

将式(6)和式(7)联立求解, 可得到式(8):

$$\frac{dl_a}{dt} = \frac{\Phi j + a l_a j^2}{H_0 + b} - V_s \quad (8)$$

对于焊丝直径为 $\phi = 1.0 \text{ mm}$ 的低碳钢, $a = 1.3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}$, $b = 5.0 \text{ J/mm}^3$, $\Phi = 5.20 \text{ V}$, $H_0 = 12.36 \text{ J/mm}^3$, $j = i/(\pi r^2) = 4i/\pi$, 则弧长变化 Δl_a 为:

$$\Delta l_a = \int [0.38139i + 0.000124 \times (l_h - l_a) \times i^2 - V_s] dt \quad (9)$$

则第 $n+1$ 次所调节的弧长为:

$$l_{max(n+1)} = l_{max(n)} + \Delta l_a \quad (10)$$

自身调节作用模型如图 3 所示。模型输入量有焊炬高度 l_h , 电弧弧长 l_a , 送丝速度 V_s , 电流 i , 熔滴过渡时的检测信号 2; 输出量为第 $n+1$ 次熔滴过渡时的最大弧长 $l_{max(n+1)}$ 。

1.4 逆变器的仿真模型

由于弧焊逆变器的输出都有电抗器, 因此电源对外呈现电阻、电感特性。图 4 为电源—电弧等效电路图。其中 U_0 为电源输出电压, 可认为是一恒压源, R 为回路等效阻抗, L 为回路电感, U_f 为电弧电压, i 为回路电流。

由于弧焊逆变器是脉宽调节, 所以 U_0 为空载电压 E 与占空比 α 之积。根据参考文献[5]可得到 $R = 0.03 \Omega$, $L = 140 \mu\text{H}$, 输入量为: 电源空载电压 E ,

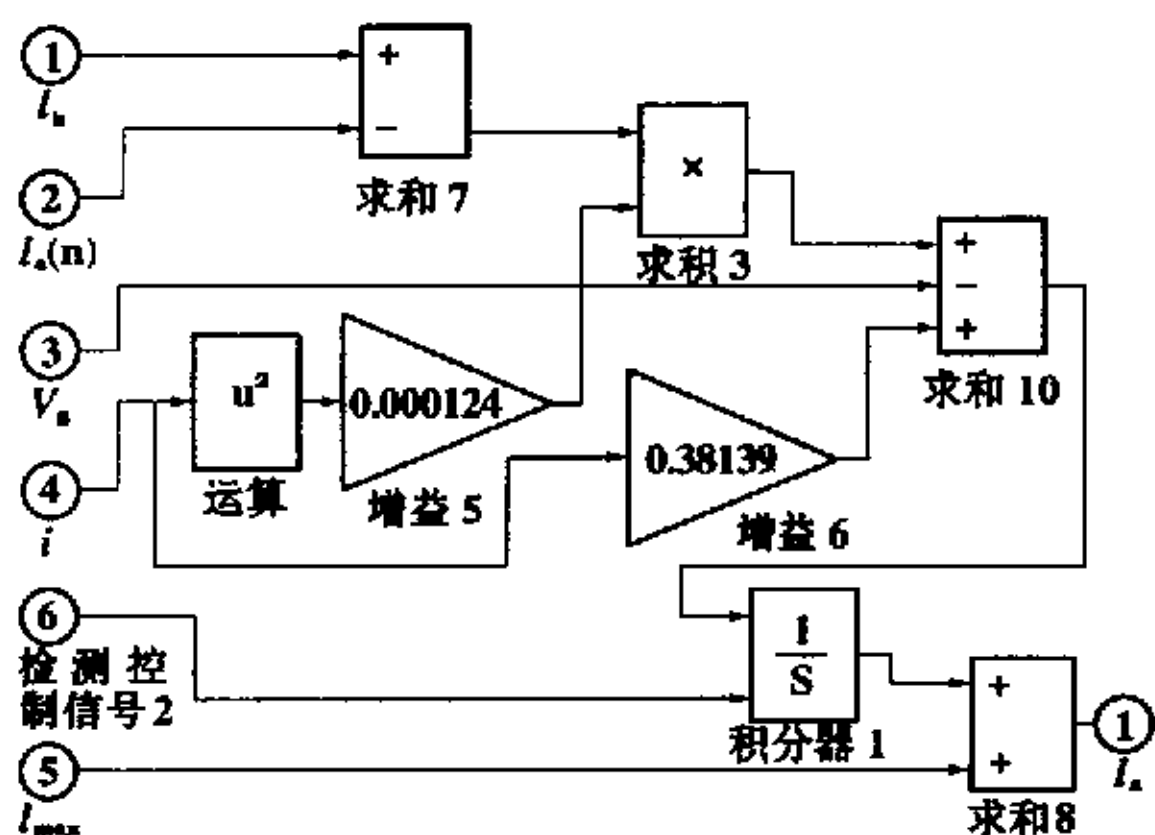


图3 自身调节作用仿真模型示意图

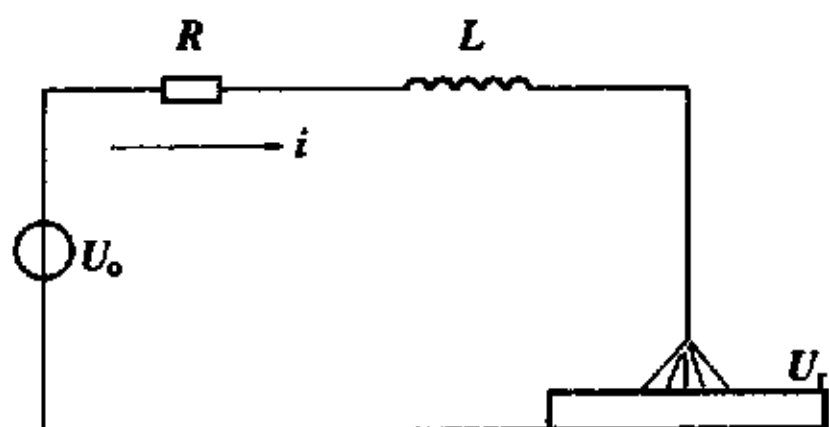


图4 电源—电弧系统等效电路示意图

占空比 α , 电弧电压 U_f ; 输入量为: 回路电流 i 。仿真模型如图5所示。

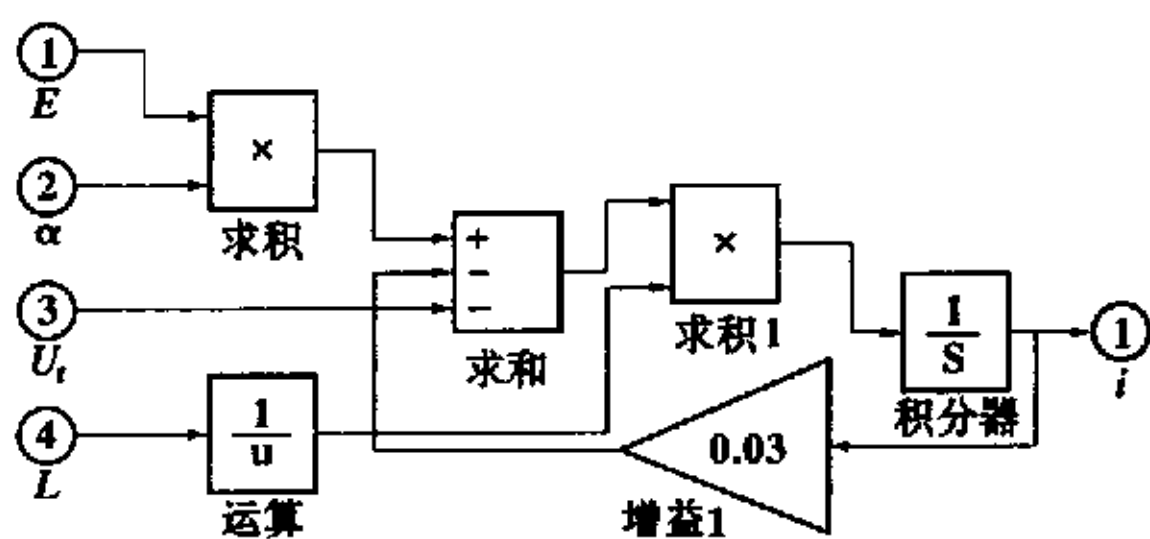


图5 逆变器的仿真模型示意图

1.5 占空比 α 控制环节模型

弧焊逆变器的工艺参数调节方法一般采用定频率调脉宽, 即通过调节 U_k , 换句话说, 通过调节逆变器的开关脉冲的占空比 α 来调节工艺参数。图6为占空比 α 控制环节模型仿真图。回路电流 i 分别与给定峰值电流 i_p 和基值电流 i_b 相比较, 在不同的阶段控制不同的 α , 从而得到脉冲电流和基值电流。建模时选用模拟中的开关作为基值阶段和峰值阶段判断的特性切换控制模块, 切换控制信号由检测控制信号来决定。输入参数有: 回路电流 i , 给定峰值电流 i_p , 基值电流 i_b , 检测控制信号; 输出参数有: 占空比 α 。

除了以上模型外, 还有峰值基值转换模型、维持

最大弧长等模型。

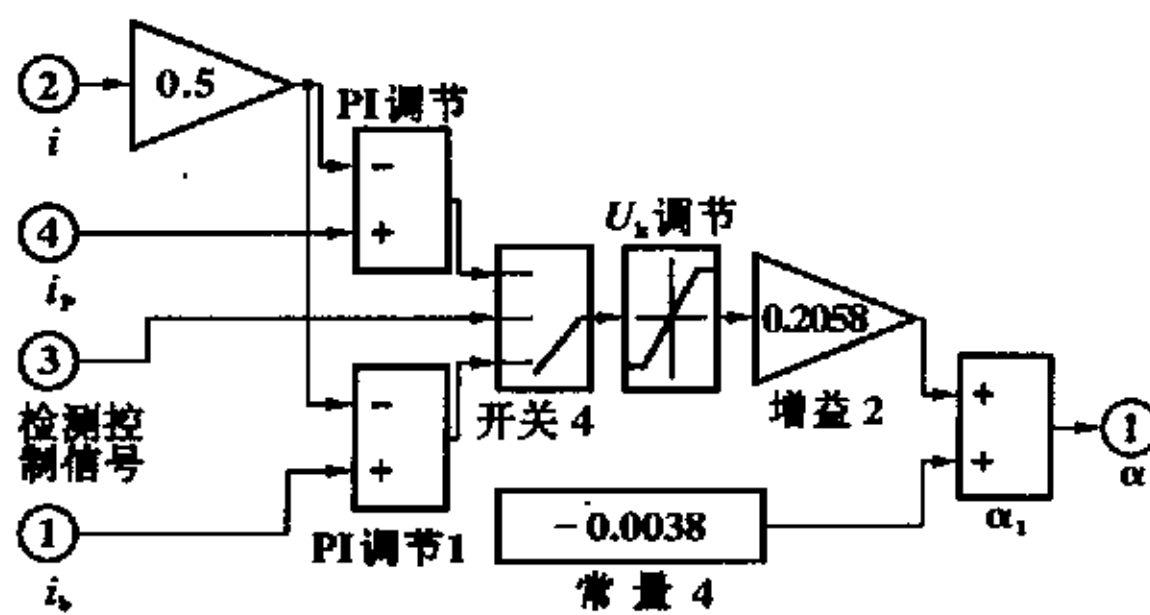


图6 占空比 α 控制系统模型仿真示意图

2 仿真结果

将以上所有各部分的仿真模型相连接, 就成为控制系统动态过程的仿真模型。应用 MATLAB 中的虚拟示波器可直接观察仿真试验中任何状态变量随时间变化的过程。如图7所示, 为电弧电压、焊接电流随时间的仿真波形。仿真条件为: 峰值电流给定 4 V, 基值电流给定 2.0 V, 峰值时间 8 ms, 基值时间 13 ms, 送丝速度 2.3 m/min, 焊丝直径 $\phi = 1.2$ mm, 电源空载电压 $E = 65$ V, 焊炬高度 15 mm, 电源输出回路电感 $L = 140 \mu\text{H}$, 电源输出等效阻抗 $R = 0.03 \Omega$ 。

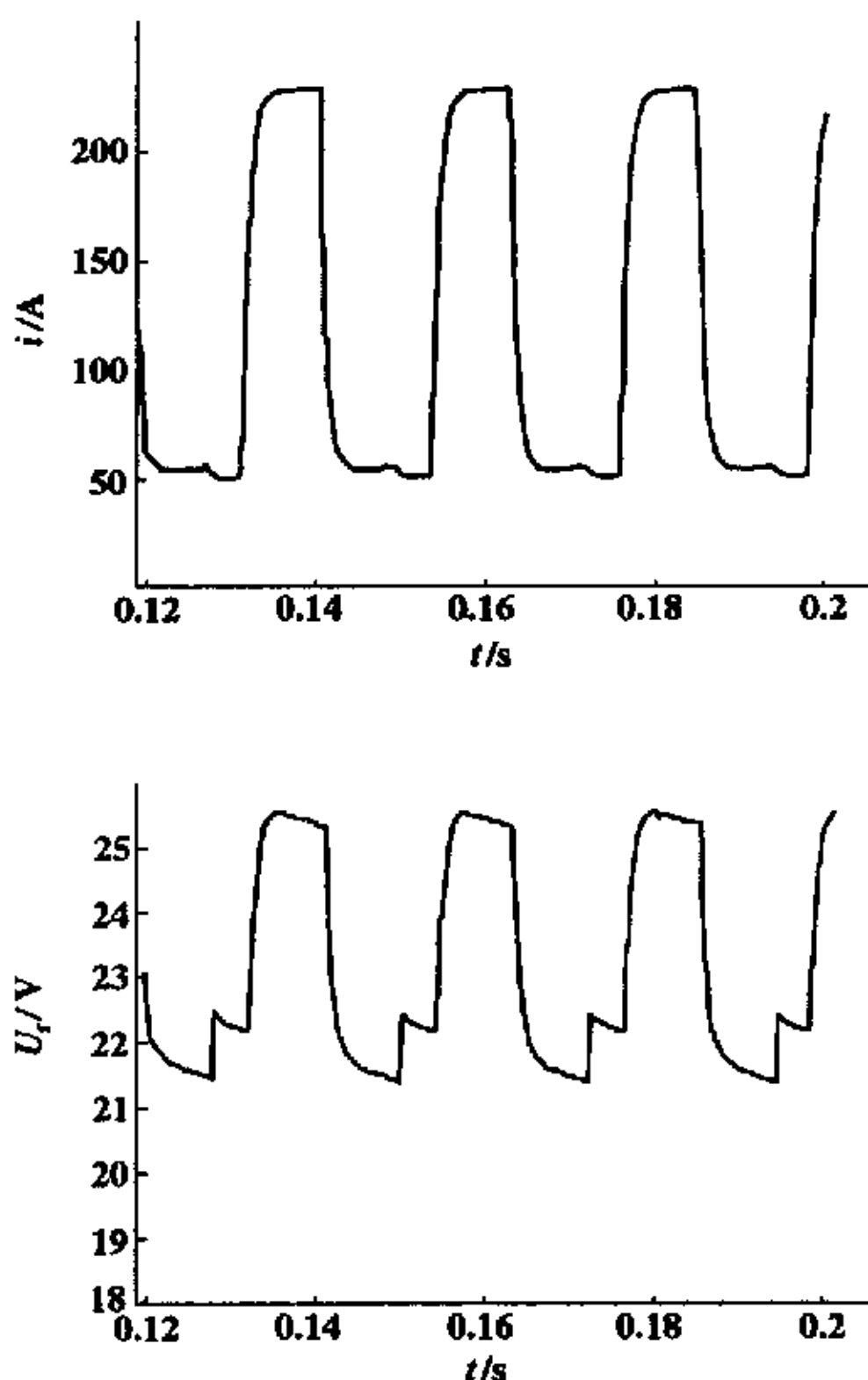


图7 波形仿真图

(下转第 25 页)

存放于炉中,随用随取。

每批焊丝清洗之前,需观察原有苛性钠溶液是否有较多的反应沉淀物存在,如果沉淀物较多,应重新更换溶液,这一点在清洗过程中需要特别注意。

清洗好的焊丝在 1 周左右的时间内均可使用,如果间隔时间过长,则需重新清洗后再使用。

4.1.2 板材坡口的清洗

板材坡口也采用化学清洗方式。一般用气焊枪加热坡口处至 50~60℃,涂上浓度为 10% 左右的苛性钠溶液于坡口周围 100 mm 范围内,然后用冷水冲洗干净,再涂上 35% 左右的硝酸溶液光化处理 2~3 min 后用冷水冲洗,干燥后进行对装焊接。

板材坡口清洗也就注意将碱液和碱洗后的反应物清洗干净。在焊接前最好用丙酮擦一下坡口处,用细铜丝刷一下,以清除对装过程中可能带入的脏

物。

4.2 采用强规范施焊,增大焊接电流。正常施焊时,电弧要控制在稍短的弧长范围内,即电弧发出“苏”间“叭”的声音,保持熔滴在半射流过渡形成。

4.3 必须经常注意焊炬的保护性能,焊完一道焊缝后及时消除飞溅物。每次施焊前要检查焊炬的同心度。

4.4 使用的氩气纯度要保证 $\geq 99.98\%$,露点为 -45°C 。如果含有较多的水汽要通过干燥装置净化。

4.5 根据板厚尽量选用粗焊丝。

参考文献

- [1] 水野政夫. 铝及其合金的焊接[M]. 北京:冶金工业出版社,1985.
- [2] 周振丰. 金属熔焊原理及工艺(下册)[M]. 北京:机械工业出版社,1981.

(上接第 18 页)

3 试验验证

焊接工艺试验采用 400 A IGBT 逆变式弧焊电源,在 200 mm × 100 mm × 4 mm 低碳钢板上施焊,保护气体 Ar 的流量为 15 L/min,焊接速度为 300 mm/min。焊接电流和电弧电压的实测波形是由 Hannover-XII 型焊接过程动态分析仪记录,试验结果

如图 8 所示。

将图 7 的焊接电流和电弧电压仿真波形与图 8 的波形进行对比分析,可以看出,计算机仿真结果与试验结果是基本一致的。下表进一步验证了所建立的仿真模型的正确性。

表 实测和仿真的电流、电压值的对比

	电弧电压 U_f/V	焊接电流 i_f/A
实测结果	27.09	123.59
仿真结果	25.95	135

4 结论

(1)建立的脉冲 MIG 焊各个仿真模型能够有效地表征“弧焊逆变器—负载”系统的各部分特征。

(2)建立的模型可以模拟系统状态变量的动态过程,实验结果表明,建立的仿真模型是正确的。

(3)MATLAB 软件是研究弧焊系统动态过程的一个强有力的工具。

参考文献

- [1] M amin. Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding [J]. Metal Construction, 1983, (95):272-277.
- [2] W. G. ESSERS, M. R. M. Van Gompel. Arc control with pulsed GMA welding [J]. Welding Journal, 1984, (6):26-32.
- [3] 中国机械工程学会焊接分会. 焊接手册(第一卷):焊接方法及设备[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [4] 潘际奎. 我国机械工程的发展与未来展望[J]. 机械工程学报,1993,29(5):3-11.
- [5] 张军红. 机器人弧焊逆变器波形模糊逻辑控制的研究[D]. 广州:华南理工大学,1999.24-26.

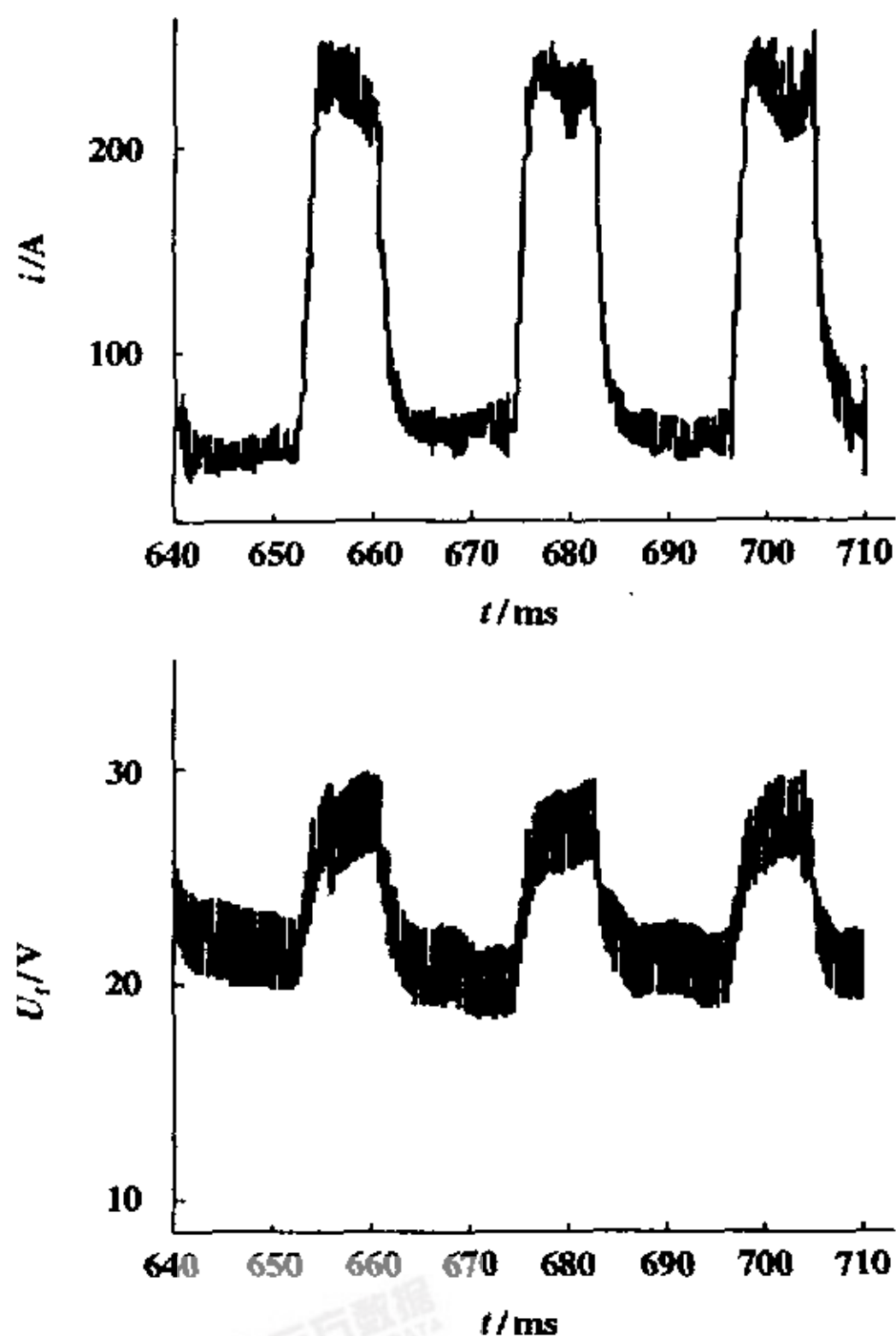


图 8 实测波形图