

模糊系统辨识方法在 TIG 焊过程建模中的应用*

李 文 孙 辉 陈字刚

(大连铁道学院 大连)

TG444.72
C159

提 要 运用模糊集合理论,通过对系统输入/输出量测值进行相关分析来建立脉冲 TIG 焊动态过程的模糊模型。这是基于模糊关系模型系统辨识方法,并给出了模型精度的测试结果。结果表明,用该方法对 TIG 焊过程建模是有效的。

关键词 系统辨识 模糊关系模型 TIG 焊
中图分类号 O159 TG444

焊接

Application of Fuzzy System Identification in Modeling TIG Welding Process

Li Wen Sun Hui

(School of Electrical Information, Dalian Railway Institute, Dalian 116028, China)

Chen Zigang

(Dep. of Material Engineering, Dalian Railway Institute, Dalian 116028, China)

Abstract Using fuzzy set theory, the fuzzy model of pulse TIG welding dynamic process is built by making relative analysis of input/output data. This is a specific application of the sysstem identifying approach based on fuzzy relation model. The paper discusses the modeling procedure in detail and gives the test result of model accuracy. The result shows that the method is available to model the TIG welding dynamic process.

Keywords sysstem identification; fuzzy relation model; TIG welding

焊接生产技术在我国的铁路工厂应用得十分普遍,提高焊接质量一直是一项十分重要的任务。而建立有效的焊接动态过程模型是获得高质量的焊接过程控制的必要前提。焊接过程是一个具有高度非线性、多变量耦合及大量随机不确定因素的复杂过程,用解析法对这样的复杂过程建立精确模型是很困难的,甚至是不可能的。本文运用模糊集合理论,从系统输入与输出量测值来辨识 TIG 焊动态过程的模糊模型。

Zadeh 于 1962 年曾对“辨识”给出定义:系统辨识是在对输入和输出观测的基础上,在指定的一类系统中,确定一个与被识别系统等价的系统。Zadeh 的“辨识”定义也正是本文所讨论问题的基本思想;通过对焊接过程的输入/输出数据进行相关分析,建立起一个描述 TIG 焊动

* 大连市青年学术带头人项目及辽宁省自然科学基金项目资助(No. 148)

收稿日期:1998-07-03 李 文 女 1960 年出生 博士研究生 大连铁道学院电气信息分院 邮编:116028

态过程的模糊规则集——模糊模型。这是基于模糊关系模型的系统辨识方法在 TIG 焊动态过程建模中的具体应用。

1 基于模糊关系模型的系统辨识

1.1 模糊模型定义

一个模糊关系模型可以用一个四元式表示为 $M(A, Y, U, F)$; 其中 A 表示模糊算法, Y 表示过程的有限离散输出空间, U 表示过程的有限离散输入空间, F 表示过程的有限离散输入输出空间中所定义的所有基本模糊子集。

模糊模型是指描述系统特性的一组模糊条件语句, 即

$$\text{if } u(t-k) = A \text{ or } B \text{ and } y(t-m) = C \text{ or } D \text{ then } y(t) = E \quad (1)$$

式中, A 和 B 为 U 中的模糊集合, C, D 和 E 为 Y 中的模糊集。称式(1)中的每一条模糊条件语句为一条规则, 而将式(1)中描述系统特性的模糊条件语句集合称为模糊算法。

1.2 建立模糊模型的步骤

根据文献[1], 建立模糊关系模型主要分三步进行。

步骤 1: 对系统输入输出量测值进行量化处理, 建立输入和输出空间 U 和 Y , 选择 U 和 Y 中的模糊子集 B_i 和 C_j , 并定义其隶属函数。

步骤 2: 确定模糊关系模型的结构 $[u(t-k), y(t-m), y(t)]$, 即确定 k 与 m 。

步骤 3: 建立模糊关系模型, 即把模糊变量 $u(t-k), y(t-m)$ 和 $y(t)$ 的值一一对应地表示成如下的规则形式:

$$\begin{aligned} &\text{if } u(t-k) = B_{k1} \text{ and } y(t-m) = C_{m1} \text{ then } y(t) = C_{11} \\ &\text{if } u(t-k) = B_{k2} \text{ and } y(t-m) = C_{m2} \text{ then } y(t) = C_{12} \\ &\dots \\ &\text{if } u(t-k) = B_{ki} \text{ and } y(t-m) = C_{mi} \text{ then } y(t) = C_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

并对其进行简化处理。

2 TIG 焊动态过程模型的建立

为了建立脉冲 TIG 焊在恒焊速变电流规范下的动态模糊模型, 我们采集了 800 对输入(峰值电流脉宽 T_p)和输出(背面熔宽 B_w)数据(其中 400 对建模, 400 对检验)。实验参数如下:

峰值电流 $I_p=120$ A; 氩气流量 8 L/min;
基值电流 $I_b=60$ A; 钨极锥角 30° ;
脉冲频率 $f=1$ Hz; 钨极直径 3 mm;
焊接速度 $v_w=15$ cm/min; 弧长 4 mm;
焊件材料及尺寸 Q235 钢冷轧板, 280 mm×50 mm×2 mm。

2.1 输入空间 U 和输出空间 Y

设给定峰值电流脉宽基值为 $T_g(450 \text{ ms})$, 实际输入量测值为 T_p , 则定义其比值 $u=T_p/T_g$ 为输入变量, 其基本论域为 $[0.5, 1.5]$; 设给定背面熔宽 $B_g(5 \text{ mm})$, 实际输出量测值为 B_w , 则定义其比值 $y=B_w/B_g$, 其基本论域为 $[0, 2]$ 。设 u 和 y 的量化等级均为 13, 即对应的语言变量

的变化范围为 $[-6, +6]$;并同时定义 U 和 Y 的模糊子集 B_i 和 C_i 分别如表 1 及表 2 所示。

u 的量化等级和模糊集合 B_i 的定义 表 1

级别	范 围	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
-6	$u \leq 0.56$	1.0	0.3					
-5	$0.56 < u \leq 0.63$	0.8	0.5	0.1				
...	...							
+5	$1.38 < u \leq 1.44$				0.1	0.5	0.8	
+6	$1.44 < u$					0.3	1.0	

y 的量化等级和模糊集合 C_i 的定义 表 2

级别	范 围	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
-6	$y \leq 0.08$	1.0	0.3					
-5	$0.08 < y \leq 0.25$	0.8	0.5	0.1				
...	...							
+5	$1.75 < y \leq 1.92$					0.1	0.5	0.8
+6	$1.92 < y$						0.3	1.0

2.2 模糊模型结构的确定

模糊模型的结构是根据输入/输出量测值的模糊集合通过相关分析来确定的。

输入/输出量测值的模糊集合是通过对输入/输出量测值进行模糊化处理后构成的。具体方法如下。

设输入的量测值 $u(t-k)$ 满足

$$\mu_{B_i}(u) = \max[\mu_{B_1}(u), \mu_{B_2}(u), \dots, \mu_{B_7}(u)]$$

则模糊变量 $u(t-k)$ 的取值为 B_i ;同理,若输出的量测值 $y(t-m)$ 满足

$$\mu_{C_i}(y) = \max[\mu_{C_1}(y), \mu_{C_2}(y), \dots, \mu_{C_7}(y)]$$

则模糊变量 $y(t-m)$ 的值取为 C_i 。

对输入/输出量测值模糊化后,我们用 C 语言编程统计 $y(t)$ 和 $u(t-1), \dots, y(t-5)$ 及 $y(t)$ 与 $y(t-1), \dots, y(t-5)$ 的相互关联情况,得出相关分析表 3 及表 4,从表 3 及表 4 可看出 $u(t-1)$ 及 $y(t-1)$ 相关程度最高,从而说明该过程的模糊模型结构应该是 $\langle u(t-1), y(t-1), y(t) \rangle$ 。

$y(t)$ 与 $u(t-k)$ 相关表 ($y(t) \sim u(t-1); y(t) \sim u(t-5)$)

表 3

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
B_1	3	2	31							28				
B_2			34	2						28	8			
B_3			2	60	24					8	45	33		
B_4	1	2	5	7	25					3	10	26	1	
B_5			2	17	116	9					22	100	14	
B_6					2	34						8	24	4
B_7						5	13						9	9

$y(t)$ 与 $y(t-m)$ 相关表 ($y(t) \sim y(t-1); y(t) \sim y(t-5)$)

表 4

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	4	4								7	1			
C_2			4							2	1	1		
C_3			66	5						47	14	2		
C_4			3	68	15					10	41	34		
C_5			1	13	145	7				1	28	112	14	
C_6					7	38	3					18	20	9
C_7						3	10						9	4

2.3 模糊模型的建立

根据已确定的模型结构,对 400 组数据进行处理,得到 399 条以模糊变量 $y(t-1), u(t-1)$ 为前提, $y(t)$ 为结果的模糊规则,表示如下:

$$\begin{aligned} & \text{if } u(t-1) = B_1 \text{ and } y(t-1) = C_1 \text{ then } y(t) = C_1 \\ & \text{if } u(t-1) = B_1 \text{ and } y(t-1) = C_2 \text{ then } y(t) = C_2 \\ & \dots \\ & \text{if } u(t-1) = B_7 \text{ and } y(t-1) = C_7 \text{ then } y(t) = C_7 \end{aligned} \quad (3)$$

由于 399 条规则中有些是重复的或矛盾的,故必须对其进行必要的简化处理。经过分析处理后的 TIG 焊恒焊速规范下的焊接过程模糊模型如表 5 所示。

TIG 焊模糊规则表 表 5						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
B_2	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	
B_3	C_3		C_4	C_5	C_6	
B_4	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	
B_5		C_1	C_2	C_3	C_4	
B_6	C_1		C_2	C_3	C_4	
B_7				C_5	C_6	

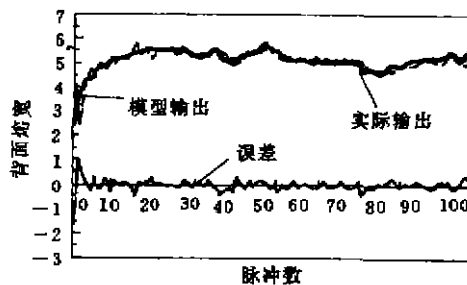


图 1 模型检验曲线

3 模型检验及结语

为了检验该模型的精度,我们用另外 400 对数据进行了制查检验。并采用实际输出测量值 $y(t)$ 与模型输出值 $\hat{y}(t)$ 的均方值来评价其精确性,即

$$P = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [y(t) - \hat{y}(t)]^2 = 0.067$$

上式中 N 为总的检验点数 ($N=100$)。模型检验曲线如图 1 所示。

该实验曲线及误差均方值表明所建立的基于模糊关系的 TIG 焊动态过程模糊模型能够有效地描述实际过程的特征。有了描述系统的有效模型,为施加高质量的过程控制提供了保证。

4 参考文献

- 1 李士勇. 模糊控制·神经控制·智能控制论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996: 294—300
 - 2 Negoita C V, Ralescu D A. Applications of Fuzzy Sets to Systems Analysis. U. S. A. , Halsted Press, 1975
- (责任编辑 庆静先)