

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B23K 11/11 (2006.01)

B23K 11/24 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510047082.6

[45] 授权公告日 2009年8月12日

[11] 授权公告号 CN 100525982C

[22] 申请日 2005.8.24

[21] 申请号 200510047082.6

[73] 专利权人 沈阳工业大学

地址 110023 辽宁省沈阳市铁西区兴华南街 58 号

[72] 发明人 常云龙

[56] 参考文献

CN2850798Y 2006.12.27

JP9-225651A 1997.9.2

CN1206113A 1999.1.27

US6043449A 2000.3.28

CN1480713A 2004.3.10

点焊控制方法的发展与动向. 张贵锋, 包亚峰, 张建勋. 电焊机, 第 29 卷第 12 期. 1999

电阻点焊过程及质量控制方法的研究进展. 曾鸿志, 单平. 焊接技术, 第 29 卷第 5 期. 2000

电阻点焊过程智能控制的研究. 方平, 黄石生, 林一松, 吴祥淼. 中国机械工程, 第 13 卷第 5 期. 2002

机器人点焊多信息融合及控制. 常云龙, 薛家祥, 黄石生. 焊接学报, 第 21 卷第 2 期. 2000

审查员 丁江平

[74] 专利代理机构 沈阳东大专利代理有限公司

代理人 梁焱

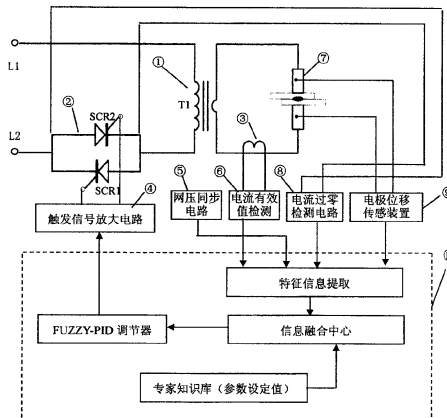
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

电阻点焊质量控制装置及方法

[57] 摘要

一种电阻点焊质量控制装置及方法, 属于电阻焊过程信息检测与质量控制技术领域, 该发明装置包括变压器、反并联晶闸管、电流传感器、触发信号放大电路、网压同步电路、电流有效值检测电路、电流过零检测电路、电极位移传感器、单片机控制系统; 该发明方法包括信号采集、特征信息提取、信息融合、控制算法选择和输出功率调节步骤, 本发明具有以下优点: 检测信息多、控制性能好, 控制精度高, 可适用于各种材料的电阻点焊。



1. 一种电阻点焊质量控制装置，其特征在于包括变压器、反并联晶闸管、电流传感器、触发信号放大电路、网压同步电路、电流有效值检测电路、电流过零检测电路、电极位移传感器和单片机控制系统，其中网压同步电路输入是单相 380VAC，输出与网压同步的脉冲信号，同时输出稳定电压，其联接是网压同步电路中的输入端与变压器的输出端相连；网压同步电路中的输出端与电流过零检测电路的输入端、单片机控制系统相连；触发信号放大电路对信号放大和脉冲变压，变为两路信号触发晶闸管（SCR1、SCR2），触发信号放大电路的输出端与晶闸管（SCR1、SCR2）的门极和阴极相连；触发信号放大电路中的输入端与单片机控制系统中的 FUZZY-PID 调节器的输出相连；电流过零检测电路检测电流过零信号，其输入端与晶闸管（SCR1、SCR2）的阴极和阳极相连；电流过零检测电路中的输出端与单片机控制系统的外部中断 INT0 相连；电流有效值检测电路检测电流有效值，其输入端与电流传感器（3）相连；电流有效值检测电路中的输出端与单片机控制系统相连；电流传感器和电极位移传感器将检测到的电信号通过网压同步电路、电流有效值检测电路、电流过零检测电路处理后送到单片机控制系统，单片机控制系统将该信号转换成可以处理的数字信号后送入特征信息提取单元，提取焊接电流、动态电阻、电极位移特征信息，将提取的特征信息送入信息融合中心，建立信息融合模型，模型中的参数包括熔核直径、焊接电流、动态电阻下降速率、电极位移上升速率、动态电阻下降值、电极位移峰值和焊接时间，经过融合处理的数据与专家知识库提供的设定参量进行比较，将比较的结果即偏差送入 FUZZY-PID 调节器，并设定一个偏差阈值，通过对偏差和偏差阈值的比较确定采用模糊控制 FUZZY 还是 PID 控制规律，调节器输出信号经触发信号放大电路后控制晶闸管，来调节点焊过程的热量和时间，最终实现对点焊质量的控制。
2. 如权利要求 1 所述的电阻点焊质量控制装置，其特征在于所述单片机控制系统包括：特征信息提取单元、信息融合中心、专家知识库和 FUZZY-PID 调节器，  
所述的信息提取单元提取特征信息，包括提取焊接电流、动态电阻和电极位移特征信息；  
所述的信息融合中心，建立信息融合模型，根据传感器测量特征信息和专家知识，建立信息融合模型，模型中的参数包括熔核直径、焊接电流、动态电阻下降速率、电极位移上升速率、动态电阻下降速率、电极位移峰值和焊接时间；  
所述的专家知识库中存入材质、板厚和电极压力；  
所述的 FUZZY-PID 调节，其中模糊控制器的输入是来自信息融合中心的输出值，包括传感器测量的信息和专家知识信息。
3. 一种利用权利要求 1 所述的电阻点焊质量控制装置的控制方法，包括：信号采集、提取特

---

征信息、信息融合、选择控制算法和调节输出功率，其特征在于：所述的提取特征信息，包括提取焊接电流、动态电阻和电极位移特征信息；

所述的信息融合根据传感器测量特征信息和专家知识，其建立的信息融合模型中的参数包括熔核直径、焊接电流、动态电阻下降速率、电极位移上升速率、动态电阻下降速率、电极位移峰值和焊接时间，专家知识库中包括材质、板厚、电极压力；

所述的选择控制算法，采用模糊控制 FUZZY 和 PID 相结合的控制规律，其中模糊控制器的输入是来自信息融合中心的输出值，包括传感器测量的信息和专家知识信息。

## 电阻点焊质量控制装置及方法

### 技术领域

本发明属于电阻焊过程信息检测与质量控制技术领域，特别涉及一种基于多传感器信息融合的电阻点焊质量控制装置及方法。

### 背景技术

电阻焊是利用焊接工件通电时产生的电阻热加热工件，在压力作用下完成焊接的一种焊接方法。在汽车、摩托车、工程机械以及航空航天等工业领域得到广泛应用。目前电阻焊存在的主要问题是表征焊接质量的熔核尺寸无法直接测量。专利 ZL98102944.2 是通过功率因数角计算动态电阻，根据动态电阻曲线估算熔核尺寸，该方法的不足之处是对某些材料（如铝合金、不锈钢等）动态电阻不明显，不适于不同材料的点焊质量控制。专利 ZL03130440.0 提出了一种点焊熔核面积在线检测方法，它是通过检测电流、电压、电极位移及声音信号，建立基于数据融合的神经网络模型，由特征量和实际测到的熔核面积对神经网络模型进行训练，直到达到误差要求为止。其核心是焊接质量的在线监测，对不符合要求的焊点不能进行反馈控制。由于对熔核面积的影响因素除了以上四个特征量以外，还有材质、板厚、点距等因素对焊接质量也有很大影响，该方法只能对特定条件的焊接质量进行有效判断，然而要保证模型精度需要大量训练样本。导致该方法应用范围和使用环境受到限制。

现有的电阻焊质量监控方法，检测参数的数量多为单个或两个。检测信息少，反映焊点熔核的变化不够全面。在焊接过程中，当出现干扰如网压波动、分流、电极磨损、焊机回路阻抗变化等时，焊接质量容易出现较大波动。

焊接质量与焊接过程中的参数之间存在着一定关系。为了更好地控制焊接质量，应尽可能多的检测到那些与点焊质量有关系的参数，如电流、电压、动态电阻、电极位移、电极压力、点焊时间以及材质、板厚、材料表面状况、点距、电极材料及其几何尺寸等等。但是，对这些参数全部进行检测是不现实的。

### 发明内容

针对现有技术存在的问题，本发明提供一种电阻点焊质量控制装置及方法。

本发明选择了对点焊质量有密切关系的三个参数，对于其他比较确定的参数，如材质、板厚、电极压力等，采取了在专家知识库中设定的方法。通过对传感器检测信息的数据融合和专家知识库信息的规则融合，建立熔核直径信息融合模型，采用 FUZZY-PID 控制规律，实

现电阻点焊过程质量监控。

本发明通过如下技术方案加以实现，基于电阻点焊电流、动态电阻（以动态功率因子  $ctg \beta$  替代）和电极位移信号与熔核直径的线性对应关系，采用无铁心空心环形线圈即电流传感器、同步及过零检测电路、电极位移传感器（由电极位移传感器探头及电极位移传感装置组成），通过 A/D 转换将电流、动态电阻、电极位移信号送入单片机控制系统，单片机采用 80C31，在单片机中计算电流、动态电阻、电极位移的加热强度特征量和时间特征量，建立以这些特征量和熔核直径为输入输出关系的信息融合模型，根据融合算法，得出融合结果，进行点焊过程的热量和时间调节，从而实现点焊质量的控制。

本发明装置包括变压器、反并联晶闸管、电流传感器、触发信号放大电路、网压同步电路、电流有效值检测电路、电流过零检测电路、电极位移传感器、单片机控制系统，其中单片机控制系统包括特征信息提取单元、信息融合中心、专家知识库和 FUZZY-PID 调节器；

其联接是网压同步电路中的输入端与变压器的输出端相连；网压同步电路中的输出端与电流过零检测电路的输入端、单片机控制系统相连；触发信号放大电路对信号放大和脉冲变压，变为两路信号触发晶闸管（SCR1、SCR2），触发信号放大电路的输出端与晶闸管（SCR1、SCR2）的门极和阴极相连；触发信号放大电路中的输入端与单片机控制系统中的 FUZZY-PID 调节器的输出相连；电流过零检测电路检测电流过零信号，其输入端与晶闸管（SCR1、SCR2）的阴极和阳极相连；电流过零检测电路中的输出端与单片机控制系统的外部中断 INT0 相连；电流有效值检测电路检测电流有效值，其输入端与电流传感器（3）相连；电流有效值检测电路中的输出端与单片机控制系统相连；

具体联接是：图 2 中的连接器 2CON1 的 1、2 脚分别与附图 1 中的 L1、L2 相连；图 2 中的连接器 2CON2 的 1 脚与图 4 中的连接器 4CON2 的 1 脚相连，图 2 中的连接器 2CON2 的 2、3 脚与附图 1 中的单片机控制系统的 P1.0、P1.1 脚相连，图 2 中的连接器 2CON2 的 4 脚与图 4 中的连接器 4CON2 的 3 脚相连；图 3 中的连接器 3CON2 分别与附图 1 中的 SCR1、SCR2 的门极和阴极相连；图 3 中的连接器 3CON1 的 1 脚为稳压电源地，4 脚为 +12V，5 脚为 +24V，2 脚与单片机控制系统中的 FUZZY-PID 调节器的输出相连；图 4 中的连接器 4CON1 与图 1 中的 SCR1、SCR2 的阴极和阳极相连；图 4 中的连接器 4CON2 的 2 脚与图 1 中的单片机控制系统的外部中断  $\overline{INT0}$  相连；图 5 中的连接器 5CON1 与图 1 中的电流传感器相连；图 5 中的连接器 5CON2 的 1 脚与图 1 中的单片机控制系统的外部中断  $\overline{INT1}$  相连；图 5 中的连接器 5CON2 的 2 脚与图 1 中的单片机控制系统的 P1.3 脚相连。

由图 2 可知，网压同步电路的输入是单相 380VAC，经控制变压器降压、整流、与非门构成的变换电路后，输出与网压同步的 50Hz、100Hz 脉冲信号，同时输出稳定电压 +12V。

由图 3 可知,来自单片机控制系统中 FUZZY-PID 调节器输出的触发信号,送入触发信号放大电路,经信号放大和脉冲变压器后,变为两路信号去触发晶闸管 SCR1 和 SCR2。

由图 4 可知,电路的输入接至晶闸管 SCR1 和 SCR2 的两端,经光电隔离和比较电路后送入单片机控制系统的外部中断  $\overline{\text{INT0}}$ ,目的是检测电流过零信号。

由图 5 可知,电流传感器输出信号,经积分、放大、叠加电路和精密整流、微分、比较电路后得到电流峰值信号,该信号送入单片机控制系统的外部中断  $\overline{\text{INT1}}$ 。该电路的功能是检测电流有效值。

本发明装置的电流传感器和电极位移传感器将检测到的电信号通过网压同步电路、电流有效值检测电路、电流过零检测电路处理后送到单片机控制系统,单片机控制系统将该信号转换成可以处理的数字信号后送入特征信息提取单元,将提取的特征信息送入信息融合中心,经过融合处理的数据与专家知识库提供的设定参量进行比较,将比较的结果即偏差送入 FUZZY-PID 调节器,并设定一个偏差阈值,通过对偏差和偏差阈值的比较确定采用模糊控制 FUZZY 还是 PID 控制规律,调节器输出信号经触发信号放大电路后控制晶闸管,来调节点焊过程的热量和时间,最终实现对点焊质量的控制。

本发明方法包括以下步骤:

步骤一、信号采集;

电流有效值检测:采用峰值角法,即焊接电流有效值  $I$  与峰值  $I_M$  之比是峰值角  $N$  的函数。

$$K_p = \frac{I}{I_M} = f(N) \quad (1)$$

式 (1) 中  $K_p$  为电流有效值与峰值之比例系数,  $N$  为峰值角,  $K_p$  和峰值角函数  $f(N)$  的关系如图 11 所示。

将电流传感器(即无铁心空心环形线圈)套在变压器 T1 二次回路,电流传感器的输出送入电流有效值检测电路,见附图 5。有效值检测电路的输出送入单片机控制系统。

将  $K_p$  和峰值角  $N$  的关系存放在单片机内存中,即可由式 (1) 求出电流有效值。

动态电阻检测:采用动态功率因子  $\text{ctg } \beta$  的方法。通过同步电路和电流过零信号提取电路求得电流相对于电压的滞后角  $\beta$ ,以  $\text{ctg } \beta$  代替动态电阻。

电极位移检测：采用 GS6100/7100 系列光栅位移传感器（测量范围为 10mm，测量分辨率为 1 $\mu$ m，测量精度为  $\pm 1\mu$ m，测量速度为  $V_{max} < 200\text{mm/s}$ ）。它由电极位移传感器探头和电极位移传感器装置组成，传感器探头置于上下电极臂上，测量焊点熔核的热膨胀量即电极位移量，传感器装置将传感器探头的电极位移信号进行放大、整形、倍频辨向、计数，最后转换为电信号输出，并送入单片机控制系统。

### 步骤二、特征信息提取：

依据步骤一中测量的信息通过电流有效值检测电路、电流过零检测电路处理提取焊接电流、动态电阻、电极位移特征信息。

### 步骤三、信息融合：

根据传感器测量特征信息和专家知识，建立信息融合模型：

$$d = F \left[ \left( I_w, \frac{dR}{dt}, \frac{ds}{dt} \right), (\Delta R, S_m, t_w) \right] \quad (2)$$

式(2)中  $d$ 、 $I_w$ 、 $\frac{dR}{dt}$ 、 $\frac{ds}{dt}$ 、 $\Delta R$ 、 $S_m$ 、 $t_w$  分别为熔核直径、焊接电流、动态电阻下降速率、电极位移上升速率、动态电阻下降值、电极位移峰值、焊接时间。

信息融合同时采用两种算法：一是热量调节算法，二是时间调节算法。

#### (1) 热量调节算法

热量调节算法采用决策法和平均法相结合的方法。决策法是在同一特征的多值融合时，根据一定的准则，判决其一为融合值。判别的准则是利用经验知识，对各值给定可信度，选择可信度最大的值作为融合值。由决策法确定的多传感器特征信息决策表如下：

表 1 传感器特征信息决策表

特征信息	$dR/dt$	$I_w$	$ds/dt$
可信度	0.1	0.9	0.8

可信度的值通过经验确定。根据点焊质量影响因素，焊接电流对质量的影响最大，为生产上主要调节参数，因此给定电流特征信息的可信度为最大。

平均法是针对多传感器对点焊熔核同一特征的感知，得到相同的特征值  $e_i$  ( $i$  为传感器个

数), 根据一定的先验知识获得其权值  $a_i$ , 将各值加权平均即可。由平均法得到的信息融合输出值如下:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^3 a_i \cdot e_i}{\sum_{i=1}^3 a_i} \quad (3)$$

式 (3) 中  $e$  为融合值,  $a_i$  为权值系数 ( $i=1,2,3$ )。  $a_i$  值通过试验确定。

一般将电极位移和动态电阻变化曲线分成三个阶段, 即将其分为初始区 (1~3 周)、熔核形成区 (4~8 周)、稳定区 (大于 8 周) 三个阶段, 并根据各个阶段不同情况, 实施阶段控制。

表 2 传感器特征信息权值系数表

第一阶段			第二阶段			第三阶段		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
0	1.0	0	0.2	0.5	0.3	0	1.0	0

(2) 时间调节算法

时间调节算法采用结合法和决策法相结合的方法, 如表 3。结合法是针对彼此作用独立, 相互补充的传感器信息, 进行叠加, 以获得对熔核形成过程的多特征描述。

表 3 多传感器时间特征信息决策表

$\Delta Re$	$\Delta Sme$	$\Delta t$	$\Sigma_2$ 输出
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

表 3 中,  $\Delta Re$  是给定的动态电阻下降值  $\Delta R_g$  与实时检测的电阻下降值  $\Delta R_f$  的偏差, 即  $\Delta Re = \Delta R_g - \Delta R_f$ ;  $\Delta Sme$  是给定的电极位移峰值  $S_{mg}$  和实时检测的电极位移量  $S_{mf}$  的偏差, 即  $\Delta Sme = S_{mg} - S_{mf}$ ;  $\Delta t$  为设定的焊接周波数  $tw_g$  与实际测试的焊接周波数  $tw_f$  的偏差, 即



$$\Delta t = t_{wg} - t_{wf}。$$

#### 步骤四、控制算法选择：

系统采用模糊控制 FUZZY 和 PID 相结合的控制规律。当多传感器信息的融合输出值  $e$  较大，即  $e \geq |E_0|$  时，采用模糊控制。当融合输出值较小，即  $e < |E_0|$  时，采用 PID 控制。通过程序判断融合输出  $e$  的大小来进行控制方式的切换， $E_0$  为阈值， $E_0$  较小时，响应较快，但影响控制精度，取  $|E_0| = 0.5$ ；

#### 步骤五、输出功率调节

通过控制晶闸管的移相角来调节输出功率，FUZZY-PID 调节器的输出与移相角成比例关系，经放大电路后去触发晶闸管。通过对表 3 的查表处理，来判定焊接过程的结束时刻，即当时间调节融合输出为“0”时，保持焊接过程的原有状态；当输出为“1”时，则表示熔核已达到设定的要求，切断焊接电源。

本发明的优点：1、采用三个焊接过程参数反映焊点信息，检测信息多。2、进行信息融合的信息来自于两个方面：一是传感器测量信息；二是专家知识信息。这两方面信息互为补充，从而获得熔核形成过程更全面的信息。3、采用结合法、决策法和平均法相结合的信息融合算法以及 FUZZY-PID 控制规律实施点焊质量监控，控制性能好，控制精度高。4、本发明适用于各种材料的电阻点焊。

#### 附图说明

图 1 为本发明的结构组成方框图；

图 2 为网压同步电路原理图；

图 3 为触发信号放大电路原理图；

图 4 为电流过零检测电路原理图；

图 5 为电流有效值检测电路原理图；

图 6 为计算电流有效值的流程图；

图 7 为计算电极位移特征量的流程图；

图 8 为计算动态电阻的特征量流程图；

图 9 为基于多信息融合的 FUZZY-PID 控制系统示意图；

图 10 为基于多信息融合的 FUZZY-PID 控制程序流程图；

图 11 为电流有效值与峰值之比例系数  $K_p$  和峰值角函数  $f(N)$  的关系示意图。

图 1 中：1 变压器，2 反并联晶闸管，3 电流传感器，4 触发信号放大电路，5 网压同步电路，6 电流有效值检测电路，7 电极位移传感器探头，8 电流过零检测电路，9 电极位移传感装置，10 单片机控制系统。

### 具体实施方式

如图 1 所示，本发明的电阻点焊质量控制装置包括变压器 1、反并联晶闸管 2、电流传感器 3、触发信号放大电路 4、网压同步电路 5、电流有效值检测电路 6、电极位移传感器探头 7、电流过零检测电路 8、电极位移传感器 9、单片机控制系统 10。该装置输入电压采用单相 380V 工频交流电，输出接焊接工件。

其电路联接是：网压同步电路中的连接器 2CON1 的 1、2 脚分别与变压器 (1) 的 L1、L2 相连；网压同步电路中的连接器 2CON2 的 1 脚与电流过零检测电路的连接 4CON2 的 1 脚相连，网压同步电路中的连接器 2CON2 的 2、3 脚与单片机控制系统的 P1.0、P1.1 脚相连，网压同步电路中的连接器 2CON2 的 4 脚与电流过零检测电路的连接 4CON2 的 3 脚相连；触发信号放大电路中的连接器 3CON2 分别与晶闸管 SCR1、SCR2 的门极和阴极相连；触发信号放大电路中的连接器 3CON1 的 1 脚为稳压电源地，4 脚为 +12V，5 脚为 +24V，2 脚与单片机控制系统中的 FUZZY-PID 调节器的输出相连；电流过零检测电路中的连接器 4CON1 与晶闸管 SCR1、SCR2 的阴极和阳极相连；电流过零检测电路中的连接器 4CON2 的 2 脚与单片机控制系统的外部中断  $\overline{INT0}$  相连；电流有效值检测电路中的连接器 5CON1 与电流传感器 (3) 相连；电流有效值检测电路中的连接器 5CON2 的 1 脚与单片机控制系统的外部中断  $\overline{INT1}$  相连；电流有效值检测电路的连接 5CON2 的 2 脚与单片机控制系统的 P1.3 脚相连。

本发明的具体工作过程：

由图 1 和图 10 可知，单相 380V 交流电经反并联晶闸管，加至主变压器 T1，经变压器降压后，得到电阻焊要求的低电压大电流交流电，供给负载。在焊接第一周波，给定一个移相

角触发晶闸管 SCR1 和 SCR2, 这时采集电流有效值、电极位移量、以及动态电阻值, 送入单片机控制系统, 经 AD 转换, 特征信息提取, 在信息融合中心对传感器信息和专家知识库中参数设定值进行融合处理, 融合结果送入 FUZZY-PID 调节器, 调节器的输出经 DA 转换, 得到移相触发信号, 经放大后触发晶闸管。通过调节晶闸管的移相角, 即可实现输出功率调节。

本发明方法的具体实现步骤如下:

步骤一、信号采集;

首先检测与质量有关的电流、动态电阻、电极位移三个参数。

电流检测: 将无铁心空心环形线圈套在变压器 T1 二次回路, 其输出信号经变换电路送入单片机控制系统。

动态电阻检测: 采用动态功率因子  $\text{ctg } \beta$  的方法。通过同步电路和电流过零信号提取电路求得电流相对于电压的滞后角  $\beta$ , 以  $\text{ctg } \beta$  代替动态电阻。

电极位移检测: 采用 GS6100/7100 系列光栅位移传感器 (测量范围为 10mm, 测量分辨率为 1 $\mu\text{m}$ , 测量精度为  $\pm 1\mu\text{m}$ , 测量速度为  $V_{\text{max}} < 200\text{mm/s}$ )。它由测量电路和传感探头组成, 传感探头置于上下电极臂上, 测量电路将光栅传感探头的输出信号进行放大、整形、倍频辨向、计数, 最后转换为电信号输出, 并送入单片机控制系统。

步骤二、特征信息提取;

提取三个测量参数的特征值信息并进行融合处理。焊接电流信号送入单片机后, 通过附图 6 所示的计算机程序提取电流有效值。动态电阻信号送入单片机后, 通过附图 7 所示的计算机程序提取动态电阻特征值。电极位移信号送入单片机后, 通过附图 8 所示的程序提取电极位移特征值。

步骤三、信息融合;

三个特征信息分别与专家知识库中的给定值在信息融合中心进行比较, 得到偏差信号, 然后查表 1 和表 2 求出热量调节信息融合  $\Sigma_1$  的输出值  $e$ 。

步骤四、控制算法选择;

最后, 根据信息融合的输出值  $e$  确定采用模糊控制 FUZZY 还是 PID 控制规律, 见图 10。

FUZZY-PID 的输出经变换电路后去控制晶闸管 SCR1 和 SCR2。

步骤五、控制晶闸管调节电压。

同时计算机根据表 3 进行查表处理，当时间调节信息融合  $\Sigma_2$  输出为“0”时，保持焊接过程的原有状态；当输出为“1”时，则表示熔核直径已达到设定的要求，切断焊接电源。

试验及测试结果

为了验证基于多传感器信息融合的质量监控方法的控制效果，采用自行研制的点焊控制器，在 DN6-38 型点焊机上进行试验，焊接材料为 Q235A 钢 ( $\delta=1.2+1.2mm$ ) 和不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) ( $\delta=1.5+1.5mm$ ) 两种，焊接规范见表 4，测试结果见表 5。

表 4 点焊规范

规范 材料	厚度 $\delta$ (mm)	$I_w$ (kA)	$ds/dt$ mm/s	$dR/dt$ —	$t_w$ (cyc)	$S_m$ ( $\mu m$ )	$\Delta R$ ( $ctg \beta$ )	$F_w$ MPa
Q235A	1.2	5.0	1.5	0	16	112	0.16	0.4
1Cr18Ni9Ti	1.5	4.7	2.2	0	10	184	0.18	0.45

表 5 测试结果

影响因素		分流影响 (点距变化)	回路感抗 增大	电极磨 损 $\phi=7mm$	无
熔核直径 (mm)	Q235A	4.6	4.7	4.6	5.0
	1Cr18Ni9Ti	4.2	4.3	4.2	4.5

注：Q235A 钢点焊时，点距为 7mm，不锈钢点焊时，点距为 8mm。回路感抗增大通过二次回路伸入  $70 \times 80 \times 1mm$  的钢板表示。

从表中数据可知，在分流、回路感抗、电极磨损等干扰作用下，焊点熔核直径的波动最大为 8.9%。因此基于多传感器信息融合的 FUZZY-PID 控制方法能够较好的补偿点焊过程中各种因素的影响，保证点焊质量稳定。

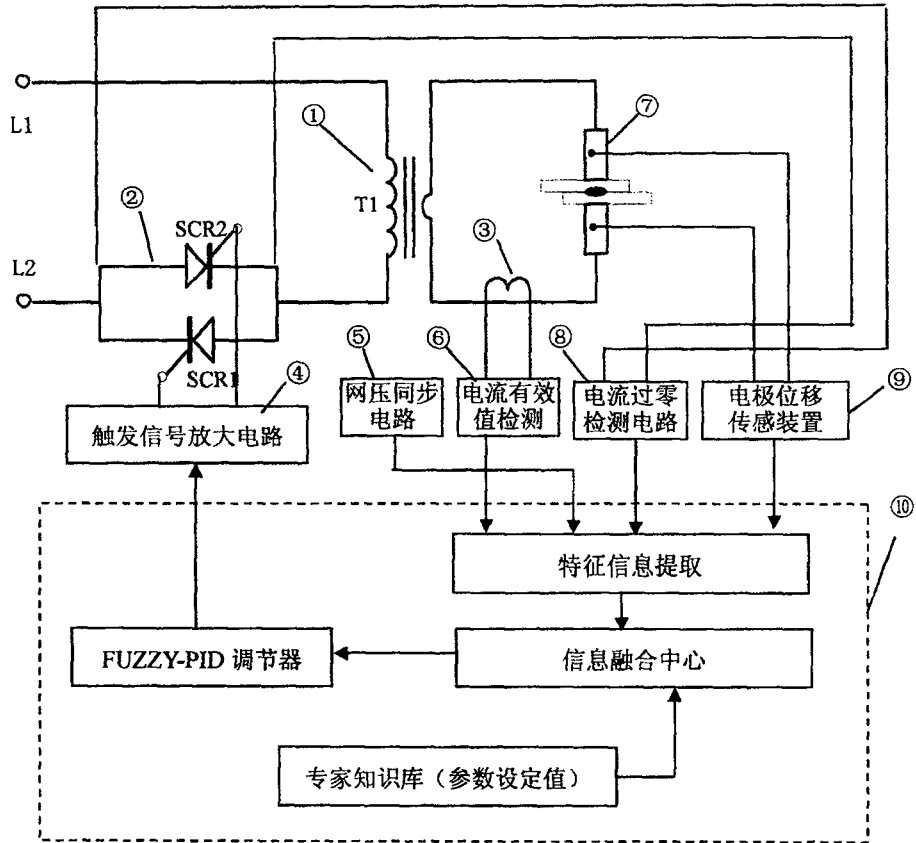


图 1

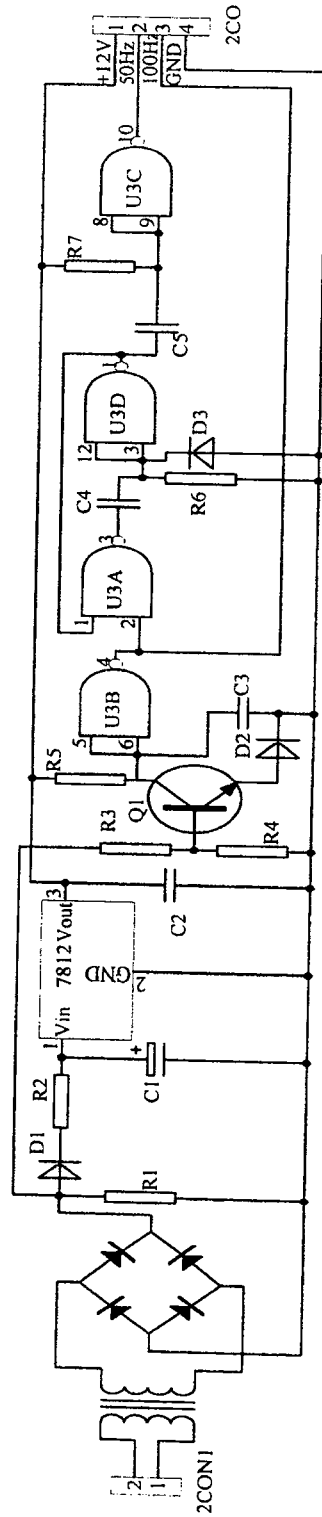


图 2

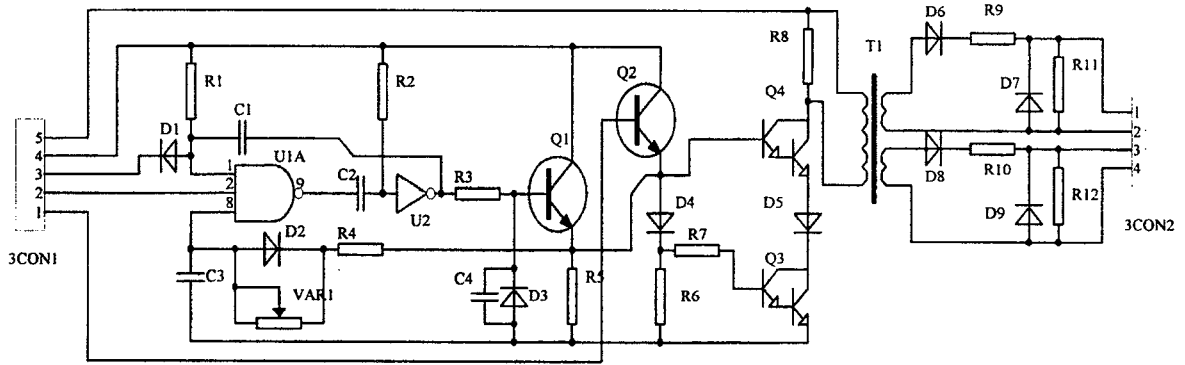


图 3

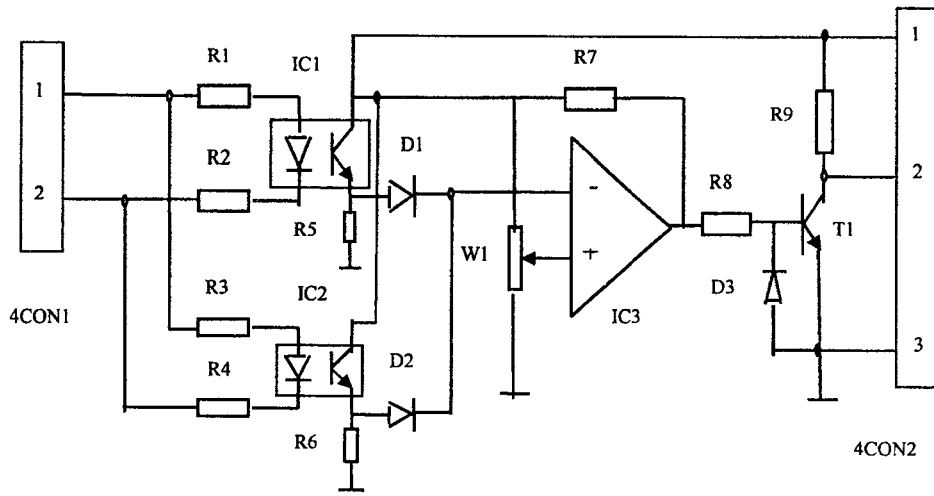


图 4

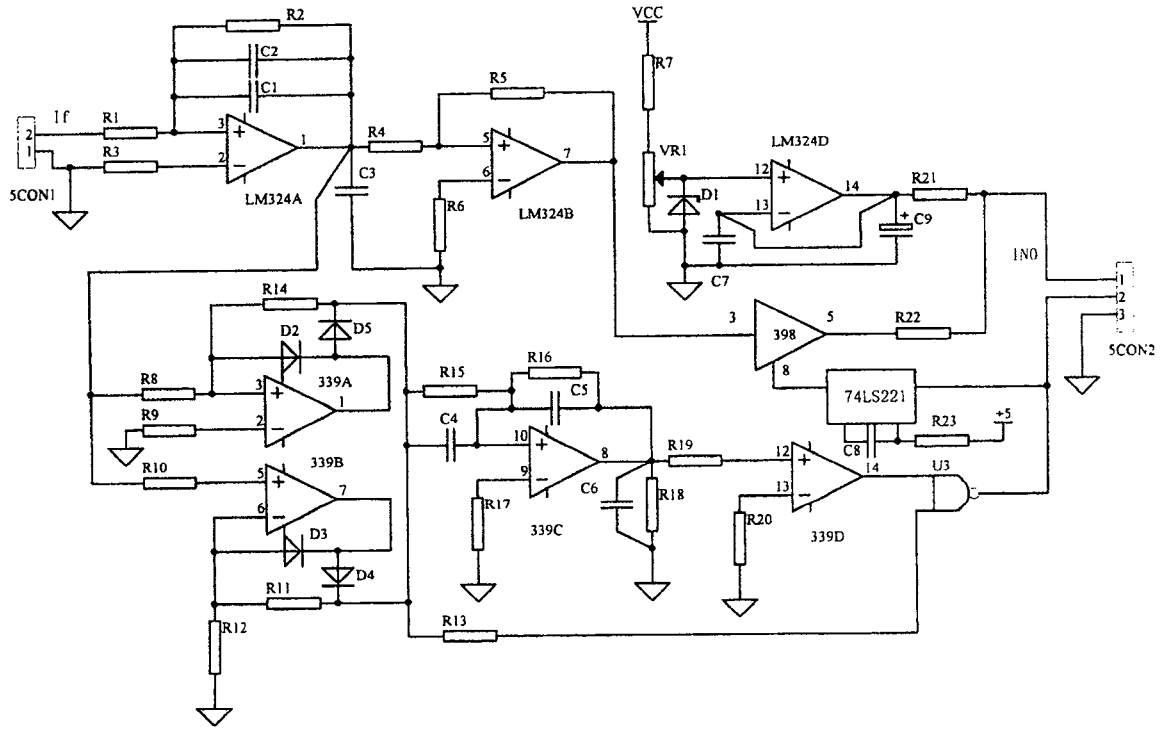


图 5

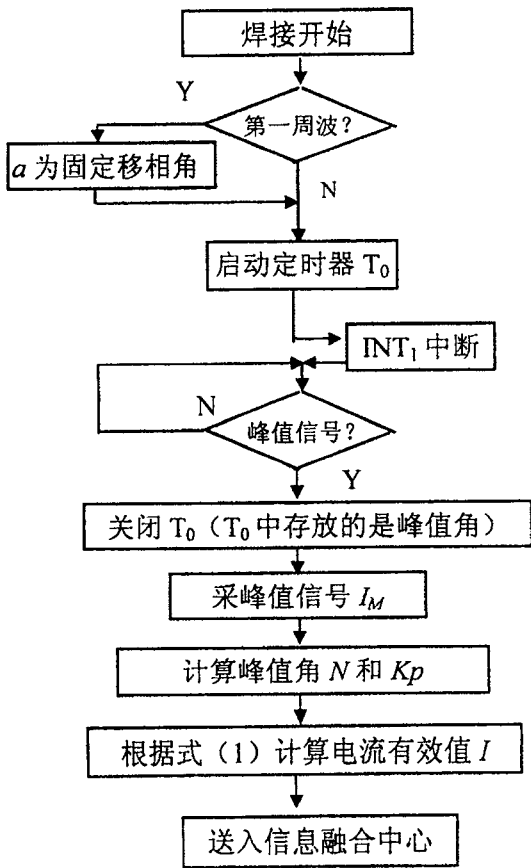


图 6

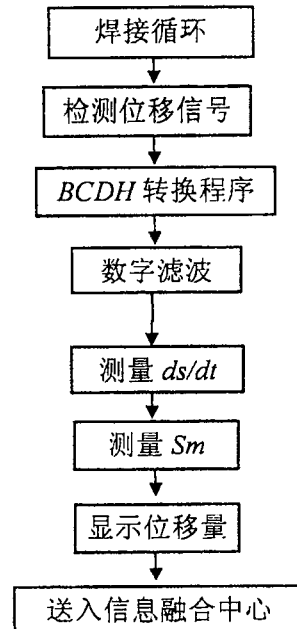


图 7



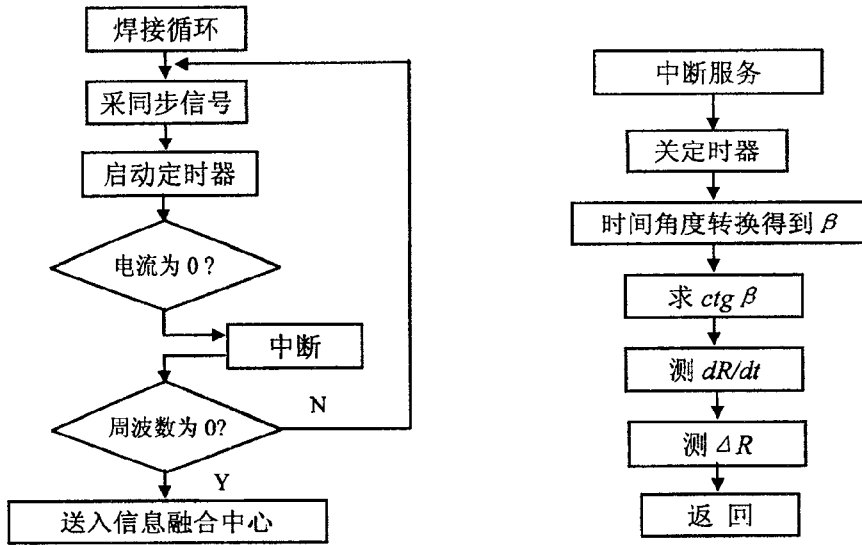


图 8

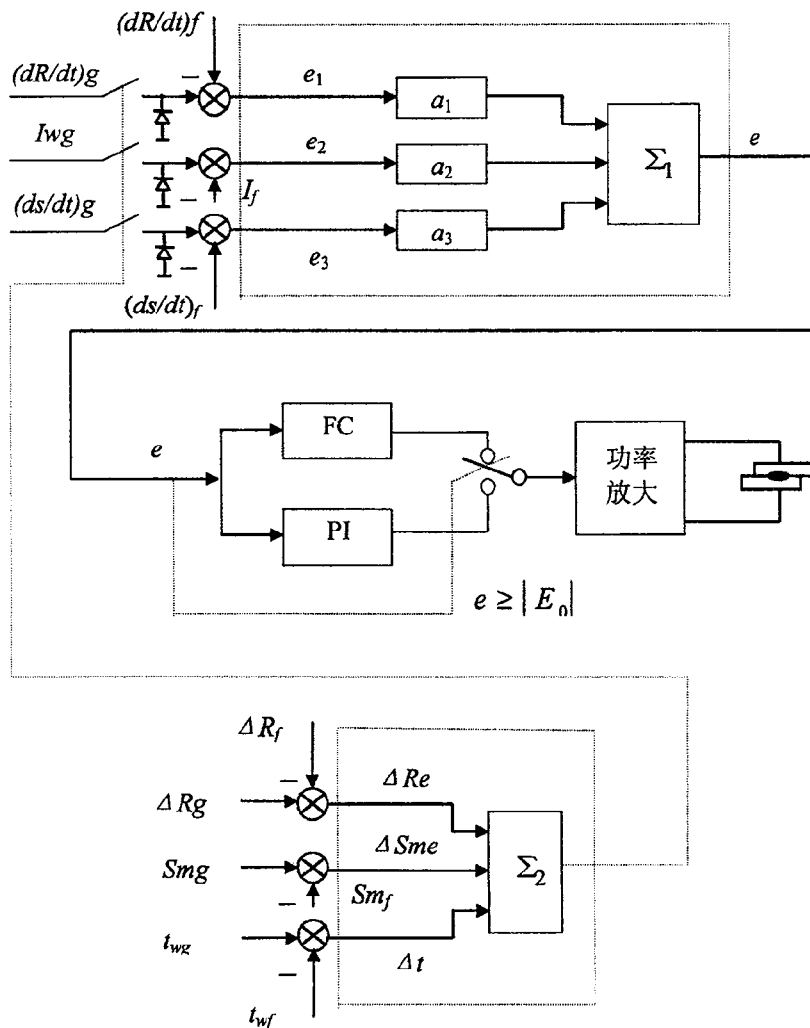


图 9

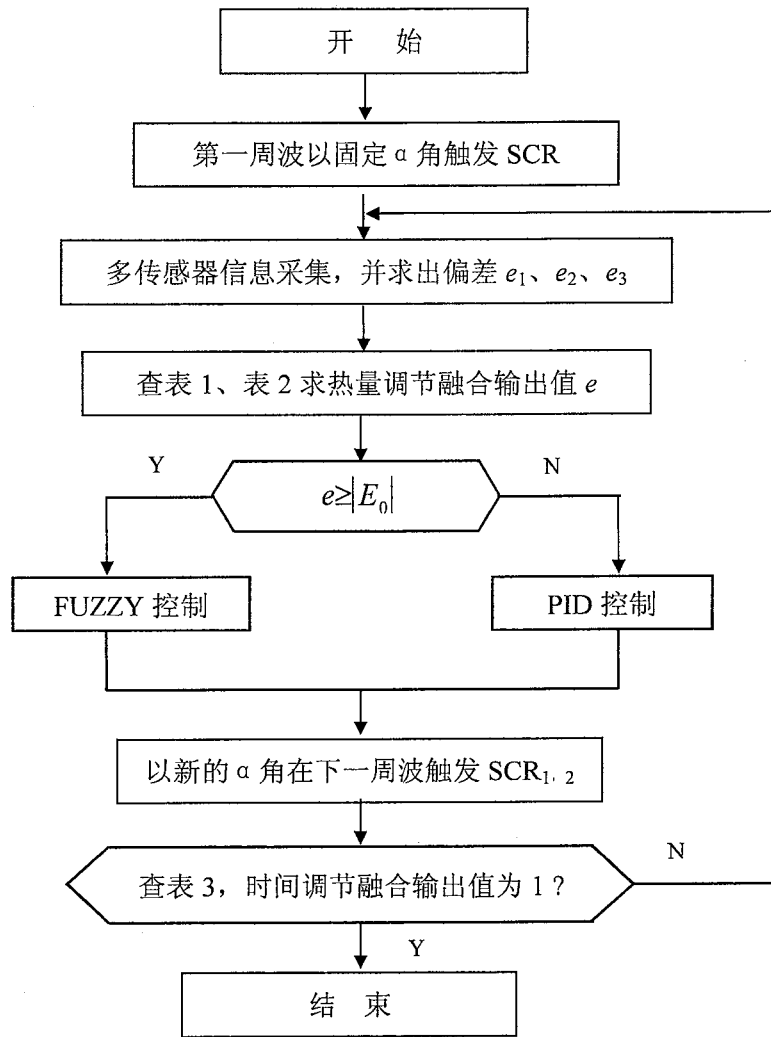


图 10

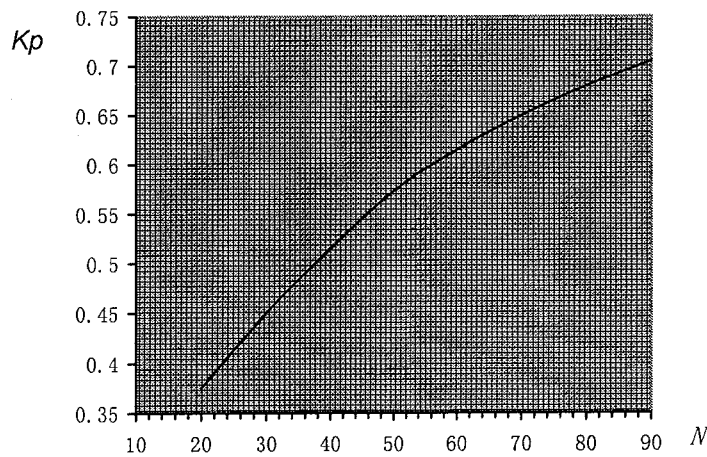


图 11