

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B23K 9/095 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03127961.9

[45] 授权公告日 2008年2月6日

[11] 授权公告号 CN 100366373C

[22] 申请日 2003.4.25 [21] 申请号 03127961.9
[73] 专利权人 北京石油化工学院
地址 102617 北京市大兴区黄村镇清源北路19号

[74] 专利代理机构 小松专利事务所
代理人 陈祚龄

[72] 发明人 蒋力培 俞建荣 邹勇 罗建蒲雨龙

[56] 参考文献

- CN1234306A 1999.11.10
- JP6-277837A 1994.10.4
- JP6-277836A 1994.10.4
- JP5-318114A 1993.12.3
- CN1081105C 2002.3.20

审查员 王伟

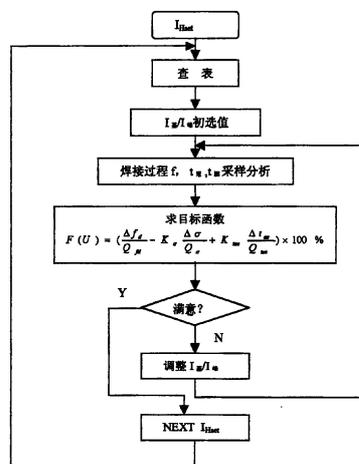
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

[54] 发明名称

智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法

[57] 摘要

一种智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，主要包括智能控制焊接规范和自寻优模糊控制电流波形，它能根据焊接电流的设定值和电弧状态自动确定不同阶段的电源外特性，根据电弧状态采用双恒流或多恒流自动快速响应电弧变化和焊接电流的设定，实现自寻优智能控制。本发明显著改善了弧焊的电源动态性能，改善了焊缝成型，减少了焊接飞溅，本方法可制成一控制盒附加于电焊机，使用维护修理方便。



1、一种智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，主要包括智能控制焊接规范和自寻优模糊控制电流波形，它能根据焊接电流的设定值和电弧状态，自动确定不同阶段的电源外特性，根据电弧状态检测焊接电流，弧压，短路过渡频率，以及短路，燃弧能量等参数，采用双恒流或多恒流自动快速切换焊接电流以响应电弧变化和焊接电流的设定，实现自寻优智能控制，其特征在于：

- (1) 由焊工给定焊接电流的初始值，由单片机自动给定波形参数和送丝速度的初始值；
- (2) 电流波形在短路初期、短路末期、燃弧初期、燃弧峰值电流、基值电流之间进行自动控制切换，通过基值电流控制焊丝熔化率和焊缝成型，通过峰值电流控制熔化率，通过智能自寻优来实现峰值、峰值时间、基值、以及电流峰值和基值的比值，以最佳匹配，使焊接电流与熔化率达到最佳匹配，以短路初期、短路末期和燃弧初期的恒流来抑制飞溅；
- (3) 焊接电流自寻优模糊控制的目标函数为特征参数的综合值 $G(I)$ ，在焊接电流 I 值临域进行微调，即

$$F(I) = \max G(I) \\ = \left(\frac{\Delta f_d}{Q_{fd}} - K_{\sigma} \frac{\Delta \sigma}{Q_{\sigma}} + K_{T_{as}} \frac{\Delta T_{as}}{Q_{T_{as}}} \right) \times 100 \%$$

式中： f_d - 短路频率， σ - 短路周期的分散性指标，

T_{as} - 燃弧时间与短路比值

Q_{fd} , Q_{σ} , $Q_{T_{as}}$ - 各特征参数的期望值

K_{σ} , $K_{T_{as}}$ - 特征参数 σ , T_{as} 相对 f_d 的权重系数

- (4) 恒流电路由硬件 PI 反馈电路实现，电流给定由单片机实现，由软件实现不同恒流值的给定，硬件恒流模块则完成电流的 PI 调节。

2、根据权利要求 1 所述的智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，其特征在于：模糊控制变量 ΔF ，寻优步长 ΔI 的论域量化为如下等级，

$$\Delta F = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$\Delta I_{k-1} = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$\Delta I_k = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}。$$

- 3、 根据权利要求 1 所述的智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，其特征在于：特征参数 f_d , t_{as} 直接取采样值，经计算取得，短路周期标准差用下式求得，

$$\sigma = \left\{ \sum_{i=1}^n (T_i - T_{mean})^2 / (n - 1) \right\}^{\frac{1}{2}}。$$

- 4、 根据权利要求 1 所述的智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，其特征在于：焊接电流小于 180A ~ 200A 时，采用短路，燃弧峰值与基值三恒流控制法，焊接电流大于 180A ~ 200A 以上的混合过渡或射滴过渡，则采用短路与基值双恒流控制法。
- 5、 根据权利要求 1 所述的智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，其特征在于：按照本方法可制成一智能控制盒，嵌入普通逆变焊机电源内。

智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法

技术领域

本发明涉及一种逆变焊机的智能自寻优的控制方法，尤指在焊接过程中能自寻优模糊控制电流波形，根据电流的设定值自动调节基值与峰值电流，以改善焊缝成型，减少焊接飞溅。

背景技术

CO₂ 气体保护焊是一种高效节能、低氢抗锈、具有较高综合经济效益的焊接方法。但存在着飞溅大、成形差的缺点，从而制约了它的进一步推广和应用。迄今为止始终不能从根本上解决 CO₂ 气体保护焊接飞溅大、成形差的缺点。究其原因，主要是对焊接过程中各状态参数间的相互制约和内在联系始终没有找到一个好的描述方法。当前，对反映焊接过程状态的各特征参数的分析和描述是局部的、且相互间没有联系，因此无法对焊接短路过渡过程的状态进行综合分析和评判，因而把这些单指标特征参数作为 CO₂ 焊接过程控制的直接依据，就难以获得满意的工作状态，也就无法从根本上解决 CO₂ 焊接飞溅大、成形差的问题。鉴于 CO₂ 焊接过程比较复杂，以往一般均以 CO₂ 焊接熔滴短路过渡频率来作为定量分析的特征值，显然是不足以全面描述 CO₂ 焊接过程的本质。

为改善 CO₂ 弧焊短路过渡过程的动特性，人们试图通过控制短路过渡时的电流、电压波形，使熔滴顺利地进入熔池，从而减少飞溅，改善焊缝成形。随着控制技术及对飞溅机理认识的不断深入，人们已认识到必须在熔滴过渡的不同时刻迅速进行相应的控制，满足过渡熔滴的受力和受热的不同需要，这样才能既保证稳定的过渡过程又可最大限度地减少飞溅。通常在颈缩形成过程，提高电流上升速度，促进颈缩形成；而在短路过渡后期，降低电流，使液桥爆破在低的能量下完成，获得无飞溅的短路过渡过程。这方面有代表性的弧焊电源是美国林肯公司的表面张力过渡电源。此电源将短路过渡过程细分为六个阶段加以控制。由此得到了少飞溅甚至无飞溅的焊接，焊缝成形美观，烟尘少。

但是焊接过程本身是一个非常复杂的物理和化学过程，影响焊接质量的因素很多。美国林肯公司的精细的波形控制方法在大大提高了对熔滴过渡的控制能力

的同时也带来了可控参数的增多；而日立公司的电流波形控制电源，可控参数则多达 14 个。这些公司全部都用硬件完成，控制电路复杂，这不仅影响了系统的可靠性，使参数调整和控制极不灵活，而且更重要的是其参数不能根据焊接过程的变化进行自适应优化和调整。这一方面不便于焊工的操作，另一方面也不利于焊接性能的进一步提高，因而无法在最大程度上改善焊接电源的动特性。

随着电力电子技术和微机控制技术的迅猛发展，加速了新型微机控制焊机的研究进程。CO₂气体保护焊机如能通过自适应控制电流波形等参数会在最大程度上改善电源动特性。

发明内容

根据背景技术所述，本发明的目的在于提供一种根据焊接电流的设定值和电弧状态自动确定不同阶段的电源外特性，并快速切换焊接电流以响应电弧变化和焊接电流的设定，为此，采用双恒流或多恒流控制模型的自寻优智能控制的方法。控制其表征短路过渡综合性能的综合值为目标函数，通过控制短路和燃弧各阶段的电流，电压波形，使规范参数达到最佳匹配，实现焊接过程熔滴的可控过渡，提高熔滴过渡的稳定性，进一步改善焊接过程的综合性能。

为了实现上述目的，本发明是通过以下技术方案来实现的：

一种智能逆变焊机双恒流及其自寻优控制方法，主要包括智能控制焊接规范和自寻优模糊控制电流波形，它能根据焊接电流的设定值和电弧状态，自动确定不同阶段的电源外特性，根据电弧状态检测焊接电流，弧压，短路过渡频率，以及短路，燃弧能量等参数，采用双恒流或多恒流自动快速切换焊接电流以响应电弧变化和焊接电流的设定，实现自寻优智能控制，其特征在于：

(1) 由焊工给定焊接电流的初始值，由单片机自动给定波形参数和送丝速度的初始值；

(2) 电流波形按照短路初期，短路末期与燃弧初期，燃弧峰值电流，基值电流进行控制切换，通过基值电流控制焊丝熔化率和焊缝成型，通过峰值电流控制熔化率，通过智能自寻优来实现峰值，峰值时间，基值，以及电流峰值和基值的比值以最佳匹配，使焊接电流与熔化率达到最佳匹配，以短路初期，短路末期和燃弧初期的恒流来抑制飞溅；

(3) 焊接电流自寻优模糊控制的目标函数为特征参数的综合值 $G(I)$ ，在焊接电流 I 值临域进行微调，即

$$F(I) = \max G(I) \\ = \left(\frac{\Delta f_d}{Q_{fd}} - K_{\sigma} \frac{\Delta \sigma}{Q_{\sigma}} + K_{T_{as}} \frac{\Delta T_{as}}{Q_{T_{as}}} \right) \times 100 \%$$

式中： f_d - 短路频率， σ - 短路周期的分散性指标，

T_{as} - 燃弧时间与短路比值

Q_{fd} , Q_{σ} , $Q_{T_{as}}$ - 各特征参数的期望值

K_{σ} , $K_{T_{as}}$ - 特征参数 σ , T_{as} 相对 f_d 的权重系数

(4) 恒流电路由硬件 PI 反馈电路实现，电流给定由单片机实现，由软件实现不同恒流值的给定，硬件恒流模块则完成电流的 PI 调节。

由于采用了上述技术方案，本发明具有以下优点和效果：

1、本发明可根据焊接过程中各主要特征参数的综合评价结果来自寻优控制焊接规范和波形参数，自动将可控参数自动调节到最佳，本发明的控制方法显著地改善了弧焊的电源动态性能，焊缝成型和减少焊接飞溅；

2、本发明控制参数调整和控制极为灵活，控制参数数量适中，而且便于焊工操作和理解，也为今后更进一步的发展奠定了良好的基础；

3、本发明可制成一智能控制盒嵌入普通逆变焊机电源内。

附图说明

图 1 为本发明控制方法的流程图

图 2 为本发明控制方法原理框图

图 3 为本发明双恒流控制原理示意图

图 4 为本发明实施例焊接件的照片

具体实施方式

参见图 1，图 2，智能逆变焊机的工作过程是：

对于焊接电流小于 180A-200A 时，采用短路、燃弧峰值与基值三恒流控制法。开始时，加以一定的与送丝速度匹配的基值电流，使得在焊丝末端维持一个 1.2 倍于焊丝直径的球状熔滴并控制熔滴直径，以防止熔滴直径太小时电弧不稳，太大时产生飞溅。在熔滴刚接触到熔池时，将焊接电流在 0.8ms 内下降到很低水平，减少短路小桥的能量，形成小桥后，电流受控上升到一个较大的电流值，使小桥在一个较大的压力（电磁收缩力、重力等）下缩颈。缩颈使得电流流经面积

急剧减小, 电流密度显著增加。在小桥将要断开的时候, 在数微秒内将电流减少, 熔滴在表面张力作用下无飞溅地过渡到熔池, 此时焊丝端头脱离熔池, 形成电弧空间, 然后电源输出一个大电流, 一方面使焊丝端头熔化, 并形成一定尺寸的熔滴, 另一方面大电流电弧产生一个向下的电弧压力施加于熔池表面, 使焊缝熔池形成一定的形状。上述过程由本发明控制方法实现。对电流波形控制按照短路初期、短路末期与燃弧初期、燃弧峰值电流、基值电流进行切换。通过基值电流以控制焊丝基本熔化率和焊缝成型, 通过峰值电流控制熔化率, 通过智能自寻优来实现峰值、峰值时间、基值, 以及峰值基值的比值自寻优的最佳匹配, 控制并使焊接电流与熔化率达到匹配最佳。同时通过短路初期、短路末期和燃弧初期的恒流控制来抑制飞溅。如此周而复始地进行, 使我们得到较佳的 CO_2 焊接工艺。

本发明采用的自寻优模糊控制方法是:

本发明将反映综合性能的目标函数增量 ΔF 、寻优步长 ΔI (电流增量) 作为模糊变量。自寻优模糊控制的工作过程如下。

(1) 首先将试验得到初选推荐值作为寻优起点, 在焊接电流推荐值附近约束范围内, 在每个控制周期 (2 s) 内计算特征参数采样值, 根据特征参数采样值求目标函数增量 ΔF 。该法系在初选推荐值附近给定允许区域的最大值寻优, 可避免焊接过程的失稳, 对焊接过程是否收敛的问题并不敏感。

(2) 模糊自寻优根据 ΔI 和 $\Delta F/\Delta I$ 的大小、正负确定搜寻方向和步长。并根据性能增量 ΔF 和上一周期寻优步长 ΔI_{k-1} 决定本次寻优步长 ΔI_k , 对焊接电流在线实时微调, 使目标函数趋于极值。

(3) 当目标函数达到极值点时, 保持输出不变。

(4) 如目标函数未达到极值点, 则继续对焊接电流自寻优模糊调节, 直到目标函数达到极值点。

(5) 由于采样数据的分散性, 不同时段可得到不同的极值点, 记忆各极值点, 通过比较得最佳极值点。为提高搜寻速度, 并减少搜寻损失, 本发明采用变步长的搜寻法, 在离极值点较远的较陡曲线处, 选用较大步长, 而在极值点附近的平缓处, 选用较小步长进行搜寻, 搜寻步长的改变由模糊逻辑判断来实现。为改善控制系统的性能, 模糊控制模块中加入了比例因子自调整机构, 以在线调整模糊控制模块的参数。当增量 ΔF 的绝对值较大时, 缩小量化因子, 降低系统对误差及其变化的分辨率, 可使系统稳定平缓, 改善动特性, 同时增大比例因子以提高系统的响应速度。当

增量 ΔF 的绝对值较小时, 系统已接近稳态, 将量化因子放大, 可提高系统对误差及其变化的分辨率, 使系统灵敏度提高, 同时减小比例因子以抑制超调和振荡, 使系统尽快进入稳态精度范围内。

本发明将模糊控制变量 ΔF , 寻优步长 ΔI 的论域量化为如下等级:

$$\Delta F = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$\Delta I_{k-1} = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$\Delta I_k = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}.$$

本发明为了既提高搜索速度, 又减少搜索损失, 我们采用了变步长方法。在离极点较远和向量空间较陡处选用较大步长; 而在极点附近向量空间平缓处, 采用小步长搜索。按上述要求提出了控制规则矩阵:

	ΔF							
	NL	NM	NS	N0	P0	PS	PM	PL
<i>PL</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>
<i>PM</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>
<i>PS</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>
ΔI_{k-1}								
<i>P0</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>	<i>NM</i>	<i>N0</i>	<i>P0</i>	<i>PM</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>
<i>N0</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>	<i>PM</i>	<i>P0</i>	<i>N0</i>	<i>NM</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>
<i>NS</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>
<i>NM</i>	<i>PL</i>	<i>PL</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NL</i>	<i>NL</i>
<i>NL</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>

其中: N 为 Negative, P 为 Positive, L 为 Large, M 为 Medi.

程序中的特征参数 f_d, t_{as} 可直接由采样值通过计算求得。而短路周期标准差可用下式求得:

$$\sigma = \left\{ \sum_{i=1}^n (T_i - T_{mean})^2 / (n - 1) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

本程序的采样周期为 200 μ s，采用查询法对电流、电压分时采样，各 400 μ s 采一次。特征参数 f_d 、 σ 、 t_{as} 及其特征参数综合值在每个控制周期内重新计算一次。控制周期为 2s，经试验大约经 2~3 个控制周期约 4~6s 左右即可达到焊接电流自寻优时的目标函数极值点及其相应的焊接电流值，此时仅对该规范值进行基于焊接电流平均值的送丝速度闭环运行，但电流波形自寻优停止。尽管此时焊接电流自寻优停止运行，但在每个控制周期内对焊接过程特征参数及其综合值进行监控和评价。一旦评价结果不满意，重新启动焊接电流波形的自寻优，使整个焊接过程始终处于最佳状态。

智能控制 I_{*}/I_{*} 的分配，本发明采用目标函数与查表相结合的方式，先由查表得到 I_{*}/I_{*} 初选值，在焊接过程中以目标函数为评判标准，在线寻找 I_{*}/I_{*} 分配最优值，并根据实测情况简化调整目标函数权重。

本发明在焊接电流小于 180A-200A 时，采用短路、燃弧峰值与基值三恒流控制法；而在焊接电流大于 180A-200A 以上的混合过渡或射滴过渡，则采用短路与基值双恒流控制法。

对于短路过渡 $C O_2$ 焊，通常认为飞溅产生的主要原因是由于当短路过渡液体小桥形成后，电流密度在小桥缩颈处急剧增大，强大的焦耳-楞次热作用导致小桥汽化爆炸，从而产生大量的飞溅。如果在短路小桥、缩颈小桥形成与存在期间控制电流增长，甚至降低电流，将会大大减弱电磁力对小桥的压缩作用和爆炸程度，从而可大大降低飞溅率。

实际上，我们经过大量实验研究发现，影响飞溅的根本原因在于焊接过程的稳定性，焊接过程越稳定则焊接飞溅越小。在焊接过程非常稳定的情形下，则飞溅的影响在通常情况下甚至可以不予考虑。因此本发明最根本的特点就是保证焊接过程处于最稳定的状态，围绕焊接过程的稳定性，进行参数优化和自寻优，并在此基础上进一步对短路初期、短路末期和燃弧初期的电流、电压波形进行控制，以进一步减少飞溅。

由图 3 示出，焊接过程中实际动态工作点的变化过程：

1、在燃弧阶段，工作点在峰值电流段，①点为燃弧过程中的最大电流电压

工作点，随着燃弧的进行，工作点从①→②运动，其过程中电压逐渐降低，弧长变小，但电流依然维持在峰值。当电压进一步降低，弧长减到最低值时，焊接过程到达工作点②，进入燃弧结束阶段，工作点就自动由②跃变到③，即由峰值恒流段跃变到基值恒流段，进入短路开始阶段。

2、短路开始后到达工作点③，电流输出基值恒流，随着短路过程的进行，工作点从③→④运动，其过程中电压逐渐升高，弧长逐渐变长，但电流依然维持在基值，这一过程也为短路电压渐升的熔化金属小桥逐渐变细的过渡过程。当电压进一步升高，弧长继续增大，焊接过程到达工作点④进入短路结束阶段，工作点就自动由④跃变到⑤，即由基值恒流段跃变到峰值恒流段，进入燃弧开始阶段。工作点由④→⑤的过程为焊机从短路进入燃弧的瞬变过程。

3、燃弧开始后到达工作点⑤，电压继续升高，弧长继续增加，工作点逐渐由⑤→①，电流输出峰值恒流，直到燃弧末期。

以上即为焊接过程中实际动态工作点在一个燃弧、短路焊接周期内电弧电压、焊接电流及弧长的变化过程。其中⑤→①→②和③→④过程为渐变过程，而②→③和④→⑤过程为跃变过程。

焊接过程中的电流基值和峰值输出是通过智能分配实现的，考虑因素有短路频率 f ，短路时间 $t_{短}$ 和燃弧时间 $t_{燃}$ 以及焊接成形等。焊接动态过程中的真实负载工作点是焊接电源特性与电弧伏安特性曲线的交点。

图4示出了采用本发明方法的实施例：

对CO₂气体保护焊机进行了工艺性试验，主要试验焊接电流智能自寻优控制方法的效果，试验采用焊丝为 $\phi 1.2\text{mm}$ (H08Mn2Si)，试件为稍经打磨的6mm厚低碳钢板，CO₂气体流量17L/min，导电嘴高度14mm。飞溅采用收集法，分析天平精度0.1mg。

本发明的控制方法实现了对CO₂焊接电流的一元化自动调节。在设定焊接电流值后，此系统的自寻优模糊控制模块能以CO₂焊过程中的熔滴过渡频率，短路时间及短路周期标准差等特征参数的综合值为判据，自动将电弧电压调节到最佳配合点。

图4为平均焊接电流为140A的一个自寻优模糊控制的实施例。试验结果表明，CO₂焊机采用模糊自寻优控制系统，焊接飞溅率明显下降，焊缝成形随着自寻优过程的进行逐步改善，如图所示。可见，即使在锈迹斑斑的试件上焊接，也

能得到成形美观的焊缝。而且焊接过程的分散性小、熔滴过渡均匀、稳定性好，焊接综合性能提高了。所用的智能逆变焊机的技术参数如下：

- 输入电压 3 ~ 380V/(50 ~ 60Hz)
- 额定输入电流 I_1 35 ~ 40A
- 额定输出功率 P_1 23kw
- 空载电压 U_{20} 60 ~ 70V
- 空载一次电流 I_{10} 0.1 ~ 0.2A
- 空载损耗 P_{10} 130w
- 电压调节范围 U_2 15±2V ~ 45±3V
- 电流输出范围 I_2 50 ~ 100A
- 适应焊丝规格 $\phi 0.8$ 、 $\phi 1.0$ 、 $\phi 1.2$ 、 $\phi 1.6$ (实芯/药芯)
- 负载持续率 500A/39V X=60% (额定设定)
387A/33.5V X=100%

本发明可制成一智能控制盒嵌入普通逆变焊机电源内，便于使用，维护修理简易。

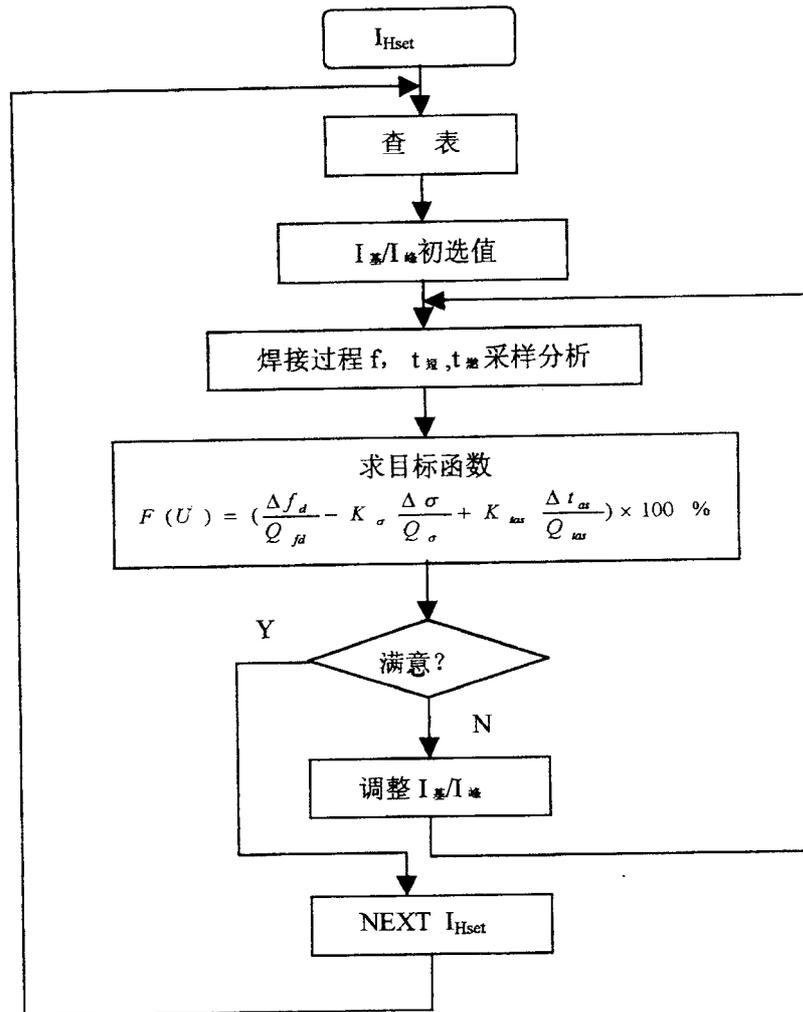
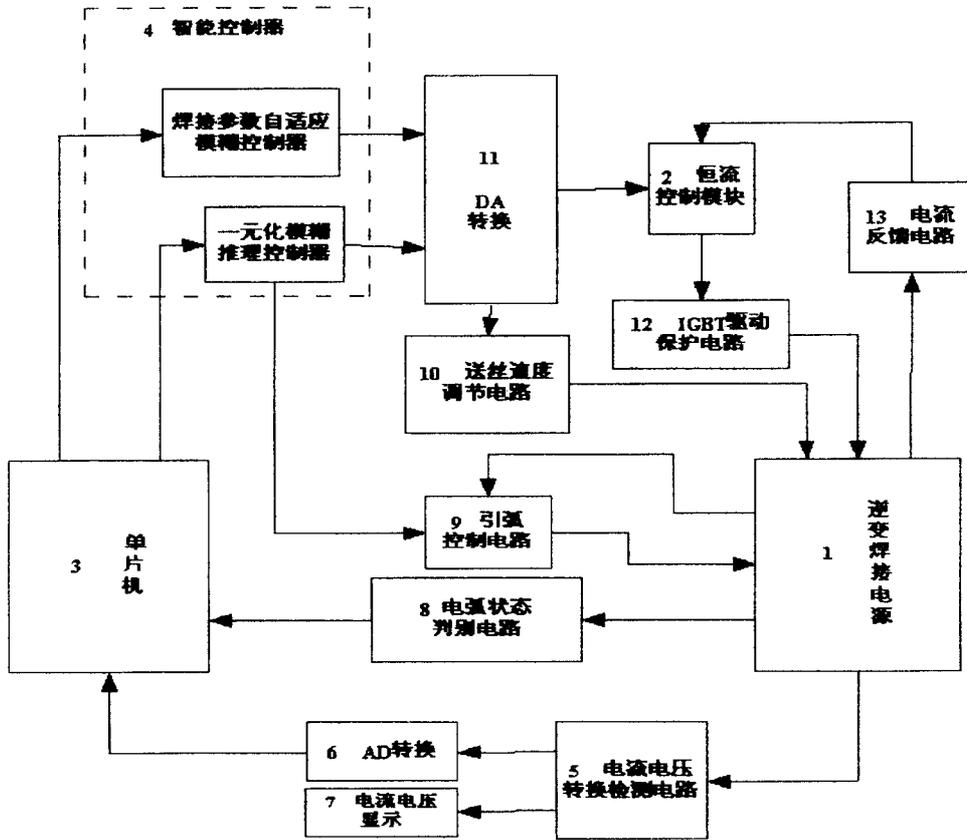


图 1



智能逆变焊机控制系统原理图

图 2

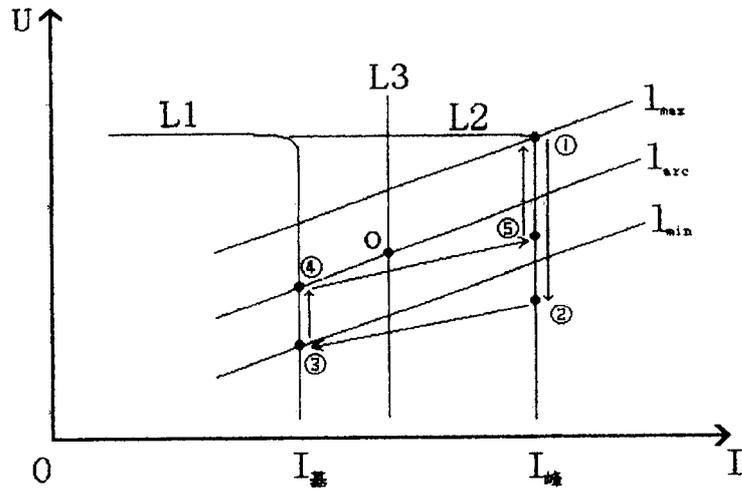


图 3

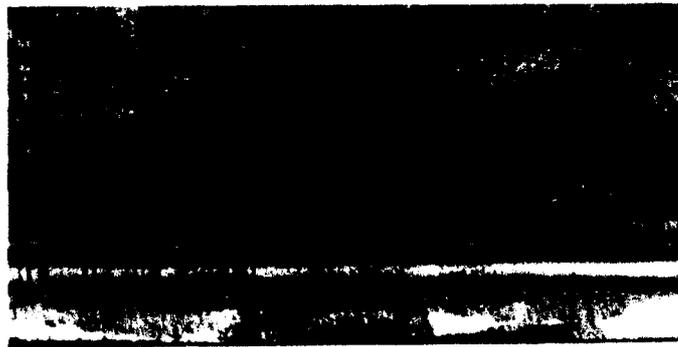


图 4