

# 电 熔 焊 机 技 术 综 述

四川奥伦科技有限公司 文元洪（高级工程师）

**摘要：** 本文根据自己的研发经验，介绍电熔焊机的基本概念和分类，认真分析了各种电熔焊机焊接电压的控制方式、输出波形，并进行了比较。同时还介绍了电熔焊机的各种功能和技术指标。最后介绍了电熔焊机的选择依据和“全自动电熔焊机”的准确定义。

**关键词：** 电熔焊机 移相控制 闭环控制 逆变 自动采样 参数补偿 全自动

## 一. 电熔焊机的基本概念

电熔焊机又叫电热熔焊机。是一种用于 PE 管材电熔焊接的专用工具，主要为焊接提供稳定的焊接电压或焊接电流，并对焊接过程进行检测与控制，使焊接效果达到最佳状态。

从技术上讲，电熔焊机属于功率电源范畴，它集电力电子技术、自动控制技术、自动检测和自动辨识技术、计算机硬件技术、软件技术、显示技术、条码扫描技术和数据库技术于一体，因此，要真正做好一台高水平的电熔焊机并非易事。目前电熔焊机尚无国家标准，可用的只有 ISO12176-2、ISO12176-3、ISO12176-4 标准。所以，开发具有自主知识产权、技术一流的全自动电熔焊机并制定出科学的技术标准，是业界的重要任务。

## 二. 电熔焊机的分类

### 1) 管件电熔焊机

这种电熔焊机用于 PE、PP 电熔管件的电热熔焊接，是一种可调电压源，其输出电压和焊接时间可在大范围内连续调节，以满足不同电熔管件的焊接要求。

### 2) 电热带电熔焊机

这种电熔焊机用于 PE 电热带的电热熔焊接，其输出采用有效值恒流输出，输出电流和焊接时间可在大范围内连续调节，以满足不同电热带的焊接要求。

目前管件电熔焊机主要用于压力 PE 和 PP 管道的电熔焊接，而电热带电熔焊机主要用于非压力 PE 和 PP 直管或波纹管的电熔焊接。

其实从理论上讲，无论是电熔管件还是电热带，都是阻性负载，所需的焊接热功量

为  $Q=0.24I^2 Rt$ , 只要满足焊接热功要求, 至于用电压型焊机还是电流型焊机并无本质区别。比如一个电阻为 6 欧姆的 PE 电热带, 焊接 1200mm 的波纹管, 厂家给出的焊接电流为 20A, 此时用 20A 恒流焊接和用 120V 恒压焊接, 其效果是完全一样的。不过需要指出的是, 电熔管件属于低阻负载, 而电热带为高阻负载, 按照 ISO12176-2 标准, 管件电熔焊机的常用输出电压为 39.5V, 向上调最高只能输出 48V, 只能用于低阻负载, 无法输出 120V 的焊接电压, 所以不能用于电热带的焊接。正是由于这个原因, 才产生了电热带电熔焊机。

也许有人会问, 为什么不能将管件电熔焊机的输出电压设计高一些, 既用于电熔管件的焊接也用于电热带的焊接? 表面上看可以, 但对相控型电熔焊机来说, 电压提高以后, 焊接电熔管件时, 功率因数将变得很低。就以上面为例, 如果将变压器副边电压有效值提高到 120V, 而焊接电压仍为 39.5V, 那么根据后面的 (1) 式可知, 此时的功率因数为  $39.5/120=0.329$ 。这样的功率因数实在太低了。如果焊接电压低于 39.5V, 则功率因数会更低。所以这样做实际上是不行的。

### 三. 焊接电压的控制方式

控制方式是电熔焊机的关键技术, 一种电熔焊机的优劣, 主要取决于控制方式。

#### 1) 交流相控型电熔焊机

这种电熔焊机直接利用工频电源通过变压器降压后作为焊接电压。为了达到调节焊接电压的目的, 采用可控硅移相控制, 其输出波形如图 3-1 所示。

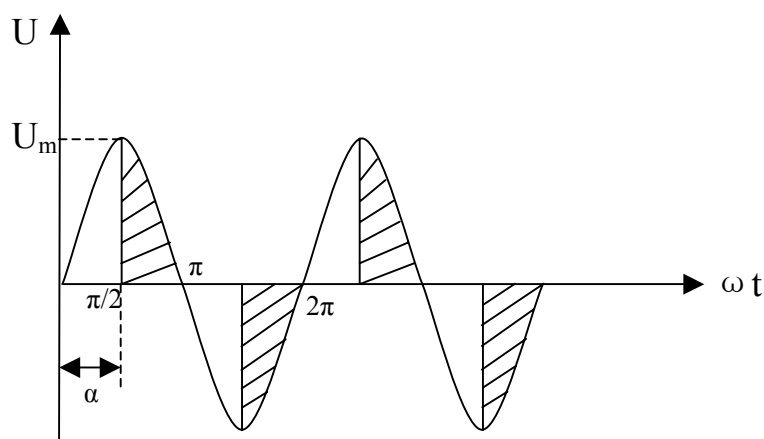


图 3-1 相控型电熔焊机输出波形 ( $\alpha=90^\circ$ )

输出电压的最大导通角定为 90 度, 其目的是实现间断加热, 这样有利于热传导, 保护电阻丝不至于烧断。其输出电压为

$$U = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2}U_2 \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = U_2 \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} = U_2 \cos \phi \quad (1)$$

即功率因数为

$$\cos \phi = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (2)$$

当导通角为 90 度时

$$U = \frac{U_{2m}}{2} \quad (3)$$

由 (3) 式可知，一台最高输出电压为 39.5V 的电熔焊机，其输出电压的峰值为 79V。一台最高输出电压为 50V 的电熔焊机，其输出电压的峰值为 100V。由此不难看出，如果要做一台最高输出电压为 39.5V 的电熔焊机，只需做一台功率满足焊接要求，其变比为  $N=220 \times \sqrt{2} / 79=3.94$  的工频变压器，并对其原边电压进行移相控制，然后再加上其他控制功能就可以了。这是一种最容易最简单的实现方法，笔者所见到的意大利 RITMO 和法国塑龙等进口电熔焊机和许多国产电熔焊机都采用这种方案。

从功率因数来看，由于控制角的移相范围为 90—180 度，对应的功率因数为 0.707—0。不难看出，功率因数最大只能达到 0.707。输出电压越低，功率因数也越低。功率因数低自然就不节能。

相控型电熔焊机的最大优点是，电路简单，容易实现。其缺点是：(1) 因为它工作于 50HZ 工频范围，必须背一个体积笨重的环形工频变压器。所以，国产的相控型电熔焊机最小都在 20Kg 以上，进口的也不低于 17Kg，体积很笨重，不便于携带。这里有一个简单的方法可以判断：只要重量在 15KG 以上的电熔焊机一定是相控型，因为视在功率为 3200VA 的工频变压器，20Kg 以下根本做不出来。如果 20Kg 以下作出来了，要么功率不够，要么暂载率达不到要求。(2) 谐波分量，直接对电网产生谐波污染。因为相控过后的正弦波产生大量的高次谐波，而这些高次谐波直接注入电网。因此从电网环保的角度看，相控型电熔焊机是不宜推广的。(3) 管件冲击电流太大。由于输出电压的峰值  $U_{2m}=2U$ ，一台输出电压为 39.5V 的相控型电熔焊机，其输出峰值电压为 79V，如果管件电阻为 1 欧姆，最大峰值电流为 79A。如此之大的冲击电流一方面产生强大的谐波干扰，另一方面还可能烧断电阻丝。施工中经常出现断丝现象，就是因为电阻丝的耗散功率偏小，阻值偏低，而焊机的冲击电流又很大所致。(4) 焊机效率低。因为焊机变压器的效率一般

只有 80%，不利于节能。(5) 输出电压精度低。由 (1) 式可知，输出电压 $U$ 与控制角 $\alpha$ 之间是一个复杂的非线性关系，给定一个 $U$ 值，要通过实时计算来求得 $\alpha$ 值非常困难，所以实际中都采用查表方法来实现。但这又出现一个新的问题，如将输出电压分辨率取 0.1V，在有些值域， $\alpha$  值将小得难以辨识。如将分辨率取得过大，输出电压精度又不够。所以折中起来，输出电压分辨率取 0.5V。这就是国外相控型电熔焊机的输出电压分辨率都取 0.5V的真正原因。严格讲，这个分辨率是比较低的。图 3-2 是相控型电熔焊机的原理框图。

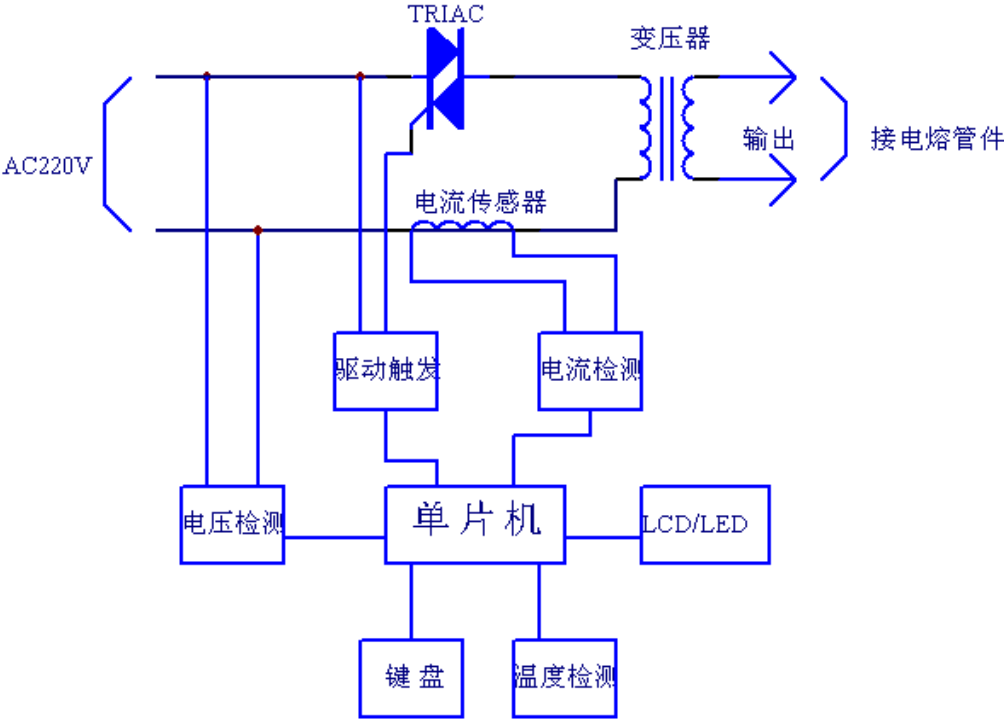


图 3-2 相控型电熔焊机的原理框图

2) 交流全波型电熔焊机

这种电熔焊机，其输出是一个有效值为 39.5V 的完整正弦波，峰值电压为 56V，如图 3-3 所示。

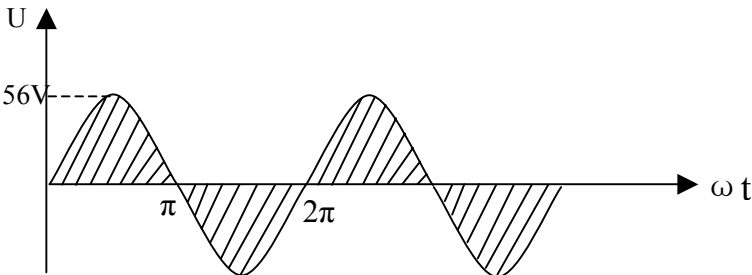


图 3-3 全波形电熔焊机输出型

这种电熔焊机输出电压固定不变，只控制焊接时间，笔者曾测试过浙江某厂的产品，就是这种方案。其最大优点是：

- (1) 制造技术难度小，容易实现。
- (2) 由于焊接电压是一个完整的正弦波，功率因数为 1，对电网无谐波污染。
- (3) 峰值电压低，对管件冲击电流小。

其缺点是：

- (1) 由于工作在工频，必须背一个工频变压器，体积仍然很笨重。
- (2) 输出电压无法改变，不能满足需要改变焊接电压的焊接要求。
- (3) 因为是连续加热，当管件耗散功率偏小时，经常烧断电阻丝，使管件报废，焊接失败。
- (4) 效率低，不利于节能。

严格讲，这是一种档次很低的电熔焊机，与 ISO-12176-2 标准要求相差很远，焊接质量根本无法保证。图 3-4 是全波型电熔焊机的原理框图。

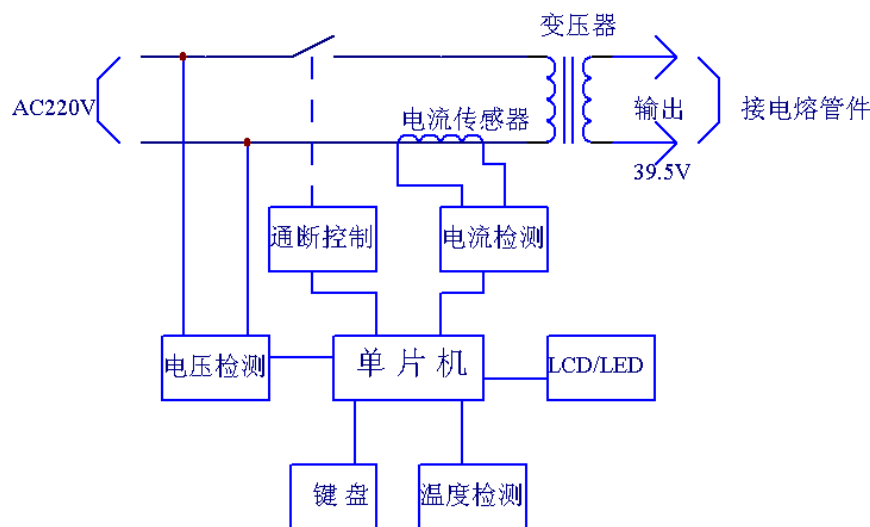


图 3-4 全波型电熔焊机的原理框图

### 3) 逆变型电熔焊机

逆变型电熔焊机与前二者截然不同，它不是直接将工频电压通过变压器降压后作为焊接电压，而是将工频电压进行全波整流，再进行逆变。然后再对逆变电压进行再次整流，最后再将整流电压逆变成工频交流作为焊接电压。焊接电压和焊接时间仍可在大范围内任意调节。其原理框图如图 3-5 所示。

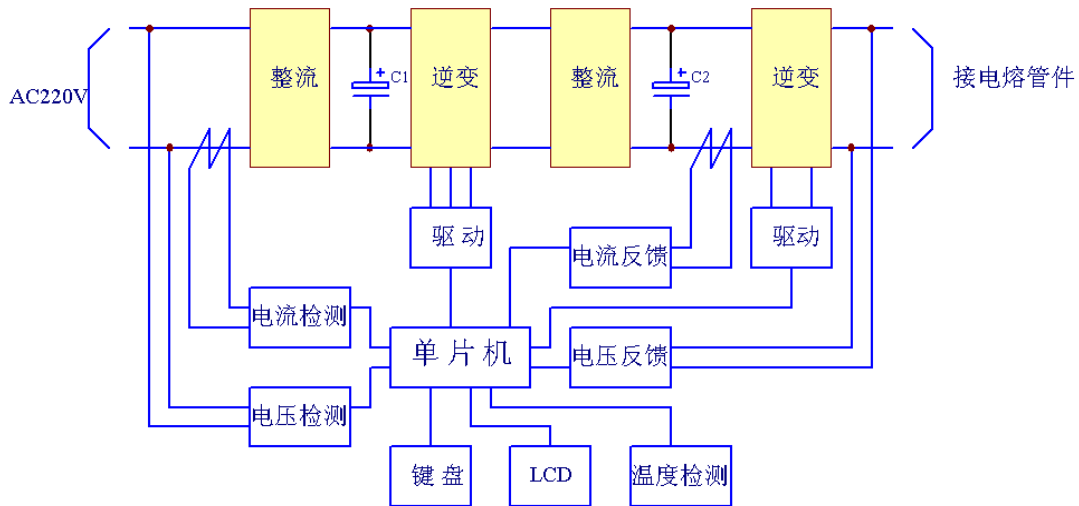


图 3-5 逆变型电熔焊机原理框图

与前二者相比，逆变型电熔焊机的主要优点在于：

- 1) 由于采用了高频逆变技术，甩掉了体积笨重的工频变压器，实现了焊机的轻量化，便于携带。
- 2) 由于采用二极管全桥整流，其功率因数为 1。
- 3) 逆变效率高，一般可达 90% 以上，最低也不低于 85%，有利于节约电能。
- 4) 输出峰值电压低，瞬间冲击电流小，不会烧断电阻丝。
- 5) 输出电压精度高。

正是由于逆变型电熔焊机具有无可比拟的优点，既环保，又轻便，又节能，输出电压精度又高，是将来大力推广的电熔焊机。

#### 四. 电熔焊机的功能设置

##### a) 基本功能

这是任何电熔焊机必备的功能，主要有：

- 1) 输出断续加热，输出电压或电流稳定，并能在一定范围内任意调节。
- 2) 焊接时间可在要求的范围内任意设定。
- 3) 完善的保护功能。

##### b) 辅助功能

辅助功能是为了进一步提高焊机性能、提高焊接质量而设置的。这些功能越丰富，焊机的自动化程度越高，操作越简单，越安全，焊接效果越好。所以，辅助功能也是极为重要的。电熔焊机的技术含量都体现在辅助功能上。

- 1) 全中文操作界面;
- 2) 输入电压和频率检测功能 (相控型和全波型焊机需要这一功能, 而逆变型则不需要);
- 3) 环境温度检测;
- 4) “温度-时间”自动补偿;
- 5) 管件电阻自动采样;
- 6) 自动计算热功量;
- 7) 自动生成焊接参数;
- 8) 管件参数自动补偿;
- 9) 自动检测温度传感器开路和短路故障并报警;
- 10) 操作参数、焊接参数及故障自动显示;
- 11) 自动检测焊接回路开路和短路故障并报警;
- 12) 自动检测过压、欠压和过流故障, 并能实时保护与报警;
- 13) 自动检测操作错误, 并通过屏幕进行提示;
- 14) 焊接参数自动生成/手动输入或条码扫描输入;
- 15) 焊接记录存储;
- 16) 焊接记录浏览查询;
- 17) 焊接记录下载;
- 18) 焊接记录打印;
- 19) 串口通讯;
- 20) 日历时钟;
- 21) 焊接电压/电流闭环控制;

## 五. 电熔焊机的技术指标

- 工作电压:
- 输入功率因数:
- 工作温度:
- 相对湿度:
- 最大输出功率:

- 效率：
- 输出电压范围：
- 输出电压分辨率：
- 输出电压精度：
- 焊接时间：
- 焊接时间分辨率：
- 管件电阻采样范围，
- 电阻采样分辨率：
- 环境温度检测范围：
- 温度采样分辨率：
- 输入方式：
  - 全自动模式：自动采样；
  - 半自动模式：手动输入/条码扫描输入；
- 输入及显示参数：工程号、施工号、焊工号、年、月、日、时、分、秒、环境温度、焊接电压、焊接电流、焊接热功焦耳数、焊接时间、补偿时间、管径、材质、管件电阻值、剩余时间倒计时等；
- LCD 视窗尺寸：
- 每屏显示汉字数：
- 通讯接口：
- 整机重量
- 体积：
- 连接器标准：

## 六. 电熔焊机的选择

电熔焊机的选择主要考虑以下几点。

## 1. 运输方便性

由于电熔焊机主要用于现场施工，必须搬来搬去，当然重量越轻越好。一般进口相控型电熔焊机重量都在 17KG 以上，国产的不少焊机都在 20-40KG 之间，而逆变型电熔焊机大约只有 10KG。显然，逆变型电熔焊机应当是首选。

## 2. 操作方便性

必须考虑两点：

### a) 全中文菜单

现场操作人员一般都不太熟悉英语，进口焊机全是英文界面，对一个普通操作者来说有一定的困难。所以从方便现场操作员考虑，应当首选全中文菜单的电熔焊机。

### b) 操作越简单越好

如上所述，现场操作员不仅英语有困难，操作复杂的计算机系统同样有困难，如果电熔焊机的操作程序太复杂，对他们来说，同样是一件头疼的事。从这个意义上讲，应当首选操作简单的全自动电熔焊机。

## 3. 技术指标及功能

焊接质量与焊机的功能和技术指标密切相关。如果一台电熔焊机自动化程度较低，很多指标都要人工干预，那么焊接质量是难以保证的；如果一台电熔焊机技术指标项目很少，精度又低，要保证焊接质量也是不可能的。所以为了保证焊接质量，应当选择功能强、技术指标项目丰富、精度高、自动化程度高的电熔焊机。

## 4. 性价比

顾名思义，性价比=（功能+性能）/价格，即单位货币所能购得的功能和性能，所以，用户购买电熔焊机时，不能只看价格，性价比越高的才是好产品。

## 5. 绿色环保

对电熔焊机来说，绿色环保有两层含义：一是节能、高效；二是无谐波污染。前已谈及，由于其控制方式的固有特点，有些电熔焊机会产生高次谐波污染电网，所以，应当首选那些高效节能、无谐波污染的电熔焊机。

# 七. 关于全自动电熔焊机

现在有许多厂家把带光笔扫描输入的电熔焊机称为全自动电熔焊机，其实这是错误的。严格讲，全自动电熔焊机除了具备“温度-时间”自动补偿功能外，还必须具备以下功能：

- A. 能自动识别管件参数；
- B. 自动计算焊接热功总量；
- C. 自动生成焊接参数；
- D. 自动补偿管件参数。

要实现这四大功能，必须首先能“自动识别管件参数”，否则其余三项功能就无法实现。而光笔扫描输入的并不是真正的管件参数，而是人为规定的焊接电压和焊接时间，所以带光笔输入的电熔焊机无法计算焊接热功总量，只能进行焊接热功累计，因此它不能自动生成焊接参数，更不能自动补偿管件参数。所以它不是全自动电熔焊机。

1. 自动识别管件参数：指电熔焊机能自动而精确的采集电熔管件的电阻值。
2. 自动计算热功总量：指电熔焊机能准确计算出焊接一个特定管件所需的热功量。
3. 自动生成焊接参数：指电熔焊机根据采集的和输入的参数，自动生成焊接参数，包括焊接电压、焊接时间、焊接电流、补偿时间等等。这些参数可以和管件所带的参数相同，也可不同。
4. 自动补偿管件参数：指电熔焊机对型号相同而阻值不同的管件，能自动调整焊接参数，使其焊接效果相同。

由此不难看出，带光笔扫描输入的电熔焊机实际上是一种手动电熔焊机，最多只能算半自动电熔焊机。在笔者使用的光笔电熔焊机中，没有一种具备上述四大功能。

**作者声明：非经允许，不得复制、转载和引用！**