

---

 **尤耐克®** 上海尤耐克焊接设备制造有限公司

# 培 训 教 材

二00六年八月出版

---

## 公司简介

尤耐克焊接设备制造有限公司成立于 1994 年,是一家专业的焊接设备生产企业,公司有雄厚的科研技术实力,现有国家级专家 6 人,中高级专业技术人员 40 余人,公司长期同西安交通大学、哈尔滨工业大学、华东理工大学、中国科学院、成都焊接设备研究所等多家大专院校和科研院所合作,致力于构建高素质的人才机制,高质量的产品体系,形成一个年轻充满活力的高素质企业团体。

公司长期专注于高新技术焊接设备的研发,产品覆盖了焊接领域的所有产品,形成了 20 几个系列,100 多个品种,产品各项指标均达到国际同类水平,公司研制生产的“尤耐克”牌逆变焊机,全部采用“IGBT”模块,以高效节能、功能全面、电弧稳定、焊缝成形美观、体积小、重量轻、可靠性高等诸多优点,深受用户的好评。

质量上乘,服务一流,永保信誉是我们公司的质量方针,围绕 ISO9001 国际质量体系的标准,以质量创名牌、以创新求发展、以规模取效益,现已在全国 30 多个省市 200 多个大、中城市设立了分公司或代理公司,并在全国率先设立了网络式的售后服务。

哪里有焊接设备的需要,哪里就有尤耐克的产品,就有尤耐克的服务。

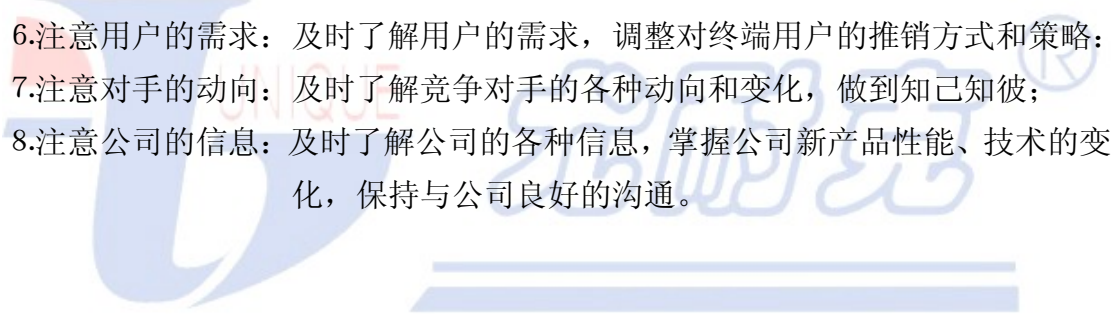
---

## 公司外派销售售后人员“三大纪律八项注意”

### 三大纪律：

- 1.时刻牢记尤耐克，不说损害公司形象的话，不做损害公司利益的事；
- 2.严格按公司销售政策办，不做伤害客户的事情，不对客户超范围承诺；
- 3.明确自己的销售目标，不向困难低头，不拖公司销售进度的后腿。

### 八项注意：

- 1.注意市场的动向：及时了解、掌握市场的各种变化，紧跟市场节奏；
  - 2.注意客户的困难：及时了解客户的情况，帮助客户协调、解决销售困难和问题；
  - 3.注意销售的变化：及时掌握当地销售进度，总结经验，拿出措施；
  - 4.注意产品的价格：及时了解当地价格情况及对公司产品销售的影响，并及时反馈；
  - 5.注意产品的质量：及时掌握公司产品的质量情况，随时反馈，配合公司做好售后工作；
  - 6.注意用户的需求：及时了解用户的需求，调整对终端用户的推销方式和策略；
  - 7.注意对手的动向：及时了解竞争对手的各种动向和变化，做到知己知彼；
  - 8.注意公司的信息：及时了解公司的各种信息，掌握公司新产品性能、技术的变化，保持与公司良好的沟通。
- 

# 目录

目录 .....	1
第一章 基本电子元器件 .....	2
一 变压器 .....	2
二 双极晶体管 .....	2
三 晶闸管 .....	4
四 功率场效应管 .....	6
五 IGBT 管 .....	7
七 集成运算放大器 .....	8
第二章 焊接方法介绍 .....	12
一 电弧焊 .....	12
二 电阻焊 .....	14
三 高能束焊 .....	14
四 钎焊 .....	14
第三章 氩弧焊 .....	15
一 氩弧焊的基础知识 .....	15
二 氩弧焊的工作原理 .....	21
第四章 手弧焊 .....	31
第五章 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	错误! 未定义书签。
一 KR 系列特点及主要技术参数 .....	错误! 未定义书签。
二 工作原理 .....	错误! 未定义书签。
三 NBC 系列 .....	错误! 未定义书签。
第六章 LGK .....	错误! 未定义书签。
一 概念及应用 .....	错误! 未定义书签。
二 安装和操作 .....	错误! 未定义书签。
第七章 焊枪 .....	错误! 未定义书签。
一 氩弧焊枪 .....	错误! 未定义书签。
二 CO <sub>2</sub> 气保焊枪 .....	错误! 未定义书签。
三 LGK 焊枪 .....	错误! 未定义书签。
第八章 焊接与切割技巧 .....	错误! 未定义书签。
一 MIG 焊接 .....	错误! 未定义书签。
二 铝材焊接 .....	错误! 未定义书签。
三 TIG 焊 .....	错误! 未定义书签。
四 焊条焊 .....	错误! 未定义书签。
五 等离子切割 .....	错误! 未定义书签。
附表 .....	错误! 未定义书签。
长期工作配置表 .....	错误! 未定义书签。
故障列表 .....	错误! 未定义书签。

# 第一章 基本电子元器件

## 一 变压器

变压器是一种常见的电气设备，种类很多。以电力变压器为例子，它的功用是根据需要将变电压升高或降低，而不改变其频率。

变压器由闭合铁心组成的磁路系统和由高压、低压绕组组成的电路系统及冷却系统构成。 $N_1$ 是初级绕组， $N_2$ 是次级绕组， $N_1$ 与 $N_2$ 绕在同一个铁心上。变压器的基本工作过程是：初级绕组接通外施交流电压后，在铁心内激励一交变磁通，这个磁通同时交链着次级绕组，当磁通变化时就会在次级绕组中产生感应电势。用一句通俗的来说，叫作“动电生磁，磁动生电”。

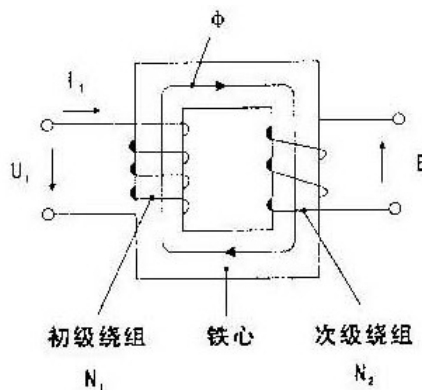


图1-1 变压器示意图

变压器的基本工作原理是：当一个正弦交流电压  $U_1$  加在初级线圈两端时，导线中就有电流  $I_1$  并产生交变磁通  $\Phi_1$ ，它沿着铁心穿过初级线圈和次级线圈形成闭合的磁路，在次级线圈中感应出互感电势  $U_2$ ；同时  $\Phi_1$  也会在初级线圈上感应出一个自感电势  $E_1$ ， $E_1$  的方向与所加电压  $U_1$  方向相反而幅度相近，从而限制了  $I_1$  的大小。为了保持磁通  $\Phi_1$  的存在就需要有一定的电能消耗，并且变压器本身也有一定的损耗，尽管此时次级没接负载，初级线圈中仍有一定的电流，这个电流我们称为“空载电流”。

如果次级接上负载，次级线圈就产生电流  $I_2$ ，并因此而产生磁通  $\Phi_2$ ， $\Phi_2$  的方向与  $\Phi_1$  相反，起了互相抵消的作用，使铁心中总的磁通量有所减少，从而使初级自感电压  $E_1$  减少，其结果使  $I_1$  增大，可见初级电流与次级负载有密切关系。当次级负载电流加大时  $I_1$  增加， $\Phi_1$  也增加，并且  $\Phi_1$  增加部分正好补充了被  $\Phi_2$  所抵消的那部分磁通，以保持铁心里总磁通量不变。如果不考虑变压器的损耗，可以认为一个理想的变压器次级负载消耗的功率也就是初级从电源取得的电功率。变压器能根据需要通过改变次级线圈的圈数而改变次级电压，但是不能改变允许负载消耗的功率。

## 二 双极晶体管

### 1. 概述

半导体三极管也称为晶体三极管，可以说它是电子电路中最重要器件。它最主要的功能是能电流放大和开关作用。

三极管顾名思义具有三个电极。共用的一个电极成为三极管的基极，其他的两个电极分别为集电极和发射极。

三极管最基本的作用是放大作用，它可以把微弱的电信号变成一定强度的信号，当然这

种转换仍然遵循能量守恒，它只是把电源的能量转换成信号的能量罢了。

三极管有一个重要参数就是电流放大系数。当三极管的基极上加一个微小的电流时，在集电极上可以得到一个注入电流数倍的电流，即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化，并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变化，这就是三极管的放大作用。

## 2. 种类及图形符号

三极管的种类很多，按工作频率分有高频、低频，按使用功率分有大功率、小功率，按材料结构分有硅管、锗管，按结构形式分有 PNP 型、NPN 型。其图形符号如图 1-2 所示。

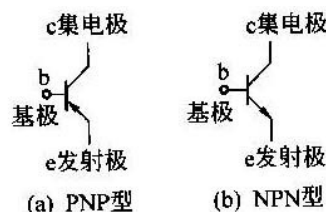


图1-2 三极管的图形符号

## 3. 主要参数及选用

(1) 电流放大系数  $\beta$ ：是指在共发射极电路中，集电极电流(输出电流)和基极电流(输入电流)的变化量之比。一般情况下，希望选  $\beta$  大些，则放大作用大些。但  $\beta$  大的管子，穿透电流  $I_{ce0}$  也较大，易受温度影响( $\beta$  随温度升高而增大)，管子工作稳定性较差。因此，三极管的放大作用与稳定性之间存在着矛盾，选用时应根据实际要求来考虑。

(2) 集电极最大允许电压  $BV_{ceo}$ ：指基级开路时，集电极与发射极之间的击穿电压。选用时，应注意到该电压要比电源电压高。

(3) 集电极最大允许电流  $I_{CM}$ ： $I_C$  超过  $I_{CM}$  将使管子损坏，使用时需注意负载电阻  $R_C$  不可过小，以免  $I_C$  过大。

(4) 穿透电流  $I_{ce0}$ ：穿透电流越大，管子受温度影响也就越大，工作越不稳定，而且使用寿命也较短，一般硅管比锗管的穿透电流小得多。

(5) 集电极最大耗散功率  $P_{CM}$ ：管子使用时的内部损耗，即  $P_C = I_{CM} U_{CM}$  不应超过  $P_{CM}$ 。

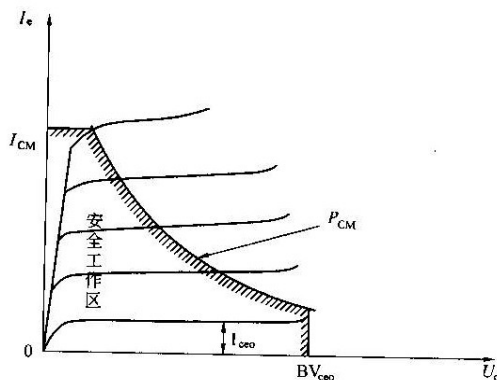


图1-3 三极管的安全工作区

上述参数的限制，可以在图 1-3 上表示出来。在限制范围以内，就是三极管的安全工作区。

## 4. 利用万用表检测三极管

用万用表测试三极管时，通常用  $R \times 100$  或  $R \times 1K$  档。不要用  $R \times 10K$  档，因为在这档表的内部所接的电压较高；也不要  $R \times 1\Omega$  档，因为这档电流较大。

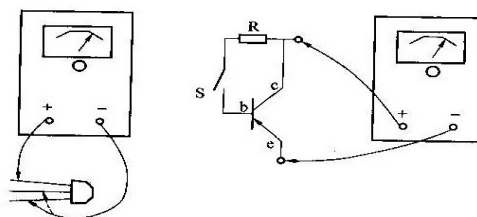


图1-4 三极管的测量

(1) 确定三极管的类型及基极 b:

三极管是由 2 个 PN 结组成。根据 PN 结正向导通、反向阻断的原理来辨别三极管的类型及基极 b。三极管的测量见图 1-4。

用万用表的正表笔任意接三极管的一个极，负表笔分别接其他 2 个极，若所测电阻都很小（约几百  $\Omega$ ），则正表笔所接为 PNP 型管子的基极 b。若量得电阻都很大（约在几  $k\Omega$  以上），则正表笔所接为 NPN 型管子的基极 b。如量得一大一小，就需换一个极再量，直到量得两个计数都小或都大为止。

(2)确定发射极 e 及集电极 c:

以 PNP 型三极管为例，当确定了 b 极以后，可用万用表的两笔接在另外 2 个未知极上，然后用一个 100K 的电阻 R 的一端与 c 极并联再与正表笔连接，另一端与管的 b 极时通时断，看表针摆动的大小。再把两表笔对调，重测一次。表针摆动得大的一次，正表笔所接为集电极 c，另一极为发射极 e。也顺以用手捏或舌舔，利用人体电阻来代替 100K 电阻进行测定。

对于 NPN 型管子来说，则应该把 b 极与负表笔之间接一电阻。符合上述条件，则负表笔所接为 c 极，另一极为 e 极。

(3)集电极—发射极反向电流(穿透电流) $I_{ceo}$  及电流放大系数 $\beta$  的简单判别:

用万用表的欧姆挡测量三极管 c、e 极之间的电阻，一般阻值应在几  $k\Omega$  以上。如果电阻值太小，表明  $I_{ceo}$  很大。

在判别三极管的 e、c 极时，请留意表针摆动大的一次的测量，与 b 极断开前和接通后万用表的读数加以比较，前后 2 次读数相差越大，表示  $\beta$  值越高。

在测量过程中，量得三极管任何 2 个极的正、反向电阻都很小(接近于 0)或都极大(表针不动)，则说明该管已被击穿或烧坏。

### 三 晶闸管

#### 1. 结构及表示符号

晶闸管有三个极，它的表示符号及内部结构如图 1-5 所示。

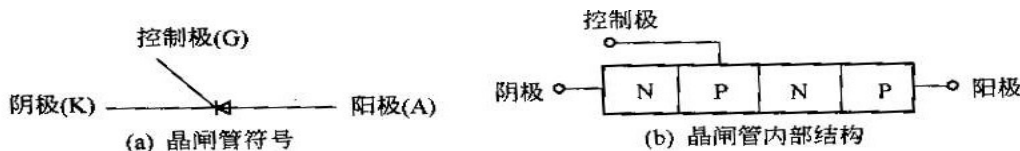


图1-5 晶闸管的符号和内部结构

#### 2. 简单测试

根据半导体 P-N 结的原理，用万用表测量晶闸管 3 个极间的电阻(如图 1-6 所示)，就能鉴别它的 3 个极是否损坏。一般情况下，阳极与阴极之间的正

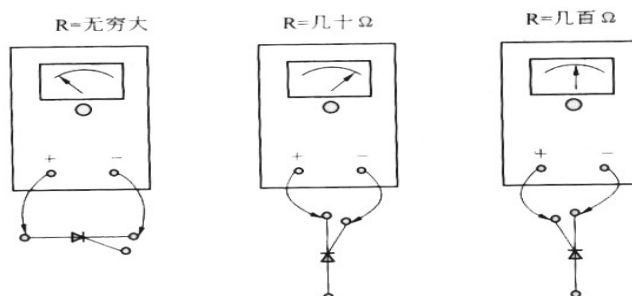


图1-6 晶闸管的测量

向与反向电阻在几百  $k\Omega$  以上。阳极与控制极的正向与反向电阻也在几百  $k\Omega$  以上。

控制极与阴极之间是一个 PN 结，因此它的正向电阻大约在几  $\Omega$  ~ 几百  $\Omega$  的范围，反向电阻比正向电阻要大，其二极管特性不太理想，但不能说明控制极特性不好。另外，注意在测量控制极正、反向电阻时，应用万用表的  $R \times 10$  或  $R \times 1$  挡，以防止电压过高将控制极反向击穿。

若测得元件阳极与阴极的正反向已短路、阳极与控制极短路、控制极与阴极反向短路、控制极与阴极断路等，都说明元件已损坏。

### 3. 工作原理

先看一个简单的电路，如图 1-7 所示：

- (1) 不合开关，灯不亮，说明晶闸管不导通；
- (2) 合上开关，灯亮，说明晶闸管导通；
- (3) 灯亮后，拉开开关，灯继续亮着，说明晶闸管仍然导通；

(4) 将  $E_2$  反极性接入电路，即控制极接电源的负极，那么无论晶闸管阳极加上正电压或负电压，晶闸管都不会导通。同样，如果阳极加上负电压，即使控制极加上正电压，晶闸管也不会导通。

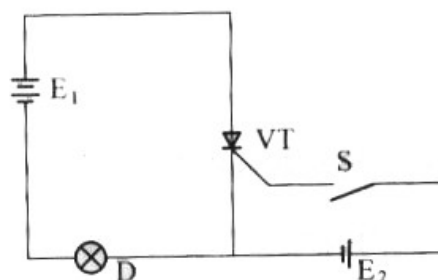


图1-7 晶闸管导能通条件

由此可以得出：晶闸管由不通转换为导通，必须具备以下 2 个条件：

- (1) 晶闸管阳极加上正向电压；
- (2) 控制极同时加上适当的正向电压。

利用晶闸管的这一特性，当它工作在交流电路时，只要在阳极承受交流正半周电压的时间内，适当改变加入控制极正电压的时间先后，就能够改变通过晶闸管加在负载上的电压大小，即改变灯泡的亮度，实现可控整流。

### 4. 基本特性与关断条件

晶闸管的基本伏-安特性如图 1-8 所示。

使晶闸管控制极开路，给晶闸管加上正向电压，虽然电压较高，但元件中只有很小的电流流过，晶闸管阳极与阴极之间表现出很大的电阻，处于阻断状态。当正向电压上升到某一数值时，晶闸管突然由阻断状态转化为导通状态。这个电压称之为正向转折电压。元件导通

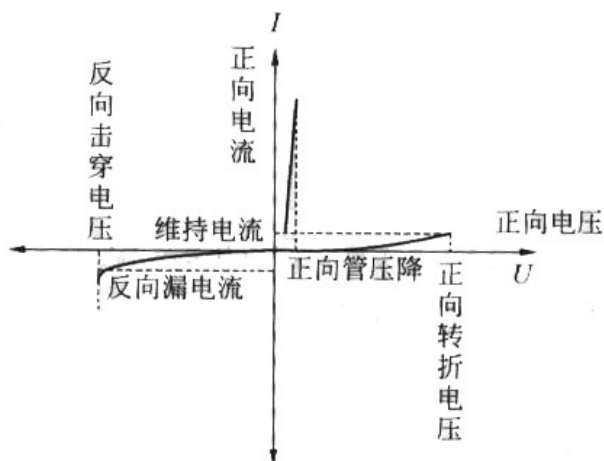


图1-8 晶闸管的伏-安特性



后，可以通过很大电流，而元件本身却只有 1V 左右的管压降。若减小正向电压，正向电流就逐渐减小，当电流小到某一数值时，晶闸管又从导通状态转化到阻断状态，此时的电流值称为维持电流。

晶闸管的反向伏安特性与二极管相似。

如果通过晶闸管的正向电流小于维持电流时，晶闸管就不能继续导通而自行关断。由此可见，使晶闸管关断的条件为：

(1)使流经晶闸管的电流变为零；

(2)使元件经受一次短时间的反向电流与反向电压。不论在哪一种情况下，晶闸管恢复正向阻断能力都需要一定的时间，这时间称之为关断时间。

## 四 功率场效应管

尽管场效应管(FET)较早用在许多电子线路中，但用在开关电源是不久前的事。在 VMOSFET 工艺出现之后，才能制造出输出功率足够大的场效应管。一类 VVMOSFET 充分使用硅片面积，实现垂直传导电流，得到大的电流容量；设置 N<sup>-</sup>高阻漂移区，提高了耐压；控制沟道工艺，沟道电阻值减小使开关速度提高，功率场效应管在电源中才有了一席之地。另一类 VDMOSFET 采用垂直导电的双扩散 MOS 结构。它的栅极下的 MOSFET 部分的电压不随漏源间电压增加，所以漏源电压可以提高；采用新的结构把成千上万个单元并联起来，得到大的电流容量；采用高集成化，减少电容，提高了开关速度，这类工艺如 HEXFET、 $\pi$ -MOS、SIP-MOS 等等。

以上两类 MOS 在结构上，源极金属板均将 N<sup>+</sup>区和 P 区连接在一起。因此，源极与漏极间寄生了一个二极管。亦称它为体内二极管。如图 1-9

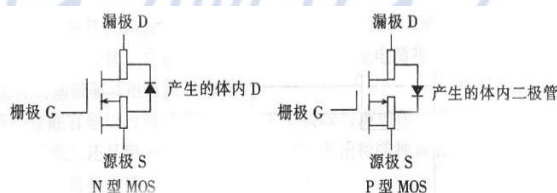


图1-9 MOS管的类型

所示，体内二极管是与 MOS 管寄生的，无论对静态与动态特性均不可避免有影响，因此要加以注意。

图 1-9 中，源极跨在两个半导体区上，N 型管箭头向左，表示载流子电子从源极出发；P 型管箭头向右表示载流子空穴从源极出发。无论哪一型管子都是利用多数载流子导电（双极型晶体管是包含少数载流子导电的），不存在少子导电和多余载流子复合表现出来的存储时间。因此，动作快，频率高，不存在二次击穿。在有限管子直接并联时，由于具有正温度系数，可以自动均衡电流(双极型晶体管则是具有负温度系数，所以并联要采取均流措施)，不会产生过热点。这些都是 MOSFET 管的优点。

### 1. 功率场效应管的输出特性

以栅源电压  $V_{GS}$  为参变量，漏极电流  $I_D$  与漏源电压  $V_{DS}$  的关系曲线称为输出特性。典型的特性曲线如图 1-11 所示。当漏源电压  $V_{DS}$  较小时， $V_{DS}$  增加， $I_D$  线性增加，这段区域  $V_{DS}/I_D=R$  基本不变，可称为恒阻区，标示为 I 区。当  $V_{GS}$  较大时， $V_{DS}$  增加缓慢增加，直

至靠近漏区一端的沟道被夹断(相应于图 1-11 的弯曲部分)为止。特性有微小弯曲, 离开恒阻区,  $V_{DS}$  继续增加,  $I_D$  保持不变, 称为恒流区 II, 相应于与横轴平行的直线。 $V_{DS}$  超过  $BV_{DS}$  时, 曲线急剧上翘称为雪崩区 III, 相应于非正常工作, 应避免发生。

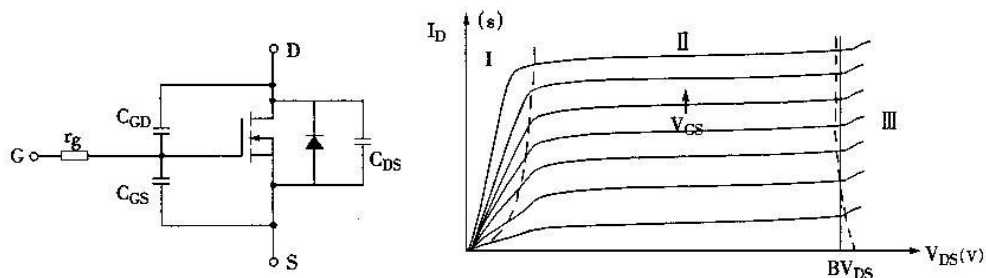


图1—10 VMOSFET的极间电容示意图 图1—11 VMOSFET输出曲线

## 2. 功率场效应管的转移特性

栅源电压  $V_{GS}$  与漏极电流  $I_D$  的关系曲线称为转移特性, 如图 1-12 所示。曲线的斜率  $\Delta I_D / \Delta V_{GS}$  表示管子的放大能力, 从管子的控制电压变化量  $\Delta V_{GS}$  到输出电流变化量  $\Delta I_D$  的关系, 称为跨导  $g_m$ 。

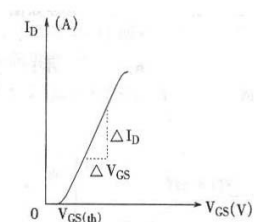


图1—12 VMOSFET转移特性

## 五 IGBT 管

MOSFET 管具有开关速度快、电压控制的优点, 缺点是导通电压降稍大、电流/电压容量不大。双极型晶体管, 却与它的优点、缺点互易, 因而就产生了使它们复合的思想。控制时有 MOS—FET 管的特点, 导通时具有双极型晶体管特点, 这就产生 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)管研制的动机, 该管称为绝缘栅双极晶体管。

### 1. IGBT 结构与工作原理

IGBT 结构与 MOSFET 十分类似, 只是多了一个  $P^+$  层, 引出作为发射极, 而栅极、集电极与 MOSFET 完全相似。按其缓冲区不同分对称型和非对称型。对称型具有正、反向特性对称, 都有阻断能力; 非对称型, 正向有阻断能力, 反向阻断能力低, 但它的正向导通压降小, 关断得快。电流拖尾小, 均属优点, 而对称型却没有这些优点。

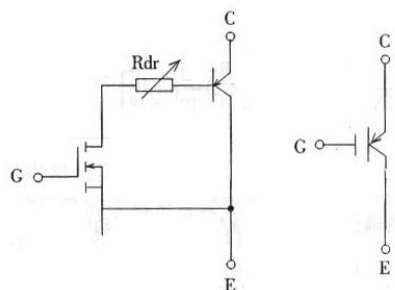


图1—13 IGBT等效电路及符号

简化等效电路及常用符号示于图 1-13 中, 发射极、集电极、发射极, 分别用 G、C、E 表示。

IGBT 的工作原理: IGBT 由栅极电压正、负来控制。当加上正栅极电压时, 绝缘栅下形成沟道, 导通。当加上负栅极电压时, 关断。

### 2. IGBT 的静态工作特性

静态工作特性有图 1-14、图 1-15 和图 1-16 所示伏安特性、转移特性和开关特性。

开关特性是( $I_C$ — $V_{ge}$ )曲线。可以看成开通时基本与纵轴重合，关断时与横轴重合。体现开通时压降小(1000V 的管子只有 2~3V，相对 MOSFET 来说较小)，关断时漏电流很小，与场效应管相当。

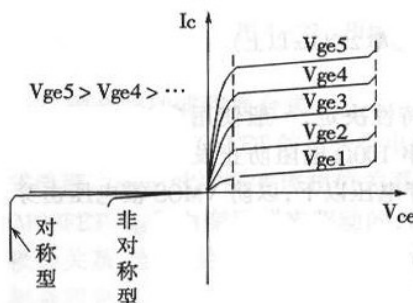


图1-14 IGBT的伏安特性

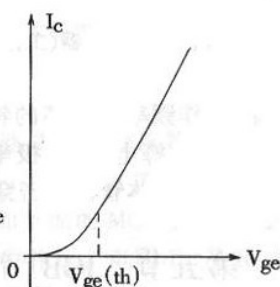


图1-15 IGBT的转移特性

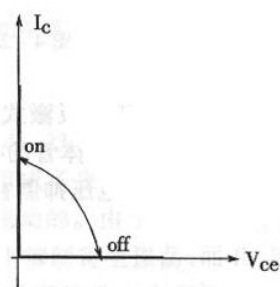


图1-16 IGBT的开关特性

### 3. IGBT 的动态特性

动态特性主要指开通、关断二个过程有关的特性，如电流、电压与时间的关系。一般用典型值或曲线来表示。

图 1-17 表示开通动态特性，由图可知各时间定义范围。当  $t_{d(on)}+t_{ri}$  后集电极电流已达  $I_c$ ，此后  $V_{ce}$  才开始下降，下降分二个阶段，完后  $V_{ge}$  再指数上升至外加  $V_{ge}$  值。二个阶段中由 MOSFET 的栅漏电容以及晶体管的从放大到饱和状态两个因素影响。

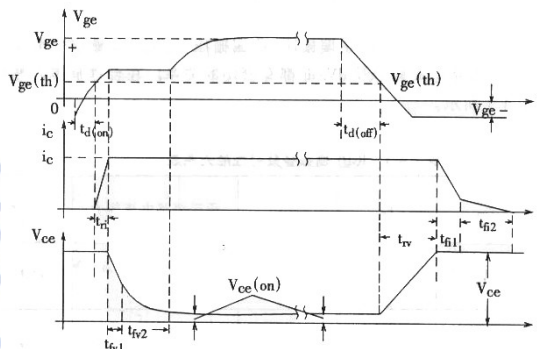


图1-17 开通动态特性

## 七 集成运算放大器

### 1. 概述

采用半导体集成工艺在一小块硅片上将需要的元件按一定顺序连接起来，构成完整功能的整体电路，称为集成电路。集成电路与分立元件电路相比具有以下主要特点：

(1)对称性好。集成电路内部各元件同处于一块硅片上，距离非常靠近且在同一工艺条件下的制造，因此元件性能参数比较一致，对称性好，适用于差动放大电路；

(2)用有源元件代替无源元件。在集成电路中制造有源元件(如晶体管、场效应管)比制造无源元件(电阻，电容)容易，且占用面积小，所以放大器中各级之间采用直接耦合方式。用有源元件组成有源负载以获得大电阻，用有源元件组成电流源以获得稳定的偏置电流。在必须使用大电阻、大电容的地方采用外接的办法解决。

### 2. 理想运算放大器

集成运放加上外部反馈网络，可实现各种功能。分析各种应用电路时，通常把运放看作最理想的，这不仅使电路分析大为简化，而且所得结果与实际情况相当一致。理想运放的主

要特征是：

开环电压放大倍数  $A_{ud}=\infty$  ， 差模输入电阻  $R_{id}=\infty$   
 输出电阻  $R_o=\infty$  ， 共模抑制比  $CMRR=\infty$

此外，开环带宽为无穷大，失调及漂移电压均为零。

集成运放可以工作在线性区，也可以工作在线性区。工作在线性区时，其输出与输入之间满足  $U_o=A_{ud}(U_- - U_+)$ 。由于  $A_{ud}$  很大，为了使其工作在线性区并稳定工作，大都引入深度负反馈，以减小运放的净输入，保证输出电压不超出线性范围。利用它的理想条件  $A_{ud}=\infty$  和  $R_{id}=\infty$ ，可得到工作在线性区的两条重要结论：

- (1)  $U_- = U_+$ ;
- (2)  $I_- = I_+ = 0$ 。

即反相端和同相端等电位，反相端和同相端之间电流为零。这种现象常被称作“虚短”和“虚断”，是分析集成运放应用电路的出发点。

集成运放处于开环状态或接入正反馈时，输入端加上微小的电压变化量都特使输出电压超出线性放大范围，达到正向饱和电压  $U_{oH}$  或负向饱和电压  $U_{oL}$ ，其数值接近正、负电源电压。

集成运放工作在线性区时，也有两条重要结论：

- (1)  $U_o > U_{oH}$  时，  $U_o = U_{oH}$ ;
- (2)  $U_o < U_{oL}$  时，  $U_o = U_{oL}$ 。

$U_- = U_+$  为两种状态的转折点。

所以分析集成运放电路时，首先应判断它工作在什么区域，然后才能用上述有关公式进行计算。

### 3. 信号运算电路

#### (1) 比例运算电路

按输入信号是加在哪输入端又可分为反相比例电路、同相比例电路和差动电路。

##### ① 反相比例电路

输入信号加在反相输入端，电路如图 1-18 所示。反馈电阻  $R_F$  加在输出端和反相输入端之间，形成电压负反馈。 $R_F$  ( $=R // R_F$ ) 是平衡电阻，用以提高输入级的对称性，利用运放工作在线性区的两个结论：

$$U_- = U_+ = 0$$

$$I_- = I_+ = 0$$

$$\text{所以 } I_i = \frac{U_i - U_-}{R} = \frac{U_i}{R} = I_f, \quad U_o = -I_f R_F = -\frac{R_F}{R} U_i$$

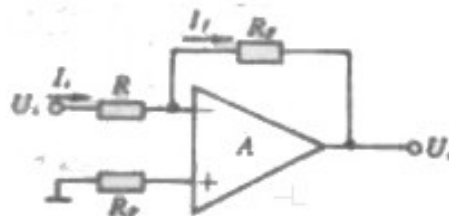


图1-18 反相比例电路

$U_0$  与  $U_i$  是比例关系, 改变比例系数  $R_F/R$ , 即可改变  $U_0$  的数值。负号表示输出电压与输入电压极性相反。

反相比例电路有如下特点:

I. 运放的反相输入端为虚地, 其共模输入电压为零, 因此该电路对集成运放的共模抑制比要求不高。

II. 由于并联负反馈的作用, 使输入电阻减小, 即  $R_{if}=U_i/I_i=R$ , 其值较小, 一般不超过  $1M\Omega$ 。

III. 因为是电压负反馈, 则  $R_{ef}\approx 0$ 。

②同相比例电路

同相比例电路如图 1-19 所示, 其中  $R_p = R // R_F$

由图可知:

$U_- = U_+ = U_i$  (虚短但不虚地)

$I_- = I_+ = 0$

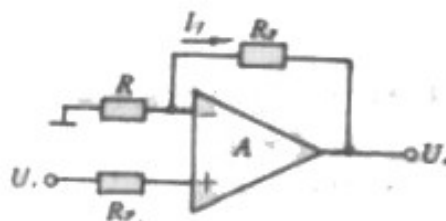


图1-19 同相比例电路

因为  $U_- = \frac{R}{R + R_F} U_o$ , 所以  $U_o = (1 + \frac{R_F}{R}) U_- = (1 + \frac{R_F}{R}) U_i$

输出电压与输入电压成同相比例关系, 比例系数  $(1 + R_F/R) \geq 1$  若  $R_F=0$  或  $R=\infty$ , 则  $U_o=U_i$  构成了电压跟随器, 其作用类似于射极输出器, 利用其输入电阻高和输出电阻低的特点在电路中起阻抗变换作用。

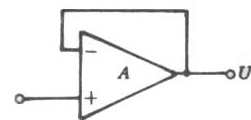


图1-20 射级跟随器

电路特点是:

I. 由于  $U_- = U_+ = U_i$ , 相当于在输入端加有共模信号, 因此电路对运放的共模抑制比要求较高;

II. 引入电压串联负反馈后使输入电阻极高。

③差动比例电路

电路如图 1-21 所示。输入信号经过电阻分别加到同相端和反相端, 当两输入端的外接电阻是平衡时, 即  $R_1 = R_2$ ,  $R_{F1} = R_{F2}$ , 输出电压  $U_o$  正比于  $(U_{i2} - U_{i1})$ , 故名差动比例电路。

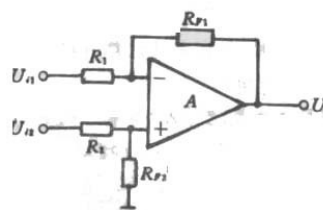


图1-21 差动比例电路

(2)和、差电路

①反相求和电路

反相求和电路如图 1-22 所示, 图中画出三个输入端, 实际中可根据需要增减输入端的数量。其中平衡电阻  $R_p = R_1 // R_2 // R_3 // R_F$

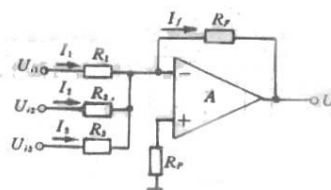


图1-22 反相求和电路

运用虚短和虚地的概念以及  $I_1=0$  得  $I_1=I_2+I_3$

$$\text{即 } -\frac{U_o}{R_F} = \frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2} + \frac{U_{i3}}{R_3}$$

$$\text{则 } U_o = -\left(\frac{R_F}{R_1}U_{i1} + \frac{R_F}{R_2}U_{i2} + \frac{R_F}{R_3}U_{i3}\right)$$

(2)同相求和电路

反相求和电路如图 1-23 所示，由同相比例电路可知

$$U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_o}\right)U_+$$

对于  $U_+$ 端应有  $I_1+I_2+I_3=0$ ，即

$$\frac{U_{i1}-U_+}{R_1} + \frac{U_{i2}-U_+}{R_2} + \frac{U_{i3}-U_+}{R_3} = 0$$

$$U_+ = R' \left(\frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2} + \frac{U_{i3}}{R_3}\right) \quad R' = R_1 // R_2 // R_3$$

$$\text{所以 } U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_o}\right)R' \left(\frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2} + \frac{U_{i3}}{R_3}\right)$$

(3)和差电路

电路如图 1-24 所示，为了保证外接电阻平衡，要求  $R_3 // R_4 = R_1 // R_F$ 。利用叠加原理可得出和差结果。

考虑  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$  时  $U_{i3}$  和  $U_{i4}$  接地，有

$$U_{o1} = -R_F \left(\frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2}\right)$$

考虑  $U_{i3}$  和  $U_{i4}$  时  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$  接地，有  $U_{o2} = -R_F \left(\frac{U_{i3}}{R_3} + \frac{U_{i4}}{R_4}\right)$

$$\text{故输出电压为 } U_o = U_{o1} + U_{o2} = R_F \left(\frac{U_{i3}}{R_3} + \frac{U_{i4}}{R_4} - \frac{U_{i1}}{R_1} - \frac{U_{i2}}{R_2}\right)$$

该电路用一只集成运放，成本低，但电路调不方便，采用图 1-25，二极运放组成的和差电路两级均为反相求和电路，不仅电路调整十分方便，而且共模输入信号均为零，是目前广泛使用的和差电路。

由于理想集成运放输出电阻  $R_o=0$ ，所以多级运放相连时，后级对前级基本不影响，计算十分方便。

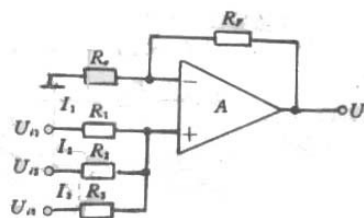


图1-23 同相求和电路

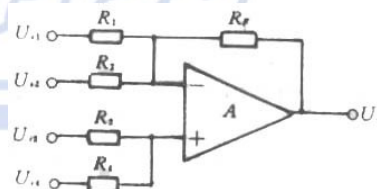


图1-24 和差电路

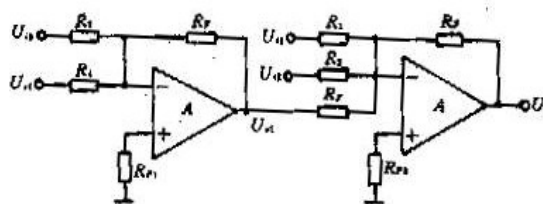


图1-25 二极运放组成的和差电路

## 第二章 焊接方法介绍

### 一 电弧焊

电弧焊是目前应用最广泛的焊接方法。它包括有：手弧焊、埋弧焊、钨极气体保护电弧焊、等离子弧焊、熔化极气体保护焊等。

绝大部分电弧焊是以电极与工件之间燃烧的电弧作为热源。在形成接头时，可以采用也可以不采用填充金属。所用的电极是在焊接过程中熔化的焊丝时，叫做熔化极电弧焊，如手弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊、管状焊丝电弧焊等；所用的电极是在焊接过程中导电但不熔化的碳棒或钨棒时，叫做非熔化极电弧焊，如钨极氩弧焊、等离子弧焊等。

#### 1. 焊条手弧焊

焊条手弧焊是各种电弧焊方法中发展最早、目前仍然应用最广的一种焊接方法。它是以外涂有涂料的焊条作电极和填充金属，电弧是在焊条的端部和被焊工件表面之间燃烧。涂料在电弧热作用下一方面可以产生气体以保护电弧，另一方面可以产生熔渣覆盖在熔池表面，防止熔化金属与周围气体的相互作用，熔渣的更重要作用是与熔化金属产生物理化学反应，改善焊缝金属性能。

手弧焊设备简单、轻便，操作灵活，可实现全方位焊接，应用于维修及装配中的短缝的焊接，特别是可以用于窄缝部位的焊接。

#### 2. 埋弧焊

埋弧焊是以连续送进的焊丝作为电极和填充金属。焊接时，在焊接区的上面覆盖一层颗粒状焊剂，电弧在焊剂层下燃烧，将焊丝端部和局部母材熔化，形成焊缝。

在电弧热的作用下，一部分焊剂熔化成熔渣并与液态金属发生冶金反应。熔渣浮在金属熔池的表面，一方面可以保护焊缝金属，防止空气的污染；另一方面可以与熔化金属产生物理化学反应，改善焊缝金属的成分及性能。

埋弧焊可以采用较大的焊接电流。与手弧焊相比，其最大的优点是焊缝质量好、焊接速度快(50~80cm/min)。因此，它特别适于焊接大型工件的直缝和环缝。而且多数采用机械化焊接。

埋弧焊已广泛用于碳钢、低合金钢结构和不锈钢的焊接。由于熔渣可降低接头冷却速度，故某些高强度结构钢、高碳钢等也可采用埋弧焊焊接。因为冷却速度快了，钢材容易变脆。

#### 3. 钨极气体保护电弧焊（TIG 焊）

这是一种非熔化极气体保护电弧焊，是利用钨极和工件之间的电弧使金属熔化而形成焊缝的。焊接过程中钨极不熔化，只起电极的作用。同时由焊炬的喷嘴送进氩气或氦气作保护。氩气的另一个作用是电离，有助于拉弧。还可根据需要另外添加填充金属。

钨极气体保护电弧焊由于能很好地控制热输入，所以它是连接薄板金属和打底焊的一种极好方法。这种方法几乎可以用于所有金属的连接，尤其适用于焊接铝、镁等能形成难熔氧

化物的金属以及像钛和锆等活泼金属。这种焊接方法的焊缝质量高，但与其它电弧焊相比，其焊接速度较慢(15~30 cm/min)。

## 4. 等离子弧焊

等离子弧焊也是一种不熔化极电弧焊。它是利用电极和工件之间的压缩电弧(也叫转移电弧)实现焊接的。所用的电极通常是钨极。产生等离子弧的等离子气可用氩气、氮气、氦气或其中二者之混合气。同时还通过喷嘴用惰性气体保护。焊接时可以外加填充金属，也可以不加填充金属。

等离子弧焊焊接时，由于其电弧挺直、能量密度大，因而电弧穿透能力强。等离子弧焊焊接时产生的小孔效应，对于一定厚度范围内的大多数金属可以进行不开坡口对接，并能保证熔透和焊缝均匀一致。因此，等离子弧焊的生产率高、焊缝质量好，但等离子弧焊设备(包括喷嘴)比较复杂，对焊接工艺参数的控制要求较高。

钨极气体保护电弧焊可焊接的绝大多数金属，均可采用等离子弧焊接。与之相比，对于1mm以下的极薄的金属的焊接，用等离子弧焊更容易进行。

## 5. 熔化极气体保护电弧焊

这种焊接方法是利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧作热源，由焊炬喷嘴喷出的气体保护电弧来进行焊接的。

熔化极气体保护电弧焊通常用的保护气体有：氩气、氦气、CO<sub>2</sub>或这些气体的混合气。以氩气或氦气为保护气时称为熔化极惰性气体保护电弧焊(在国际上简称为 MIG 焊)；以惰性气体与氧化性气体(O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>)混合气为保护气时或以 CO<sub>2</sub> 所体或 CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> 混合气为保护气时，统称为熔化极活性气体保护电弧焊，在国际上简称为 MAG 焊。

熔化极气体保护电弧焊的主要优点是可以方便地进行各种位置的焊接，焊接速度较快熔敷率较高等优点。熔化极活性气体保护电弧焊可适用于大部分主要金属，包括碳钢、合金钢，熔化极惰性气体保护焊适用于不锈钢、铝、镁、铜、钛、锆及镍合金。利用这种焊接方法还可以进行电弧点焊。

## 6. 药芯焊丝电弧焊

管状焊丝电弧焊是利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧为热源来进行焊接的，可以认为是熔化极气体保护焊的一种类型。所使用的焊丝是管状焊丝，管内装有各种成分的焊剂。焊接时，外加保护气体，主要是 CO<sub>2</sub>，焊剂受热分解或熔化，起着造渣保护熔池、渗合金及稳弧等作用。

管状焊丝电弧焊不另加保护气体时，叫做自保护管状焊丝电弧焊，是以管内焊剂分解产生的气体作为保护气体。这种方法的焊丝干伸长度变化不会影响保护效果，其变化范围可较大。

管状焊丝电弧焊除具有上述熔化极气体保护电弧焊的优点外，由于管内焊剂的作用，使之在冶金上更具优点。管状焊丝电弧焊可以应用于大多数黑色金属各种厚度各种接头的焊



接。管状焊丝电弧焊在一些工业先进国家已得到广泛应用。

## 二 电阻焊

这是以电阻热为能源的一类焊接方法,包括以熔渣电阻热为能源的电渣焊和以固体电阻热为能源的电阻焊。其中以固体电阻热为能源的电阻焊,主要有点焊、缝焊、凸焊及对焊。

电阻焊一般是使工件处在一定电极压力作用下并利用电流通过工件时所产生的电阻热将两工件之间的接触表面熔化而实现连接的焊接方法。通常使用较大的电流。为了防止在接触面上发生电弧并且为了锻压焊缝金属,焊接过程中始终要施加压力。

进行这一类电阻焊时,被焊工件的表面状况对于获得稳定的焊接质量是头等重要的。因此焊前必须将电极与工件以及工件间接触表面进行清理。

点焊、缝焊和凸焊的特点在于焊接电流(单相)大(几千至几万安培),通电时间短(几周波至几秒),设备昂贵、复杂,但生产率高,因此适于大批量生产。主要用于焊接厚度小于 3mm 的薄板组件,各类钢材、铝、镁等有色金属及其合金、不锈钢等。

## 三 高能束焊

### 1.电子束焊

电子束焊是以集中的高速电子束轰击工件表面时所产生的热能进行焊接的方法。

电子束焊与电弧焊相比,主要的特点是焊缝熔深大、熔宽小、焊缝金属纯度高。它既可以用在很薄材料的精密焊接,又可以用在很厚的(最厚达 300mm)构件焊接。所有用其它焊接方法能进行熔化的金属及合金都可以用电子束焊接。主要用于要求高质量的产品的焊接。还能解决异种金属、易氧化金属及难熔金属的焊接。但不适于大批量产品。

### 2.激光焊

激光焊是利用大功率相干单色光子流聚焦而成的激光束为热源进行的焊接。这种焊接方法通常有连续功率激光焊和脉冲功率激光焊。

激光焊的优点是不需要在真空中进行,缺点则是穿透力不如电子束焊强。激光焊时能进行精确的能量控制,因而可以实现精密微型器件的焊接。它能应用于很多金属,特别是能解决一些难焊金属及异种金属的焊接。

## 四 钎焊

钎焊的能源可以是化学反应热,也可以是间接热能。它是利用熔点比被焊材料的熔点低的金属作钎料,经过加热使钎料熔化,靠毛细管作用将钎料吸入到接头接触面的间隙内,润湿被焊金属表面,使液相与固相之间相互扩散而形成钎焊接头。因此,钎焊是一种固相兼液相的焊接方法。

钎料的液相线温度高于 450℃ 而低于母材金属的熔点时,称为硬钎焊;低于 450℃ 时,称为软钎焊。

钎焊可以用于焊接碳钢、不锈钢、高温合金、铝、铜等金属材料,还可以连接异种金属、金属与非金属。适于焊接受载不大或常温下工作的接头,对于精密的、微型的以及复杂的多钎缝的焊件尤其适用。

## 第三章 氩弧焊

### 一 氩弧焊的基础知识

它是在惰性气体保护下，利用钨极与工件间产生的电弧热量来熔化工件与焊材，使其将待焊工件熔合在一起的一种方法。其方法如右图所示：

1) 喷嘴：属高温陶瓷，在焊接过程中对保护气体进行汇聚作用。

2) 钨极：属高温金属（大于 3000℃），且电子发射能力很强，导热差，不易消耗，是理想的电极材料。

3) 氩气：属惰性气体，它本身不溶于金属，不和金属反应，在焊接过程中能有效地隔离电弧周围空气，对熔池起到保护，防止氧化。

4) 焊缝。

5) 填充焊丝：对焊接工件金属缺少时进行添加，修补。

6) 溶池。

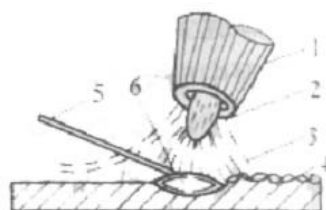


图3-1 钨极氩弧焊

### 一、试焊

#### 1. 面板功能

(1) 电流调节：为产生电弧提供能量，电流大小取决于板材厚度。电流与电压的关系： $U = 10 + 0.04I$

(2) 提前送气：焊前提前 0~1.5S 输送保护气，以驱赶焊枪管内空气。焊枪一般为 5~15m，枪越长则提前时间越长。

(3) 滞后送气：焊后延迟 0~20S 停气，以保护尚未冷却的钨极和熔池。

#### 2. 工艺参数

钨极氩弧焊的工艺参数主要有焊接电流种类及极性、焊接电流、钨极直径及端部形状、保护气体流量等，对于自动焊还包括焊接速度和送丝速度。

##### (1) 焊接电流种类及大小

一般根据工件材料选择电流种类，焊接电流大小是决定焊缝熔深的最主要参数，它主要根据工件材料，厚度、接头型式、焊接位置、有时还考虑焊工技术水平(手工焊时)等因素选择。

##### (2) 钨极直径及端部形状

钨极直径根据焊接电流大小、电流种类选择钨极端部形状。根据所用焊接电流种类，选用不同的端部形状，如图 3-2 所示。

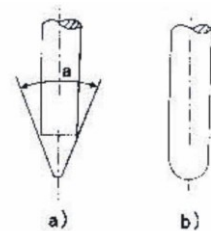


图3-2 钨极氩弧焊  
a 直流正接 b 交流

直流正接时,增大锥角可避免尖端过热熔化、减少损耗,并防止电弧往上扩展而影响阴极斑点的稳定性。

### (3)流量和喷嘴直径

在一定条件下,气体流量和喷嘴直径有一个最佳范围,此时,气体保护效果最佳,有效保护区最大。如气体流量过低,气流挺度差,排除周围空气的能力弱,保护效果不佳;流量太大,容易变成紊流,使空气卷入,也会降低保护效果。同样,在流量一定时,喷嘴直径过小,保护范围小,且因气流速度过高而形成紊流;喷嘴过大,不仅妨碍焊工观察而且气流流速过低,挺度小,保护效果也不好。所以,气体流量和喷嘴直径要有一定配合。一般手工氩弧焊喷嘴内径范围为 5~20mm,气体流量范围为 5~25L / min。

### (4)焊接速度

焊接速度的选择主要根据工件厚度,并和焊接电流、预热温度等配合以保证获得所需的熔深和熔宽。在高速自动焊时,还要考虑焊接速度对气体保护效果的影响。如图 3—3 所示,焊接速度过大,保护气流严重偏后,可能使钨极端部、弧柱、熔池暴露在空气中。因此必须采用相应措施如加大保护气体流量或将焊炬向前倾一定角度,以保持良好的保护作用。

### (5)喷嘴与工件的距离

距离越远,气体保护效果越差,但距离太近会影响焊工视线,且容易使钨极与熔池接触,产生夹钨。一般喷嘴端部与工件的距离为 8~14mm。

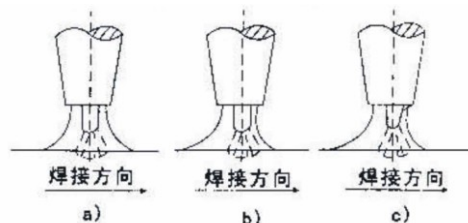


图3-3 焊接速度对氩气保护效果的影响  
a焊枪不动 b正常速度 c速度过大

## 3.安全技术

### (1)氩弧焊的有害因素

氩弧焊影响人体的有害因素有三方面

①放射性 钍钨极中的钍是放射性元素,但钍钨极氩弧焊时钍钨极的放射剂量很小,在允许范围之内,危害不大。

②高频电磁场 采用高频引弧时,产生的高频电磁场强度在 60~110V / m 之间,超过参考卫生标准(20V / m)数倍。但由于时间很短,对人体影响不大。如果频繁起弧,或者把高频振荡器做为稳弧装置在焊接过程中持续使用,则高频电磁场可成为有害因素之一。

③有害气体 氩弧焊时,弧柱温度高,紫外线辐射强度远大于一般电弧焊,因此在焊接过程中会产生大量的臭氧和氧氮化物,其中臭氧其浓度远远超出参考卫生标准。如不采取有效通风措施,这些气体对人体健康影响很大,是氩弧焊最主要的有害因素。

### (2)安全防护措施

①通风措施 氩弧焊工作现场要有良好的通风装置,以排出有害气体及烟尘。除厂房通风外,可在焊接工作量大,焊机集中的地方,安装几台轴流风机向外排风。

②防护射线措施 尽可能采用放射剂量极低的钍钨极。钍钨极加工时,应采用密封式或

抽风式砂轮磨削，操作者应佩戴口罩、手套等个人防护用品，加工后要洗净手脸。钨钨极应放在铝盒式内保存。

③防护高频的措施 为了防备和削弱高频电磁场的影响，采取的措施有：1)工件良好接地，焊枪电缆和地线要用金属编织线屏蔽；2)适当降低频率；3)尽量不要使用高频振荡器作为稳弧装置，减小高频电作用时间。

④其它个人防护措施 氩弧焊时，由于臭氧和紫外线作用强烈，宜穿戴非棉布工作服。在容器内焊接又不能采用局部通风的情况下，可以采用送风式头盔、送风口罩或防毒口罩等个人防护措施。

## 二 理论基础

### 1.概述

钨极惰性气体保护焊英文简称 TIG(Tungsten Inert Gas Welding)焊。它是在惰性气体的保护下，利用钨极与工件间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝(如果使用填充焊丝)的一种焊接方法。其方法大意如图 3-4 所示。焊接时保护气体从焊枪的喷嘴中连续喷出在电弧周围形成气体保护层隔绝空气，以防止空气对钨极、熔池及邻近热影响区的有害影响从而可获优质的焊缝。保护气体可采用氩气、氦气或氩氦混合气体。在特殊应用场合可添加少量的氢。用氩气作为保护气体的称钨极氩弧焊，用氦气作为保护气体的称钨极氦弧焊。由于氦气价格昂贵，在工业上钨极氩弧焊的应用要比氦弧焊广泛得多。

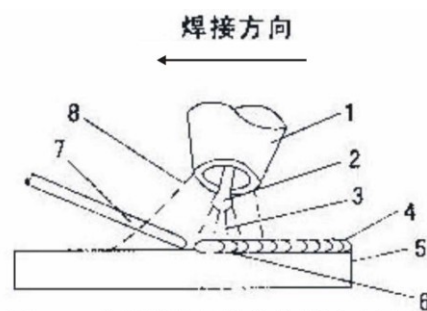


图 3-4 钨极惰性气体保护焊示意图  
1-喷嘴 2-钨极 3-电弧 4-焊缝 5-工件  
6-熔池 7-填充焊丝 8-惰性气体

钨极氩弧焊接操作方式分为手工焊、半自动焊和自动焊三类。手工钨极氩弧焊，焊枪的运动和添加填充焊丝完全靠手工操作；半自动钨极氩弧焊，焊枪运动靠手工操作，但填充焊丝则由送丝机自动送进；自动钨极氩弧焊，如工件固定电弧运动，则焊枪安装在焊接小车上，小车的行走和填充焊丝的送进均由机械完成。在自动钨极氩弧焊中，填充焊丝可以用冷丝或热丝的方式添加。热丝是指填充焊丝经预热后再添加到溶池中去，这样可大大提高熔敷速度。某些场合，例如薄板焊接或打底焊道有时不必添加填充焊丝。

### 2.优缺点

手工钨极氩弧焊应用最广泛，半自动钨极氩弧焊则很少应用。钨极氩弧焊具有下列优点：

(1)气属于惰性气体，不与金属反应，能有效地隔绝周围空气。

(2)钨极电弧稳定。即使在很小的焊接电流( $I < 10A$ )下仍可稳定燃烧，特别适用于薄板，超薄板材料焊接。

(3)焊缝成形美观。因为由于填充焊丝不通过电弧，故不会产生飞溅。

不足之处是：

(1)熔深浅，熔敷速度小，生产率较低。

(2)钨极承载电流的能力较差，过大的电流会引起钨极熔化和蒸发，其微粒有可能进入熔池，造成污染(夹钨)。

(3)惰性气体(氩气、氦气)较贵，与其它电弧焊方法(如手弧焊、埋弧焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊等)比较，生产成本较高。

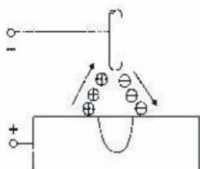
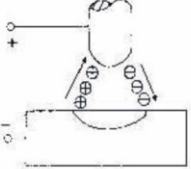
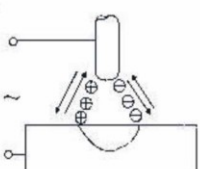
钨极氩弧焊可用于几乎所有金属和合金的焊接，但由于其成本较高，通常多用于焊接铝、镁、钛、铜等有色金属，以及不锈钢、耐热钢等。对于低熔点和易蒸发的金属(如铅、锡、锌)，焊接较困难。

### 3.各种电流钨极氩弧焊的特点

钨极氩弧焊要求采用具有陡降或恒流外特性的电源，以减小或排除因弧长变化而引起的电流波动。

钨极气体保护焊使用的电流种类可分为直流正接、直流反接及交流三种，其特点见表3—5所示。

**表 3-5 各种电流钨极惰性气体保护焊的特点**

电流种类	直 流		交流(对称的)
	正 接	反 接	
示意图			
两极热量比例(近似)	工件70%钨极30%	工件30%钨极70%	工件50%钨极50%
熔深特点	深、窄	浅、宽	中等
钨极许用电流	最大 例如3.2mm, 400A	小 例如6.4mm, 120A	较大 例如3.2mm, 225A
阴极清理作用	无	有	有(工件为负的半周时)
适用材料	氩弧焊: 除铝、镁合金、铝青铜外其它金属 氦弧焊: 几乎所有金属	一般不采用	铝、镁合金、铝青铜等

#### (1)直流钨极氩弧焊

直流钨极氩弧焊时，阳极的发热量远大于阴极。所以，用直流正接焊接时，钨极因发热量小，不易过热，同样大小直径的钨极可以采用较大的电流；工件发热量大，熔深大，生产率高。而且，由于钨极为阴极，热电子发射能力强，电弧稳定而集中。因此，大多数金属宜采用直流正接焊接。反之，直流反接时，钨极容易过热熔化，同样大小直径的钨极使用的电

流要小得多，且熔深浅而宽，一般不推荐使用。

铝、镁、铝青铜等金属和合金焊接时，可形成一层致密的高熔点氧化膜覆盖在熔池表面和焊口边缘。该氧化膜如不及时清除，就会妨碍焊接正常进行。当工件为负极时，其表面氧化膜在电弧的作用下可以被清除掉从而使得表面光亮美观，能形成良好的焊缝。这是因为金属氧化膜逸出功小，易发射电子，阴极斑点总是优先在氧化膜处形成，在质量很大的氩正离子的高速撞击下，表面氧化膜被破坏、分解，而被清除掉，这就是“阴极清理作用”。清理作用的强弱与正离子质量有关，氦离子的质量比氩离子小得多，所以氦弧焊时阴极清理作用强，氩弧焊则弱得多。正接时工件为阳极，无论用何种气体都不会产生这种清理作用。

为了同时兼顾阴极清理作用和两极发热量的合理分配，对于铝、镁、铝青铜等金属和合金，一般采用具有正接和反接特点的交流钨极氩弧焊，或者采用直流正接钨极氩弧焊。后者虽无阴极清理作用，但因氩弧的热功率大，热量集中，电弧很短，也能去除氧化膜。

## (2)交流钨极氩弧焊

交流钨极氩弧焊主要用于焊接铝、镁及其合金和铝青铜，其特点是负半波(工件为负)时，有阴极清理作用，正半波(工件为正)时，钨极因发热量低，不易熔化，同样大小的钨极可比直流反接的许用电流大得多。

## 4.设备

钨极氩弧焊设备由焊接电源、引弧及稳弧装置、焊枪、供气系统、水冷系统和焊接程序控制装置等部分组成。对于自动钨极氩弧焊还应包括小车行走机构及送丝装置。图 3—6 表示手工钨极氩弧焊设备系统示意图，其中控制箱内已包括了引弧及稳弧装置、焊接程序控制装置等。

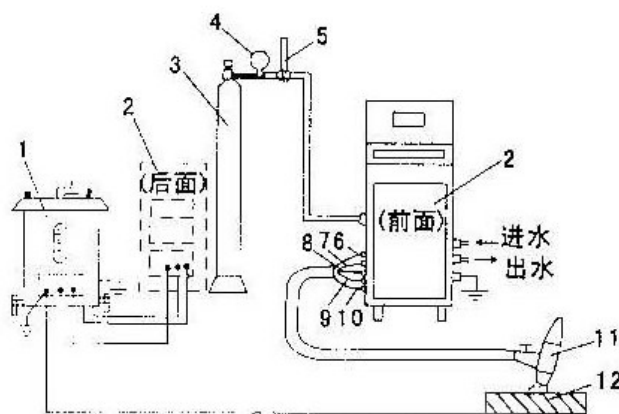


图 3-6 手工钨极氩弧焊设备系统

- 1—焊接电源 2—控制箱 3—氩气瓶 4—减压阀
- 5—流量计 6—焊接电缆 7—控制线 8—氩气管
- 9—进水管 10—出水管 11—焊枪 12—工件

## 三 故障机的调试流程及注意事项

### 1.调试流程

换 IGBT 模块后的调试流程：

(1)小机

- ①拆主电路供电回路：拆电容板到接线盒的连线一端。
- ②开机测推动输出电压（转换开关：电焊档；万用表：直流档 20V）：-3.5V~-1.0V。
- ③测试完毕后，焊接推动线和 IGBT 模块。
- ④串 15K/10W 电阻。开机，测电焊输出， $U > 7V$ 。
- ⑤转换开机打在“氩焊”档，1min 后测电容电压（直流 1000V 档），两电容上的电压值基本机同。测三次，三次显示值的差 $< 15V$ 。
- ⑥拆除 15K/10W 电阻，连接主电路供电回路。

(2)大机

- ①拆主电路供电回路：拆电容到整流桥的“+”端连线。
- ②开机测推动输出电压（转换开关：电焊档；万用表：直流档 20V 档）：-3.5V~-1.0V。
- ③测 IGBT 同步推动电压（有两块模块）：

取四组线中的任意两组线，2 根黑线相连，用万用表的 AC-220V 档测 2 根红线：

I 电压值 $< 10V$ （理论上为 0V），说明所测的两线为同相；

II 电压值为 60V，说明所测的两组线不同相。换线继续测，直到找到两组同相线为止。

测试完毕后，关机，按右图所示将推动线烙在 IGBT 模块接头处。

④关机，拆主变压器一端，用万用表的“二极管”档测 IGBT 模块的  $C_1$ （红表笔） $E_1$ （黑表笔）， $C_2$ （红表笔） $E_2$ （黑表笔），两次测量值都为 1。

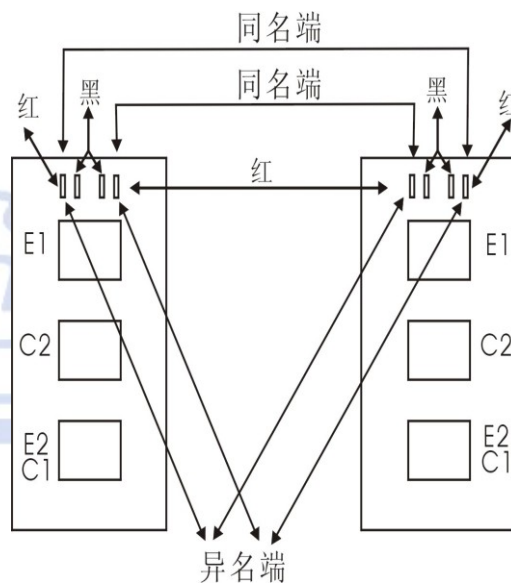


图 3-7 IGBT 接线图

- ⑤开机，机器打在电焊档，重复第④步，两次测量值为 100~800Ω。
- ⑥关机接主变压器，串 15K/10W 电阻。开机，测电焊输出， $U > 7V$ 。
- ⑦转换开机打在“氩焊”档，1min 后测电容电压（直流 1000V 档），两电容上的电压值基本机同。测三次，三次显示值的差 $< 15V$ 。
- ⑧拆除 15K/10W 电阻，连接主电路供电回路。

2.注意事项：

- (1)试机前严禁拆机壳。
- (2)开机前，电流电位器旋钮旋至最小。
- (3)焊接完毕后，关气。

3. IGBT 安装注意事项

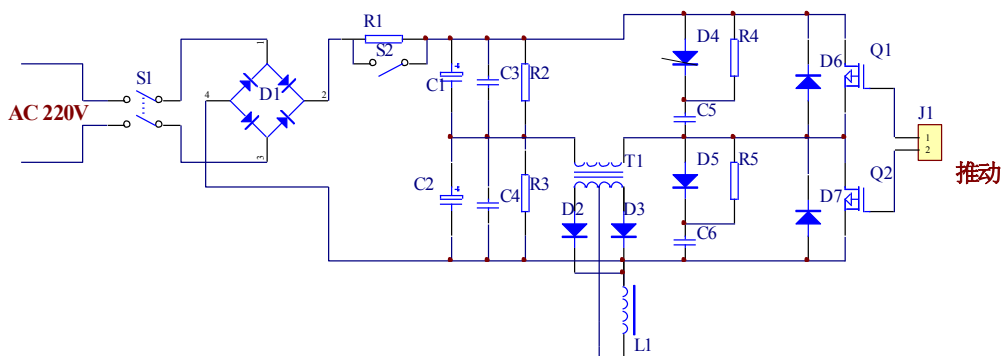
- (1)控制极一定要加 2K 电阻。
- (2)导热硅脂涂抹均匀，不易过厚<0.5mm（中间少，两端微多）。
- (3)散热器表面一定要擦拭干净，表面无毛刺。
- (4)安装螺丝一定要加弹垫、平垫，螺丝一定要拧紧。
- (5)控制极焊接一定要光滑，无毛刺。

## 二 氩弧焊的工作原理

钨极氩弧焊设备由焊接电源引弧装置、焊枪供气系统、水冷系统组成。对于自动钨极氩弧焊还应包括小车行走装置、送丝装置和焊接程序装置。

以下为本公司 ZX7 系列氩弧焊机工作原理分析。

### 1. 开关电源半桥电路的工作原理

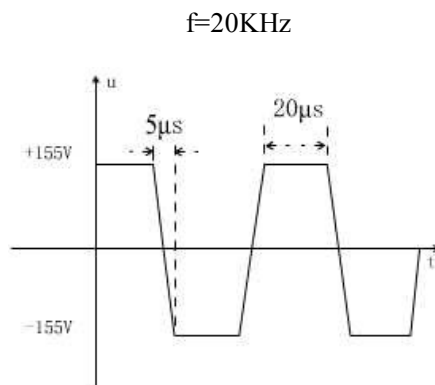


工作原理：交流电经桥式整流后，由  $R_1$  与继电器开关  $S$  缓冲后由电容  $C_1$ 、 $C_2$  滤波得  $U_2 = 220\sqrt{2}$  V，因  $C_1=C_2$  所以  $C_1$ 、 $C_2$  两端电压相等，各为  $1/2U_2 \approx 155$  V，图中  $C_3$ 、 $C_4$  小容量电容，用来滤除电路中的高频成分， $R_2$ 、 $R_3$  为均压电阻，防止因  $C_1$ 、 $C_2$  内阻不相等引起的偏压。

电路工作时， $Q_1$   $Q_2$  两管互为反向工作，即  $Q_1$  导通， $Q_2$  截止时，电容  $C_1$  正极经过  $Q_1$  加至变压器，右端，同时电源经过  $Q_1$ ， $T$  对电容  $C_2$  充电，所以变压器端电压突为右正左负—155V。

当  $Q_2$  导通  $Q_1$  截止时，电容  $C_2$  对变压器  $T$  放电，同时电源对  $C_1$  电容充电，得到变压器端电压应为左正右负—155V。

由以上分析得知，当  $Q_1$ 、 $Q_2$  开关频率为 20KHz 时，变压器  $T$  两端电压应为一正负 155V 的矩形高频交流电。波形如右图所示：





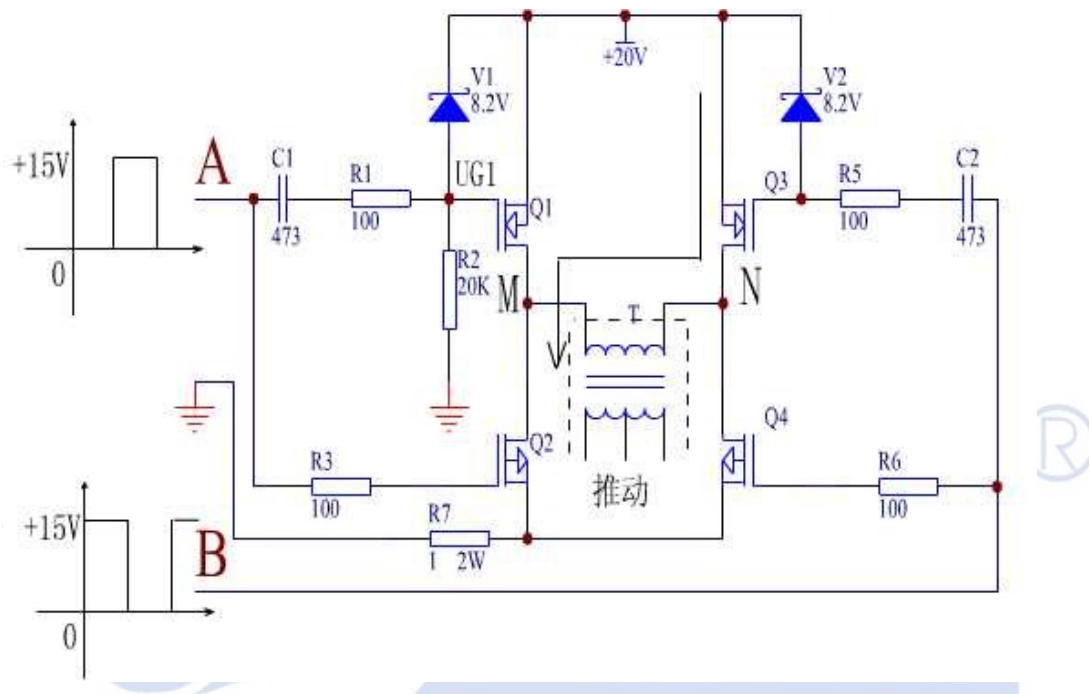
变压器次极感应出一频率相等，幅度降低的交流电，经全波整流后，由电感滤波后输出。两开关管并联有 RCD 吸收回路，用来缓冲管子关断时产生的电压上升速度。

变压器次极感应出一频率相等，幅度降低的交流电，经全波整流后，再由电感滤波后输出。两开关管并联有 RCD 吸收回路，用来缓冲管子关断时产生的电压上升速度。

## 2. 推挽式放大电路的工作原理

目的：对 PWM 芯片输出的弱信号进行功率放大，以满足 IGBT 推动要求。

电路如图所示：



(1)当 A、B 都为低电平时，即 A、B 接地。由图可知  $Q_2$ 、 $Q_4$  栅极应无电压而处于截止状态，电容  $C_1$  两端应为  $U_{G1}=20V-8.2V(V_1) \rightarrow U_{G1}=11.8V$ ，所以  $Q_1$  管子  $U_{GS}=-8.2V$  而处于导通，得  $U_M=20V$ ；同理可得  $U_N=20V$ 。所以变压器两端电压为  $0V$ ，次极无感应电压产生。

(2)当  $U_A$  为  $15V$ 、 $U_B$  为  $0V$  时，且维持时间为  $20\mu S$ 。根据原理图可知，当  $U_B$  为  $0V$  时  $U_N=20V(Q_3$  通) 因为  $U_A$  点电压从  $0V$  突变为  $15V$ ，根据电容特性(电容两端电压不能突变)可知  $U_{G1}=15V+11.8V(U_{C1}) \rightarrow U_{G1}=26.8V$  但当  $U_{G1}>20V+0.7V$  时， $V_1$  正向导通，将  $U_{G1}$  限制于  $20.7V$ ，所以  $Q_1$  截止， $Q_2$  导通。所以电流流向为  $I \rightarrow Q_3 \rightarrow T \rightarrow Q_2 \rightarrow R_7 \rightarrow END$ ，在变压器两端产生一右正左负的电电压， $20\mu S$  后恢复到  $Q_2$  截止、 $Q_1$  导通状态。

(3)当  $U_A$  为  $0V$ 、 $U_B$  为  $15V$  时，且维持时间也为  $20\mu S$ 。同上原理，电流流向为  $I \rightarrow Q_1 \rightarrow T \rightarrow Q_4 \rightarrow R_7 \rightarrow END$  在变压器两端产生一左正右负的电电压， $20\mu S$  后恢复到初始状态。

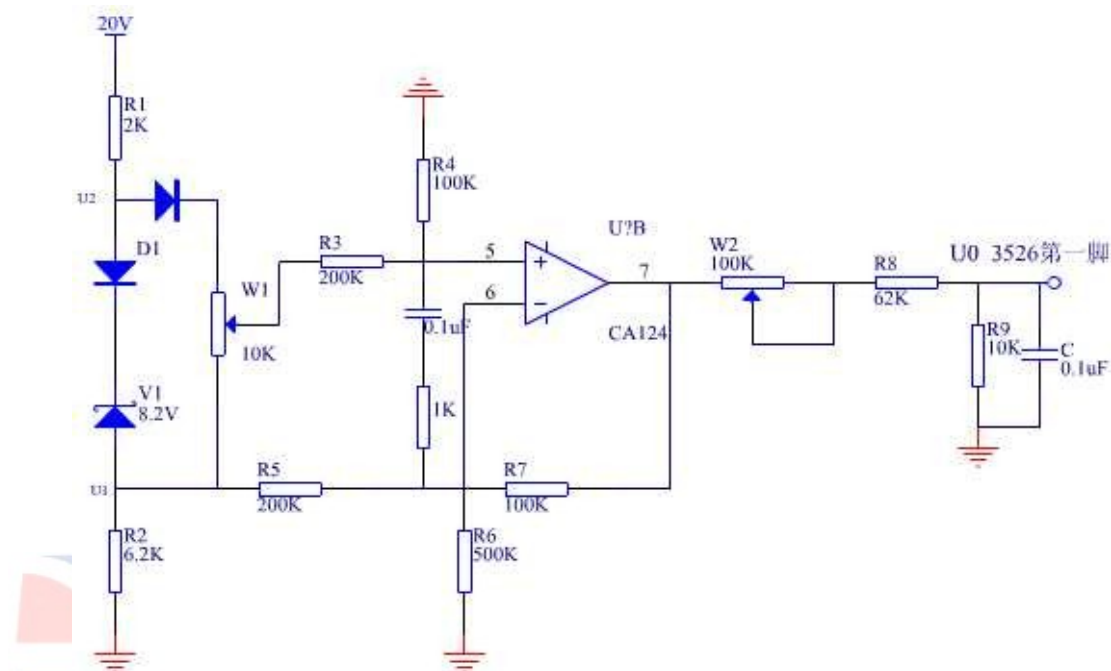
通过以上分析，在工作频率  $f=20KHz$  时，变压器 T 端电压参见图：

从工作波形可看出工作周期中有  $10\mu S$  时间， $U_A$ 、 $U_B$  都是处于  $0V$  状态，我们把这个时间段称为死区时间。因为变压器属感性负载，在有突变电流时它要产生一个反向电动势，来阻止电流的突变，设死区时间，目的是让自感电动势在这样的一个时间内谐振到很小一个量

值，为电路二次工作做准备。

### 3. 给定电压调节部分的工作原理

目的：使控制线路提供一稳定可靠的可调基准电压给 3526（PWM）误差放大器同相端



由图可得：

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (20V - U_{V1} - U_{D1}) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 &= (20V - 8.2V - 0.7V) \cdot \frac{6.2K}{8.2K} \\
 &= 11.1V \cdot \frac{6.2K}{8.2K} \approx 8.2V
 \end{aligned}$$

由上可得  $U_2 = U_1 + V_1 + U_{D1} = 8.2 + 8.2 + 0.7 = 17.1 (V)$

得  $W_1$  两端电压最小  $U_2 = U_1 = 8.2V$ ,  $U_H = U_2 - 0.7 = 16.4V$

$$\therefore U_+ = 1/3 (U_L - U_H) \approx 2.6V \sim 5.4V$$

$$\therefore U_+ = U_-$$

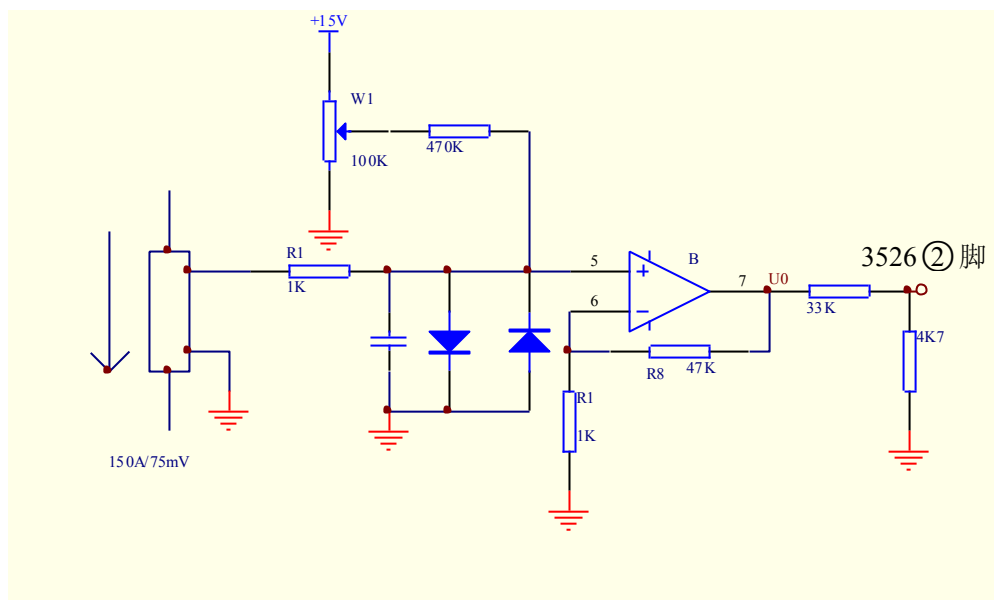
$\therefore$  可计算出  $U_0 \approx 0.3V \sim 5.1V$

假设： $W_2$  调到 50K

可得  $U_0 \approx 0.025V \sim 0.42V$

### 4. 电流反馈电路的工作原理

目的：将分流器得到的微弱信号放大 50 倍后提供给 3526 误差放大器（反相端）进行比较。



分流器种类:

500A/75mV 400A/75mV 300A/75mV 200A/75mV 180A/75mV 160A/75mV

135A/75mV 120A/75mV

由图可知电路工作信号源为分流器的电位端电压  $U_i$ 。

当  $I=0$  时, 得  $U_i=0V$

设  $W_1$  中心电位为  $2V$  时, 可得  $U_i = 1/470 \times 1.2V = U_{R1} \approx 4mV$

此电压经运算放大后输出  $U_0 = (R_f/R_1 + 1) \cdot U_i = 50 \cdot 4mV = 0.2V$  (200mV), 得 3526 第②脚电压为  $U_{②} = 4.7K/33K + 4.7K \cdot 0.2V \approx 0.0125V$

由上可知当电流  $I=0A$  时, 通过调节  $W_1$  可调节  $U_{②}$  最小电压。

例: 现假设分流器为 150A/75mV,  $U_H = 0.4 - 0.2V$ , 流过分流器的电流为  $I$ ,  $I$  为多少安培?

由分流器为 150A/75mV 知 1mV 对应 2A,  $U_0 = 33K + 4.7K/4.7K \times U_{②} = 37.7K \times 0.04V \approx 0.32V$

此电压减小 50 倍得出  $U_i = 0.32V/50 = 0.0064V = 6.4mV$

又因为  $U_i = U_i + U_{R1}$ ,  $U_{R1} \approx 4mV$ 。所以  $U_i = 6.4mV - 4mV = 2.4mV$

得出流过分流器的电流  $I \approx 0.8A$ 。

同理可知, 当  $U_{②} = 0.42V$  时,  $U_0 = 3.3V$ ,  $U_H \approx 0.066V = 66mV$ ,  $U_i \approx 62mV$ , 所以  $I = 62 \times 2A = 124A$

由 3526PWM 芯片可知第①脚为内部误差放大器同相输入端, ②脚为反相输入端, 误差信号经内部处理后自动调节输出脉冲宽度, 使其反馈电流信号与同相给定电压达到相等, 即是使流过分流器的电流达到相等, 最终使流过分流器的电流达到稳定状态, 从而来维持整机的恒流特性输出(当电流调节电位器变化时, 整机电流也相应的变化)。

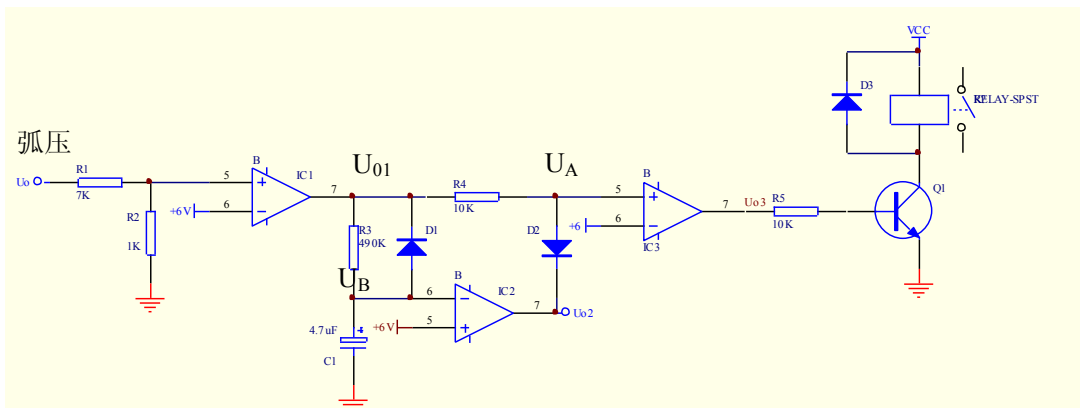
## 5. 引弧电路的工作原理

目的: 为焊接实现非接触引弧进行自动控制。

当采用高频引弧时, 空载弧压输出需叠加高频电压。根据氩弧焊机工作电压特性,  $U_0 = 10 + 0.04I$ , 当电流为 500A 时,  $U_0 = 10 + 0.04 \times 500$  即  $U_0 = 30V$ , 又因为 ZX7 系列氩弧焊属陡降

特性，当市电为 180V~250V 之间时，空载电压都大于 150V。现取 40V 为临界电压用于控制引弧电压，当  $U_0 > 40V$  时，有高频输出；当  $U_0 < 40V$  时，高频无。若输出电压  $U_0$  大于 40V，时间仅为 4S，高频断。

电路如图所示。



现设继电器  $T_1$  工作时，有高频输出。（高电平为 10V，低电平为 0V）

当  $U_0 > 40V$  时， $IC_1$  输出  $U_{01} = 10V$ 。

由于  $T = R_3 C_1$  常数较大，4S 后， $U_0 > 5V$ 。

所以前 4S 钟  $IC_3$   $U_+ > U_-$ ， $U_{03} = 10V$ ， $Q_1$  导通  $T_1$  吸合，高频输出。

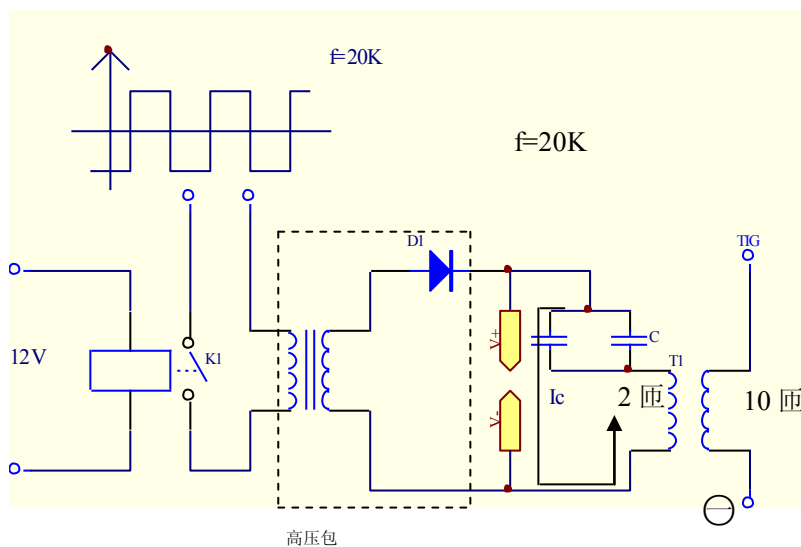
经过 4S 后，若  $U_0$  仍大于 40V，即  $U_{01} = 10V$ 。

由于  $U_B$  不断上升，4S 后， $U_{02} = 0V$ ， $D_2$  导通，得  $U_A$  为低电平。所以  $U_{03} = 0V$ ，得  $Q_1$  截止，继电器释放。

当引燃电弧后，弧压小于 40V。所以  $U_{01} = 0V$ ， $U_{03} = 0V$ ，继电器释放，高频停。同时  $U_{C1}$  通过  $D_1$  对  $I_c$  放电，为二次高频作准备， $D_3$  为  $T_1$  续接管。

## 6. 引弧高压产生电路的工作原理

目的：为输出引弧方便，用高压进行的一次升压电路。



当继电器吸合时，高频交流电加至升压变压器初级，次级升压输出经二极管 D 整流后，对电容 C 充电，当  $U_c$  上升至足以使放电器二极中空气电离时，电容 C 经放电器对二次升压变压器初级放电，产生放电电流  $I_c$ ，当  $U_c$  下降至不足以维持空气电离电压时，电离状态停止，C 又恢复充电状态。继续下一周期放电。

由于 C 容量很小，所以放电器电离频繁进行，频率大约在几百赫兹，二次升压变压器初级将产生频繁的放电脉冲，次级输出直接串联于主工作回路中，以实现高频电压叠加输出，用于非接触引弧，当引燃电弧后，继电器释放，引弧停止工作。

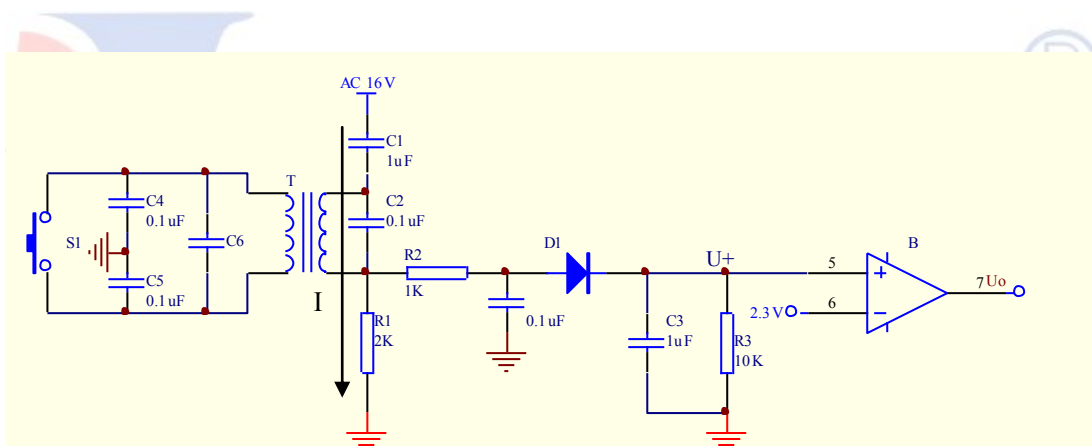
注意：二次升压变压器初级串在主回路中有极性区别。

## 7. 手柄控制开关输入部分的工作原理

目的：(1)对手把控制开关与主控制板进行高压隔离。

(2)对主控板的实时操作进行遥控。

根据变压器特性，当手柄开关分开时(即变压器次级开路)，TC 组成一并联 LC 谐振电路。内阻很大，所以电流 I 很小， $U_{R1}$  也小，经半波整流滤波后的直流电压也较低。 $U_+ = 0.8V$ ， $U_+ < 2.3V$ ， $U_0 = 0V$ 。



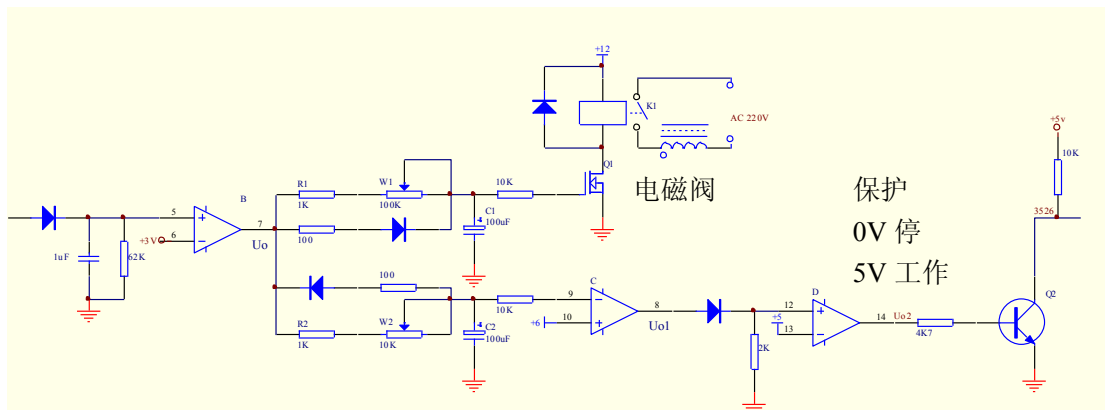
当  $S_1$  闭合，T 次级被短路，所以相应的初级回路阻抗变小，流过的电流 I 上升， $U_{R1}$  增大交流电压经半波整流滤波后  $U_+ \approx 5.6V$ ， $U_+ > U_+$ ，得  $U_0 = 10V$ 。以上过程便完成了开关信号向电信号转换的过程，起到了良好的隔离效果。图中： $C_1$  为隔直电容， $R_1$  为负载电阻， $R_3$  为  $C_3$  泄放电阻， $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_6$  为开关控制线上的各种干扰吸收。

总结： $S_1$  闭合  $U_0 = 10V$ ， $S_2$  分开  $U_0 = 0V$

## 8. 电位器延时电路的工作原理

目的：(1)焊前提前送气 0.1-1.5S 输送保护气体以驱逐赶焊枪管内的空气；

(2)焊后延迟 1.5-15S 停气，保护尚未冷却的钨极和溶池以防止氧化。



设  $U_0$  高电平为 10V，低为 0V。

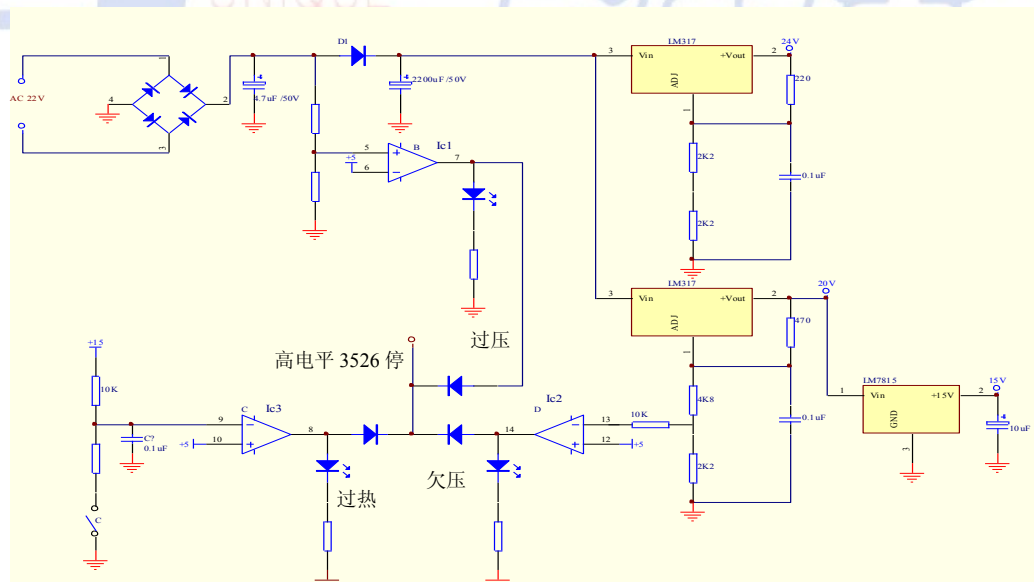
当  $U_0=0V$  时， $Q_1$  截止，电磁阀释放，C 输出  $U_{01}=10V$ ， $U_{02}=10V$ ； $Q_2$  导通，PWN 芯片 3526 停止工作。

当  $U_0$  由 0V 到 10V 时， $C_1$  立即充电， $Q_1$  导通，电磁阀吸合，通氩气(与手把开关同步)。

$C_2$  充电较慢，且由电位器调节一定时间(0-1.5S)。之后， $U_{01}>6V$ ， $U_{C1}>U_{01}$  从高水平变为低电平： $U_{01}=0V$  所以  $U_{02}=0V$ ， $Q_2$  截止，3526 开始工作(滞后手把开关工作)。

以上过程实现了提前送气功能，实际上为滞后输出工作电压。

## 9. 电源部分的工作原理



目的：(1)提供电路能够稳定可靠工作的前提；

(2)避开各种危险工作状态(过压、欠压、过热)。

工作原理：

此电路有 24V，20V，15V 三组稳压。各自功用分别为：

(1)24V：①散热风机供电；

②主电路继电器供电；

③数字显示器供电。

- (2)20V: ①供 IGBT 推动电路;
- ②供下一级稳压电路。
- (3)15V: ①各集成块电源供给。

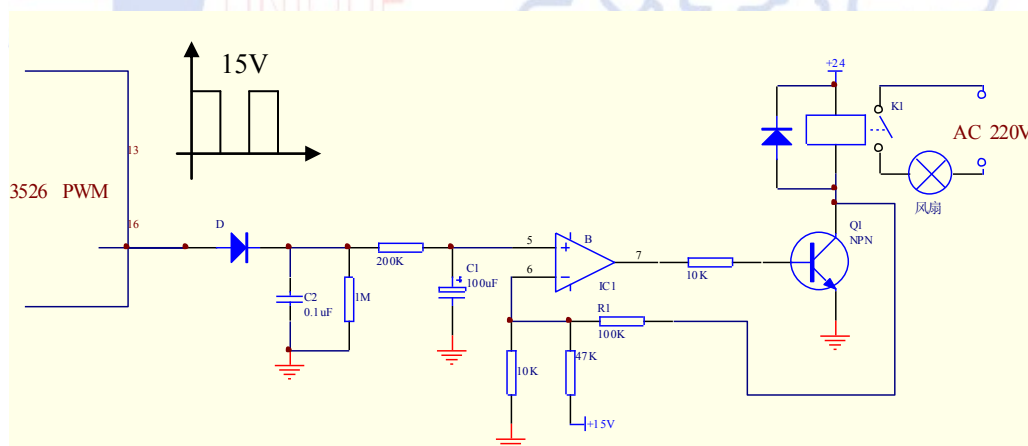
过压保护：当市电电压超过 260V 时，变压器供给的交流电压经桥式整流滤波后，也会超过某一值，致使  $I_{C1}$  比较器输出电压 ( $U_+ > U_-$ )。一方面将过压指示灯点亮；另一方面通过控制 PWM 芯片保护端使其停止工作，防止 IGBT 过压损坏。

欠压保护：与过压相反，当电网电压降于 160V 时，20V 也相应下降到低于 17V，欠压保护检测端电压将小于 5V，从而使比较器  $I_{C2}$  输出高电平。一方面将欠压指示灯点亮；另一方面控制 PWM 芯片停止工作，防止 IGBT 因推动不足，导致功耗增大损坏。

过热保护：由于整机工作较长，引起 IGBT 温升较高，当 IGBT 散热器温升超过 70℃ 时，装在其上的温控器由常开状态转为常闭状态，使得  $I_{C3}$  比较器  $U_+ > U_-$ ，输出高电平。一方面点亮过热保护指示灯；另一方面控制 PWM 停止工作，防止过热烧毁。

## 10. 风扇工作电路的工作原理

- 目的：(1)降低整机温度自动控制风扇；
- (2)延长风扇寿命；
- (3)减少机箱内灰尘。

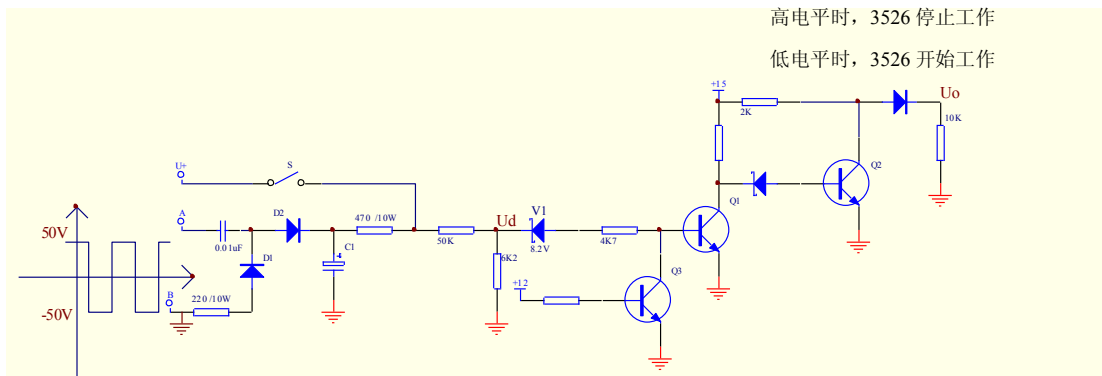


工作原理：由原理图可知：当 PWM 芯片无输出时，电容  $C_1$  因无电源对其进行充电，所以运放， $U_+ < U_-$ ， $Q_1$  截止，风扇停止，当 PWM 芯片工作后，芯片输出脉冲电压，经二极管①隔离后由  $C_2$  滤波，通过电阻 ( $200K\Omega$ ) 向  $C_1$  充电。经过一定时间后，运放  $I_{C1}$  的  $U_+ > U_-$ ， $U_0$  输出高电平， $Q_1$  导通风扇工作。当芯片停止工作后， $C_1$  经过电阻 ( $200K\Omega + 1M\Omega$ ) 对地放电，经过较长时间后， $U_+ < U_-$ ，风扇停止，可见放电时间相比充电时间要长。其中，反馈电阻  $R_1$  对  $I_{C1}$  反相端电压在工作与停止转换中产生一个回差电压，使风扇能够稳定工作。

经过以上分析，可见风扇工作与否是与 PWM 芯片有无工作密切相连的。当 PWM 工作一定时间后，风扇转；PWM 停止工作一定时间后，风扇停，从而实现了风扇自动控制的功能。

## 11. 手工焊 75V 稳压的工作原理

- 目的：(1)在手工焊起弧时，提供一较高电压，使电弧能顺利产生(利于引弧)；  
 (2)电焊空载时，使主变压器进入间谐工作状态，以减小变压器空耗。



- 前提：(1)电焊档  $U_i=75V$  输出（开关 S 闭合）， $U_i=0V$ ；  
 (2)氩焊档，S 断开， $U_i=12V$ ；  
 (3) $U_0$  为低电平主变工作， $U_0$  为高电平，主变停。

工作原理：

A、B 两端为主变压器次级，在电焊状态下主变压器工作时， $U_{AB}$  交变电压经倍压电路升压后，电容  $C_1$  储能。当  $U_d$  超过 8.9V 时， $Q_1$  导通， $Q_2$  截止，所以  $U_0$  为高电平，主变压器停止工作，使得交流电源停止供电， $U_{C1}$  下降。当  $U_0 < 8.9V$  时， $V_1$  截止， $Q_1$  截止， $Q_2$  导通， $U_0$  为低电平，主变压器工作， $U_{AB}$  又得电压。如此循环下去，使得  $U_{C1}$  能够维持在  $75V \pm 1V$  左右，即输出正极  $U_+ = U_{C1} = 75V \pm 1V$ 。

当氩焊档时，开关 S 断开， $U_i=12V$ 。此时， $Q_3$  永远为导通状态，得出  $Q_1$  永远为截止状态。又因为开关 S 断开，所以氩焊档时，输出电压为无稳压状态(55V)。

## 12. PWM 脉宽调制器

目的：通过调节芯片内部输出的脉冲宽度，最终控制 IGBT 的工作占空比，来调节输出电流的大小电压高低。

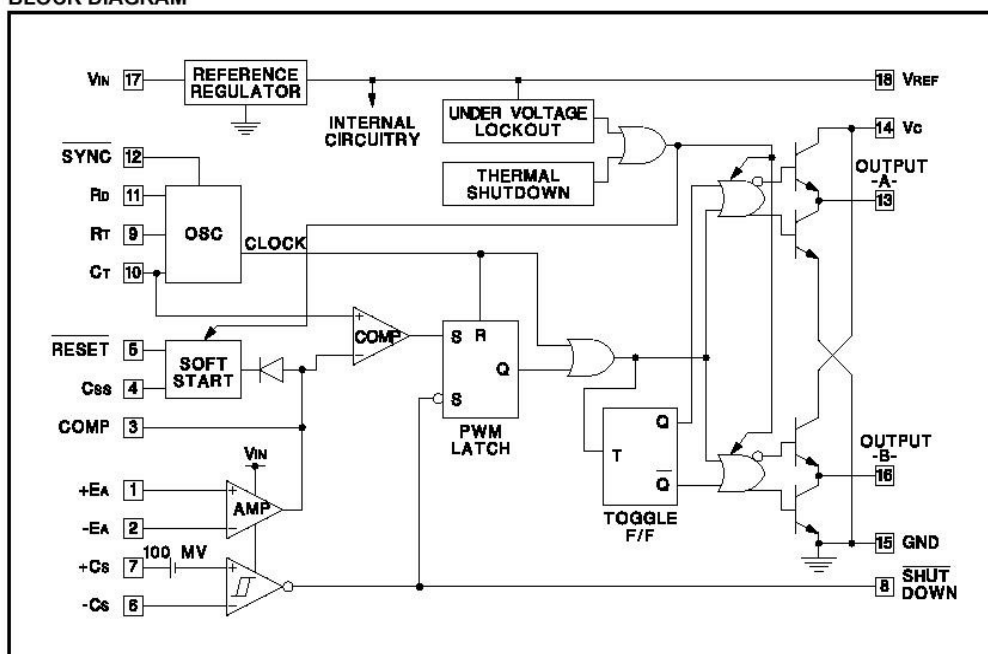
各管脚功能：

- (1)内部误差放大器，同相输入端
- (2)内部误差放大器，反相输入端
- (3)内部误差放大器输出端。
- (4)芯片软启动端，由内部恒流源对外接电容充电。
- (5)复位端（即停止工作控制端，低电平 0V 停，高电平工作 5V
- (6)内部回差比较器同相输入端。
- (7)内部回差比较器反相输入端
- (8)内部回差比较器输出端



- (9)内部 RC 振荡器，电阻端。
- (10)振荡器电容端
- (11)振荡器死区调节端
- (12)死区时钟输出端
- (13)、(16)调制脉冲输出端
- (12)、(17)电源端
- (15)接地
- (18)基准电压输出端 ( $5V \pm 1\%$  100mv)

**BLOCK DIAGRAM**



工作原理：

由原理图可见：当电路不工作时，第 5 脚外接 Q 导通，工作时，Q 截止。正常工作时，芯片输出可调脉冲经放大后推动 IGBT 工作。工作电流由分流器反馈。经运算放大器放大 50 倍后分压供给 3526 芯片内部误差放大器反相输入端，输出误差信号，自动调节脉冲宽度，最终使反馈端与同相端给定电压相等，即输出电流也就稳定于某一固定值。

当调节电位器改变同相端直流电位时，就可以相应地改变流过分流器的电流，即实现了电流调节功能。

## 第四章 手弧焊

### 一 试焊

#### 1. 面板功能

- (1) 电流调节：根据焊条直径选择电流大小。电流与电压关系： $U = 20 + 0.04I$
- (2) 引弧调节：在焊接建立前，因工件和焊条都是冷态不易建立电弧，必须在起弧时设置一个大于工作电流的起弧电流( $t < 0.5S$ )，并可根据板材厚度进行调节。
- (3) 推力调节：在焊接过程中，因焊条铁水过渡到工件时形成短路，此时易发生粘焊条现象。为防止这种现象发生，在过渡时须有一个高于工作电流( $1 \sim 2.5I$ )的推力电流将铁水推开，且电流大小根据板厚可调。

#### 2. 两个距离

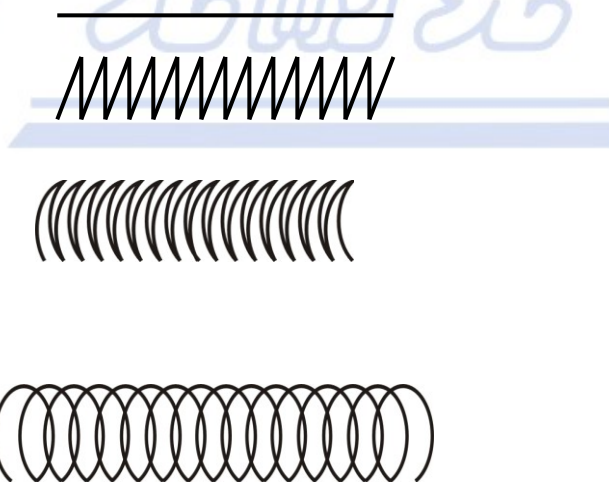
- (1) 眼睛到镜片的距离：5~8cm。
- (2) 工件到镜片的距离：15~20cm。

#### 3. 焊接方向

- (1) 前进式(推荐)
- (2) 后退式

#### 4. 焊接手法

- (1) 直线运条
- (2) 三角形运条
- (3) 月牙形运条
- (4) 圆弧形运条



### 二 理论基础

#### 1. 概念及应用

手弧焊是用手操纵焊条进行焊接的一种电弧焊。手弧焊时，利用焊条和工件之间产生的电弧将焊条和工件局部加热到熔化状态，焊条端部熔化后的熔滴和熔化的母材融合一起形成熔池。随着电弧向前移动，熔池液态金属逐步冷却结晶，形成焊缝。手弧焊的过程如图 4-1。

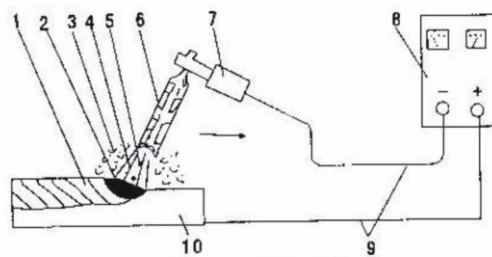


图 4-1 手弧焊过程  
1-焊缝 2-熔池 3-保护性气体 4-电弧 5-熔滴  
6-焊条 7-焊钳 8-电焊机 9-焊接电缆 10-工件

电弧是一种空气导电现象，又是一种自持放电现象。电弧中的带电粒子主要是依靠电弧中的气体介质的电离和电极的电子发射两个物理过程而产生的。由焊接电源供给的、具有一定电压的两电极间或电极与母材金属间，在气体介质中产生的强烈而持久的放电现象，叫做焊接电弧。

手弧焊适用焊接单件或小批的产品，短的和不规则的，各种空间位置(全方位焊接)的以及其它不易实现机械化焊接的焊缝。工件厚度一般在 1.5mm 以上，1mm 以下的薄板不适于手弧焊。

手弧焊适用于碳钢、低合金钢、不锈钢等金属材料的焊接，铸铁焊补和各种金属材料的堆焊等。活泼金属(如钛、铌、锆)和难熔金属(如钽、钼)由于机械保护效果不够好、焊接质量达不到要求，不能采用手弧焊。低熔点金属如铅、锡、锌及其合金由于电弧温度太高，也不可选手弧焊。

## 2. 焊条

焊条由焊芯和涂层(药皮)组成。手弧焊时，焊芯既是电极，又是填充金属。

焊条可按其熔渣性质分为酸性焊条和碱性焊条两大类。碱性焊条只能使用直流弧焊机，并采用反极性接法，才能获得稳定的焊接过程。

碱性焊条与强度级别相同的酸性焊条相比，其熔敷金属延展性和韧性高、扩散氢含量低、抗裂性能强。因此，产品设计或焊接工艺规定用碱性焊条时，不能用酸性焊条代替。但碱性焊条的焊接工艺性能(包括稳弧性、脱渣性、飞溅等)较差，对锈、水、油污的敏感性大，容易出气孔，有毒气体和烟尘多。

## 3. 焊接电流

直流弧焊机适合于碱性焊条，也可用酸性焊条。

焊条直径和工件厚度、电流值的关系：

板厚 (mm)	≤4	4 ~ 12	> 12	焊条直径 (mm)	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0
焊条直径 (mm)	不超过 工件厚度	3.2 ~ 4.0	≥ 4.0	焊接电流 (A)	25 ~ 40	40 ~ 65	50 ~ 80	100 ~ 130	160 ~ 210	200 ~ 270	260 ~ 300

## 三 工艺性能

### 1. 引弧

引弧是指电弧焊开始时引燃电弧的过程。通常手弧焊引弧方式有两种：碰撞引弧和划擦引弧。两种方法的实质是一样的，引弧过程是这样进行的，如图 4-2 所示。图 4-2a 表明首先使焊条与工件接触，由于金属表面的不平，只能是点接触，接触处往往由于有氧化膜和熔渣等绝缘物质存在，这就要求有较高的空载电压  $U$ ，以击穿绝缘层而导电。因为是点

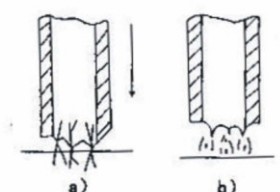


图4-2 引弧过程示意图  
a 焊条与工件接触  
b 焊条拉开时引燃电弧

接触，所以电流密度较大，局部接触处急剧受热，使得接触处的金属迅速汽化。图 4-2b 为接触之后，立即拉开焊条，使电弧空间电离并形成电弧。

## 2. 焊接手感

这是一个模糊概念，主要反映在单面焊或全位置焊时，焊工操作自如。弧焊电源的要求是：

(1) 引弧容易。

(2) 应有较大的动态短路电流，以利于铁液推力摊开。该电流又不能维持太长时间，以防止焊漏。

(3) 断弧容易。断弧的目的是有利于熔池冷却凝固，否则易使熔池过大而流淌。

(4) 电弧燃烧过程应该柔和而不产生较大的飞溅。

## 3. 焊接飞溅

这是保证焊接过程稳定的核心问题，一直引起人们较大的关注。

酸性焊条常常是非短路过渡。而碱性焊条除具有滴状过渡和渣壁过渡等非短路过渡外，还有短路过渡，但其中主要是短路过渡。因为碱性焊条熔渣的氧化性弱，表面张力大，于是在焊条端头形成较大的熔滴；另一方面由于  $\text{CaCO}_3$  在高温下发生分解反应，反应式如下：



由于这是一种吸热反应，对电弧产生冷却作用，而使电弧集中，并对熔滴产生排斥作用。

焊条端头随着焊条的熔化，在套筒内形成熔滴，随着熔滴的长大，而移至套筒以外。熔滴外移时携带着电弧斑点一起外移，而在电弧斑点作用下，又使得熔滴激烈飘动。当熔滴与工作短路过渡过后，斑点又内迁，整个过渡过程如图 4—3 所示。

当熔滴与熔池短路时，电弧熄灭，随后形成缩颈。该处通过较大的焊接电流，在电磁收缩力作用下缩颈迅速变细和过热，使得小桥焊断，伴随着飞溅并重新引燃电弧。可见，飞溅是伴随着短路过程而产生的。

短路小桥由于较长时间地通以大电流而过热，小桥金属中将发生下列反应：

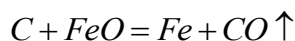


图4-3 短路过渡过程示意图

这样一来，在小桥电爆炸的同时伴随着气体爆炸，使得飞溅十分猛烈，甚至可以将熔池铁液抛出。当采用脱氧作用较强的焊条时，飞溅将明显降低。

所以飞溅大小，不仅与焊条有关，还与电源特性有密切的关系。

## 4. 极性

用直流电源焊接时，工件和焊条与电源输出端正、负极的接法，称极性。工件接直流电源正极，焊条接负极时，称正接或正极性；工件接负极，焊条接正极时，称反接或反极性。反接的电弧比正接稳定。因此，低氢型焊条用直流电焊接时，焊接电流小，电弧不稳。因此，焊接薄板时，不论用碱性焊条还是酸性焊条，都选用直流反接。正接，工件吸热 70%；反接，工件吸热 30%。

## 5. 焊缝

焊件经焊接后形成的结合部分，叫焊缝。

(1) 焊缝宽度：焊缝表面两焊趾之间的距离。

(2) 余高：超出母材金属表面的那部分焊缝金属的最大高度。余高可避免熔池金属凝固收缩时形成缺陷，并增大焊缝截面承受静载电荷的能力，但余高过大将引起应力集中或疲劳寿命下降，因此要限制余高的尺寸。通常和平焊位置余高值应为 1~3mm。

(3) 熔深：在焊接接头横截面上，母材金属或前道焊缝熔化的深度。一定的熔深值保证了焊缝金属和母材金属的结合强度。

## 6. 电流参数

根据板材厚度和焊条参数，可选择适当电流进行焊接。

## 四 工艺手法

1. 坡口：根据设计或工艺需要，在焊接的待焊部位加工并装配成一定几何形状的沟槽。开坡口的目的是为了得到在焊件厚度上全部焊透的焊缝。

2. (1) 薄板 (<4mm)：可不开坡口，直接对焊。

(2) 中板 (4~10mm)：一般开小 V 形坡口。开坡口用绞磨机。

(3) 厚板 (>10mm)：常用的坡口形式有 V 形坡口、U 形坡口、X 形坡口。开坡口用碳弧气刨。