

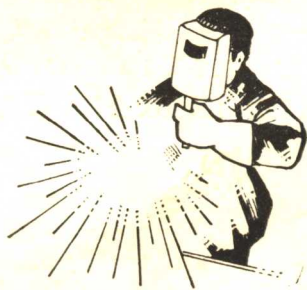
# 机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

## 钨极氩弧焊

陈年荣 编著

焊工



机械工业出版社

**内容提要** 本书介绍了氩弧焊的基本知识、钨极氩弧焊设备，重点讲述了钨极氩弧焊的工艺与操作技术，几种金属材料的焊接要点；同时对安全防护知识也作了简要介绍。

本书可供二级以上焊工学习。

## 钨极氩弧焊

陈年荣 编著

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张  $2 \frac{1}{8}$  · 字数 51 千字

1984 年 4 月北京第一版·1984 年 4 月北京第一次印刷

印数 00,001- 5,800 · 定价 0.22 元

\*

科技新书目： 71-122

统一书号： 15033 · 5627

## 目 次

- 一 氩弧焊的基本知识 ..... 1
  - 1 概述 (1) —— 2 保护气体 (2) —— 3 钨极 (3)
- 二 钨极氩弧焊设备 ..... 4
  - 1 焊接电源 (4) —— 2 控制箱 (6) —— 3 稳定变阻器 (7) —— 4 钨极氩弧焊焊炬及其保护功能 (7) —— 5 自制的直流钨极氩弧焊机 (12) —— 6 交流氩弧焊设备 (17) —— 7 钨极氩弧焊机常见故障的排除 (22)
- 三 钨极氩弧焊工艺与操作技术 ..... 23
  - 1 电源种类与极性 (23) —— 2 钨极直径与形状 (24) —— 3 坡口尺寸 (25) —— 4 焊前清理 (26) —— 5 工艺因素对氩气保护效果的影响 (29) —— 6 手工钨极氩弧焊的操作技术 (32) —— 7 自动钨极氩弧焊操作技术 (36) —— 8 钨极脉冲氩弧焊 (39) —— 9 钨极氩弧点焊 (45) —— 10 焊接缺陷 (47)
- 四 几种金属材料的钨极手工氩弧焊 ..... 50
  - 1 奥氏体不锈钢的氩弧焊 (50) —— 2 钛及钛合金的氩弧焊 (52) —— 3 纯镍及镍基合金的氩弧焊 (57) —— 4 纯铝、紫铜及铜合金的钨极手工氩弧焊 (63)
- 五 氩弧焊的卫生安全防护措施 ..... 67

## 一 氩弧焊的基本知识

**1 概述** 钨极氩弧焊是气体保护焊的一种，简称 TIG，用钨棒作电极，故又称非熔化极氩弧焊。由钨极与焊件间产生的电弧作为热源，用氩气保护弧柱及熔化金属，并使之与空气相隔离。如图 1 所示。

氩弧焊，特别是钨极氩弧焊，在近十年以来愈来愈广泛地应用到化工、化纤、电子元件、原子能、飞机制造、印染以及食品工业中。钨极氩弧焊最适宜于不锈钢（10毫米以下）以及紫铜、铝及铝合金、钛及钛合金的焊接，操作方便，焊接质量高。有些生产厂采用非熔化极自动氩弧焊，

在二米长的夹具上大量拼接 1 毫米厚的薄板碳钢长缝（不加填充金属丝），获得了较大的经济效果，由于省去了因手工电弧焊而产生的变形带来的大量辅助工时（如用手提砂轮磨平焊缝，再校正长缝等），深受冷作板金工人欢迎。由于氩气价格便宜，直流氩弧焊机的结构简单，一般工厂可以自制；交流氩弧焊机虽较复杂，但货源较多，并且也可以采用交流弧焊机进行改装，所以钨极氩弧焊的应用越来越广泛。

钨极氩弧焊与其它焊接方法比较，具有下列优点：

（1）质量好 氩弧焊是依靠氩气层流来保护弧柱及熔池的，使焊接部位与外界空气隔绝，因此焊缝结晶细密，焊缝表面光

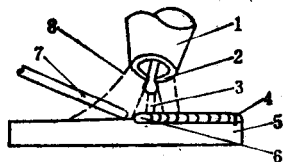


图 1 钨极氩弧焊示意图

- 1—喷嘴 2—钨极 3—电弧
- 4—焊嘴 5—工件 6—熔池
- 7—填充焊丝 8—氩气流

滑。焊接接头的抗腐蚀性能和机械性能好，如防锈铝合金的焊接接头，其抗拉强度为原材料的80~95%，不锈钢的可达到90~100%。

(2) 变形小 氩弧焊时，由于电弧热能集中，焊接熔池和热影响区较小，熔透性均匀，焊件的翘曲和变形很小，尤其适用于薄板的焊接。

(3) 效率高 氩弧焊由于是明弧焊，操作方便，易于实行自动化及半自动化，从而提高了生产率。

但氩弧焊不宜在露天或有风的地方焊接。为了保证质量即使在车间里焊接，亦须采取防风措施。

钨极氩弧焊有手工钨极氩弧焊，自动钨极氩弧焊，氩弧点焊，脉冲钨极氩弧焊等。目前应用最广的是手工钨极氩弧焊，自动钨极氩弧焊和低频脉冲钨极氩弧焊。

**2 保护气体** 氩气是一种较理想的保护气体，无色无味，它的密度比空气重37%。使用时，不易漂浮失散，有利于起保护作用。它是单原子气体，不会产生化合物，高温不会分解，不溶解于金属中，也不与任何元素发生反应，因此，可以避免焊缝金属中的合金元素的烧损。但是，氩气不像还原性气体或氧化性气体那样，它没有脱氧去氢作用，抗污染能力差。所以，氩弧焊的工件在焊前应严格地清除待焊处的油脂，水锈等污垢。

由于氩气的导热系数小，并且又是单原子气体，高温时不会分解吸热，所以在氢气燃烧中的电弧热量损失较小，电弧稳定性好，一般电弧电压仅为8~15伏。焊接不同材料对氩气纯度的要求见表1。化学性质活泼的金属及其合金对氩气的纯度要求较高，氩气不纯易使焊缝氧化、氮化、变脆，破坏气密性，降低焊接质量。

氩气瓶上涂以灰色漆，并标以“氩气”字样。当温度在+20℃以下，40立升的气瓶在满瓶压力为150公斤力/厘米<sup>2</sup>时，可装6立

表 1 不同材料对氩气纯度的要求

被 焊 材 料	要求氩气纯度(%)
铬镍不锈钢、铜及铜合金	≥99.7
铝、镁及其合金	≥99.9
高温合金	≥99.95
钛、钼、铌、锆及其合金	≥99.98

方米氩气。

### 3 钨极

(1) 对钨极材料的要求 电子发射能力要强, 电弧稳定性好, 耐高温, 焊接过程中本身不易熔化, 有较大的许用电流, 强度高以及防腐蚀性好, 不易损耗等。

(2) 常用的钨极种类 目前钨极氩弧焊所用的电极材料可以分为纯钨、钍钨以及铈钨三种:

1) 纯钨极, 纯钨极比重为 19.3克/厘米<sup>3</sup>, 熔点为 3387°C, 沸点为 5900°C, 强度 85~110 公斤力/毫米<sup>2</sup>, 是使用最早的一种电极材料。但纯钨极发射电子的电压较高, 要求焊机具有高的空载电压。另外, 纯钨极易损坏, 电流越大, 烧损越严重, 目前很少使用。

2) 钍钨极, 在钨中加入 3% 以下的氧化钍, 构成钍钨极, 这种钨极具有较高的热电子发射能力和耐熔性。用于交流电时, 允许电流值比同直径的纯钨极可提高 1/3, 空载电压可大大降低。钍钨极的粉尘具有微量的放射性, 在磨削电极时, 要注意防护。

3) 铈钨极, 在钨中加入 2% 以下的氧化铈, 制成铈钨极。它比钍钨极具有更大的优点, 弧束细长, 热量集中, 可提高电流密度 5~8%; 燃损率低, 寿命长; 易引弧, 电弧稳定; 几乎没有放射性。因此, 得到了广泛的应用。铈钨极的优越性尤其表现在大电流焊接或等离子弧切割时, 其损耗率与小电流焊接时相比

则更小。

在钨极中加入钍、铈、镧等元素后的电子发射性能如表 2 所示。

表 2 几种电极材料的电子发射性能

电 极 材 料		钨	钍-钨	铈-钨	铈(镧、钇)-钨
逸出功(电子伏特)		4.5	2.7	3.1	2.7
饱和热	1500K	$2.3 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-8}$	$0.4 \times 10^{-8}$	$6 \times 10^{-8}$
发射电	2000K	$1.2 \times 10^{-8}$	1.2	0.3	2.4
流密度	2500K	0.38	51	16.5	102
(安/厘米 <sup>2</sup> )	3000K	16.3	670	280	1340
	3500K	274	4450	1970	8900
	3600K	453	5740	2900	11480

## 二 钨极氩弧焊设备

手工钨极氩弧焊机主要由焊接电源、焊炬、控制箱以及供气系统等部分组成。如图 2 所示。

**1 焊接电源** 可以采用交流或直流两种电源 直流电源主要用于不锈钢、耐热钢、高温合金、钛及其合金、镍及镍合金、钴及其合金、紫铜及铜合金等的焊接；交流电源主要用于铝、镁及其合金的焊接。

直流电源可采用 AX-300 型, AX4-300 型设备。或者采用硅整流器, 如 ZXG-160, ZXG-250, ZXG-300, ZXG-400 型等; 交流电源主要是陡降外特性的焊接变压器。

钨极氩弧焊时, 电弧的静特性一般为水平的, 这时需配用陡降外特性的电源。这样可以使电弧在静特性曲线与外特性曲线的交点上稳定燃烧, 即使弧长波动时, 焊接电流的波动值  $\Delta I$  很小,

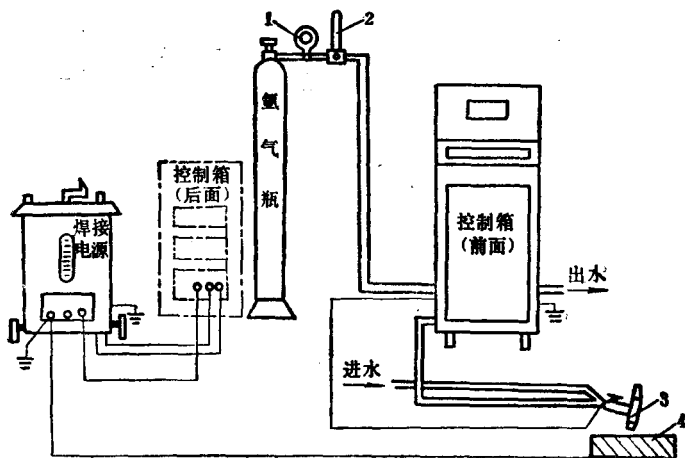


图 2 手工钨极氩弧焊机结构图

1—减压表 2—流量计 3—焊炬 4—工件

如图 3 所示。因此，钨极氩弧焊时应采用陡降外特性的电源。通常用于手工电弧焊的交流和直流焊机都具有陡降的外特性，钨极氩弧焊使用的焊接电流和电弧电压一般在普通焊机的工作范围内，普通交流和直流弧焊机均可用作钨极氩弧焊的电源，不需另行设计。

近年来设计出的具有垂直陡降外特性的电源，即恒流式电源，是一种较理想的电源，在这种外特性下，弧长即便有所波动，焊接电流的波动值恒为零，电流十分

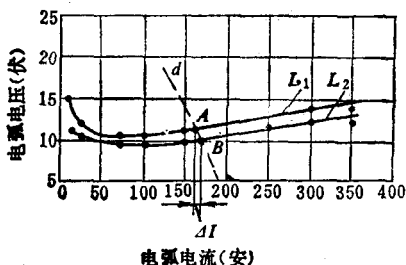


图 3 氩气保护下的电弧静特性与焊机外特性

$L_1$ —弧长 4 毫米  $L_2$ —弧长 2 毫米  $d$ —陡降焊接电源外特性曲线  $\Delta I$ —由于弧长变化而引起的焊接电流变化



稳定。国产ZXG7-300-1型硅焊接整流器就近似地具有这种外特性，它常与NSA4-300手工直流钨极氩弧焊机配套使用。

焊接结束时，收弧处容易形成弧坑，从而引起裂缝，气孔等缺陷。为了防止收弧时产生弧坑缺陷，除了在操作上可以运用逐渐拉长电弧和多填些焊丝等措施外，还可以在电源上采用电流衰减的办法。电流衰减的方法有下列几种：

(1) 当采用旋转式直流弧焊机作电源时，收弧时可切断交流电动机电源，利用焊机的旋转惯性达到电流衰减的目的。这种方法的缺点是焊机要频繁起动。

(2) 焊接结束时，在焊接回路中逐级接入电阻，达到焊接电流逐级衰减的目的。

(3) 在采用磁放大器式焊接整流器的焊机以及他激式的直流弧焊机中，可接入电流衰减线路，以逐渐降低磁放大器控制绕组或直流弧焊机他激绕组的电流，达到焊接电流自动衰减的目的。这是比较先进的方法。国产NSA4-300型及NSA2-300-1型等钨极氩弧焊机都有焊接电流自动衰减装置。

**2 控制箱** 它的主要任务是提供高频引弧以及控制氩气。对交流氩弧焊而言尚有脉冲稳弧器，以保证交流电经过零电位时产生脉冲而使电弧稳定燃烧；还有隔直电容，用以消除交流回路中的直流分量。其组成部分有：

(一) 高频振荡器 它的输出频率为150~250千赫，电压为2~3千伏，目前大多采用串联法，其优点是振荡效率高，对焊接电源、电路元件的击穿影响少，且省材料。

(二) 脉冲稳弧器 它的作用是在交流焊接时，焊接电流过零电位改变极性时，在负半波开始瞬间，用外加一个脉冲电压，使电弧较易重复引燃，而达到稳弧的目的。

(三) 延时线路 主要是控制供气系统，它能使气体提前送

气和滞后关闭。用延时继电器控制电磁气阀。

**3 稳定变阻器** 一般氩弧焊接时都配上稳定变阻器，其型号有 AMR-200，AMR-300，稳定变阻器的作用是：

(一) 当焊接薄板时，由于焊接电流的下限值较大时，用以降低焊接电流值；

(二) 可使电源外特性更陡降，减少了因弧长变动而引起的焊接电流变化值，故一般称它为稳定变阻器。

#### **4 钨极氩弧焊焊炬及其保护功能**

(一) 气体的两种运动状态 流体在管内流动时有两种运动状态，即层流和紊流。

(1) 层流状态 流体质点平行于管轴运动，无径向速度分量。见图 4 a，其截面呈旋转抛物面。稳定的层流输出管外时，尚能维持一段距离。

(2) 紊流状态 流体质点的运动既有轴向运动分量，又有径向运动分量。见图 4 b。当紊流气体输出管外时，就会卷入空气。



图 4 流体在管内流动的两种状态

a) 层流 b) 紊流

气体的流动状态与流动速度、流体的粘滞性以及圆管的直径长度有关。

(二) 喷嘴喷出的保护气流 从喷嘴喷出的保护气流，在空气中流经一定距离后，便与空气相混合，其流动情况如图 5 所示。气体在喷嘴内部为层流运动，在喷嘴出口一段距离内，层流仍然

保持。由于运动的气流与周围静止的空气相互摩擦，在气流与空气相接触的面上产生涡流。在涡流区，保持气流与空气混合。离喷嘴越远，涡流区越扩大，最后保护气流完全消失。

喷嘴内射出的保护气流，其抵抗空气卷入的能力与其流动状态有关。如果保护气流为层流状态，因其质点无径向运动分量，且边界层质点轴向运动速度亦小，在与空气的接触面上摩擦小，产生涡流倾向小，对焊接熔化区有良好的保护效能。若气流为紊流状态，在出口不远处，气流就会卷入空气，因而保护效果不好。

由上可见，为使喷嘴喷出的保护气流为层流，就要设计出合理的焊炬结构，以及选用适当的保护气体流量。

(三) 喷嘴结构及其气流保护效果的关系

(1) 进气，从导气管进入焊炬的气流是湍急而且紊乱的，若让这种状态的气流直接进入喷嘴，则很难获得层流气体。为使保护气体进入喷嘴时沿喷嘴截面的流速均匀，一般采用图 6 所示的结构形式。

图 6 a 中保护气流沿轴向均匀分布的四条铣槽进入喷嘴，气流不易均匀。图 6 b 中气流沿径向均匀分布的四只孔进入喷嘴，经反射后流速下降，在整个截面上气流比较均匀，若孔数增多，孔径减小，则效果更好。另外，还有气流经轴向均匀分布的十二只孔（或槽）进入喷嘴的形式，并且钨极夹头套管端部有一外锥度，起着反射挡板的作用，其均流效果更佳。

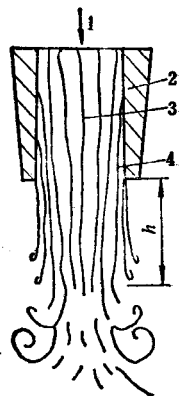


图 5 保护气流  
流动状态

- 1—气体进口 2—喷嘴  
3—气流中心 4—涡流环  
h—稳定气层长度

(2) 导气, 进入喷嘴的气流, 需要进一步稳定。喷嘴越长, 气流越易获得层流状态。据计算, 在圆管中, 气流由紊流转变为层流, 其过程长度约为管径的40~50倍。而焊炬喷嘴的长度与直径之比远小于此值, 因此气流在喷嘴内不可能全部成为层流状态, 而是靠近内壁处有一层层流, 中心部分仍为紊流(见图7)。实际上这种状态的气流已能有效地保护焊接区。

增设“气筛”(图8a)可使气流在喷嘴较短的条件下进入层流状态。“气筛”都是用一层或数层铜丝网组成。近年来创造了一种蜂窝状“气筛”(图8b), 保护效果比铜网“气筛”更好, 且不像铜网容易损坏。

当气流喷出喷嘴后, 层流状态能够维持的长度与喷嘴出口的形状和光洁度有关。喷嘴出口端的形状有三种, 如(图9)所示。

实验证明, 圆柱形喷嘴的保护效果最佳。当锥形喷嘴的锥度小于 $7^\circ$ 时, 则仍有较好的保护效果, 锥度过分增大时, 保护效果则下降。圆柱形喷嘴在很宽的流量范围内, 均有较好的保护效果, 而锥形喷嘴在气体流量增大时, 保护效果就很快下降。一般认为, 外锥形的保护效果较内锥形的差, 因此, 实际生产中很少采用外

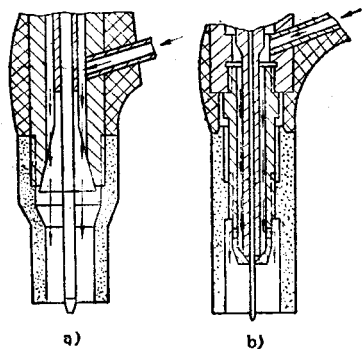


图6 焊炬的进气方式  
a) 轴向进气(不合理) b) 径向进气(合理)

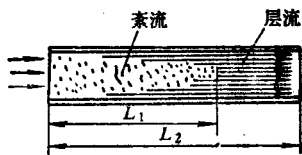


图7 气流流经一定距离 $L_1$ 后由紊流过渡为层流 $L_2$

锥形的喷嘴。

(四) 焊炬 钨极氩弧焊焊炬的作用是夹持钨极、传导焊接电流和输送氩气。它由枪体、喷嘴、电极夹头、电缆、气管和水管等组成。焊炬应满足以下要求：保护效果好；结构简单，加工维修方便；轻巧、操作方便；冷却效果好；密封性好；喷嘴与枪体间的绝缘性要好。

常用手工钨极氩弧焊焊炬的技术数据，列于表3。

上述六种型式的焊炬中，PQ1-500型焊炬上的喷嘴采用紫铜喷嘴，其它均用陶瓷喷嘴。由于陶瓷喷嘴既能耐高温，又能绝缘，所以被广泛应用。

(五) 改善焊炬气体保护的方法

(1) 焊炬的进气

方式有轴向和径向两种，一般以径向进气方式为好，进气口应设在焊炬上部，在进气口处可考虑设置缓冲室。

(2) 喷嘴的末端最好做成圆柱形的。因带圆柱形末端的喷嘴的锥形部分有缓冲气流的作用，从而改善了气体保护效果，其

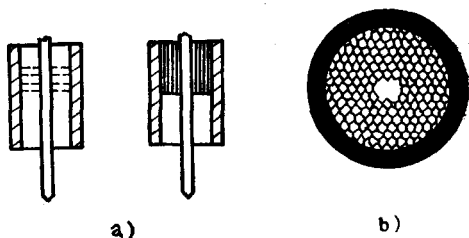


图8 铜网“气筛”与蜂窝“气筛”

a) 铜网“气筛” b) 蜂窝“气筛”

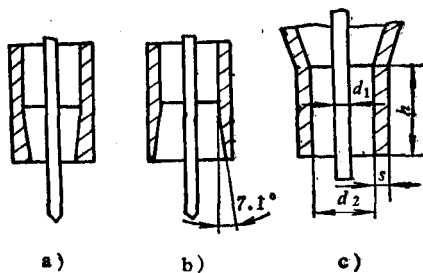


图9 喷嘴出口端形状

a) 内锥形 b) 外锥形 c) 圆柱形

$$h = (1.1 \sim 1.6) d + (7 \sim 9) \text{毫米} \quad s = 1.5 \sim 2 \text{毫米}$$

$$d_1 \text{——钨极直径} \quad d_2 = (2.5 \sim 3.5) d_1$$

表3 常用手工钨极氩弧焊焊炬的技术数据

型 式	额 定 电 流	冷 却 方 式	喷 嘴 材 料	特 征
Q-5型	50 A	空 冷	陶 瓷	短焊炬
PQ-100型	100 A	空 冷	陶 瓷	一 般
PQ1-350型	350 A	水 冷	陶 瓷	一 般
PQ1-500型	500 A	水 冷	紫 铜	一 般
Q-4型	150 A	水 冷	陶 瓷	笔 式
PQ1-500-1型	500 A	水 冷	紫 铜	一 般

长度以10~12毫米较合适；喷嘴末端圆柱形部分的长度为喷嘴口径的1.5倍时为最佳。

(3) 在喷嘴的气流通道中加设多层多孔网板或采用金属丝网制成导流“气筛”，使气流分布均匀。

(4) 选用合适的喷嘴口径，不熔化极时孔径为8~20毫米。

(5) 焊炬中加设分流套，使焊炬喷出的气流分层，用增加外层通道截面积的方法，使内层气体流速高于外层，由于气流在近喷嘴内壁处的粘滞作用，形成一股稳定的近壁层流，增加气流挺度及保护区范围。

(6) 喷嘴内壁应光滑，不应有尖锐棱角、凹槽，喷嘴口不应有圆角，飞溅物要及时清理。

(六) 气体保护效果简易判断方法 气体保护尤其是惰性气体保护焊时，气体保护效果对焊缝质量影响很大，这在很大程度上取决于焊炬的结构。钨极氩弧焊焊炬的气体保护效果可用以下简易方法判断。

(1) 有效保护区的大小，用铝或不锈钢板作为被试材料，在其上面引燃电弧，

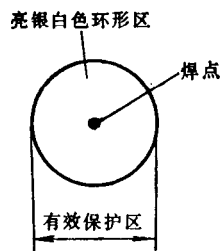


图10 有效保护区

燃烧几秒钟形成焊点后，切断电源，焊炬保持不动直到焊点冷却后才移开。此时，在焊点周围可看到一清晰明亮的环形区，它表示了氩气保护范围的大小，称之为“有效保护区”见图10。有效保护区直径越大，则气体保护效果越好。

(2) 观察焊缝表面颜色 根据焊后焊缝表面的颜色可以判断焊缝表面氧化程度，从而判断气保护效果的优劣。不锈钢和钛合金的焊缝颜色与保护效果关系见表4。

表4 不锈钢与钛合金的焊缝颜色与保护效果

焊接材料	最 好	良 好	较 好	不 良	最 坏
不锈钢	银白、金黄	蓝 色	红 灰	灰 色	黑 色
钛合金	亮银白色	橙黄色	蓝紫(带乳白的蓝紫)	青灰色	有一层白色氧化钛粉

5 自制的直流钨极氩弧焊机 由于直流钨极氩弧焊机的操作比较方便，且控制系统简单，所以应用十分广泛，一般工厂都可自制。只要配用外特性陡降的直流电源即可。

其控制线路见图11，主要元件见表5，控制箱中的主要元件、部件的选择和制作如下：

(一) 高频振荡器 (图11中 F、B<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>) 它由高漏抗高压变压器 B<sub>2</sub>，火花间隙放电器 F，振荡电容 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>，振荡电感 L<sub>x</sub> 以及高频耦合变压器 B<sub>3</sub> 组成。当接上电源时，升压变压器 B<sub>2</sub> 的次级电压可达 2.5~3 千伏，对 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 充电，当电容 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 的端电压升高到 F 的击穿电压时，F 被击穿并产生火花放电。一旦 F 被击穿短路，使 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 和 L<sub>x</sub> 与之形成振荡电路，其振荡频率与 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>、L<sub>x</sub> 有关；在此同时，B<sub>2</sub> 的次级回路也被短路，但由于 B<sub>2</sub> 是高漏抗变压器，限制了短路电流而不致烧坏变压器。

$$\text{如下式示：振荡频率 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x C}}$$





表 5 NSA5-250的元件表

符 号	名 称	数 量	型 号
$R_{5-n}$	电阻	2	RJ-1-1k $\Omega$ -2
$R_3$	电阻	1	RJ-1-100 $\Omega$ -1
$R_4$	电阻	1	RJ-1-330 $\Omega$ -1
$R_{1-2}$	电阻(绕线瓷管)	2	ZG11-10-330 $\Omega$
$C_9$	电解电容	1	CPX300/150-150-BD
$C_8$	电容器	1	CZJD-2A 1 $\mu$ F/630V
$C_{6-7}$	电容器	2	CY-6-2500-8000P
$C_{4-5}$	电容器	2	CZM-W-35 2 $\times$ 0.1 $\mu$ F/630V
$C_{2-3}$	电容器	2	CY-3-250-10000P
$C_1$	电解电容	1	CD-16型300 $\mu$ F/100V
$W_2$	电位器	1	WX3-47-1k $\Omega$
$W_1$	电位器	1	2W5.6k $\Omega$
$D_2$	硅二极管	1	2CZ5A/500V
$D_1$	硅二极管	1	2CZ5A/200V
$J_4$	通用继电器	1	522/220VAC
$J_3$	中间继电器	1	YTX-3C/24VDC
$J_{1-2}$	中间继电器	2	JTX-3C/24VDC
SJ	中间继电器	1	DZ-53/400V 220VDC
$DF_{1-2}$	电磁阀	2	36VAC
KL	水压开关	1	
$B_1$	变压器380V、220V、36V、6.3V	1	
$B_2$	漏抗变压器	1	
$B_3$	高频变压器	1	
KZ			

初、次级接头用绝缘瓷柱引出。

高频变压器  $B_3$  (图 13), 铁心为 MX-600 铁氧体, 初级线圈用普通塑料铜线绕 3 圈, 初级线圈用  $\phi 70$  紫铜棒车削而成, 共 4.5 圈, 然后焊接引出端。铁氧体亦可采用 MX-1000U 型的, 则有机玻璃套 3 的内孔应改成圆形的。

火花放电器的结构和零件尺寸见图 14。放电极间隙以 0.5~1