

国防工业技术丛刊 96

一万焦耳高能、高压 电容贮能点焊机

国营长江机器制造厂 编

(内部资料·注意保存)

国防工业出版社



TG433
25

一万焦耳高能、高压电容贮能点焊机

国营长江机器制造厂 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 1/32 印张 13/16 14千字

1971年10月第一版 1971年10月第一次印刷

统一书号: N15034·(活)-96 定价: 0.09 元

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

在毛主席亲自制定的《鞍钢宪法》光辉旗帜的指引下，遵照毛主席关于“自力更生”、“艰苦奋斗”的教导，为提高劳动生产率，以适应“抓革命，促生产，促工作，促战备”形势的需要，我厂组成了以工人为主体的“一万焦耳高能、高压电容储能点焊机”三结合试制小组。经过十个多月的奋战，试制成功了这台一万焦耳高能、高压电容储能点焊机，满足了生产上的需要。

这台大型储能点焊机具有下列特点：

1. 由于采用电容储能式，充电时间较长，对电网负荷均衡，电容放电时与电网脱开，对电网不冲击，不影响其它用电设备正常运行。

2. 由于我们大胆采用了高压式，因此它比低压式具有充电时间短，生产效率高。

3. 电压调节范围极为宽广，因此，可以焊接(3+3)毫米以下不同厚度的铝合金。

4. 高压整流部分，采用新型的硅二极管作整流元件，对电子管而言，具有寿命长，可靠性好，而不需要高压灯丝变压器。

5. 全机低压控制，使用可靠，操作方便。

一、基本原理概述

电容储能点焊机是利用电容器充电时贮积的能量，在很短时间内向焊接变压器的初级放电，在其次级感应出强大的脉冲电流，用以焊接金属。

原理如图 1 所示。

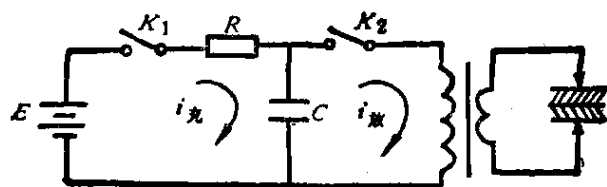


图 1

当 K_1 合上，电源 E 通过电阻 R 向 C 进行充电，电容电压 U_c 上升，当 U_c 电压充到电源电压时， $I = 0$ ，充电过程结束。此时电容器 C 上贮积的能量为：

$$J = \frac{1}{2} CU_c^2$$

充电过程的电流和电压建立过程如下：

参看下列一阶线性微分方程，并求出它的解，

$$\frac{dy}{dx} + Py = Q$$

各项乘上它的积分因子为： $e^{\int P dx}$

$$e^{\int P dx} \cdot \frac{dy}{dx} + P e^{\int P dx} \cdot y = Q e^{\int P dx}$$

$$\frac{d}{dx} [y \cdot e^{\int P dx}] = Q e^{\int P dx}$$

$$\int \frac{d}{dx} [ye^{\int p dx}] dx = \int Qe^{\int p dx} dx$$

$$ye^{\int p dx} = \int Qe^{\int p dx} dx + K$$

上述充电电路，根据克希荷夫定律列出下式：

$$U_R + U_C = E$$

$$iR + \frac{1}{C} \int i dt = E$$

$$R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{i}{RC} = 0$$

令

$$p = -\frac{1}{RC}$$

积分因子

$$e^{\int p dx} = e^{\int \frac{1}{RC} dt} = e^{\frac{t}{RC}}$$

$$ie^{\frac{t}{RC}} = K$$

$$i = K \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

K 由初始条件决定，当 $t = 0$ $i = \frac{E}{R} = K$

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中 τ —— 充电时间常数。

$$U_c = E - iR = E - Ee^{-\frac{t}{RC}} = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

当 $t = \tau$ 时, 充电电流 I 从最大值下降到 63%, 而电容上的电压则由零上升到 63% 左右, 大约当 t 为 5τ 时, 充电基本结束。

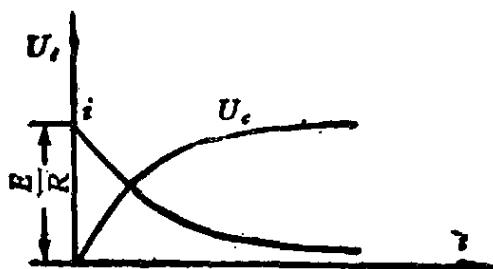


图 2

电容器充电电流和电压的变化曲线, 如图 2 所示。

当充电结束后, K_1 断开, 合上 K_2 , 则电容器 C 通过焊接变压器初级放电。次级获得数万安培的脉冲电

流, 焊接工件。

放电时初级回路放电电流和电压变化情况如下:

要严格求出电容器的放电电流和电压的变化是困难的。

为了计算方便, 作两点假定。

1. 电路不存在非周期成分;
2. 初级线圈电阻和漏磁不计。

这样将图 1 简化为电路图 3, 则

$$R = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \cdot R_2$$

$$L = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \cdot LS_2$$

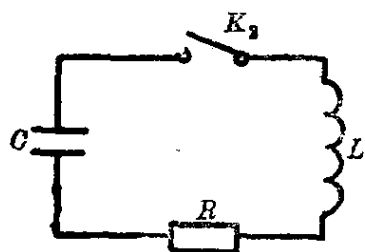


图 3

式中 LS_2 ——次级回路漏感;

R_2 ——次级回路电阻。

当 K_2 合上时, 电容器 C 开始放电。可写成下列微分方程:

$$L \frac{di}{dt} + iR + \frac{1}{C} \int i dt = E$$

微分上式得:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0$$

令

$$\frac{R}{L} = 2\delta, \quad \frac{1}{LC} = W_0^2$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\delta \frac{di}{dt} + W_0^2 i = 0$$

上式是两阶常系数微分方程, 它的解为:

$$i = \frac{U}{2 \cdot X \cdot L} e^{-\delta t} (e^{xt} - e^{-xt})$$

$$X = \sqrt{\delta^2 - W_0^2}$$

电容器放电时有三种可能性:

$$(1) \delta > W_0 \quad \text{即} \frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

产生非周期放电, 由于它的放电时间长, 能量不集中, 热扩散大, 并无实用价值。

$$(2) \delta < W_0 \quad \text{即} \frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$X = \sqrt{\delta^2 - W_0^2} = iW$$

$$i = \frac{U}{WL} e^{-\delta t} \frac{e^{jWt} - e^{-jWt}}{2j}$$

$$= \frac{U}{WL} e^{-\delta t} \sin Wt = \frac{u}{R \operatorname{tg} \phi} e^{-\delta t} \sin Wt$$

产生衰减振荡放电。

$$(3) \text{ 当 } \delta = 0 \quad \text{即 } R = 0$$

$$i = \frac{U}{WL} \sin Wt$$

产生周期等幅振荡，并无使用价值。

第二种情况 $\delta < W_0$ 是我们储能点焊机使用范围，放电时电容器上电压变化如下：

$$U_c = \frac{u}{\sin \phi} e^{-\delta t} \sin (Wt + \phi)$$

$$\approx u e^{-\delta t} \cos Wt$$

式中 $\delta = \frac{R}{2L}$ —— 阻尼振荡系数，

$$W_{\text{角频率}} = \sqrt{W_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{W \cdot L}{R} = \frac{W}{2\delta}$$

对于储能焊机有某些特殊要求：

A. 瞬时功率希望足够大，也就是焊接时间要短，本机为 0.025 秒左右；

B. 第一个电流最大值 $i_{\text{最大1}}$ 和第二个电流最大值 $i_{\text{最大2}}$ 的比值。

$\left| \frac{i_{\text{最大1}}}{i_{\text{最大2}}} \right|$ 要大于 3 倍，也就是希望快阻尼振荡放电。

根据以上所述，合理设计焊接变压器，以获得最佳焊接波形。

前面的理论计算和实际存在某些差距的，用图 4 所示。这里需要特别说清楚，放电电流的大小，只与电容上的电压和焊接变压器的电气参数有关，而电容量的多少，仅是影响

频率，也就是电流持续包含面积的能量不同而已。

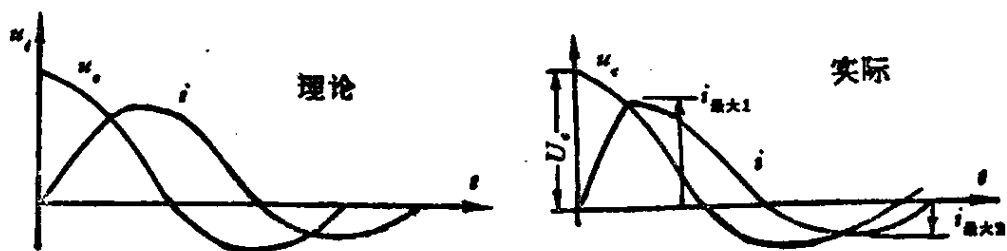


图 4

二、技术数据

- | | |
|----------------|--------------------------------------|
| 1. 电源电压 | 3 相 380 伏 |
| 2. 电容器最大充电电压 | 4000 伏 |
| 3. 电容器最大贮能量 | 10000 焦耳 |
| 4. 电容器总容量 | 1320 微法 |
| 5. 焊接变压器调节挡数 | 3 挡 |
| 6. 焊接变压器次级焊接电压 | 13 伏, 15 伏, 20 伏 |
| 7. 额定空气压力 | 5.5 公斤/厘米 ² |
| 8. 可焊工件厚度(铝合金) | 硬铝 (3 + 3) 毫米
软铝 (2.5 + 2.5) 毫米 |
| 9. 上电极行程 | 270 毫米 |
| 10. 下电极有效臂伸长度 | |
| 11. 冷却水消耗量 | 升/时 |
| 12. 外形尺寸 | |
| | 焊机主体长 1270 毫米 × 宽 570 毫米 × 高 1950 毫米 |
| | 控制箱长 3208 毫米 × 宽 860 毫米 × 高 2350 毫米 |
| 13. 重量 | |
| | 焊机主体 1000 公斤 |
| | 控制箱 4000 公斤 |

三、焊机结构

电容储能点焊机由焊机主体、储能箱（包括控制部分）、配电箱组成（总貌见图5）。

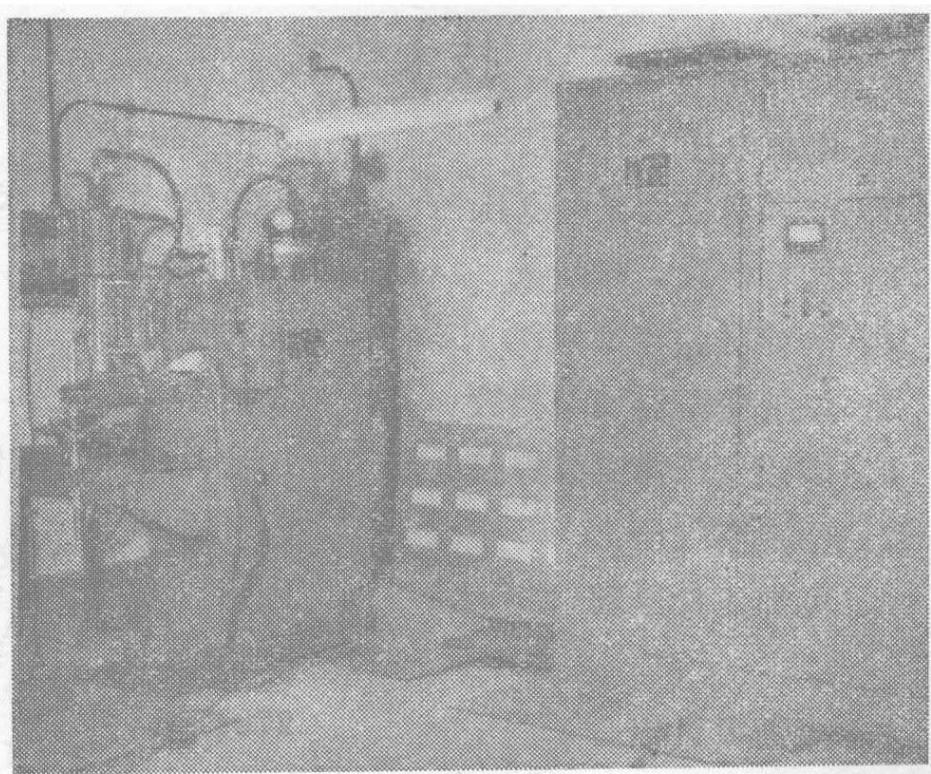


图 5

- （1）焊机主体：外形与一般点焊机相似，机身像一个立柜，内装有焊接变压器及接通开关（图6）。机身上焊有上横梁，联接气缸体。机身顶上装有配气阀、气压表。气缸内活塞连接立柱，带动上机臂上下垂直运动。机身下连接有下横梁。机身右上方装有操纵盒。焊机的压力传动及加压工作系由压缩空气系统来实现。上电极作垂直上下运动，并具有

平滑调整的工作行程和辅助行程。

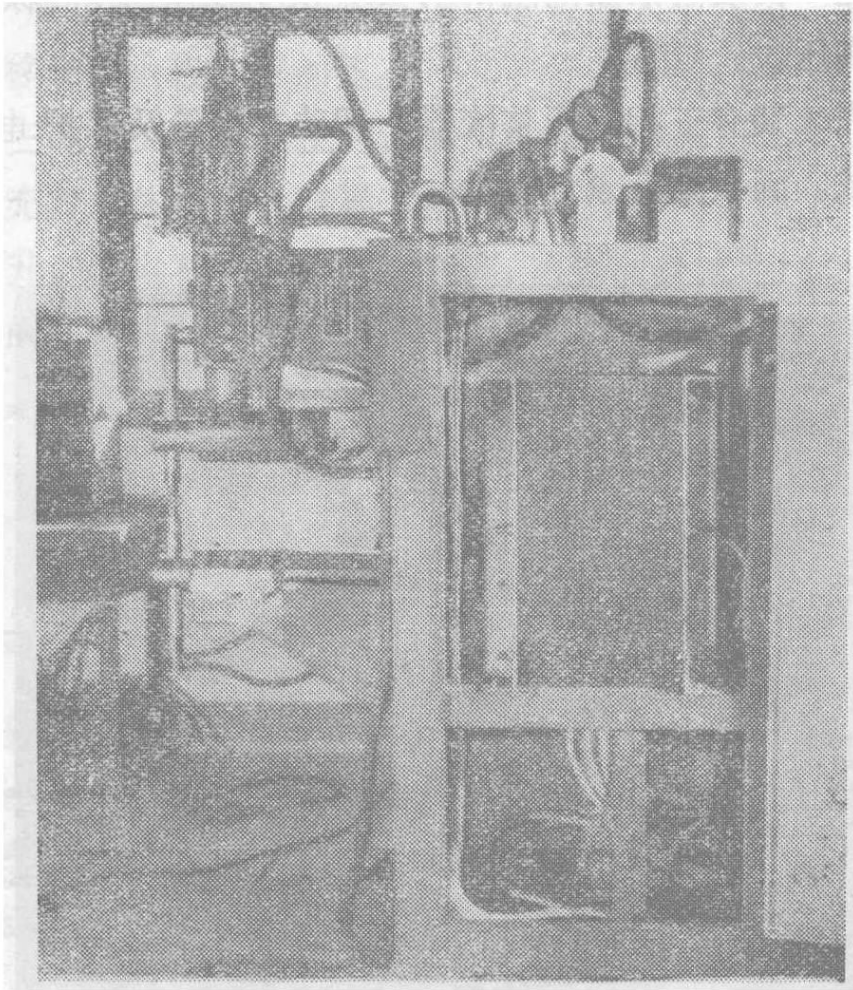


图 6

(2) 储能箱（包括控制部分）

外形为由角钢、槽钢焊成四个立柜，再组合在一起，安放在底框上，箱体顶上开有气窗，后面壁板开有百叶窗孔，便于通风冷却。前部有门、抽屉（图 7）。

电容器组安放在 4 个立柜中（位置 1），长的立柜有 18 个小格，每小格有 12 个电容器，中间立柜分 10 个小格，共 660 只电容，并用铜条、铜排连接。

2 为充电电阻箱，内装 R_{25} ，由电热器 12 只串联组成，

可以步级式调节充电电流。

机壳 3 内装有泄放电阻 R_{22} , R_{23} 及 J_3 继电器。面板上装有直流高压表。

机壳 4 装有三相高压整流器, 即硅二极管及保护电阻、电容构成。面板上有氖灯指示。

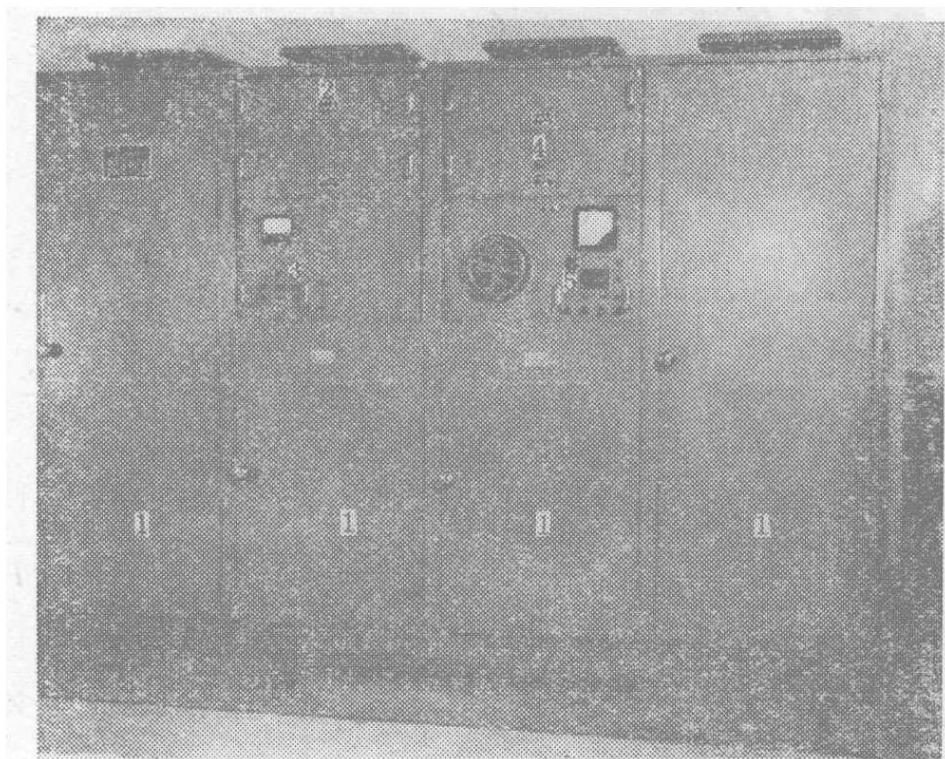


图 7

机壳 5 为焊接程序控制器。还装有其他 J_2 、 J_6 、 J_7 继电器在内。面板还有检视三相电源电压表。此外,在机壳 3、5 之间分别装有三相高压变压器和三相调压器。

(3) 焊机气路系统

动作原理说明: 压缩空气经阀门 8, 一路由三向开关进入上气室, 另一路通过减速器 9 到储气筒 10 再通入电磁气阀 7 之 A 端, 不焊接时气体由电磁气阀 C 端通入下气室, 使

下活塞 3 抬起, 电极上升。焊接时电磁气阀吸动〔见图 8 (1)、(2) 所示〕球形阀打开, 气体由 B 端通入中气室, 使下活塞向下移动, 电极向下加压。

三向开关手柄抬上时, 使气体不再进入上气室, 又将上气室充贮气体排出, 这样下活塞在气压作用下往上带动上活塞上升, 使电极上升到较大距离, 达到电极辅助行程的目的。阻流阀作用是活塞上下免于冲击, 也可调节电极上下运动之速度。

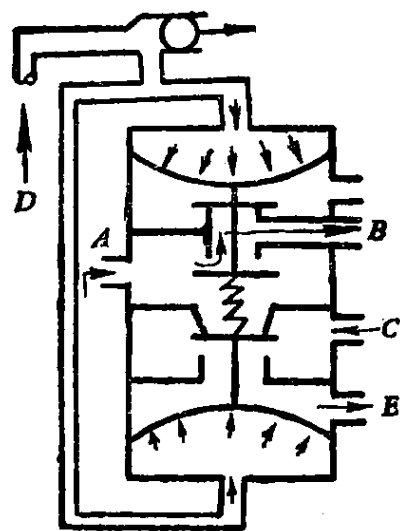
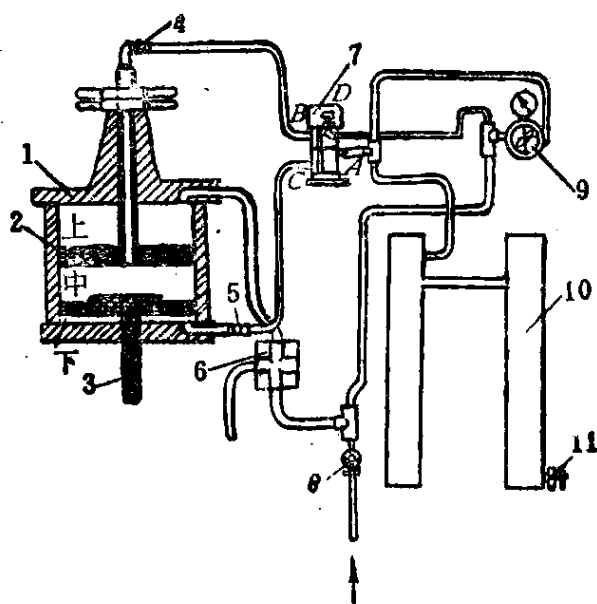


图 8

(1) 焊机气路

1—气缸; 2—上活塞; 3—下活塞;
4—阻流阀; 5—阻流阀; 6—三向开关;
7—电磁气阀; 8—进气阀;
9—减速器; 10—储气筒; 11—放气阀。

(2) 电磁气阀简图

图中所示位置工作状态

A—经减压气体;
B—至上气室;
C—来自下气室;
D—未经减压气体;
E—大气。

四、电气系统工作原理

三相交流电源通过闸刀开关 K_1 (见附录图13) 进入配电箱, 此时 ZD_1 、 ZD_2 、 ZD_3 指示灯亮。交流电压表 $CB1$ 用来测量配电箱输入端三相电压值。按下 $AN2-1$ (或 $AN2-2$) 按钮, J_1 继电器工作。此时 J_1 继电器线包电源通过于 ($AN2-1$, $AN2-2$) 并联的 J_1 常开触点闭合而自保, 三相自耦变压器 B_1 电源接通, J_3 继电器也同时工作, 相应的 J_3 常开触点闭合。当按下 $AN4-1$ (或 $AN4-2$) 按钮时, J_2 , J_6 继电器动作, J_6 的常闭触点断开。高压整流器工作, 调整三相自耦变压器 B_1 的输出, 并观看直流高压电表 $CB3$ 到所需的相应数值时为止, 这时电容器 C_7 已经完成充电过程, 并贮积能量 $J = \frac{1}{2} CU^2$ 。 ZD_4 , ZD_5 , ZD_6 三只氖灯分别用来指示高压变压器 B_2 的次级电压是否存在。

高压整流器采用 Δ -Y 三相桥式整流电路, 因材料缺乏, $ZL1$, $ZL4$ 采用硅二极管 2CZ5F-5A-600 伏作整流元件, 而 $ZL2$, $ZL3$, $ZL5$, $ZL6$ 则用 2CZ13D-5A-300 伏整流。

若直流高压 $E_0 = 4000$ 伏 负载电流 $I_0 = 5$ 安

二极管阳极电流 $I_a = 0.58I_0 \approx 3$ 安

• 次级线电压 $E_{11} = 0.74E_0 = 2960$ 伏

反向电压 $E_1 = 1.05E_0 = 4200$ 伏

次级线电流 $I_2 = 0.82I_0 = 4.1$ 安

初级线圈电流 $I_1 = 0.82I_0 \cdot N = 50$ 安

初级线电流 $I_1 = 1.41I_0 \cdot N = 84.6$ 安

$R16$, $R19$, $R17$, $R18$, $R20$, $R21$ 分别为硅二极管的分

压、分流电阻，以保证每个二极管两端电压相等及反峰电流在允许范围内。 R_{22} 、 R_{23} 是电容器 C_7 的直流高压泄放电阻， J_7 继电器是供手控放电用， J_6 和 J_2 并联，则能完成关机后的自动放电。

本机的焊接方式分为手控焊接和自动焊接两种：

(1) 手控焊接

开关 K_4 放在手控焊接位置，电磁气阀动作下行压住工件，按下手控焊接按钮 AN_6 ，则 J_5 继电器动作； J_3 、 J_4 继电器随即动作，切断充电电路，此时电容器 C_7 通过 J_4 继电器的触点、焊接变压器初级迅速放电，焊接变压器次级取得强大的脉冲电流，以焊接工件。

(2) 自动焊接

此时 K_4 开关放在自动挡， ZD_{11} 指示灯亮，自动焊接是通过时间控制器来完成的。

时滞基本原理，如图 9 所示，当栅极电压比阴极为正的半周交流电压时，电容器 C_1 将被充电，在 2~3 个半周内，电容器 C_1 上的电压接近点 1 与电位器 R_2 间的电压值。由于 R_1 电阻很大，故对电容器 C_1 充电影响很小。充电电流方向，如图 9 中箭头所示。电容器上直流电压数值的大小，是决定时滞重要因素之一，按钮 K 合上后，电容器 C_1 则停止充电，并向 R_1 放电。电子管 G 的板极线路由于 C_1 上的负压超过电子管的截止偏压值而锁住不通。当电容器上的负压逐渐减低到截止偏压时，电子管方才导电，并逐渐增加。板流 I_a 达到继电器的动作电流时，便动作。这样达到了延时目的，并以其触点组开闭相应的线路。

本机由两只 6H8C 组成四级延时开关电路，整个调节器

分为加压、焊接、维持、休息四道焊接工序，各段时间长短可调节相应的电位器 R_{29} , R_{28} , R_{27} , R_{26} 来满足要求。

接通脚踏开关 AN, J_{12} 、 J_{13} 继电器工作，电磁气阀随

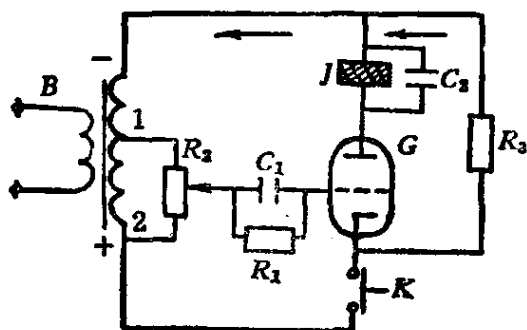


图 9

接动作，工件加压，电子管 G_1 左半管延时一段时间后导电， J_8 工作后， J_{14} 、 J_5 工作，而焊接， ZD_9 指示灯亮。 G_1 右半管延时一段时间后， J_9 工作， J_{14} 电源就断开， ZD_9 指示灯熄， ZD_{10} 指示灯亮，

此时 J_{10} 暂不接通，焊接处于维持阶段。当 G_2 左半管导电后， J_{10} 工作， J_{12} 、 J_{13} 电源断开，电磁气阀上升， G_2 右半管导电后， J_{11} 工作， J_{10} 断开，此时电子管延时开关各级复原。这样周而复始，完成自动焊接。

五、焊接工艺特点

电容储能脉冲放电时间极短，约 0.02~0.10 秒；电流增长速度极快，适合于克服铝合金高传导性及塑性区较窄的困难。而进行优质的焊接。

下面列举有关焊接规范数据（以供参考）

材料牌号	板 厚 (毫米)	气 压 (公斤/厘米)	充电电压 (伏)	电 容 量 (微法)	焊点剪切 强度(公斤)
LY12硬铝	1+1	2.0	1500	1320	>180
LY12硬铝	1.5+1.5	2.0	2500	1320	>250
LY12硬铝	2.0+2.0	1.5~1.8	3000	1320	>350
LY12硬铝	2.5+2.5	1.5~1.8	4000	1320	>400

注：变压比为200。