

辉光离子氮化

上海汽轮机厂

上海市科学技术交流站热处理队

序 言

辉光离子氮化是一项快速氮化的新工艺，目前国内有许多工厂和研究所在研究辉光离子氮化，在这方面，红湘江机器厂工艺试验室对辉光离子氮化作出了很大的贡献。我们在厂党委领导下，赴红湘江机器厂学习，得到该厂工艺试验室同志的热情接待和介绍，我们表示深切的感谢。学习回来后，组织了干部，工人，技术人员三结合小组，经过几个月奋战，制造了辉光离子氮化试验设备和试生产设备。我们在进行工艺试验阶段时，得到了上海机电设计院的热情支持。目前我们已进入了试生产阶段，并且获得了成效。但由于我们时间短，经验不足，不妥之处，恳切希望阅者提供宝贵意见。

目 录

1. 辉光离子氮化的工艺原理.....	1
2. 辉光离子氮化的工艺装置及操作.....	4
3. 电气装置原理及调试.....	7
4. 工艺试验.....	16

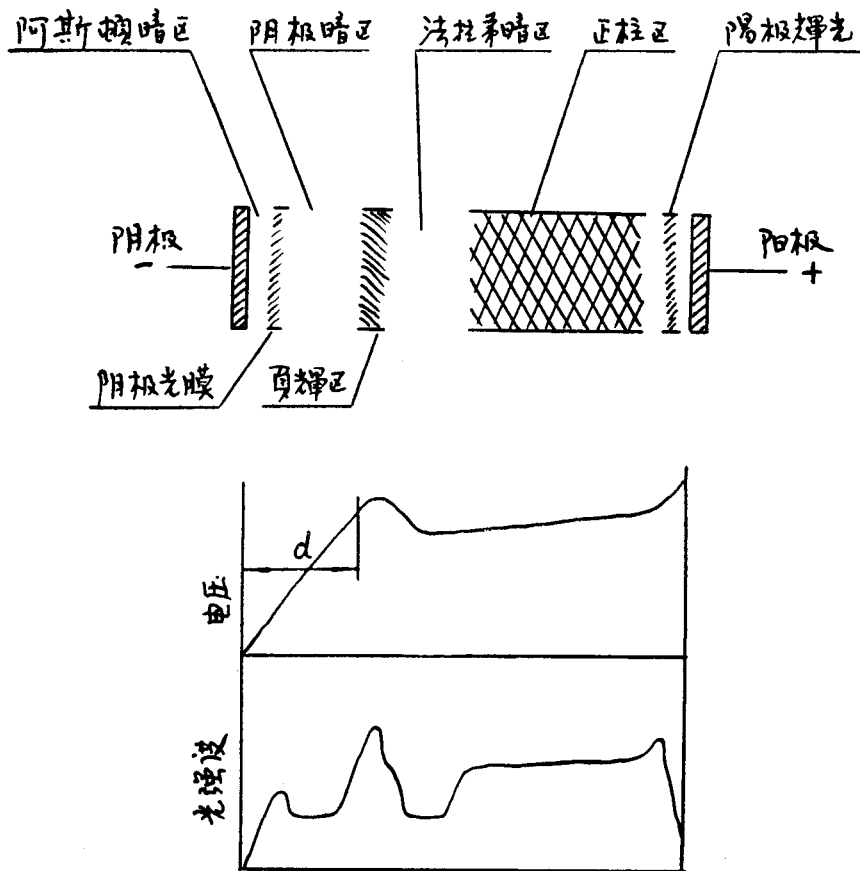
辉光离子氮化

一、辉光离子氮化的工艺原理

辉光离子氮化，就是在辉光放电的电场中，气体以离子状态高速冲击在作为阴极的工件表面上，产生大量热量使工件加热到所需的温度，并在工件表面上产生化学反应和吸附扩散的化学物理过程，比较快地形成了氮化层。

辉光离子氮化的原理及一切特点，都是与辉光放电的物理化学过程相联系的。

在一个密闭的容器中装置二个平板电极，并抽真空至低压（在辉光离子氮化时的真空度为1~10 毛左右），则在外电路中施以一定的电压时，即可产生如图一所示的正常辉光放电的图形。



图一 正常辉光放电图形

辉光放电的特征是从阴极到负辉区有几百伏特左右的电位的变化，即一般称为阴极位降。

根据阴极辉光面积和电流大小等不同，辉光放电分为正常辉光放电和反常辉光放电两种：

正常辉光放电的特点是电压随电流的变化很小，这时阴极并不全部辉光，随着电流的增大，阴极发光面积增加，当全部阴极都布满了辉光时，继续增加电流，必然导致电流密度成比例的增长，致使阴极位降进一步提高，则放电就进入反常辉光放电了。辉光离子氮化正是处于反常辉光放电的电场中，把工件做阴极，氮以离子状态高速冲击在阴极上面比较快地形成氮化层。

正常辉光放电时，实验测出的电位分布和光区分布如图一所示：

1. 阿斯顿暗区：这是最靠近阴极的很薄一层暗区，因为电子离开阴极时的初速很小，其能量也较小约为 1 电子伏特，不能激发气体分子，所以是暗的。

2. 阴极光膜：电子经过阿斯顿暗区后，电子在电场中获得足够能量而达到激发电位，使气体发光称为阴极光膜。阴极光膜紧接着阿斯顿暗区一面分界线比较清楚，而在阴极暗区一面阴极光膜的分界线不太清楚。

3. 阴极暗区：阴极暗区并不是象阿斯顿暗区那样的完全不发光，这个暗区之所以显得暗，是因为与明亮的辉光区相对照才显得暗，在阴极暗区中，电子在电场中不断获得能量，大多数电子的能量远远超过最大激发电位，激发的几率愈来愈少，所以发出的光较微弱，由于电子都达到了电离电位，所以阴极暗区引起大量电离，繁流放电集中在这个区域中。

当其它条件相同时正常辉光放电的阴极暗区宽度 d 与气体压力 p 的乘积是一个常数：

$$p \cdot d = k$$

反常辉光放电时阴极暗区的宽度将随电流密度和气压的增加而减少：

$$d = \frac{a}{\sqrt{i}} + \frac{b}{\sqrt{p}}$$

式中： d ——阴极暗区宽度

a, b ——常数

i ——电流

p ——气压

4. 负辉区：负辉区是阴极暗区后面的一个最明亮的区域，在负辉区时，电离碰撞产生的电子数量很大由于在暗区中多次非弹性碰撞而降低了电子的速度，于是激发几率增加，所以发光很强，并且形成了负空间电荷的积累，负辉区在靠近阴极的一面分界线比较明显，向着阳极方向辉光渐渐减弱。

5. 法拉第暗区：在法拉第暗区因为电场不大，电子获得的能量很小，很难引起激发，所以这是一个暗区。

在反常辉光放电中，正柱区和阳极辉区并不明显，它们受到阳极的形状和接排方式及气压等各种因素在变动。

如果将阳极向阴极移动,那么从阴极到正柱边缘的放电部分及其大小和排列均保持不变,正柱法拉第却逐渐缩短至消失,而当阳极进入阴极暗区,则辉光放电便停止了。但是如果这时阴极至阳极另有较长的通径,则辉光放电就选择这个较长的通径进行,辉光放电的这一个特点,能使我们控制放电的分布情况,即不需要放电处只要将阳极插入阴极暗区即可。

在辉光离子氮化中,我们特别注意阿斯顿暗区,阴极光膜区,阴极暗区及负辉区的放电情况,这四个放电区域统称为阴极位降区。在阴极位降区从阴极到负辉区有几百伏特左右的电位变化,即一般称为阴极位降,这是辉光放电的重要特征。

从以上的放电图形分析可知,辉光放电的基本过程也都集中在阴极位降区,尤其是在阴极暗区中的电离过程,对于维持放电是主要的,阳极区仅满足阳极及阴极电辉区域间的导电路程的作用。因此,阴极位降区的放电情况直接影响离子氮化的质量。

阴极位降区除了光区分布情况不同外,特别要注意的物理过程是:

(1) 着火电压

阴阳极间从非自持放电向自持放电过渡所需要的极间电压称为着火电压。在气体成份和电极材料一定,气体温度不变和冷电极的条件下,着火电压是阴阳极间距离 d 和气体压强 p 的乘积的函数,并且改变 p 、 d 值时,着火电压有一个最低值,影响着火电压的因素有气体成份,电场分布,气体压强,极间距离,电极材料和表面情况,空间电荷等。

(2) 阴极位降

在反常辉光放电时,阴极位降随电流密度及气体压强的增加而加大,在阴极位降区的阴极暗区中,正离子和电子都获得最高速度,氮离子在阴极位降区获得最高速度冲击在阴极表面上而产生次级电子发射和阴极溅射现象。

(3) 阴极的溅射

在反常辉光放电中,部分阴极材料向四面飞散,使阴极附近的物体上覆盖一层金属薄膜,这叫阴极溅射,产生阴极溅射原因的较妥善的解释为:正离子冲击金属原子点阵时,将在很小的金属表面上发生强烈的局部过热。虽然由于金属的导热性阴极表面上的平均温度相对地变低,但是在离子冲击而强烈发热的局部金属原子还来得及发生蒸发,这就是阴极溅射的原因。

阴极溅射的规律是:

- i 被溅射的粒子由阴极表面以直线方向,向各方飞出。
- ii 当其它条件相同时,阴极溅射愈小。
- iii 阴极位降愈大,阴极溅射愈剧烈。
- iv 冲击阴极的离子质量愈大,则阴极溅射愈剧烈。
- v 其它条件相同时,电流强度愈大,反常阴极位降也愈大,则阴极溅射也愈剧烈,且溅射金属数量的增加大致正比于电流密度的平方。
- vi 如果除了阴极溅射外,在被正离子轰击的阴极表面上还发生化学反应,则上述规律就被破坏。

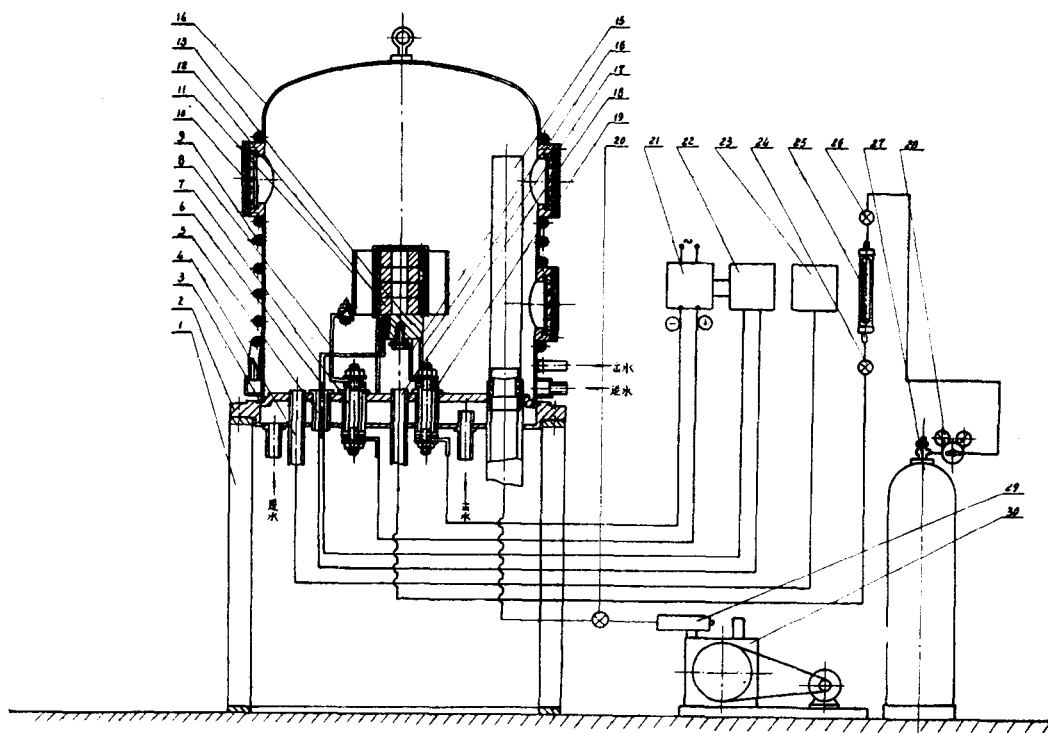
在辉光离子氮化时,由于阴极溅射现象的存在,能清除作为阴极的工件表面的各种杂质层,增强被氮化表面的活性,但是如果放电的电流密度太大,阴极溅射太剧烈,阴极表面会有较大颗粒的剥落,而损坏工件。若溅射太剧烈,阴阳极距离又较近,则容易产生离子密

集，甚至造成极间短路而使放电停止，不过在一般情况下被溅射的金属粒子离开表面后成中性原子状态而不是离子状态，因此溅射的粒子是很小的，只要在离子氮化时，不产生离子密集及电弧放电现象，则均匀的阴极溅射不会影响工件的尺寸。

(4) 不均匀放电及弧光放电

阴极表面各点的纯度不同，有氧化物膜及其它杂质或表面有小孔，尖角等，均会产生不均匀放电，因此在辉光放电还未形成以前，阴极表面的杂质在离子轰击下发射继续白炽的电子流，当阴极上的杂质完全轰击干净后才产生稳定的辉光放电层，如果杂质还未轰击干净前，工件上的小孔又未堵塞就加大放电电流，则在杂质及小孔处会产生离子密集而成为局部连续的弧光放电，则在电弧中心会产生凹痕，在离子氮化中避免弧光放电是电路设计和工艺控制中极重要的一环，否则辉光离子氮化就无法进行。

二、辉光离子氮化的工艺装置及操作



图二

辉光离子氮化的工艺装置见图二，各代号名称如下：

- | | |
|------------|------------|
| 1. 支架 | 6. 热电偶 |
| 2. 底座 | 7. 阳极接线绝缘管 |
| 3. 密封橡皮圈 | 8. 阳极电源接线 |
| 4. 真空测量管 | 9. 冷却水管 |
| 5. 热电偶绝缘套管 | 10. 观察孔 |

- | | |
|-------------|------------|
| 11. 阳极圈 | 21. 电源控制部分 |
| 12. 工件 | 22. 测温仪表 |
| 13. 阴极底座 | 23. 真空计 |
| 14. 辉光室包子 | 24. 针形调节阀 |
| 15. 抽气管道 | 25. 浮子式流量计 |
| 16. 阴极电源接线 | 26. 针形调节阀 |
| 17. 阴极绝缘支架 | 27. 氨气瓶 |
| 18. 进气管 | 28. 氨气减压阀 |
| 19. 阴极接线绝缘管 | 29. 电磁放气阀 |
| 20. 抽气管真空碟阀 | 30. 真空泵 |

辉光离子氮化装置的设计和操作时应注意的问题:

离子氮化装置在设计 and 操作时对设计人员和操作人员要求具备一定的电气和真空知识, 因为很多问题是由电气和真空因素起着主要作用, 根据我们制造离子氮化试验设备和试生产设备的实践, 提出以下几点供参考。

1. 密封:

密封的作用是使整个真空系统保证不漏气, 为了满足这一要求, 对各种部件采用不同的密封方法, 对于并焊组合的另件, 我们采用电弧焊和氩弧焊二种方法, 为了减少焊接应力, 对焊接件应进行除应力处理, 然后进行精密机械加工法兰面, 为了保证焊接质量, 对焊缝应进行煤油渗漏检验或水压试验, 对于法兰面以及其它装配配合面除了进行精密机械加工保证精密配合外, 应用密封橡皮圈密封, 假使没有标准的橡皮圈, 应采用 502 胶水胶合, 自己制造密封橡皮圈。对于阴极, 阳极, 热电偶的绝缘套管与整个底座之间的密封, 应考虑到二个因素, 一个是密封的因素, 一个是绝缘的因素, 为了满足这二个因素不能采用电焊, 我们是用环氧树脂胶合, 而且绝缘套管不能用金属材料制造, 只能用绝缘材料来制造, 我们是采用胶木制造的。

2. 辉光室:

辉光室是零件进行离子氮化的容器, 辉光室的内壁必须进行抛光, 表面要求光滑, 表面要求光滑的目的是防止空气中的水气沉集于坑凹处而影响真空度的提高, 假使是多组电源的辉光室, 最好全部使用夹层通水冷却保护密封面和密封橡皮, 例如: 我们制造的试生产设备是使用六组电源的氮化装置, 在离子氮化时排出的冷却水温度大约有 40°C 左右, 对于单组电源的辉光室除了密封法兰面和底座同多组电源一样, 采用夹层通水冷却外, 其余可采用绕焊铜管通水冷却(见图二)。

为了在工作时观察辉光室内的辉光情况而调整工艺参数, 应在容器上设计几个观察窗, 一般为 2~3 个但按实际需要而定。观察窗使用 95 号特硬玻璃。

在设计辉光室大小时应确定二个因素, 一个是确定几组电源, 第二个是离子氮化另件的最大直径。这二个因素确定之后可按下面二个因素进行设计(1)阳极圈距离辉光室内壁应大于 120mm 左右(2)阳极圈与阳极圈之间的间距应大于 200mm, 主要是防止相互之间干扰。

3. 真空抽气管路与进气管路:

真空抽气管路是真空装置的重要部套, 管道直径大小与长度是直接影响抽气速率和真

空度，所以抽气管道应足够大，保证有较大的抽气速率，我们采用管道内壁抛光镀铬，抽气管道不宜太长又不宜弯头太多，因为它是影响抽气速率和真空度的因素。

我们在真空泵上配上一个真空带放气的电磁伐，它代替了玻璃三通伐的手工操作。在抽气管道上安装总口径大于管道直径的PT膜式真空伐，它的作用是在供气量不变的情况下，可以调节辉光室内的气体压强。在电磁伐，PT膜式真空伐等经常装拆的机械部分使用真空封泥与真空脂密封，但在进气管道上，不能用真空封泥和真空脂，因为不能承受正压。在真空泵与抽气管路之间，应装上一段软管，它的作用是当机械泵工作时引起的震动，传递到软管时得到减震。这段软管可以用真空橡皮管，也可以用半透明的聚乙烯胶管，管子内部用直径大约2mm钢丝制成螺旋形弹簧支撑，防止抽真空时被压扁。

对于进气管道我们使用不锈钢的无缝钢管，对管路的要求是气源供应稳定，进气量调节灵活，因为进气流量的稳定性直接影响辉光层的稳定性，因此在进气管路上配有：

(1) 氨气瓶。

(2) 减压阀：使氨瓶出来的氨气压力符合浮子式流量计的工作压力 3kg/cm^2 或校验标定压力 350mm 水柱。

(3) 浮子式流量计：当辉光室容积从 $0.1\text{m}^3 \sim 1\text{m}^3$ 时浮子式流量计流量范围可选为：1000 升/时至 5000 升/时。

(4) 针形阀：应该选用不锈钢制造的针形阀，否则在氨气冲击下阀针生锈而调节失灵。

4. 阳极

阳极的形状和尺寸是根据另件的外形和氮化的部位来决定的，另件的内孔氮化时，我们是采用无缝钢管作为阳极氨气从无缝管上部通入从无缝管下部流出进入辉光区。

这种方法我们通过实践觉得是比较好的，对于外圆氮化和平面氮化，我们是使用金属丝网和密排小孔厚 3mm 金属板以及无孔的 3mm 金属板，通过初步实践，我们觉得制造阳极应要求强度高，透气率好的材料，使阴极溅射的中性原子比较顺利地向四面溅射，而氨气又能均匀地进入辉光电场，目前使用什么样的阳极比较好，我们还在探索过程中。

5. 辉光离子氮化的操作：

(1) 另件表面用香蕉水洗涤并擦干净，凡氮化表面有小孔和非氮化表面用金属夹具保护，根据我们实践证明，使用石棉板和石棉绳保护其效果不太好。

(2) 另件与阴极底座要有良好的接触，而阴极底座与整个辉光室底座的绝缘要好，从阴极底座上接装热电偶时也应注意绝缘良好，否则引起电流短路。

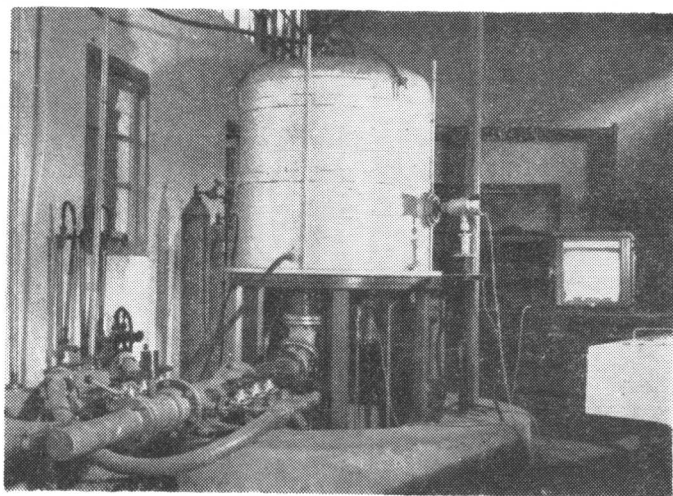
(3) 在按装阳极时，要使阴阳极间的距离均匀，避免在高压电流作用下产生局部电弧或另件各部位产生温差，并且应该注意到，阴极，阳极，热电偶三根接线用瓷管绝缘彼此尽量距离远些，避免因辉光加热而烧毁，热电偶的烧毁会引起测温失灵。

(4) 用 1000 伏兆欧表检查阴极底座、阳极、热电偶与辉光室底座之间的绝缘程度不低于 2 兆欧，用万用表检查接线的通路良好。

(5) 完成上述各项工序后将辉光室容器平稳地放在底座上启动真空泵，待辉光室的真空度达到 0.5 托时，即可开启氨气阀通氨气，当辉光室真空度达 2~5 托时启动高压电源开关，在使阴阳极间电压徐徐上升，达 500 伏左右时，在阴极另件上能见到闪耀的蓝白色及紫红色周向光点，这是阴极溅射的清浩过程，闪耀过程约需 2~6 分钟，持续时间的长短决定于另件表面

的杂质情况和电压的大小。当辉光层复盖整个另件表面后，可调节氨气流量及电压使辉光层厚度约在 $1\sim 2\text{mm}$ 左右，这时另件表面被离子轰击干净，并被迅速加热至氮化温度，适当提高气体压强及电压，可使加热速度提高，辉光层颜色由紫蓝色而变成灰白色。

(6) 氮化结束后在真空状态下冷却至 150°C 再取出工件。



图三 试生产设备

三、电气装置原理及调试

(一) 离子氮化控制台的功用

A. 控制台是进行离子氮化的专用设备，输出近 1000V 可调直流高压电源，内装置六组相同功率的电源，每组电源的输出功率为 2KW ，在特殊情况的需要下，六组电源可以合并使用，此时它的总输出功率为 12KW 。

在离子氮化时由于辉光电压不一，故每个电源的输出功率也不一，输出功率的大小是决定于辉光电压的大小，例如：有些工件的辉光电压控制在 $450\text{V}\sim 750\text{V}$ 范围内，如以 450V 计算，那么它的最大输出功率是 $450\text{V}\times 2\text{A}=900\text{W}$ ，不到一瓩，如以 750V 计算，那么它的最大输出功率可控制在 1.5KW ，因此证明，输出功率与辉光电压的大小有关，则辉光电压越高，输出功率越大。

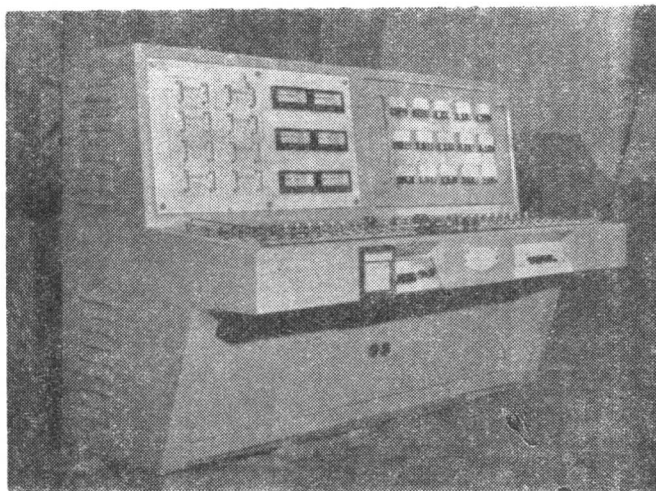
B. 控制台是采用可控硅移相脉冲调压，具有操作方便，体积小等优点。

C. 控制台可以分别控制不同大小的真空泵三台。

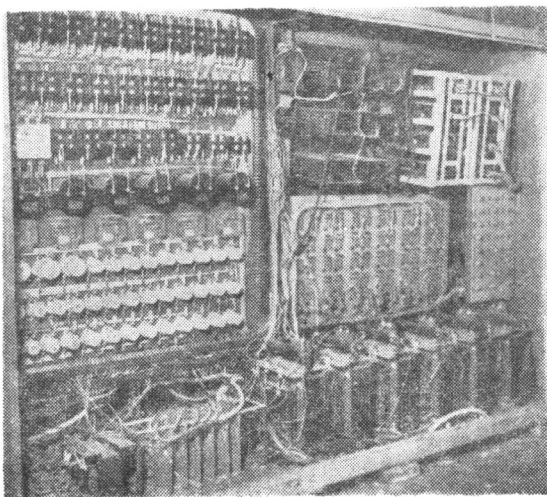
D. 控制台为了操作方便，故把包子升降的电气装置和联络信号及安全保护都装在控制柜内，便于集中修理。

E. 为了考虑到在进行离子氮化时真空测定方便和有一定的精确度，故采用了晶体管化电阻式低真空计和 XWD1 小型自动电位差计记录仪配套使用，可以达到自动调节真空度，能自动记录在整个辉光氮化时的真空曲线，便于今后考查，(原理见补充资料)。

F. 考虑到，此专用设备在温度自动控制时可能出现失灵，超温等现象，因此，采用主令控制器一只(指每个独立单元而言)，进行手、自动控制(原理见脉冲放大器调试一节)。



图四 试生产设备控制台

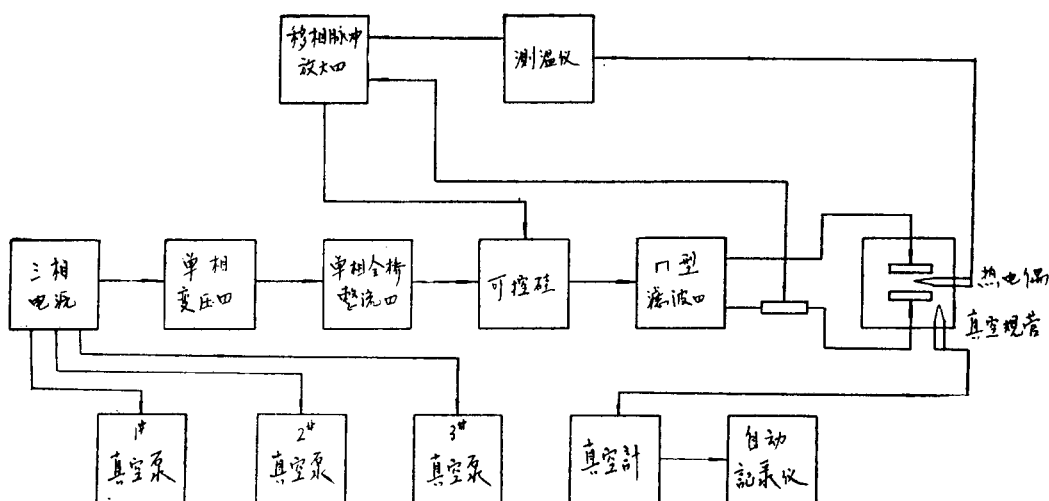


图五 控制台线路装置

(二) 试调时的操作顺序

离子氮化在操作上应有严格的要求和步骤，首先在装好工件后进行仔细检查，有无可疑之处，如在按放工件时，是否有阴阳极短路，对地是否有通路，一般用兆欧表测定对地电阻不应小于 $2M\Omega$ ，经检查确认无误，方可盖上包子，此时在控制台上有一信号灯亮，证明包子已盖好，然后按动 1 号、2 号、3 号真空泵的按钮，包内开始抽真空，同时观察装于控制台左下方的 SZ70103 型电阻式真空计的指示值。

SZ70103 型低真空计的使用，在刚抽真空时，把量程放在大气一档，观察真空计的指示值，可以看到仪表指针开始缓缓下降，说明包子内已开始排气，当指针降到“0”处，即把量程放在 $1 \sim 10^{-3}$ 一档，仪表继续下降，大约指针降到 40 格时，即可以通氨气，此时指针立即上升，当上升至极限时，把量程放至大气一档，待气流稍稳定，此时约 1~2 托，可以进行辉



图六 离子氮化控制箱内各部件功能方框图

光放电，在通直流高压时，首先按动分电源按钮，接着按脉冲按钮，最后按动高压按钮，然后缓缓旋动装于本控制台台面的电位器，此时电压缓缓上升，当升至一定值时电压表突然下降，电流表上升，如果电流表的指针摇摆不一定，说明包内已开始辉光，从观察窗内仔细观察内部放电情况，在最初阶段有零星的火星在不规则地旋转运动，这正是在进行清洗工作，把工件表面上的杂物，通过离子对它的轰击，使其达到清洁，便于正常辉光氮化，这段的工作大约持续 2~3 分钟，根据表面积的大小而定，接着就可以看到工件表面罩上一层颜色绚丽的光，此色近似于霓虹灯，我们称之为辉光层，待辉光层稳定后可以根据工件表面积的大小进行适当的电流调节，此时工件表面被加热，温度计上指针逐渐上升，证明工件开始加温。

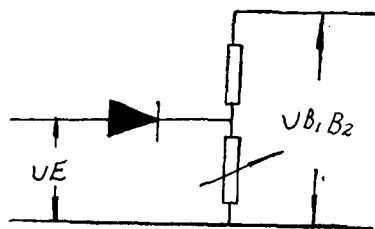
(三) 整流器的装置和调试

A. 整流器的设计考虑到在离子氮化工艺是在高压情况下工作，因此选用 5A1000V 二只串联后接全桥（目前市场上 5A2000V 管无货），全桥交流输入电压为 1000V，因此采用主变压器的初级为 380V，次级为 1000V 2A，经全桥整流后串接二只 1000V 5A 可控硅作开关之用，改变可控硅的开放角来控制全桥输出电压的大小，所谓可控硅开放角大小，就是控制角 α 从 $0 \sim 180^\circ$ 的变化，当 $\alpha \approx 0^\circ$ 时，可控硅全开放，当 $\alpha \approx 180^\circ$ 时，可控硅不开放，无直流输出电压。

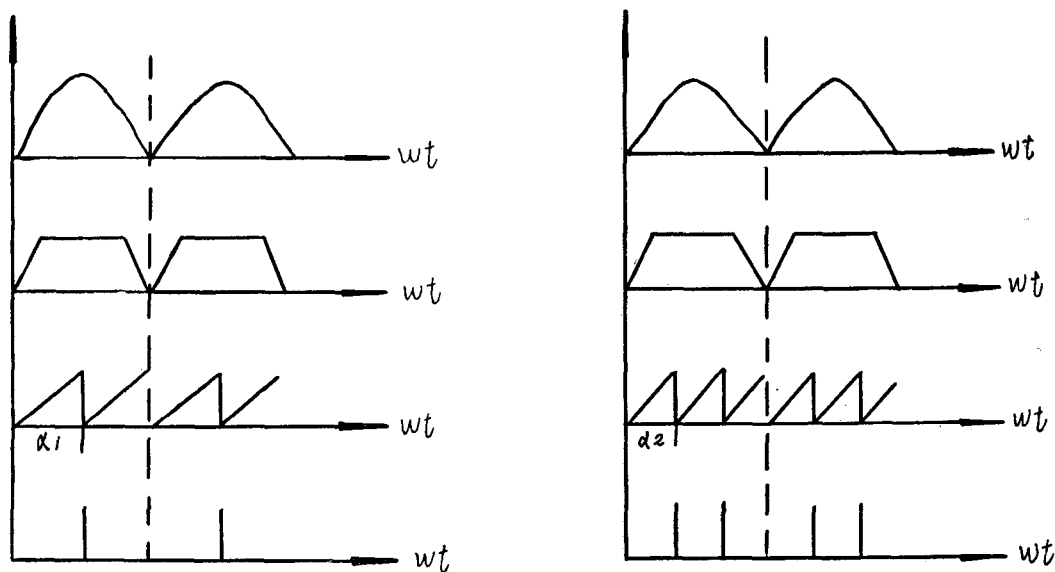
B. 触发移相控制回路，脉冲移相控制有下列部分组成：（1）同步电源，（2）放大，（3）RC 回路，（4）脉冲变压器，同步电源有控制变压器和二极管 13SC~16SC 和 R21 及 1CW，2CW 组成，控制变压器 B1 主方 380V 和整流器主变压器接成同相位，B1 的付方输出二个电压 30V，60V。30V 电压作比较电源，60V 电压作脉冲形成触发装置的同步电源，经 13SC~16SC 全桥整流和稳压，送至放大管 1T，经 1T 放大后的信号送至 2T 基极，2T 在这里起着滑线变阻器的作用，改变电容器的充电时间，从而达到移相的目的。

如图七单晶体管等效电路 $UE < \eta UB_1 B_2 + U_D$ 时，发射极处于反向截止状态，回路中只有很小的漏电流，当 $UE = U_P \geq \eta UB_1 B_2 + U_D$ 时单晶体管导通在脉冲变压器的原边产生脉冲感应到脉冲变压器的付边，再送至可控硅的控制极，使可控硅导通， U_P 称为峰值电压，

η 称为分压比, 它不随温度和电压而变, 它的值在 $0.47 \sim 0.75$, U_D 称为发射极电压, 约在 $0.75V$ 左右, 这种触发脉冲移相主要是靠上述所讲变阻管 $2T$ 来改变 RC 的时间常数来改变 U_E 的上升率(改变电容器的充电时间)从而达到移相的目的。



图七



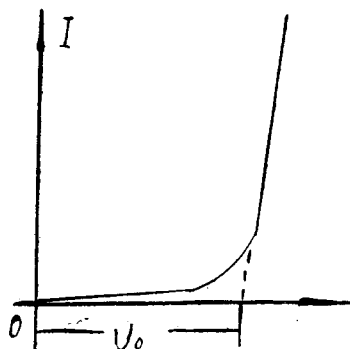
图八

从图八可知, 输入小信号时, 控制角 α_1 , 比控制角 α_2 大, 原理如下: 当控制信号小时, $1T$ 的集电极电流小, 变阻管集电极电流也减小, 相当于变阻管的内阻增加而电容器充电时间延长, 那么控制角 α_1 大, 反之当控制信号大时, 控制角 α_1 小, 因此得出结论, 当控制角大时, 输出电压就低, 当控制角小时, 输出电压就高, 本线路中的 $1SC$ 是有二个作用, a. 过电压保护, b. 它允许正脉冲送到可控硅控制极, C_7C_8 是防止干扰信号送到可控硅控制极。

(5) 此装置采用并联电压负反馈, 反馈电压于 R_{16} 和 R_{15} 串联, 从主回路输出二端取得和给定信号反向迭加, 经 R_{26} 加到触发器的输入端, 当负载增加或电网电压降低, 都会使辉光二端电压降低, 则反馈电压降低, 而给定信号是不变的, 这样加到触发回路输入端的电压增加, 触发脉冲前移可控硅导通角增加, 使主回路输出二端电压增加, 从而使辉光放电电压

比较平稳,加了此环节后,构成了简单的闭环调节系统,使系统有一定的精度。

(6)此系统为了保证在调压范围内防止因操作人员不慎引起电流突增,同时,当正常辉光放电时,电流是较均匀的分布于零件整个辉光面上,但当零件局部放电或局部电子密集时,电流就容易在这些局部点上通过,形成电弧放电,由于电弧放电区的阻抗甚小,易于使大电流通过,烧坏零件故引入电流截止负反馈,目的为了防止起辉电流过大,和过载电流,由于单纯电流负反馈的引入会使辉光二端电压随负载增大而降低,特性变软,因此在电流负反馈的装置中经 R_{38} 串入 26SC 送到 R_{36} 在一般情况下,16SC 是处于截止状态,当来自主回路的电流信号超过时,二极管导通,经 R_{36} 相比较后,加到放大环节从而控制电流的增加。



图九

图九是二极管的伏安特性曲线,当主回路来的电流信号小于 U_0 时,二极管 26SC 不导通,当主回路的电流信号大于 U_0 时二极管 26SC 导通,本环节在主回路中串联一只 2Ω 电阻和用 R_{17} 并联当主回路负载增加在 R_{18} 产生一定的压降, R_{17} 分压送至电流截止负反馈环节。

(7)可控硅的串联,在选择可控硅串联时要尽量选择特性相同的二只配对,a. 希望导通时间一致;b. 漏电流相近的元件,因为元件的漏电流和反向恢复时间的不同应当采取均压措施,我们选用 75K4W,换向保护电阻 $7.5W150\Omega$,原用 $4W150\Omega$,容量太小。

(8)脉冲变压器,考虑到此调压线路是高压,因此对脉冲变压器的绕制带来了极高的要求,我们是用市场上的 $6\frac{1}{2}''$ 输出变压器改制,一般来讲,脉冲变压器的匝数是不计算的,而根据在调试时的经验而定,我们采用 2:1,则主方 600T,付方有二个绕组,每组为 300T,线径主方 $\phi 39$ 、600T,付方 $\phi 36$ 300T,在绕制中应尽量考虑对耐压要求。初级和次级之间应有良好的绝缘。

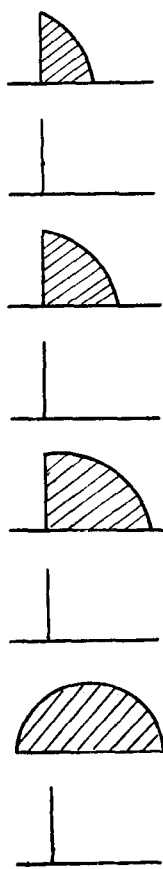
(四)调试步骤

首先检查脉冲放大形成环节是否良好,零件是否与图纸相符,所焊元件是否牢固,因为这一步骤检查的仔细与否为下一步调试时带来方便,经上述检查确认无误,即可通上电源进行调试。

1. 用示波器测量 1CW, 2CW 二端的电压波形,再测量 C_6 二端的波形,在测量这一环节时,应适当调节 R_{23} ,看是否有锯齿波,当调节 R_{23} 时,应在示波器上出现锯齿波,是随着 R_{23} 的改变而锯齿波变动,说明这一级正常,然后测量 B_2 的主方二端的波形是否是脉冲波,一般来讲,要 C_6 二端的波形正常,那么 B_2 主方二端应有脉冲波,最后测量 g_1k_1, g_2

k_2 二端的波形, 如果都正常, 说明脉冲形成环节各级都正常, 同时也测量一下 3CW 二端的波形, 应该是梯形波, 接着就可以进行开环试验, 所谓开环试验就是把电压负反馈切除, 进行主回路的调压试验。

首先在主回路上接 $300W \times 5$ 只灯泡串联后作主回路的负载, 将脉冲触发器上的 R_{23} 缓缓旋动, 此时用示波器观察主回路的可控硅开放角, 是否随着给定信号的改变而前移, 如图十的波形, 同时观察电压表的指示值, 当电位器旋至最大值时, 可控硅输出电压应是近似



图十

1000V, 同时对于这一级的调试, 希望电位器从 0 调节到最大值时, 中间不应有死区, 当稍一旋动电位器, 电压表上应立即有反映, 如果当电位器旋至 10° 、 20° , 电压表上仍没有反应, 当超过 20° 时, 电压突然上升, 这说明电位器有死区存在, 这种现象对辉光放电的初始阶段是非常不利, 同样在调压上限时, 也不应产生这种现象, 如果出现上述现象时一般在闭环调试时适当调整各电位器的工作点是能解决问题。

经开环试验证明主回路正常, 接着把电压负反馈接上, 进行闭环试验, 首先调整电流截止负反馈, 因主回路整流变压器最大输出功率为 2KW, 付方为 1000V, 因此最大辉光电流不希望超过 2A, 在调试此环节时把主回路的负载加大到 2.5A 左右, 而电压升至 950V 左右, 此时, 调整 R_{17} 和 R_{36} , R_{17} 、 R_{36} 调至一定值 (2.5A), 电压表突然下降, 一般可以从 950V 下降至 500V 左右, 此时证明截流成功, 但电流截止负反馈信号不能调得太强, 否则当负载还没到额定电流时, 便截止造成系统不能正常工作, 同时也可以慢扫描示波器来观察截流动作的快速性。

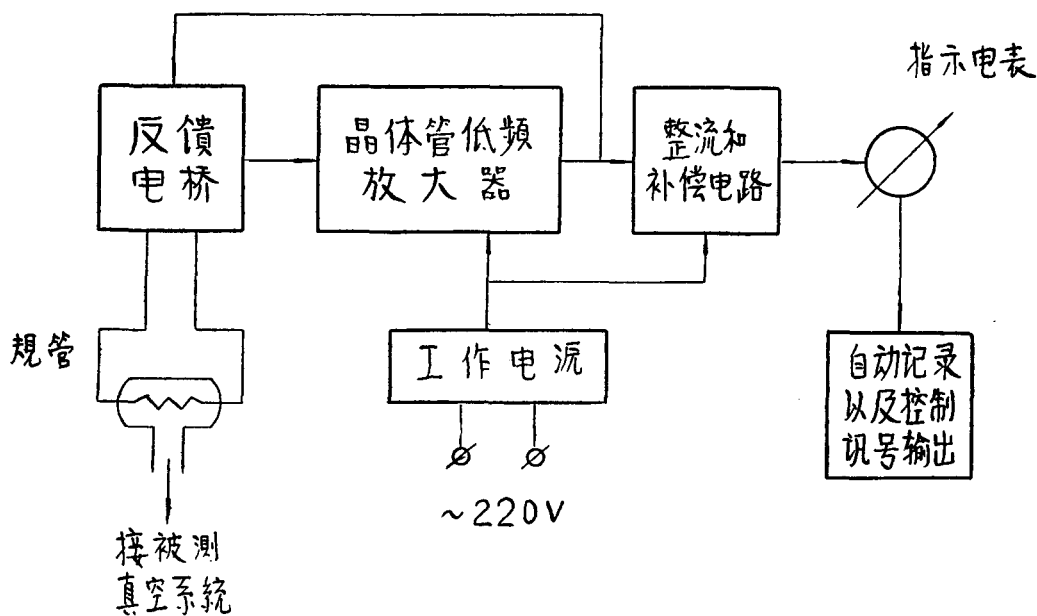
R_{25} 是串联在变阻管 2T 的发射极中, 在调试时, 将 CT 短接, 把主回路输出调到最大值, 然后把 CT 打开, 调节电位器 R_{25} , 主回路输出电压下降, 下降至 600V 左右再把 CT 接上, 此时电压又上升至原来值, 这一环节主要是起温度自动控制用, 当工件升温阶段时可控硅可以输出最大电压, 当工件在进行保温阶段时, 可控硅输出电压减小, 这一过程主要是靠在温度计上的 CT 触点来达到, 一般带有自动控制的温度计, 都带有自动控制的触点和手调给定指针, 当工件开始辉光加温, 温度指针随着工件温度的逐渐上升, 如被辉光的工件温度是 $520^\circ C$, 那么先

将温度计上的给定指针调至 $520^\circ C$ 处, 当工件温度上升到 $520^\circ C$ 时, 温度指针和给定指针相遇, 此时 CT 就打开, 相等于变阻管发射极突然加一只电阻, 因此输出脉冲后移, 可控硅输出电压下降, 当温度低于 $520^\circ C$ 时, CT 接通, 把 R_{25} 短路, 输出脉冲前移, 可控硅输出电压又上升, 从而达到温度自动控制的目的。关于 R_{25} 的调整, 要看被辉光加热的零件的面积大小, 根据实际情况调整。

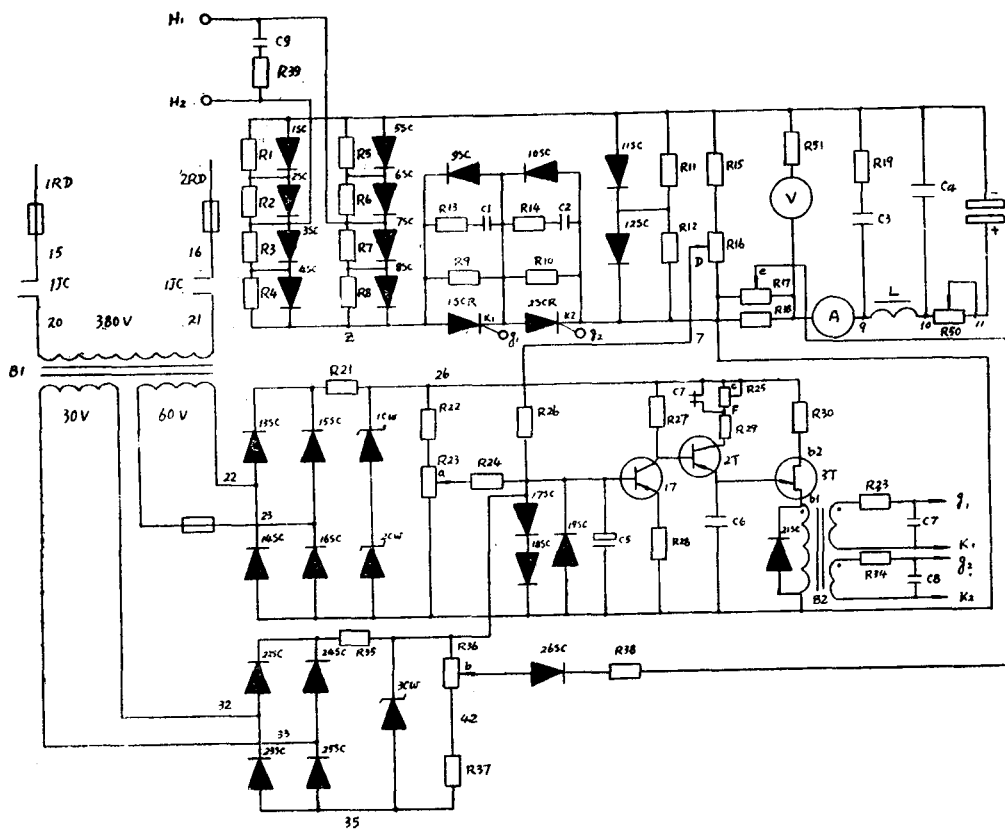
经过上述调试正常, 就可以正式接入包内进行辉光放电, 但是还要耐心细仔地进行适当的调整, 才能获得较理想的效果。

(五) 调试时可能出现的故障

1. 脉冲变压器原边有脉冲而副边无脉冲, 有下列可能性:



图十一 定温式电阻真空计主要可由下列方框图组成



图十二 离子氮化电气原理图

表 1

序号	符 号	名 称	规 格	数量	备 注
1	1-85C	二 极 管	2CZ-5A/800V	8	
2	95C-12SC	”	03Z8, 300MA, 800V	4	
3	13-16SC	”	2CP12, 100MA, 100V	4	
4	17-26SC	”	2CP11, 100MA, 50V	10	
5	1.2SCR	可 控 硅 管	3CT-5A/1000V	2	
6	1.2CW	稳 压 管	2CW21E	2	
7	3CW	”	2CW18	1	
8	1T	三 极 管	3DG6B	1	
9	2T	”	3AX31C	1	
10	3T	单 结 晶 体 管	BT35C	1	
11	R1-R12	金 属 膜 电 阻	RJ-4W-75K	12	2W-150K并联代
12	R13-R14	碳 膜 电 阻	RT-7.5W-150 Ω	2	
13	R15	”	RT-2W-620K	1	
14	R16	碳 膜 电 位 器	WTH-II-1W-47K	1	
15	R17	”	WTH-II-2W-470 Ω	1	
16	R18	线 绕 电 阻	10W-2.5 Ω	1	10W5 Ω 二只并联
17	R19	”	RXY-50W-50 Ω	1	
18	R21	”	RXY-10W-1K	1	
19	R22、24、26	碳 膜 电 阻	RT-0.25W-10K	3	
20	R23	碳 膜 电 位 器	WT-II-1W-22K	1	
21	R25	”	WT-II-1W-2.2K	1	
22	R27	碳 膜 电 阻	RT-0.25W-36K	1	
23	R28	”	RT-0.25W-4 K	1	
24	R29、35、37	”	RT-0.5W-2K	3	
25	R30	”	RT-0.25W-470 Ω	1	
26	R33、34、38	”	RT-0.5W-100 Ω	3	
27	R36	碳 膜 电 位 器	WTH-II-1W-3.3K	1	
28	R39	法 琅 质 电 阻	200W-1K	1	
29	R50	可 变 电 阻	110 Ω -2A	1	
30	C1、C2	纸 质 电 容 器	CZM-W-0.1 μ F-K	2	
31	C3、C4	”	CZY-2-4 μ F-1500V	2	
32	C5	电 解 电 容 器	CDX-N-100 μ F-15V	1	
33	C6	纸 质 电 容 器	CZJX-0.05 μ F-160V	1	
34	C7、C8	”	CZJX-0.01 μ F-400V	2	
35	C9	纸 解 油 质 电 容 器	0.5 μ F-2000V	1	
36	1,2RD	熔 断 器			
37	3,4RD	快 速 熔 断 器			
38	1JC, 2JC	交 流 接 触 器	CJOZ-10A/380V	2	
39	V=	直 流 电 压 表	44C2-1.5KV	1	
40	A=	直 流 电 流 表	44C2-5A	1	
41	B1	电 源 变 压 器	380V/30V, 60V	1	
42	B2	脉 冲 变 压 器		1	
43	L	滤 波 电 感	ϕ 1.3, 600T	1	
44	CT	高灵敏继电器触点	3000 Ω	1	温度自控用