

## 最高指示

无产阶级文化大革命的斗、批、  
改阶段，要认真注意政策。

在订计划的时候，必须发动群  
众，注意留有充分的余地。

钢冲模电火花加工专辑



低压电器工人

# 目 录

## 第一章 概述

- § 1—1 电火花加工物理本质浅述 ..... ( 1 )
- § 1—2 电火花加工机床的组成及其作用 ..... ( 2 )
- § 1—3 电火花加工中的几个规律和现象 ..... ( 3 )
- § 1—4 电火花加工的特点和主要用途 ..... ( 4 )
- § 1—5 国内钢冲模电火花加工的发展概况 ..... ( 5 )

## 第二章 脉冲电源

- § 2—1 脉冲发电机 ..... ( 7 )
- § 2—2 弛张式电源 ..... ( 7 )
  - (1) RC线路 ..... ( 8 )
  - (2) RLCL线路 ..... ( 8 )
  - (3) RLC—LC线路 ..... ( 10 )
- § 2—3 闸流管独立式脉冲发生器 ..... ( 10 )
- § 2—4 线路中主要元件的作用, 制造及  
使用时注意事项 ..... ( 22 )
- § 2—5 电器箱的装配 ..... ( 28 )
- § 2—6 脉冲发生器的调试 ..... ( 30 )
- § 2—7 故障及其排除 ..... ( 31 )

## 第三章 电火花加工机床机械部分介绍

- § 3—1 概述 ..... ( 33 )
- § 3—2 主轴头 ..... ( 34 )
- § 3—3 床身立柱及座标工作台 ..... ( 40 )
- § 3—4 工具电极夹头 ..... ( 41 )
- § 3—5 电火花加工机床电液主轴头概述 ..... ( 42 )

|       |                    |        |
|-------|--------------------|--------|
| § 3—6 | 电液压主轴头系统工作原理 ..... | ( 43 ) |
| § 3—7 | 电液压主轴头的结构 .....    | ( 44 ) |
| § 3—8 | 使用和维护中的几个问题 .....  | ( 45 ) |

## 第四章 电火花加工机床的自动控制系统

|       |                         |        |
|-------|-------------------------|--------|
| § 4—1 | 对火花间隙调节器的要求 .....       | ( 47 ) |
| § 4—2 | 火花间隙值的测量 .....          | ( 48 ) |
| § 4—3 | 火花间隙调节器的工作原理 .....      | ( 51 ) |
| § 4—4 | 工具电极的进给方式和相应的调节系统 ..... | ( 52 ) |

## 第五章 电火花加工机床工作液系统

|       |                           |        |
|-------|---------------------------|--------|
| § 5—1 | 概述 .....                  | ( 61 ) |
| § 5—2 | 工作液系统的作用要求和重要性 .....      | ( 62 ) |
| § 5—3 | 工作液强迫循环及其在电火花加工中的应用 ..... | ( 62 ) |
| § 5—4 | 工作液的清淨 .....              | ( 67 ) |

## 第六章 冲模电火花加工工艺

|        |                        |        |
|--------|------------------------|--------|
| § 6—1  | 冲模电火花加工的工艺方法 .....     | ( 71 ) |
| § 6—2  | 冲模电火花加工用的工具电极 .....    | ( 75 ) |
| § 6—3  | 凹模 .....               | ( 76 ) |
| § 6—4  | 电规准的确定与转换 .....        | ( 77 ) |
| § 6—5  | 各种类型模具的加工工艺方法 .....    | ( 81 ) |
| § 6—6  | 机械扩大间隙的方法 .....        | ( 83 ) |
| § 6—7  | 化学侵蚀及其在电火花加工上的应用 ..... | ( 83 ) |
| § 6—8  | 加工稳定性 .....            | ( 85 ) |
| § 6—9  | 工具电极的设计与制造 .....       | ( 87 ) |
| § 6—10 | 阶梯形电极应用 .....          | ( 91 ) |
| § 6—11 | 加工实例 .....             | ( 93 ) |

毛主席教导我们：“我们必须全心全意地依靠工人阶级，团结其他劳动群众，争取知识分子。”

## 电火花加工技术讲座

# 鋼冲模电火花加工

## 第一章 概 述

### § 1—1 电火花加工物理本质浅述

电火花加工是通过浸在电介质液体中的工具电极和工件之间的火花放电，使工件达到所需要的尺寸和形状的一种加工方法。

电火花会使金属腐蚀这一现象，很早以前已被发现，但是作为一种尺寸加工方法，却只有廿多年的历史。由于实践不够充分，因此，直到目前，对于电火花加工的物理本质还没有完整的理论。曾有不少假设试图说明电火花加工的物理本质，但都不能用来阐明实践中发生的现象。目前，一种比较公认的解释是：金属的电火花加工是火花放电时所产生的电热效应的结果。根据这一解释，在充满液体电介质的工具电极与工件之间的间隙上，施加脉冲电压后，在间隙中产生很强的电场，从而使这个区域间的介质电离，形成通道并产生火花放电。由于放电时间很短，且发生在放电区的小点上，所以能量高度集中，放电区的温度很高（高达10000°C左右），引起了金属材料熔融或蒸发。中心的金属被蒸发掉了，形成了小穴。部分熔化的金属被挤到

工件表面，形成小的熔化金属穴口（图1）。有的没有被抛出就被冷却，结果变成热影响层。一次脉冲放电后，熔化的金属微粒被介质液体冷却凝固，然后迅速从间隙中冲走。一次放电形成一个小穴，多次放电的结果，就在工件上加工出了所需要的型孔，以达到尺寸加工的目的。

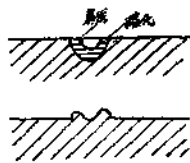


图1 电火花加工的凹穴

## § 1—2 电火花加工机床的

### 组成及其作用

从上面所谈的情况可以看到，要想实现电火花加工过程，必需具备三个要素，即脉冲电源、机械部分和自动控制系统以及工作液净化与循环系统。

1. 脉冲电源 加在放电间隙上的电压，必须是脉冲的，否则，放电将成为连续的电弧，加工过程将成为电弧焊接或切割，达不到仿型加工的目的。

所谓脉冲电源，实际上就是一种电气线路（如RLCL线路）或装置（如脉冲发电机），它们能发出具有足够能量的脉冲电压波形。

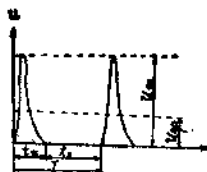


图2 脉冲波形图

典型的脉冲波形如图2所示。

图2中的 $T$ 称为脉冲周期，单位是秒或微秒，而周期的倒数 $1/T$ 则称为频率，单位是，脉冲/秒； $t_n$ 称为脉冲作用时间； $t_s$ 称为脉冲间歇时间； $u_M$ 称为峰值电压（伏）； $u_{cp}$ 称为平均电压（伏）。单个脉冲的能量 $W_n$ ，在图上没有画出，它的定义是：在 $t_n$ 时间内，各脉冲电流瞬时值与各脉冲电压瞬时值的乘积之和的平均值。以上几项是在脉冲电源方面经常遇到的几个名词。也是对脉冲电源的最主要的要求。

2. 机械部份和自动控制系统 这两部分的作用主要是保证加工的连续进行，所以其第一作用是维持工具电极和工件之间有一个适当的放电间隙；第二作用是使工具电极与工件在相对运动时能保持一定的精度。

3. 工作液净化与循环系统 工作液的作用是使能量集中，以强化加工过程，带走放电时所产生的热量和电蚀产物，以维持间隙中电蚀产物与热量的平衡。工作液系统包括工作液的储存、循环及其调节与保护、清淨再生以

及利用工作液强迫循环系统。实践证明,没有一套合理的工作液系统,加工将难以进行。

上述三要素,有时也称为电火花加工机床的三大件,它们组成了电火花加工机床这一统一体,以满足加工工艺的要求。

### § 1—3 电火花加工中的几个规律和现象

1. 生产率和表面光洁度 生产率是在单位时间内从工件上加工下来的金属的体积(或重量),单位是[毫米<sup>3</sup>/分]或[克/分]。生产率的高低受许多因素的影响(如机床三大件,加工工艺,操作人员的熟练程度等),不可能写出一个综合的表达式来反映各个方面的影响。从脉冲电源方面研究,得到如下规律:

$$\gamma = K_1 \cdot W_n \cdot f_n \dots\dots\dots (1)$$

式中  $\gamma$ ——蚀除速度,  $K_1$ ——比例系数,它与电极材料、脉冲持续时间等有关;  $W_n$ ——单个脉冲能量;  $f_n$ ——脉冲频率。从公式(1)可以看到,在  $K_1$  值一定时,如果想提高蚀除速度则可提高  $W_n$  和  $f_n$ 。但是  $W_n$  的提高,却会使加工表面的光洁度大幅度下降,这是因为表面光洁度与单个脉冲能量有下列关系:

$$H_{CK} = K_2 \cdot W_n^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2)$$

根据这两个公式不难看出,在一定的光洁度要求下,要想从电源方面提高生产率,则可提高脉冲频率,电火花加工脉冲电源的发展,也就是按照这一规律进行的。

2. 工具电极的耗损 正如一切机械加工一样,在加工过程中,工具总是要耗损的。在电火花加工中,工具电极的耗损更为严重。

工具电极的耗损可分为体积耗损和长度耗损两种。所谓体积耗损是指工具电极的蚀除体积与工件的蚀除体积之比的百分数,即

$$CV = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $\gamma_1$ ——工具电极的蚀除体积,

$\gamma_2$ ——工件的蚀除体积。

这一概念在型腔的加工中采用较多。

所谓长度损耗是指工具电极长度方向上已耗损尺寸( $h_2$ )与工件上已加工出的尺寸( $h_1$ )之比(见图3),因此,

$$C_s = \frac{h_2}{h_1} = \frac{H - h_1}{h_1} \dots\dots\dots (4)$$

式中 $H$ ——工件(即模板)厚度。

长度损耗的概念,在加工冲模时得到广泛采用。

影响工具电极损耗的因素很多,例如电极材料,工件材料,工作液性质,脉冲持续时间,脉冲波形等。它们不但单独对损耗产生影响,它们的配合还对损耗起着重要作用。

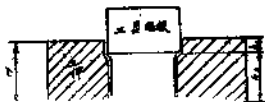


图3 长度损耗示意图

3. 极性效应 在电火花加工过程中, 工具电极通常接在脉冲电源的负端, 而工件则接正端, 这叫正极性。如果相反, 就叫负极性。因此, 所谓正极性与负极性是指工件与电源的那一端相联接。

为了使生产率高, 而电极损耗小, 对于不同的材料, 不同的电源, 不同的工作液, 就要选用不同的极性, 否则工具电极损耗急剧上升, 而生产率却大大下降。上述现象, 就叫做极性效应。关于极性效应的实质, 目前也没有公认的解释, 但一般可认为是极性不同, 在工具电极和工件上引起了能量的分配不同, 从而造成蚀除速度的不同。

由于理论的不够完善, 因此在实际加工时, 极性的选择主要是靠实验确定。

## § 1—4 电火花加工的特点和主要用途

电火花加工的主要特点可以归纳为以下几点:

1. 加工过程是靠电热效应实现的, 工具电极与工件并不直接接触, 因此没有机械加工时的切削力。

2. 工具电极的材料可以比工件软, 也可以比工件硬, 因此, 不论被加工材料是硬是软, 只要导电性能良好, 都能进行加工。

3. 加工是仿形加工, 与电解加工相比, 更易保证几何精度。

基于上述特点，电火花加工的主要用途有以下几项：

1. 制造冲模、锻模和压铸模；
2. 加工小孔、异形孔以及在硬质合金上加工螺紋及螺孔；
3. 在金属板材上切割出零件；
4. 加工窄缝；
5. 磨削平面和圆面；
6. 其他（如强化金属表面，取出折断的工具，在淬火件上穿孔，直接加工型面复杂的零件等）。

目前在生产上应用得最广泛，最成熟的是钢冲模的加工，因此本讲座主要讨论这方面内容。

## § 1—5 国内钢冲模电火花加工的发展概况

毛主席教导我们：“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。”我国电火花加工的发展是从阳极机械切割工艺开始的。在短短的几年内，特别是58年大跃进以来，其发展异常迅速。目前在生产上广泛应用电火花加工与成型磨削相配合来解决冷冲模的加工。其他如硬质合金弹簧夹头的加工；长脉冲电蚀加工锻模及喷油咀的加工，硬质合金螺旋刀具及量具的加工等，均已在生产上得到成功的应用。

在设备方面，目前国内已成批生产电火花穿孔机床，线电极电火花切割机床，线电极电火花内圆磨床，电火花穿小孔机床和磨锥孔机床、长脉冲电蚀加工机床以及其他一些专用的电火花加工机床。目前全国电蚀加工机床的拥有量已大大增加。

钢冲模的电火花加工，在我国电火花加工的发展中是一个主流，而钢冲模电火花加工的发生与发展又和生产需要密切相关。

在钢冲模电火花加工初期，采用的设备是：电源为RC型线路，自动控制系统为单机悬浮式主轴头，工作液无强迫循环，工具电极用黄铜。这时生产率低，工具电极的制造麻烦。成型磨削与铸铁电极的采用，解决了工具电极的制造问题，使钢冲模的电火花加工前进了一步。工艺的进步，对电源控制提出了要求，于是在电源方面出现了RL，RLCL等弛张式电源，继而又出现了闸流管，电子管等独立式脉冲电源，以及RLC—LC等电源，在控制方面，则相继出现了双机继电器式，双机差动式，单机式以及电—液压式控制

系统。

在这时期，机床的机械结构，布局方面也有很大的发展；在工作液系统方面则有强迫循环的产生以及油杯结构、射流管等方面的发展。

所有这些，又反过来大大促进了工艺的发展。

就目前的情况看来，我国在电火花加工钢冲模方面，无论就设备说，还是就使用情况看，都已达到现代先进水平。如我国的双管电源在加工钢冲模时光洁度为  $\nabla\nabla\nabla_7$  时的生产率为  $10-13$  毫米<sup>3</sup>/分，而日本的 D100M 在  $\nabla\nabla\nabla_7$  时却只有 3 毫米<sup>3</sup>/分。更重要的是，在发展电火花加工过程中，我们遵循毛主席的教导：“我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行，”而是密切的结合了我国的特点，围绕着我国生产实际的需要，有所独创、有所发展。

## 第二章 脉冲电源

### § 2—1 脉冲发电机

脉冲发电机产生的脉冲电流可用于金属的尺寸加工，对脉冲发电机提出的基本要求是：

在空载电压方面，脉冲波形应接近矩形，这样可在相同脉冲延内获得较大输出功率。

应有足够的脉冲间隔度，以便放电间隔中电蚀产物及时排出和防止变为连续的电弧放电。

应产生单向脉冲，以减少工具电极的损耗。

为此，对电机的结构和参数都做了相应的设计。利用这种电源加工，有的称为电脉冲（或长脉冲）电蚀加工。

这种脉冲发电机的主要规格是：

|        |         |
|--------|---------|
| 脉冲频率   | 400脉冲/秒 |
| 工作平均电压 | 26伏     |
| 空载平均电压 | 32伏     |
| 工作平均电流 | 80安     |
| 最小限流电阻 | 0.07欧   |
| 额定励磁电流 | 1.3安    |
| 平均功率   | 4.3瓩    |

超过过负载规范下，空载平均电压可提高到38伏，过负载平均电流可达100安。

脉冲发电机做电源，脉冲时延长，脉冲功率大，生产率虽高，但加工精度低，多用于加工锻压模型腔，进而钳工打光。也可以用于冲裁模型腔电火花加工的预孔加工。

### § 2—2 弛张式电源

由 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 元件适当的组合，可构成脉冲发生器，最早多使用 $RC$ 线路，现经许多改进，已成为电火花加工中最好的发生器的一种形式。弛张式发生器的特点是：

加工精度高，可达二级以上。

加工光洁度高，精加工可达 $\nabla\nabla\nabla\nabla 7-\nabla\nabla\nabla\nabla 8$ 以上。

规范调整可以很大，各规范条件都能有合适的生产率。

装置简便、牢固、便宜、易于推广。

### (1) RC 线路

最简单的线路是RC线路(图4)。它是由贮能电容及限流电阻构成。直流电源E经限流电阻R给贮能电容C充电，待达到一定电压时，电极与工件之间的间隙——火花间隙被击穿，电容C将能量放出，腐蚀了金属。

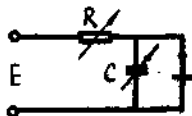


图4

RC线路所构成的脉冲发生器有很多缺点：

最大功率不能超过 $P_K = 0.5 \frac{E^2}{R_K}$ ， $R_K$ 为最小电阻值，再小就要引起电弧放电，所以生产率受到限制。

效率低，最大为50%，在功率最大时，效率约38%。

工艺指标不稳定，受干扰后会引起控制失灵。

由于RC线路产生变号脉冲(见图5)，所以工具电极损耗大。

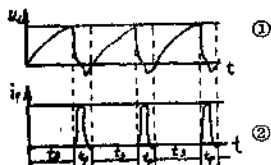


图5 ①电压波形  
②电流波形

由于上述各种原因，使这种脉冲发生器应用受到限制，它不能同时获得几方面的较为满意的工艺指标。因此目前多用于精度与光洁度要求不高的粗加工，或者精度与光洁度要求较高而对生产率要求不高的电火花加工中。

RC脉冲发生器及其它弛张式脉冲发生器的工作电压受到火花间隙的影响，因而实际波形与图5的波形是有差异的。图6是实际加工时的电压波形。加工规范为：

$E = 220$  伏

$IK = 5$  安

$C = 12$  微法



图6

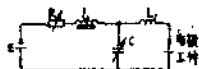


图7

### (2) RLCL 线路

RLCL脉冲发生器工作原理图(见图7)，是目前应用最多的一种弛张式脉冲发生器。 $L$ 及 $L_1$ 的作用是为了克服RC脉冲发生器的缺点而增加的。

R 限流电阻  
L 铁心电感  
C 贮能电容  
 $L_1$  空心电感  
E 直流电源

在生产实践中常用的且具有一定效果的线路如图 8 所示。

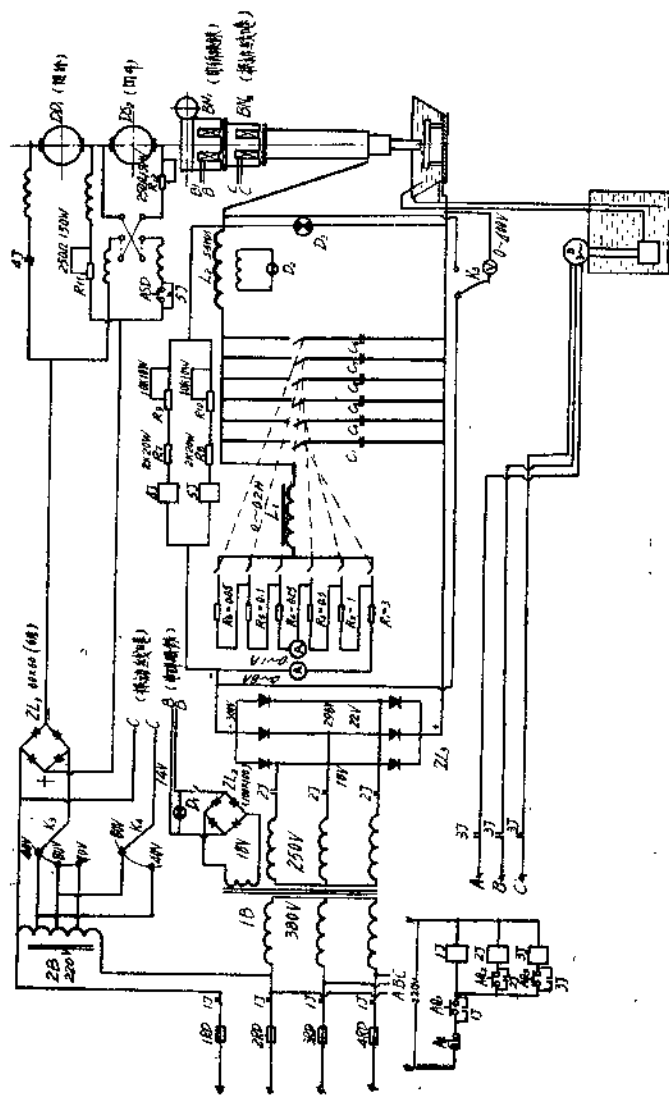


图 8

(3) 在 $RLCL$ 的基础上, 为了进一步改善脉冲波形, 提高工艺指标, 在生产实践过程中把 $RLCL$ 先装成了 $RLC-LC$ 线路, 其具体线路见图9。

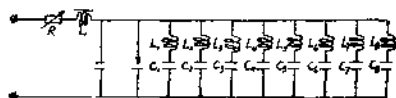


图9

|          | $L_1$                               | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $L_5$ | $L_6$ | $L_7$ | $L_8$ |
|----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 电感量 $MH$ | 6.1                                 | 10.8  | 17    | 24.3  | 33    | 43    | 54.5  | 67.5  |
| 圈数 $T$   | 7                                   | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 38    | 45    |
| 导线规格     | $\phi 0.5$ 毫米 $\times 20$ 根多股聚氯乙烯导线 |       |       |       |       |       |       |       |
| 线圈外径     | $\phi 80$ 毫米                        |       |       |       |       |       |       |       |

电感绕在层压纸筒上, 单层, 密绕。

规准选择

| 规准选择 | $C$<br>( $\mu f$ ) | $R$<br>( $\Omega$ ) | $\mu_0$<br>( $V$ ) | $L$<br>( $H$ ) | $C_1$<br>( $pf$ ) | 单边间隙<br>(毫米) | 光洁度                       |
|------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------|---------------------------|
| 粗加工  | 1                  | 70                  | 300                | 0.26           | 8000              | 0.1          | $\nabla 3$                |
| 粗加工  | 0.5                | 90                  | 300                | 0.26           | 8000              | 0.08         | $\nabla \nabla 4$         |
| 细加工  | 0.25               | 90                  | 300                | 0.16           | 6000              | 0.05         | $\nabla \nabla 5$         |
| 细加工  | 0.1                | 115                 | 225                | 0.06           | 3000              | 0.04         | $\nabla \nabla 6$         |
| 精加工  | 0.05               | 115                 | 200                | 0.06           | 1500              | 0.03         | $\nabla \nabla \nabla 7F$ |
| 精加工  | 0.025              | 180                 | 200                | 0.03           | 1500              | 0.02         | $\nabla \nabla \nabla 7中$ |
| 精加工  | 0.01               | 230                 | 200                | 0.03           | 1500              | 0.01         | $\nabla \nabla \nabla 7上$ |

附加电容为云母电容器, 实际上有三挡, 即8000微微法、3000微微法、1500微微法, 苏州向东机床电器厂(原名苏州社会福利机床电器厂)可供应。

在控制系统采用液压头时, 加接附加回路后, 对加工的稳定性、光洁度、生产率均有明显效果, 控制系统若为双机差动系统亦有效果(上海第八机床厂试过)但若是双机继电器系统, 效果就不太显著。

此外附加电容亦可用一挡即1500微微法。

### § 2—3 闸流管独立式脉冲发生器

电火花加工机床上采用闸流管独立式脉冲发生器作为脉冲电源, 在国内

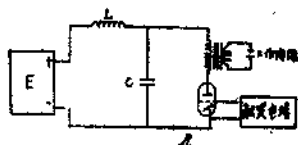
仅有几年的历史。64年生产上最先使用了单闸流管独立式脉冲发生器（以下简称单管发生器），65年初又用了双闸流管独立式脉冲发生器（下称双管发生器）由于闸流管发生器在生产上显示了它的优点，因而引起各有关单位的普遍重视。在制造和采用单、双管发生器的同时，并对其进行新的研究：如65年底有单位在试验装置上试用了大功率的闸流管，最近又有些单位装试成了四闸流管独立式脉冲发生器和大功率闸流管的双管发生器。目前闸流管发生器已成为许多单位电加工部门的主要设备。

实践证明，闸流管脉冲发生器配合液压主轴头的电火花加工机床是适宜于加工一般中小型或较大冷冲模的（型腔周长在50~300毫米，最大曾加工过1700毫米，刃口光洁度 $\nabla\nabla_6 \sim \nabla\nabla\nabla_7$ ）已有装置的粗加工最大生产率可达150~200毫米<sup>3</sup>/分，个别试验装置最高达330毫米<sup>3</sup>/分。加工模具时当刃口光洁度达 $\nabla\nabla_6 \sim \nabla\nabla\nabla_7$ 时的平均生产率已超过30毫米<sup>3</sup>/分（用铸钢电极加工钢时）。

下面就生产上已经普遍采用的单管发生器和双管发生器的线路原理等作一简单介绍。

### 单闸流管脉冲发生器

单闸流管发生器的原理线路如图10所示。图中E是高压直流电源部分。当储能电容器C经过充电电感L由电源E充电到额定电压时，触发电路的脉冲信号定期地加到脉冲闸流管J的控制栅极上，使闸流管导通。于是电容器C经过脉冲变压器T<sub>n</sub>的初级绕组放电。能量经过脉冲变压器的次级绕组输向火花间隙。利用火花放电的热电过程来蚀除工件。



由于闸流管J的导通是由触发电路的脉冲点燃信号控制的，因而储能电容器的充放电频率就只受触发信号频率的控制，不受放电间隙的物理状态变化的影响，同时，每次放电的脉冲能量和脉冲宽度等主要电气参数也基本上不受它的影响，所以能够保证较好的加工精度。在RC型线路中，放电结束后火花间隙仍处在电源的直接控制下，因此脉冲间的停歇时间很短，当频率升到一定限度时，火花间隙中将产生连续放电，破坏加工过程的稳定性，在闸流管发生器里脉冲之间的停歇时间较长，间隔度 $q$ 一般大于4~5（ $q =$

$\frac{T}{t_n}$ ，式中  $T$ —脉冲重复周期， $t_n$ —脉冲宽度）。在脉冲停歇期间闸流管  $J$  处于截止状态，尽管电容器  $C$  上的电压经充电而上升，但工件与工具电极之间的电压并不随之上升，这就有利于火花间隙绝缘强度的恢复，从而可以在保持单个脉冲能量不变的情况下用提高脉冲频率来提高加工生产率。

## 双闸流管脉冲发生器

双管发生器的充电回路是由两个支路并联组成的（见图11）。为了避免两只闸流管在导通时的相互影响，采用了充电电感  $L$  与电容器  $C$  并联的“ $LC$  并联回路”，两个闸流管  $J_1$  和  $J_2$  则分别接在其中的一个支路上。

触发电路的引燃脉冲信号轮流交替地加在  $J_1$  和  $J_2$  的栅极上使它们轮流地导通。当其中一个闸流管导通的时候，直流高压电源通过脉冲中变压器  $T_n$  的初级绕组对该闸流管所在支路的储能电容器进行充电，此“充电电流”即在脉冲变压器上形成脉冲电流。现以  $J_1$  为例说明之：当触发电路的引燃脉冲讯号加到闸流管  $J_1$  时，闸流管  $J_1$  导通，直流高压电源  $E$  经过脉冲变压器  $T_n$  的初级绕组对  $J_1$  所在支路中的电容器  $C_1$  充电，电能经过脉冲变压器  $T_n$  输向火花间隙，完成放电加工过程。在这个充电过程中，电容器  $C_1$  上的电压是按  $u_{AB}$  的方向增加的，直到脉冲闸流管  $J_1$  熄灭瞬时为止。设此时电容器上的电压为  $+u_{KC}$ 。脉冲闸流管  $J_1$  熄灭之后， $L_1C_1$  并联回路便产生振荡过程，即电容器  $C_1$  缓慢地通过电感  $L_1$  进行放电， $C_1$  上的电压由  $+u_{KC}$  变到  $-u_{KC}$ ，正好在此时触发电路将下一个引燃脉冲讯号又输给闸流管  $J_2$  栅极，使其再次引燃，重复充放电便如此循环进行。

两支路的充放电过程是一样的，只是在相位上相差半个周期。

比较上面所叙的两种线路后我们可以看出：在形成输出脉冲电流的方式上两种线路是不同的，单管发生器里是由于储能电容器的“放电”而在脉冲变压器上形成脉冲电流。而双管发生器则是由于电源对电容器进行“过渡充电”而在脉冲变压器上形成脉冲电流。因而也有人把前一种线路称为“放电式脉冲发生器”而称后一种为“充电式脉冲发生器”，以资区别。

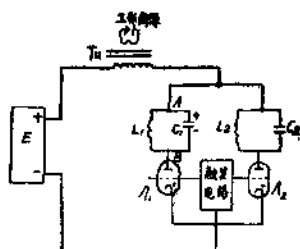


图11 双闸流管脉冲发生器线路原理图

闸流管发生器线路，按其充电回路储能电容器  $C$  的电容量，电感  $L$  的电感量与回路所工作的脉冲重复频率的不同，可分为三种工作状态，即谐振状态、线性状态和振荡状态；

1. 谐振工作状态：当脉冲重复频率正好等于回路电感电容的谐振频率（固有频率）的二倍时所处的工作状态称为谐振状态，即：

$$f = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$$

式中  $f$ ——回路所工作的脉冲重复频率，

$L$ ——回路电感的电感量，

$C$ ——回路电容器的电容量。

2. 线性工作状态：脉冲重复频率大于回路电感电容的谐振频率时的状态，即

$$f > \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$$

3. 振荡工作状态：则是当脉冲重复频率小于回路电感电容的谐振频率时所处的状态，即

$$f < \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$$

在确定线路电参数时，通常总是先给定  $C$  的电容量和脉冲重复频率  $f$ ，然后电感量按下式计算：

谐振状态时  $L = \frac{1}{\pi^2 f^2 C}$

线性状态时  $L > \frac{1}{\pi^2 f^2 C}$

或振荡状态时  $L < \frac{1}{\pi^2 f^2 C}$

比较精确地计算电感值时，还得将电容器放电所占的时间考虑进去，因而，

$$L = \frac{\left(1 - \frac{1}{q}\right)^2}{\pi^2 f^2 C} \quad \text{或} \quad L = \frac{(T - t_d)^2}{\pi^2 C f^2}$$

