

上海市工业生产比先进比多快好省展览会
重工业技术交流参考资料

电加工

新成仪表厂等編



科学技术出版社

上海市工业生产总值统计年报编写说明
和工业技术定额参考说明

电 加 工

（附 电 工 广 告 册）



在祖国建設全面大躍进的形势下，中共上海市委和人民委员会为了更好地鼓舞全市职工开展比先进比多快好省运动的积极性，交流想办法、革新技术的经验，促进当前生产高潮及有力地貫徹鼓足干劲、力争上游、多快好省地建設社会主义总路綫，在1958年4月至6月間举办了比先进比多快好省展覽会。

在这一个展覽会上充分反映了生产高潮的主要情况以及技术革新的先进經驗，真可以說是丰富多采，美不胜收。我們为了紧密融合生产，具体为生产服务起見，在現場收集了很多資料以活頁或簡裝本形式出版了大宗技术交流参考資料。茲为便利外地同志們参考起見，特再分門別类輯为汇编出版。

这些資料大体上归納为1.重工業；2.輕工業；3.化学工業；4.紡織工業；5.建筑工業；6.交通運輸業等几个大門类。

上海市工业生产比先进比多快好省展覽会
重工业技术交流参考資料

电 加 工

編者 新成仪表厂等

科学技術出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海發行所总經售

开本 787×1092 耗 1/32·印張 13.6·字數 20,000

1958年7月第1版

1958年7月第1次印刷 印数 1—10,000

統一書号：15119·738

定 价：(6) 0.09 元

电 加 工

目 录

1. 电火花加工及电火花加工法... 新成仪表厂 李士英編 1
(交通大学机械教研组协助)

2. 超声波加工及小型钻孔机... 电工研究所 編
上海电缆厂
交通大学机制工艺教研组整理 17

电火花加工及电火花加工机

(一) 概 述

电火花穿孔加工的基本原理是将一定量的密集电能，以脉冲电流的形式(脉冲延續時間小于 10^{-3} 秒)通过两电极之间的間隙。由于在間隙間的介电質被击穿，而产生温度极高($10,000 \sim 12,000^{\circ}\text{C}$)的电火花。因高温电火花对电极表面的作用，而使电极表面通过电火花的地方有一定量的金属被熔化、气化而分散到四周的介质中，另有一部分軟化的金属亦因高温在液体中产生的冲击波而被彈入介质中。又由于种种尚未完全明白的原因，在电火花加工中，阳极上被电火花去掉了的金属，一般都比阴极上被电火花去掉的金属为多。因此在电火花加工中，总是以工件作阳极，以工具作阴极(在强化中，电极的极性剛相反)。經過足够多的电流脉冲放电后，在工件(阳极)上就产生与工具(阴极)相符合的孔。

产生电流脉冲有很多的方法，其一是用电阻电容电路。

有电动势 E 的直流电源通过镇定电阻使电容器充电。在电容器的两极板达到一定电压后，就因工具和工件所处的环境，

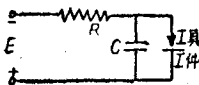


圖 1

而使两者之間产生电火花。在电容器放电后，就重复上述过程(见图 1)。

用电阻电容电路产生电流脉冲是产生电流脉冲的各种方法中最简单的一种。但是事实证明，利用这个方法时，必须采用一定措施来保证两电极間間隙一定，且因工具及工件都有损耗，亦必须采用一定措施来保证工具(或工件)自动送进。解决这两个问题的方法亦是很多的，大致可分为振动法及自动调节法两种。前者是给予工具(或工件)以一定频率及一定振幅的振动。因此在每一次振动中，总有两次机会使工具与工件間的間隙达到要求的数值。而工具及工件的损耗則可用手动进给。自动调节法是利用自动调节器来使工具与工件間的間隙經常保持一定(其中可能发生振动，但这是可设法避免的)。用小直流电动机来调节进给是自动调节法中的一种。工作范围较广，且操作方便，值得推荐。

金属电火花穿孔方法的应用范围是在日益推广中，它的特性可综述如下：

(1) 不受材料的机械性能的影响，只要材料是导电的都可加工；

(2) 无切削力的作用；

(3) 电加工的物理本质虽有金属的熔化及气化现象，但与电焊不同，热作用只限于极薄的一层，不深入到金属内部；

(4) 金属表面由于经过剧烈变化的热过程，因而产生一层极硬的合金层。

了解这些情况后，就可知道金属电加工方法的应用范围如下：

- (1) 制造小孔(达 0.015 公厘)；
- (2) 从整片金属制造金属网；
- (3) 制造螺旋形孔；
- (4) 用电火花加工法在金属上打印、写字；
- (5) 制造狭缝(宽度达 0.120 公厘)；
- (6) 制造钢的及碳化钨的成形冲模及锻模；
- (7) 制造精压模。

(二) 电气装置系统

电气系统主要由整流装置及充电系统所组成。整流装置是为了得到直流电源。在有直流电源或采用直流发电机的情况下，整流装置是可以除去的。

1. 整流器： 输出电压、电流值能满足需要的一般整流器都可采用。在本机床内，整流器中用了 4B25 型的全波整流管，此电子管允许通过很大电流——6.5 安，同时灯丝加热极快，效果非常好。

全部元件及线路都装在铁箱中，铁箱的面板上装着各种电表、指示灯、电源开关及电源插头等。所采用的各种仪表都应注意额定电压、电流是否满足要求。

整流器的电路图如图 2 所示。

电路中所用的导线截面应满足电流强度的要求，线头接焊时不用焊油，接头处需用绝缘漆封闭，同时铁壳应接地，以免漏电发生危险。

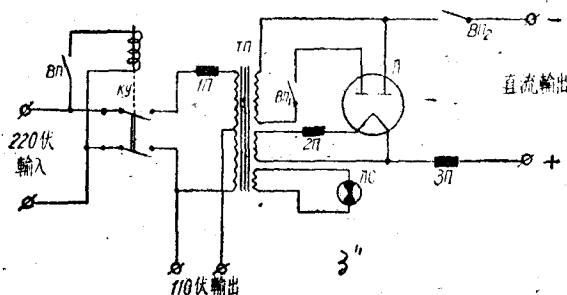


圖 2

BII —保險开关，絕緣耐压 500 伏； KY —繼电器，双刀單閘，250 伏，15 安； TII —电源变压器：初級綫圈以 $\#14$ 綫繞 220 圈（在中間抽头），次級甲以 $\#17$ 綫繞 400 圈，次級乙以 $\#10$ 綫繞 2.5 圈（供整流管灯絲用），次級丙以 $\#24$ 綫繞 6 圈（供指示灯用）

鉄蕊用 29 号矽鋼片，截面积 50×76 公厘，用 50×127 ， 50×178 公厘鉄片拼成口字形，双綫圈式。銅綫用双紗包綫。

$1II$ —交流輸入保險絲，250 伏，15 安培； $2II$ —整流灯絲保險絲，20 安培； $3II$ —直流輸出保險絲，250 伏，8 安培； J —4B25 全波整流管： $I_f=17$ 安培， $U=200$ 伏， $I_p=6.5$ 安培； BII_1 —整流开关，双刀單閘旋轉式开关，250 伏，10 安培； BII_2 —直流輸出开关，双刀單閘旋轉式开关，250 伏，10 安培； LC —指示灯，6~8 伏。

2. 充电系統电路： 充电系統中共有 10 种加工用量，以适应各种加工情况的需要，因而在每次加工时都应正确地選擇一定的加工用量。这样就能保証加工精度，同时得到相应的最高生产率。电火花加工中变换切削用量就是調整电容及电阻，从而达到改变放电时的电流密度的目的。根据不同的电容及电阻就相应地得到粗加工或精加工。在电火花加工中，表面光洁度最高可达到 $\nabla\nabla\nabla_7$ 級。精度最高可达到半徑方向 0.005 公厘（非复杂形状模孔）。

充电系統电路控制图如图 3。

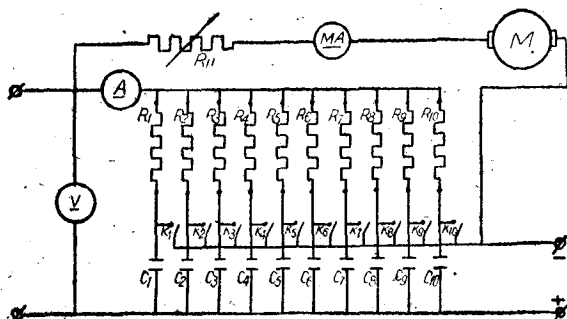


圖 3

R_1-R_{10} —鎮定电阻； C_1-C_{10} —油質电容器，660 伏； MA —直流表 0—500 毫安； A —直流表 0—8 安； U —直流电压表 0—400 伏； R_{11} —120 欧姆，1 安可変式电阻； M —110 伏 1/16 H.P. 直流电机，12,000 轉/分； K_1-K_4 —250 伏，1 安單刀單開开关； K_5 —250 伏，2 安單刀單開开关； K_6-K_7 —250 伏，3 安單刀單開开关； K_8 —250 伏，5 安單刀單開开关； K_9 —250 伏，6 安單刀單開开关； K_{10} —250 伏，8 安單刀單開开关。

上述电路及元件也都裝在一个鉄箱內，而各种开关等裝在鉄箱板面上。系統中主要是电容及鎮定电阻，分別叙述如下。

一、电容器 10 种不同的加工用量所采用的电容量如下：

- | | |
|------------|------------|
| 1. 0.2 微法 | 2. 0.28 微法 |
| 3. 0.55 微法 | 4. 1.1 微法 |
| 5. 12.4 微法 | 6. 20.8 微法 |
| 7. 28.5 微法 | 8. 52.5 微法 |
| 9. 100 微法 | 10. 130 微法 |

每只电容器的电容量以不超过 2 微法較好，否則电容器发热很大，易遭损坏，一些大的电容量就由 2 微法电容并联

而成。采用并联的方式就能即使个别电容击穿时，尚不致停止生产。

二、镇定电阻 所有电阻都装在三角铁架上，下面备有电机通风装置。避免箱中温度太高，所用电机功率为 1/20 馬力。不同加工用量所采用的电阻值如下：

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. 5,500 欧姆(13 瓦) | 2. 4,000 欧姆(18 瓦) |
| 3. 2,000 欧姆(36 瓦) | 4. 1,000 欧姆(72 瓦) |
| 5. 172 欧姆(300 瓦) | 6. 100 欧姆(500 瓦) |
| 7. 72 欧姆(650 瓦) | 8. 47 欧姆(1,000 瓦) |
| 9. 28.4 欧姆(1,300 瓦) | 10. 20 欧姆(1,600 瓦) |

(三)机械装置

机床的机械装置主要是由能自动进给的振动主轴及工作台两部分所组成，床身如不特殊制造，则可以利用一些立式机床加以改装。

电火花加工的电极夹在主轴上。主轴则可在衬套中上下移动，衬套内装有键与轴上键槽配合，防止主轴转动。为了保证加工精度，立柱孔及主轴孔应磨过，以保证平行度。衬套孔和主轴表面光洁度都应达到 7~9 级，同时滑动配合也要求精密一些。为了减小主轴磨损，主轴需要淬火。主轴键槽两侧也应磨光；同时为了避免键配合的间隙，衬套上的固定键可用校准螺栓调整。

下面将机械部分的几个主要部件作较详细的介绍。

(1) 自动进给系统：机构的作用如图 4。

电极的自动进给(以保持电极与工件间的间隙)是由直流电机及滑轮系统自动调节的。自动调节作用的原理如后。

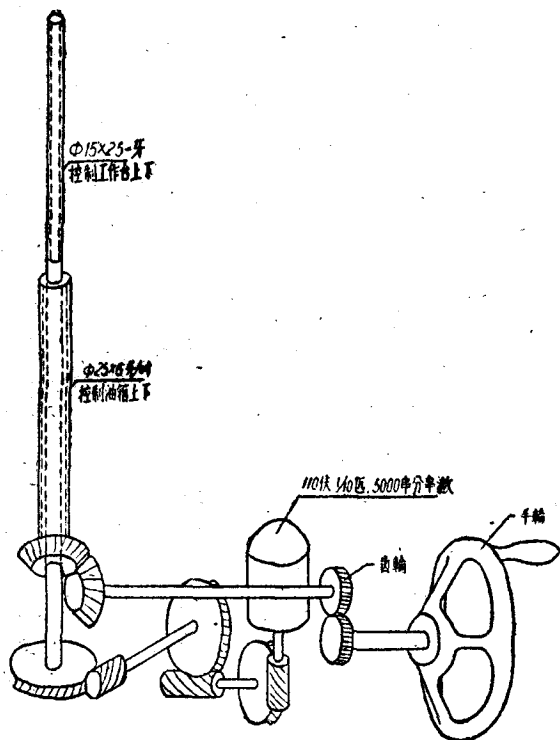


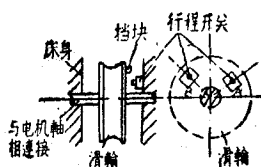
圖 4 自動進給系統圖

直流电机是串接在放电电路中，主軸依靠本身的重量总是带着电极向下移动。当电极与工件之間到一定大小的間隙时，就发生放电。如电极再下去而接触工件时，就发生短路，此时放电电路中的电流就很大。所以电动机扭矩就通过滑輪将电极上升，使放电电路开路时，电机此时也就停止作用。若电极离工件太远，則不能放电，电动机不能阻止主軸向下移动。由于机件間摩擦的作用，电极就保持与工件离开一定距离(0.25~0.3 公厘)，保証电加工順利进行。

主軸的后面有对重，通过滑动系统平衡主軸一部分重量。对重下端装着彈簧及螺杆螺母。每次加工前，先調整好螺母的位置，这样就可避免工件孔打穿时，电极卡时而发生短路。

为了保証主軸在垂直方向移动的精度，在本机床中移动距离不大于 10 公厘。在要打深孔的情况下，可以附加一套电气控制系统，它工作过程如下：

当主軸与电极下降时，滑輪也随之轉动。但轉到一定角度时，滑輪上的擋块就碰着行程开关 A，就閉合傳动工作台馬达的电路。馬达开始轉动，并使工作台上升。由于工作台較快的上升，通过电动机自动进給机构的作用，电极也会慢慢的抬起，滑輪就反轉回去，直到滑輪上的擋块碰着行程开关 B 时，就打开了工作台馬达的电路，工作台停止上升。于是主軸又开始下降，如此循环就能达到在主軸移动范围很小，也可以打較深的孔，如图 5 所示。



(2) 工作台的傳动系統：工作台的移动，是由快速馬达通过三对蝸輪蝸杆及长絲杆而傳动的。工作台移动的速度大小，可直接調节馬达的轉速而得到。在本机床上，快速上升是 10 公厘/分，慢速是 3 公厘/分。

工作台的下降則由馬达反轉而获得。工作台移动，除以

上所述的馬達傳動系統外，還須有手搖操作系統，以使加工前調整方便(見圖 6)。

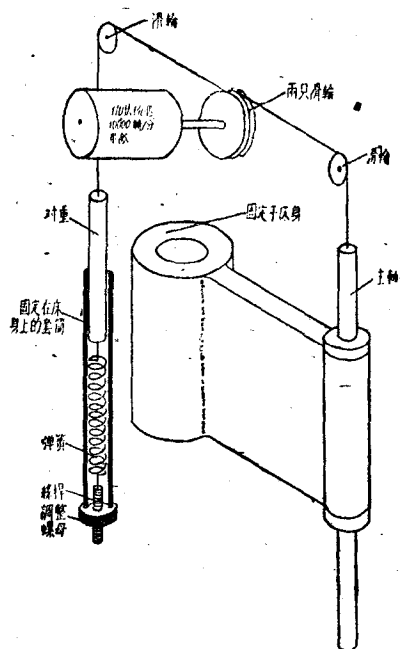


圖 6 工作台傳動系統圖

工作台上開有直徑 40 公厘的孔槽，這樣在空心電極打孔時，能使中間打下的材料落去。同時工作台上開有兩條槽，以使用螺絲壓板夾緊工件。

工作台下面裝着一個油箱，能上下移動。這樣就便于加工過程中，觀察工件被加工的情況。工件在油中加工時，以低於液面 60 公厘為宜。油箱的上下移動是用手輪通過一對齒輪及傘齒輪傳動套在工作台的長絲杆而得到的（如圖 7 中所示）。

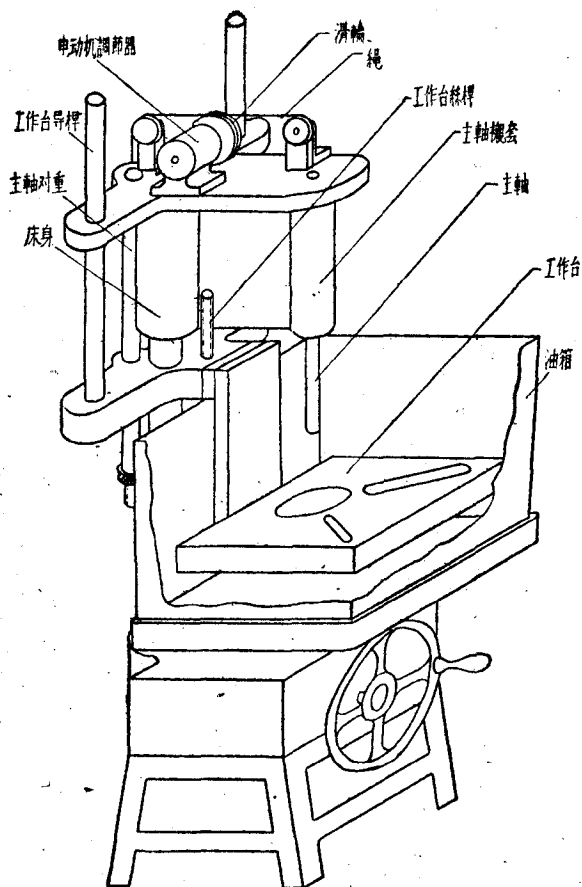


图 7

(四) 生产率及加工工艺

电火花加工中，生产率的高低直接受加工用量的影响，加工用量大，生产率就高，表面光洁度越低。在加工过程中，进给的速度则不论采用那一级加工用量时，都是随电极

的深入工件而逐渐减小。这是由于电极深入工件，就增加了排出金属屑的距离，也即小金属屑排出困难，常会有部分金属屑留在工件与电极的间隙中。这些金属屑也就会增加电极与工件的短路情况，也即降低了电火花加工的速度。

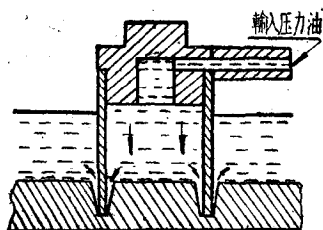


圖 8 液体在电极中循环
排除金属方法

为了消除上述原因，可以将压力油通入空心的电极内，也就造成强迫循环，通过液体的循环将金属屑都排出。这样是能够提高生产率的，工作情况见图 8。

冷却液采用 1/3 变压器油和 2/3 锭子油的混合液体。这种冷却液的优点是绝缘性能好，同时较采用火油耗损少，不易燃烧，如图 8 所示。

电极材料的选择与加工材料有关，正确地选择电极材料就能提高生产率。一般常用的电极材料有软钢、铝、生铁、熟黄铜、铸黄铜、紫铜等。

各种材料的电极在加工高速钢材料工件时的生产率(单位为立方公厘)如下表所示。

加工用量	铸黄铜	熟黄铜	紫铜	生铁	铸铝	低炭钢
1	0.55	0.44	0.275	0.408	0.534	0.20
2	0.8	0.64	0.40	0.593	0.778	0.29
3	1.26	1.00	0.63	0.934	1.221	0.495
4	1.77	1.38	0.86	1.275	1.67	0.625
5	4.25	3.40	2.125	3.150	4.13	1.43
6	5.20	4.16	2.6	3.85	5.05	1.89
7	6.9	5.50	3.45	5.12	6.70	2.51
8	10.4	8.30	5.20	7.70	10.08	3.78
9	20.70	16.60	10.35	15.32	20.02	7.53
10	34.5	27.60	17.25	25.60	33.50	12.65

根据試驗数据中可以看出，在加工高速鋼材料时，电极材料用鑄黃銅最适宜。

电极加工时是在四面各方发生电火花，所以加工出的孔徑，一般較电极尺寸要大。工件孔徑与电极之間的間隙大小，是与电极材料与加工材料的性質有关。但最重要的因素，还是电火花的加工用量。

在加工一定要求的穿孔时，电极的直徑可利用公式計算。

$$S = d - 2a$$

式中： d —孔； S —电极工具； a —半徑間隙。

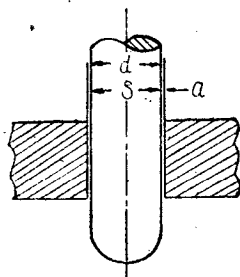


圖 9

間隙值根据多次实验得到如下数据(见图 9)。

电极和孔徑半徑間隙量：

加工規准	公 厘	加工規准	公 厘
1	0.015 ~ 0.018	6	0.043 ~ 0.046
2	0.018 ~ 0.022	7	0.046 ~ 0.048
3	0.022 ~ 0.028	8	0.048 ~ 0.052
4	0.028 ~ 0.032	9	0.052 ~ 0.065
5	0.032 ~ 0.043	10	0.065 ~ 0.068

电极形状直接影响加工的工件形状，所以在制造电极时，在尺寸方面需严格控制外，同样也应使几何形状十分正确。在加工大型形状复杂的阴模通孔时，电极应做成空心的，这样就可以提高生产效率。因为此时加工的截面較实心的小得多，同时还可节约金属材料，如图 10 所示。

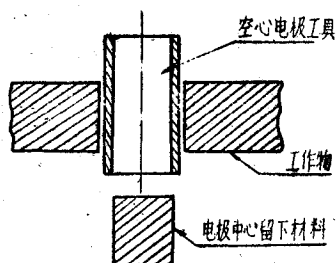


圖10 用空心电极工具穿破工作物

制造电极的原材料一般用金属薄板，而加工圆孔可直接采用管料，更为简便。

电极在加工时，本身也消耗很大，在加工高速钢材中，各种电极材料消耗值见下表数据。

电极工具材料消耗按工件原百分比计算。

材料名称	消耗量%	材料名称	消耗量%
鎢黃銅	74~96	低炭鋼	174~96
紫黃銅	67~87	鎢 鋁	90~117
紫 銅	50~65	生 鐵	27~35

电极的形状在加工中也要发生变化。

在加工孔开始时，它的电极工具端面原是平的，经过慢慢地深入工作物中，电极工具就不断会产生消耗，改变它的形状，直至孔通后，由工具平端面变为尖头。

电火花加工穿破电极工具插入在工作物孔形状见图11。

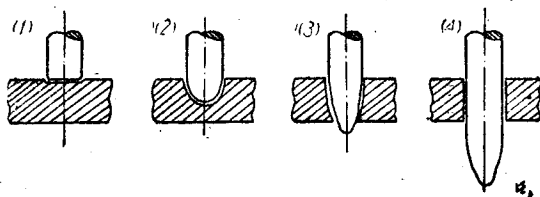


圖11

加工用量不同的情况下，电极形状变化也是不同的。图12表示不同加工用量下，电极形状上的变化。