

四川科技学院机电分院

模具特种加工实训

——电加工实训指导手册

主编：张勇 杨旭

参编：张绍伟 张权

审核：王宗元

批准：陈宇

二〇一一年七月

四川科技学院机电分院

模具特种加工实训

——电加工实训指导手册

主 编：张 勇 杨 旭

参 编：张绍伟 张 权

审 核：王宗元

批 准：陈 宇

二〇一一年七月

前 言

本学院将“数控技术”的教学分解成了“理论—工艺与编程—仿真与实操”三大板块，并将其进行了有机组合来进行教学。知识内容的编排以教育部高职高专教学大纲为准则，坚持“必需、够用、实用”为原则，突出实践操作为特点，使学生在有限的时段里较深入地掌握数控技术操作的基本内容，以适应工厂、企业、市场对数控人才技能的需求。

本操作手册是“仿真与机床实操”基本内容的整合，两者的操作过程在本质上没有区别，我们将其组合在一起来进行教学。实施教学时，必须先学习仿真操作，待达到要求后，再到车间现场进行机床实操，这样可达到事半功半的效果。为了让学生尽快的熟悉和掌握机床控制功能的操作内容，应用了多年在教学实践和企业工程实践中的经验，以简洁的“图示法”实施教学，方便学生对操作技能知识的掌握，学生上手快，实践的效果好，并把它作为我们教学改革的新尝试。

该操作手册由于学院历史发展的原因，在编辑时概括了“数车、数铣（含加工中心）”多种控制系统的操作内容。同一控制系统的操作方式及步骤基本相同，但终究由于系统的异构性，使其不同序列的操作方式及步骤产生了异同性，我们让这些内容都一一在手册中加以说明。

限于编者的水平有限，加之时间仓促，又是改革的新尝试，书中定有不足和错误，望读者不吝赐教。

参加手册的主编教师是：张 权、唐昌建

参加手册的参编教师是：徐 斌、易佩黎、

张 祥、黄 龙、王 萍

主审教师是：张绍伟、王宗元。

目 录

第一篇 电火花成形加工	(1)
项目一 电火花成形机安全操作规程	(1)
项目二 电火花成形加工原理介绍	(3)
项目三 Dk7145电火花成形机床介绍	(7)
项目四 电极的安装与调整	(23)
项目五 工件的装夹与调整	(28)
项目六 工件加工工艺分析及工艺参数设置	(31)
项目七 电极的设计	(40)
项目八 典型型腔的加工	(50)
项目九 常见故障的排除方法	(58)
第二篇 电火花线切割加工	(63)
项目一 电火花线切割机床安全操作规程	(63)
项目二 凸模冲子线切割加工	(65)
任务一 电火花线切割加工原理	(65)
任务二 Dk7735机床操作	(69)
任务三 切边凸模线切割编程(平面)及加工	(84)
项目三 12槽电机锭子凹模线切割加工	(92)
任务一 零件加工的工艺分析及方案确定	(92)
任务二 工件的安装及调整	(98)
任务三 电极丝的安装及调整	(106)
任务四 凸模固定板线切割编程(平面)及加工	(112)
任务五 12槽电机锭子凹模线切割编程(跳丝)及加工	(116)
项目四 锥形凹模线切割加工	(122)
任务一 工艺参数的选择	(122)
任务二 锥形凹模线切割编程(立体)及加工	(125)
项目五 上下异形零件线切割加工	(131)
任务一 上下异形零件线切割编程(立体)及加工	(131)
任务二 快走丝线切割加工过程及结果异常现象分析	(139)
项目六 常见故障及排除方法	(143)

第一篇 电火花成形加工

项目一 电火花成形机安全操作规程

一、实训目的

通过本项目学习，让学生充分意识到实训过程中安全及规范操作的重要性，从而使學生树立起良好的职业习惯。

二、实训任务

全体学习电火花成型机安全操作规程。

三、实训重点及难点

- 1、机床开、停机操作注意事项
- 2、灭火器的使用

四、实训过程

全体学习电火花成型机安全操作规程如下：

- 1、开机操作前，要穿好工作服，做好操作准备工作，不准饮酒、不准穿拖鞋、背心等，女同志必须把头发放在安全帽内。
- 2、电火花机床必须在专人指导下进行操作，不允许未经许可自行操作。
- 3、在放电加工前，应仔细安装好工件，找正工具电极和工件的相对位置。
- 4、电火花成型机床工作液为易燃煤油，必须配备干粉灭火器，以防运行中发生火灾，并且操作者操作前必须掌握干粉灭火器的使用方法。
- 5、工作油箱中的工作液面高度必须高出被加工工件 50mm 以上，以防止工作液着火燃烧。
- 6、在放电加工过程中，严禁手或身体各部位触摸卡头和电极线。
- 7、在操作过程中如发生意外，首先要按下操作面板上的红色急停按钮，再拔下插头，检查事故原因，待排除故障后再开机，启动时间间隔不得小于 50 秒。

8、操作过程中，进行移动操作时要特别小心，必须确认移动行程中没有阻挡物，以防撞坏电极和工件，或造成移动轴伺服过载甚至损坏机床。

9、火花成形机床加工过程中，操作者不能随意离开机床，仔细观察放电状态，以防意外事故的发生。

10、电火花机床操作完毕，要将工作液回放到储液槽中，拔下插头切断电源，清扫机床，收捡工具，打扫场地卫生。

项目二 电火花成形加工原理介绍

一、实训目的

通过本项目学习，让学生掌握电火花加工的基本原理及主要特点。

二、实训任务

全体学习电火花加工的基本原理及加工特点。

三、实训重点及难点

- 1、电火花加工的基本原理
- 2、电火花加工特点

四、实训过程

1、电火花机床的工作原理

电火花加工是利用浸在工作液中的两极间脉冲放电时产生的电蚀作用蚀除导电材料的特种加工方法，又称放电加工或电蚀加工，英文简称 EDM。1943 年，苏联学者拉扎连科夫研究发明电火花加工，之后随着脉冲电源和控制系统的改进，而迅速发展起来。最初使用的脉冲电源是简单的电阻-电容回路。50 年代初，改进为电阻-电感-电容等回路。同时，还采用脉冲发电机之类的所谓长脉冲电源，使蚀除效率提高，工具电极相对损耗降低。随后又出现了大功率电子管、闸流管等高频脉冲电源，使在同样表面粗糙度条件下的生产率得以提高。60 年代中期，出现了晶体管 and 可控硅脉冲电源，提高了能源利用效率和降低了工具电极损耗，并扩大了粗精加工的可调范围。到 70 年代，出现了高低压复合脉冲、多回路脉冲、等幅脉冲和可调波形脉冲等电源，在加工表面粗糙度、加工精度和降低工具电极损耗等方面又有了新的进展。在控制系统方面，从最初简单地保持放电间隙，控制工具电极的进退，逐步发展到利用微型计算机，对电参数和非电参数等各种因素进行适时控制。

电火花加工的原理如图 2-1 所示。工件 1 与工具 4 分别与脉冲电源 2 的两输出端相连接。自动进给调节装置 3(此处为液压油缸和活塞)使工具和工件间经常保持很小的放电间隙，当脉冲电压加到两极之间，便在当时条件下相对某一间隙最小处或绝缘强度最弱处击

穿介质，在该局部产生火花放电，瞬时高温使工具和工件表面局部熔化，甚至气化蒸发而电蚀掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑，如图 2-1a 所示，表示单个脉冲放电后的电蚀坑。图 b 表示多次脉冲放电后的电极表面。脉冲放电结束后，经过脉冲间隔时间，使工作液恢复绝缘后，第二个脉冲电压又加到两极上，又会在当时极间距离相对最近或绝缘强度最弱处击穿放电，又电蚀出一个小凹坑。整个加工表面将由无数小凹坑所组成。这种放电循环每秒钟重复数千次到数万次，使工件表面形成许许多多非常小的凹坑，称为电蚀现象。随着工具电极不断进给，工具电极的轮廓尺寸就被精确地“复印”在工件上，达到成型加工的目的。

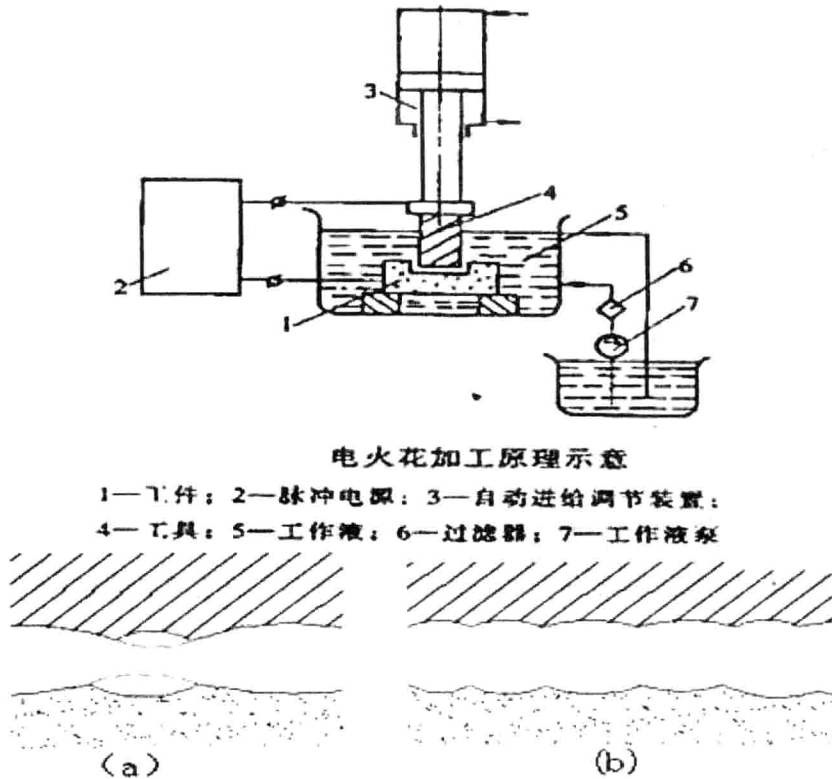


图 2-1 电火花加工表面局部放大

在放电的微细通道中瞬时集中大量的热能，温度可高达一万摄氏度以上，压力也有急剧变化，从而使这一点工作表面局部微量的金属材料立刻熔化、气化，并爆炸式地飞溅到工作液中，迅速冷凝，形成固体的金属微粒，被工作液带走。这时在工件表面上便留下一个微小的凹坑痕迹，放电短暂停歇，两电极间工作液恢复绝缘状态。紧接着，下一个脉冲

电压又在两电极相对接近的另一点处击穿，产生火花放电，重复上述过程。这样，虽然每个脉冲放电蚀除的金属量极少，但因每秒有成千上万次脉冲放电作用，就能蚀除较多的金属，具有一定的生产率。在保持工具电极与工件之间恒定放电间隙的条件下，一边蚀除工件金属，一边使工具电极不断地向工件进给，最后便加工出与工具电极形状相对应的形状来。因此，只要改变工具电极的形状和工具电极与工件之间的相对运动方式，就能加工出各种复杂的型面。工具电极常用导电性良好、熔点较高、易加工的耐电蚀材料，如铜、石墨、铜钨合金和钼等。在加工过程中，工具电极也有损耗，但小于工件金属的蚀除量，甚至接近于无损耗。工作液作为放电介质，在加工过程中还起着冷却、排屑等作用。常用的工作液是粘度较低、闪点较高、性能稳定的介质，如煤油、去离子水和乳化液等。按照工具电极的形式及其与工件之间相对运动的特征，可将电火花加工方式分为五类：利用成型工具电极，相对工件作简单进给运动的电火花成形加工；利用轴向移动的金属丝作工具电极，工件按所需形状和尺寸作轨迹运动，以切割导电材料的电火花线切割加工；利用金属丝或成形导电磨轮作工具电极，进行小孔磨削或成形磨削的电火花磨削；用于加工螺纹环规、螺纹塞规、齿轮等的电火花共轭回转加工；小孔加工、刻印、表面合金化、表面强化等其他种类的加工。电火花加工能加工普通切削加工方法难以切削的材料和复杂形状工件；加工时无切削力；不产生毛刺和刀痕沟纹等缺陷；工具电极材料无须比工件材料硬；直接使用电能加工，便于实现自动化；加工后表面产生变质层，在某些应用中须进一步去除；工作液的净化和加工中产生的烟雾污染处理比较麻烦。

2、电火花机床的应用及其特点

（1）尖端科学技术的发展方向

高精度 高速度 高温 高压 大功率 小型化

（2）对机械制造部门提出的新要求：

- ①解决各种难切削材料的加工问题
- ②解决各种特殊复杂表面的加工问题
- ③解决各种超精、光整或具有特殊要求的零件的加工问题

（3）切削加工的本质和特点

①靠刀具材料比工件更硬

②靠机械能把工件上多余的材料切除

(4) 特种加工的产生、发展的前提条件

要解决机械制造部门面临的一系列工艺问题，仅仅依靠传统的切削加工方法很难实现，甚至根本无法实现，人们相继探索研究新的加工方法，特种加工因此而产生。

(5) 特种加工的特点

①不是主要依靠机械能，而是主要用其他能量去除金属材料；

②工具硬度可以低于被加工材料的硬度，即能做到“以柔克刚”；(3) 加工过程中工具和工件之间不存在显着的机械切削力；

3、电火花加工的优点

①适合于难切削材料的加工 可以突破传统切削加工对刀具的限制，实现用软的工具加工硬切的工件，甚至可以加工象聚晶金刚石、立方氮化硼一类超硬材料。目前电极材料多采用紫铜或石墨，因此工具电极较容易加工。

③可以加工特殊及复杂形状的零件 由于加工中工具电极和工件不直接接触，没有机械加工的切削力，因此适宜加工低刚度工件及微细加工。由于可以简单地将工具电极的形状复制到工件上，因此特别适用于复杂表面形状工件的加工，如复杂型腔模具加工等。数控技术电火花加工可以简单形状的电极加工复杂形状零件。

③主要用于加工金属等导电材料，一定条件下也可以加工半导体和非导体材料。

④加工表面微观形貌圆滑，工件的棱边、尖角处无毛刺、塌边；

⑤工艺灵活性大，本身有“正极性加工”（工件接电源正极）和“负极性加工”（工件接电源负极）加工之分；还可与其他工艺结合，形成复合加工，如与电解加工复合；

项目三 DK7145 电火花成形机床介绍

一、实训目的

通过本项目学习，让学生了解电火花机床的安全操作规程；了解电火花机床的基本组成部件及作用；掌握电火花机床的基本操作。

二、实训任务

- 1、熟悉电火花机床的基本组成部件及作用
- 2、电火花机床的基本操作

三、实训重点及难点

- 1、电火花机床的基本组成部件及作用
- 2、电火花机床的基本操作

四、实训过程

- 1、电火花机床的基本组成部件及作用

电火花加工机床主要由机床本体、脉冲电源、自动进给调节系统、工作液过滤和循环系统、数控系统等部分组成，如图 3-1 所示。

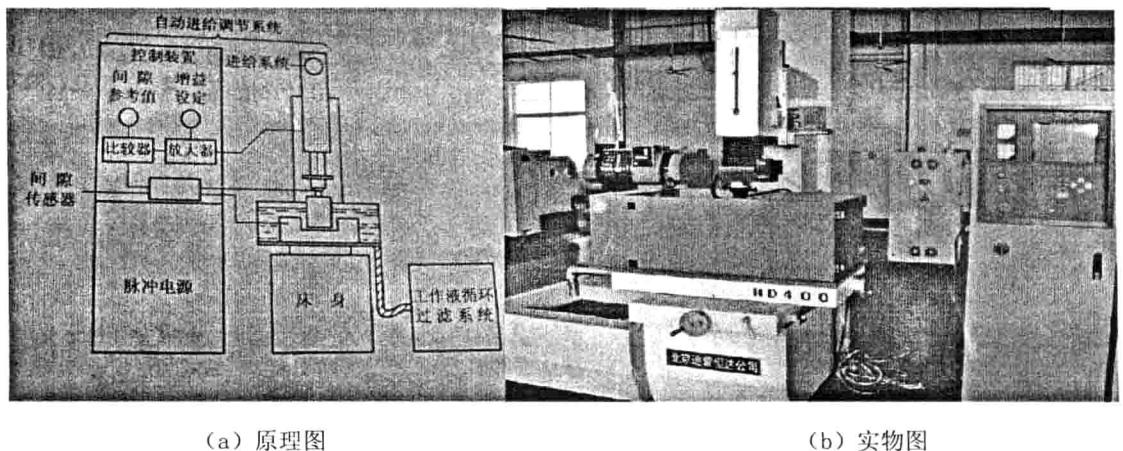


图 3-1 电火花加工机床结构

(1) 机床本体

机床本体主要由床身、立柱、主轴头及附件、工作台等部分组成，是用以实现工件和工具电极的装夹固定和运动的机械系统。床身、支柱、坐标工作台是电火花机床的骨架，起着支承、定位和便于操作的作用。因为电火花加工宏观作用力极小，所以对机械系统的强度无严格要求，但为了避免变形和保证精度，要求具有必要的刚度。主轴头下面装夹的电极是自动调节系统的执行机构，其质量的好坏将影响到进给系统的灵敏度及加工过程的稳定性，进而影响工件的加工精度。

机床主轴头和工作台常有一些附件，如可调节工具电极角度的夹头、平动头、油杯等。

电火花加工时粗加工的电火花放电间隙比中加工的放电间隙要大，而中加工的电火花放电间隙比精加工的放电间隙又要大一些。当用一个电极进行粗加工时，将工件的大部分余量蚀除掉后，其底面和侧壁四周的表面粗糙度很差，为了将其修光，就得转换规准逐挡进行修整。但由于中、精加工规准的放电间隙比粗加工规准的放电间隙小，若不采取措施则四周侧壁就无法修光了。平动头就是为解决修光侧壁和提高其尺寸精度而设计的。

平动头是一个使装在其上的电极能产生向外机械补偿动作的工艺附件。当用单电极加工型腔时，使用平动头可以补偿上一个加工规准和下一个加工规准之间的放电间隙差。

平动头的动作原理是：利用偏心机构将伺服电机的旋转运动通过平动轨迹保持机构转化成电极上每一个质点都能围绕其原始位置在水平面内作平面小圆周运动，许多小圆的外包络线面积就形成加工横截面积，如图 10-2 所示，其中每个质点运动轨迹的半径就称为平动量，其大小可以由零逐渐调大，以补偿粗、中、精加工的电火花放电间隙之差，从而达到修光型腔的目的。具体平动头的结构及原理可以参考其他书籍。

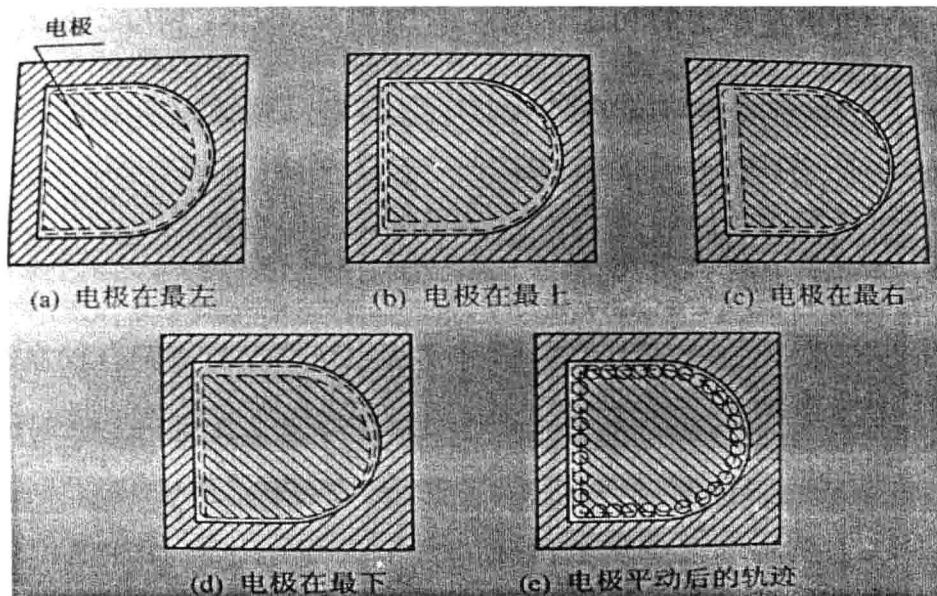


图 3-2 加工横截面积

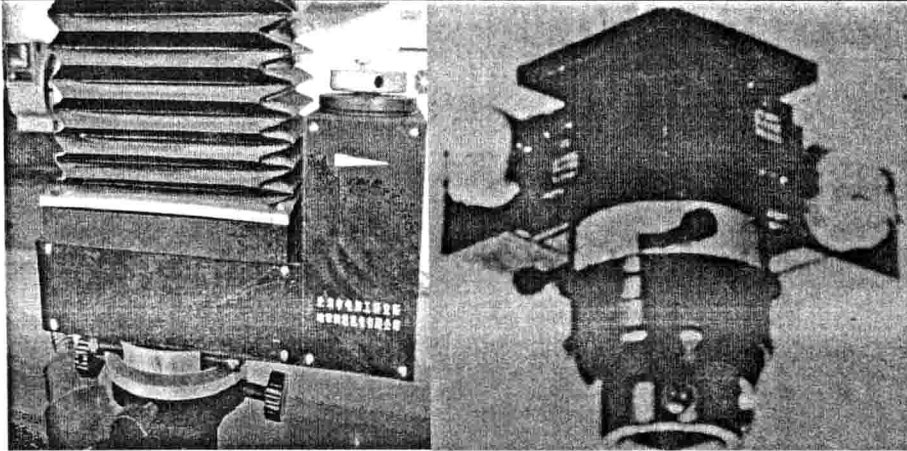
目前，机床上安装的平动头有机械式平动头和数控平动头，其外形图 3-3 所示。机械式平动头由于有平动轨迹半径的存在，它无法加工有清角要求的型腔；而数控平动头可以两轴联动，能加工出清棱、清角的型孔和型腔。与一般电火花加工工艺相比较，采用平动头电火花加工有如下特点：

①可以通过改变轨迹半径来调整电极的作用尺寸，因此尺寸加工不再受放电间隙的限制。

②用同一尺寸的工具电极，通过轨迹半径的改变，可以实现转换电规准的修整，即采用一个电极就能由粗至精直接加工出一副型腔。

③在加工过程中，工具电极的轴线与工件的轴线相偏移，除了电极处于放电区域的部分外，工具电极与工件的间隙都大于放电间隙，实际上减小了同时放电的面积，这有利于电蚀产物的排除，提高加工稳定性。

④工具电极移动方式的改变，可使加工的表面粗糙度大有改善，特别是底平面处。



(a) 机械平动头

(b) 数控平动头

图 3-3 平动头

(2) 脉冲电源

在电火花加工过程中，脉冲电源的作用是把工频正弦交流电流转变成频率较高的单向脉冲电流，向工件和工具电极间的加工间隙提供所需要的放电能量以蚀除金属。脉冲电源的性能直接关系到电火花加工的加工速度、表面质量、加工精度、工具电极损耗等工艺指标。

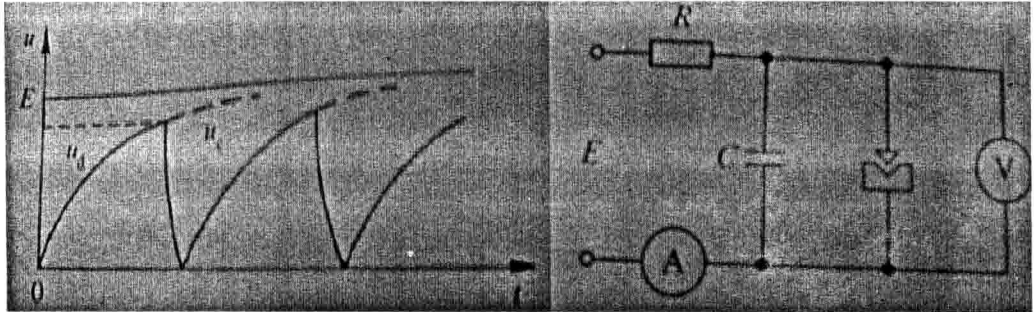
脉冲电源输入为 380V、50Hz 的交流电，其输出应满足如下要求：

- ★ 要有一定的脉冲放电能量，否则不能使工件金属气化。
- ★ 火花放电必须是短时间的脉冲性放电，这样才能使放电产生的热量来不及扩散到其他部分，从而有效地蚀除金属，提高成型性和加工精度。
- ★ 脉冲波形是单向的，以便充分利用极性效应，提高加工速度和降低工具电极损耗。
- ★ 脉冲波形的主要参数(峰值电流、脉冲宽度、脉冲间歇等)有较宽的调节范围，以满足粗、中、精加工的要求。
- ★ 有适当的脉冲间隔时间，使放电介质有足够时间消除电离并冲去金属颗粒，以免引起电弧而烧伤工件。

电源的好坏直接关系到电火花加工机床的性能，所以电源往往是电火花机床制造厂商的核心机密之一。从理论上讲，电源一般有如下几种：

① 弛张式脉冲电源

弛张式脉冲电源是最早使用的电源，它是利用电容器充电储存电能，然后瞬时放出，形成火花放电来蚀除金属的。因为电容器时而充电，时而放电，一弛一张，故又称“弛张式”脉冲电源(如图 3-4 所示)。由于这种电源是靠电极和工件间隙中的工作液的击穿作用来恢复绝缘和切断脉冲电流的，因此间隙大小、电蚀产物的排出情况等影响脉冲参数，使脉冲参数不稳定，所以这种电源又称为非独立式电源。



(a) 波形图

(b) 原理图

图 3-4 RC 线路脉冲电源

弛张式脉冲电源结构简单，使用维修方便，加工精度较高，粗糙度值较小，但生产率低，电能利用率低，加工稳定性差，故目前这种电源的应用已逐渐减少。

② 闸流管脉冲电源

闸流管是一种特殊的电子管，当对其栅极通入一脉冲信号时，便可控制管子的导通或截止，输出脉冲电流。由于这种电源的电参数与加工间隙无关，故又称为独立式电源。闸流管脉冲电源的生产率较高，加工稳定，但脉冲宽度较窄，电极损耗较大。

③ 晶体管脉冲电源

晶体管脉冲电源是近年来发展起来的以晶体元件作为开关元件的用途广泛的电火花脉冲电源，其输出功率大，电规准调节范围广，电极损耗小，故适应于型孔、型腔、磨削等各种不同用途的加工。晶体管脉冲电源已越来越广泛地应用 在电火花加工机床上。目前普及型(经济型)的电火花加工机床都采用高低压复合的晶体管脉冲电源，中、高档电火花加工机床都采用微机数字化控制的脉冲电源，而且内部存有电火花加工规准的数据库，可以通过微机设置和调用各挡粗、中、精加工规准参数。例如汉川机床厂、日本沙迪克公司的电火花加工机床，这些加工规准用 C 代码(例如 C320)表示和调用，三菱公司则用 E 代码表

示。

(3) 自动进给调节系统

在电火花成型加工设备中，自动进给调节系统占有很重要的位置，它的性能直接影响加工稳定性和加工效果。

电火花成型加工的自动进给调节系统，主要包含伺服进给系统和参数控制系统。伺服进给系统主要用于控制放电间隙的大小，而参数控制系统主要用于控制电火花成型加工中的各种参数(如放电电流、脉冲宽度、脉冲间隔等)，以便能够获得最佳的加工工艺指标等，其具体内容可参考第三章相关内容。

① 伺服进给系统的作用及要求

在电火花成型加工中，电极与工件必须保持一定的放电间隙。由于工件不断被蚀除，电极也不断地损耗，故放电间隙将不断扩大。如果电极不及时进给补偿，放电过程会因间隙过大而停止。反之，间隙过小又会引起拉弧烧伤或短路，这时电极必须迅速离开工件，待短路消除后再重新调节到适宜的放电间隙。在实际生产中，放电间隙变化范围很小，且与加工规准、加工面积、工件蚀除速度等因素有关，因此很难靠人工进给，也不能像钻削那样采用“机动”、等速进给，而必须采用伺服进给系统。这种不等速的伺服进给系统也称为自动进给调节系统。

伺服进给系统一般有如下要求：

★ 有较广的速度调节跟踪范围。在电火花加工过程中，加工规准、加工面积等条件的变化都会影响其进给速度变化，伺服进给系统应有较宽的速度调节范围，以适应各种加工的需要。

★ 有足够的灵敏度和快速性。放电加工的频率很高，放电间隙的状态瞬息万变，要求伺服进给系统根据间隙状态的微弱信号能相应地快速调节。为此，整个系统的不灵敏区、可动部分的惯性要小，响应速度要快。

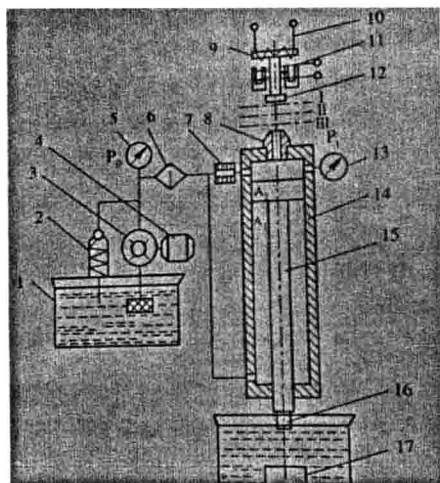
★ 有较高的稳定性和抗干扰能力。电蚀速度一般不高，所以伺服进给系统应有很好的低速性能，能均匀、稳定地进给，超调量要小，抗干扰能力要强。

伺服进给系统种类较多，下面简单介绍电液压力式伺服进给系统的原理，其他的伺服进

给系统可参考其他相关资料。

②电液式伺服进给系统 在电液自动进给调节系统中，液压缸、活塞是执行机构。由于传动链短及液体的基本不可压缩性，因此传动链中无间隙、刚度大、不灵敏区小；又因为加工时进给速度很低，所以正、反向惯性很小，反应迅速，特别适合于电火花加工的低速进给，故 20 世纪 80 年代前得到了广泛的应用，但它有漏油、油泵噪声大、占地面积较大等缺点。

图 3-5 所示为 DYT-2 型液压主轴头的喷嘴—挡板式调节系统的工作原理图。电动机 4 驱动叶片液压泵 3 从油箱中压出压力油，由溢流阀 2 保持恒定压力 P_0 ，经过滤油器 6 后分两路，一路进入下油腔，另一路经节流阀 7 进入上油腔。进入上油腔的压力油从喷嘴 8 与挡板 12 的间隙中流回油箱，使上油腔的压力 P_1 随此间隙的大小而变化。



- 1—液压箱；2—溢流阀；3—叶片液压泵；
4—电动机；5—压力表；6—滤油器；
7—节流阀；8—喷嘴；9—电—机械转换器；
10—动圈；11—静圈；12—挡板；
13—压力 14—液压缸；15—活塞；
16—工具电极；17—工件

图 3-5 喷嘴—挡板式调节系统的工作原理图

电—机械转换器 9 主要由动圈(控制线圈)10 与静圈(励磁线圈)11 等组成。动圈处在励磁线圈的磁路中，与挡板 12 连成一体。改变输入动圈的电流，可使挡板随动圈动作，从而改变挡板与喷嘴间的间隙。当放电间隙短路时，动圈两端电压为零，此时动圈不受电磁力作用，挡板受弹簧力处于最高位置 a，喷嘴与挡板门开口为最大，使工作液流经喷嘴的力量为最大，上油腔的压力下降到最小值，致使上油腔压力小于下油腔压力，故活塞杆带动工具电极上升。当放电间隙开路时，动圈电压最大，挡板被磁力吸引下移到最低位置 c，喷嘴被封闭，上、下油腔压强相等，但因下油腔工作面积小于上油腔工作面积，活塞上 6 向下