



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

模具特种加工技术

◆ 主 编 汤家荣



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书讲述在模具加工中除传统切削、磨削加工技术以外的特种加工技术。本书共有6个项目，每个项目中有不同的任务。通过不同任务的学习，可以使读者理解相应的特种加工技术的理论知识；同时通过不同任务的实施，可以提高读者的动手操作能力。

全书以典型模具零件为项目，具有广泛的代表性。其取材新颖，采用理论与实际相结合的方式，具有较强的指导性和实用性。

本书内容非常实用，可供高等院校模具专业的学生使用，也可供从事模具制造行业的工程技术人员、技术工人参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

模具特种加工技术 / 汤家荣主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 11
ISBN 978 - 7 - 5640 - 3830 - 4

I. ①模… II. ①汤… III. ①模具-特种加工-高等学校-教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 186541 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市航远印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 286 千字

版 次 / 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 33.00 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题，本社负责调换

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

模具系列编委会

主任委员：蒋洪平 赵太平
副主任委员：孙亚玲 关 蕙 王昌福 朱芬芳
委 员： 栾玉祥 马佐贤 汤家荣 郑 峥
 王宏霞 傅宝根 吴燕华 蒋昌华
 叶莉莉 陈 婷 杨 峰

前 言

特种加工是指与传统切削加工方法不同的新的加工方法。特种加工主要不是依靠机械能、切削力进行加工，而是用软的工具（甚至不用工具）加工硬的工件，即将电、磁、声、光、化学等能量或其组合施加在工件的被加工部位上，从而实现材料被去除、变形、改性或表面处理等的非传统加工方法。特种加工可以加工各种用传统工艺难以加工的材料、复杂表面和某些模具制造企业有特殊要求的零件。

本教材以就业为导向，能力为本位，紧扣专业的特点，优化理论知识、增强实用性，采用理论与实践相结合的项目教学，使理论和技能统一。具体体现在以下几个方面。

(1) 根据专业的技能要求，以实用、够用为原则组织教材。删除了烦琐深奥的理论知识，简化特种加工工作原理，降低理论难度，加强了特种加工不同方法的实训能力。

(2) 与专业和企业生产实际相结合。本教材采用的项目是在模具企业中经常加工的常用零件，以取得学以致用效果。

(3) 体现“以生为本”。本教材在每个项目、任务开始指出学完本项目、任务后应达到的知识和技能目标，这样可使学生在学习过程中目标明确，少走弯路。

(4) 打破原有学科体系框架，以项目为载体，将知识和技能整合。本教材分电火花加工两个项目，电火花线切割3个项目，其他特种加工方法一个项目，这样有利于知识的讲授和技能训练的实施，以达到理论知识和技能训练相统一。

本书由汤家荣老师担任主编，参加编写的有陈秋一老师（项目二）、杨海荣老师（项目三、项目六）、吴一虎老师（项目四、项目五）、汤家荣老师（项目一）。在本教材的编写中赵太平老师提出了许多宝贵的修改意见和建议，提高了本教材的质量，在此表示衷心的感谢。

本书作为高等院校模具专业课程改革成果系列教材之一，在推广使用中，非常希望得到教学适用性的反馈意见，以便不断改进与完善。由于编者水平有限，教材中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 方孔冲模的加工	1
任务 1.1 电火花加工的基本知识	2
任务 1.2 电火花加工的工艺知识	22
项目二 注塑模型腔的加工	42
任务 2.1 电火花成型加工	42
任务 2.2 数控电火花加工方法	54
项目三 冲裁模的电火花线切割加工	61
任务 3.1 电火花线切割的使用、维护和保养	61
任务 3.2 数控电火花线切割的工艺	88
项目四 应用 ISO 及 3B 代码编程加工零件	141
任务 4.1 数控电火花线切割加工的工艺特点	141
任务 4.2 采用补偿方式加工凸模零件	146
任务 4.3 加工对称凸模	160
任务 4.4 加工带锥度的凹模	166
任务 4.5 应用 3B 代码编程加工落料凹模	173
项目五 CAXA 数控线切割自动编程软件	181
任务 5.1 应用 CAXA 线切割 XP 系统绘制模具零件图	181
任务 5.2 应用 CAXA 线切割 XP 系统编制程序	197
项目六 多孔板的激光加工和镀镍处理	225
任务 6.1 选择激光加工工艺	226
任务 6.2 正确选择电镀工艺	228
参考文献	238

项目一 方孔冲模的加工

方孔冲模（图 1-1）是生产上应用较多的一种模具，由于形状比较复杂和尺寸精度要求较高，所以它的制造已成为生产上的关键技术之一。特别是零件中的方孔，应用一般的机械加工是困难的，在某些情况下甚至不可能，而靠钳工加工则劳动量大，质量不易保证，还常因淬火变形而报废，然而采用电火花加工能较好地解决这些问题。

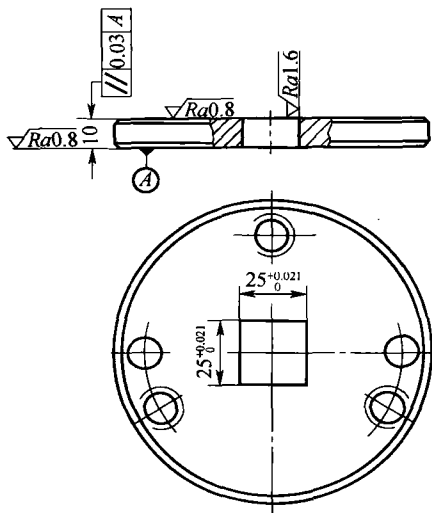


图 1-1 方孔冲模

预期目标

- (1) 理解电火花加工的基本概念和特点。
- (2) 理解电火花加工的工作原理和加工本质。
- (3) 了解电火花加工中脉冲电源的工作原理和分类。
- (4) 了解常用电火花加工设备的使用情况。
- (5) 具有正确使用电火花机床的能力。
- (6) 能根据所给定的方孔冲模零件图，利用电火花机床加工出零件。

任务1.1 电火花加工的基本知识

任务描述

本任务主要描述电火花加工的基本原理、电火花加工机床的使用方法。

任务分析

如果方孔冲模零件采用机械加工的方法加工，它的生产效率很低，表面质量也很难满足零件的需要，而采用电火花加工，可以加工出合格的零件。但在电火花加工前，必须要掌握电火花加工的基本知识、工作原理、电火花加工机床的使用方法等。

知识准备

一、电火花加工的基本概念

电火花加工又称放电加工（Electrical Discharge Machining, EDM），它是在加工过程中，使工具和工件之间不断产生脉冲性的火花放电，靠放电时产生的局部、瞬时的高温将金属蚀除下来。这种利用火花放电产生的腐蚀现象对金属材料进行加工的方法叫电火花加工。

当工具电极与被加工工件极为接近时，因放电间隙有绝缘液存在，加工电流无法通过，但是当间隙逐渐缩小时，直到工具电极与工件电极为最短距离处，因电场效应形成一个导电的电离通道而产生火花，形成细电弧柱，由于电流密度极高，打击被加工工件时产生很高的热能使被加工工件熔化，被熔化部分变成粉末小圆圈，散布于加工液中，熔化的金属喷开后，遗留的痕迹被加工液浸入冷却，使放电间隙恢复绝缘，而放电周围未被除去部分隆起，形成下一个脉冲电流的放电点。它可以加工各种高熔点、高硬度、高强度、高纯度、高韧性材料，并在生产中显示出很多优越性，因此得到迅速发展和广泛应用。在模具制造中被用于凹模型孔和型腔的加工。

二、电火花加工的特点

电火花加工是与机械加工完全不同的一种新工艺，它不用机械能量，不靠切削力去除金属，而是直接利用电能和热能来去除金属，已成为常规切削、磨削加工的重要补充。相对于机械切削加工而言，电火花加工具有以下特点。

(1) 适用于传统机械加工方法难以加工或无法加工的材料。如淬火钢、硬质合金、耐热合金钢等。因为材料的去除是靠放电热蚀作用实现的，材料的加工性主要取决于材料的热学性能，如熔点、比热容、热导率等，几乎与其硬度、韧性等力学性能无关。工具电极材料不需要比工件硬，所以电极制造比较容易。

(2) 可加工特殊及复杂形状的零件。由于在加工过程中, 电极和工件不接触, 两者间的宏观作用力很小, 所以便于加工各种型孔、立体曲面、小孔、深孔、窄缝零件, 而不受电极和工件刚度的限制; 由于可以简单地将工具电极的形状反向复制到工件上, 因此特别适用于薄壁、低刚性、弹性、微细及复杂形状表面的加工; 由于其脉冲放电时间短, 材料表面加工受热影响范围比较小, 所以适宜于热敏性材料的加工。

(3) 电火花加工可以改变机械零件的加工工艺路线, 由于电火花加工不受材料硬度、脆性等的影响, 所以可以在零件淬火后进行加工, 这样可以避免淬火过程中产生的热处理变形。如在模具零件加工制造中, 可以将模具零件淬火到 56 HRC 的硬度, 再进行电火花加工零件。

(4) 随着数控技术的发展, 电火花加工容易实现加工过程自动化。加工过程中的电参数较机械量易于实现数字控制, 所以能进行零件加工中的粗加工、半精加工、精加工等各工序, 从而简化加工工艺过程。

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、塑料模、锻模和压铸模。
- (2) 加工小孔、畸形孔以及在硬质合金上加工螺纹、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)。

三、电火花加工的主要优点

(1) 可以加工难以用金属切削方法加工的零件, 不受材料硬度影响。

(2) 由于工具电极与工件电极不直接接触, 没有机械切削力, 所以在制作工具电极时不必考虑其受力特性, 工具电极可以做得十分微细, 能进行微细加工和复杂型面加工。

(3) 电火花加工是通过脉冲放电来蚀除金属材料的, 而脉冲电源的参数随时可调, 因此在同一情况下, 只需调整电参数即可切换粗、半精、精、超精加工。

四、电火花加工的局限性

- (1) 电火花加工生产效率低。
- (2) 被加工的工件只能是导体。
- (3) 存在电极损耗, 这就影响了成型精度。
- (4) 加工表面有变质层。

(5) 加工过程必须在工作液中进行。电火花加工时放电部位必须在工作液中，否则将引起异常放电。

(6) 线切割加工有厚度极限。

五、电火花加工的工作原理

电火花加工的原理是基于工具和工件（正、负电极）之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余的金属，以达到对零件的尺寸、形状及表面质量预定的加工要求。其工作原理如图 1-2 (a) 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 使工具和工件间经常保持一很小的放电间隙，这个间隙的大小与加工电压、加工介质等因素有关，一般为 0.01 ~ 0.1mm。在加工过程中还必须用工具电极的进给和调节装置来保持这个放电间隙，使脉冲放电能连续进行。若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低处击穿介质，在该局部产生火花放电，瞬时高温使工具和工件表面都蚀除掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑。从加工原理来看，电火花加工是将电极形状复制到工件上的一种工艺方法。在实际中可以加工通孔（穿孔加工）和盲孔（成型加工），如图 1-2 (b) 和图 1-2 (c) 所示。

电火花加工的主要原理是：电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热量，能达到 5 000 ℃ 以上的温度，此温度足以使任何金属材料局部熔化、汽化而被腐蚀掉，从而形成放电凹坑。随着比较高的频率连续不断地重复放电，工具电极就会不断地向工件进给，从而可将工具的形状复制在工件上，这样就可以加工出想要加工的零件。

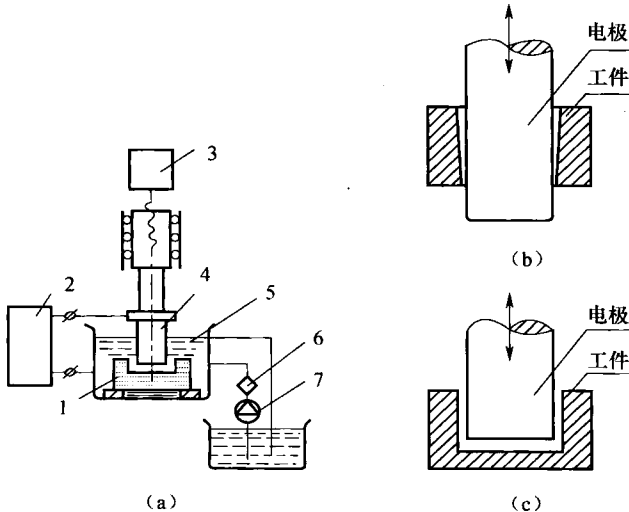


图 1-2 电火花加工原理

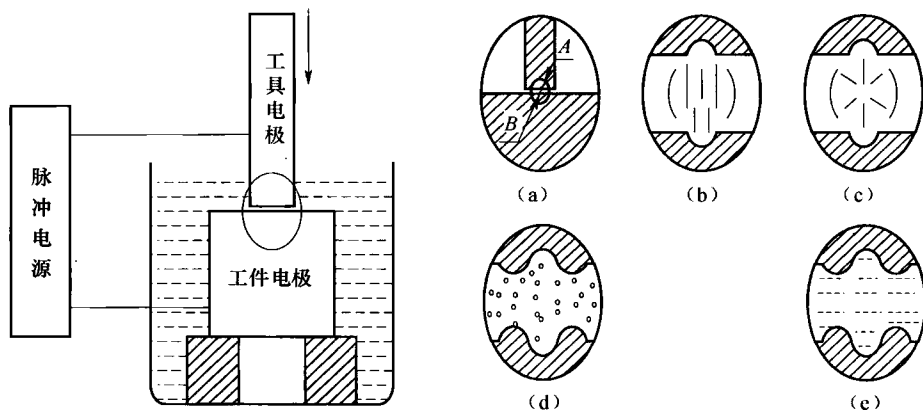
(a) 电火花加工原理示意图；(b) 穿孔加工；(c) 成型加工

1—工件；2—脉冲电源；3—自动进给调节装置；4—工具；5—工作液；6—过滤器；7—工作液泵



六、电火花加工的物理本质

电火花加工基于电火花腐蚀原理，是在工具电极与工件电极相互靠近时，极间形成脉冲性火花放电，在电火花通道中产生瞬时高温，使金属局部熔化，甚至气化，从而将金属蚀除下来。那么两电极表面的金属材料是如何被蚀除下来的呢？这一过程大致分为以下几个阶段，如图 1-3 所示。



方孔冲模的加工

图 1-3 电火花加工机理

(1) 极间介质的电离、击穿，形成放电通道，如图 1-3 (a) 所示。工具电极与工件电极缓缓靠近，极间的电场强度增大，由于两电极的微观表面是凹凸不平的，因此在两极间距离最近的 A、B 处电场强度最大。

工具电极与工件电极之间充满着液体介质，液体介质中不可避免地含有杂质及自由电子，它们在强大的电场作用下，形成了带负电的粒子和带正电的粒子，电场强度越大，带电粒子就越多，最终导致液体介质电离、击穿，形成放电通道。放电通道是由大量高速运动的带正电和带负电的粒子及中性粒子组成的。由于通道截面很小，通道内因高温热膨胀形成的压力高达几万帕，高温、高压的放电通道急速扩展，产生一个强烈的冲击波向四周传播。在放电的同时还伴随着光效应和声效应，这就形成了肉眼所能看到的电火花。

(2) 电极材料的熔化、气化热膨胀，如图 1-3 (b) 和图 1-3 (c) 所示。液体介质被电离、击穿，形成放电通道后，通道间带负电的粒子奔向正极，带正电的粒子奔向负极，粒子间相互撞击，产生大量的热能，使通道瞬间达到很高的温度。通道高温首先使工作液汽化，进而气化，然后高温向四周扩散，使两电极表面的金属材料开始熔化直至沸腾气化。气化后的工作液和金属蒸气瞬间体积猛增，形成了爆炸的特性。所以在观察电火花加工时，可以看到工件与工具电极间有冒烟现象，并听到轻微的爆炸声。

(3) 电极材料的抛出，如图 1-3 (d) 所示。正、负电极间产生的电火花现

象，使放电通道产生高温、高压。通道中心的压力最高，工作液和金属气化后不断向外膨胀，形成内外瞬间压力差，高压力处的熔融金属液体和蒸气被排挤，抛出放电通道，大部分被抛入到工作液中。仔细观察电火花加工，可以看到橘红色的火花四溅，这就是被抛出的高温金属熔滴和碎屑。

(4) 极间介质的消电离，如图 1-3 (e) 所示。加工液流入放电间隙，将电蚀产物及残余的热量带走，并恢复绝缘状态。若电火花放电过程中产生的电蚀产物来不及排除和扩散，产生的热量将不能及时传出，使该处介质局部过热，局部过热的工作液高温分解、积炭，使加工无法继续进行，并烧坏电极。因此，为了保证电火花加工过程的正常进行，在两次放电之间必须有足够的时间间隔让电蚀产物充分排出，恢复放电通道的绝缘性，使工作液介质消电离。

上述步骤 (1) ~ (4) 在 1 s 内约数千次甚至数万次地往复进行，即单个脉冲放电结束，经过一段时间间隔（即脉冲间隔）使工作液恢复绝缘后，第二个脉冲又作用到工具电极和工件上，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，蚀出另一个小凹坑。这样以相当高的频率连续不断地放电，工件不断地被蚀除，故工件加工表面将由无数个相互重叠的小凹坑组成，如图 1-4 所示。所以电火花加工是大量的微小放电痕迹逐渐累积而成的去除金属的加工方式。

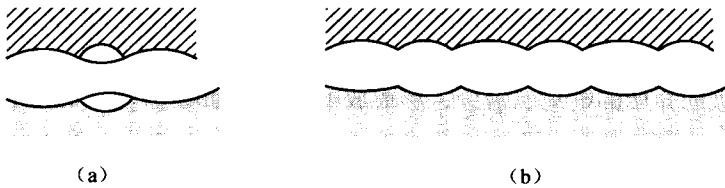


图 1-4 电火花表面局部放大图
(a) 单脉冲的放电凹坑；(b) 多脉冲的放电凹坑

七、电火花加工的必要条件

经过多年生产实际的总结，要想充分利用好电火花放电的现象来完成对机械零件的加工，必须满足以下 3 个条件。

(1) 电火花放电时必须使工具电极和工件被加工表面之间经常保持一定的小的放电间隙，这一间隙随加工条件而定，通常约为几微米至几百微米。如果间隙过小，很容易形成电极间的短路，从而不能产生火花放电现象；如果间隙过大，两极间电压不能击穿极间介质，同样也不能产生火花放电现象。

(2) 电火花放电时必须要在有一定绝缘性能的液体介质（工作液）中进行，如煤油、皂化液或去离子水等。在电火花生产过程中，液体介质一方面具有很高的绝缘强度，以有利于产生脉冲性的火花放电；另一方面形成火花放电通道，并在放电结束后迅速恢复间隙的绝缘状态，同时能对在电火花加工过程中产生的电



蚀产物清洗和排出，并能对工具、工件产生冷却作用。

(3) 电火花放电时必须瞬时的脉冲性放电，放电延续一段时间后，需休息一段时间，这样才能使放电所产生的热量来不及传导扩散到其他部分。为此，在电火花加工中必须采用脉冲电源。

八、电火花加工用的脉冲电源

电火花加工用的脉冲电源是把工频交流电压和电流转换成一定频率的单向脉冲电压和电流，以供给两电极放电间隙所需要的能量来进行金属加工。脉冲电源对电火花加工的生产率、表面质量、加工精度、加工过程的稳定性和工具电极损耗等技术经济指标有很大的影响。因此，脉冲电源性能的好坏，在电火花加工设备 and 电火花加工工艺技术中，都具有十分重要的意义。

图 1-5 所示为电火花脉冲电源工作原理，脉冲电源主要由脉冲信号发生器 and 模拟功率开关电路等部分组成，由交流电通过降压整流后达到约 100 V 的直流电源，然后通过由高频脉冲发生器和功率开关电路组成的变换电路，转换为音频、超音频高频脉冲直流电，再通过电极与工件之间的间隙放电，利用放电时产生的火花蚀除工件进行加工。

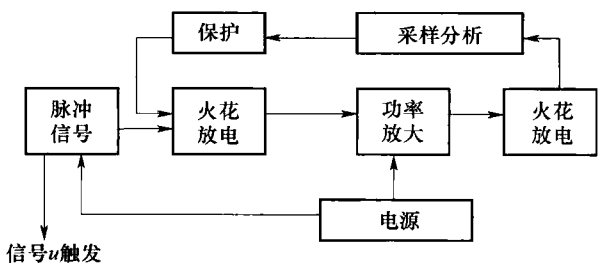


图 1-5 电火花脉冲电源工作原理

图 1-6 所示为脉冲电源的电压波形。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。因此脉冲电源的好坏，在电火花加工设备结合电火花加工工艺技术中，都具有十分重要的意义和影响。

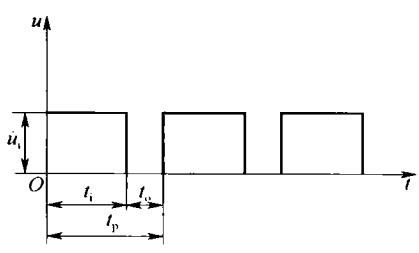


图 1-6 脉冲电源电压波形

为满足电火花加工的需要，对电火花成型加工脉冲电源有以下要求。

- (1) 要有一定的脉冲放电能量，单位时间输出能量的大小可以在一定范围内调节，否则不能使工件金属气化。
- (2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 脉冲电源的性能应稳定可靠，力求结构简单，操作维修方便。

脉冲电源的好坏直接关系到电火花加工机床的性能，所以脉冲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，脉冲电源一般有以下几种。

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。弛张式脉冲电源的基本形式是 RC 电路，后又逐步改进为 RLC 、 $RLCL$ 、 $RLC-LC$ 电路，其优点是加工精度较高、表面粗糙度好、工作可靠、装备简单、易于制造、操作维修方便；缺点是加工速度低、电极损耗大。因此，随着可控硅、晶体管脉冲电源的出现，这种电源的应用逐渐减少，目前多用于特殊材料加工和精密微细加工。

(1) RC 型脉冲电源。图 1-7 (a) 所示为 RC 脉冲电源工作原理， RC 脉冲电路由两个回路组成：一个是充电回路，由直流电源 E 、充电电阻 R 和电容器 C 组成；另一个是放电电路，由电容器 C 和两极放电间隙组成。它的工作过程是：由直流电源 E 经电阻 R 给电容器 C 充电，电容器 C 的两端电压 u_c 按指数曲线升高，当升高到一定电压时，电极与工件间的间隙被电离击穿，形成脉冲放电。电容器 C 将能量瞬时放出，工件材料被腐蚀掉。间隙中介质的电阻是非线性的，当介质未击穿时电阻很大，击穿后，它的电阻迅速减小到接近零。因此，间隙击穿后，电容器 C 所储存的电能瞬时放完，电压降到接近于零，间隙中的介质迅速恢复绝缘，把电离切断。以后电容器再次充电，又重复上述放电过程。图 1-7 (b) 是 RC 脉冲电源电压波形。

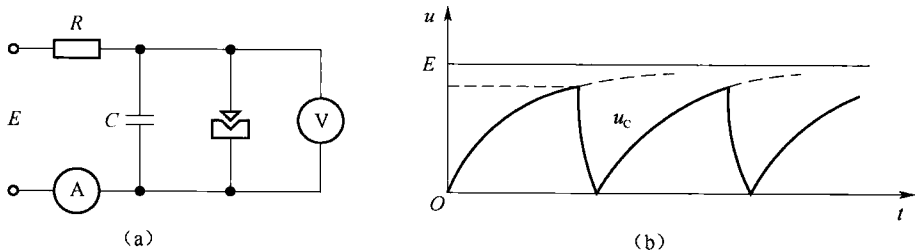


图 1-7 RC 线路脉冲电源

(a) 原理；(b) 波形

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。 RC 脉冲电源的主要优点是结构简单、工作可靠、成本低；主要不足是电利用率低、生产效率低、工艺参数不稳定、工具电极损耗较大等。

(2) RLC 型脉冲电源。图 1-8 所示为 RLC 脉冲电源工作原理，在 RC 脉冲电源电路中，附加一个电感 L 组成工作性能较好的 RLC 型脉冲电源。 RLC 型脉冲电源是非独立式的，即脉冲频率、单个脉冲能量和输出功率等电参数仍取决于放电间隙的物理状态，因此它和 RC 型脉冲电源类似，也会对加工的工艺指标产生不利的影响。由于 RLC 型脉冲电源的充电回路中电感 L 的作用，在电火花加工过程中经常会在电容器两端出现电压，因此须对储能电容器提出耐压较高的要求，通常为直流电源电压 E 值的 4~5 倍。

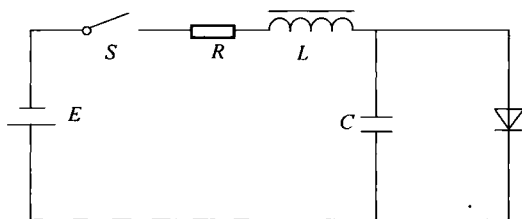


图 1-8 RLC 型脉冲电源电路

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) 晶体管和晶闸管脉冲电源

晶体管和晶闸管脉冲电源都能输出各种不同的脉冲宽度、峰值电流、脉冲停歇时间的脉冲波，能较好地满足各种工业条件，尤其适用于型腔电火花加工。晶体管脉冲电源是近年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档粗、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（如 C320）表示和调用，三菱公司则用 E 代码表示。通常情况下，晶体

管脉冲电源主要用于纯铜电极的加工，晶闸管脉冲电源则主要用于石墨电极的加工。两种脉冲电源都能在脉冲宽度、间隔度、峰值电流等参数上做较大范围的变动，因此都能做粗、中、精加工，且如果选择合理，在粗加工时可以使电极损耗小于1%。

九、电火花工作液

电火花加工必须在有一定绝缘性能的液体介质中进行，该液体介质通常称为电火花工作液（或称为加工液）。电火花工作液是参与放电蚀除过程的重要因素，它的各种性能均会影响加工的工艺指标，所以要正确地选择和使用电火花工作液。

1. 电火花工作液的作用

电火花加工时，工作液有以下几方面的作用。

(1) 消电离作用。在脉冲间隔火花放电结束后，尽快恢复放电间隙的绝缘状态（消电离），以便下一个脉冲电压再次形成电火花放电。工作液有一定的绝缘强度，电阻率较高，放电间隙消电离、恢复绝缘时间短。

(2) 排除电蚀产物作用。电火花加工过程中会产生大量的电蚀产物，如果这些电蚀产物不能及时排除，会影响到电火花的正常加工。而工作液可以使电蚀产物较易从放电间隙中排除出去，免得放电间隙严重污染，从而导致火花放电点不分散而形成有害的电弧放电。

(3) 冷却作用。由于电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热量，工作液可以冷却工具电极和降低工件表面瞬时产生的局部高温，使工件表面不会因局部过热而产生积炭、烧伤现象。

(4) 增加电蚀量。工作液可以压缩火花放电通道，增加通道中被压缩气体、等离子体的膨胀及爆炸力，从而抛出更多熔化和气化的金属。

2. 电火花工作液的要求

电火花工作液与脉冲电源及控制系统一样，也是实现正常电火花加工不可缺少的条件。工作液不仅对加工效率、精度、电极损耗等工艺指标有直接的影响，也对环保、安全、使用寿命有直接的影响，因此对工作液提出了更高的要求。

(1) 闪点。闪点是指当工作液暴露在空气中时，工作液表面分子蒸发，形成工作液蒸气，当工作液蒸气和空气的比例达到某一数值并与外界火源接触时，其混合物会产生瞬时爆炸，此时的温度就是该工作液的闪点。一般来说，工作液的闪点越高，成分稳定性越好，使用寿命也越长。闪点高，不易起火，不易汽化、损耗。闪点一般应大于70℃。

(2) 黏度。黏度是指液体流动阻力大小的一种量度。黏度值较高的液体其流动性差，黏度值较低的液体其黏性差，低黏度有利于加工间隙中工作液的流

动, 将电蚀产物及加工产生的热量带走。黏度随温度的上升而降低, 随温度的降低而上升。常用的电火花工作液的黏度为 $2.2 \sim 3.6 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($40 \text{ }^\circ\text{C}$)。

(3) 密度。工作液的密度是指单位体积液体的质量。工作液的密度过大, 则工作液较稠密, 电火花加工时产生的金属颗粒就会悬浮于工作液中, 使工作液呈混浊状态, 从而导致火花放电时产生拉弧现象, 或者“二次放电”(是指已加工表面上由于电蚀产物等的介入而再次进行的非正常放电, 集中反映在加工深度方向产生斜度和加工棱角棱边变钝方面), 严重影响加工温度。一般情况下, 电火花加工工作液的密度应在 0.65 g/mL 左右。

(4) 氧化稳定性。工作液的氧化稳定性是指由工作液成分和氧气产生化学反应而引起的, 表示其成分已变质。氧化作用随温度的升高或某些金属的催化作用而加速, 也随时间而增强, 同时使工作液的黏度增大。因此, 氧化稳定性是工作液性能的重要标志。

(5) 对加工件不污染、不腐蚀。

(6) 臭味小。电火花加工过程中分解出的气体烟雾必须是无毒的, 对人体无伤害, 但对大气环境会造成影响。如果工作液带有类似燃料油之类的气味或其他溶剂的气味, 则表明该工作液质量差, 或已变质, 不能使用。

3. 电火花工作液的种类

早期的电火花工作液基本上都是使用水和一般矿物油(如煤油、变压器油等)。但近年来, 随着环保要求的提高、机床升级换代以及引进国外不同类型的电火花工作液等, 开始出现了合成型、高速型和混合型的电火花工作液。目前, 在我国市场上, 常见的电火花工作液有以下几种。

(1) 煤油。我国过去一直普遍采用煤油。它的性能比较稳定, 其黏度、密度、表面张力等也全面符合电火花加工的要求, 但煤油的缺点显而易见, 主要是因为闪点低($46 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右), 使用中会因意外疏忽导致火灾, 而且其芳烃含量高、易挥发, 加工分解出有害气体多。另外, 其加工附加值差, 易造成加工环境污染, 过滤芯需频繁更换。

(2) 水基及一般矿物油型。这是第一代产品水基工作液, 仅局限于电火花高速穿孔加工等极少数类型使用, 绝缘性、电极消耗、防锈性等都很差, 成型加工基本不用。矿物油的黏度一般较低, 具有良好的排屑功能, 但闪点较低。然而, 矿物油型产品价格低廉, 且有一定的芳烃含量, 对提高加工速度有利。

(3) 合成型(或半合成型)。由于矿物油放电加工时, 对人体健康有影响, 随着数控成型机数量的增多, 加工对象的精度、表面粗糙度、加工生产率都在提高, 因此, 对工作液的要求也日益提高。到了20世纪80年代, 开始有了合成型油, 主要指正构烷烃和异构烷烃。由于不加酚类抗氧化剂, 因此, 油颜色水白透亮, 几乎不含芳烃, 没有异味。

(4) 高速合成型电火花加工液。高速合成型在合成型的基础上, 加入聚丁

烯等类似添加剂，旨在提高电蚀速度和效率。很多石油公司研制加入了聚丁烯、乙烯、乙烯烃的聚合物和环苯类芳烃化合物等。电火花加工过程中，其熔融金属的温度常常达到 104 ℃，因此，工作液必须有良好的冷却性，以便迅速将其冷却。工作液闪点、沸点低，则因熔融金属温度高而蒸发的蒸气膜，冷却金属熔融物的时间会变长。加入聚合物后，沸点高的聚合物将迅速破坏蒸气膜，提高了冷却效率，从而也提高了加工速度。这种添加剂成本高，工艺不易掌握，通常脂肪烃类聚合物加多了，容易引起电弧现象，并不是很适用。

4. 工作液的使用注意事项

随着电火花加工技术的不断完善与发展，要求对配套的电火花工作液进行正确的使用。在工作中只有正确使用电火花工作液，才能延长工作液的使用寿命，才能使电火花设备安全正常地生产，才能保证加工人员的人身安全。

(1) 防止溶解水带入。当空气的温度和湿度较高时，空气中的水分一部分被吸附在油中而成为溶解水，溶解水的出现引起工作台的锈蚀和油品混浊，也影响油品的介电性能。防止油品带溶解水的措施有以下几种。

a. 加油时，防止将油桶底部的沉积水加入工作液箱中，加完油后，必须使油在工作液箱中静置 8 h 以上，使带入油中的微量溶解水沉降到工作液箱底部，从放油口放掉。

b. 当机床长时间停用而再次使用时，必须从放油口排水以防止溶解水存积。

c. 机床安装在恒温干燥的空间及减少工作液外露面积，均可减少溶解水的出现。

(2) 预防加工液溅到加工人员身上。根据实验可知，当人体皮肤长时间接触工作液时，会引起皮肤干燥、开裂及过敏。因此，当皮肤接触到工作液时应及时用水加洗涤剂洗净；当衣服沾染较多时应及时换下，并将身上沾的油洗净。

十、电火花机床

电火花成型机床主要包括主机、电源箱、工作液循环过滤系统及附件等。主机用于支承、固定工具电极及工件，实现电极在加工过程中稳定的伺服进给运动。图 1-9 所示为一种典型的电火花成型加工机床。

电火花加工机床既可用于穿孔加工，又可用于成型加工。因此，我国国标规定，电火花成型机床均用 D71 加上机床工作台面宽度的 1/10 表示。其型号表示方法如下：

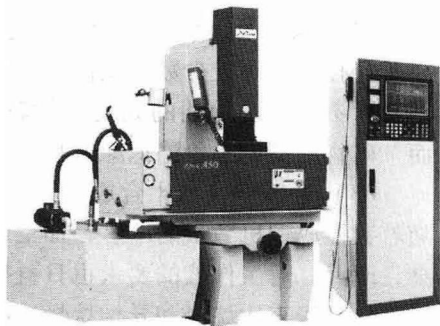


图 1-9 典型电火花加工机床