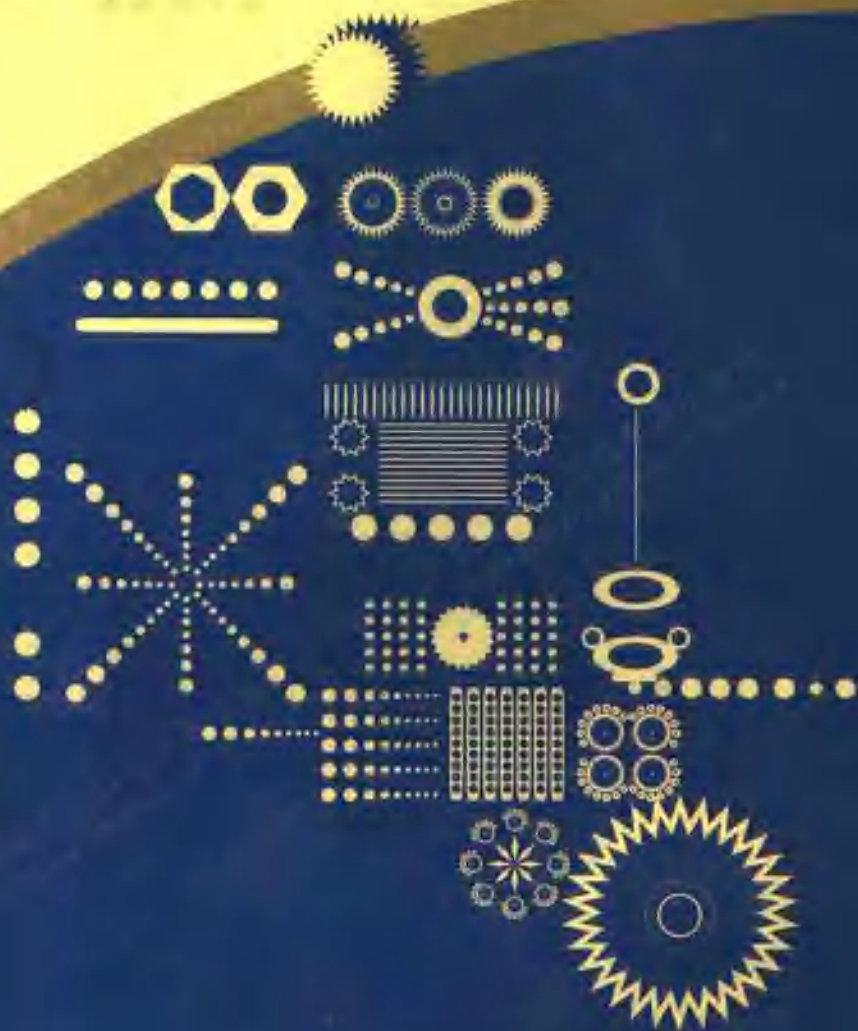


面向  
21  
世纪

中国高等职业技术教育研究会推荐  
机电类专业高职高专规划教材

# 电火花加工实训教程

贾立新 编著  
陈洪涛 主审



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xidian.com>

XDUP 206700

封面设计 张维涛

华信教育资源网  
www.hxedu.com.cn

面向  
21  
世纪

## 机电类专业高职高专规划教材

机械制图与计算机绘图(含习题集)

机械制图

互换性与技术测量

机械制造基础

机械制造技术

数控技术及应用

数控原理与系统

数控加工工艺与编程

数控加工工艺

数控编程与操作

数控加工编程与操作

数控机床

数控机床编程与操作

数控机床与操作

数控设备故障诊断与维修

数控机床故障分析与维修

机械CAD/CAM应用与开发

先进制造技术

机床电气与PLC

数控机床电器与PLC

PLC应用技术

模具CAD/CAM

模具设计

塑料模具设计

塑料成型模具设计

冷冲压模具设计

机械制造工艺装备

数控应用专业英语

数控铣床编程与操作实习教程

数控加工实训教程

电火花加工实训教程

模具三维动画素材库(含光盘)

汽车概论

汽车电气设备与维修

发动机结构与维修

汽车底盘结构与维修

汽车使用性能与检测

汽车使用与技术管理

汽车车身结构与维修

现代汽车典型电控系统结构原理与故障诊断

汽车空调

汽车及配件营销

汽车营销技术

汽车专业英语

现代汽车新技术

机动车辆保险与理赔实务

汽车故障诊断技术

汽车单片机及局域网技术

汽车机械技术

汽车电工电子技术

汽车发动机构造与维修

汽车故障诊断技术

汽车车身电气设备系统及附属电气设备

ISBN 978-7-5606-1775-6



9 787560 617756 >

定价: 10.00元

中国高等职业技术教育研究会推荐

面向 21 世纪机电类专业高职高专规划教材

# 电火花加工实训教程

贾立新 编著  
陈洪涛 主审

西安电子科技大学出版社

2007

## 内 容 简 介

本书主要内容包括电火花成形加工和电火花线切割加工等内容。全书分为4章,第一章为电火花加工基础知识,主要介绍电火花加工机理、加工工艺以及电火花加工机床及其日常维护方法;第二章为电火花加工实训,主要介绍电极制作方法、电极找正、电火花型腔加工和电火花套料加工等实训项目;第三章为电火花线切割加工基础知识,主要介绍线切割加工原理、加工工艺、线切割机及其日常维护以及线切割编程方法;第四章为电火花线切割加工实训,主要介绍线切割编程、钼丝找正、工件切割和锥度切割等实训项目。

本书可作为高职高专院校“特种加工”课程的实训教材,也可作为数控技术及应用、机电一体化、机械制造专业相关课程的实训教材,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

★本书配有电子教案,有需要的老师可与出版社联系,免费提供。

### 图书在版编目(CIP)数据

电火花加工实训教程 / 贾立新编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.1  
中国高等职业技术教育研究会推荐. 面向 21 世纪机电类专业高职高专规划教材  
ISBN 978-7-5606-1775-6

I. 电… II. 贾… III. 电火花加工-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 004643 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社 (西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: [xdupfxb@pub.xaonline.com](mailto:xdupfxb@pub.xaonline.com)

经 销 新华书店

印 刷 西安高陵县印刷厂

版 次 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 8

字 数 183 千字

印 数 1~4000 册

定 价 10.00 元

ISBN 978-7-5606-1775-6

**XDUP 2067001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

# 序

进入 21 世纪以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业教育在学校数、招生数和毕业生教等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

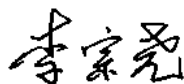
在高等职业教育大发展的同时,必须重视内涵建设,不断深化教育教学改革。根据市场和社会的需要,不断更新教学内容,编写具有鲜明特色的教材是其必要任务之一。

为配合教育部实施紧缺人才工程,解决当前机电类精品高职高专教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种的基础上,又联合策划、组织编写了“数控、模具及汽车类专业”系列高职高专教材共 60 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业(极控、模具和汽车)的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职高专教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,且大都已重印,有的教材出版一年多的时间里已重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。本轮教材预计 2006 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校基本建设的一项重要工作,多年来,各高职高专院校都十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特面辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高职高专教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,为不断推出有特色、高质量的高职高专教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2005 年 10 月



# 面向 21 世纪

## 机电类专业高职高专规划教材

### 编审专家委员会名单

- 主任:** 刘跃南 (深圳职业技术学院教务长, 教授)  
**副主任:** 方 新 (北京联合大学机电学院副院长, 教授)  
刘建超 (成都航空职业技术学院机械工程系主任, 副教授)  
杨益明 (南京交通职业技术学院汽车工程系主任, 副教授)

**数控及模具组: 组长: 刘建超 (兼) (成员按姓氏笔画排列)**

- 王怀明 (北华航天工业学院机械工程系主任, 教授)  
孙燕华 (无锡职业技术学院机械与汽车工程系主任, 副教授)  
皮智谋 (湖南工业职业技术学院机械工程系副主任, 副教授)  
刘守义 (深圳职业技术学院工业中心主任, 副教授)  
陈少艾 (武汉船舶职业技术学院机电工程系主任, 副教授)  
陈洪涛 (四川工程职业技术学院机电工程系副主任, 副教授)  
钟振龙 (湖南铁道职业技术学院机电工程系主任, 副教授)  
唐 健 (重庆工业职业技术学院机械工程系主任, 副教授)  
戚长政 (广东轻工职业技术学院机电工程系主任, 教授)  
谢永宏 (深圳职业技术学院机电学院副院长, 副教授)

**汽车组: 组长: 杨益明 (兼) (成员按姓氏笔画排列)**

- 王世震 (承德石油高等专科学校汽车工程系主任, 教授)  
王保新 (陕西交通职业技术学院汽车工程系讲师)  
刘 锐 (吉林交通职业技术学院汽车工程系主任, 教授)  
吴克刚 (长安大学汽车学院教授)  
李春明 (长春汽车工业高等专科学校汽车工程系副主任, 教授)  
李祥峰 (邢台职业技术学院汽车维修教研室主任, 副教授)  
汤定国 (上海交通职业技术学院汽车工程系主任, 高讲)  
陈文华 (浙江交通职业技术学院汽车系主任, 副教授)  
徐生明 (四川交通职业技术学院汽车系副主任, 副教授)  
韩 梅 (辽宁交通职业技术学院汽车系主任, 副教授)  
葛仁礼 (西安汽车科技学院教授)  
颜培钦 (广东交通职业技术学院汽车机械系主任, 副教授)

**项目策划:** 马乐惠      **策 划:** 马武装 毛红兵 马晓娟

# 前 言

本书是由中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社共同策划、组织的高职高专机电类专业系列规划教材之一，是针对目前高职高专机电类“特种加工”课程的需要而组织编写的。

特种加工技术是采用软的工具来加工硬的工件的加工方法，它有别于传统的金属切削加工工艺，主要用来加工难以加工的材料，以及复杂表面和有特殊要求的零件。

在特种加工领域中，电火花加工技术占有举足轻重的地位。电火花加工又称放电加工，是一种利用电能和热能进行的加工。在加工过程中，工具电极和工件电极之间不间断地产生脉冲性的火花放电，从而在工件电极表面产生局部、瞬间的高温，把金属蚀除掉。正是由于在加工中看得见火花，因此称为电火花加工，从而也就把此类机床称为电火花机。

本书主要包括电火花成形加工和电火花线切割加工两部分内容。全书分为4章，第一章为电火花加工基础知识，主要介绍电火花加工机理、加工工艺以及电火花加工机床及其日常维护方法；第二章为电火花加工实训，主要介绍电极制作方法、电极找正、电火花型腔加工和电火花套料加工等实训项目；第三章为电火花线切割加工基础知识，主要介绍线切割加工原理、加工工艺、线切割机床及其日常维护以及线切割编程方法；第四章为电火花线切割加工实训，主要介绍线切割编程、钼丝找正、工件切割和锥度切割等实训项目。

本书力求采用新颖的教学模式——STEP BY STEP，使学生可根据教材提供的实训步骤，顺利地完成实训课题。

本书可作为高职高专院校“特种加工”课程的实训教材，也可作为数控技术及应用、机电一体化、机械制造专业相关课程的实训教材，还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

在本书编写过程中，作者参阅了国内外同行的有关资料、文献和教材，得到了许多专家和同行的帮助，也得到了上海第二工业大学机电工程学院领导的关心，在此一并表示感谢。凌燕斌老师为本书提出了许多宝贵意见，并校对了部分章节。

由于编者水平有限，且现代技术发展迅速，因此书中难免有错误和不妥之处，望读者给予批评指正。

上海第二工业大学机电工程学院

贾立新

2006年10月

# 目 录

<b>第一章 电火花加工基础知识</b> .....	1
1.1 电火花加工机理 .....	1
1.2 电火花加工工艺 .....	3
1.3 电火花加工机床 .....	9
1.4 电火花加工编程 .....	14
1.5 电火花机床的维护与保养 .....	16
1.6 电火花加工新技术 .....	17
习题 .....	18
<b>第二章 电火花加工实训</b> .....	20
实训一 电火花成形机床操作 .....	20
实训二 电火花冲孔落料模工具电极设计 .....	24
实训三 电火花型腔模工具电极设计 .....	27
实训四 电火花工具电极找正 .....	30
实训五 电火花工件电极的装夹与定位 .....	32
实训六 电火花自动多步加工 .....	34
实训七 去除断在工件中的钻头和丝锥的电火花加工 .....	37
实训八 内六角套筒的电火花加工 .....	38
实训九 自制表面粗糙度样板的电火花加工 .....	41
实训十 工件套料的电火花加工 .....	43
<b>第三章 电火花线切割加工基础知识</b> .....	45
3.1 电火花线切割的工作原理 .....	45
3.2 电火花线切割机床 .....	46
3.3 电火花线切割加工工艺 .....	50
3.4 电火花线切割机床的编程 .....	52
3.5 电火花线切割自动编程技术 .....	58
3.6 电火花线切割机床的维护与保养 .....	65
习题 .....	68
<b>第四章 电火花线切割加工实训</b> .....	69
实训一 电火花线切割机床操作 .....	69
实训二 CAXA-V2线切割软件编程.....	71



实训三	电火花线切割穿丝与找正 .....	76
实训四	电火花线切割工件装夹与找正 .....	79
实训五	角度样板的电火花线切割加工 .....	82
实训六	自制工件压板垫块的电火花线切割加工 .....	85
实训七	电极扁夹的电火花线切割加工 .....	87
实训八	电火花线切割跳步加工 .....	88
实训九	齿轮的电火花线切割加工 .....	92
实训十	文字的电火花线切割加工 .....	94
实训十一	矢量图的电火花线切割加工 .....	96
实训十二	锥度零件的电火花线切割加工 .....	98
实训十三	上下异形零件的电火花线切割加工 .....	101
附录A	D7140P电火花成形机床性能指标 .....	105
附录B	DK7725e电火花线切割机床性能指标 .....	106
附录C	DK7725e电火花线切割机床控制器菜单简介 .....	107
附录D	DK7725e电火花线切割机床用ISO代码简介 .....	113
附录E	电火花线切割加工工人等级标准 .....	117
参考文献	.....	120

## 第一章 电火花加工基础知识

**电** 火花加工又称放电加工(Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 有称仿形加工的, 也有称电脉冲加工的, 它是一种直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。在加工中, 靠工具电极和工件电极之间的脉冲性火花放电来蚀除多余的金属。由于加工过程中可看见火花, 因此被称为电火花加工。

### 1.1 电火花加工机理

电火花加工的原理是基于工具电极和工件电极之间的脉冲性的火花放电来蚀除多余的金属, 从而达到对零件的尺寸、形状和表面的加工要求的。放电腐蚀的现象早在 20 世纪 40 年代就被人们发现, 如电器开关触电通断时产生火花, 造成触电烧毛或损毁。1940 年前后, 前苏联的科学家拉扎连柯夫妇发现了这一现象, 并将其成功地运用到电火花加工中。

火花放电时, 工件表面的金属被电腐蚀掉, 究竟是什么原因呢? 我们从微观的物理过程分析其现象就可得到电火花加工的机理。了解这一微观现象, 有助于对电火花加工工艺基本规律的理解, 也有助于对电规准(脉冲宽度、脉冲间隔、放电时间、放电峰值电流、峰值电压等参数)的理解, 同时也对电火花机床提出了合理的操作要求。

从大量的实验资料上看, 放电腐蚀的微观过程是相当复杂的, 其间包含了电场力、磁场力、热力、流体动力和电化学力等综合作用的过程。这一过程可大致分为以下四个阶段: ① 极间介质的电离、击穿, 形成放电通道; ② 介质的热分解, 电极材料熔化、汽化; ③ 电极材料的抛出; ④ 极间介质的消电离, 如图 1-1 所示。

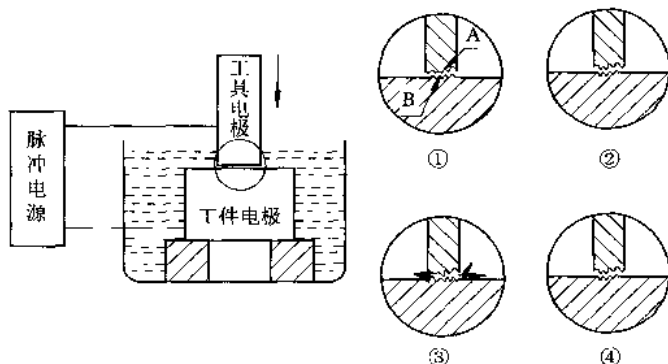


图 1-1 电火花加工机理示意图

#### 1. 极间介质的电离、击穿, 形成放电通道

如果我们从微观上观察工具电极和工件电极的表面, 会发现这两个表面呈现凹凸不平



状。放电加工的过程中，两个电极之间的放电间隙很小，在电场的作用下，距离最近的表面质点的电场强度是最大的，所以放电几率也是最大的。

两个电极之间的液体介质(通常是煤油)含有某种介质(金属粒子、碳粒子等)，存在一些自由电子，使极间介质呈现出一定的电导率。在电场的作用下，会产生场，致电子激发，由负极表面向正极表面发射电子。电子向正极运动的过程中，会撞击工作液中的分子或中性的原子，产生碰撞电离，形成带电粒子，导致带电粒子数量激增，使极间介质击穿，形成放电通道。

### 2. 介质的热分解，电极材料熔化、汽化

放电通道形成后，脉冲电源使通道中的电子向正极方向高速运动，同时正离子会向负极运动。在运动过程中，带电粒子对相互碰撞，产生大量的热，导致放电通道内温度骤升。通道内的高温把工作液介质汽化，同时也使金属材料熔化，乃至沸腾、汽化。这些汽化后的工作液和金属蒸气，会瞬间体积膨胀，如同一个个小的“炸药”。若观察电火花加工过程，可以看到放电间隙处冒出很多小的气泡，工作液变黑，并能听到轻微的爆炸声。

### 3. 电极材料的抛出

放电通道和正负极表面放电点瞬时高温使工作液汽化和金属材料熔化、汽化、热膨胀，这会产生很高的瞬时压力。通道中心部位的压力最高，汽化后的气体体积不断向外部膨胀，形成气泡。气泡向四处飞溅，将熔化和汽化了的金属抛出。抛出的金属遇到冷的工作液后凝聚成细小的颗粒。熔化的金属抛出后，电极表面形成一个放电痕，也称放电坑。

### 4. 极间介质的消电离

随着脉冲电压和脉冲电流下降至零，标志了一次脉冲放电过程的结束。放电通道内的带电粒子重又恢复到中性粒子状态，恢复了放电通道处间隙介质的绝缘强度，同时新的工作液不断地进入放电间隙中，使电极的表面温度得以不断降低，为下一周期的放电作准备。

上述电火花放电机理的四个阶段可以从脉冲电压和脉冲电流的波形上得到很好的解释，如图 1-2 所示。

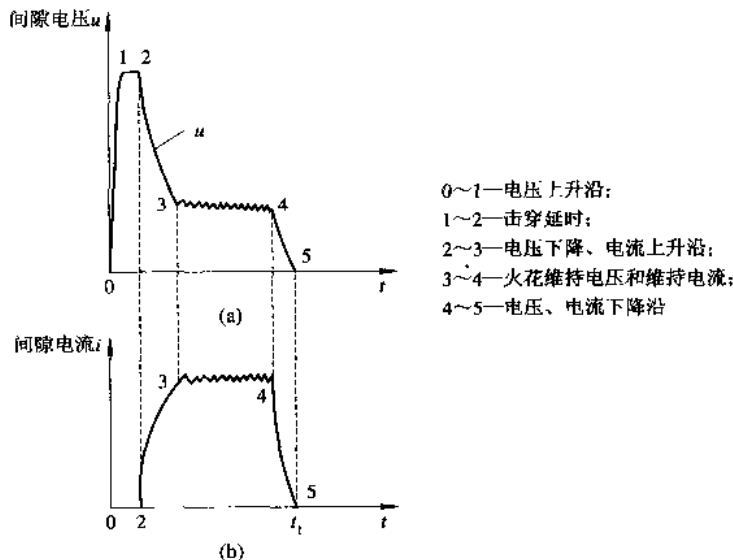


图 1-2 极间放电电压和电流波形

在脉冲电压波形的 0~1~2~3 段和脉冲电流的 2~3 段, 对应了放电通道的形成, 而在脉冲电压波形的 3~4 和脉冲电流波形的 3~4 段, 对应了介质的热分解、电极材料熔化、汽化和电极材料的抛出, 在脉冲电压波形的 4~5 和脉冲电流波形的 4~5 段, 对应了极间介质的消电离。

## 1.2 电火花加工工艺

电火花加工主要有两种类型: 穿孔加工和型腔加工。下面就针对这两种加工类型来分析其加工工艺。

### 1. 穿孔加工工艺

电火花穿孔加工主要用来加工冲模、粉末冶金模、挤压模、型孔零件、小孔或小异形孔、深孔。其中冲模加工是电火花加工中加工最多的一种模具。

#### 1) 冲模电火花加工工艺方法

冲模加工中最关键的部件是凹模, 凹模的尺寸精度靠工具电极来保证。因此, 对工具电极的形状、尺寸精度和表面粗糙度都应有一定的要求。

在设计工具电极时, 应根据工件的尺寸和单面的放电间隙加以考虑。工具电极的尺寸应等于工件相应尺寸减去两倍的单面放电间隙。单面放电间隙由脉冲参数和机床精度所决定。所以, 只要合理制订电规准, 就可保证工件的加工精度。

对于冲模而言, 凹、凸模的配合间隙是一个很重要的质量指标, 它的大小和均匀性都将直接影响加工零件的质量和模具的使用寿命。在电火花穿孔加工中, 常采用“钢打钢”直接配合的方法。电火花加工时, 应将凹模刃口端朝下, 形成向上的“喇叭口”, 加工后将凹模翻过来使用, 这就是冲模的“正装反打”工艺, 如图 1-3 所示。

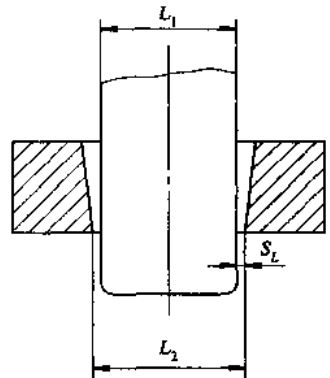


图 1-3 冲模的“正装反打”工艺

冲模的配合间隙是靠调节脉冲参数实现, 靠控制脉冲火花放电间隙来保证的。

#### 2) 工具电极

(1) 工具电极材料的选择。凸模一般选择优质高碳钢、滚子轴承钢或不锈钢、硬质合金等, 但应注意凹、凸模的材料最好选择不同钢号, 否则会造成加工时的不稳定。

(2) 工具电极的设计。工具电极的尺寸精度应高于凹模, 表面粗糙度也应小于凹模。另外, 工具电极的轮廓尺寸除考虑配合间隙外, 还应考虑单面放电间隙。

(3) 工具电极的制造。一般先经过普通的机加工, 然后再进行成形磨削; 也可采用线切割切割出凸模。

#### 3) 电火花加工前的工件准备

在电火花加工前, 应对工件进行切削加工, 然后再进行磨削加工, 并应预留适当的电火花加工余量。一般情况下, 单边的加工余量以 0.3~1.5 mm 为宜, 这样有利于电极平动。



#### 4) 电规准的选择与转换

电规准是指电火花加工过程中选择的一组电参数,如电压、电流、脉(冲)宽(度)、脉(冲)间(隔)等。电规准选择的正确与否,将直接影响工件加工工艺的效果。因此,应根据工件的设计要求,工具电极和工件的材料,加工工艺指标和经济效益等因素加以综合考虑,并在加工过程中进行必要的转换。

一般来说,电规准分为粗、中和精规准。粗规准主要用于粗加工阶段,采用长脉宽、大电流、负极性加工,用以快速蚀除金属,此时电极的损耗比较小,生产效率较高。中规准是过渡性加工,用于减少精加工的加工余量,提高加工效率。精规准用来最终保证冲模的配合间隙、表面粗糙度等质量指标,应选择小电流、窄脉宽,适当增加脉间和抬刀次数,并选用正极性加工。

### 2. 型腔加工工艺

电火花型腔加工主要用来加工锻模、压铸模、塑料模、胶木模或型腔零件。型腔加工属于盲孔加工,工作液循环和电蚀物排除条件差,金属蚀除量比较大。另外,加工面积变化大,电规准的变化范围也较大。

#### 1) 电火花型腔加工方法

电火花型腔加工主要有单电极平动法、多电极更换法和分解电极法等。

(1) 单电极平动法。单电极平动法在型腔加工中应用最为广泛。它是采用一个电极完成型腔的粗、中和精加工的全过程。加工过程中,首先采用低耗高效的粗规准进行加工,然后利用平动做精修,实现型腔侧面修光,完成整个型腔的加工。由于采用一个电极来完成加工全过程,电极损耗比较大,因此型腔精度相对会差些。

(2) 多电极更换法。多电极更换法是采用多个电极依次更换来加工同一个型腔的方法。每个电极加工时,必须把上一级规准的放电痕迹去掉。一般来说,电极更换时,需要考虑电极的定位装夹精度。目前常用的方法是采用瑞典 System 3R 公司的 3R 夹具(见图 1-4),3R 夹具分为夹头和机械手两部分。夹头可方便地与工具电极组合装夹。夹头和工具电极组合成一体在铣床或加工中心上加工,随后装夹在电火花机床的主轴夹具上,无需再次对电极进行校准。机械手负责更换电火花机床主轴夹具上装夹的工具电极。



图 1-4 瑞典 System 3R 公司的机械手和 3R 夹头

(3) 分解电极法。此方法主要用在一些模具型腔面积大,深度深,形状复杂,底部有凹槽、窄槽、尖角、图案等情况下。根据模具型腔的复杂程度不同,可将其几何形状分解成若干个部分,并针对这些小的部分来制作不同的工具电极。

## 2) 工具电极

(1) 电极材料选择。电极一般选用耐腐蚀性较好的材料,如纯铜和石墨等。纯铜和石墨材料的特点是在粗加工时能实现低损耗,机加工时成形成容易,放电加工时稳定性好。表 1-1 所示为常用电极材料的性能。

表 1-1 常用电极材料的性能

电极材料	电火花加工性能		机械加工性能	说明
	加工稳定性	电极损耗		
紫铜	好	较小	较差	常用电极材料,但磨削加工困难
石墨	较好	较小	好	常用电极材料,但机械强度差,制造时粉尘较大,容易崩角
铸铁	一般	一般	好	常用电极材料
钢	较差	一般	好	常用电极材料
黄铜	较好	较大	一般	较少采用,电极损耗大
铜钨合金	好	小	一般	价格较贵,多用于硬质合金穿孔加工
银钨合金	好	小	一般	价格较贵,用于加工精密冲模

(2) 工具电极设计。工具电极的尺寸设计一方面与模具的大小、形状和复杂程度有关;另一方面也与电极材料、加工电流、加工余量及单面放电间隙等有关。若采用电极平动方法加工,还应考虑平动量的大小。

电极结构形式通常有整体式、镶拼式和组合式三种类型。

整体式电极是常用的一种结构形式,一般用于冲模或型腔尺寸比较小的情况。对于尺寸较大的冲模或型腔,电极材料比较昂贵,代价太大。

镶拼式电极一般在机械加工有困难时采用。如某些冲模电极,要做清棱、清角就需要采用。另外,在整体电极不能保证制造精度时也采用。

组合式电极是将多个电极组合在一起,成为一个电极,多用于一次加工多孔落料模、级进模和在同一凹模上加工若干个型孔的情况。

(3) 电极的制造。一般先经过普通的机加工,然后再进行成形磨削。

## 3) 电规准的选择、转换及平动量的分配

一般电规准分为粗、中和精规准。粗规准主要用于粗加工阶段,可采用长脉宽及大的脉冲电流。中规准是过渡性加工,用以减少精加工的加工余量,提高加工速度。精规准应选择小电流和窄脉宽,且适当增加脉间和抬刀次数。

平动量的分配是单电极平动加工法的一个关键问题,主要取决于被加工表面由粗变细的修光量,此外还和电极损耗、平动头原始偏心量、主轴进给运动的精度有关。一般地,粗、中规准加工平动量为总平动量的 75%~80%。中规准加工后,型腔基本成形,只留下少量的加工余量用于精规准修光。具体电规准的选择可参见电火花加工工艺曲线图表,如图 1-5~1-8 所示。

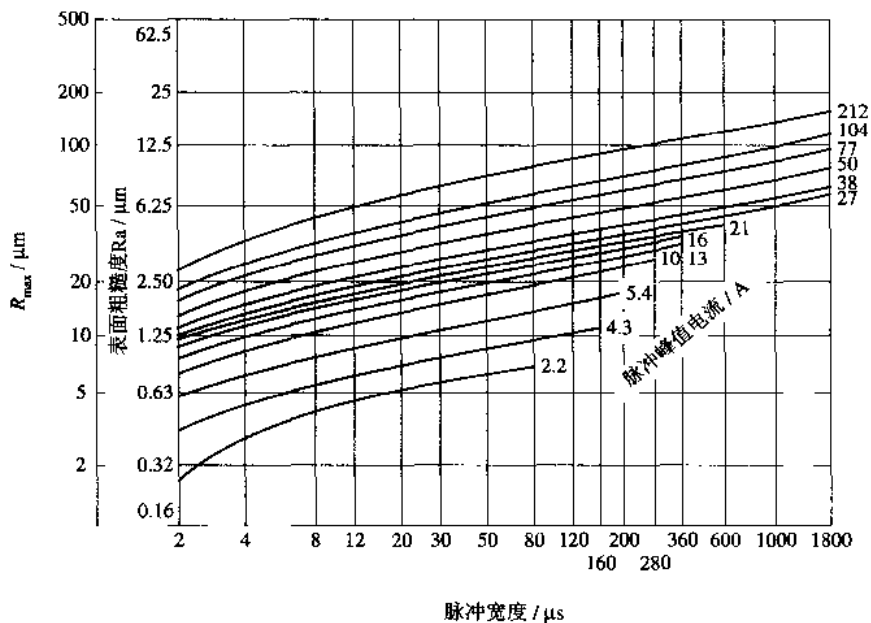


图 1-5 铜“+”、钢“-”时表面粗糙度与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

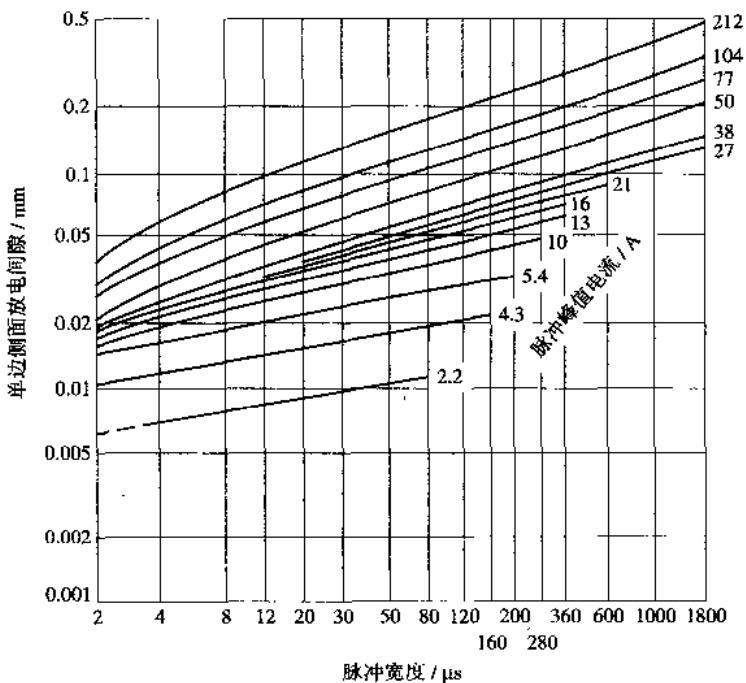


图 1-6 铜“+”、钢“-”时单边侧面放电间隙与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

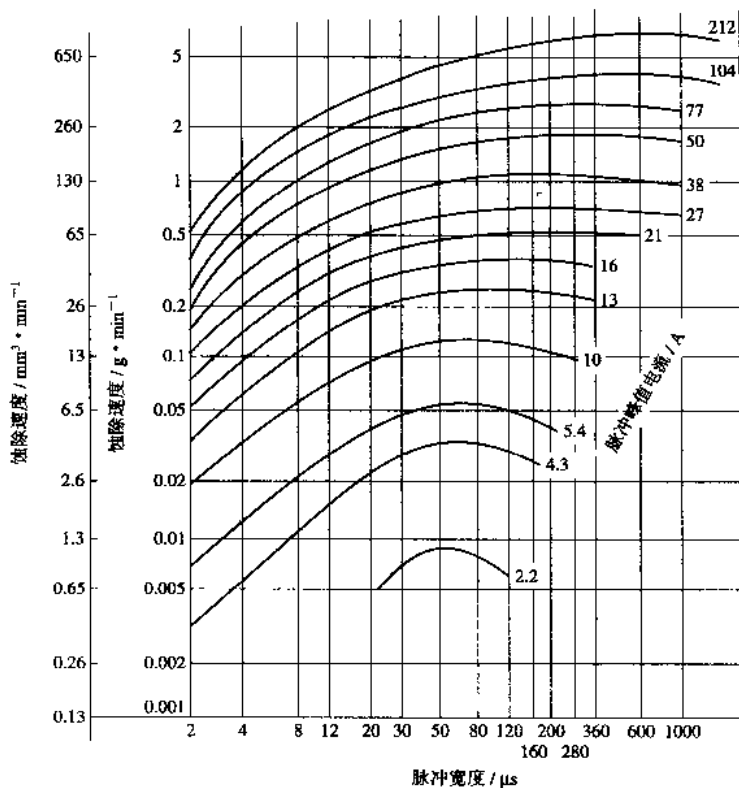


图 1-7 铜“+”、钢“-”时工件蚀除速度与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

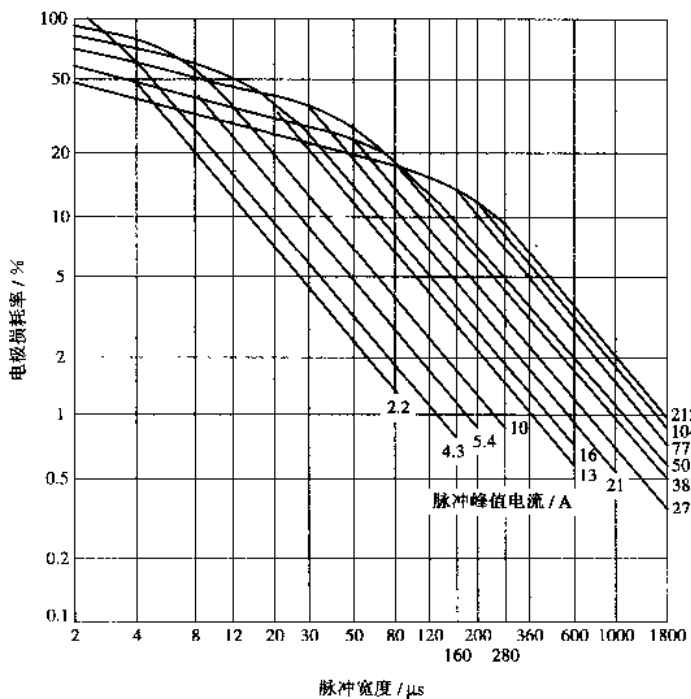


图 1-8 铜“+”、钢“-”时电极损耗率与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线





这四张工艺参数曲线图表反映了电极材料、加工极性、脉冲宽度、脉冲峰值电流对表面粗糙度、单边侧面放电间隙、工件蚀除速度和电极损耗率的影响。从脉冲宽度和表面粗糙度的图表上看，脉冲峰值电流不变时，脉冲宽度增加，表面粗糙度也增加；脉冲宽度不变时，脉冲峰值电流增加，同样也会增加表面粗糙度。从脉冲宽度和单边侧面放电间隙的图表上看，脉冲峰值电流不变，增加脉冲宽度，会增加单边侧面放电间隙；脉冲宽度不变时，增加脉冲峰值电流，同样也会增加单边侧面放电间隙。从脉冲宽度和工件蚀除速度图表上看，脉冲宽度设置应在合理的范围内，才能确保工件蚀除速度最大，脉冲宽度不变时，增大脉冲峰值电流，可提高蚀除速度。从脉冲宽度和电极损耗率图表上看，增加脉冲宽度，可大大降低电极损耗率，相同脉冲宽度时，脉冲峰值电流增大，电极损耗率也会相应变大。

在电火花加工中，可以很好地利用这四张工艺图表，合理地制订出电规准。粗加工时，为了提高加工效率，降低电极损耗，应根据脉冲宽度和工件蚀除速度图表以及脉冲宽度和电极损耗图表，选择合理的脉冲宽度、脉冲峰值电流、工件蚀除速度和电极损耗率。在精加工时，为了工件的表面质量和尺寸精度，应根据脉冲宽度和单边侧面放电间隙的图表以及脉冲宽度和表面粗糙度的图表，选择合理的精加工脉冲宽度、脉冲峰值电流和单边侧面放电间隙，同时也应兼顾电极损耗率。

### 3. 与加工工艺相关的常用术语

#### 1) 加工电压

加工电压是指脉冲电源电路输出的直流电压。它有高压直流电压和低压直流电压两种，高压直流电压幅值约为 250 V，低压直流电压幅值约为 60 V。由电火花加工原理可知加工过程中，首先加高压直流电压，形成放电通道；在放电通道形成后，则由低压直流电压来维持放电通道。可用电压表指示加工电压的幅值。

#### 2) 加工电流

加工电流是指脉冲电源输出的峰值电流。通过选择功率输出来调节脉冲的峰值电流，以保证在粗、中、精加工条件下，获得所需要的平均加工电流。加工电流在同一脉宽条件下，与加工面积成正比，与电极损耗成正比，与生产率成正比，与工件的表面粗糙度成反比。

#### 3) 脉冲宽度

脉冲宽度是指一次放电的脉宽时间。脉冲宽度同放电间隙成正比，与生产率成正比，与工件的表面粗糙度成反比，与电极损耗成反比。脉冲宽度分高压脉宽和低压脉宽，高压脉宽比低压脉宽窄得多。通常，增加高压脉宽可以提高加工稳定性和提高生产率。

#### 4) 脉冲间隔

脉冲间隔是指一次不放电的脉冲间隔时间。加大脉冲间隔更加有利于工件电蚀物的排出，使加工稳定性变好，不容易产生短路或电弧烧伤工件的情况。由于加工电流与加工效率成正比，因此，在一定的脉宽前提下，脉冲间隔越小，加工效率越高，但是稳定性就越差；反之，稳定性就越好。

#### 5) 放电间隙

放电间隙是指电火花加工时，工具和工件之间产生火花放电的距离间隙。它的大小一般在 0.01~0.5 mm 之间。粗加工时放电间隙较大，精加工时则较小。放电间隙又可分为端