

数控电切削加工 实训教程

李建国 张敬 主编



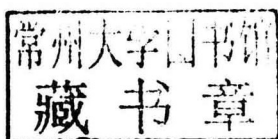
电子科技大学出版社

数控电切削加工实训教程

主 编 李建国 寇元哲 张 敬

副主编 王建吉

参 编 黄连宝



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控电切削加工实训教程 / 李建国,寇元哲,张敬主编. —
成都:电子科技大学出版社,2016.6
ISBN 978-7-5647-3685-9

I. ①数… II. ①李… ②寇… ③张… III. ①电加工—金属
切削—技术培训—教材 IV. ①TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 125307 号

内 容 简 介

本书由上篇电火花切割加工和下篇电火花成形加工两部分组成。本书共十四个项目,主要内容包括项目一电火花线切割加工基础知识、项目二电火花线切割加工的工作原理、项目三电火花线切割加工机床、项目四电火花线切割加工工艺、项目五电火花线切割加工编程、项目六电火花线切割加工自动编程、项目七电火花线切割机床的操作、项目八电火花线切割的加工方法、项目九电火花线切割加工异常的原因与处理、项目十电火花成形加工工艺、项目十一电火花成形加工设备、项目十二电火花成形加工电极的制造与安装、项目十三电火花成形加工的系统、项目十四电火花加工小孔。

本书以“够用为度,强化应用”为原则,以技能素质培养为根本目标,注意基本知识、基本理论的阐述,注重理论联系实际,突出系统性、实用性和先进性,列举了一定数量的典型加工实例,进一步强化实践操作技能。

数控电切削加工实训教程

主 编 李建国 寇元哲 张敬

出 版:电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑:曾 艺

责任编辑:曾 艺

主 页:www.uestcp.com.cn

电子邮箱:uestcp@uestcp.com.cn

发 行:全国新华书店经销

印 刷:北京市彩虹印刷有限责任公司

成品尺寸:185mm×260mm 印张 19.75 字数 480 千字

版 次:2016 年 6 月第一版

印 次:2016 年 6 月第一次印刷

书 号:ISBN 978-7-5647-3685-9

定 价:36.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话:(028)83202463; 本社邮购电话:(028)83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

前 言

进入 21 世纪以来,随着我国数控技术的快速发展,电火花加工技术在民用和国防工业中的应用越来越广泛,特别是数控电火花成形加工机床和数控电火花线切割加工机床不仅在模具制造业中广泛应用,而且在一般机械加工企业中逐渐普及。电火花加工技术给机械制造行业乃至整个工业带来了革命性的变化。数控电火花技术集传统的机械制造技术、计算机技术、信息处理技术、网络通信技术、成组技术、现代控制技术、传感检测技术、微电子技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础。

电火花加工技术是实践性与理论性都很强的一门技术,用户既要掌握电火花工艺方面的知识,又要充分熟悉电火花机床的功能与编程知识。为了适应我国电火花技术发展的要求,从事电火花加工的技术人员需要提高自身的技术水平;企业急需一批电火花加工方面懂工艺、会编程,能够熟练操作和维护机床的应用型技术人才。

目前,我国的电火花机床操作者中,大多只经过短期培训,缺乏系统的理论知识;只能进行简单加工程序的编制,严重影响了加工设备的高效使用。为适应现代化加工技术的要求,电火花机床操作者,要全面掌握所需的专业知识;不但要学习机械基础、加工工艺等知识,还要学习数控方面的数控原理、数控加工工艺和数控编程(手工编程、图形编程和自动编程)等相关知识。

针对上述现状,编者对常见的电火花加工技术方面的教材进行了认真研究,并对国内数十家企业进行了调研,根据电火花加工技术人才知识结构的市场需求,从培养学生必备的基础知识和操作技能出发,汇集多年的教学和在企业的实践经验,编写了本书。

本书由上篇电火花切割加工和下篇电火花成形加工两部分组成。本书共十四个项目,主要内容包括项目一电火花线切割加工基础知识、项目二电火花线切割加工的工作原理、项目三电火花线切割加工机床、项目四电火花线切割加工工艺、项目五电火花线切割加工编程、项目六电火花线切割加工自动编程、项目七电火花线切割机床的操作、项目八电火花线切割的加工方法、项目九电火花线切割加工异常的原因与处理、项目十电火花成形加工工艺、项目十一电火花成形加工设备、项目十二电火花成形加工电极的制造与安装、项目十三电火花成形加工的系统、项目十四电火花加工小孔。

本书由李建国、寇元哲、张敬老师合作主编,参加编写的有李建国(项目二、三、四、七)、陇东学院寇元哲(项目八、十)、张敬(项目五、六、九)、陇东学院王建吉(项目一、十一)、黄连宝(项目十二、十三、十四)。本书由秦曼华教授担任主审,对全书文稿和图稿进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,对此表示衷心的感谢。

本书以“够用为度,强化应用”为原则,以技能素质培养为根本目标,注意基本知识、基本

理论的阐述,注重理论联系实际,突出系统性、实用性和先进性,列举了一定数量的典型加工实例,进一步强化实践操作技能。

本书在编写过程中曾参考和借鉴了许多专家、学者的研究成果和科学经验,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限和出版时间仓促,书中难免存在不妥之处,恳请相关专家、学者以及读者批评指正,以便我们今后的更改和完善。

编 者
2016 年 3 月



目 录

上篇 电火花切割加工

项目一 电火花线切割加工基础知识	(2)
任务一 电火花线切割加工概述	(2)
任务二 数控机床的坐标系统和切削用量确定	(9)
项目二 电火花线切割加工的工作原理	(14)
任务一 电火花线切割加工原理	(14)
任务二 电火花切割加工的基本规律	(19)
任务三 影响电火花线切割工艺指标的因素	(21)
项目三 电火花线切割加工机床	(33)
任务一 电火花线切割机床	(33)
任务二 电火花线切割加工设备的重要部件	(59)
项目四 电火花线切割加工工艺	(63)
任务一 电火花线切割加工工艺基础	(63)
任务二 电火花线切割加工工序的检验	(64)
项目五 电火花线切割加工编程	(83)
任务一 电火花线切割加工编程概述	(83)
任务二 3B 格式手工编程概述	(89)
任务三 ISO 格式手工编程概述	(97)
项目六 电火花线切割加工自动编程	(107)
任务一 电火花线切割加工自动编程	(107)
任务二 CAXA 线切割自动编程	(108)
项目七 电火花线切割机床的操作	(123)
任务一 电火花线切割机床的操作	(123)
任务二 加工材料的准备	(123)
任务三 工件装夹与找正	(128)



任务四	电极丝的安装调整与路线确定	(134)
任务五	加工的运行与结束处理	(141)
任务六	电火花线切割机床的维护保养	(156)
项目八	电火花线切割的加工方法	(159)
任务一	凸/凹模加工方法	(159)
任务二	冲压/复合模加工方法	(171)
任务三	锥度与上下异形零件加工方法	(184)
项目九	电火花线切割加工异常的原因与处理	(209)
任务一	短路、断丝的原因与处理	(209)
任务二	加工质量差的原因与处理	(213)
 下篇 电火花成形加工 		
项目十	电火花成形加工工艺	(224)
任务一	电火花成形加工基础知识	(224)
任务二	电火花成形加工	(225)
项目十一	电火花成形加工设备	(243)
任务一	电火花成形加工机床的分类及结构形式	(243)
任务二	电火花成形加工机床的型号与技术参数	(246)
任务三	电火花成形加工机床的组成部分及其作用	(250)
项目十二	电火花成形加工电极的制造与安装	(271)
任务一	电火花成形加工的电极材料准备	(271)
任务二	电火花成形加工电极的设计与制作	(273)
任务三	电火花成形加工工件的准备	(279)
任务四	电火花成形加工电极的装夹与定位	(280)
项目十三	电火花成形加工的系统	(289)
任务一	电火花成形加工的工艺方法	(289)
任务二	电火花成形加工的数控系统	(295)
项目十四	电火花加工小孔	(305)
主要参考书目		(310)

上篇 电火花切割加工

- 项目一 电火花线切割加工基础知识
- 项目二 电火花线切割加工的工作原理
- 项目三 电火花线切割加工机床
- 项目四 电火花线切割加工工艺
- 项目五 电火花线切割加工编程
- 项目六 电火花线切割加工自动编程
- 项目七 电火花线切割机床的操作
- 项目八 电火花线切割的加工方法
- 项目九 电火花线切割加工异常的原因与处理



项目一 电火花线切割加工基础知识

【学习目标】

1. 了解电火花线加工的分类和发展现状。
2. 知道电火花加工的特点和用途。
3. 掌握电火花加工的常用术语。
4. 掌握数控机床的坐标系统。

任务一 电火花线切割加工概述

知识点 1 电火花加工的产生及发展

1943 年,苏联科学家拉扎连珂夫妇在研究开关触电点受火花放电腐蚀损坏的现象和原因时,发现电火花的瞬时高温可以使局部的金属熔化、汽化而被蚀除掉,从而开创和发明了电火花加工方法,在此后不到十年的时间里,世界上工业比较发达的国家都相继研制成功了电火花穿孔机床。

20 世纪 50 年代初,出现电子管脉冲电源和闸流管脉冲电源,以及伺服电机间隙自动调节器。1955 年开始,根据加工中的热现象进行脉冲电源设计。1956 年,出现了电脉冲机床。线切割放电机电于 1960 年发明于苏联。1972 年,国际上首次展出了计算机数字控制电火花线切割机床。1973 年,又展出了直接数字控制电火花线切割机床。

20 世纪 80 年代,随着计算机和数控技术的发展,更加推动了电火花加工技术的进步,特别是在加工精度、加工质量、可靠性、自动化方面更有长足发展。电火花成形加工设备工艺实现了数控化和适应控制化。

目前,数控电火花加工在伺服系统和脉冲电源的改进、加工新工艺应用等方面取得了重大成果,大大提高了数控电火花加工的质量、加工效率。数控加工技术发展在新形势的影响下,促使电火花加工技术朝着更深层次、更高水平的数控化和精密化、自动化、智能化、高效化的方向发展。

我国自 1951 年开始电火花加工的试验研究工作。1959~1960 年间先后派了许多技术人员到苏联进修电加工技术,此后成立了多家电加工研究所、研究室。自 1960 年后,我国的电加工技术从引进、仿制迅速走上独立、自行研究开发的道路。20 世纪 60 年代,中国科学院电加工研究所研制成功我国第一台靠模仿形电火花线切割机床。1963 年,上海电表厂创新性地研制出我国独创的往复快走丝线切割机床,获得国家发明创造奖。1967 年,我国把光电跟踪控制技术成功地应用于电火花线切割加工中,用自动跟踪图线运动代替靠模仿形控制,进一步提高了加工精度。

20 世纪 80 年代,改革开放以后,国民经济的迅速发展带动了电火花加工技术快速发



展到一个新阶段。90 年代以来,计算机技术的飞速发展,更加推动电火花加工技术的进步。快走丝电火花线切割机床普遍采用计算机控制,实现了人机对话、自动编程、全自动控制、大斜度加工,加工工艺指标进一步稳步提高。同时,慢走丝电火花线切割机床除了大量引进瑞士、日本等国家的机床之外,国产慢走丝线切割加工机床质量逐渐接近了国际水平,加工精度进入了微米级。电火花成形加工技术已从单轴数控、多轴数显,发展为多轴数控,并具有一定的人工智能,大大提高了加工精度、质量和可靠性。脉冲电源发展到 IGBT;主轴头已由步进电机、直流伺服电机,发展到交流伺服电机和直线电机。多种机械加工难以实现的复杂、精密模具和零件的加工,被电火花加工技术所攻克。多种高硬度、高熔点难加工材料,也被电火花加工技术逐一解决。

进入 21 世纪,电火花加工技术更加迅猛发展,成为现代制造技术的重要组成部分。电火花加工的数控系统进一步采用专家系统、人工神经网络技术、模糊控制技术、仿真技术等,进一步提高加工的各项工艺指标、加工的可靠性和自动化程度。脉冲电源则在保证电火花加工工艺指标的前提下,向环保、绿色、节能方向发展。电火花加工技术在“微纳”加工、“镜面”加工、半导体和超硬材料加工中将会发挥越来越重要的作用。总之,电火花加工技术将以高效率、高精度、低损耗、微细化、自动化、安全、环保等为目标,在现代制造业中不断地发展。

知识点 2 电火花加工的特点和用途

1. 电火花加工的优点

(1) 适合于难以切削材料的加工

电火花加工中材料的去除是靠放电时的电热作用实现的,材料的可加工性主要取决于材料的导电性及其热学特性,如熔点、沸点、比热容、热导率、电阻率等,而几乎与其力学性能(硬度、强度等)无关。这样可以突破传统切削加工对刀具的限制,实现用软制工具加工硬制的工件,甚至可以加工像聚晶金刚石、立方氮化硼一类的超硬材料。

(2) 可以加工特殊及复杂形状的表面和零件

电火花加工中工具电极和工件不直接接触,没有机械加工宏观的切削力,因此适宜加工低刚度工件及作微细加工。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。数控技术的采用使得用简单的电极加工复杂形状零件成为可能。

(3) 易于实现加工过程自动化

由于直接利用电能加工,而电能、电参数易于数字控制,因此电火花加工便于实现加工过程的自动化、智能化控制和无人化操作。

(4) 可以改进加工零件的结构设计,改善其结构的工艺性

例如采用电火花加工,可以将拼镶结构的硬质合金冲模改为整体式结构,从而减少了模具加工工时和装配工时,延长了模具使用寿命。又如采用电火花加工喷气发动机中的叶轮,也可以将拼镶、焊接结构式叶轮改为整体式叶轮,既大大提高了工作可靠性,又大大减少了体积和质量。

2. 电火花加工的局限性

(1) 加工材料的局限性



主要用于加工金属等导电材料，但在一定条件下也可以加工半导体和非导体材料。

(2) 一般加工速度较慢

排工艺时，通常采用切削加工先去除大部分余量，然后再进行电火花加工，以求提高生产效率。但已有研究成果表明，采用特殊水基不燃性工作液进行电火花加工，其粗加工生产率可以高于切削加工。

(3) 存在电极损耗

由于电火花加工靠电、热来蚀除金属，电极也会遭受损耗，并且电极损耗多集中在尖角或底面，影响成形精度。目前在粗加工时电极相对损耗比可以降至 0.1% 以下，在中、精加工时能将损耗比降至 1%，甚至更小。

(4) 最小角部半径有限制

一般电火花加工能得到的最小角部半径等于加工间隙(通常为 0.02 mm~0.3 mm)，若电极有损耗或采用平动头加工，则角部半径还要增大。但近年来的多轴数控电火花加工机床采用 X、Y、Z 轴数控摇动加工，可以清棱、清角地加工出方孔、窄槽的侧壁和底面。

3. 电火花加工的主要用途

(1) 加工各种金属及其合金材料、导电超硬材料(如聚晶金刚石、立方氮化硼、金属陶瓷等)、特殊的热敏材料、半导体和非导体材料。

(2) 加工各种复杂形状 of 型孔和型腔工件，特别适宜于加工弱刚度、薄壁工件的复杂外形，以及各种型面的型腔工件、弯曲孔等。可以加工从数微米的孔、槽到数米的超大型模具和零件。

(3) 各种工件与材料的切割，包括材料的切断、特殊结构零件的切断、切割微细窄缝及微细窄缝组成的零件(如金属网栅、慢波结构、异形孔喷丝板、激光器件等)。

(4) 加工各种成形刀、样板、工具、量具、螺纹等成形零件。

(5) 工件的磨削，包括小孔、深孔、内圆、外圆、平面等的磨削和成形磨削。

(6) 刻写、打印铭牌和标记。

(7) 表面强化和改性，如金属表面高速淬火、渗氮、渗碳、涂覆特殊材料及合金化等。

(8) 辅助用途，如去除折断在零件中的丝锥、钻头，修复磨损件，跑合齿轮啮合件等。

目前，电火花加工技术已广泛用于航天、航空、机械(特别是模具制造)、电子、原子能、计算机、仪器仪表、电机电器、精密机械、汽车、拖拉机、轻工等行业，以及科学研究部门。它特有的功能为各种新型材料的发展和应用开辟了广阔的途径，为各种工业产品的改革与制造提供了新的加工设备，为现代科学技术的发展和试验设计水平的提高提供了有效的手段。

知识点 3 电火花加工常用术语

1. 放电加工

在一定的加工介质中，通过两极(工具电极和工件电极)之间的火花放电或短电弧放电的电蚀作用来对材料进行加工的方法，简称 EDM。

2. 电火花加工

当采用电火花脉冲放电形式来进行加工时，称为电火花加工。



3. 工具电极

电火花加工用的工具，因其是火花放电时电极之一，故称为工具电极，简称工具或电极，如图 1-1 所示。

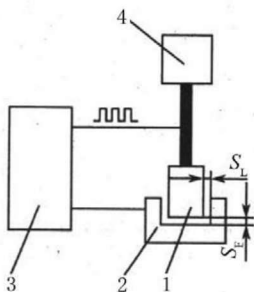


图 1-1 电火花加工示意图

1—工具电极；2—工件；3—脉冲电源；4—伺服进给系统

4. 放电间隙

指放电发生时工具电极和工件之间产生火花放电的距离。在加工过程中，则称为加工间隙 S ，一般为 $0.01\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm}$ ；粗加工时间隙较大，精加工时则较小。加工间隙又可分为端面间隙 S_F 和侧面间隙 S_L ，如图 1-1 所示。对于冲模等穿孔加工来说，又可分为入口间隙 S_{in} 和出口间隙 S_{out} ，一般情况下 S_F 稍小于 S_L ， S_{in} 稍小于 S_{out} 。

5. 脉冲电源

以脉冲方式向工件和工具电极间的加工间隙提供放电能量的装置。

6. 脉冲放电

脉冲性的放电，在时间上是连续的，在空间上放电点是分散的。它是电火花加工常采用的放电形式。

7. 伺服进给系统

用作使工具电极伺服进给、自动调节的系统，使工具电极和工件在加工过程中保持一定的放电间隙。

8. 工作液介质

在电火花加工时，工具电极和工件之间的放电间隙一般浸泡在有一定绝缘性能的液体介质中，此液体介质即称工作液介质或简称工作液。

9. 电蚀产物

指电火花加工过程中被蚀除下来的产物。一般是指工具电极和工件表面被蚀除下来的微粒小屑及煤油等，工作液在高温下分解出来的炭黑和其他产物，也称为加工屑。

10. 二次放电

是指在已加工面上，由于加工屑等的介入而进行再次放电的现象。

11. 电参数电规准

电火花加工过程中的脉冲宽度、脉冲间隔、峰值电压、峰值电流等脉冲参数称为电参



数。电火花加工时选用的脉冲宽度、脉冲间隔、峰值电压、峰值电流等脉冲参数，称为电规准，这些脉冲参数在每次加工时必须事先选定。

12. 脉冲宽度 $t_i(\mu s)$

脉冲宽度简称脉宽，日本及英、美常用 t_{on} 或 τ_{on} 表示。它是加到工具和工件上放电间隙两端的电压脉冲的持续时间，如图 1-2 所示。为了防止电弧烧伤，电火花加工只能用断断续续的脉冲电压波。一般来说，脉宽较大时加工稳定性好，粗加工时可用较大的脉宽， $t_i > 80\mu s$ ；精加工时只能用较小的脉宽， $t_i < 50\mu s$ 。

13. 脉冲间隔 $t_o(\mu s)$

脉冲间隔简称脉间，也称脉冲停歇时间，日本及英、美常用 t_{off} 或 τ_{off} 表示。它是相邻两个电压脉冲之间的间隔时间，如图 1-2 所示。脉冲间隔过短，放电间隙来不及消电离恢复绝缘，容易产生电弧放电，烧伤工具和工件；脉冲间隔选得过长，将降低加工效率。加工面积、加工深度较大时，脉冲间隔也应稍大。

14. 放电时间 $t_e(\mu s)$

放电时间指工作液介质击穿后放电间隙中流过放电电流的时间，亦即电流脉宽，它比电压脉宽稍小，两者相差一个击穿延时 t_d ，如图 1-2 所示。 t_i 和 t_e 对电火花加工的生产率、表面粗糙度和电极损耗有很大影响，但实际起作用的是电流脉宽 t_e 。

15. 击穿延时 $t_d(\mu s)$

从间隙两端施加脉冲电压后，一般均要经过一小段延续时间 t_d ：工作液介质才能概率性地被击穿放电，这一小段时间 t_d 称为击穿延时，如图 1-2 所示。它与平均放电间隙大小有关，工具欠进给时，平均放电间隙变大，平均击穿延时 t_d 就大；反之，工具过进给时，放电间隙变小， t_d 也就小。

16. 脉冲周期 $t_p(\mu s)$

指一个电压脉冲开始到下一个电压脉冲开始之间的时间。它等于脉冲宽度 t_i 与脉冲间隔 t_o 之和，即 $t_p = t_i + t_o$ ，如图 1-2 所示。

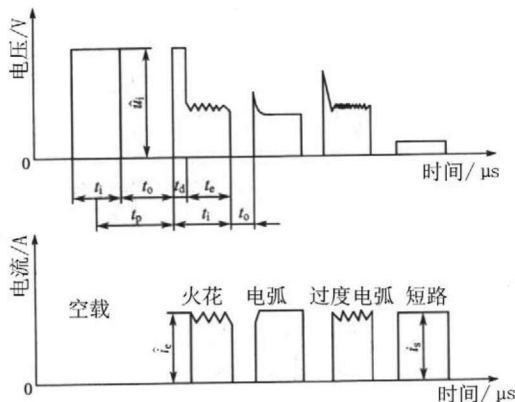


图 1-2 脉冲参数与脉冲电压、电流波形

17. 脉冲频率 $f_p(\text{Hz})$

指单位时间(1s)内电源发出的电压脉冲的个数。它与脉冲周期 t_p 互为倒数，即 $f_p =$



$1/t_p$ 。

18. 有效脉冲频率 f_e (Hz)

有效脉冲频率指单位时间内在放电间隙上发生的有效火花放电的次数，又称为工作脉冲频率。

19. 脉冲利用率 λ

脉冲利用率指有效脉冲频率 f_e 与脉冲频率 f_p 之比；亦即单位时间内有效火花脉冲个数与该单位时间内的总脉冲个数之比， $\lambda = f_e / f_p$ ，又称为脉冲个数利用率。

20. 脉宽系数 τ

脉宽系数指脉冲宽度 t_i 与脉冲周期 t_p 之比， $\tau = t_i / t_p = t_i / (t_i + t_o)$ 。

21. 占空比 Ψ

占空比指脉冲宽度 t_i 与脉冲间隔 t_o 之比。其计算公式为 $\Psi = t_i / t_o$ 。粗加工时，占空比可较大， $\Psi = (10:1) \sim (2:1)$ ；精加工时应较小， $\Psi = (1:1) \sim (1:10)$ ，否则放电间隙来不及消电离恢复绝缘，容易引起电弧放电。

22. 开路电压 $\hat{u}_i$ (V)

开路电压指间隙开路时电极间的最高电压，有时等于电源的直流电压，如图 1-2 所示，又称为空载电压或峰值电压。峰值电压高，放电间隙大，生产效率高，但成形复制精度稍差。

23. 火花维持电压

火花维持电压指每次火花击穿后，在放电间隙上火花放电时的维持电压，一般为 25V 左右，它实际上是一个高频振荡的电压。电弧的维持电压比火花的维持电压低 5V 左右，高频振荡频率较低，一般示波器上观察不到高频成分，观察到的是一水平亮线，过渡电弧的维持电压则介于电弧和短路之间，如图 1-2 所示。

24. 加工电压 U (V)

加工电压指加工时电压表上指示的放电间隙两端电压的平均值，它是多个开路电压、火花放电维持电压、短路和脉冲间隔等电压的平均值，又称间隙平均电压。在正常加工时，加工电压为 30~50V，它与占空比、预置进给量等有关。占空比大、欠进给、欠跟踪，间隙偏开路，则加工电压偏大；占空比小、过跟踪或预置进给量小，间隙偏短路，则加工电压偏小。

25. 加工电流 I (A)

加工电流指加工时电流表上指示的流过放电间隙的平均电流。精加工时小，粗加工时大；间隙偏开路时小，间隙合理或偏短路时大。

26. 短路电流 I_s (A)

短路电流指放电间隙短路时(或人为短路时)电流表上指示的平均电流(因为短路时还有停歇时间内无电流)。它比正常加工时的平均电流大 20%~40%。

27. 峰值电流 $\hat{i}_e$ (A)

峰值电流指间隙火花放电时脉冲电流的最大值(瞬时)，日本及英、美常用 I_p 表示，如图 1-2 所示。峰值电流不易直接测量，但它是实际影响生产效率、表面粗糙度等指标的



重要参数。在设计制造脉冲电源时,每一功率放大管串联限流电阻后的峰值电流是预先选择计算好的,选择粗、中、精加工时的峰值电流实际上是选定用几个功率管进行加工。

28. 短路峰值电流 $\hat{i}_s$ (A)

短路峰值电流指间隙短路时脉冲电流的最大值(瞬时),如图 1-2 所示。它比峰值电流 i_c 大 20%~40%,与短路电流 I_s 相差一脉宽系数的倍数,即 $\hat{i}_s = I_s / \tau$ 。

29. 正、负极性加工

正、负极性加工在加工时,以工件为准,正件接脉冲电源正极(高电位端),称正极性加工;反之,工件接脉冲电源负极(低电位端),称负极性加工。

30. 放电状态

放电状态指电火花加工时放电间隙内每一脉冲放电时的基本状态。一般分为 5 种放电状态和脉冲类型。

(1)开路(空载脉冲)。放电间隙没有击穿,间隙上有大于 50V 的电压,但间隙内没有电流流过,为空载状态($t_d = t_i$)。

(2)火花放电(工作脉冲,或称有效脉冲)。间隙内绝缘性能良好,工作液介质击穿后能有效地抛出、蚀除金属,波形特点是 t_c 和 $\hat{i}_c$ 波形上有高频振荡的小锯齿。

(3)短路(短路脉冲)。放电间隙直接短路相接,这是由于伺服进给系统瞬时进给过多或放电间隙中有电蚀产物搭接所致。间隙短路时电流较大,但间隙两端的电压很小,没有蚀除加工作用。

(4)电弧放电(稳定电弧放电)。由于排屑不良,放电点集中在某一局部而不分散,局部热量积累,温度升高,恶性循环,此时火花放电就成为电弧放电,由于放电点固定在某一点或局部,因此称为稳定电弧,常使电极表面结炭、烧伤。波形特点是 t_d 和 高频振荡的小锯齿基本消失。

(5)过渡电弧放电(不稳定电弧放电,或称为不稳定火花放电),是正常火花放电与稳定电弧放电的过渡状态,是稳定电弧放电的前兆。波形特点是击穿延时 t_d 很小或接近于零,仅成为一尖刺,电压、电流波上的高频分量变低或成为稀疏的锯齿形。

以上各种放电状态在实际加工中是交替、概率性地出现的(与加工规准和进给量等有关),甚至在一次单脉冲放电过程中,也可能交替出现两种以上的放电状态。

31. 加工速度 v_w 或 V_w (mm^3/min)

加工速度指单位时间(min)内从工件上加工蚀除下来的金属体积(mm^3),以质量计算时用 v_m 或 V_m (g/min)表示,也称为加工生产率。大功率电源粗加工时, $v_w > 500 \text{ mm}^3/\text{min}$,精加工时, $v_w < 20 \text{ mm}^3/\text{min}$ 。

32. 加工效率 V_{sp} ($\text{mm}^3/(\text{A} \cdot \text{min})$)

加工效率指每安培加工电流每分钟加工蚀除掉的工件金属体积或质量,这样可以抛开电源功率大小的影响来衡量评定不同功率脉冲电源的加工速度和工艺水平。一般较好的脉冲电源的加工效率应为 $V_{sp} \geq 10 \text{ mm}^3/(\text{A} \cdot \text{min})$,国外先进水平可达 $10 \text{ mm}^3/(\text{A} \cdot \text{min}) \sim 15 \text{ mm}^3/(\text{A} \cdot \text{min})$ 。

33. 损耗速度 v_E ((mm^3/min) 或 (g/min))

损耗速度指单位时间(min)内工具电极的损耗量(体积或质量)。



34. 相对损耗或损耗比(损耗率) $\theta(\%)$

相对损耗或损耗比指工具电极损耗速度和工件加工速度的比值,以此来综合衡量工具电极的耐损耗程度和加工性能。在实际生产中,常用体积相对损耗比, $\theta = v_E/v_W$;在等截面电火花穿孔时,也可用长度相对损耗比, $\theta_L = \Delta L_E/L_W$,其中, L_W 为电极进给距离, ΔL_E 为电极损耗长度。

35. 低损耗加工

低损耗加工指相对损耗比 $\theta \leq 1\%$ 时的电火花加工。一般用紫铜或石墨电极负极性加工铜,并采用长脉宽粗加工时,可实现低损耗加工。

36. 无损耗加工

无损耗加工指相对损耗比 $\theta \leq 0.1\%$ 的电火花加工。一般在负极性长脉宽加工时充分利用工具电极正极表面吸附、镀覆一层炭黑膜才能实现。但炭黑膜过厚,会造成负损耗,反而影响加工速度。

37. 伺服参考电压 $S_v(V)$

伺服参考电压指电火花加工伺服进给时,事先设置的一个参考电压 $S_v(0 \sim 5V)$ 。用它与加工时的间隙平均电压 U 作比较,如 $S_v > U$,则主轴向上回退;反之则向下进给。因此, S_v 越大,则平均放电间隙越大;反之则越小。

38. 相对放电时间率 ϕ

相对放电时间率指火花放电时间 t_e 与脉冲宽度 t_i 之比, $\phi = t_e/t_i$ 。相对放电时间率又称为相对脉冲时间利用率或放电时间比。

任务二 数控机床的坐标系统和切削用量确定

知识点1 数控机床的坐标系统

1. 机床坐标系

数控系统依据加工程序控制机床进行自动加工的过程,实质就是控制刀具和工件的相对运动,这需要在机床上建立描述刀具和工件相对位置关系的坐标系统,以便控制系统向机床坐标轴发出控制信号,完成规定的运动。

(1) 数控机床的标准坐标系

数控机床的坐标系已标准化,按右手笛卡尔坐标系确定各轴,如图1-3所示,规定了 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴和 A 、 B 、 C 三个回转坐标轴以及它们之间的关系。

伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° ,则大拇指代表 X 轴,食指代表 Y 轴,中指代表 Z 轴;大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指的指向为 Y 轴的正方向,中指的指向为 Z 轴的正方向。

围绕 X 、 Y 、 Z 直线轴的旋转轴分别用 A 、 B 、 C 表示,根据右手螺旋定律,若大拇指的指向分别为 X 、 Y 、 Z 轴,则对应的四指旋转方向即为旋转轴 A 、 B 、 C 的正向。

(2) 机床坐标轴运动方向的规定

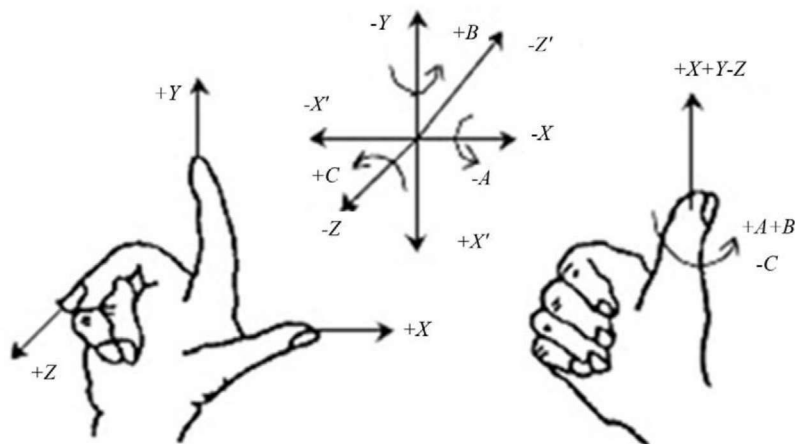


图 1-3 右手笛卡儿坐标系

在数控标准坐标系的基础上,在编程时,不论实际加工中是刀具移动,还是工件移动,都一律规定:工件静止不动,刀具移动,并且刀具远离工件的方向作为坐标轴的正方向,刀具切入工件的方向为负方向。

(3) 机床坐标轴的规定

Z 轴:产生切削力的轴线方向作为 Z 轴方向。

①有主轴的机床。以机床主轴为 Z 轴方向,如车床、铣床、加工中心等。

②无主轴的机床。选择与工作台面相垂直的直线方向为 Z 轴方向,如牛头刨床。

③多主轴的机床。选择与工作台面相垂直的常用主轴轴线为 Z 轴方向,如另有一轴平行于 Z 轴方向,则可指定为 W 轴,如有第三轴平行于 Z 轴,则可指定为 R 轴。

X 轴:X 轴为水平方向,且垂直于 Z 轴,并平行于工件的装夹面。

①主轴带动工件旋转切削的机床(如车床)在水平面内,选垂直于工件轴线的方向为 X 主轴方向,如图 1-4 所示。

②主轴带动刀具旋转切削的机床(如铣床)主轴水平时,左侧为正;主轴垂直时,右侧为正,如图 1-5 所示。

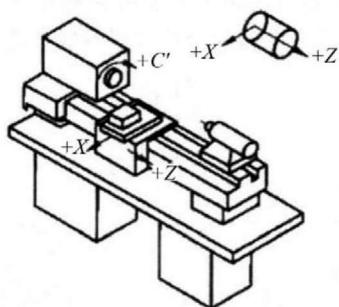


图 1-4 卧式车床

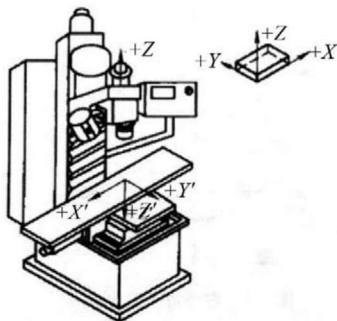


图 1-5 立式铣床

③无主轴机床切削方向为 X 轴正方向。

④多个滑板运动时取主要滑板的运动方向为 X 轴方向,其余,第二、第三分别为 U、P 轴。