

名师课堂

本丛书由国家教学名师王爱玲教授主编

数控职业技能实践系列教程

特种数控设备 编程与操作

■ 王爱玲 主编

■ 李清 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数控职业技能实践系列教程

特种数控设备编程与操作

王爱玲 主 编
李 清 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书简单介绍除常用数控车、铣、加工中心以外的常见特种数控设备。主要包括：数控电火花机床、数控线切割机床、数控磨床、数控冲床、数控旋压机床等特种数控设备的编程与操作。

本书取材新颖，内容由浅入深，循序渐进，深入浅出，图文并茂，形象生动，理论联系实际，着重于应用，每一部分尽量多举实例，理论部分的讲解突出简明性、系统性、实用性和先进性。

本书可作为高职高专机电类、数控技术类专业的教材，以及相关专业各种层次工程继续教育的培训教材，也可供自动化领域及机械制造业有关工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种数控设备编程与操作/王爱玲主编. —北京：电子工业出版社，2008.6

(数控职业技能实践系列教程)

ISBN 978-7-121-05284-2

I. 特… II. 王… III. ①数控机床—操作—技术培训—教材②数控机床—程序设计—技术培训—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 169232 号

责任编辑：徐 静 特约编辑：孙志明

印 刷：北京市顺义兴华印刷厂

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×980 1/16 印张：13.75 字数：300 千字

印 次：2008 年 6 月第 1 次印刷

定 价：25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

《数控职业技能实践系列教程》

编 委 会

主 编 王爱玲

副主编 (按姓氏笔画排序)

刘中柱 刘永姜 孙旭东 李 清 杨福合 曾志强

编 委 (按姓氏笔画排序)

马清艳	马维金	王永祯	王爱玲	刘中柱	刘永姜
孙旭东	成云平	李 清	朱丽梅	陆春月	吴晶莹
杨福合	郑智贞	贺小宇	绍云鹏	赵丽琴	曾志强
崔 亚	温海骏	蓝海根	翟 宁	蔡国轩	

前 言

数控技术是现代制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，离开了数控技术，先进制造技术就成了无本之木。数控技术的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化，它的关联效益和辐射能力更是难以估计。数控技术及数控装备已成为关系国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

我国数控技术及其产业尽管在改革开放以来取得了显著的成就，但是，我国的数控技术及产业与发达国家相比仍然有比较大的差距，其原因是多方面的，但最重要的是数控人才的匮乏。目前，随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批各种层次的数控人才，特别是应用型高级技术人才及能熟练操作数控设备的技能人才，而数控车床、铣床、加工中心及一些特种数控设备操作人员的培养更加显得紧迫。

为了适应我国高等职业技术教育的发展及数控技能型人才培养的需要，我们特编写了这一套《数控职业技能实践系列教程》。

本系列教程分6册：《数控加工技术基础》、《数控车削编程与操作》、《数控铣削编程与操作》、《数控加工中心编程与操作》、《特种数控设备编程与操作》、《数控设备故障诊断与维修》。

承担本系列教程编写工作的中北大学机械工程与自动化学院机械工程系，在“机械设计制造及其自动化”——山西省品牌专业建设的基础上，1995年就开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业，其专业基础课程《机床数控技术》被评为省级精品课程。在继续教育方面，作者单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位，自1995年以来，开办了50多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班，为80多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。目前，中北大学是教育部、国防科工委、中国机械工业联合会认定的数控技术领域技能型紧缺人才培养培训基地。

本系列教程是经过10多年的教学实践的积累和检验，不断进行补充、更新、修改而编著完成的。本教材力求取材新颖，介绍的内容由浅入深、循序渐进、深入浅出、图文并茂、形象生动、理论密切联系实际，特别着重于应用，每一部分都列举了大量实例。理论部分的讲解突出了简明性、系统性、实用性和先进性，反映机与电的结合，减少繁杂的数学推导，

系统全面地介绍了数控技术、数控装备、数控加工工艺等方面的知识。

本系列教程的特色表现在下列几方面：

(1) 教材编写突出了“应用”的特色，精选了大量的应用实例。

(2) 注重理论与实践的合理搭配，既有相关技术的基础理论知识，又有数控实践操作知识。

(3) 在有限的课时内，安排了较多的实验、习题，以锻炼学生实际动手能力及学习解决实际问题的能力。

(4) 本系列教材编写工作由学校教师和企业技术人员共同完成。

参加本系列教程编写者均为主讲过“机械设计制造及其自动化”类“数控技术”专业本、专科各门数控专业课程，并参加相关科研项目的青年教师，由博士生导师王爱玲教授担任系列教程的总策划与主编。

本系列教程可作为高等职业教育的教学与实践用教材或教学参考用书；同时对从事数控技术开发、数控设备使用、维修人员、数控编程技术人员及数控机床操作人员均有较大的参考价值。同时，也可作为各种层次的继续工程教育用数控专业培训教材。

《特种数控设备编程与操作》由中北大学王爱玲教授主编、李清副主编。其中第1章由蓝海根编写，第2章由王爱玲教授编写，第3章由温海骏和李清编写，第4章由陆春月编写，第5章、第6章由翟宁编写。全书编写过程中得到了江阳化工厂朱丽梅高级工程师、董小红高级工程师及晋机集团公司丁红高级工程师的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

本书编写时参阅了很多院校和企业的教材、资料和文献，部分资料来源于网络，并得到很多专家和同事的支持与帮助，在此谨致谢意！

限于编者的水平和经验，书中难免会有不少疏漏和错误，恳请读者和各位同仁批评指正。

编 者
2008年6月

目 录

第 1 章 数控电火花机床	1
1.1 概述	1
1.1.1 电火花加工原理	1
1.1.2 数控电火花成形机床的分类	2
1.1.3 数控电火花成形机床的组成	5
1.1.4 加工特点及应用	11
1.2 数控电火花机床基本操作	14
1.2.1 数控电火花成形机床的性能	14
1.2.2 操作步骤	21
1.2.3 异常情况及其处理方法	22
1.2.4 安全与维护	23
1.3 数控电火花加工工艺	24
1.3.1 数控电火花成形加工工艺规律	24
1.3.2 数控电火花成形加工工艺过程	29
1.4 数控电火花加工编程	31
1.5 数控电火花加工实例	34
习题 1	35
第 2 章 数控线切割机床操作与加工	36
2.1 数控线切割机床概述	36
2.1.1 加工原理与特点	36
2.1.2 机床的组成	38
2.1.3 机床的分类与加工对象	41
2.2 数控电火花线切割加工工艺	43
2.2.1 模坯准备	43
2.2.2 加工路线的选择	43
2.2.3 穿丝孔位置的确定	45
2.2.4 切入点位置的确定	45
2.2.5 工件的装夹与找正	46

2.2.6	电极丝的选择与对刀	47
2.2.7	脉冲参数的选择	50
2.2.8	补偿量的确定	50
2.2.9	工作液的选配	51
2.3	数控电火花线切割编程指令	51
2.3.1	ISO 代码格式	51
2.3.2	3B、4B 代码格式	55
2.4	数控电火花线切割机床的基本操作	58
2.4.1	操作面板	58
2.4.2	软件功能	61
2.4.3	基本操作	63
2.4.4	加工步骤及常见故障预防措施	66
2.5	零件加工实例	68
	习题 2	72
第 3 章	数控磨床	73
3.1	概述	73
3.1.1	数控磨床的组成及结构特点	73
3.1.2	工作原理	75
3.1.3	数控磨床类型	75
3.1.4	数控磨削加工概述	77
3.1.5	数控磨床的发展	79
3.2	数控磨床基本操作	80
3.2.1	调试与操作	81
3.2.2	设备调整	82
3.2.3	安全与维护	84
3.3	数控磨削程序编制的工艺处理	85
3.4	数控外圆磨削	88
3.4.1	数控外圆磨床及应用	88
3.4.2	数控外圆磨削加工实例	94
3.5	数控光学曲线磨削	102
3.5.1	MK902X 系列数控光学曲线磨床及其应用	102
3.5.2	数控曲线磨削实例	108

3.6	数控坐标磨削	111
3.6.1	MK4280 数控坐标磨床及应用	111
3.6.2	数控坐标磨削加工实例	117
习题3		119
第4章	数控冲床	120
4.1	数控冲床概述	120
4.1.1	数控冲床的分类及特点	120
4.1.2	数控冲床的工作原理	121
4.2	数控冲床的组成	122
4.3	数控冲床基本操作	124
4.4	数控冲床加工编程	126
4.5	应用 CAD/CAM 软件进行编程	141
4.6	数控冲床加工工艺	146
4.6.1	数控冲床程序设计工艺过程分析	147
4.6.2	数控冲床加工实例	151
第5章	数控旋压机床	155
5.1	概述	155
5.2	数控旋压机床加工编程	164
5.2.1	数控系统的指令格式及指令系统	164
5.2.2	计算机与旋压机通信	165
5.2.3	旋压机 EN500 指令系统表	165
5.2.4	三辊精密旋压机 ST56-90CN 指令系统	168
5.3	数控旋压机床加工工艺	169
5.3.1	强力旋压的金属变形规律	170
5.3.2	强力旋压毛坯的设计计算	171
5.3.3	旋压次数及各次旋压减薄率的确定	172
5.3.4	强力旋压其他工艺因素的确定	173
5.3.5	强力旋压工艺装置	175
5.4	数控旋压机床加工实例	177
习题5		179
第6章	群控及柔性制造系统	180
6.1	群控系统	180

6.1.1 群控系统的概念及发展	180
6.1.2 DNC 系统的结构	181
6.1.3 DNC 系统的组成	183
6.1.4 网络 DNC 的模式	184
6.2 柔性制造系统	188
6.2.1 FMS 的起源	188
6.2.2 FMS 的定义、分类及特点	190
6.2.3 FMS 的一般组成及其作用	191
6.2.4 FMS 的发展趋势	209
习题 6	209
参考文献	210

第1章 数控电火花机床

1.1 概述

电火花加工（Electro Spark Erosion）又称为放电加工（Electro Discharge Machining），是一种与机械加工性质完全不同的，直接利用电能或热能进行加工的新工艺。传统机械加工是通过机床部件的相对运动，用比工件材料更硬的刀具去切除工件上多余的部分，以得到成品零件。但随着工业生产和科学技术的不断进步，具有高熔点、高硬度、高强度、高脆性、高黏性、高韧性等性能的新材料不断出现，具有各种复杂结构与特殊工艺要求的工件越来越多，仍然采用单独机械加工方法，常会产生难以加工或无法加工的现象。电火花加工在其加工过程中，工具和工件并不接触，而是靠工具和工件之间不断的脉冲性火花放电，产生局部、瞬时的高温，把金属材料逐步蚀除掉。由于其在应用中显示出很多优异的性能，因此得到了迅速的发展和日益广泛的应用。

1.1.1 电火花加工原理

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。电火花加工系统的原理如图1-1所示。工件与工具电极分别与脉冲电源的两输出端相连接。放电间隙自动控制系统使工具电极和工件间经常保持一个很小的放电间隙。当脉冲电压加到两极之间时，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，在该局部瞬间产生火花放电，瞬间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。脉冲放电结束后，经过一个时间间隔（即脉冲间隙），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。这样随着相当高的频率，连续不断地重复放电，工具电极不断地向工件进给，就可将工具端面和横截面的形状复制在工件上，加工出所需要的和工具形状阴阳相反的零件，整个加工表面由无数个小凹坑所组成。

脉冲电源输出单向脉冲电压加在工件和电极上。当电压升高到间隙中工作液的击穿电压时，会使介质在绝缘强度最低处被击穿，产生火花放电，如图1-2（a）所示；瞬间高温使工件和电极表面都被蚀除掉一小块材料形成小的凹坑，如图1-2（b）。

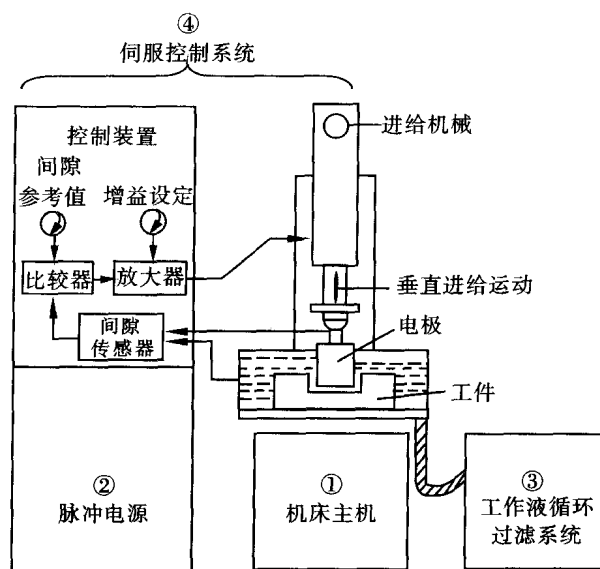


图 1-1 数控电火花成形加工原理

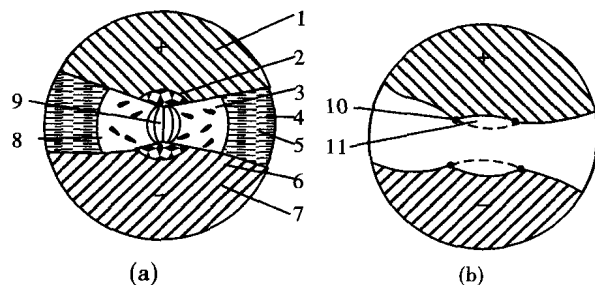


图 1-2 放电间隙状况示意图

- 1—阳极；2—从阳极上抛出金属的区域；3—熔化的金属微粒；4—工作液；
5—在工作液中凝固的金属微粒；6—在阴极上抛出金属的区域；7—阴极；
8—气泡；9—放电通道；10—翻边凸起；11—凹坑

必须把加工过程中所产生的电蚀产物（包括加工屑和焦油、气体之类的介质分解产物）和余热，及时地从加工间隙中排除出去，使加工正常地连续进行。

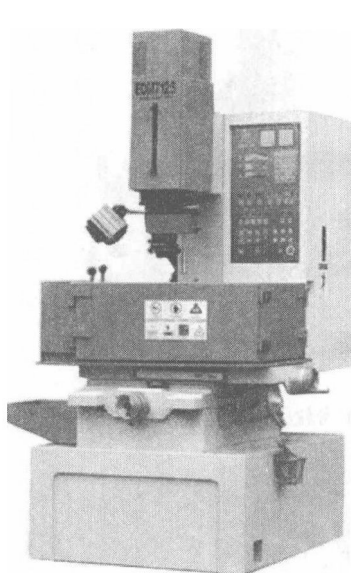
1.1.2 数控电火花成形机床的分类

电火花成形加工机床已形成系列产品，按不同的定义其分类方法也不同。

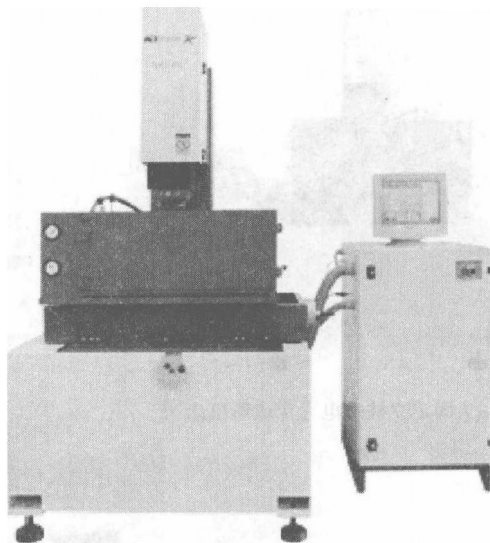
1. 按控制方式分类

按控制方式分为：普通数显电火花成形机床、单轴数控电火花成形机床、多轴数控电火

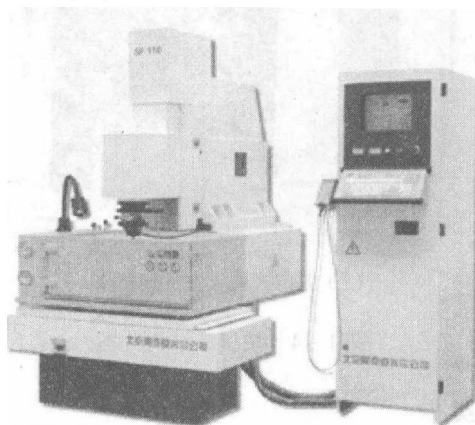
花成形机床，如图 1-3 所示。



(a) 普通数显电火花成形机床



(b) 单轴数控电火花成形机床

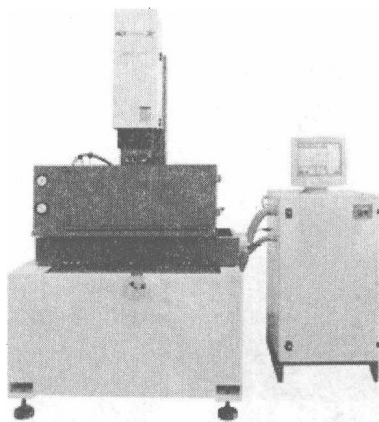


(c) 多轴数控电火花成形机床

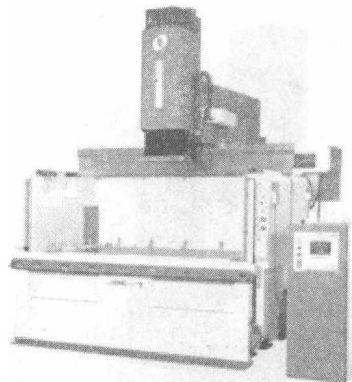
图 1-3 控制方式分类

2. 按机床结构分类

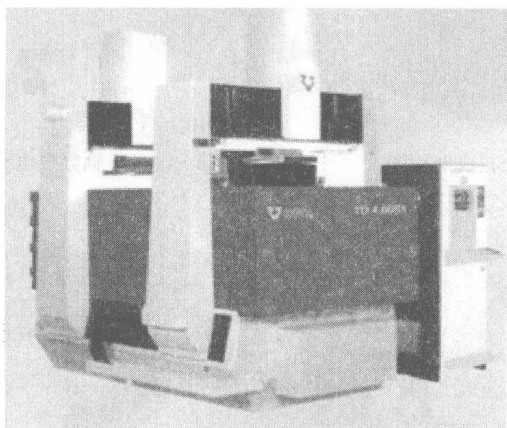
按机床结构分为：固定立柱式电火花成形机床、滑枕式电火花成形机床、龙门式电火花成形机床，如图1-4所示。



(a) 固定立柱式电火花成形机床



(b) 滑枕式电火花成形机床



(c) 龙门式电火花成形机床

图 1-4 按机床结构分类

3. 按电极交换装置分类

按电极交换装置分为：普通电火花成形机床、电火花加工中心，如图 1-5 所示。

另外还可按伺服系统分为液压进给、步进电动机进给、直流或交流伺服电动机进给和直线电动机进给。按应用范围还可分为通用机床和专用机床，等等。当然无论是那种结构形式的电火花成形机床，其主要功能都是满足电火花成形加工的工艺要求、伺服加工轴运动并保证电火花放电所需的最佳间隙的要求，同时按预定的运动轨迹移动，以完成工件的加工。



图 1-5 电火花加工中心

1.1.3 数控电火花成形机床的组成

如图 1-1 所示，数控电火花成形加工机床主要由机床主机、脉冲电源和机床电气系统、数控系统、工作液循环过滤系统等部分组成。

1. 机床主机及附件

机床主机用于支撑、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。机床主机由床身、立柱、主轴头（如图 1-6 所示）、工作台及工作液箱（如图 1-7 所示）、工作台附件等部分组成。附件包括用以实现工件和电极的装夹、固定和调整其相对位置的机械装置，电极自动交换装置等（ATC 或 AEC，如图 1-8 所示）。另外还有可调节工具电极角度的夹头、油杯、平动头、自动灭火装置和磁力吸盘等（如图 1-9、图 1-10 和图 1-11 所示）。

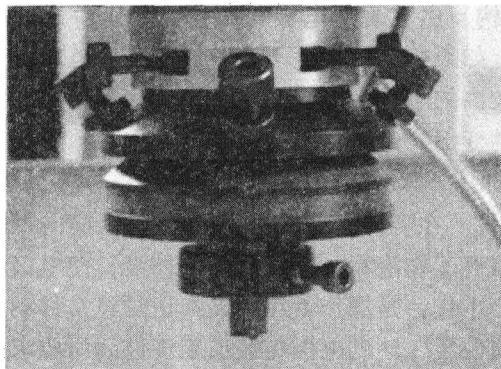


图 1-6 电火花机床主轴头

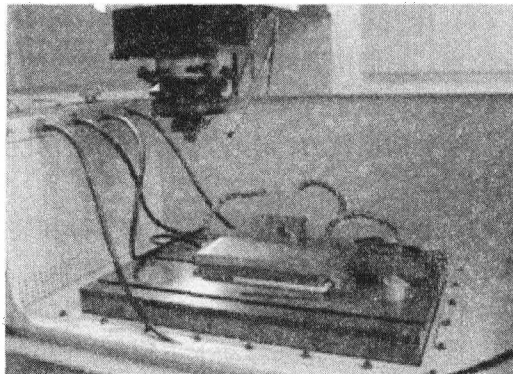


图 1-7 电火花机床工作台及工作液箱

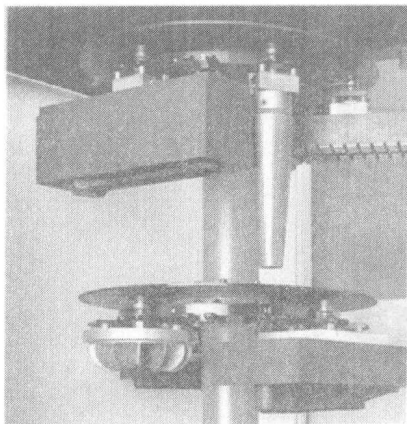


图 1-8 电极自动交换装置

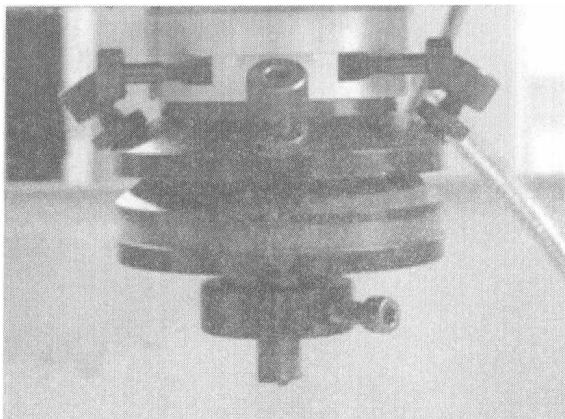


图 1-9 平动头

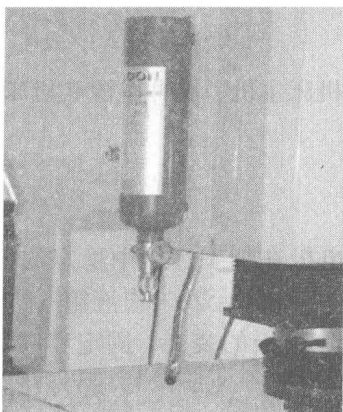


图 1-10 自动灭火装置

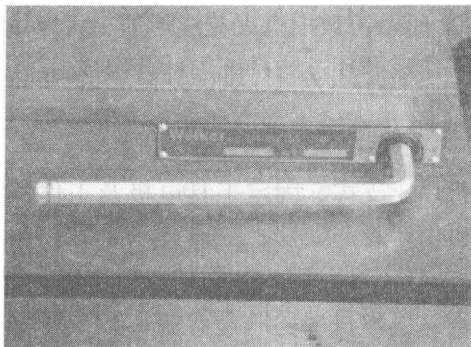


图 1-11 磁力吸盘

(1) 床身和立柱 床身和立柱是一个基础结构,由它确保电极与工作台、工件之间的相互位置。它们精度的高低对加工有直接的影响。如果机床的精度不高,加工精度也难以保证。因此,不但床身和立柱的结构应该合理,有较高的刚度,能承受主轴负重和运动部件突然加速运动的惯性力,还应能减小温度变化引起的变形。经过时效处理消除内应力,使其日久不会变形。

(2) 工作台 工作台主要用来支撑和装夹工件。在实际加工中,通过转动纵横向螺杆来改变电极与工作台的相对位置。工作台上部还装有工作液箱,用以容纳工作液,使电极和被加工件浸泡在工作液里,起到冷却、排屑作用。工作台是操作者在装夹找正时经常移动的部件,通过两个手轮来移动上下拖板,改变纵横向位置,达到电极与被加工工件间所要求的相对位置。工作台可分为普通工作台和精密工作台。目前,在国内已应用精密滚珠丝杠、滚动直线导轨和高性能伺服电动机等结构,以满足精密模具的加工。全数控型电火花机床的工

作台两侧面不再安装手轮。

(3) 主轴头 主轴头是电火花穿孔成形加工机床的一个关键部件。它的结构是由伺服进给机构、导向和防扭机构、辅助机构三部分组成,其结构如图1-12所示。它控制工件与工具电极之间的放电间隙。

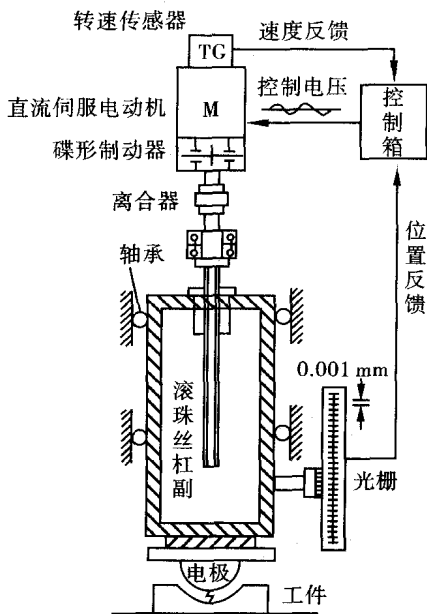


图1-12 直（交）流伺服进给主轴头结构图

主轴头的好坏直接影响加工的工艺指标,如生产率、几何精度及表面粗糙度。因此主轴头应具备以下条件:①有一定的轴向和侧向刚度及精度;②有足够的进给和回升速度;③主轴运动的直线性和防扭转性能好;④灵敏度要高,无爬行现象;⑤不同的机床要具备合理的承载电极质量的能力。

我国早期曾广泛采用液压伺服进给的主轴头,如DYT-1型、DYT-2型。目前,已普遍采用步进电动机、直流电动机或交流伺服电动机作为进给驱动的主轴头。主轴头移动位置的显示,初级的靠大量程百分表;中级的多数采用交流伺服电动机拖动,通过圆弧同步齿形带减速及滚珠丝杠副传动,驱动主轴作上下伺服运动。伺服主回路通电后,电磁制动器松开,伺服电动机旋转,主轴上下移动,从而实现放电加工的伺服过程。

(4) 工作台的主要附件。

1) 可调节工具电极角度的夹头(如图1-13所示) 装夹在主轴下的工具电极,在加工前需要调节到与工件基准面垂直。在加工型孔或型腔时,还需在水平面内调节、转动一个角度,使工具电极的截面形状与加工出工件型孔或型腔预定的位置一致。前一个垂直度调节功能,常用球面铰链来实现;后一个调节功能,靠主轴与工具电极安装面的相对转动机构来