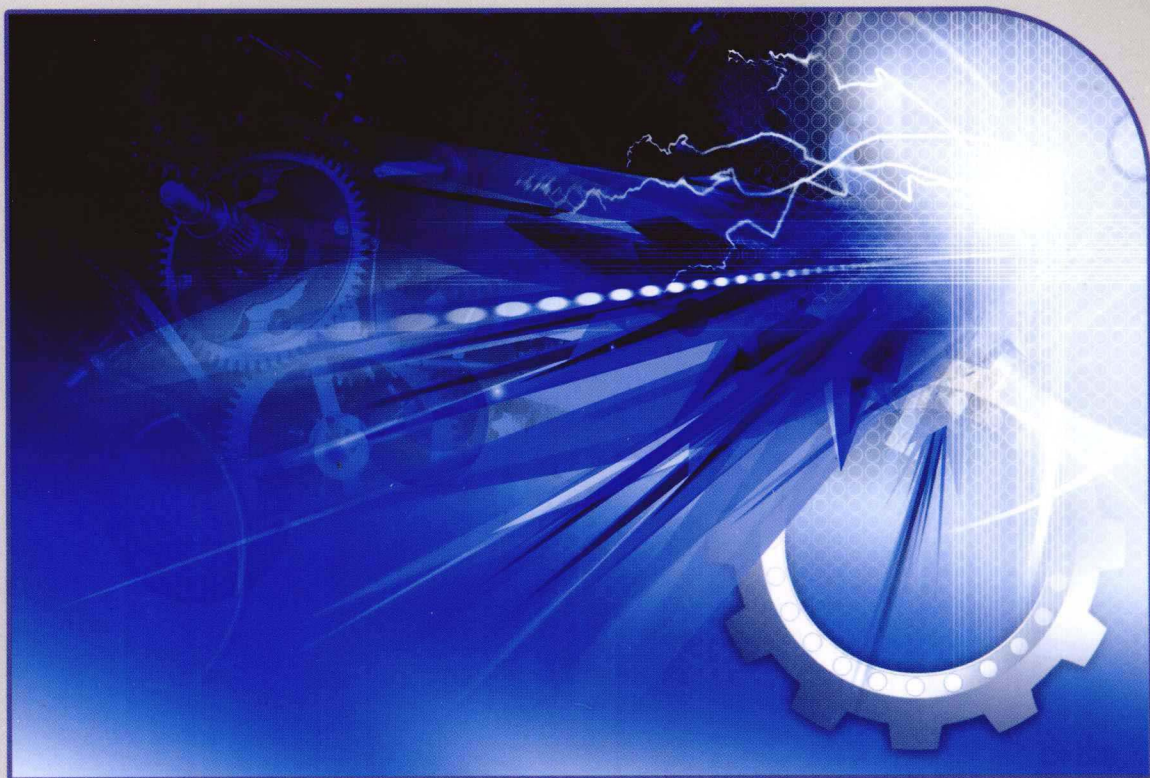




高等院校“十二五”示范性建设成果



零件数控电火花加工

(第2版)

LINGJIAN SHUKONG DIANHUOHUA JIAGONG

■ 主编 蒙 坚 丘立庆

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

零件数控电火花加工

LING JIAN SHU KONG DIAN HUO HUA JIA GONG

(第2版)

主 编 蒙 坚 丘立庆

副主编 曾 林 汤耀年 蓝卫东 罗炳钧

主 审 韦 林 陈 华



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

零件数控电火花加工 / 蒙坚, 丘立庆主编. —2 版. —北京:
北京理工大学出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-5640-5132-7

I. ①零… II. ①蒙… ②丘… III. ①机械元件—数控机床—电
火花加工—高等学校—教材 IV. ①TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 187818 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(总编室) 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 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 275 千字

版 次 / 2012 年 1 月第 2 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1~2000 册

定 价 / 35.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 吴皓云

前 言

数控电火花加工是直接利用电能和热能对金属进行加工的一门新兴的科学技术。由于在电火花加工过程中,工具和工件之间不存在显著的切削力,因而能够解决使用常规刀具和切削方法难以解决的加工问题;而且加工用的工具硬度不必大于被加工材料的硬度,例如电火花成形加工中用的电极是由紫铜或石墨制造的。

机械制造业是我国国民经济的支柱产业,数控加工是具有代表性的先进制造技术,在模具、汽配等行业已普及。数控电火花加工技术是先进制造技术中的一个重要组成部分,随着工业生产的发展和科学技术的进步,具有高熔点、高硬度、高强度、高韧性、高脆性、高纯度等特殊性能的新型材料不断出现,具有各种复杂结构与特殊工艺要求的工件越来越多,而数控电火花加工能够适应生产发展需要,并在加工中越来越显示出其优越性,因此数控电火花加工的应用越来越广泛。目前,数控电火花加工技术在汽车、精密机械、轻工、电机电器、仪器仪表、宇航、航空、电子、原子能、计算机等行业中,已经成为制造模具的主要方法之一。而且其应用范围还在不断扩大,尤其是在中小型制造企业,特别是个体小企业中应用较广,因而对数控电火花机床操作工的需求量较大。

本教材根据高等教育的培养目标以及专业特点,以典型的数控电火花机床操作作为一门教学学科,使学生们掌握一门新技术,为今后的就业增加机会,为经济建设贡献力量。

本教材以工作过程为导向,结合实际生产需要,以机械零件产品等载体来展开训练项目,应用“六步法”工作程序来完成工作任务。突出工作任务与知识的联系,采用理论、实践一体化的教学模式来实施教学,使其更贴近实际生产,更符合企业的需求,具有较强的适用性。

全书分三篇共十五单元,具体编写分工如下:单元1中的1.1和1.3由曾林编写;单元1中的1.2、单元3中的3.1和3.2、单元4由蓝卫东编写;单元2中的2.1、单元12中的12.2和12.3、单元9、单元15由蒙坚编写;单元2中的2.2、单元3中的3.3、单元5、单元11、单元12中的12.1、单元14由汤耀年编写;单元2中的2.3、单元8由丘立庆编写;单元6由陈湛军编写;单元7由罗炳钧和廖德贵共同编写;单元10由熊举化编写;单元13由甘业生编写。

全书由蒙坚、丘立庆任主编,曾林、汤耀年、蓝卫东、罗炳钧任副主编,负责全书的统稿工作;韦林副教授和陈华副教授担任主审,负责对全书进行审核。

本书还有配套的《零件数控电火花加工》课程网站(<http://edu.lzzy>).

net/ec2006/C313/Index. htm), 课程网站依据学生的认知规律设置了课程介绍、主讲教师、课程标准、学习情境、加工案例库、教学资源库、有问有答、考核方法、参考文献等栏目, 下设若干个子栏目, 在每一个学习情境下面, 又设置了学习指导、安全操作规范、实训指导等项目, 网站构架合理, 导航清晰, 能够满足学生自主学习的要求。该课程网站中放置了大量的学习资源, 并定期更新, 学生可以通过课程网站了解到很多企业先进的加工技术和设备, 为学生今后更好地利用课程自主学习创造条件, 也为学生的素质拓展开辟了一条新的途径。有效地促进了学生的自主学习和课外拓展学习, 实现了优质教学资源的共享。

由于编者水平有限, 书中错误和欠缺之处, 恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 数控电火花线切割加工前必备的知识与技能

单元 1 数控电火花线切割机床的使用与维护	3
1.1 数控电火花线切割加工概述及安全操作规程	3
1.2 数控电火花线切割加工编程	9
1.3 数控电火花线切割机床的日常维护与保养	49
单元 2 数控电火花线切割机床基本操作实训	51
2.1 HCKX320 型数控电火花线切割机床操作	51
2.2 DK7732 型数控电火花线切割机床操作实训	57
2.3 西班牙 ONA AE300 慢走丝线切割机床操作实训	76
单元 3 数控电火花线切割加工前的准备	87
3.1 数控电火花线切割加工操作流程	87
3.2 加工前准备	87
3.3 数控电火花线切割加工的基本操作	92

第 2 篇 基于工作过程的数控电火花线切割加工操作技能训练

单元 4 角度样板的线切割加工	97
4.1 知识准备	98
4.2 实训操作过程	104
4.3 安全操作注意事项	106
学生工作任务	107
单元 5 凸模的线切割加工	108
5.1 知识准备	108
5.2 实训操作过程	112
5.3 安全操作注意事项	114
学生工作任务	114
单元 6 凹模的线切割加工	116
6.1 知识准备	117
6.2 实训操作过程	123
6.3 安全操作注意事项	126
学生工作任务	127

单元 7 模板多型腔孔的线切割加工	128
7.1 知识准备	128
7.2 实训操作过程	132
7.3 安全操作注意事项	134
学生工作任务	134
单元 8 凸、凹模数控慢走丝线切割加工	136
8.1 知识准备	137
8.2 实训操作过程	147
8.3 安全操作注意事项	152
学生工作任务	152
单元 9 文字、图案的线切割加工	154
9.1 知识准备	154
9.2 实训操作过程	163
9.3 安全操作注意事项	163
学生工作任务	163

第 3 篇 数控电火花成形加工必备的知识与技能及操作技能训练

单元 10 数控电火花成形机床的使用与维护	167
10.1 数控电火花成形加工概述及安全操作规程	167
10.2 数控电火花成形机床的日常维护与保养	172
单元 11 HCD400K 型数控电火花成形机床操作实训	173
11.1 HCD400K 型数控电火花成形机床控制面板介绍	173
11.2 加工条件	190
11.3 HCD400K 型数控电火花成形机床基本操作	193
单元 12 D7140P 型电火花成形机床操作实训	194
12.1 D7140P 型电火花成形机床控制面板介绍	194
12.2 D7140P 型电火花成形机床基本操作	202
12.3 平动头基本操作	203
单元 13 数控电火花成形加工前的准备	207
13.1 工件毛坯准备	207
13.2 工件和电极的装夹与校正定位	207
单元 14 断入工件丝锥、钻头的电火花加工	208
14.1 知识准备	208
14.2 实训操作过程	209
14.3 安全操作注意事项	212
学生工作任务	212

单元 15 简单孔型模具型腔的电火花加工	213
15.1 知识准备	213
15.2 实训操作过程	214
15.3 安全操作注意事项	216
学生工作任务	217
附录 A 电火花加工的分类	218
附录 B 电火花线切割加工工人国家职业资格标准	220
参考文献	226

第 1 篇

**数控电火花线切割加工前
必备的知识与技能**

单元 1 数控电火花线切割机床的使用与维护

1.1 数控电火花线切割加工概述及安全操作规程

1.1.1 电火花线切割加工原理、应用、分类及特点

1. 电火花线切割加工原理

电火花加工又称放电加工 (Electrical Discharge Machining, EDM), 是一种直接利用电能和热能进行加工的新工艺。电火花加工与金属切削加工的原理完全不同, 在加工的过程中, 工具电极和工件并不接触, 而是靠工具电极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。由于放电过程中可见到火花, 所以称为电火花加工。采用电极移动方式的电火花加工装置称为电火花线切割 (Wire-cut EDM 或 Traveling-Wire EDM)。苏联于 1955 年制成了电火花线切割机床, 而瑞士于 1968 年制成了 NC 方式的电火花线切割机床。

电火花线切割加工的原理是“用连续移动的金属丝 (称为电极丝) 作为工具电极对工件进行脉冲火花放电并切割成形”。线切割加工时, 利用工作台带动工件相对电极丝沿 X、Y 方向移动, 使工件按预定的轨迹进行运动而“切割”出所需的复杂零件, 其加工示意图见图 1-1。

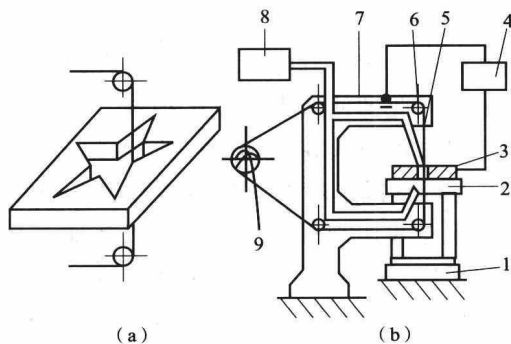


图 1-1 电火花线切割加工示意图

(a) 切割图形; (b) 机床加工示意图

1—工作台; 2—夹具; 3—工件; 4—脉冲电源; 5—电极丝;
6—导轮; 7—丝架; 8—工作液箱; 9—储丝筒

2. 电火花线切割加工的应用

(1) 模具零件的加工

数控电火花线切割加工主要应用于冲模、挤压模、塑料模和电火花成形机床的电极加工。

(2) 难加工零件

如在精密型孔、样板及成形刀具、精密狭槽等加工中,利用机械切削加工就很困难,而采用电火花线切割加工则比较适宜。

(3) 贵重金属的下料

由于电火花线切割加工用的电极丝直径远小于切削刀具尺寸(最细的电极丝直径可达 0.02 mm),用它切割贵重金属,可节约很多切缝消耗。

(4) 新产品的试制

在新产品开发过程中需要单件的样品生产,无需配套的模具,运用电火花线切割机床就能切割出所需的零件,这样可以大大缩短新产品开发周期并降低试制成本。

3. 数控电火花线切割加工的分类

我国广泛使用的电火花线切割机床主要是数控电火花线切割机床,根据电极丝的运行速度不同,数控电火花线切割机床通常分为以下两类。

①快走丝数控电火花线切割机床(HSWEDM,也叫高速走丝电火花线切割机床),其电极丝做高速往复运动,一般走丝速度为 $8\sim 10\text{ m/s}$,电极丝可重复使用,但快走丝容易造成电极丝抖动和反向时停顿,使加工质量下降,是我国生产和使用的主要机种,也是我国独创的数控电火花线切割加工模式。

②慢走丝数控电火花线切割机床(LSWEDM,也叫低速走丝电火花线切割机床),其电极丝做低速单向运动,一般走丝速度低于 0.2 m/s ,电极丝放电后不再使用,工作平稳、均匀、抖动小、加工质量较好,是国外生产和使用的主要机种。

由于慢走丝数控电火花线切割机是采取线电极连续供丝的方式,即线电极在运动过程中完成加工,因此即使线电极发生损耗,也能连续地予以补充,故能提高零件加工精度。慢走丝电火花线切割机所加工的工件表面粗糙度通常可达到 $Ra=0.8\text{ }\mu\text{m}$ 及以上,且慢走丝电火花线切割机的圆度误差、直线误差和尺寸误差都较快走丝电火花线切割机好很多,所以在加工高精度零件时,慢走丝电火花线切割机得到了广泛应用。下面分别从机床的应用角度和加工工艺性能方面,扼要地介绍数控快、慢走丝电火花线切割机床的特点和区别(见表 1-1 和表 1-2)。

表 1-1 数控快、慢走丝电火花线切割机床的应用特点

比较项目	数控快走丝电火花线切割机床	数控慢走丝电火花线切割机床
走丝速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	常用值 8~10	常用值 0.001~0.25
电极丝工作状态	往复供丝, 反复使用	单向运行, 一次性使用
电极丝材料	钼、钨钼合金	黄铜、铜、以铜为主体的合金或镀覆材料、钼丝
电极丝直径/mm	0.03~0.25, 常用值 0.12~0.20	0.03~0.30, 常用值 0.20
工作电极丝长度/m	200 左右	数千
穿丝方式	只能手工	可手工, 可自动
电极丝振动	较大	较小
运丝系统结构	简单	复杂
脉冲电源	开路电压 80~100 V, 工作电流 1~5 A	开路电压 300 V 左右, 工作电流 1~32 A
单面放电间隙/mm	0.01~0.03	0.01~0.12
工作液	线切割乳化液或水基工作液等	去离子水, 有的场合用煤油
工作液电阻率/ $(\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^{-1})$	0.5~50	10~100
导丝机构形式	导轮, 寿命较短	导向器, 寿命较长
机床价格	便宜	昂贵

表 1-2 数控快、慢走丝电火花线切割机床的加工工艺性能

比较项目	数控快走丝电火花线切割机床	数控慢走丝电火花线切割机床
切割速度/ $(\text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1})$	20~160	20~240
加工精度/mm	0.01~0.04	0.004~0.01
表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	1.6~3.2	0.1~1.6
重复定位精度/mm	0.02	0.004
电极丝损耗	均布于参与工作的电极丝全长	不计
最大切割厚度/mm	钢 500; 铜 610	400
最小切缝宽度/mm	0.04~0.09	0.004 5~0.014

4. 电火花线切割加工的特点

①能用很细的金属丝作为电极工具(直径可在 0.03~0.35 mm)加工微细异形孔、窄缝和复杂形状的工件。

②不需要制造特定形状的电极。

③轮廓加工所需的加工的余量少，能有效地节约贵重的材料。

④采用移动的长金属丝进行加工，单位长度上的金属损耗少，对加工精度的影响可忽略不计，加工精度高。当重复使用的电极丝有显著损耗时，可随时更换。

⑤依靠微型计算机控制电极丝轨迹和间隙补偿功能，同时加工凹、凸两种模具时，间隙可任意调节。

⑥采用乳化液或去离子水的工作液，不必担心发生火灾，可以昼夜无人连续加工。

⑦只要是导体或半导体的材料都能实现加工，无论被加工工件的材料硬度如何。

⑧适合小批量零件和试制品的生产加工，无论零件形状多复杂，只要能编制加工程序就可以进行加工，加工周期短，应用灵活。

⑨采用四轴联动，可加工上、下面异形体，形状扭曲曲面体，变锥度和球形体等零件。

1.1.2 电火花线切割加工设备

数控电火花线切割加工机床由床身、坐标工作台、走丝机构、工作液循环系统、数字程序控制系统、脉冲电源 6 部分组成。图 1—2 为数控电火花线切割设备的外形结构图。

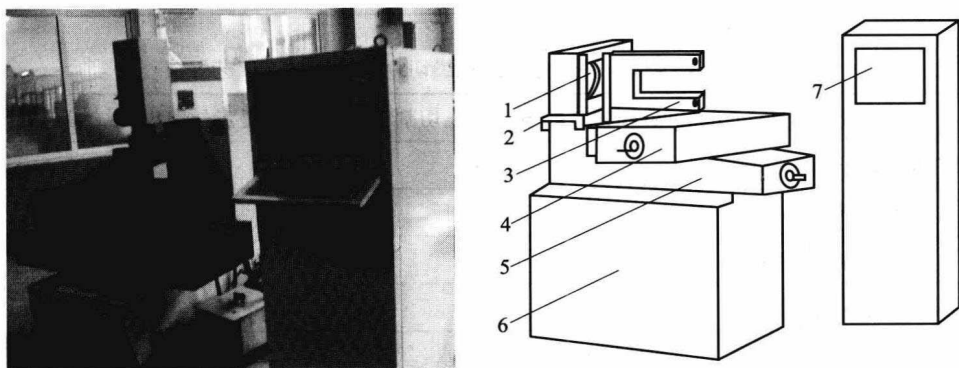


图 1—2 数控电火花线切割设备

1—储丝筒；2—走丝溜板；3—丝架；4—纵向滑板；5—横向滑板；6—床身；7—控制箱

1. 床身

床身是机床本体的基础，用来支承和安装坐标工作台、走丝机构和工件，应具有足够的刚度和稳定性。一般电火花线切割加工机床的床身采用铸造箱式和焊接箱式结构。

2. 坐标工作台

坐标工作台安装在床身上,用来装夹被加工的工件。线切割加工时通过拖板在 X、Y 方向上的移动来实现工件的进给运动,拖板在互相垂直的两个方向上的移动由两台步进电机分别带动(如图 1-3 所示)。步进电机是一种特殊的电动机,它可以随时根据控制信号的指令执行正转或反转。

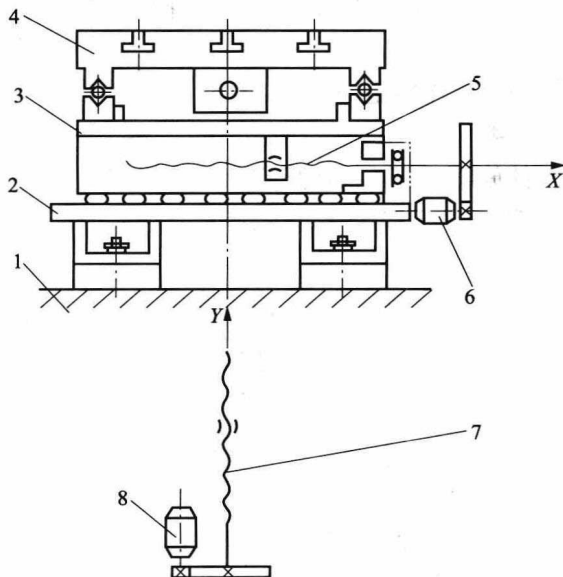


图 1-3 坐标工作台

1—床身；2—下拖板；3—中拖板；4—上拖板；5、7—丝杠；6、8—步进电机

一般电火花线切割机床能够根据控制系统发出的一个脉冲信号,精确地移动 $1\ \mu\text{m}$,称该机床的脉冲当量为 1 微米/脉冲。工作台的移动精度直接影响工件的加工质量,因此对工作台的丝杆、螺母、导轨等都有较高的精度要求。

3. 走丝机构

走丝机构的作用是支承并使电极丝以一定速度连续不断地通过工件放电加工区。

①快速走丝机构采用往复走丝,其走丝速度一般为 $8\sim 10\ \text{m/s}$,快速走丝能较好地将电蚀物带出加工区,能使工作液较充分地进入加工区,有利于改善加工质量和提高加工速度。但快速走丝容易造成电极丝抖动和反向停顿,反向停顿时放电和进给必须停止,否则会造成电极丝与工件短路,严重时会出现断丝,这种周期性的变化使加工表面质量下降。快走丝机构的电极丝一般采用耐电蚀性较好的钼丝。

②慢走丝机构采用单向走丝,其走丝速度一般低于 $0.2\ \text{m/s}$,电极丝多采用

成卷黄铜丝或镀锌黄铜丝,工作时单向运行,电极丝的张力可调节,电极丝工作平稳、均匀、抖动小、加工质量好,但加工速度低。

4. 工作液循环过滤系统

工作液循环过滤系统的作用是强迫一定压力的工作液流经放电间隙,将电蚀物排出,并对使用过的工作液进行过滤和净化,作用与电火花成形加工相同。快走丝时一般采用5%~15%浓度的油酸钾皂乳化液,慢走丝时常用的是去离子水。

无论是哪种工作液,其作用是一致的,即:

- ①对放电通道的压缩作用。
- ②对电极丝及工件放电部位的冷却作用及排除蚀物。
- ③对放电区域的消电离。

5. 数字程序控制系统

数字程序控制系统的作用是按照加工要求,自动控制电极丝和工件之间的运动轨迹和进给速度,完成对工件形状和尺寸的加工。数字程序控制系统主要由一台专用计算机构成。

6. 脉冲电源

脉冲电源种类很多,其作用是将工频交流电转变为具有一定频率的单向脉冲电流,为电火花线切割加工提供所需要的能量。目前,电火花线切割加工机床的脉冲电源多采用功率较小、脉冲宽度窄、频率较高、峰值电流较大的高频脉冲电源。一般电源的电规准设有几个档,以调整脉冲宽度和脉冲间隙时间来满足不同的加工要求。

1.1.3 数控电火花线切割加工的安全技术规程

数控电火花线切割的安全技术规程,主要从两方面考虑:一方面是人身安全;另一方面是设备安全。具体有以下几点。

①操作者必须熟悉数控电火花线切割机床的操作技术,开机前应按设备润滑要求,对机床有关部位注油润滑(润滑油必须符合机床说明书的要求)。

②操作者必须熟悉线切割加工工艺,恰当的选取加工参数,按规定操作顺序操作,防止造成断丝等故障。

③用手摇柄操作储丝筒后,应及时将摇柄拔出,防止储丝筒转动时将摇柄甩出伤人。装卸电极丝时,注意防止电极丝扎手。换下来的废丝要放在规定的容器内,防止混入电路和走丝系统中造成电器短路、触电和断丝等事故。注意防止因丝筒惯性造成断丝及传动件碰撞。为此,停机时,要在储丝筒刚换向后再尽快按下停止按钮。

④正式加工工件之前,应确认工件位置已安装正确,防止碰撞线架和因超程

撞坏丝杆、螺母等传动部件。对于无超程限位的工作台，要防止超程坠落事故发生。

⑤尽量消除工件的残余应力，防止切割过程中工件爆炸伤人。加工之前应安装好防护罩。

⑥机床附近不得放置易燃、易爆物品，防止因工作液一时供应不足产生的放电火花引起事故。

⑦在检修机床、机床电器、脉冲电源、控制系统时，应注意适时地切断电源，防止触电和损坏电路元件。

⑧定期检查机床的保护接地是否可靠，注意各部位是否漏电，尽量采用触电开关。合上加工电源后，不可用手或手持导电工具同时接触脉冲电源的两输出端（床身与工件），以防触电。

⑨禁止用湿手按开关或接触电器部分。防止工作液等导电物进入电器部分，一旦发生因电器短路造成火灾时，应首先切断电源，并立即用四氯化碳等合适的灭火器灭火，不准用水灭火。

⑩停机时，应先停高频脉冲电源，后停工作液，让电极丝运行一段时间，并等储丝筒反向往后再停走丝。工作结束后，关掉总电源，擦净工作台及夹具，并润滑机床。

1.2 数控电火花线切割加工编程

数控电火花线切割机床的控制系统是按照指令控制机床加工的。因此，所谓数控电火花线切割编程就是事先把要切割的图形，用机器所能接受的“语言”编排出“命令”，然后控制机床进行线切割加工。

电火花线切割编程方法分手工编程和自动编程。手工编程是利用一般的计算工具，通过各种数学方法，人工进行刀具轨迹的运算，并进行指令编制。这种方法比较简单，容易掌握，适应性大。适用于中等复杂程度程序、计算量不大的零件编程，对机床操作人员来讲必须掌握。但手工编程计算工作比较繁杂，费时间。

自动编程是利用通用的微机及专用的自动编程软件，以人机对话方式确定加工对象和加工条件，自动进行运算和生成指令。对形状简单的零件，手工编程是可以满足要求的，但对于曲线轮廓、三维曲面等复杂型面，一般采用自动编程。中小企业普遍采用自动编程方法，编制较复杂的零件加工程序效率高，可靠性好。

电火花线切割机床的数控程序必须具备一定的格式，以便于机器接收“命令”进行加工，数控电火花线切割机床一般采用国际上通用的 G 代码格式和 B 代码格式。