



浙江省“十一五”重点教材建设项目

数控线切割 加工技术

周章添 邱建忠 戴乃昌 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控线切割加工技术

周章添 邱建忠 戴乃昌 编著

机械工业出版社

本书着重从实际应用的需求出发,以线切割加工观摩(任务1)入手,再通过线切割简单正方形(任务2)、线切割圆形(任务3),让初学者全面了解整个线切割的加工过程,掌握手工编程和线切割机床操作的基本技巧和方法。任务4~任务9则通过各种典型加工工实例,使读者在深入学习自动编程方式加工全过程的基础上,掌握轨迹跳步程序的编制和跳步切割的具体操作方法,同时进一步加强了对线切割工艺参数的理解;并且深入讲解了冲压模具的基本计算技巧和线切割加工方法、位图矢量化的处理功能等。为了方便广大读者,附录中收集了CAXA线切割软件的快捷键,数控线切割操作工的国家职业技能标准,以及有助于参加国家职业技能等级考试的相关应知、应会考核题库和部分参考答案。

本书适合线切割初学者,易于尽快掌握线切割编程和操作技术。

图书在版编目(CIP)数据

数控线切割加工技术/周章添,邱建忠,戴乃昌编著. —北京:机械工业出版社,2012.6

ISBN 978-7-111-32924-4

I. ①数… II. ①周…②邱…③戴… III. ①模具—数控线切割
IV. ①TC76②TG481

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第138895号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲彩云 责任编辑:曲彩云 庞晖

版式设计:纪敬 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:鞠杨 责任印制:张楠

北京振兴源印务有限公司印刷

2012年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·300千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32924-4

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

网络服务 策划编辑(010)88378782

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

《数控线切割加工技术》课题组名单

(按姓氏笔画排序)

吴奇峰 汪荣青 陈丹湖 陈海鑫 杜海清
邱建忠 周章添 周忠勇 赵 婵 崔丽荣
谢传正 戴乃昌 董军勇

前 言

本书是根据高技能人才培养课题的研究成果，并结合数控线切割设备在操作过程中的一般认知规律和实践教学中常用的“项目教学”方法而编写的。

本书的目的是帮助线切割初学者能够尽快地掌握线切割编程和操作技术，以便独立地完成线切割加工工作。为此本书着重从实际应用的需求出发，以线切割加工观摩（任务1）入手，再通过线切割简单正方形（任务2）、线切割圆形（任务3），让初学者全面了解整个线切割的加工过程，掌握手工编程和线切割机床操作的基本技巧和方法。任务4则是通过绘制角度样板的任务来开展对我国自主研发的“CAXA线切割软件”CAD部分的学习。具备了CAD绘图能力后，任务5开始对角度样板进行实物切割，在此过程中渗入了“CAXA线切割”软件CAM部分的内容，让读者深入学习自动编程方式加工的全过程。任务6通过对奔驰标志的切割，让读者在完成的过程中掌握轨迹跳步程序的编制和跳步切割的具体操作方法，同时进一步加强了对线切割工艺参数的理解。线切割加工技术在冲压模具的制造中应用十分广泛，所以在任务7中以加工一副冲压模具为例，深入讲解了冲压模具的基本计算技巧和线切割加工方法。任务8是为了解决一些复杂图像的线切割加工问题，让读者通过对“马”图像线切割加工来深入学习位图矢量化处理功能。随着线切割加工机床功能的多样化，上、下异形加工、第四轴加工等技术的应用也越来越普及，编者在任务9中安排了锥度零件的线切割加工。为了方便广大读者，附录中收集了CAXA线切割软件的快捷键，数控线切割操作工的国家职业技能标准，以及有助于参加国家职业技能等级考试的相关应知、应会考核题库和部分参考答案。

全书任务的内容由任务书、完成任务的知识摘要、任务工艺分析及上机操作等组成。这样的做法可以让初学者在掌握了必需的知识内容后，就可以进行任务操作，提高了学习兴趣与学习成就感。同时在循序渐进的任务中逐步插入电火花线切割加工工艺、加工参数等内容，让读者在任务实践中不断掌握和提高线切割加工技巧和水平。期望读者学完本书后能顺利适应数控线切割工作。

本书任务3、任务5、任务6、任务7由浙江工贸职业技术学院周章添编写；任务1、任务2、任务9由浙江工贸职业技术学院戴乃昌编写；任务4、任务8由温州机电技师学院邱建忠编写。

本书在编写过程中承蒙许多专家和同行提供的宝贵的意见和建议，特别感谢赵婵和崔丽荣同志编写了计算机与线切割控制器之间的通信接口技术内容，编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和不足，恳请广大读者批评指正。联系方式：E-mail: qjqz@163.com。

编 者

目 录

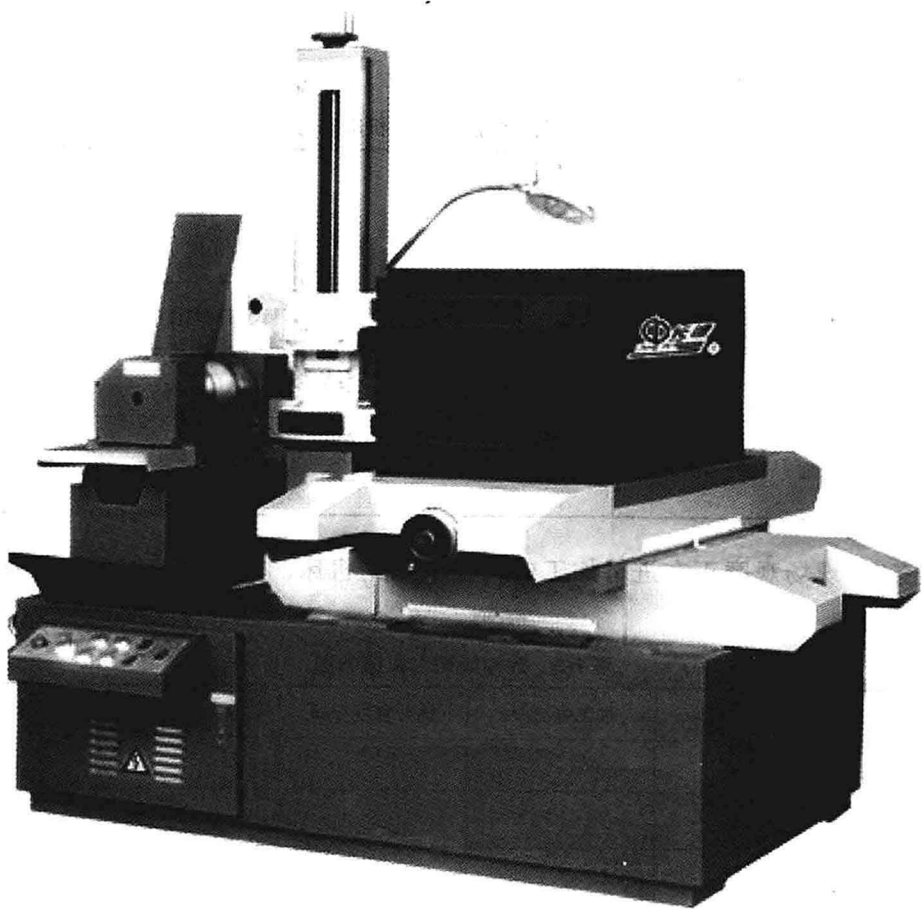
前言	
任务1 数控线切割机床现场认知与加工	
观摩	1
学习指南	1
1.1 现场观摩任务书	2
1.2 知识摘要	3
1.2.1 认识数控电火花线切割机床	3
1.2.2 电火花线切割加工的原理、特点及应用范围	13
1.2.3 电火花线切割技术的发展趋势	14
1.2.4 线切割实训安全文明生产教育	15
1.3 现场观摩与操作	17
巩固练习	18
任务2 线切割正方形零件实验	19
学习指南	19
2.1 正方形零件加工任务书	20
2.2 知识摘要	21
2.2.1 线切割编程简介	21
2.2.2 3B 直线编程	21
2.2.3 电火花加工的基本规律	23
2.3 切割轨迹设计与关键点坐标计算	25
2.4 参考程序	25
2.5 上机操作	26
巩固练习	29
任务3 线切割圆形零件实验	30
学习指南	30
3.1 圆形零件加工任务书	31
3.2 知识摘要	32
3.2.1 3B 圆弧编程	32
3.2.2 线切割加工工艺指标	34
3.3 切割轨迹设计与关键点坐标计算	35
3.4 参考程序	35
3.5 上机操作	35
巩固练习	39
任务4 CAXA 线切割 XP 绘图模块	
训练	41
学习指南	41
4.1 角度样板绘制任务书	42
4.2 知识摘要	42
4.2.1 CAD/CAM 简介	42
4.2.2 CAXA 线切割 XP 的基本操作	43
4.2.3 绘制直线	47
4.2.4 绘制圆弧	52
4.2.5 绘制圆	56
4.2.6 绘制矩形	57
4.2.7 绘制中心线	58
4.2.8 绘制样条曲线	59
4.2.9 绘制轮廓线	60
4.2.10 绘制等距线	62
4.3 上机操作	63
巩固练习	68
任务5 对刀角度样板切割	70
学习指南	70
5.1 角度样板加工任务书	71
5.2 知识摘要	72
5.2.1 概述	72
5.2.2 轨迹生成	73
5.2.3 代码生成	86
5.3 上机操作	92
巩固练习	96
任务6 奔驰标志轨迹跳步切割	97
学习指南	97
6.1 奔驰标志加工任务书	98
6.2 知识摘要	99

6.2.1 轨迹跳步	99	学习指南	136
6.2.2 取消跳步	99	8.1 “马”图像矢量化加工任务书	137
6.2.3 代码传输	100	8.2 知识摘要	137
6.2.4 影响切割速度的主要 因素	103	8.2.1 位图矢量化	137
6.2.5 线切割的加工路径	105	8.2.2 断丝的主要原因和排除 方法	142
6.3 上机操作	109	8.3 上机操作	143
巩固练习	115	巩固练习	148
任务7 线切割冲压模具	117	任务9 锥度零件的线切割	150
学习指南	117	学习指南	150
7.1 冲压模具加工任务书	118	9.1 锥度零件加工任务书	151
7.2 知识摘要	119	9.2 知识摘要	151
7.2.1 冲裁工艺及冲裁模具 简介	119	9.2.1 锥度线切割加工要点	151
7.2.2 冲裁工艺路线及线切割 加工顺序	123	9.2.2 锥度线切割加工原理	152
7.2.3 冲压模具线切割加工 要求	124	9.2.3 锥度线切割加工工艺分析	152
7.2.4 影响加工表面质量的 主要因素	126	9.3 上机操作	154
7.3 上机操作	127	巩固练习	158
巩固练习	134	附录	159
任务8 线切割“马”图像	136	附录 A CAXA 线切割快捷键	159
		附录 B 数控线切割操作工应知、应会 题库和参考答案	161
		参考文献	189

任务1 数控线切割机床现场认知与加工观摩

学习指南

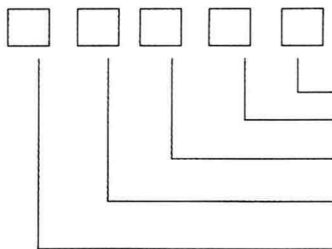
1. 深刻认知安全文明生产的重要性，牢记安全文明生产操作规程及注意事项。
2. 掌握数控线切割机床的基本结构及其功能与基本常识。
3. 认知数控线切割机床各大组成部分。
4. 观摩数控线切割机床的加工过程与加工参数。
5. 掌握数控线切割机床的开关机操作。



1.1 现场观摩任务书

子任务 1. 数控线切割机床的组成部分：_____

子任务 2. 数控线切割机床编号一般由字母_____与数字组成，你现场看到的线切割机床的编号是_____，其含义：



填写数控线切割机床的参数表（表 1-1）。

表 1-1 现场数控线切割机床参数

（单位：mm）

工作台	横向行程		工件尺寸	最大宽度	
	纵向行程			最大长度	
	最大承载重量/kg			最大切割厚度	
最大切割锥度					
应用范围					

子任务 3. 现场观摩正在进行加工的数控线切割机床，填写数控线切割机床参数表（表 1-2）。

表 1-2 数控线切割机床参数

工件厚度/mm	加工电压/V	加工电流/A	脉冲宽度/mm	脉冲间隔/ μ s	脉冲幅度/ μ s

1.2 知识摘要

1.2.1 认知数控电火花线切割机床

电火花加工又称放电加工 (Electrical Discharge Machining 简称 EDM), 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, 靠放电时局部、瞬时产生的高温将金属蚀除。它是现代制造业中一种比较成熟的工艺, 在工业、国防、科学研究中, 特别是模具制造部门已得到广泛应用。

1.2.1.1 电火花线切割机床的名称及型号

电火花线切割机床是电火花加工机床中的一种, 它是以一根沿本身轴线移动的细金属丝作为工具电极 (常称为线电极), 沿着给定的轨迹加工出相对应几何图形的工件。按电极丝运动的速度分两类, 分别为高速走丝 (快走丝) 和低速走丝 (慢走丝)。国内现有的线切割机床绝大多数为高速走丝线切割机床, 下面讲述高速走丝线切割机床。根据之前颁布的相关部标《金属切削机床型号编制方法》, 我国机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成, 表示出机床的类别、特性和基本参数见表 1-3 和表 1-4, 目前在行业中仍在用。

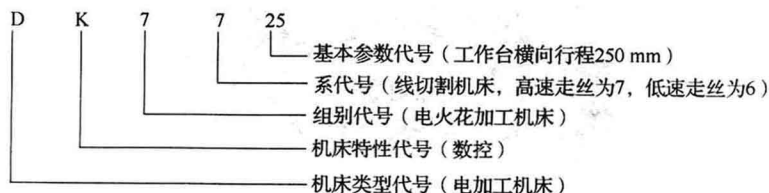
表 1-3 机床的类别代号

类别	车床	钻床	铣床	刨床插床	镗床	拉床	磨床	齿轮加工机床	螺纹加工机床	电加工机床	切断机床	其他机床
代号	C	Z	X	B	T	L	M	Y	S	D	G	Q
参考读音	车	钻	铣	刨	镗	拉	磨	牙	丝	电	割	其

表 1-4 机床的特性代号

特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	仿形	加重型	轻型	简易	自动换刀
代号	G	M	Z	B	K	F	G	Q	J	H
参考读音	高	密	自	半	控	仿	重	轻	简	换

例: DK7725 表示工作台横向行程为 250mm 的电火花数控线切割机床, 型号中字母及数字含义为



第 1 位字母表示机床的类型代号, 用汉语拼音的第 1 个大写字母表示; D 表示电加工机床, 其参考读音为“电”。

第 2 位字母表示机床的特性代号, 分为通用特性和结构特性。K 为通用特性代号, 表示数字程序控制机床。

第3、4位数字为机床的组系代号，前一位数字为机床的组代号，后一位数字为机床的系代号。77表示第7组、第7系的机床，即电火花线切割快走丝机床（第6系为慢走丝机床）。

第5、6位数字为主参数代号，表示机床的主要特性及加工范围的参数。25为主参数代号，表示工作台横向行程为250mm。

第7位字母表示该组线切割机床经过了重新改进，如B表明经过了第2次的改进。

线切割机床的性能包括机床加工范围、工件大小、所用电极丝、脉冲电源的参数、数控系统的功能以及机床加工的指标等。根据生产实际的需要，国家已颁布了《电火花线切割机床参数》，现行版本为GB/T 7925—2005，见表1-5。

表1-5 电火花线切割机（往复走丝型）参数

Y轴行程/mm	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250											
X轴行程/mm	125	160	160	200	200	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000	1000	1250	1250	1600	1600	2000
最大工件质量/kg	10	20	40	60	120	200	320	500	1000	1600	2000	2500											
Z轴行程/mm	80、100、125、160、200、250、320、400、500、630、800、1000																						
最大切割厚度 H/mm	50、60、80、100、120、140、160、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600、700、800、900、1000																						
最大切割锥度	0°、3°、6°、9°、12°、15°、18°（18°以上按6°一档间隔增加）																						

注：机床设计中，需要选用大于或小于表中规定的参数值时，应按GB/T 321—1980中R'10数系（公比为1.25）向两端延伸。

1.2.1.2 数控线切割机床的基本组成

数控线切割机床一般由主机、脉冲电源和控制系统三大部分组成。

(1) 主机 数控线切割机床主机结构如图1-1所示，由床身、坐标工作台、运丝装置、丝架、工作液箱、机床电器、夹具、保护罩及机床附件等部分组成。

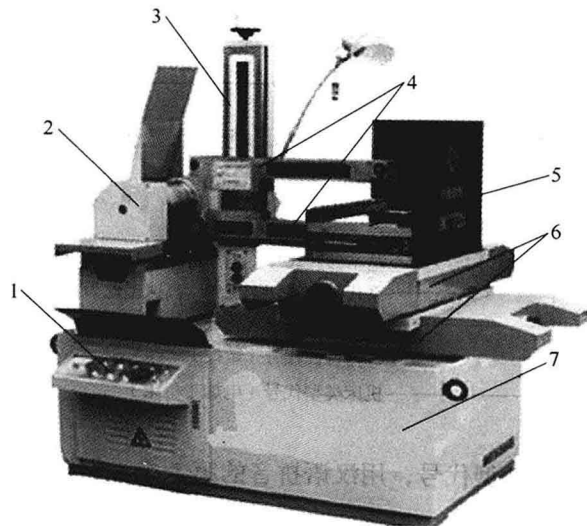


图1-1 数控线切割机床主机结构

1—控制面板 2—运丝机构 3—立柱 4—上、下丝架 5—工作台面 6—工作台（X、Y轴拖板） 7—床身

1) 床身。线切割加工机床床身一般为箱形树脂砂铸件,其上安置坐标工作台、运丝机构、丝架组件、照明、防护等部件。机床电气部分常固定安装在床身内部,机床结构紧凑,占地面积小。为减小电源发热和工作液泵运行时振动的影响,有些机床将电源和工作液箱置于床身外侧。床身主要有铸造结构和焊接结构两种形式。

2) 坐标工作台。线切割加工最终都是通过工作台与电极丝间的相对运动实现对工件的切割。为保证切割加工精度,对机床导轨的精度、刚度和耐磨性均有较高的要求。结构上一般采用“十”字形滑板、滚动导轨和丝杠传动副,将电动机的旋转运动转变为工作台的直线移动,通过两个坐标方向进给运动的合成获得各种平面图形轨迹。坐标工作台的传动通常采用高精度丝杠螺母副;为保证定位精度和灵敏度,传动丝杠与螺母之间必须消除间隙。图1-2为DK77系列机床坐标工作台结构图。

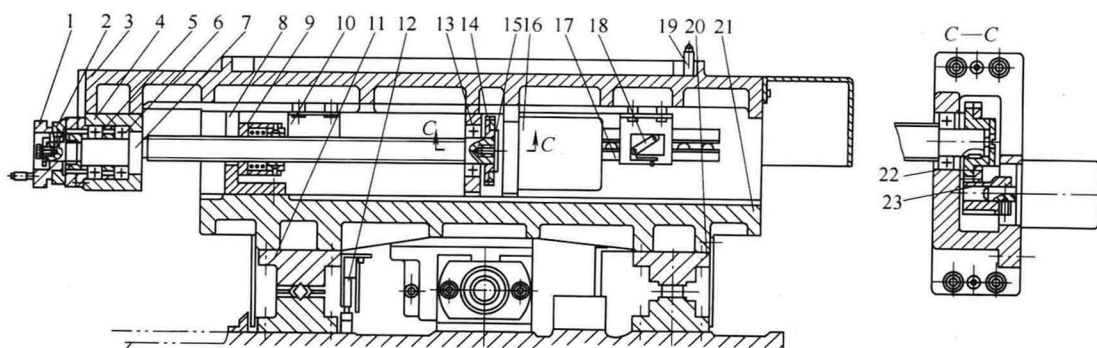


图1-2 DK77系列机床坐标工作台结构图

- 1—手轮 2—刻度盘 3—上拖板 4—轴承座 5—内、外隔板 6—轴承 7—丝杠 8—螺母座 9—调整螺母
10—限位开关挡块 11—V形导轨 12—限位开关 13—轴承 14—精密双齿轮 15—端盖 16—步进电动机
17—上V形导轨 18—限位开关 19—接线柱 20—平导轨 21—下拖板 22—电动机座 23—小齿轮

3) 运丝装置。运丝装置可分为高速运丝装置和低速运丝装置。

高速运丝装置的电极丝作高速往复运动,一般走丝速度为 $8 \sim 10\text{m/s}$ 。走丝机构主要由储丝筒溜板、走丝电动机、变速机构、滑动丝杠副、轴承座及底座组成。图1-3为走丝机构

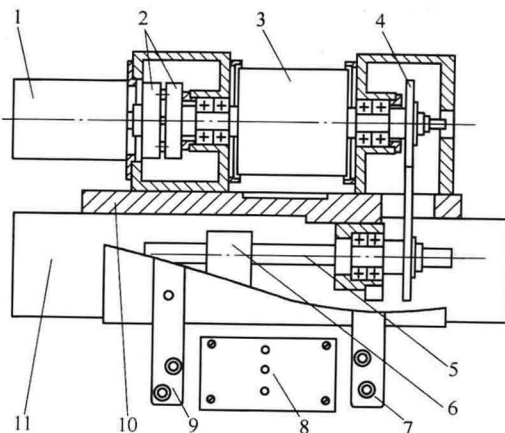


图1-3 高速走丝机构原理图

- 1—走丝电动机 2—联轴器 3—储丝筒 4—同步带 5—丝杠 6—螺母 7—右挡块
8—行程开关 9—左挡块 10—储丝筒溜板 11—床身

结构简图。储丝筒通过联轴器与走丝电动机相连,为实现电极丝的重复往复使用,走丝电动机由专门的换向装置控制作正反向交替运转。

低速走丝机构的电极丝作低速单向运动,一般走丝速度低于 0.2m/s 。其原理如图1-4所示。电动机带动卷丝筒转动,电极丝就缓缓地从未使用的金属丝筒经过一系列轮组走向卷丝筒。

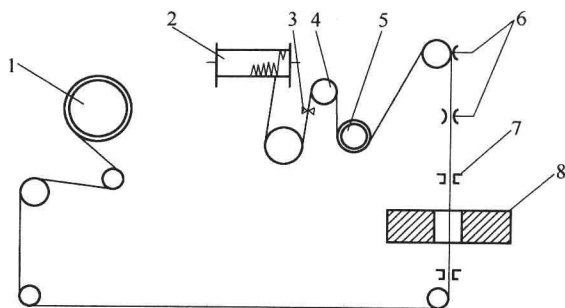


图 1-4 低速走丝机构原理图

1—卷丝筒 2—未使用的电极丝 3—拉丝模 4—张力电动机
5—电极丝张力调节轴 6—退火装置 7—导向装置 8—工件

4) 丝架。丝架是用来支承电极丝的构件,它通过导轮将电极丝引到工作台上,通过导电块将高频脉冲电源连接到电极丝上。对于具有锥度切割的机床,线架上还装有锥度切割装置。线切割机床的线架,根据功能不同可分为固定式和活动升降式。

① 固定式丝架如图1-5所示。

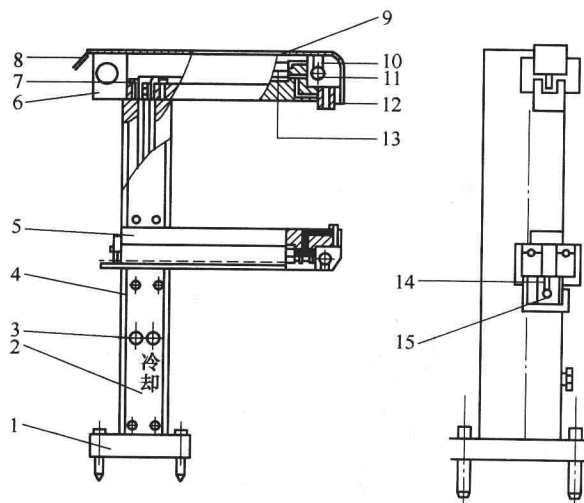


图 1-5 固定式丝架原理图

1—地座 2—标牌 3—手柄 4—立柱 5—下丝臂 6—上丝臂 7—锁紧螺钉 8—上盖板
9—接地线 10—导电块 11—导轮 12—喷水嘴 13—出水管 14—电极丝 15—挡丝棒

此类结构的丝架上、下丝臂固定连接,不可调节,刚性好,加工稳定性高。

② 活动升降式丝架如图1-6所示。

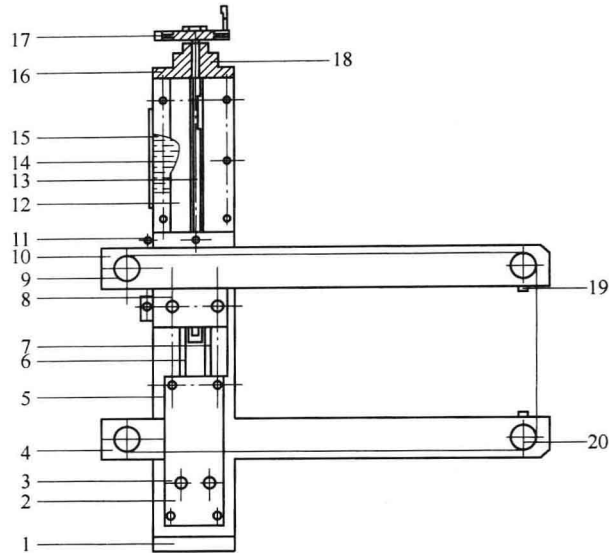


图 1-6 活动升降式丝架

- 1—垫板 2—标牌 3—手柄 4—下丝臂 5—立柱 6—进电线 7—上水管 8—滑板
9—电极丝 10—上丝臂 11—固定螺钉 12—导轨 13—丝杠副 14—防尘罩
15—标尺 16—架板 17—手轮 18—轴承座 19—喷水嘴 20—导轮

此类机构的丝架可适应不同厚度的工件加工，加工范围大。在调整高度时，应松开固定螺钉，用摇手柄的方法旋动升降丝杠，使上丝臂沿立体上下移动，来适应不同加工零件的厚度需要。调整完毕后应重新锁紧固定螺钉。

5) 工作液系统。电火花线切割加工必须在工作液中进行，其方式可以将被加工工件沉浸在工作液中，也可以采用电极丝冲液的方式。一般而言，工作液应具有以下几个方面的要求：

① 应有一定的绝缘性。绝缘能力过高，介质击穿所耗能量过大，会降低蚀除量；绝缘能力过低，工作液成了导体，则不能产生火花放电。

② 有较好的冷却性能。电火花放电的局部瞬时温度极高，为防止产生过热现象，必须使切削部位充分冷却，以带走火花放电时产生的大量热量。

③ 有较好的洗涤性能，利于排屑。

④ 有较好的防锈性能，利于机床维护和工件防锈。

⑤ 对人体应无害，工作时不放出有害气体。

不同的工艺条件需要不同的工作液，一般在低速走丝线切割加工中采用去离子水和煤油作为工作液；高速走丝线切割加工中采用专用乳化液作为工作液。加工时，工件的厚度、表面粗糙度要求不同，选用的工作液型号也不同。另外，工作液的配比对加工的效果也会有很大影响，比如在低速走丝线切割加工中，对不同要求的零件应选择不同电导率的离子水；在高速走丝机床上，新配的工作液加工效果并非最好，往往要经过一段时间切割后，加工效果才达到最佳，但工作液不能太脏，否则容易引起电弧放电，烧坏电极。

线切割机床中的工作液循环装置一般由工作液泵、工作液箱、过滤器、流量控制阀及上下喷嘴组成。图 1-7 是工作液循环装置的工作示意图。

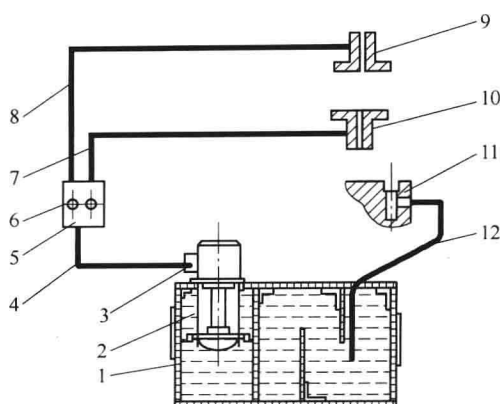


图 1-7 工作液循环装置的工作示意图

1—供液箱 2—工作液 3—供液泵 4—主上水管 5—分流阀 6—调节手柄 7—下丝臂供液管
8—上丝臂供液管 9—上丝臂水嘴 10—下丝臂水嘴 11—工作台面 12—回水管

(2) 脉冲电源 电火花线切割脉冲电源又称高频电源（见图 1-8），是数控线切割机床的三大组成部分之一，它的性能优劣直接影响到线切割加工的工艺指标。



图 1-8 脉冲电源

目前，社会上使用的线切割脉冲电源品种很多。选用脉冲电源的一般原则是在保持一定表面粗糙度的条件下，尽可能提高切割速度。

1) 脉冲电源的基本功能。为了获得良好的工艺效果，要求脉冲电源具有如下功能：

① 脉冲电源必须能输出足够的脉冲放电能量，否则金属只能发热而不能瞬时熔化和汽化。由于在电火花线切割加工实践中，不同的切割条件需要不同的脉冲放电能量，所以还要求脉冲放电能量可以在一定的范围内进行调节。

② 所产生的脉冲应该是单向脉冲，以便充分利用电火花加工的极性效应，提高生产率和减少工具电极损耗。

③ 脉冲主要参数（脉冲电流幅值、脉冲宽度、脉冲停歇时间等）应能在一个较宽的范围内调节，以满足粗、半精、精加工需要。

④ 在粗、半精、精加工下都有一定的加工速度和较低的电极损耗。

⑤ 脉冲电压波形的前沿要陡，后沿也不能延续太长，以利于稳定单脉冲放电能量和提高脉冲放电频率。

⑥ 性能稳定可靠，操作简单，维修方便。

数值化脉冲电源与数控系统密切相关，但有其相对的独立性，它一般由微处理器、外围接口、脉冲形成、功率放大、加工状态检测和自适应控制装置，以及自诊断和保护电路等部分组成。此外，数控脉冲电源还与计算机的储存、调用等功能相结合，在大量工艺试验及其参数优化组合的基础上，建立工艺数据库及人工智能系统，提高自动化程度。

2) 脉冲电源的分类方法有四种，即按构成脉冲电源的主要元件分类，按输出脉冲电源波形分类，按受间隙状态影响分类和按工作回路数目分类。

① 按主要元件分类包括弛张式脉冲电源、电子管式脉冲电源、闸流管式脉冲电源、脉冲发电机式脉冲电源、晶闸管式脉冲电源和晶体管式脉冲电源。

② 按输出波形分类包括矩形波脉冲电源、矩形波派生脉冲电源和非矩形波脉冲电源（如正弦波、三角波）。

③ 按受间隙状态影响分类包括非独立式脉冲电源、独立式脉冲电源和半独立式脉冲电源。

④ 按工作回路数目分类包括单回路脉冲电源和多回路脉冲电源。

(3) 控制系统 控制器是数控线切割机床的重要组成部分，是控制设备运动的部件，也是人机对话的重要窗口。图 1-9 所示为典型的线切割控制器。

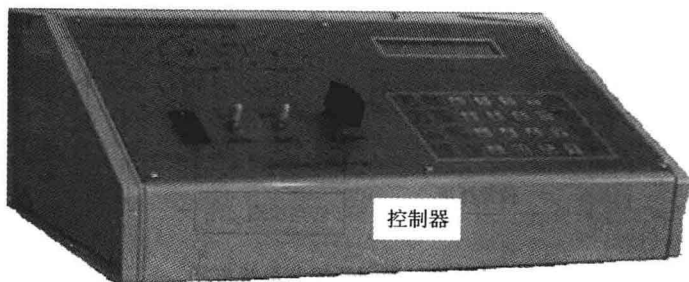


图 1-9 线切割控制器

目前，电火花线切割控制器主要以数字程序控制为主。数字程序控制（numerical control, NC）就是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。图 1-10 所示为数字程序控制的流程图。数控装置根据有无检测反馈环节而将伺服系统分为开环系统、半闭环系统和闭环系统三种。



图 1-10 数控控制原理框图

1) 开环控制系统。

开环控制系统中没有位置、速度等检测装置，是高速走丝线切割机床中最常见的控制系统，如图 1-11 所示。开环系统的伺服驱动部件通常采用反应式步进电动机或混合式步进电动机。数控装置每发出一个进给指令脉冲，经驱动电路功率放大后，驱动步进电动机转动一

个角度，再经传动机构带动执行件移动。这种系统中的信息流是单向的，即进给脉冲发出后，实际移动值不再反馈回来，故称为开环控制系统。

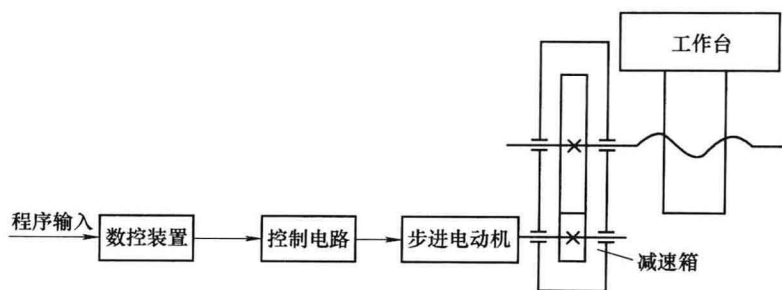


图 1-11 开环控制系统框图

2) 半闭环控制系统。

半闭环控制系统（见图 1-12）的位置检测装置并不直接测量执行件的位移，而是检测与伺服电动机连接的传动元件（如电动机轴或滚珠丝杠）的角位移。根据角位移计算出执行件的位移量，并与指令值进行比较。若二者存在误差值，则控制伺服驱动电动机朝误差减小的方向转动，直至误差值消除。这种控制系统的检测装置之后的传动件及执行件都不在反馈环路之内，故称为半闭环控制系统。

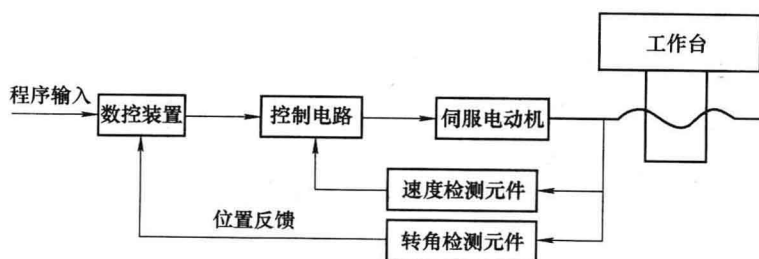


图 1-12 半闭环控制系统框图

3) 闭环控制系统。

闭环控制系统中带有位置、速度等检测装置，直接检测执行件的实际位移量（见图 1-13）。闭环系统的伺服驱动部件通常采用直流或交流伺服电动机。闭环控制系统可以将执行件的位移量反馈至比较电路，并与指令值进行比较。当检测值与指令值存在误差时，经控制电路控制伺服驱动电动机作补偿旋转，直至误差消除。这种控制系统可将最终执行部件的位移量进行反馈、比较和补偿，故称为闭环控制系统。

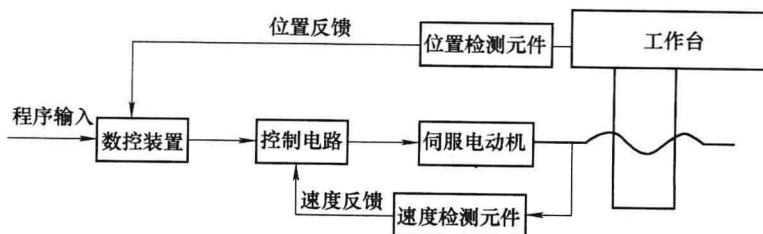


图 1-13 闭环控制系统框图