

全国中等职业技术学校数控机床加工专业教材

数控机床编程与操作

(电加工机床分册)

 中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校数控机床加工专业教材

数控机床编程与操作

(电加工机床分册)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

版权所有

翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作 电加工分册/蒋亨顺编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2002
ISBN 7-5045-3389-0

I. 数…

II. 蒋…

III. ① 数控机床—程序设计 ② 电加工—数控机床—程序设计

IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 024913 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人 : 张梦欣

*

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 268 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数: 3 000 册

定价: 17.00 元

读者服务部电话: 64929211

发行部电话: 64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

简 介

本书分基础篇和应用篇。基础篇包括数控电火花线切割加工技术、数控电火花线切割机床编程与切割工艺、数控电火花成形加工技术、其他特种加工技术简介等内容；应用篇包括数控线切割的工艺准备与装夹、数控线切割加工、数控电火花加工、数控线切割机床维护保养及一般故障排除、电火花机床精度检验五个课题。本书内容丰富，针对性强，表达严谨、简洁，是一本实用性和可读性均较好的教材。

本书也可以作为职工培训教材和自学用书。

本书由北京市电加工研究所蒋亨顺主编，岳永胜、黎志伟参加编写，广东省韶关市第二高级技校汤伟文审稿。

目 录

基 础 篇

概述	(1)
第一章 数控电火花线切割加工技术	(2)
§ 1—1 电火花线切割加工	(2)
§ 1—2 数控电火花线切割机床的基本组成	(5)
§ 1—3 数控电火花线切割的工艺特点	(11)
思考练习题	(13)
第二章 数控电火花线切割机床编程与切割工艺	(15)
§ 2—1 线切割编程简介	(15)
§ 2—2 电火花线切割工艺	(40)
§ 2—3 进口线切割机床简介	(51)
思考练习题	(60)
第三章 数控电火花成形加工技术	(61)
§ 3—1 数控电火花成形加工	(61)
§ 3—2 数控电火花成形机床的基本组成	(67)
§ 3—3 电火花成形加工工艺基本规律	(74)
§ 3—4 电极	(81)
§ 3—5 进口电火花成形机床简介	(88)
§ 3—6 常见的一些名词术语	(97)
思考练习题	(100)
第四章 其他特种加工技术简介	(101)
§ 4—1 束流加工	(101)
§ 4—2 电解加工	(105)
§ 4—3 超声加工	(116)
思考练习题	(119)

应 用 篇

课题一	数控线切割的工艺准备与装夹.....	(120)
课题二	数控线切割加工.....	(126)
课题三	数控电火花加工.....	(136)
课题四	数控线切割机床维护保养及一般故障排除.....	(141)
课题五	电火花机床精度检验.....	(145)
附表一、	我国主要线切割机床产品简介.....	(160)
附表二、	国产电火花成形机床产品简介.....	(165)

基 础 篇

概 述

20 世纪 50 年代,前苏联科学家拉扎连科从家用电器开关的闭合与断开时经常出现的火花腐蚀现象中研究发明了电火花加工技术,将对人类有害的火花烧蚀转变为对人类有益的新的工艺方法。当时的电火花加工机床只能加工出简单形状的工件,线切割机床的切割效率不足 $10 \text{ mm}^2/\text{min}$ 。我国在 20 世纪 50 年代末期也制造出电火花穿孔机床和线切割机床。电火花穿孔机床的控制也非常原始,是双电机利用继电器的吸合与断开来控制工具电极的升降。在其后的十几年中,电火花加工工艺在世界范围内得到了巨大的发展,应用范围也日益广泛。在我国,电火花成形加工机床经历了双机差动主轴头、液压主轴头、力矩电机或步进电机主轴头、直流伺服机主轴头到交流伺服电机主轴头几个阶段;线切割机床也经历了靠模仿形、光电跟踪仿形、简易数控及慢走丝线切割机床等阶段,并发明了世界独创的快速走丝线切割机床以及大厚度 ($\geq 300 \text{ mm}$)、超大厚度 ($\geq 700 \text{ mm}$) 线切割机床。时至今日,由于各类用能量加工的设备不断研制成功,“电加工”这一概念已不能覆盖这一新工艺领域的各个方面。人们开始用“特种加工”代替“电加工”。特种加工的领域除了传统的电火花成形加工和线电极电火花切割加工外,还包括电解加工、电铸加工、激光加工、电子束加工、离子束加工、超声波加工以及一些加工工艺的复合等诸多方面。

由于电火花线切割加工及电火花成形加工工艺在特种加工中应用最为普遍,本书将这两种工艺方法作为主要内容,而线切割加工又以具有我国特色的快速走丝线切割加工工艺为主,因此也将予以重点介绍。同时还简单介绍其他特种加工工艺与设备。

第一章 数控电火花线切割加工技术

§ 1—1 电火花线切割加工

一、电火花线切割加工原理

电火花线切割是指在工具电极（电极丝）和工件间施加电压，使电压击穿间隙产生火花放电的一种工艺方法。其加工原理如图 1—1 所示。

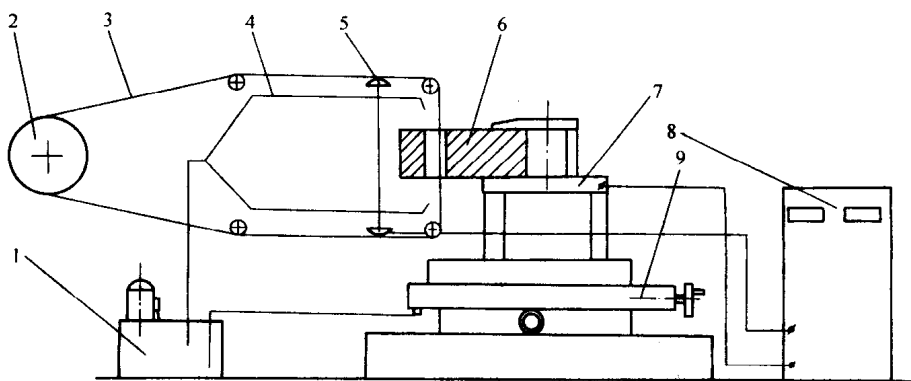


图 1—1 电火花线切割加工原理图

1—工作液箱 2—储丝筒 3—电极丝 4—供液管 5—进电块
6—工件 7—夹具 8—脉冲电源 9—工作台拖板

通常将电极丝与脉冲电源的负极相接，工件与脉冲电源的正极相接。当脉冲电源发出一个电脉冲时，由于电极丝与工件之间的距离很小，电压击穿这一距离（通常称为放电间隙）就产生一次电火花放电。在火花放电通道中心，温度瞬间可达上万摄氏度，使工件材料熔化甚至汽化。同时，喷到放电间隙中的工作液在高温作用下也急剧汽化膨胀，如同发生爆炸一样，冲击波将熔化和汽化的金属从放电部位抛出。脉冲电源不断地发出电脉冲，形成一次次火花放电，就将工件材料不断地去除。如果对火花放电进行控制，就能达到尺寸加工的目的。通常电极丝与工件之间的放电间隙在 0.01 mm 左右（若脉冲电源发出的脉冲电压高，放电间隙会大一些）。在进行线切割加工程序编制时，放电间隙一般都取为 0.01 mm。

为确保脉冲电源发出的一串电脉冲在电极丝和工件间产生一个个间断的火花放电，而不是连续的电弧放电，必须保证前后两个电脉冲之间有足够的间歇时间，使放电间隙中的介质充分消除电离状态，恢复放电通道的绝缘性，避免在同一部位发生连续放电而导致电弧发生（一般脉冲间隔是脉冲宽度的 1~4 倍）。而要保证电极丝在火花放电时不会被烧断，除了变换放电部位外，就是要向放电间隙中注入充足的工作液，使电极丝得到充分冷却。由于快速

移动的电极丝（丝速在 5~12 m/s 范围内）能将工作液不断带入、带出放电间隙，既将放电部位不断变换，又能将放电产生的热量及电蚀产物带走，从而使加工稳定性和加工速度得到大幅度的提高。快速走丝加工工艺问世后，我国的电火花线切割加工无论是线切割机床的产量还是应用范围都发生了一个飞跃。

此外，为了获得较高的加工表面质量和加工尺寸精度，应当选择适宜的脉冲参数，以确保电极丝和工件的放电是火花放电，而不发生电弧放电。火花放电和电弧放电的主要区别有以下两点。

1. 电弧放电的击穿电压低，而火花放电的击穿电压高。用示波器能很容易观察到这一差异。

2. 电弧放电是因放电间隙消电离不充分，多次在同一部位连续稳定放电形成的，放电爆炸力小，颜色发白，蚀除量低；而火花放电是游走性的非稳定放电过程，放电爆炸力大，放电声音清脆，呈蓝色火花，蚀除量高。

由于线切割火花放电时阳极的蚀除量在大多数情况下远远大于阴极的蚀除量，所以在进行线切割加工时，工件一律接脉冲电源的正极（阳极）。

二、电火花线切割加工的发展

我国电火花线切割加工技术的研究始于 20 世纪 50 年代后期，原电子部十二所研制出我国第一台单坐标线切割装置。随后，原第一机械工业部机械科学研究院及中国科学院电工研究所研制出双坐标靠模仿形线切割机床并投入小批量生产。60 年代初，中国科学院电工研究所与北京朝阳医疗器械厂（北京电加工机床厂前身）联合研制出光电跟踪线切割机床，并投入批量生产。60 年代中期，复旦大学和上海交通电器厂联合研制出我国第一台简易数控线切割机床。当时，线切割机床的走丝速度极慢，大约为 0.01 m/s，因此加工效率很低。1968 年上海电表厂张维良高级技师发明了线切割高速走丝工艺技术，成为我国电加工发展史上的一个里程碑。由于电极丝速的大幅提高（丝速达 5~12 m/s，比以前提高了近千倍），使线切割的加工速度由 2~5 mm²/min 提高到 20~30 mm²/min，从此开始了线切割加工模具的新时代，线切割加工技术在生产中的应用得到了突飞猛进的发展。

20 世纪 60 年代末期，中国科学院电工研究所与北京永定机械厂合作，研制出我国第一台大型快走丝线切割机床，并由北京第四机床厂批量生产。与此同时，线切割加工所用的高频分组脉冲电源也相继问世，使线切割加工的效率与表面质量有了进一步提高。

20 世纪 70 年代末期，苏州第三光学仪器厂及中国科学院电工研究所研制出前阶梯高频分组脉冲电源。80 年代初，中国科学院电工研究所与科海集团公司合办的 MCS 实验室在我国率先推出了线切割机床微机控制系统和专用系列编程系统。随后，苏州第三光学仪器厂也推出了独具特色、配备彩色显示器的线切割机控制系统和编程系统。原航天部北京控制工程研究所研制出超厚工件（厚度达 600 mm）线切割加工装置与技术，还配套推出了新型的 502 线切割工作液，并与北京电加工机床厂合作，批量生产超厚线切割加工机床。

20 世纪 80 年代中期，原电子部与北京市电加工研究所合作，首先在国内研制出高精度快走丝机床，加工精度达到了 ± 0.008 mm；同期，北京机床研究所推出了自行设计的慢走丝线切割机床，苏州电加工研究所引进日本 FANUC 技术与南京机床厂合作生产出慢走丝线切割机床，并投入了批量生产。

20 世纪 80 年代后期，北京电加工机床厂研制出大型高速线切割机床（加工速度在

200 mm²/min以上)和四轴联动线切割机床,可切割锥度在6°以上的模具或工件。北京市电加工研究所在国内首次推出了光控微机线切割机床,可依照实物轮廓或样板扫描切割出工件并输出程序,省去了编程的麻烦。中国科学院 MCS 实验室也推出了带适时跟踪的中档数控系统。

20 世纪到 90 年代,国内快走丝线切割机床的加工速度达到了 60~80 mm²/min,进一步拓宽了线切割加工的应用范围。线切割机床(主要是低档、小规格快走丝线切割机床)年产量已超过千台,线切割机床的保有量已超过万台,从而使线切割加工技术成为国民经济发展中不可缺少的加工工艺之一。

20 世纪 80 年代到 90 年代,国外慢走丝线切割技术也有了长足的进步。首先是加工速度由 40~60 mm²/min 提高到 100~150 mm²/min,最高加工速度超过 300 mm²/min。与此同时,加工表面粗糙度也由 $R_a0.8\text{ }\mu\text{m}$ 降低到 $R_a0.2\text{ }\mu\text{m}$,加工精度由 $\pm0.008\text{ mm}$ 提高到 $\pm0.002\text{ mm}$ 。计算机技术的发展也使得慢走丝线切割机的功能日臻完善,安全运行时间由几百小时提高到几千小时,精度保持性由 6 年提高到 10 年。进入 90 年代,我国在慢走丝线切割技术方面的研究较为薄弱,与国外的差距日益扩大。直到 90 年代后期,通过与国外企业的合作,才改变了慢走丝机床落后的局面,在某些方面还走在世界的前列。

三、数控电火花线切割机床的分类

电火花线切割机床有多种分类方法。一般可以按机床的控制方式、脉冲电源的形式、工作台尺寸与行程、走丝速度、加工精度等进行分类。

1. 按机床的控制方式,可分为靠模仿形线切割机床、光电跟踪线切割机床、光电与微机混合控制线切割机床、数字程序控制或微机控制线切割机床等。目前,前两类线切割机床已经淘汰,不再生产了。

2. 按机床配用的脉冲电源类型,可以分为 RC 电源、晶体管电源、分组脉冲电源及自适应控制电源机床等。目前,单纯配用 RC 电源的线切割机床在生产线上已很少见了。

3. 按机床工作台尺寸与行程(也就是按加工工件的尺寸范围)的大小,可分为大型、中型、小型线切割机床。在这三大类型中,又分为直壁切割和锥度切割型、丝架固定型和可调丝架型等。

4. 按走丝速度大小,可分为快走丝线切割机床、慢走丝线切割机床及混合式线切割机床(有快、慢两套走丝系统)三大类。

5. 按加工精度的高低,可分为普通精度型及高精度精密型两大类线切割机床。绝大多数慢走丝线切割机床属于高精度精密型机床。

四、数控电火花线切割加工的应用范围

1. 模具加工。绝大多数冲裁模具都采用线切割加工制造,因为只需计算一次,编好程序后就可加工出凸模、凸模固定板、凹模及卸料板。此外,还可加工粉末冶金模、压弯模及塑压模等。

2. 新产品试制。新产品试制时,一些关键件往往需用模具制造,但加工模具周期长且成本高,采用线切割加工可以直接切制零件,从而缩短新产品的试制周期。

3. 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,而采用线切割加工则比较适宜。此外,不少电火花成形加工所用的工具电极(大多用紫铜制作,机械加工性能差)也采用线切割加工。

4. 贵重金属下料。由于线切割加工用的电极丝尺寸远小于切削刀具尺寸(最细的电极丝尺寸可达 0.02 mm),用它切割贵重金属,可节约很多切缝消耗。

§ 1—2 数控电火花线切割机床的基本组成

一、数控电火花线切割机床的型号及主要参数

1. 电火花线切割机床是电火花加工机床家族中最大的一种。它是利用电极丝作为工具电极，按控制系统给出的轨迹指令运动，加工出所需形状的工件。如前所述，线切割机床按电极丝移动速度的快慢，分为快走丝和慢走丝两大类。通常丝速在 $5\sim 12\text{ m/s}$ 的为快走丝机床，如图 1—2 所示；丝速在 $0.1\sim 0.5\text{ m/s}$ 的为慢走丝机床，如图 1—3 所示。

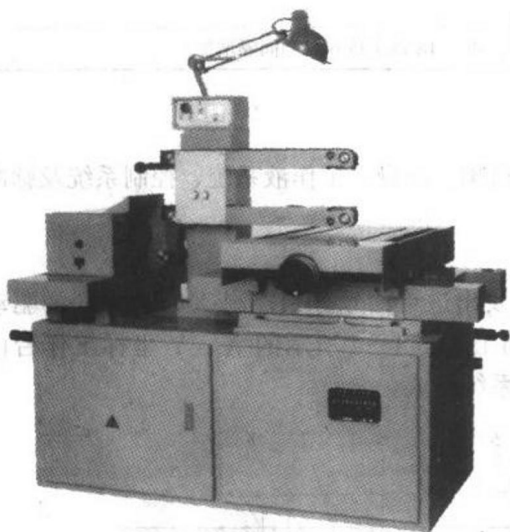


图 1—2 快走丝线切割机床

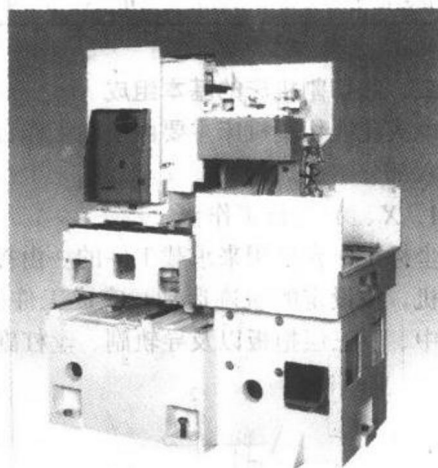
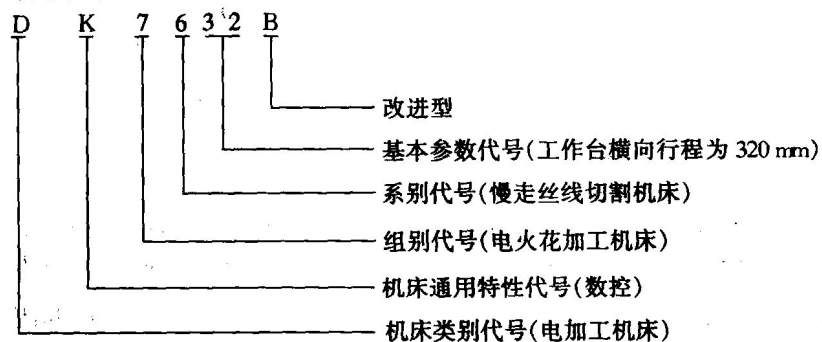


图 1—3 慢走丝线切割机床

国产线切割机床的型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，分别表示机床的类别、特性和基本参数。在国家标准的系列代号中，快走丝线切割机床的系列代号为“7”，慢走丝线切割机床的系列代号为“6”。例如，型号为 DK7632B 的线切割机床其型号分别含义如下。



2. 国产线切割机床的主要型号、规格及技术参数等请参阅附表一。由于我国生产快走丝数控线切割机床的厂家很多，每个厂又生产数种甚至数十种型号的产品，因此，附表一仅选取部分产量较大的产品进行介绍。在工作中需要更详细的资料时，可查阅“电加工与模具”等杂志。

表 1—1 给出了线切割机床的参数标准（摘自《电火花线切割机床 参数》GB7925—87）。

表 1—1 线切割机床参数表 mm

工 作 台	横向行程	100		125		160		200		250		320		400		500		630	
	纵向行程	125	160	160	200	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1 000
	最大承载重量 kg	10	15	20	25	40	50	60	80	120	160	200	250	320	400	500	630	960	1 200
工 件 尺 寸	最大宽度	125		160		200		250		320		400		500		630		800	
	最大长度	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1 000	1 000	1 250	1 250	1 600
	最大切割厚度	40、60、80、100、120、140、160、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600																	
最大切割锥度		0°、3°、6°、9°、12°、15°、18°（18°以上按 6°一档间隔增加）																	

二、线切割机床的基本组成

电火花线切割机床主要由坐标工作台、运丝机构、床身、工作液系统、控制系统及脉冲电源六部分组成。

1. X、Y 坐标工作台

坐标工作台是用来承载工件的。由控制系统发出进给信号分别控制 X、Y 方向的驱动电动机，按设定的轨迹运动，完成工件的切割加工。图 1—4 所示的 X、Y 坐标工作台由上、中、下三层拖板以及导轨副、丝杠副和减速系统组成。

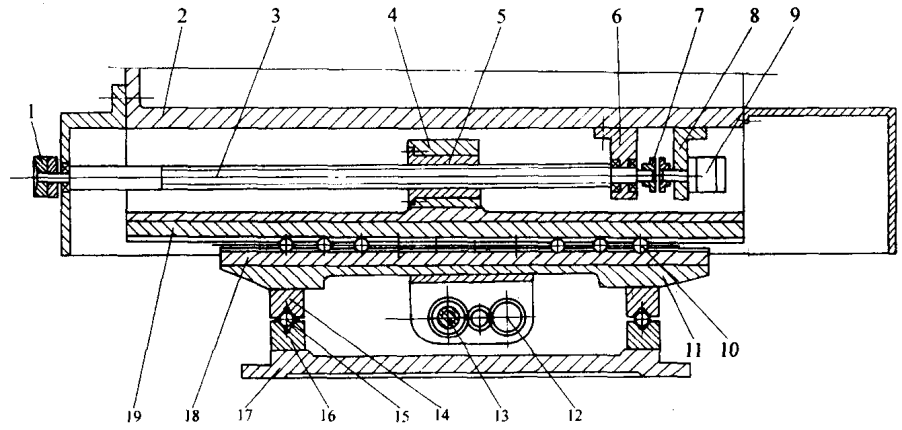


图 1—4 X、Y 坐标工作台结构示意图

- 1—手轮 2—上拖板 3—丝杠 4—螺母座 5—螺母 6—轴承座 7—联轴器
 8—电动机座 9—电动机 10—滚珠 11—中拖板 12—减速齿轮 13—中拖板丝杠
 14—中拖板下导轨 15—滚珠 16—下拖板导轨 17—底座 18—下拖板导轨 19—上拖板导轨

(1) 拖板由下、中、上三层组成。下拖板大多与床身固定连接，其上部配置导轨面，用于支承中拖板；中拖板上、下面配置有相互垂直的导轨面，在中拖板的一端固定有步进电机，经丝杠副将旋转运动转变为直线运动，驱动中拖板沿下拖板导轨面移动（称 Y 向）；中拖板上部的导轨面支承着上拖板（其上部又称工作台），在上拖板的一端也固定有步进电机，同样经丝杠副驱动上拖板，沿中拖板上的导轨面运动（称 X 向）。为了增加线切割机床的刚

度和稳定性,上拖板在全行程中不应伸出中拖板;而中拖板在全行程中也不应伸出下拖板(当然,对大型线切割可能很困难),这样既有助于导轨面的防护,工作台(尤其装有超大工件时)也不致有倾覆的危险。

(2)拖板的导轨形式较多。由于线切割机床加工时机械力不大,为了使工作台能灵活运动,拖板导轨副大多采用滚动导轨。小型线切割机床大多采用钢球作滚动件,且采取开放式导轨结构(如图1—5所示),即受向上外力作用时,工作台可向上方抬起,故运输时工作台必须固定牢靠。而中型、大型线切割机床的工作台承载大,故多采用滚针、滚柱或平面轴承、直线导轨块等,由于滚动导轨摩擦系数很小,因此用很小的步进电机即可驱动工作台。

(3)在早期的线切割机床中,丝杠副大多为滑动丝杠副,目前仅在小型线切割机床上采用。数控中型、大型线切割机床都采用带有圆弧形螺纹的滚动丝杠副,这类滚珠丝杠副采用淬火钢磨削加工,丝杠与螺母的配合间隙通过双螺母调节可很方便地加以消除,确保传动准确、轻快、平稳,使用寿命长。图1—6所示为双螺母消隙结构示意图。



图 1—5 开放式导轨结构示意图

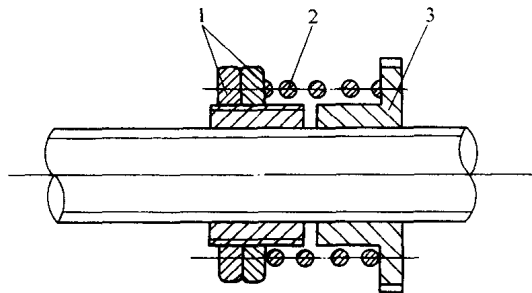


图 1—6 双螺母消隙结构示意图

1—双副螺母 2—弹簧 3—螺母

(4)工作台驱动所用的步进电机与丝杠间的传动,通常采用齿轮副实现减速传动。由于存在齿侧间隙及传动链中弹性变形的影响,当步进电机换向旋转时,会出现传动空程,从而使工件加工误差加大。为了提高工件的加工精度,应尽量减小和消除传动空程,通常采取以下措施。

1) 尽量减少齿轮减速级数,适当提高齿轮的加工精度。

2) 将被动齿轮沿轴向剖为两件,装配时使其齿廓分别与主动轮的两侧齿面啮合,消除齿轮副的齿隙。有些线切割机床则采用电机与丝杠副直接驱动的方式,从结构上消除产生齿隙的弊病。

2. 运丝机构

线切割机床运丝机构的主要功能是带动电极丝按一定的线速度运动,在加工区域保持张力的均匀一致,以完成预定的加工任务。

快速走丝机构的结构简图如图1—7所示。

下面,对快速走丝机构做简要介绍。

(1)快速走丝系统丝速较高,为减小惯性且受结构限制,储丝筒直径及轴向尺寸不能太大,储丝长度一般不超过400 m,按丝速10 m/s计算,每40 s就要换向一次。为提高加工速度,应尽量减少非工作时间,换向要快。因此储丝筒应尽可能减小转动惯量,筒壁尽量薄而均匀。装配后储丝筒的径向跳动应小于0.01 mm,且应进行动平衡,才有利于保持机床的精度。

(2)联轴器。电动机与储丝筒主轴是依靠联轴器实现连接的。高速旋转的储丝筒换向频

繁，使联轴器瞬间承受很大的剪切力矩。早期的线切割机床经常发生储丝筒轴疲劳而被剪断的现象，目前的线切割机床储丝筒大多采用较粗的主轴与弹性联轴器结构。图 1—8 所示为常用弹性联轴器结构简图。

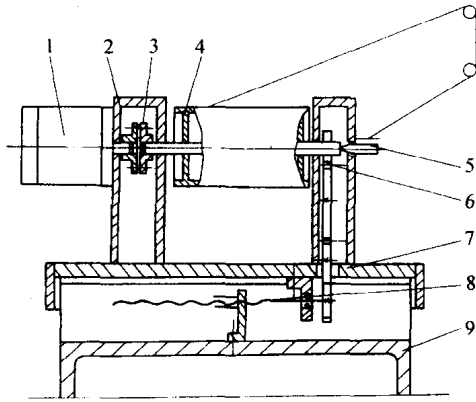


图 1—7 快速走丝机构结构简图

- 1—电动机 2—支架 3—联轴器
4—储丝筒 5—进电炭刷 6—减速齿轮副
7—拖板 8—丝杠副 9—底座

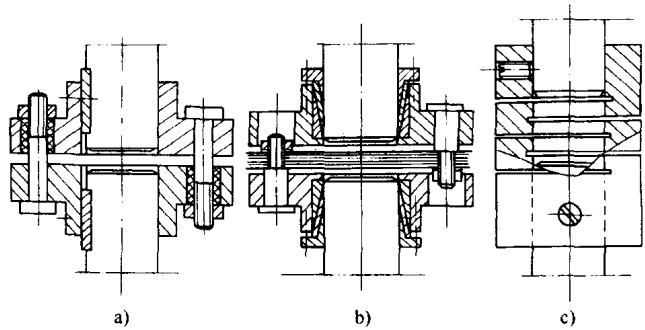


图 1—8 弹性联轴器结构简图

图 1—8 a 所示的弹性联轴器结构较简单，换向时无刚性撞击，弹性体大多采用橡胶或皮革制成。由于左、右联轴器间无固定连接，故允许电机轴与储丝筒轴有少许轴线角误差，且两者轴向尺寸在一定范围内可以调节。

图 1—8 b 所示的弹性体由多层厚约 0.1 mm 的金属片叠成的，制作精度较高，换向平稳，且联轴器与轴采用弹性夹紧，没有键槽，连接可靠，装配方便，整体尺寸也较小。但因制造精度高，价格比较贵，故多用在精密线切割机床中。

图 1—8 c 所示为整体式弹性联轴器，其中部开有若干窄槽，换向时靠中部的弹性变形吸收冲击力，两轴的同轴误差也是靠中部的弹性变形予以补偿。这种联轴器的结构尺寸最小。由于两端的弹性变形量较小，要求电动机轴与储丝筒轴的同轴度要高。由于它制作复杂，故价格也较高。近来有的厂家将电动机轴与储丝筒轴合二为一，取消了联轴节，提高了运丝系统的传动精度。

(3) 上、下拖板大多采用滑动导轨副。最常用的是燕尾导轨，如图 1—9 a 所示。这种导轨副结构紧凑，通过楔形斜铁可方便地调整导轨副的配合间隙，但制造及检验均较繁琐，且刚性差，传动时摩擦阻力也较大。图 1—9 b 所示为平—V 导轨副，它制作较为简单，应用较为普遍。

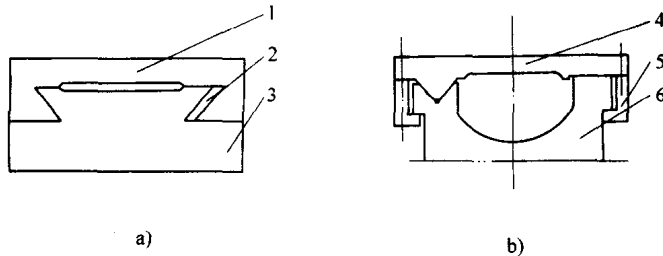


图 1—9 拖板导轨结构示意图

- 1—上拖板 2—斜铁 3—下拖板 4—上拖板 5—压板 6—下拖板

通常下拖板较长,以确保上拖板往复运动平稳,无倾覆危险。

(4) 减速齿轮副与丝杠副。减速齿轮副的功能主要是调节储丝筒的转速及轴向位移的大小,使轴向位移与选用的电极丝直径相匹配,保证电极丝能整齐有序地排绕在储丝筒表面而不发生叠丝现象。更换尺寸相差较大的电极丝时,应注意同时更换减速齿轮,使拖板的轴向位移与电极丝直径相吻合而不致发生叠丝。

为了降低运丝系统的振动和噪声,在多数快走丝线切割机床减速齿轮中有几个齿轮是选用环氧树脂玻璃钢或尼龙制作的。

由于运丝系统传动精度要求不高,所以丝杠副多采用滑动丝杠副,用双螺母来消除螺纹配合的间隙。

(5) 20 世纪 80 年代生产的快走丝线切割机床的进电炭刷多装在储丝筒轴端。这种进电方式简单,维修方便。到了 90 年代,为了减少传导损失,多数厂家将进电点尽量向加工区域靠近,使之产生一定的振动阻尼作用。通常将进电点放在上、下丝架导轮组件附近。

丝架的主要作用是支撑电极丝,并使电极丝放电部分与工作台保持所需的几何角度。当机床具有锥度切割功能时,丝架又是固定 $U-V$ 轴拖板的基座。因此对丝架有一定的技术要求。

第一,要有足够的刚度。当具有较大张力的电极丝运动(尤其是高速运动)时,不应出现变形与振动。

第二,导轮组件与丝架、床身间有良好的绝缘性,以防止导轮轴承因火花放电而损坏。

第三,应能有效地防止工作液及电蚀污物进入导轮轴承而产生不良后果。

3. 工作液系统

工作液系统的主要功能是向放电部位稳定供给具有一定绝缘性能的工作液,及时带走加工区域的电蚀产物及放电产生的热量,维持放电正常、持续地进行。

图 1-10 所示为快速走丝线切割机床工作液系统原理图。工作液泵将工作液经滤网吸入,并通过主进液管分送到上、下丝臂进液管,用阀门调节其供液量的大小,加工后的废液由工作台靠自重流回工作液箱。废液经过过滤层,大部分蚀除产物被过滤掉。经过一段时间,要更换过滤层的过滤介质(河砂、石英砂或无纺布、棉纱等)。从环境保护的角度考虑,尽量选用河砂或石英砂,因为它们在用过之后,仍可作为建筑材料;而无纺布、棉纱等则难于再利用了。变质的工作液应倒入污水池中,不可随意倾倒,以免污染环境。

慢走丝线切割机床由于使用去离子水作为工作液,因此其工作液系统比较复杂,有的还配有液温控制装置,具体内容将在第二章中专门介绍。

4. 脉冲电源

电火花线切割所用的脉冲电源又称高频电源,是线切割机床的重要组成部分之一。在一定条件下,线切割机床的加工效率主要取决于脉冲电源的性能。

(1) 对脉冲电源的基本要求 由于电火花线切割加工大多属于中、精加工,往往是将工件一次加工成形,因此对加工精度、表面粗糙度和切割速度等均有较高的要求。所以,要求脉冲电源具有如下性能。

1) 脉冲峰值电流大小要适当。受机械结构和电极丝恒张力等影响,电极丝的直径不可太大,一般在 $0.05 \sim 0.25 \text{ mm}$ 之间,因此电极丝允许通过的峰值电流不可太大。但是,由于工件有一定厚度,要维持稳定放电加工并具有合适的加工速度,峰值电流又不能太小。在

实际中,快走丝线切割加工的峰值电流通常为 $10\sim 30\text{ A}$,慢走丝线切割加工的峰值电流约比快走丝的高 $6\sim 10$ 倍。

2) 脉冲宽度要窄且可以调节。为了满足中、精加工的需要,应对单个脉冲能量进行控制。脉冲宽度愈窄,放电时间愈短,热传导损耗小,能量利用率提高,且不易产生烧伤现象。但为了保持合适的加工速度,脉冲宽度又不能太小。在生产实用中,快走丝线切割脉冲宽度的变化范围约为 $0.5\sim 64\text{ }\mu\text{s}$,而慢走丝脉冲电源的脉宽变化范围可大一些,通常在 $0.1\sim 100\text{ }\mu\text{s}$ 之间。

3) 脉冲频率要尽量高,以利于提高加工表面质量及加工速度;脉冲间隔不能过小,否则放电区域消电离不充分,易产生电弧,烧伤工件或烧断电极丝。一般脉冲频率在 $5\sim 500\text{ kHz}$ 范围内。

4) 对于高速走丝线切割加工来说,由于电极丝往复使用,其损耗直接影响加工精度。为达到较高的加工精度,应降低电极丝的损耗。电极丝损耗大小是评价快走丝脉冲电源的重要指标之一。慢走丝线切割的电极丝为一次性使用,所以对电极丝损耗没有特殊要求。

5) 必须输出单向直流脉冲,否则无法利用极性效应。对可能出现的负脉冲(反向脉冲)也要予以消除。

6) 脉冲参数有较大的可调范围,以适应不同工件、材料及加工规范的需要。一般情况下,脉冲宽度的调节范围为 $0.5\sim 64\text{ }\mu\text{s}$ 、脉冲间隔为 $5\sim 50\text{ }\mu\text{s}$ 、开路电压为 $60\sim 100\text{ V}$ 、峰值电流为 $10\sim 30\text{ A}$ 。慢走丝线切割的脉冲参数调节范围远大于上述范围,在此不一一列出了。

此外,为适应线切割加工长时间连续工作的需要,脉冲电源的功率输出应稳定可靠,参数调节及维修应简单、方便。

(2) 脉冲电源的基本组成 线切割脉冲电源主要由脉冲发生器、推动级、功放及直流电源四部分组成,其原理如图 1—11 所示。

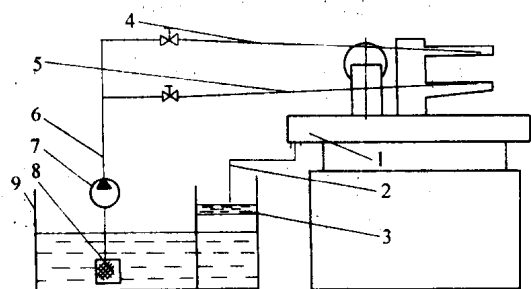


图 1—10 工作液系统原理图

- 1—机床工作台 2—回液管 3—过滤层
4—上丝臂进液管 5—下丝臂进液管 6—主进液管
7—工作液泵 8—滤网 9—工作液箱

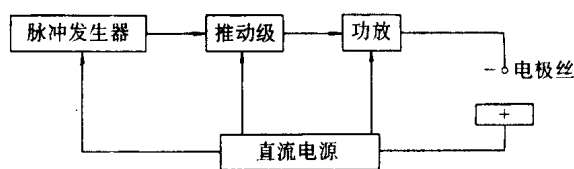


图 1—11 线切割脉冲电源组成原理图

下面,对线切割脉冲电源各部分简要介绍如下。

1) 脉冲发生器是脉冲电源的脉冲源,脉冲宽度、脉冲间隔及脉冲频率均由脉冲发生器确定和调节。

2) 推动级用来对脉冲发生器发出的脉冲信号进行放大,增大脉冲功率,以推动功放级

正常工作。所以，功放管不同，其推动级也不同。

3) 功放是将推动级提供的脉冲信号进行再放大，从而为工件与电极丝间的火花放电提供所需的脉冲电压和电流。

4) 直流电源输出的电压平稳，脉动小，供给脉冲发生器、推动级及功放，提供工件与电极丝间火花放电所需的能量。

(3) 脉冲电源的种类 目前国内各生产厂配用的脉冲电源种类很多。根据电路主要器件的不同，可分为晶体管式、晶闸管式、RC式和晶体管控制的RC式。根据对放电间隙状态的依赖情况，可分为独立式、非独立式和半独立式。根据放电脉冲波形不同，又可分为方波(矩形波)、锯齿波及分组脉冲等。脉冲电流的波形如图1—12所示。

方波脉冲电源制作简单，成本低，适用于中规准加工。其原理如图1—13所示。

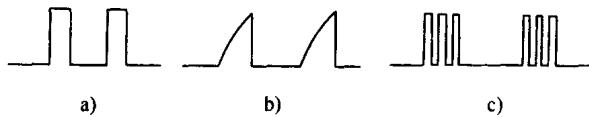


图1—12 脉冲电流波形图

a) 方波 b) 锯齿波 c) 分组脉冲

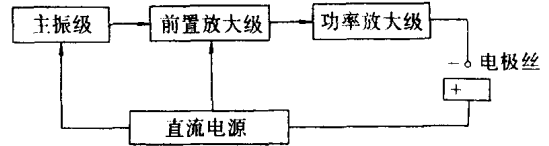


图1—13 方波脉冲电源原理图

锯齿波的前沿平缓，有助于改善表面粗糙度及降低电极损耗，但加工速度不高。其电路简单，成本低，使用比较广泛。

分组脉冲电源是当前电火花线切割加工使用效果较好的电源，其原理如图1—14所示。

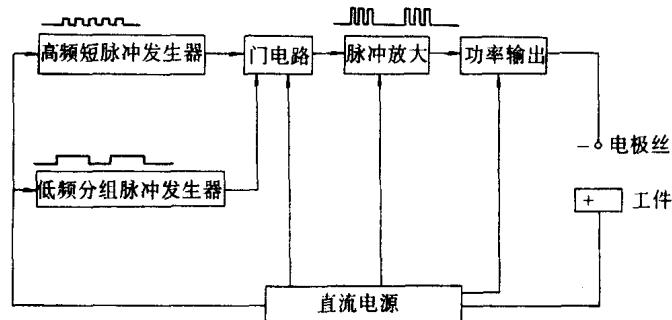


图1—14 分组脉冲电源原理图

分组脉冲电源的特点是把一个宽脉冲分解成多个窄脉冲，脉宽为 $0.5 \sim 1 \mu\text{s}$ 。使用这种电源加工的表面粗糙度 R_a 值可达 $0.8 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。

§ 1—3 数控电火花线切割的工艺特点

一、电火花线切割加工工艺特点

与电火花成形加工相比，电火花线切割加工有如下特点。

第一，无需制作电极，工件也无需预加工。

第二，脉冲电源的加工电流较小，脉冲宽度较窄。因属中、精加工范畴，所以只采用正