



机电工程系列丛书

电火花线切割加工技术工人培训自学教材

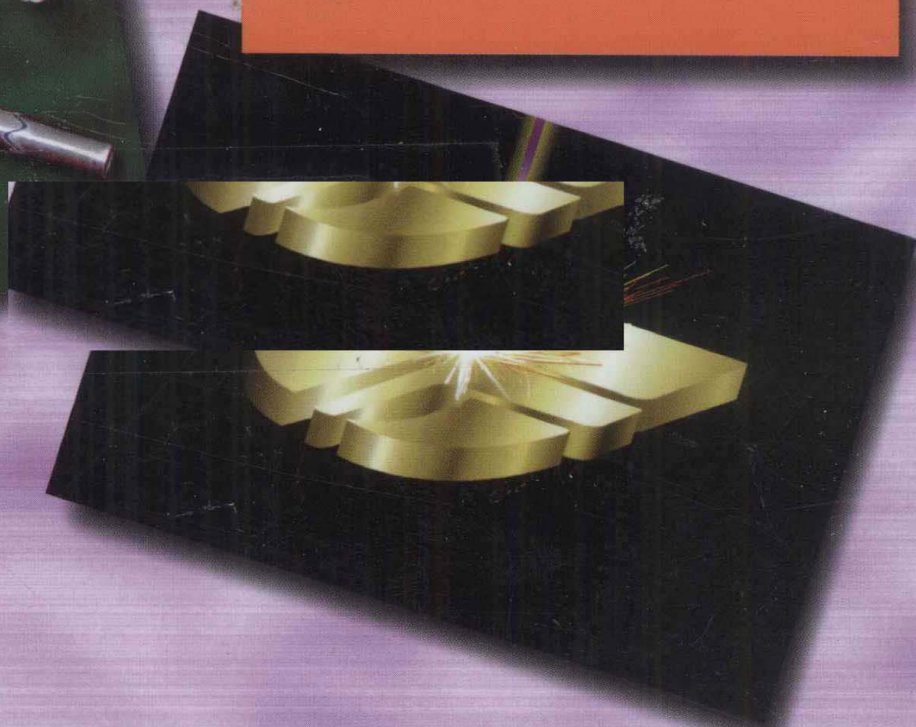
第3版

DIANHUOHUA XIANQIEGE JIAGONG JISHU GONGREN PEIXUN ZIXUE JIAOCAI

中国机械工程学会电加工学会 编

张学仁 主编

刘晋春 主审



哈尔滨工业大学出版社

机电工程系列丛书

电火花线切割加工 技术工人培训自学教材

(第3版)

中国机械工程学会电加工学会 编

张学仁 主编

刘晋春 主审

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书主要包括电火花线切割加工技术工人初级工、中级工和高级工的应知、应会和工作实例等内容,包括电火花线切割加工的基本原理、基本设备、基本工艺规律及实际操作技巧;手工编写 3B 程序及 ISO 代码的方法;YH、CAXA 和扫描输入微机编出 3B 程序或 ISO 代码的方法,以及编程控制一体化的基本原理;三相及五相步进电动机的工作原理;达林顿晶体管和 VMOS 大功率晶体管的工作原理及其在线切割控制系统或高频电源中的应用实例;有切割锥度、切割复杂曲面及加工上下异形面的原理和加工实例;对电火花线切割加工的先进技术书中也作了详细阐述。在附录中还给出了国内外电火花线切割机床各厂家所生产的线切割机床的型号、特点以及联系信息;可供应线切割控制器、高频电源以及各种编程软件的公司名称及产品;还介绍了可供应线切割机床附件以及各种消耗器材的厂家和产品;“电火花线切割加工技术工人等级标准”。本书内容丰富,图文并茂,深入浅出,密切联系实际。

本书可作为电火花线切割加工工人提高技术等级的培训教材、自学教材和考工定级的教材,亦可作为电加工工程技术人员、中等技术学校、专科学校和高等工科院校的机电一体化专业师生以及工程训练中心的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电火花线切割加工技术工人培训自学教材/张学仁主
编. —3 版. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.6(2010.6 重印)
ISBN 978-7-5603-1674-1

I. 电… II. 张… III. 电火花线切割-技术工人-教材
IV. TC484

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 073700 号

责任编辑 黄菊英
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 东北林业大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20.75 字数 499 千字
版 次 2008 年 6 月第 3 版 2010 年 6 月第 5 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-1674-1
定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

發展特種加工
推動技術進步

王至堯

二〇〇五年首屆
五月二十六日

中国机械工程学会特种加工分会第七届理事长王至尧题词

中国机械工程学会

学会工作成果奖

项目名称:

编辑出版《火花加工技术》

学会名称:

切削加工技术工人培训教材

主要参加者:

张学仁 刘晋春 陆纪培 杜炳常

编号 3-039



第3版前言

本书自2001年修订再版以来,深受广大数控电火花线切割工人、工程技术人员和一些技术培训班师生的欢迎,重印多次,为了更好地适应广大读者的需要,我们在广泛征求读者意见的基础上,再次修订再版,并作如下说明:

(1)本次修订,保持原书的基本结构。

(2)初级工部分增加了表面粗糙度评定参数和一部分手工编程计算实例;中级工部分对步进电动机的工作原理进行了改写,YH绘图式线切割微机编程和CAXA线切割V2绘图式微机编程部分增加了一些基本内容和实例,使其更适合自学和培训班的需求。

(3)对全书多处进行了修改,纠正了一些疏漏和错误。

编 者

2008年6月

第2版前言

本书第1版自1989年出版发行以来,受到了广大电火花线切割工人和工程技术人员的欢迎,并于1991年获中国机械工程学会学会工作成果奖。近几年仍有众多读者来信求购,哈尔滨工业大学出版社建议我们在原来的基础上,结合电火花线切割技术的最新进展,作必要的修改和更新,早日推出修订版。正是出于这种背景,今对《电火花线切割加工技术工人培训自学教材》一书进行了修订。

本次修订的指导思想是,保留基础内容,删去过时内容,增加近几年来发展成熟、且已稳定用于生产的内容以及较新的技术。

书中初级工部分基本保持不变。

中级工部分增加了ISO代码编程方法,微机编程部分除语言式外,还有YH绘图式微机编程、CAXA绘图式微机编程以及扫描输入微机编程等,三相及五相步进电动机工作原理,脉冲电源新型电路图和脉冲电源的合理使用方法,达林顿三极管以及近几年在脉冲电源中用得较多的VMOS场效应大功率管,影响高速走丝线切割机床加工精度的主要因素,导轮精度对线切割加工精度的影响分析等。

高级工部分改写了国内外典型线切割机床的特点,增加了微机编程控制一体化系统原理、锥度切割和复杂曲面切割原理及实例,上、下异形面编程实例等。

为了方便读者了解有关信息,书后增加了附录,包括国内、外线切割机床、编程软件、线切割控制器、脉冲电源、钼丝和工作液等消耗器材生产厂和主要产品,以及电火花线切割加工技术工人等级标准。

参加修订工作的有哈尔滨工业大学张学仁教授、邢英杰博士、李冰梅博士、胡秀丽博士、刘华工程师、韩秀琴副教授、王笑香工程师、李丹工程师和刘景瑞工程师。全书由张学仁教授主编,刘晋春教授主审。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏或不当之处,请读者批评指正。

编 者

2001年10月

第1版前言

本书是根据1987年原国家机械工业委员会颁布的《工人技术等级标准(通用部分·续)》中对电火花线切割加工工人所要求掌握的应知、应会和工作实例编写的。

本书的内容按初级、中级和高级电火花线切割加工工人应知、应会和工作实例编写。它涉及电火花线切割加工技术领域中的各个方面。机械方面有材料、热处理、制图及公差等;脉冲电源方面有基本原理、正确使用和维修调试方法,以及先进脉冲电源等;控制方面有插补及控制的基本原理,以及微机控制器的控制原理等;编制程序方面有线切割编程常用的数学知识、手工编程的基本方法(包括极坐标),以及微机编程等;工艺方面有基本工艺规律和技巧、实现稳定加工,以及提高加工质量和解决一些特殊工艺问题的办法等。本书以讲解基本技术问题为主,但也尽量反映一些最新的技术成就。

本书上述各方面的内容既由浅入深地分配在初级、中级和高级工三个层次中,又避免了不必要的重复。

本书可以作为电火花线切割加工工人技术等级培训教材和自学教材,以及考工定级等教材。此外,对主管电加工的工程技术人员,中等技术学校、高等工科院校的机制工艺专业师生也有参考价值。在本书的编写过程中,曾得到机械电子工业部教育司和劳动人事司的关切和支持。

本书的编写和审稿分工如下:机械方面由苏州电加工机床研究所章齐德高级工程师编写,杭州无线电专用设备一厂陈仁哲高级工程师审改;工艺方面由上海市医用电子仪器厂杜炳荣工程师编写,北京市技术交流站蒙朝敦工程师审改;控制方面由苏州电加工机床研究所李梦辰工程师编写,上海申萌微机公司陆景良工程师审改;编程方面由哈尔滨工业大学张学仁教授编写,机械电子工业部(太原)工艺研究所刘寿春高级工程师审改;脉冲电源方面由中国科学院电工研究所金玉惠工程师编写,该所于学文副研究员审改。全书由哈尔滨工业大学张学仁教授主编,并统稿和修改,哈尔滨工业大学刘晋春教授主审,并协助修改。

十多年来我国数控电火花线切割技术发展很快,我国拥有的数控电火花线切割机床已接近两万台。电火花线切割加工技术工人和有关的工程技术人员长期以来一直迫切需要一本这方面的培训、自学教材。相信本书的出版将对提高我国数控电火花线切割加工工人队伍的技术水平和素质、对促进我国电火花加工事业的发展起到积极作用。

本书是我国电火花线切割加工的第一本工人培训、自学教材,由于编写经验不足,编审人员水平也有限,书中肯定存在一些不足之处,恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1989年8月

目 录

第一章 初级工应知

1.1 电火花线切割机床的名称、型号、性能、结构和一般传动关系	1
1.2 电火花线切割机床的工作液和润滑系统	5
1.3 电火花线切割机床的使用规则和维护保养方法	6
1.4 自用机床附件(交流稳压电源、纸带穿孔机等)的使用规则和维护保养方法	7
1.5 常用工、夹、量具的名称、规格和用途	9
1.6 常用工件材料的种类和牌号	12
1.7 常用电极丝材料的种类、名称、规格、性能和用途	14
1.8 工作液的作用、规格和型号	14
1.9 机械制图的基本知识	15
1.10 公差配合、形位公差和表面粗糙度的基本知识	20
1.11 常用数学知识	30
1.12 热处理的基本知识	39
1.13 电工的基本知识	42
1.14 电火花线切割加工原理和主要名词术语	46
1.15 电火花线切割加工的安全技术规程	51

第二章 初级工应会

2.1 电火花线切割机床及附件的使用和维护保养方法	52
2.2 工具、夹具、量具的使用和维护保养方法	53
2.3 工作液的配制和使用方法	56
2.4 在通用和专用夹具上装夹一般工件的方法	56
2.5 使用一般仪器观察加工状态的方法	58
2.6 变频进给的合理调整方法	59
2.7 根据加工对象合理选择电参数	62
2.8 电火花线切割机床常见故障现象的判别	62
2.9 一般零件图的看法及简单零件线切割草图的绘制方法	63
2.10 编制简单零件线切割加工程序的方法	65
2.11 正确执行安全技术规程	73
2.12 装拆电火花线切割机床导轮及校正电极丝垂直度的方法	75

第三章 初级工工作实例

3.1 在电火花线切割机床上加工简单凸模和凹模	78
3.2 编程前的准备及工件找正	80
3.3 正确使用线切割工艺孔	84
3.4 切割薄片工件	86

第四章 中级工应知

4.1 常用电火花线切割机床的种类和性能	88
4.2 电火花线切割机床的控制原理和框图	90
4.3 工业电子学基础知识	96
4.4 现代功率晶体管	103
4.5 电火花线切割机床常用的电器	109
4.6 模具电火花线切割加工的步骤和要求	114
4.7 电火花线切割机床的精度检验方法	116
4.8 线切割脉冲电源参数对切割速度、表面粗糙度和电极丝损耗的影响	121
4.9 电火花线切割加工产生废品的原因及预防方法	123
4.10 影响高速走丝线切割机床加工精度的主要因素及提高加工精度的主要途径	125
4.11 步进电动机的工作原理	126
4.12 线切割加工表面产生的黑白条纹	132

第五章 中级工应会

5.1 排除电火花线切割机床常见故障的方法	134
5.2 分析导轮工作精度对线切割加工精度的影响	136
5.3 一般脉冲电源的电路图及常见故障的排除方法	139
5.4 用示波器观察和分析加工状态的方法	142
5.5 电火花线切割加工的某些工艺技巧	143
5.6 确定突然停电点坐标的方法	146
5.7 根据切割出图形的误差特点来推测机床的机械误差或故障	150
5.8 排除电火花线切割机床步进电动机失步等故障	152
5.9 改进线切割加工表面粗糙度的途径	154
5.10 与改进线切割脉冲电源性能有关的几个值得注意的问题	155
5.11 用好线切割脉冲电源的几点经验	156
5.12 线切割微机编程	157

第六章 中级工工作实例

6.1 加工凸轮	198
6.2 在电火花线切割机床上加工多孔级进模	205
6.3 加工压制波浪形圆弹簧片的模具	208
6.4 在电火花线切割机床上加工穿丝孔	211

第七章 高级工应知

7.1 国内外典型电火花线切割机床的特点	212
7.2 电火花线切割加工的基本理论知识	217
7.3 微型计算机线切割编程控制系统	224
7.4 国外电火花线切割机床控制系统的特点	235
7.5 TP-801A 单板微机线切割控制器	238

第八章 高级工应会

8.1 减少和防止线切割加工中工件的变形和开裂的方法	247
8.2 分析丝杠螺母间隙对线切割工件几何精度的影响	249
8.3 提高线切割加工齿轮模具精度的途径	251
8.4 电火花线切割加工表面层质量分析	254
8.5 带锥度工件的线切割加工	259
8.6 复杂曲面线切割加工	268

第九章 高级工工作实例

9.1 在电火花线切割机床上加工超坐标尺寸的工件	277
9.2 用电火花线切割机床磨削小孔	280
9.3 同时一次切出凸模和凹模	281
9.4 切割上下异形面	284

附录

附录 I 国内高速走丝电火花线切割机床生产厂(公司)及主要产品	286
附录 II 国内外低速走丝电火花线切割机床生产厂(公司)及主要产品	298
附录 III 线切割控制器、脉冲电源、编程软件生产厂(公司)及主要产品	302
附录 IV 线切割机床的附件、夹具、消耗器材及生产厂(公司)	306
附录 V 关于电火花线切割加工工人技术等级标准	310

第一章 初级工应知

1.1 电火花线切割机床的名称、型号、性能、结构和一般传动关系

一、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应几何图形的工件。按电极丝运动的速度分,线切割机床分为高速走丝和低速走丝两种。电极丝运动速度在 $8 \sim 10 \text{ m/s}$ 之间的为高速走丝,在 $10 \sim 15 \text{ m/min}$ 之间的为低速走丝,国内现有的线切割机床绝大多数为高速走丝线切割机床,国外的产品和国内生产的少数线切割机床为后者。下面讲述高速走丝线切割机床。

根据 JB 1838—76《金属切削机床型号编制方法》的规定,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。表 1.1 为机床的类别代号,表 1.2 为机床的特性代号。

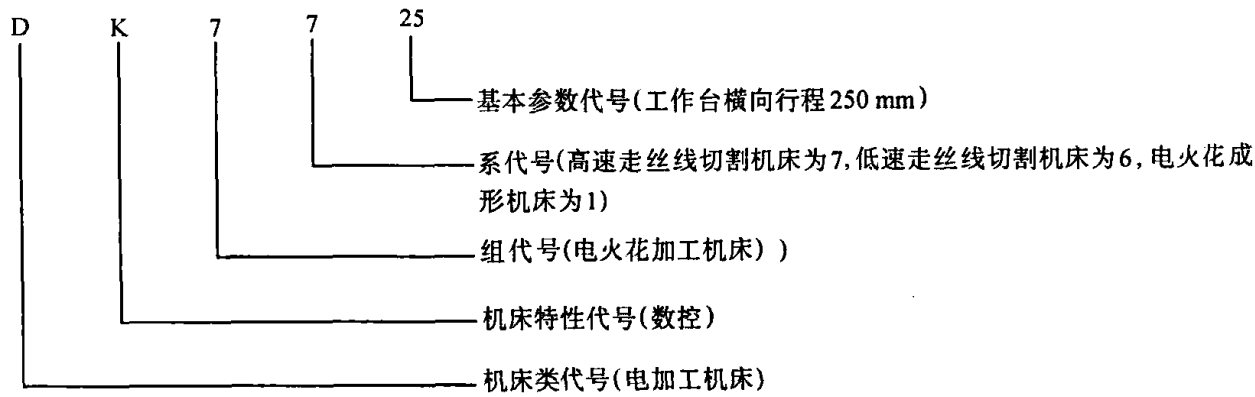
表 1.1 机床的类别代号

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

表 1.2 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	C	Q	J	H
参考读音	高	密	自	半	控	仿	重	轻	简	换

例如,DK7725 表示工作台横向行程为 250 mm 的电火花数控线切割机床,型号中的字母



及数字含义为

为了有计划地开发新的机床品种规格,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》(GB 7925—87)标准,要求各单位设计开发的线切割机床参数应符合。表 1.3 之规定。

表 1.3 电火花线切割机床参数(GB 7925—87) 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
	最大承载质量/kg	10	15	20	25	40	50	60	80	120	160	200	250	320	500	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、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°—挡间隔增加)																	

至于中外合资、外资企业以及国外生产的线切割机床,其自定的型号很不统一。

二、电火花线切割机床的性能

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,不同生产厂的产品稍有不同,以苏州市宝玛数控设备有限公司生产的 DK7732F 型线切割机床为例说明如下:

工作台最大行程	320 mm × 400 mm
工件最大切割厚度	500 mm(可调)
工件最大质量	400 kg
电极丝直径	0.015 ~ 0.20 mm
工作液	线切割乳化液
插补功能	直线、圆弧
脉冲当量	1 μm/ 脉冲

最大间隙补偿量	1 ~ 100 mm
最大切割锥度	$\pm 30^\circ/100 \text{ mm}$
最大控制圆弧半径	99 m
电极丝损耗	$2 \sim 3 \mu\text{m}/10\,000 \text{ mm}^2$
加工精度	$\leq 0.015 \text{ mm}$
表面粗糙度	$Ra \leq 2.5 \mu\text{m}$
最大切割速度	$120 \text{ mm}^2/\text{min}$

三、电火花线切割机床的结构及一般传动关系

电火花线切割机床的结构因规格及性能的不同有较大差别,通常,线切割机床由机械本体、脉冲电源和控制装置三大部分组成。机械本体包括:床身、坐标工作台、储丝机构、线架、工作液箱、附件和夹具等,参看图 1.1。

床身一般为铸件,是坐标工作台、储丝机构及线架的固定基础。床身内部安置脉冲电源和工作液箱。考虑电源会发热和工作液泵有振动,有些机床将脉冲电源和工作液箱移出床身另行安放。

坐标工作台安置在床面上,包括上层工作台面、中层中拖板、下层底座,还有减速齿轮和丝杠螺母等构件。两个步进电动机经过齿轮减速,带动丝杠螺母,从而驱动工作台在 XY 平面上移动。控制器每发出一个进给脉冲信号,工作台就移动 $1 \mu\text{m}$,则称该机床的脉冲当量为 $1 \mu\text{m}/\text{脉冲}$ 。

储丝机构的作用是保证电极丝能进行往复循环的高速运行,由电动机传动储丝筒作高速正反向转动。通过齿轮副传动储丝机构拖板的丝杠螺母,使电极丝均匀地卷绕在储丝筒上。线切割机床的传动关系主要指工作台和储丝筒的驱动,如图 1.2 和图 1.3 所示。

脉冲电源能产生 $5 \sim 100 \text{ kHz}$ 的电脉冲,输给工件和电极丝,当工件与电极丝间距离很小时,即可以击穿工作液介质产生火花放电,使工件受到电腐蚀。若保持连续放电,不断进行电腐蚀,工作台又按一定的轨迹移动,就可实现电火花线切割加工。

控制装置将穿孔纸带或软盘输入(微机编程控制的机床)的程序信息转变成相应的控制信号,输给工作台下部的步进电动机,由于纸带或软盘上的信息是按给定的工件图样预先编制成的,因此工作台就作相应的轨迹移动。根据加工的需要,控制装置还可以对该图形按比例进行缩小、放大或旋转,以及进行间隙补偿和其他工作。

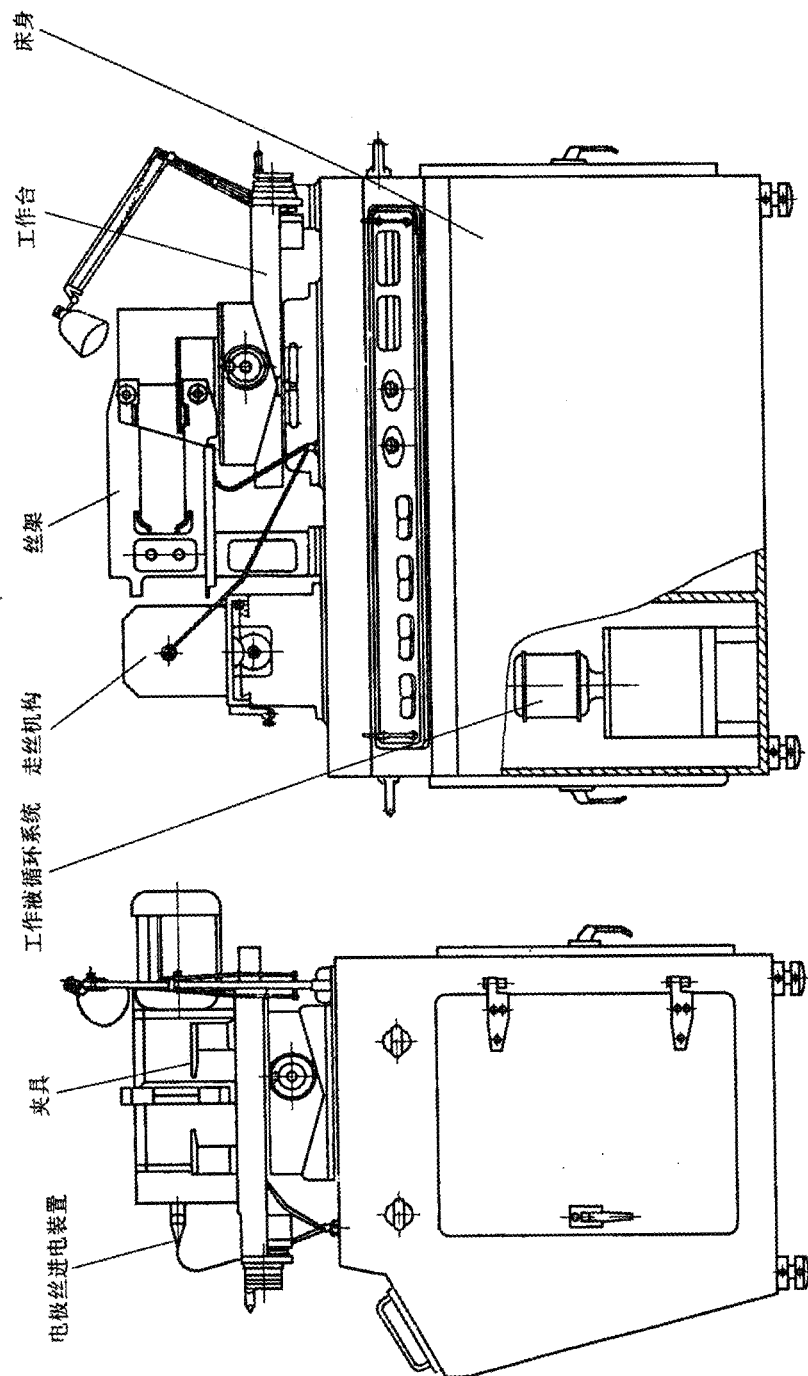


图1.1 线切割机机械结构图

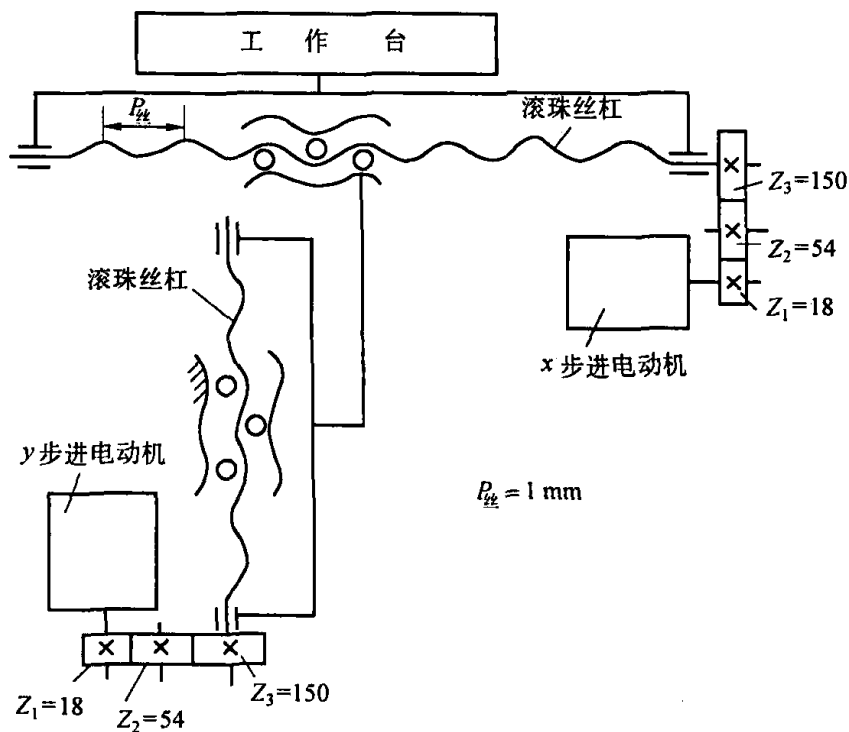


图 1.2 工作台传动原理图

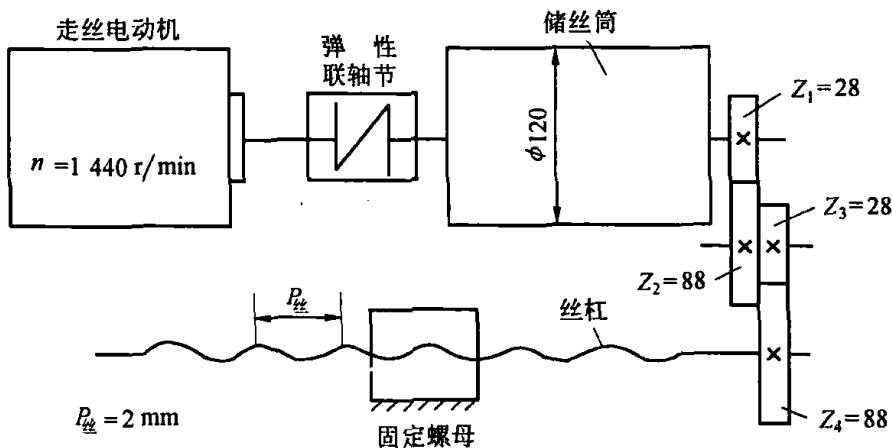


图 1.3 走丝机构传动原理图

1.2 电火花线切割机床的工作液和润滑系统

一、电火花线切割机床的工作液系统

在电火花线切割加工过程中,需要稳定地供给有一定绝缘性能的工作介质——工作液,以冷却电极丝和工件,排除电蚀产物等,这样才能保证火花放电持续地进行。一般线切割机床的工作液系统包括工作液箱、小型离心泵、调节旋阀、供水管、喷嘴、回液管和过滤器等,如图 1.4 所示。

目前高速走丝线切割机床通常采用特制的线切割工作液作工作介质。由于在放电过程中工作液与蚀除产物凝聚成胶状物质,要过滤干净难度较大,而现有的线切割机床一般只用简单的泡沫塑料及铜网等进行粗过滤,所以使用一段时间(约1~2个星期)就要更换工作液。但因皂化液价格便宜,又不太锈蚀机床,所以被广为采用。至于低速走丝线切割机床,则采用去离子水做工作液,此工作液系统较复杂,有特殊的要求(参看本书第七章图7.5)。

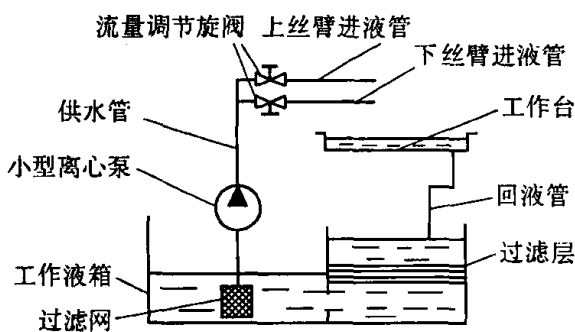


图 1.4 线切割机床工作液系统

二、电火花线切割机床的润滑系统

为了保证各个部件运动灵活轻便,减少零件磨损,机床上凡有相对运动的表面之间都必须用润滑剂进行润滑。润滑剂分润滑油和润滑脂两类:对于运动速度较高、配合间隙较小的部位用润滑油润滑;反之,运动速度较低、配合间隙较大的部位用润滑脂润滑。但线切割机床的导轮轴承转速极高,为了维持足够的润滑和防止异物进入,要采用高速润滑脂润滑。

机床润滑有自动润滑和人工润滑两种。线切割机床结构简单,运动速度较低(导轮例外),一般不专门设置自动润滑系统,只标志出需润滑的部位,定期进行人工润滑。线切割机床需要润滑的部位有:储丝机构的轴承、导轨、丝杠、螺母及齿轮箱;坐标工作台的导轨、丝杠螺母、齿轮、轴承及线架上的导轮轴承等。

1.3 电火花线切割机床的使用规则和维护保养方法

一、电火花线切割机床的使用规则

线切割机床是技术密集型产品,属于精密加工设备,操作人员在使用机床前必须经过严格的培训、取得合格的操作证明后才能上机工作。

为了安全、合理和有效地使用机床,要求操作人员必须遵守以下几项规则:

- ① 应对自用机床的性能、结构有较充分的了解,能掌握操作规程和遵守安全生产制度;
- ② 应在机床的允许规格范围内进行加工,不要超重或超行程工作;
- ③ 应经常检查机床的电源线、超程开关和换向开关是否安全可靠,不允许带故障工作;
- ④ 应按机床操作说明书所规定的润滑部位,定时地注入规定的润滑油或润滑脂,以保证机构运转灵活,特别是导轮和轴承,要定期检查和更换;
- ⑤ 加工前应检查工作液箱中的工作液是否足够,水管和喷嘴是否通畅;
- ⑥ 下班后需将工作区域清理干净,夹具和附件等应擦拭干净,并保持其完整无损;
- ⑦ 应定期检查机床电气设备是否受潮和可靠,并清理尘埃,防止金属物落入;
- ⑧ 遵守定人定机制度,定期维护保养。

二、电火花线切割机床的维护保养方法

线切割机床维护保养的目的是为了保持机床能正常可靠地工作,延长其使用寿命。维