

数控电加工 编程与操作

周燕清 丁金晔 主编

第二版

SHUKONG DIANJIAGONG BIANCHENG YU CAOZUO

- 课题一 数控编程及电加工工艺基础
- 课题二 YH软件绘图及编程
- 课题三 DK7725线切割机床编程与操作
- 课题四 TCAD软件绘图及编程
- 课题五 FW高速线切割机床编程与操作
- 课题六 SE电火花成型机床编程与操作
- 课题七 小孔机编程及操作
- 课题八 电切削工职业资格鉴定



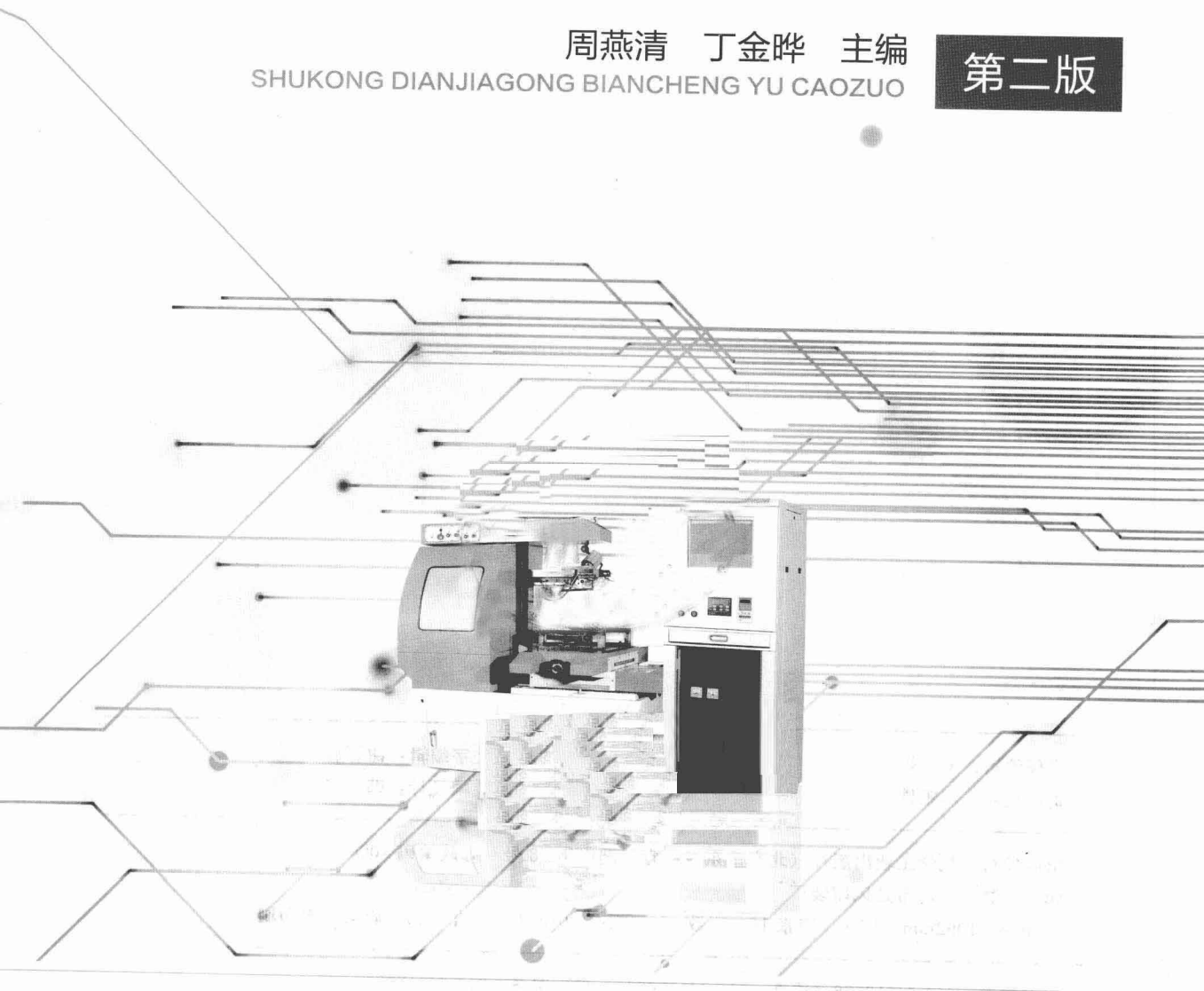
化学工业出版社

数控电加工 编程与操作

周燕清 丁金晔 主编

SHUKONG DIANJIAGONG BIANCHENG YU CAOZUO

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控电加工编程与操作/周燕清, 丁金晔主编. —2版.

北京: 化学工业出版社, 2012.3

ISBN 978-7-122-13370-0

I. 数… II. ①周…②丁… III. 数控机床-电火花加工

IV. TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 017219 号

责任编辑: 王 烨

文字编辑: 谢蓉蓉

责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 456 千字 2012 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

社会的发展和科学技术的进步,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性变化。数控加工技术使机械制造过程发生了显著的变化,特别是数控电加工技术目前在模具、汽配等高精尖制造行业已广泛应用。虽然近年来国内机械制造行业对数控加工的需求高速增长,但数控技术人才包括数控电加技术人才严重短缺,因此该方向已逐渐成为就业市场的热点。随着技师学院、职业技术学校近年来数控专业逐渐扩大招生规模,从事数控学习的学生人数在显著增长,对此项技术培训的需求正在不断增长。

本书根据职业培训的方向和培养目标,严格按照新的国家职业标准对中、高级电切削工的要求编排内容。在编写过程中,正确处理理论知识和技能训练的关系、所学知识与职业技能鉴定考核的关系,贯彻以技能训练为主、着重提高操作技能的原则。本书力求以最小的篇幅、精炼的语言,由浅入深地讲述中、高级电切削工应掌握的应知和应会知识,以满足职业技能鉴定考核的需要。

本书以电加工机床中使用较普遍的 DK7725 线切割操作机床、北京阿奇 FW 线切割机床、北京阿奇 SE 电火花成型机床为主要介绍对象,由易到难,全面介绍了电加工的基础知识、操作方法、模具零件的加工。通过学习,可使读者对电加工有一个全面而深刻的了解,对电切削工职业鉴定有一个全面的了解。第二版课题一至六较第一版内容都更加充实,而且在几个课题中还增加了电火花和线切割应会(三级、四级)模拟试题。第二版中还增加了课题七小孔机编程及操作和课题八电切削工职业资格鉴定。所以第二版更能满足电加工从内人员岗位培训和职业技能鉴定的需要。

本书由周燕清、丁金晔主编,相良飞、奚伟、恽孝震参与编写并负责统稿及校对工作。在教材的编写过程中参考了许多专家、学者的著作和教材,借鉴了国内外同行的最新资料与文献,并得到广东省轻工业技师学院辛少宇高级技师、苏州长风有限责任公司李海根工程师、北京阿奇苏州商办马骥工程师、常州东风农户机集团龚建伟工程师、常州市恒旭汽车零部件制造有限公司周燕娟等相关工程技术人员参与相关课题的研讨及技术支持,在此,一并表示衷心感谢!

由于我们水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者给予指正。

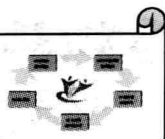
编 者

目 录

课题一 数控编程及电加工工艺基础	1
1.1 数控机床基础	1
1.2 电加工基础	7
1.3 数控编程基础	12
1.4 数控编程实例	24
1.5 3B 加工指令代码及编程	35
课题二 YH软件绘图及编程	41
2.1 YH 软件启动及主菜单功能介绍	41
2.2 YH 软件图表命令及其使用	55
课题三 DK7725线切割机床编程与操作	74
3.1 DK7725 线切割机床功能操作	74
3.2 线切割快走丝切割工艺基础	83
3.3 加工实例 1——与工件外轮廓无位置要求的零件加工	95
3.4 加工实例 2——工件外轮廓有位置要求的零件加工	99
3.5 电切削工应会操作（四级）模拟试卷（线切割方向）	104
课题四 TCAD软件绘图及编程	108
4.1 TCAD 界面及绘图命令	108
4.2 显示及编辑命令	114
4.3 辅助绘图及线切割命令	122
课题五 FW高速线切割机床编程与操作	129
5.1 FW 线切割机床的基本操作	129
5.2 FW 高速走丝线切割机编程基础	141
5.3 FW 线切割机床加工实例	148
5.4 电切削工应会操作（三级）模拟试卷（线切割方向）	155
课题六 SE电火花成型机床编程与操作	159
6.1 SE 电火花成型机床的基本操作	160
6.2 SE 电火花加工工艺及电加工工艺留量计算	167
6.3 SE 电火花成型机编程基础	175
6.4 电切削工应会操作（四级）模拟试卷（电火花方向）	186

课题七	小孔机编程及操作	190
7.1	小孔机基础	190
7.2	小孔机的编程与操作	193
课题八	电切削工职业资格鉴定	207
8.1	职业标准	207
8.2	鉴定方案	211
8.3	电切削工四级模拟试卷	228
8.4	电切削工三级模拟试卷	244
附 录		262
附录 1	FW 快走丝切割机床提示信息、原因及采取的措施	262
附录 2	SE 电火花成型机床提示信息、原因及采取的措施	264
附录 3	FW 线切割机床加工参数表	267
附录 4	SE 电火花成型机加工参数	270
参考文献		278

课题一 数控编程及电加工工艺基础



学习目的

1. 学习数控机床结构分析、数控加工工艺讲解、数控编程基础知识等，了解数控电加工和数控机加工不同的加工原理、不同的加工方法和工艺，尤其是对一些难加工材料（加工淬火钢、不锈钢、模具钢、硬质合金）的加工优势，特别是随着模具产量的增加而电加工被广泛应用。目前数控电加工已成切削加工的重要补充。
2. 理解 ISO 代码及 3B 指令，并能结合相关的“数控机床的安全文明操作规程”知识、数控加工工艺及电加工参数，进行编程和程序的修改。
3. 能对电加工机床进行日常的保养及维护，对电加工机床进行简单的操作。



安全规范

1. 电火花加工机床必须接地，防止电器设备绝缘损坏而发生触电。
2. 训练场地严禁烟火，必须配置灭火器材；防止工作液等导电物进入机床的电器部分，一旦发生因电器短路造成火灾时，应首先切断电源，立即用四氯化碳等合适的灭火器灭火，不准用水灭火。
3. 进入操作场地，必须穿好工作服，不得穿凉鞋、高跟鞋、短裤、裙子进入操作场地。
4. 严禁戴手套、围巾进行机床操作。女同志（及留长发的男同志）必须戴好工作帽，并将头发塞入帽内。
5. 进行操作时，严禁触摸电极、工件，不可将身体的任何部位伸入加工区域，防止触电。
6. 加工完毕后，必须关闭机床电源，收拾好工具，并将机床、场地清理干净。



技能要求

1. 能区别数控电加工机床和数控机加工机床。
2. 能按工艺要求选择合适的电加工工艺。
3. 能对电加工机床进行常规保养。
4. 能理解 ISO 代码及 3B 指令。
5. 能根据图纸加工工艺要求编写程序。

1.1 数控机床基础



任务描述

本课题主要描述数控电加工机床的加工特点及加工范畴。



相关知识

数字控制机床 (numerically controlled machine tool) 简称数控机床, 随着电子技术的发展, 数控机床采用了计算机控制 (computerized numerically controlled) 系统, 因此也称为计算机数控机床或 CNC 机床。通常数控机加工机床称之为数控机床, 如图 1-1 所示; 数控电加工机床称之为电加工机床, 如图 1-2 所示。

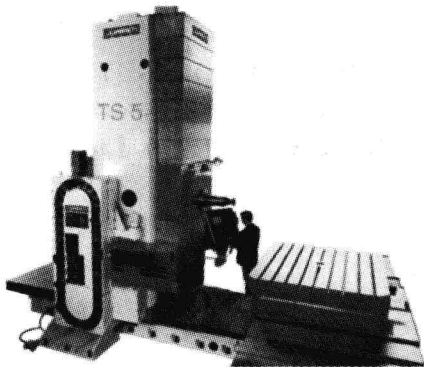


图 1-1 数控机加工机床



图 1-2 数控电加工机床

(1) 数控加工过程、内容及步骤

数控加工的主要内容有: 分析零件图样, 确定加工工艺过程, 数值计算, 编写零件加工程序, 程序的输入或传输, 程序校验, 完成工件的加工。

数控加工的步骤一般如图 1-3 所示。



图 1-3 数控加工步骤

① 分析零件图样、确定加工工艺过程 在确定加工工艺过程时, 编写人员要根据图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析, 然后选择加工方案, 确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数。同时还要考虑所用数控机床的指令功能, 充分发挥机床的效能, 加工路线要短, 要正确选择对刀点、换刀点、穿丝点, 减少刀具更换次数。

② 数值计算 根据零件图的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系, 计算零件加工的运动轨迹, 得到刀位数据; 在加工路线、工艺参数及刀位数据确定后, 依据数控系统分别控制其参数。对于形状比较简单的零件 (如直线和圆弧组成的零件) 的轮廓加工, 需要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值, 有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件 (如非圆曲线、曲面组成的零件), 需要用直线段或圆弧段逼近, 根据要求的精度计算出其节点坐标值, 这种情况一般可用计算机来辅助完成数值计算的工作。

③ 编写零件加工程序 加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后, 编程人员可以根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式, 逐段编写加工程序段。

④ 程序的输入或传输 由手工编制的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入程序;



由编程软件生成的程序,通过操作系统传输软件,使用计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元。

⑤ 程序校验、完成工件的加工 在正式加工前,一般要对程序进行检验。对于平面零件可用笔代替刀具,以坐标纸代替工件进行空运转画图,通过检查机床动作和运动轨迹的正确性来检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上,可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程,对程序进行检查。当发现工件不符合加工技术要求时,可修改程序或采取尺寸补偿等措施。修改后程序合格,才能对工件进行加工。

(2) 数控编程的种类

数控编程一般分为手工编程、自动编程两种编程方式。

① 手工编程 分析零件图样、确定加工工艺过程,数值计算、编写零件加工程序,程序的输入或传输,程序校验都是由人工完成的,这种编程方法称为手工编程,如图 1-4 所示。

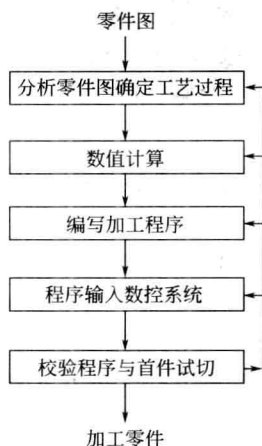


图 1-4 手工编程

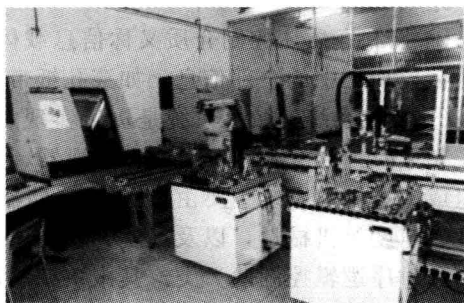


图 1-5 科研型柔性制造系统

对于加工形状简单的零件,计算比较简单,程序不多,采用手工编程较容易完成,而且经济、及时。因此在点定位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程仍广泛应用。但对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面的零件,用手工编程就有一定的困难,出错的概率增大,有的甚至无法编出程序,因此必须用自动编程的方法编制程序。

② 自动编程 自动编程即用计算机编制数控加工程序的过程。编程人员只需根据图样的要求,选择相应的加工参数,使用数控语言编写出零件加工源程序,制备控制介质或将加工程序通过直接通信的方式送入数控机床,指挥机床工作。自动编程的出现使得一些计算繁琐、手工编程困难或无法编出的程序能够实现。因此,自动编程的使用已经相当广泛。

实现自动编程的方法主要有语言式自动编程和图形交互式自动编程两种。前者是采用高级语言的形式,表示出全部加工内容,计算机采用批处理方式,一次性处理、输出加工程序。这种形式大多使用 CAD 软件二次开发而成。后者是采用人机对话的处理方式,利用 CAD/CAM 系统生成加工程序。目前利用 CAD/CAM 系统进行编程已成自动编程的主流,常用的有 CAXA、UG、Pro/E、Cimatron 等。

利用 CAD/CAM 系统进行零件设计、分析及加工编程适用于制造业中的 CAD/CAM 集



成系统，目前已被广泛应用。该方式适应面广、效率高、程序质量好，适用于各类柔性制造系统（FMS）和集成制造系统（CIMS），但投资大，掌握起来需要一定时间。图 1-5 为科研型柔性制造系统。

（3）数控机床的组成及其各部分的功能

数控机床一般由数控系统，包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服控制系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成。数控机床的组成如图 1-6 所示。

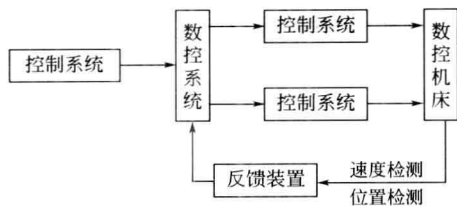


图 1-6 数控机床的组成

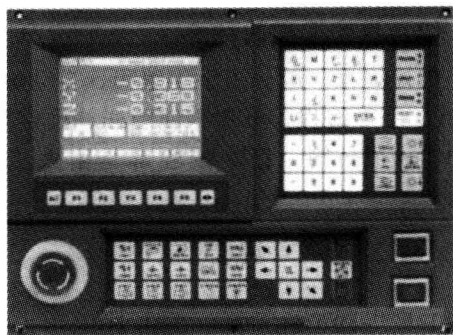


图 1-7 数控系统

① 控制介质 控制介质又称信息载体，是人与数控机床之间联系的中间媒介物质，反映了数控加工中的全部信息，如穿孔纸带、磁盘、U 盘等。

② 数控系统 数控系统是机床实现自动加工的核心，是整个数控机床的灵魂所在，如图 1-7 所示。主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量，以及温度、压力、流量等物理量，其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中主控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等处理后，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较，从而控制机床和坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由可编程控制器（PLC）来完成，它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

③ 伺服控制系统 伺服控制系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节，主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成如图 1-8 所示。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动电动机运转，通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

④ 强电控制柜 强电控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，如图 1-9 所示。它除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起桥梁连接作用，控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外，它也连接机床操作台有关手动按钮。强电控制柜由各种中间继电器、连接器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般普通机床的电气类似，但为了提高对弱电控制系统的抗扰性，要求各类频繁启动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器，对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

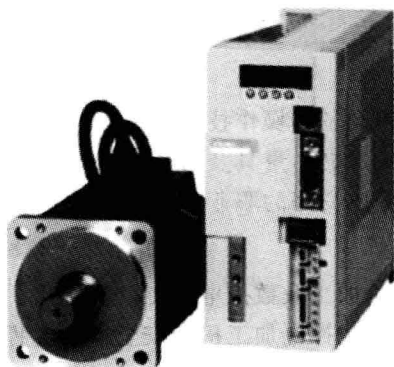


图 1-8 伺服控制系统



图 1-9 强电控制柜

⑤ 辅助装置 辅助装置主要包括自动换刀装置 (automatic tool changer, ATC)、自动交换工作台 (automatic pallet changer, APC)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削装置、排屑装置、过载和保护装置等。

⑥ 机床本体 数控机床的本体指机械结构实体,如图 1-10 和图 1-11 所示。它与普通机床相比较,同样由主传动系统、进给传动系统、工作台、床身以及立柱等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点,归纳起来包括以下几个方面的变化。

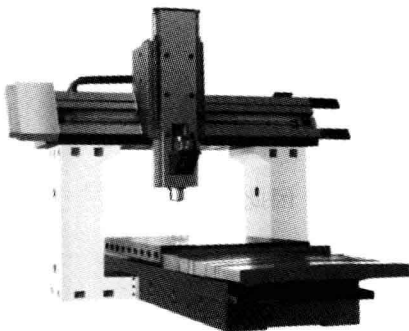


图 1-10 机床本体

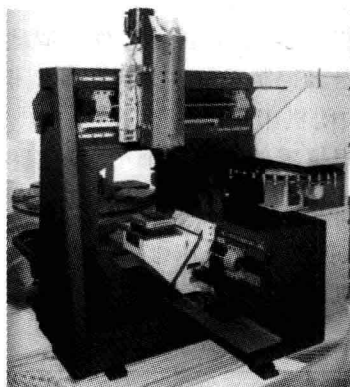


图 1-11 带工件换台及换刀装置的机床本体

- 采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- 进给传动采用高效传动件,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚动导轨副等。
- 具有完善的刀具自动交换和管理系统。
- 在制造中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。
- 机床本身具有很高的动、静刚度。
- 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭。



任务实施

(1) 电加工实习的任务

电加工实习的任务是全面牢固地掌握本电加工机床的基本操作技能；能熟练地使用、调整本技能训练的设备；独立进行设备保养；正确使用工、夹、量具及刀具；能独立完成零件的编程及加工具有安全生产知识及文明生产的习惯；养成良好的职业道德。

(2) 现场参观、加工演示

- ① 参观数控机加工及数控电加工车间，分析数控机加工及数控电加工的异同点。
- ② 对数控电加工机床的结构及分布进行讲解，强调数控电加工机床安全操作规程。
- ③ 演示电加工机床操作步骤：
 - a. 检查并解除机床主机上的急停按钮；
 - b. 合上机床主电源开关；
 - c. 合上机床控制柜上电源开关，启动计算机，进入线切割控制系统；
 - d. 按机床润滑要求加注润滑油；
 - e. 开启机床空载运行 2min，检查其工作状态是否正常；
 - f. 按所加工零件的尺寸、精度、工艺等要求，在电加工机床上编制加工程序，并送入控制系统；
 - g. 在控制台上对程序进行模拟加工，以确认程序准确无误；
 - h. 工件装夹；
 - i. 选择合理的电加工参数按要求加工零件；
 - j. 加工完毕后，拆下工件，清理机床；
 - k. 退出控制系统，并关闭控制柜电源；
 - l. 关闭机床主电源。
- ④ 根据零件图，教师用自动编程和手工编程两种形式分别加工零件。

(3) 设备维护及保养

对数控电加工机床维护保养的质量将直接影响加工指标，因此尤为重要。

- ① 机床润滑 如表 1-1 所示。

表 1-1 机床润滑

序号	润滑部位	油品牌号	润滑方式	润滑周期
1	X、Y 向导轨	根据参考书选择润滑脂	油枪注射	半年
2	X、Y 向丝杠	根据参考书选择润滑脂	油枪注射	半年
3	滑枕上下移动导轨	根据参考书选择机油	油枪注入	每月
4	贮丝筒导轨	根据参考书选择机油	油枪注入	每日
5	贮丝筒丝杠	根据参考书选择润滑脂	油枪注入	每日
6	贮丝筒齿轮	根据参考书选择机油	油枪注入	每日
7	U、V 轴导轨丝杠	根据参考书选择润滑脂	装配时填入	大修
8	机床特别要求	参考机床说明书	厂家要求	要求

- ② 使用保养 加工液的好坏，直接影响到加工速度和粗糙度，应每周更换一次，同时



将工作台、液箱等部位的蚀除物清洗干净。如机床连班工作，更要勤换加工液，以保持加工液的低导电率和清洁度。

线切割机床导轮，尤其是两个主导轮，要保持清洁，转动灵活。

③ 线切割机床导电块上不应有蚀除物堆积，否则会造成接触不良，在丝与导电块间产生放电，特别在加工铝及铜等金属时要格外小心，既影响加工效果，又减低丝和导电块的使用寿命。



实训评估 (表 1-2)

表 1-2 安全规范及操作实训评分表

姓 名			总 得 分			
项目	序号	技术要求	配分	评分要求及标准	检测记录	得分
安规掌握 (30%)	1	服装及防护物品	10	不规范扣 2 分/处		
	2	安全条例	10	不正确扣 2 分/处		
	3	工、量准备	10	不规范扣 2 分/处		
机床操作 (40%)	4	机床组成部分认识	20	不规范扣 2 分/处		
	5	机床正确操作	20	不正确扣 2 分/处		
机床维护保养 (30%)	6	机床润滑	10	不合格扣 2 分/次		
	7	机床保养	10	出错扣 2 分/次		
	8	工作场所整理	10	不规范全扣		



拓展探究

1. 通过实习车间的现场参观及讲解，区分数控机加工和数控电加工机床的异同点。指导学生对不同的材料零件采用不同的加工方法。
2. 明确遵守实习车间规章制度的重要意义。
3. 能对电加工机床进行设备日常维护及保养。
4. 查找资料，对不同的电加工机床（穿孔机、电火花成型机、线切割快走丝机床、线切割慢走丝机床）如何进行保养。



巩固练习

1. 数控加工的内容及步骤包括哪几部分？
2. 数控编程分哪几类？各自特点是什么？
3. 数控机床由哪几部分构成，各部分的作用是什么？
4. 操作数控电加工机床应注意什么？

1.2 电加工基础



任务描述

分析电加工机床加工的原理，了解在电加工过程中常用的术语和常见的故障，以便在以后的操作过程中能较快地解除简易故障。



相关知识

(1) 电加工的特点

① 脉冲放电的能量密度高, 便于加工用普通的机械加工难于加工或无法加工的特殊材料和复杂形状的工件, 不受材料硬度及热处理状况的影响。电加工技术属特种加工的范畴。

② 加工时, 工具电极与工件材料不直接接触, 两者之间宏观作用力极小, 工具电极不需要比加工材料硬, 即以柔克刚, 故电极制造容易。常用钼丝、石墨、紫铜等材料作加工电极。

③ 电加工是利用电能进行腐蚀加工, 所以要求工具电极、被加工材料必须是导电材料。

④ 加工时不受热影响, 加工时脉冲能量是间歇地以极短的时间作用在材料上, 工作液是流动的, 散热作用较明显, 这可保证加工不受热变形的影响。

(2) 电加工的物理本质

一个物体, 无论从宏观上看来是多么平整, 但在微观上, 其表面总是凹凸不平的, 即由无数个高峰与凹谷组成, 当处在工作介质中的两电极加上电压, 两极间立即建立起一个电场, 但其场强是很不均匀的。场强 F 不仅取决于极间电压 V , 而且也取决于极间距离 G , 即 $F=V/G$ 。当两极间距 G 在一定范围内时, 由于最高峰处的 G 最小、 F 最大, 故最先在该处击穿介质, 形成放电通道, 释放出大量能量, 工件表面被电蚀出一个坑来。工件表面的最高峰变成凹谷, 另一处场强又变成最大。在脉冲能量的作用下, 该处又被电蚀出坑来。这样以很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, 就可将工具的形状复制在工件上, 加工出需要的零件来。

(3) 材料电腐蚀过程

在液体介质中较小间隙状态下进行单个脉冲放电时, 材料电腐蚀过程大致可分成介质击穿和通道形成、能量转换和传递、电蚀产物抛出三个连续的过程, 其过程如图 1-12 所示。

① 处在绝缘的工作液介质中的两电极, 加上无负荷直流电压 V_0 , 伺服轴电极向下运动, 两极间距离逐渐缩小。

② 当两极间距离——放电间隙小到一定程度时 (粗加工为数十微米, 精加工为数微米), 阴极逸出的电子在电场作用下高速向阳极运动, 并在运动中撞击介质中的中性分子和原子, 产生碰撞电离, 形成带负电的粒子 (主要是电子) 和带正电的粒子 (主要是正离子)。当电子到达阳极时, 介质被击穿, 放电通道形成。

③ 两极间的介质一旦被击穿, 电源便通过放电通道释放能量。大部分能量转换成热能, 这时通道中的电流密度高达 $10^4 \sim 10^9 \text{ A/cm}^2$, 放电点附近的温度高达 3000°C 以上, 使两极间放电点局部熔化或气化。

④ 在热爆炸力、电力、流体动力等综合作用下, 被熔化或气化的材料被抛出, 产生一个小坑。

⑤ 脉冲放电结束, 介质恢复绝缘。

(4) 实现电火花加工的条件

① 工具电极和工件电极之间必须加以 $60 \sim 300 \text{ V}$ 的脉冲电压, 同时还需维持合理的距离-放电间隙。大于放电间隙, 介质不能被击穿, 无法形成火花放电; 小于放电间隙, 会导

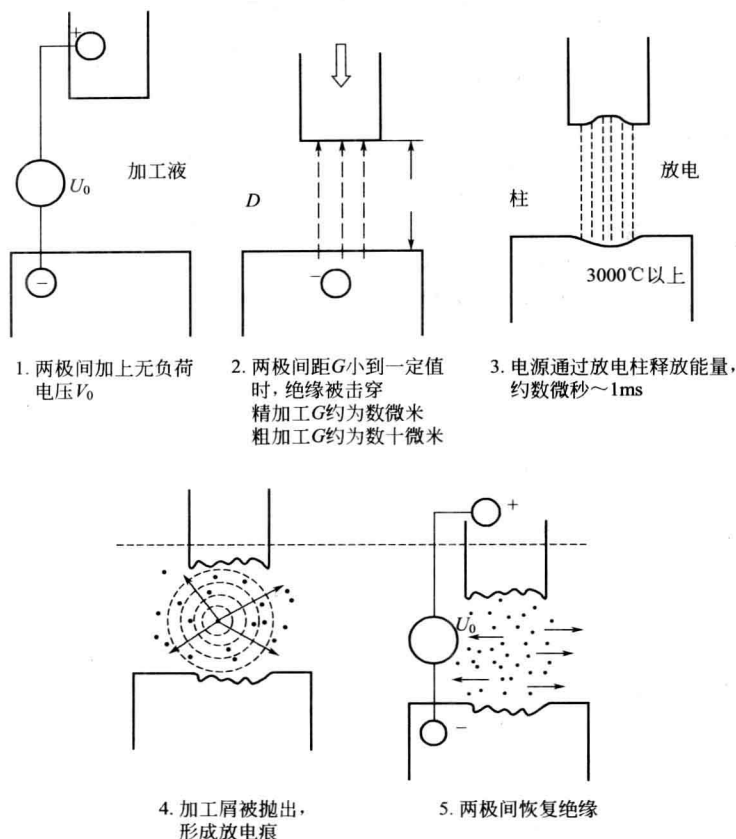


图 1-12 电腐蚀过程

致积炭, 甚至发生电弧放电, 无法继续加工。

② 两极间必须充满介质。电火花成型加工一般为火花液或煤油, 线切割一般为去离子水或线切割乳化液。

③ 输送到两极间的脉冲能量应足够大, 即放电通道要有很大的电流密度 (一般为 $10^4 \sim 10^9 \text{ A/cm}^2$)。

④ 放电必须是短时间的脉冲放电, 一般为 $1\mu\text{s} \sim 1\text{ms}$, 这样才能使放电产生的热量来不及扩散, 从而把能量作用局限在很小的范围内。

⑤ 脉冲放电需要多次进行, 并且多次脉冲放电在时间上和空间上是分散的, 避免发生局部烧伤。

⑥ 脉冲放电后的电蚀产物能及时排放至放电间隙之外, 使重复性放电顺利进行。

(5) 电火花加工的工艺类型及适用范围

电火花加工按工具电极和工件相对运动的方式和用途不同, 大致可分为电火花穿孔成型加工、电火花线切割加工、电火花磨削和镗磨、电火花同步共轭回转加工、电火花高速小孔加工、电火花表面强化和刻字 6 大类。前 5 类属电火花成型、尺寸加工, 是用于改变工件形状或尺寸的加工方法; 后者属工件表面加工方法, 用于改善或改变零件表面性质。应用最广泛是电火花成型加工和电火花线切割加工。

电火花加工工艺方法的分类和各类电火花加工方法的主要特点和适用范围。见表 1-3。



表 1-3 电火花加工特点及适用范围

类别	工艺类型	特点	适用范围	备注
1	电火花穿孔成型加工	1. 工具和工件间只有一个相对的伺服进给运动 2. 工具为成型电极,与被加工表面有相同的截面和相应的形状	1. 穿孔加工:加工各种冲模、挤压模、粉末冶金模、各种异形孔和微孔 2. 型腔加工:加工各种类型型腔模和各种复杂的型腔工件	典型机床有 D7125、D7140 等电火花穿孔成型机床
2	电火花线切割加工	1. 工具和工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动 2. 工具电极垂直移动的线状电极	1. 切割各种冲模和具有直纹面的零件 2. 下料、切割和窄缝加工	典型的机床有 DK4772、DK7725 等数控电火花线切割机床
3	电火花磨削和镗削	1. 工具和工件间有径向和轴向的进给运动 2. 工具和工件有相对的旋转运动	1. 加工高精度、表面粗糙度值小的小孔,如拉丝模、微型轴承内环、钻套等 2. 加工外圆、小模数滚刀等	典型的机床有 D6310、电火花小孔内圆磨削机床
4	电火花同步共轭回转加工	1. 工具相对工件可作纵、横向进给运动 2. 成型工具和工件均作旋转运动,但二者角速度相等或成倍整数,相对应接近的放电点可有切向相对运动速度	以同步回转、展成回转、倍角速度回转达等不同方式,加工各种复杂型面的零件,如高精度的异形齿轮、精密螺纹环规,高精度、高对称、表面粗糙度值小的内外回转体表面	典型的机床有 JN-2、JN-8 内外螺纹加工机床
5	电火花高速小孔加工	1. 采用细管电极(大于 $\phi 0.3\text{mm}$),管内冲入高压水工作液 2. 细管电极旋转 3. 穿孔速度很高($30\sim 60\text{mm/min}$)	1. 线切割预穿孔孔 2. 深径比很大的小孔,如喷嘴等	典型的机床有 D703A 电火花高速小孔加工机床
6	电火花表面强化和刻字	1. 工具相对工件移动 2. 工具在工件表面上振动,在空气中放火花	1. 模具刃口、刀具、量具刃口表面强化和镀覆 2. 电火花刻字、打印记	典型的机床有 D9105 电火花强化机床

(6) 常用名词、术语

① 极性效应 电火花加工中,相同材料的两电极被蚀除量是不同的,这和两电极与脉冲电源的极性连接有关。一般把工件接脉冲电源阳极、电极接脉冲电源负极的加工方法称为负极性加工,反之为正极性加工。放电加工中介质被击穿后对两极材料的蚀除与放电通道中的正、负离子对两极的轰击能量有关,负极性加工时带负电的电子向工件移动,而带正电的阳离子向电极移动,由于电子质量小易加速,在小脉宽加工时容易在较短的时间内获得较大的动能,而质量较大的阳离子还未充分加速介质已消电离,因此工件阳极获得的能量大于阴极电极,造成工件阳极的蚀除量大于阴极电极。快走丝一般采用中、小脉宽加工,因此一般采用负极性加工;电火花加工则相反。

② 覆盖效应 在材料放电腐蚀过程中,一个电极的电蚀产物转移到另一电极表面上,形成一定厚度的覆盖层,这种现象称为覆盖效应。在油类介质中加工时,覆盖层主要是石墨化的碳素层,其次是黏附在电极表面的金属微粒结晶层。



③ 伺服控制 电火花线切割加工过程当中,电极丝的进给速度是由材料的蚀除速度和极间放电状况的好坏决定的。伺服控制系统能自动调节电极丝的进给速度,使电极丝根据工件的蚀除速度和极间放电状态进给或后退,保证加工顺利进行。电极丝的进给速度与材料的蚀除速度一致,此时的加工状态最好,加工效率和表面粗糙度均较好。

④ 放电间隙 放电间隙是放电发生时电极丝与工件的距离。这个间隙存在于电极工具的周围,因此侧面的间隙会影响成形尺寸,确定加工尺寸时应予考虑。

⑤ 短路 电极工具的进给速度大于材料的蚀除速度,致使电极工具与工件接触,不能正常放电,称为短路。短路使放电加工不能连续进行,严重时还会在工件表面留下明显条纹。短路发生后,伺服控制系统会做出判断并让电极工具沿原路回退,以形成放电间隙,保证加工顺利进行。

⑥ 开路 电极工具的进给速度小于材料的蚀除速度,致使电极工具与工件距离大于放电间隙,不能正常放电,称为开路。开路不但影响加工速度,还会形成二次放电,影响已加工面精度,也会使加工状态变得不稳定。开路状态可从加工电流表上反映出,即加工电流间断性回落。

⑦ 偏移 线切割加工时电极丝中心的运动轨迹与零件的轮廓有一个平行位移量,也就是说电极丝中心相对于理论轨迹要偏在一边,这就是偏移。平行位移量称为偏移量,为了保证理论轨迹的正确,偏移量等于电极丝半径与放电间隙之和。放电间隙分布如图 1-13 所示。

线切割加工时可分为左偏和右偏,左偏还是右偏要根据成形尺寸的需要来确定。依电极丝的前进方向,电极丝位于理论轨迹的左边即为左偏,如图 1-14 所示。钼丝位于理论轨迹的右边即为右偏,如图 1-15 所示。

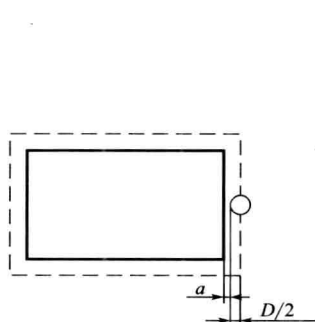


图 1-13 放电间隙分布

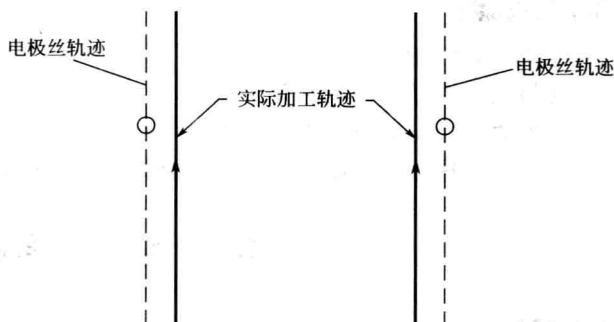


图 1-14 左补偿

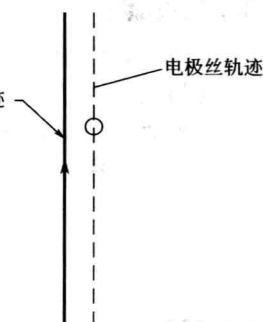


图 1-15 右补偿

⑧ 锥度 电极丝在进行二维切割的同时,还能按一定的规律进行偏摆,形成一定的倾斜角,加工出带锥度的工件或上、下形状不同的异形件。这就是所谓的四轴联动、锥度加工。

实际加工中,当加工方向确定时,电极丝的倾斜方向不同,加工出的工件锥度方向也就不同,反映在工件上就是上大还是下大。锥度也有左锥、右锥之分,依电极丝的前进方向,电极丝向左倾斜即为左锥,如图 1-16 所示;向右倾斜即为右锥,如图 1-17 所示。

⑨ 表面粗糙度 (Ra) Ra 是机械加工中衡量表面粗糙度的一个通用参数,其含义是工件表面微观不平度的算术平均值,单位为 μm 。 Ra 是衡量电加工表面质量的一个重要指标。