

## 内 容 简 介

本书主要以西门子 802C 系统和 FANUC 系统为主,详细讲解了数控车床、数控铣床、加工中心、特种加工的基本操作和编程指令。

本书简明扼要,浅显易懂,理论与实际相结合,是一本实用性较强的教材。书中的实例接近于实际加工,可作为高职高专数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造与自动化及相关专业的数控实训课程教材,也可供相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床实训教程/袁清萍,张晓春主编. —北京:  
北京邮电大学出版社,2012.5(2015.1重印)

ISBN 978-7-5635-3051-9

I. ①数… II. ①袁…②张… III. ①数控机床—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 096414 号

---

书 名: 数控机床实训教程  
主 编: 袁清萍 张晓春  
责任编辑: 李路艳  
出版发行: 北京邮电大学出版社  
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)  
E-mail: publish@bupt.edu.cn  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京振兴源印务有限公司  
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张: 12.75  
字 数: 316 千字  
版 次: 2015 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-3051-9

定 价: 27.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

# 模块一

## 认识数控机床

在机械制造业中,用普通机床加工某些零件效率低、劳动强度大,有时甚至不能加工。为了解决这些问题,一种具有高精度、高效率、灵活和通用性强等特点的自动化加工设备——数控机床应运而生。它为多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件提供了自动化加工手段。本模块主要介绍数控机床的基础知识和文明生产要求。

### 课题一 数控机床的组成和工作过程

数控机床是一种新型的加工设备,充分利用计算机和自动控制等多方面的技术,改变了传统的机床加工模式,有很高的生产效率,并且大大提高了产品的加工质量,符合现代机械加工的需要。



#### 实训目的

- 了解数控机床的发展历史;
- 掌握数控机床的组成和工作过程。



#### 实训任务

组织学生去实训场地,现场观看实际的数控机床。在观看过程中,需要学生讲述数控机床的组成和工作过程。



#### 知识准备

#### 一、数控机床的产生和发展

随着市场竞争的日益加剧,生产企业迫切需要进一步提高生产效率,提高产品质量及降



低生产成本。数控机床应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量以及新型机械结构等多方面的技术成果,形成了今后机械工业的基础,并指明了机械制造工业设备的发展方向。

### 1. 数控机床的产生

数控机床(numerical control machine tool)是采用数字控制(numerical control)技术的机械设备,是一种以数字量作为指令信息形式,通过专用的或通用的电子计算机控制的机床,如图 1-1 所示。



图 1-1 原中捷友谊厂生产的中国第一台数控机床

数控机床的研制最早从美国开始。

1948 年,美国帕森斯公司在完成研制加工直升机桨叶轮廓用检查样板的加工机床任务时,提出了研制数控机床的初步设想。

1949 年,在美国空军的支持下,帕森斯公司正式接受委托,与麻省理工学院伺服机构实验室合作,开始了数控机床的研制工作。经过三年的研究,世界上第一台数控机床试验样机于 1952 年试制成功。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床,其数控系统全部采用电子管元件,其数控装置体积比机床本体还要大。

1959 年,美国克耐-杜列克公司首次成功开发了加工中心(machining center),这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。

由于价格和其他因素的影响,数控机床仅限于航空、军事工业应用,品种也多为连续控制系统。20 世纪 60 年代,由于晶体管的应用,数控系统进一步提高了可靠性且价格下降,一些民用工业开始发展数控机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且推广到焊接机、火焰切割机等领域,使数控技术应用范围不断得到扩展。

### 2. 数控机床的发展概况

自 1952 年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子、计算机、自动控制和精密测量等技术的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代,先后经历了六个发展阶段。

(1)第一代数控机床。1952—1958 年采用电子管元件构成的专用数控装置(numerical control, NC)。

(2)第二代数控机床。1959—1964 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。

(3)第三代数控机床。1965—1969 年开始采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

(4)第四代数控机床。1970—1973 年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制系统(computer numerical control,CNC)。

(5)第五代数控机床。1974—1990 年开始采用微型计算机控制系统(microcomputer numerical control,MNC)。

(6)第六代数控机床。1990 年以后 PC 机已经发展到很高的阶段,可满足作为数控系统核心部件的要求,数控系统从此进入基于 PC 机(PC-BASED)的时代。

## 二、数控机床的组成

数控机床主要由以下几部分组成,如图 1-2 所示。

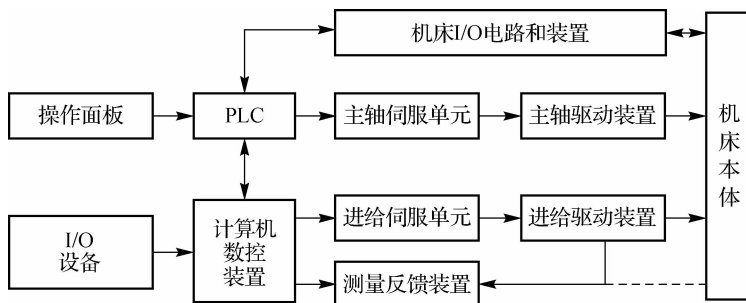


图 1-2 数控机床的组成

### 1. 计算机数控装置

计算机数控装置(CNC 装置)是数控机床的核心,它由信息的输入、处理和输出三部分组成。CNC 装置接受数字化信息,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、插补、逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,伺服系统驱动执行部件做进给运动。



#### 小提示

CNC 装置除了上述功能以外,还能实现故障自诊断、联网及通信功能。

### 2. 伺服单元、驱动装置和测量反馈装置

伺服单元由驱动器和驱动电机组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。伺服单元的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出图纸所要求的零件。测量反馈装置也称反馈元件,包括光栅、旋转编码器、激光测距仪、磁栅等,通常安装在机床的工作台或丝杠上,它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号,以控制机床向消除该误差的方向移动。

### 3. 操作面板

操作面板是操作人员与数控装置进行信息交流的工具,可以通过它对数控机床进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解数控机床的运行状态。



#### 4. 控制介质与 I/O 输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介。I/O 设备是 CNC 装置与外部设备进行交互的装置。交互的信息通常是零件加工程序,即将编制好的记录在控制介质上的加工程序输入 CNC 装置或将调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的控制介质上。

#### 5. PLC 与机床 I/O 电路和装置

PLC 用于完成与逻辑运算有关的顺序动作的 I/O 控制,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是实现 I/O 控制的执行部件,由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成。它们具有以下功能。

(1) 接受 CNC 装置的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作。

(2) 接受操作面板和机床测得的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

#### 6. 机床主体

机床主体即数控机床的机械部分,是实现制造加工的执行部件,它由主运动部件、进给运动部件(工作台、拖板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)、特殊装置(刀具自动交换系统、工件自动交换系统)和辅助装置(如排屑装置等)组成。机床主体具有以下特点。

(1) 机床主体采用了高性能的主轴与伺服传动系统、机械传动装置。

(2) 机床主体机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性。

(3) 机床主体更多地采用了高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨。



#### 小提示

数控机床的机械传动结构得到了简化,传动链较短,热变形较小。

### 三、数控机床的工作过程

使用数控机床时,首先要将被加工零件图纸的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序,然后将加工程序输入到数控装置,按照程序的要求,经过数控系统信息处理、分配,使各坐标移动若干个最小位移量,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工,如图 1-3 所示。具体工作过程如下。

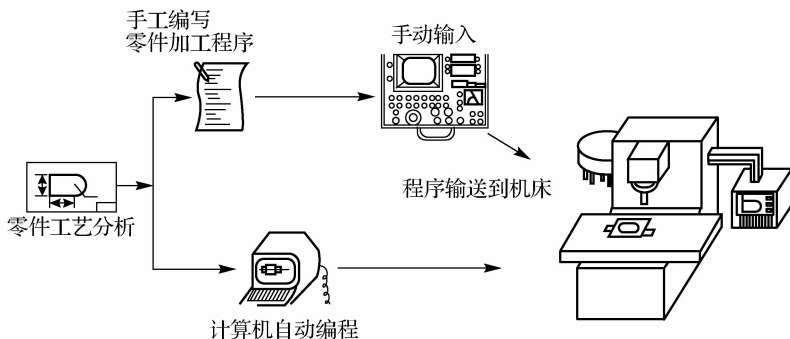


图 1-3 数控机床的工作过程示意图



### 1. 准备阶段

根据加工零件的图纸,确定有关的加工数据(刀具轨迹坐标点、加工的切削用量、刀具尺寸信息等)。根据工艺方案以及选用的夹具和刀具的类型等选择其他相关的辅助信息。

### 2. 编程阶段

根据加工工艺信息,用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序(对加工工艺过程的描述),并填写程序单。

### 3. 准备信息载体

根据已编好的程序单,将程序存放在信息载体(穿孔带、磁带、磁盘等)上,通过信息载体将全部加工信息传给数控系统。若数控加工机床与计算机联网,可直接将信息载入数控系统。

### 4. 加工阶段

执行程序时,CNC装置将加工程序语句译码、运算,转换成驱动各运动部件的动作指令,在系统的统一协调下驱动各运动部件适时运动,自动完成对工件的加工。



## 实训考核

组织学生进入实训场地,任选一种数控机床,按照具体的考核内容训练,并给出具体考核成绩。

单位名称	班级学号	姓名	成绩		
序号	项目	考核内容	配分标准/%	得分	项目成绩
1	数控机床的组成和工作过程认知	机床组成认知	35		
		机床工作过程认知	35		
2	安全文明生产	按要求着装	2		
		操作规范,无操作失误	8		
		认真维护机床	5		
3	团队协作	与小组成员和谐相处,互相学习,互相帮助,不一意孤行	15		

## 课题二 数控机床的类型和性能指标

数控机床的种类非常多,根据分类标准的不同,它的分类也不同。不同的数控机床都有相应的性能指标,能够体现出数控机床的基本要求和不同特点。



## 实训目的

- 了解数控机床的分类;
- 掌握数控机床的性能指标。



## 实训任务

组织学生去实训场地,现场观看实际的数控机床。在观看过程中,需要学生认知数控机床的不同类型,了解其性能指标。



## 知识准备

### 一、数控机床的类型

当前数控机床的种类很多,结构和功能各不相同,常见的分类方法有以下几种。

#### 1. 按机床控制运动方式分类

按机床控制运动方式的不同,数控机床可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

##### 1) 点位控制数控机床

点位控制又称为点到点控制。刀具从某一位置向另一位置移动时,不管中间的移动轨迹如何,只要刀具最后能正确到达目标位置,就称为点位控制。点位控制机床的特点是机床的运动部件只能实现从一个位置到另一个位置的精确运动,在运动和定位过程中不进行任何加工工序。为了尽可能地减少移动部件的运动时间和定位时间,先快速移动到接近新点位的位置,然后进行连续降速或分级降速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。点位控制加工示意图如图 1-4 所示。点位控制机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机和数控折弯机等,其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

##### 2) 直线控制数控机床

直线控制又称为平行切削控制。直线控制除了控制点到点的准确位置之外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也有控制,因为这一类机床在两点之间移动时要进行切削加工。直线控制数控机床的特点是机床的运动部件不仅能实现一个位置到另一个位置的精确移动和定位,而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线进给运动。它和点位控制数控机床的区别在于:当机床移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工,而且其辅助功能比点位控制数控机床的多。直线控制加工示意图如图 1-5 所示。直线控制数控机床主要有简易数控车床、数控镗床、数控铣床、数控加工中心,其相应的数控装置称为直线控制数控装置。

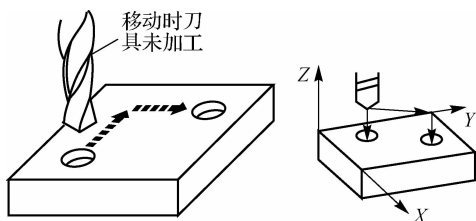


图 1-4 点位控制加工示意图

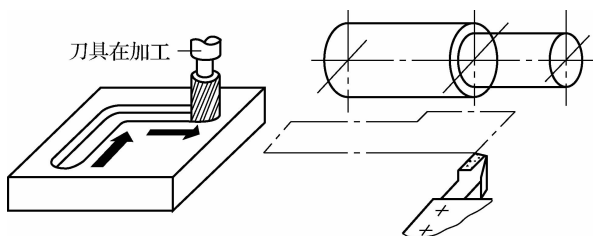


图 1-5 直线控制加工示意图

### 3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称为连续控制,大多数数控机床都具有轮廓控制功能。轮廓控制数控机床的特点是机床的运动部件能够实现两个坐标轴同时进行联动控制。它不仅要求控制机床运动部件的起点与终点坐标位置,而且要求控制整个加工过程中每一点的速度和位移量,即要求控制运动轨迹,将零件加工成在平面内的直线、曲线或在空间内的曲面。轮廓控制加工示意图如图 1-6 所示。轮廓控制数控机床主要有数控坐标车床、数控铣床、数控加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置结构复杂、功能齐全,能够加工形状复杂的零件。

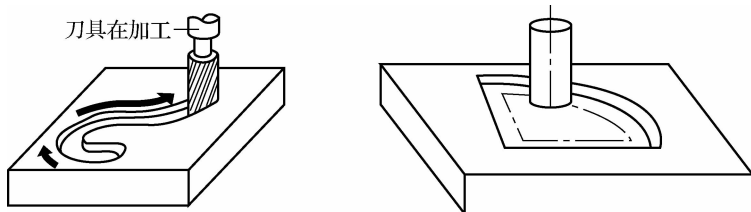


图 1-6 轮廓控制加工示意图

## 2. 按进给伺服系统类型进行分类

按进给伺服系统有无位置测量反馈装置,数控机床可分为开环控制数控机床和闭环控制数控机床。在闭环数控系统中,根据位置测量反馈装置安装的位置不同又可分为全闭环和半闭环两种。

### 1) 开环控制数控机床

如图 1-7 所示,开环控制数控机床的控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转,通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。开环控制数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单,制造成本较低,但是,系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正。因此,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于对加工精度要求不高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床。

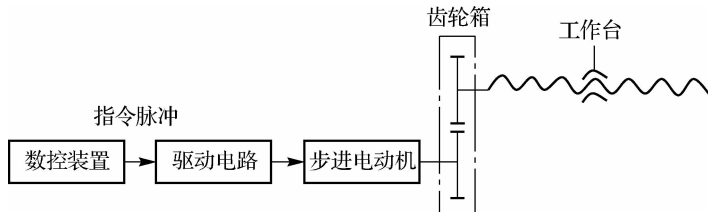


图 1-7 开环进给伺服系统简图

### 2) 全闭环控制数控机床

如图 1-8 所示,全闭环控制数控机床通常带有位置检测元件,其位置检测反馈装置采用



直线位移检测元件,直接安装在机床的移动部件上,将测量结果直接反馈到数控装置中,通过反馈可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,最终实现精确定位。全闭环控制数控机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。常用的位置检测元件有直线光栅、磁栅、同步感应器等。

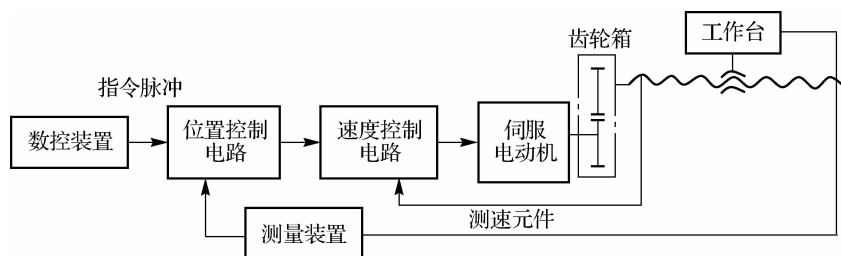


图 1-8 全闭环进给伺服系统简图

全闭环控制系统可以达到很高的加工精度,但是其设计和调整都有很大的难度,直线位移检测元件的价格比较昂贵,主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心。

### 3)半闭环控制数控机床

如图 1-9 所示,半闭环控制数控机床通常在电机的端头或丝杠的端头安装有检测元件(如感应同步器或光电编码器等),通过检测其转角来间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。

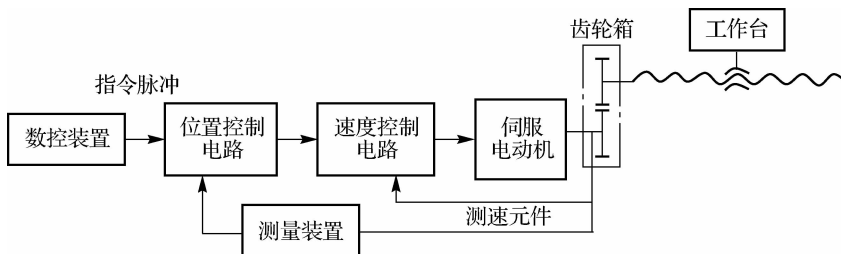


图 1-9 半闭环进给伺服系统简图

这种控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置,而是测量伺服电机的转角,经过推算得出工作台位移值,反馈至位置比较电路,与指令中的位移值相比较,用得出的误差值控制伺服电机工作。这种系统用推算方法间接测量工作台位移,不能补偿数控机床传动链零件的误差,因此被称为半闭环控制系统。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统,调试比全闭环控制系统容易,设备的成本介于开环与全闭环控制系统之间,因而被广泛采用。

### 3. 按工艺用途(机床类型)进行分类

按工艺用途不同,数控机床可分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、特种加工数控机床和其他类型的数控机床。



### 1) 金属切削类数控机床

最常用的金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床和数控加工中心等。图 1-10 所示为数控车床,在数控车床上除了能完成普通车床上的工艺内容外,还能完成各种复杂的内外回转表面的加工。图 1-11 所示为常见的数控铣床,主轴带动刀具旋转,升降台可以做纵向、横向和垂直方向三个坐标轴的移动,可以完成普通铣床所能完成的所有工艺内容。由于数控系统通过伺服进给机构可以同时控制两个或者三个坐标轴的运动,数控铣床还可以加工具有曲线轮廓的平面凸轮以及复杂的三维曲面。



图 1-10 数控车床

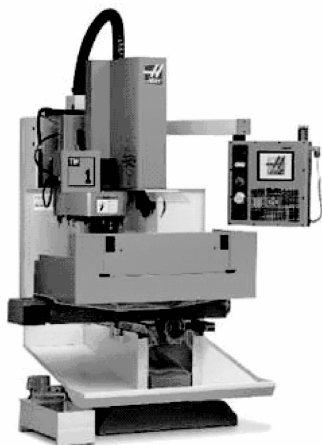


图 1-11 数控铣床

在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置,构成一种带自动换刀系统的数控机床,成为加工中心,图 1-12 所示为立式加工中心。这类机床都有一个刀库,可容纳 10~100 把刀具,能实现自动换刀,其特点是工件一次装夹可完成多道工序。为了进一步提高生产效率,有的加工中心使用双工作台,一面加工,一面装卸,工作台可以自动交换。



图 1-12 立式加工中心

### 2) 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床是采用挤、冲、压、拉等成型工艺方法加工零件的数控机床,包括数

控折弯机、数控弯管机、数控组合冲床等,如图 1-13 所示。这类机床起步晚,但目前发展很快。

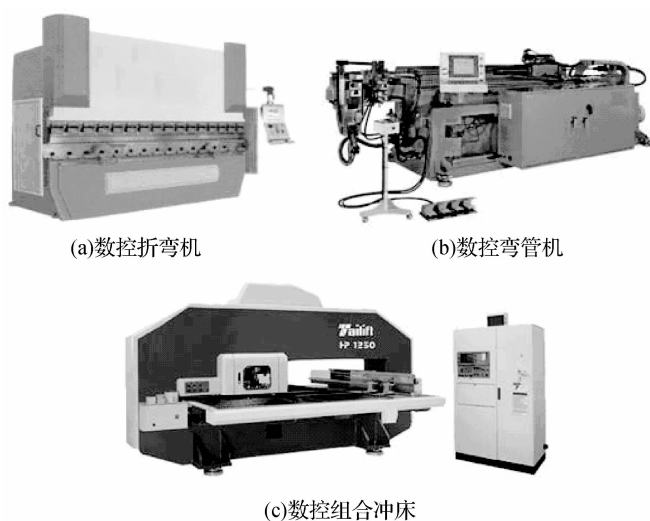


图 1-13 金属成型类数控机床

### 3) 特种加工数控机床

特种加工类数控机床是指采用电或者激光加工技术加工零件的数控机床,主要有数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控激光切割机床、数控激光热处理机床等,如图 1-14 所示。

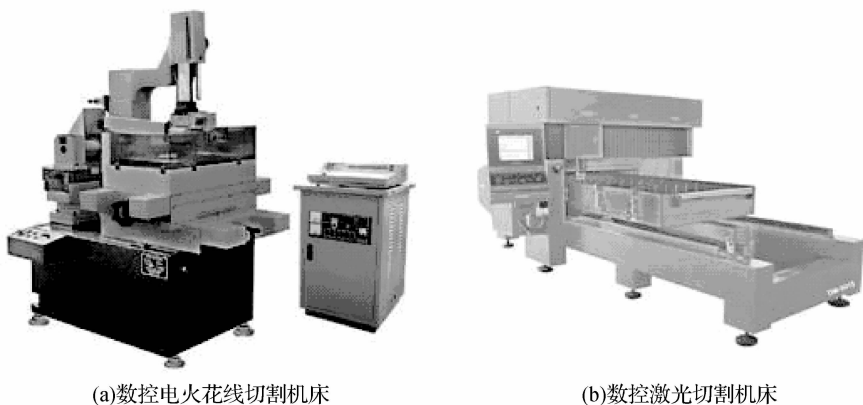


图 1-14 特种加工类数控机床

### 4) 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床是指一些广义上的数控设备,主要有数控三坐标测量仪、数控装配机、机器人等,如图 1-15 所示。

#### 4. 按数控系统功能水平分类

按数控系统的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平不同,数控机床可分为低、中、高三个档次。国内还分全功能数控机床、普及型数控机床和经济型数控机床。

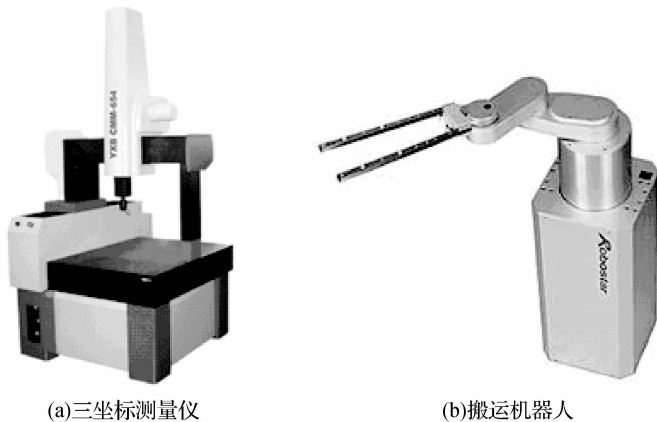


图 1-15 其他类型的数控机床

## 二、数控机床的性能指标与功能

### 1. 数控机床的主要性能指标

#### 1) 数控机床的主要技术规格

数控车床的主要技术规格有床身规格尺寸、刀架最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等;数控铣床的主要技术规格有工作台规格、工作台 T 形槽规格、工作台行程规格等。

#### 2) 数控机床的精度指标

数控机床的精度指标包括定位精度、重复定位精度、分辨率和脉冲当量。

(1) 定位精度。定位精度是指机床各轴在数控系统控制下的移动部件在确定的终点所达到的实际位置精度、移动部件实际位置与理想位置之间的误差等,它直接影响零件加工的位置精度。

(2) 重复定位精度。重复定位精度是指在同一数控机床上,应用相同程序代码到达某同一位置所得到连续结果的一致程度,是反映轴运动稳定性的基本指标。一般情况下,重复定位精度是呈正态分布的偶然误差,它主要受伺服系统特征、进给系统间隙与刚性及摩擦特征等因素的影响。

(3) 分辨率。分辨率是指位移和速度两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。

(4) 脉冲当量。脉冲当量是指数控系统发出的一个进给脉冲使机械运动机构产生的相应位移量,一个脉冲对应的位移即为脉冲当量,脉冲当量的大小决定机床的加工精度和表面质量。

#### 3) 数控机床的运动性能指标

数控机床的运动性能指标包括主轴系统、伺服驱动系统和坐标行程的技术指标等。

(1) 主轴系统的技术指标。主轴系统的技术指标主要有主轴转速、扭矩与功率。目前机械主轴的转速一般在 8 000 r/min 以下,扭矩较大;高速主轴转速在 10 000 r/min 以上,但其



扭矩要低于机械主轴的扭矩。

(2)伺服驱动系统的技术指标。伺服驱动系统直接控制着机床的进给速度。进给速度是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素,它受数控装置的运算速度、机床动态特性以及工艺系统刚性等因素的影响。

(3)坐标行程的技术指标。数控机床各坐标(直线轴、旋转轴)行程的大小构成机床的空间加工范围和曲面加工能达到的状态,是直接体现机床加工能力的指标参数。

进给运动的位移速度和定位精度两个技术指标是相互制约的,位移速度要求越高,定位精度就越难提高。

#### 4)数控机床的可靠性指标

数控机床的可靠性指标主要包括平均无故障工作时间(mean time between failures, 简称为 MTBF)、平均修复时间(mean time to repair, 简称为 MTTR)和平均有效度 A。

(1)MTBF。MTBF 是指一台数控机床在使用中平均两次故障间隔的时间,即数控机床在寿命范围内,总工作时间和总故障时间之比,其计算公式为

$$\text{MTBF} = \text{总工作时间} / \text{总故障次数}$$

(2)MTTR。MTTR 是指一台数控机床从开始出现故障直到能正常工作所用的时间,即数控机床在寿命范围内,总故障停机时间与总故障次数之比,其计算公式为

$$\text{MTTR} = \text{总故障停机时间} / \text{总故障次数}$$

由于实际系统出现故障总是难免的,故对于可维修的系统,总希望一旦出现故障,修复的时间越短越好,即平均修复时间越短越好。

(3)平均有效度 A。如果把 MTBF 看做设备正常工作的时间,把 MTTR 看做设备不能工作的时间,那么正常工作时间与总工作时间之比为设备的平均有效度 A,其表达式为

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

平均有效度是衡量设备可靠性的一个重要指标。

## 2. 数控机床的主要功能

### 1)可控轴数和联动轴数

可控轴数是指数控装置能够控制的坐标数。联动轴数是指数控装置控制的坐标轴同时到达空间某一点的坐标数,联动轴数越多,说明数控机床可以加工越复杂的空间线型或型面,编程难度也越大。

### 2)插补功能

数控机床的插补功能是数控机床实现各种运动轨迹的基础,一般是以一个脉冲当量为插补单位,根据给定的信息,在理想轮廓(或轨迹上)的已知两点之间确定一组中间点的过程,或者说是将已知数据密化的过程。插补方式主要有直线插补、圆弧插补、螺旋插补、样条插补、NURBS 插补等。大多数数控系统都具有直线和圆弧的插补功能,其他插补功能只有高档数控系统和具有特殊需要的数控系统才具备。

### 3)刀具补偿功能

数控机床的刀具参数补偿是指数控装置进行刀具偏置计算的能力。具有刀具补偿功能的数控机床,在数控编程时只要给出零件轮廓上的数据点(基点或节点)坐标、给出刀具补偿指令数据即可,不必关心刀具的具体尺寸。刀具补偿功能有刀具半径补偿和刀具长度补偿。有些五轴联动控制的机床具有空间刀具轴向长度补偿能力(RTCP 功能),使多坐标程序编



制更为便捷。

#### 4) 监测功能

数控机床的监测功能主要是指基于传感器对机床运行状态的信息采集和控制,如主轴温度、高速铣床的主轴不平衡、瞬时功率等,实现对运动部件的保护和参数调整等。

#### 5) 操作功能

数控机床通常有单程序段执行、跳段执行、试运行、图形模拟、机械锁住、暂停和急停等操作功能,有的还有软件操作功能。

#### 6) 程序管理功能

数控系统的程序管理功能是指对加工程序的检索、编辑、修改、插入、删除、更名和程序的存储、通信等功能。

#### 7) 字符和图形显示功能

一般的数控系统都具有 CRT 显示器,通过软件和接口可以显示字符和图形、人机对话、自诊断等信息,并且具有刀具轨迹的动态显示功能。高档的数控系统还具有三维图形显示功能。

#### 8) 辅助编程功能

除基本的编程功能外,数控系统通常还具有固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转、极坐标等编程功能,这可以减少手工编程的工作量和降低编程的难度。

#### 9) 自诊断报警功能

现代数控系统具有人工智能的故障诊断系统,可以实现对整个加工过程的监视,诊断数控系统的故障,并及时报警。

#### 10) 通信功能

数控系统一般都配有 RS232C 或 RS422 接口,可以按照用户的格式要求与同一级计算机进行多种数据交换。现代数控系统大都具有制造自动化协议(MAP)接口,采用光缆通信,可以提高数据传送的速度和可靠性。



## 实训考核

组织学生进入实训场地,针对已有的数控机床,按照具体的考核内容训练,并给出具体考核成绩。

单位名称	班级学号	姓名	成绩		
序号	项目	考核内容	配分标准/%	得分	项目成绩
1	机床类型和功能的认知	机床类型认知	35		
		机床功能认知	35		
2	安全文明生产	按要求着装	2		
		操作规范,无操作失误	8		
		认真维护机床	5		
3	团队协作	与小组成员和谐相处,互相学习,互相帮助,不一意孤行	15		



## 课题三 数控机床编程与坐标系

数控机床能够根据编写的程序精确加工相应的零件,但在编写程序之前必须先建立坐标系。



### 实训目的

- 了解数控机床的坐标系;
- 掌握编程基础。



### 实训任务

组织学生进入实训场地,针对具体数控机床能够正确辨认其坐标系,并在数控机床中编写一个实际程序段,要求能体现绝对坐标和相对坐标的关系,并观察机床运行的情况。



### 知识准备

#### 一、数控机床编程基础知识

##### 1. 数控编程概念和内容

零件程序的编制过程即为数控编程。具体来说,数控编程是指根据被加工零件的图纸和技术要求及其工艺要求,将零件加工的工艺顺序、工序的工步安排、刀具相对于工件运动的轨迹与方向、工艺参数及辅助动作等用数控系统所规定的规则、代码和格式编制成文件(零件程序单),并将程序单的信息制作成控制介质的整个过程。

数控编程的主要内容包括零件几何尺寸及加工要求分析、数学处理、程序编制、程序输入与首件试切。

##### 2. 数控编程的方法

数控编程方式有手工编程和自动编程。

###### 1) 手工编程

手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作,其流程如图 1-16 所示。

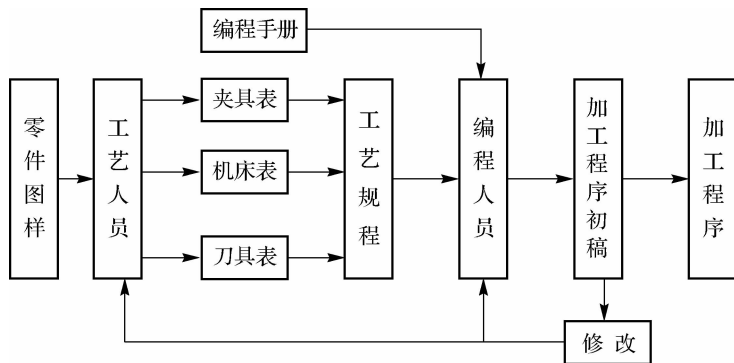


图 1-16 手工编程框图



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,因此在点定位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程较为常用。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,出错的概率也会增大,有的甚至无法编出程序,必须采用自动编程的方法编制程序。

## 2) 自动编程

自动编程是利用计算机及其专用编程软件进行数控加工程序编程。编程人员根据加工零件图纸的要求或零件 CAD 模型进行参数选择和设置,由计算机自动进行刀具轨迹计算和后置处理,生成加工程序单,直至将加工程序通过直接通信的方式输入数控机床,控制机床进行加工。

## 3. 数控编程的步骤

### 1) 分析零件图样和工艺要求

分析零件图样和工艺要求的目的是为了确定加工方法、制定加工计划以及确认与生产组织有关的问题。此步骤的内容包括:确定该零件应安排在哪类或哪台机床上进行加工;采用何种夹具或何种装卡定位方法;确定采用何种刀具或采用多少把刀进行加工;确定加工路线,即选择对刀点、程序起点、走刀路线和程序终点;确定切削深度和宽度、进给速度、主轴转速等切削参数;确定加工过程中是否需要提供冷却液,是否需要换刀,何时换刀等。

### 2) 数值计算

根据零件图样的几何尺寸计算零件轮廓数据,或根据零件图样和走刀路线计算刀具中心运行轨迹数据。数值计算的最终目的是获得编程所需要的所有相关位置的坐标数据。

### 3) 编写加工程序单

根据已确定的加工方案和数值计算获得的数据,按照数控系统要求的程序格式和代码格式编写加工程序。编程人员除应了解所用数控机床及系统的功能、熟悉程序指令外,还应具备与机械加工相关的工艺知识,才能编制出正确、实用的加工程序。

### 4) 制作控制介质

程序单完成后,编程人员或机床操作人员可以通过数控机床的操作面板,在编辑方式下直接将程序信息键入数控系统程序存储器中;也可以根据数控系统 I/O 装置的不同,将程序单的程序制作完成后转移至某种控制介质上。控制介质大多采用穿孔带,也可以是磁带、磁盘等信息载体。利用穿孔带阅读机或磁带机、磁盘驱动器等 I/O 装置,可将控制介质上的程序信息输入到数控系统程序存储器中。

### 5) 程序检验与首件试切

数控程序必须经过检验和试切才能正式加工零件。在有图形模拟功能的数控机床上,可以进行图形模拟加工,检查刀具轨迹的正确性,对无此功能的数控机床可进行空运行检验。但这些方法只能检验出刀具运动轨迹是否正确,不能查出对刀误差和由于刀具调整不当或某些计算误差引起的加工误差及零件的加工精度,所以有必要经过零件加工的首件试切这一重要步骤。当发现有加工误差或加工的零件不符合图纸要求时,应分析误差产生的原因,以便修改加工程序或采取刀具尺寸补偿等措施,直到加工出合乎图样要求的零件为止。



## 二、机床坐标系

在数控编程时,为了准确地描述机床的运动,简化程序的编制方法及保证记录数据的互换性,ISO 国际标准统一规定了数控机床各坐标系的代码和运动的正、负方向。

### 1. 机床坐标系的确定

在机床上,我们规定工件是静止的,刀具是运动的,目的是使编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样确定零件的加工过程。

在数控机床上,机床的动作由数控装置来控制,编制程序的时候,我们需要一个坐标系来确定运动方向和距离,这个坐标系称为机床坐标系。标准机床坐标系中 X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡儿直角坐标系决定,如图 1-17 所示。

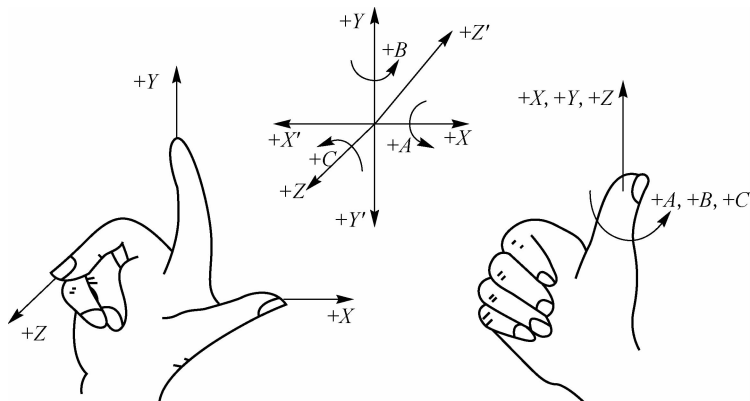


图 1-17 右手笛卡儿直角坐标系

伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为  $90^\circ$ ,大拇指代表 X 坐标,食指代表 Y 坐标,中指代表 Z 坐标。大拇指的指向为 X 坐标的正方向,食指的指向为 Y 坐标的正方向,中指的指向为 Z 坐标的正方向。围绕 X、Y、Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A、B、C 表示,根据右手螺旋定则,大拇指的指向为 X、Y、Z 坐标中任意轴的正向,其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A、B、C 的正向。

### 2. 坐标轴方向的确定

根据右手笛卡儿直角坐标系的规定,我们需要了解机床的构造,在这个基础上熟悉机床的运动方向,首先确定好两个坐标方向,然后根据右手笛卡儿直角坐标系的规定确定第三个坐标系方向。以图 1-18 所示的水平床身前置刀架式数控车床为例,确定其坐标系的具体方法如下。

(1) Z 坐标。Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的,即平行于主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标,Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。如果机床上有几个主轴,则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向;如果主轴能够摆动或机床无主轴,则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。

(2) X 坐标。X 坐标平行于工件的装夹平面,一般在水平面内。确定 X 坐标的方向时,需考虑以下两种情况。

- ①如果工件做旋转运动,则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。
- ②如果刀具做旋转运动,则分为两种情况:Z 坐标水平时,观察者沿刀具主轴向工件看,

+X 运动方向指向右方;Z 坐标垂直时,对于单立柱式,观察者面对刀具主轴向立柱看,+X 运动方向指向右方。

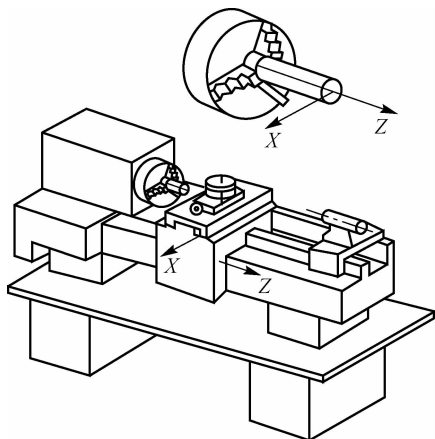


图 1-18 水平床身前置刀架式数控车床的坐标系

(3)Y 坐标。确定 X、Z 坐标的正方向后,可以用右手笛卡儿直角坐标系来确定 Y 坐标的方向。



#### 小提示

有的机床还存在附加坐标系:在 X、Y、Z 主要坐标以外,还有平行于它们的坐标,可分别指定为 U、V、W 坐标,如果还有第三组运动,则指定为 P、Q、R 坐标。

### 3. 机床原点与机床参考点

#### 1) 机床原点

机床原点(机械原点)是机床坐标系的原点,它是机床上一个固定点,其位置由机床设计和制造单位确定,通常不允许用户改变。例如,数控车床的机床原点一般为主轴回转中心与卡盘后端面的交点,如图 1-19 所示,各个生产厂家的机床原点位置不一致。

#### 2) 机床参考点

机床参考点也是机床上一个固定点,它用机械挡块或电气装置来限制刀架移动的极限位置,主要作用是给机床坐标系定位。如果每次开机后无论刀架停留在哪个位置,系统都把当前位置设定成坐标原点,这就会造成基准的不统一,因此参考点相对于机床原点的坐标是一个已知数。通常在数控铣床上机床原点和机床参考点是重合的,而在数控车床上机床参考点是离机床原点最远的极限点。数控机床开机时,必须先确定机床原点,而确定机床原点的运动就是刀架返回参考点的操作,这样就通过确认参考点确定了机床原点。

### 4. 绝对坐标与相对坐标

#### 1) 绝对坐标

将刀具运动位置的坐标值表示为相对于坐标原点的距离,这种坐标的表示法称为绝对坐标表示法,如图 1-20 所示。

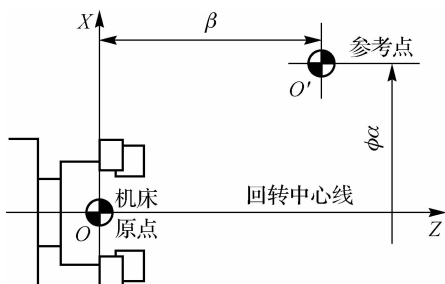


图 1-19 机床原点

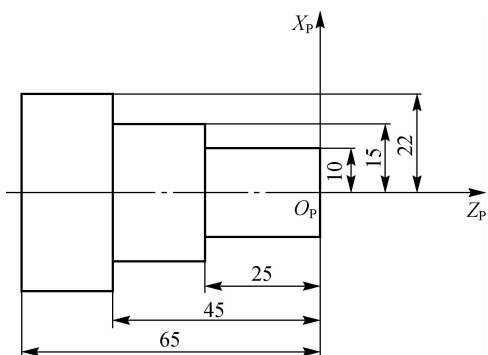


图 1-20 绝对坐标

## 2) 相对坐标

将刀具运动位置的坐标值表示为相对于前一位置坐标的增量,即为目标点绝对坐标值与当前点绝对坐标值的差值,这种坐标的表示法称为相对坐标表示法,如图 1-21 所示。

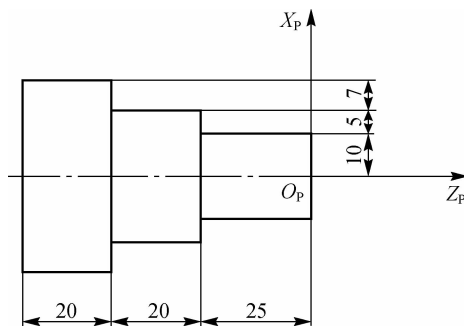


图 1-21 相对坐标

编程时可根据零件的加工精度要求和编程的方便程度来选用坐标系。在数控程序中,绝对坐标和相对坐标可以单独使用,也可以在不同的程序段中交叉使用,在数控车床编程中,还可以在同一程序段中混合使用。

## 实训考核

组织学生进入实训场地,任选一种数控机床,按照具体的考核内容训练,并给出具体考核成绩。

单位名称	班级学号	姓名	成绩		
序号	项目	考核内容	配分标准/%	得分	项目成绩
1	机床坐标系和编程	机床坐标系的正确辨认	14		
		简单程序的正确编写	28		
		简单程序的运行	28		



续表

单位名称	班级学号	姓名	成绩		
序号	项目	考核内容	配分标准/%	得分	项目成绩
2	安全文明生产	按要求着装	2		
		操作规范,无操作失误	8		
		认真维护机床	5		
3	团队协作	与小组成员和谐相处,互相学习,互相帮助,不一意孤行	15		

## 课题四 数控机床安全文明生产

对于任何机器,安全操作尤为重要,数控机床也不例外。正确、安全地操作数控机床需要我们熟悉安全文明生产的相关规定,在平时的训练中也要严格执行。



### 实训目的

- 了解数控机床安全文明生产的相关规定;
- 熟悉数控机床安全操作规程的内容。



### 实训任务

组织学生去实训场地,现场观看数控机床安全文明生产,并按照安全操作要求进行开机、加工和关机操作。



### 知识准备

#### 一、安全文明生产规定

数控机床是一种自动化程度较高、结构较复杂的先进加工设备。为了充分发挥机床的优越性,提高生产效率,管好、用好、修好数控机床,操作人员的素质和文明生产显得尤为重要。操作人员除了要熟悉、掌握数控机床的性能,做到熟练操作以外,还必须养成文明生产的良好工作习惯,具有严谨的工作作风以及良好的职业素质、责任心和合作精神。操作数控机床时应做到以下几点。

- (1) 严格遵守劳动纪律,不迟到,不早退,工作中不准打闹,坚守岗位。
- (2) 进入岗位前必须按规定穿好工作服装,不得穿戴带有事故隐患的服装和饰品。
- (3) 认真执行岗位责任制,严格遵守操作规程,不做与本职无关的事。
- (4) 非本岗操作者及维护使用人员,未经批准不得进入或触动机床及辅助设备。
- (5) 严格执行交接班制度,做好交接记录工作。
- (6) 结束工作前必须清理现场,切断电源,关闭门窗等。
- (7) 实行定期维护与保养制度,保证机床安全运行。
- (8) 一旦发生事故,立即采取措施防止事故扩大并保护现场。



## 二、安全操作规程

为了正确合理地使用数控机床,减少其故障的发生率,必须经机床管理人员同意后才可操作机床。

### 1. 数控系统安全操作须知

(1)加工零件前,一定要先检查机床运行是否正常。加工前要通过试车保证机床能够正常工作。在机床上不装工件和刀具时,检查机床是否能够正确运行。如果未能确认机床动作的正确性,机床或机床零件可能会因出现误动作而被损坏,甚至伤害操作者。

(2)操作机床之前要仔细检查输入的数据。如果使用了错误的数据,机床或机床零件可能也会因为出现误动作而被损坏,甚至伤害操作者。

(3)确保指定的进给速度与想要进行的机床操作相适应。通常每一台机床都有最大许可进给速度,合适的进给速度根据不同的操作而变化。如果没有按正确的进给速度进行操作,机床有可能发生误动作,从而引起工件或机床本身的损坏,甚至伤及操作者。

(4)当使用刀具补偿功能时,要仔细检查补偿方向和补偿量。使用不正确的指定数据进行操作,机床有可能发生误动作,从而引起零件或机床本身的损坏,甚至伤及操作者。

(5)CNC 和 PMC 的参数都是机床厂设置的,通常不需要修改。如果对参数进行了错误的设置,有可能引起机床的误动作,从而损坏零件或机床本身,甚至伤害操作者。

(6)在机床通电后,CNC 装置尚未出现位置显示或报警画面之前,请不要碰 MDI 面板上的任何键。MDI 面板上有些键专门用于维护和特殊的操作,按下这些键可能使 CNC 装置处于非正常状态,在这种状态下启动机床有可能引起机床的误动作。

(7)在接通机床电源后,需要手动返回参考点。在手动返回参考点前,行程检查功能是不能用的。当不能进行行程检查时,即使出现超程,系统也不会发出警报,这可能会造成刀具、机床或零件的损坏,甚至伤害操作者。

(8)注意绝对值和相对值。如果用绝对坐标编制的程序在相对坐标方式下使用,或者用相对坐标编制的程序在绝对坐标方式下使用,机床将不按预想的结果进行运动。

(9)在输入的英制单位和公制单位之间转换,并不变更数据(零件的原点、参数或当前的位置)的测量单位。在开动机床之前,要确定测量所采用的单位制,如果采用错误的数据单位进行操作,可能会导致刀具或机床的损坏,甚至伤害操作者。

(10)手动操作机床时,要确定刀具和零件的当前位置,并保证正确地指定了运动轴方向和进给速度。

(11)手轮进给时,在较大的倍率(比如 100)下旋转手轮,刀具和工作台会快速移动。大倍率的手轮移动有可能会造成刀具或机床的损坏,甚至伤害操作者。

(12)在螺纹加工、刚性攻丝或其他攻丝期间,如果倍率被禁止,速度将不能预测,这可能会造成刀具、机床或零件的损坏,甚至伤害操作者。

(13)一般来说,在机床按照程序运行时,不要进行清除原点或原点预置操作,否则机床有可能出现误动作,从而造成刀具或机床本身的损坏,甚至伤害操作者。

(14)机床在程序控制下运行时,如果在机床停止后进行加工程序的编辑(修改、插入或删除),此后再次启动机床恢复自动运行,机床将发生不可预料的动作。一般来说,当加工程序还在使用时,不要编辑其中的命令。



## 2. 开机前的注意事项

启动数控机床前,要注意以下几点。

(1)操作人员必须熟悉该数控机床的性能和操作方法,在机床管理人员授意或指导下才可操作机床。

(2)机床通电前,先检查电压、气压、油压是否符合工作要求。

(3)检查机床可动部分是否处于可正常工作状态。

(4)检查工作台是否有越位和超极限状态。

(5)检查电气元件是否牢固,是否有接线脱落。

(6)检查机床接地线是否和车间地线可靠连接。

(7)完成开机前的准备工作后方可合上电源总开关。

## 3. 开机过程中的注意事项

数控机床开机过程中,应注意以下几点。

(1)严格按照数控机床说明书中的开机顺序进行操作。

(2)一般情况下,开机过程中必须先进行回机床参考点操作,建立机床坐标系。

(3)开机后让机床空转 15 min 以上,使机床达到平衡状态。

(4)关机以后必须等待 5 min 以上才可再次开机。没有特殊情况,不得随意频繁进行开、关机操作。

## 4. 调试过程中的注意事项

数控机床调试过程中,应注意以下几点。

(1)编辑、修改、调试好程序。若是首件试切,必须进行空运行,确保程序正确无误。

(2)按工艺要求安装、调试好夹具,并清除各定位面的铁屑和杂物。

(3)按定位要求装夹好工件,确保定位正确可靠。在加工过程中,工件不得有松动现象。

(4)安装好所要用的刀具,若是加工中心,刀具在刀库上的刀位号必须与程序中的刀号严格一致。

(5)按工件上的编程原点进行对刀,建立工件坐标系。若用多把刀具,则其余各把刀具分别进行长度补偿或刀尖位置补偿。

(6)设置好刀具半径补偿。

(7)确认冷却液输出通畅,流量充足。

(8)检查所建立的工件坐标系是否正确。

以上各注意事项准备好后才可对工件进行加工。

## 5. 加工过程中的注意事项

数控机床加工过程中,应注意以下几点。

(1)加工过程中,不得调整刀具或测量工件尺寸。

(2)自动加工中,必须自始至终监视运转状态,严禁离开机床,遇到问题要及时解决,以免发生不必要的事故。

(3)定时对工件进行检验,确定刀具是否有磨损等情况。

(4)关机或交接班时,对加工情况、重要数据等做好记录。

(5)机床各轴在关机时要远离其参考点或停在中间位置,使工作台重心稳定。



(6)清洁机床,必要时涂防锈漆。

## 6. 机床设备的日常维护保养

机床设备应做好日常维护保养工作。

(1)定期检查、清洗自动润滑系统,添加或更换油脂、油液,使丝杠、导轨等运动部位始终保持良好的润滑状态,减慢机械磨损速度。

(2)对液压系统定期进行油质化验,检查和更换液压油,定期对各润滑系统、液压系统和气压系统的过滤器或过滤网进行清洗或更换,还要经常给气压系统放水。

(3)对直流电动机定期进行电刷和换向器的检查、清洗和更换。若换向器表面脏,应用白布蘸酒精予以清洗;若表面粗糙,用细金相砂纸予以修整。电刷长度小于 10 mm 时,应予以更换。

(4)适时对各坐标轴进行超限位试验,可按限位开关确认是否出现超程报警或检查相应的 I/O 接口信号是否变化。

(5)定期检查各插头、插座、电缆以及各继电器的触点是否接触良好,检查各印刷线路板是否干净,检查主变电器和各电机的绝缘电阻是否在 1 MΩ 以上。平时应尽量少开电气柜门,以保持电气柜内的清洁。定期对电气柜和有关电气设备的冷却风扇进行卫生清洁,更换其空气过滤网等。必要时对各个电路板、电气元件采用吸尘法进行卫生清扫等。

安全生产在整个数控机床的操作过程中都要引起重视,不能因为疏忽而引发事故,要多检查,多排除,多留心。



## 实训考核

组织学生进入实训场地,任选一种数控机床,按照具体的考核内容训练,并给出具体考核成绩。

单位名称	班级学号	姓名	成绩	
序号	项目	考核内容	配分标准/%	得分
1	安全文明生产	掌握安全文明生产规定	20	
		按要求着装	20	
		操作规范	20	
		认真维护机床	20	
2	团队协作	与小组成员和谐相处,互相学习,互相帮助,不一意孤行	20	



## 思考与练习

### 一、填空题

- 数控机床大体由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_四个部分组成。
- 数控机床按控制系统功能的特点可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种;按运动方式可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
- 数控编程的方法一般分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。



4. 数控机床的坐标系采用的是\_\_\_\_\_坐标系。
5. 数控机床坐标系的正方向规定为\_\_\_\_\_。
6. 数控机床坐标系中 Z 轴的方向为\_\_\_\_\_,其正方向为\_\_\_\_\_。
7. 数控车床坐标系中 X 轴的方向为\_\_\_\_\_,其正方向为\_\_\_\_\_。
8. 数控机床坐标系一般可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
9. 数控机床坐标系按坐标值的读法不同可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
10. 数控编程的步骤有\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

1. 加工( )零件,宜采用数控加工设备。  
A. 大批量      B. 多品种中小批量      C. 单件
2. 确定数控机床坐标轴时,一般应先确定( )。  
A. X 轴      B. Y 轴      C. Z 轴
3. 开环控制系统用于( )数控机床上。  
A. 经济型      B. 中、高档      C. 精密
4. 数控机床的标准坐标系是以( )来确定的。  
A. 右手直角笛卡儿坐标系  
B. 绝对坐标系  
C. 相对坐标系
5. 数控机床有不同的运动形式,需要考虑工件与刀具的相对运动关系及坐标方向,编写程序时,采用( )的原则编写程序。  
A. 刀具固定不动,工件移动  
B. 铣削加工刀具固定不动,工件移动;车削加工刀具移动,工件不动  
C. 工件固定不动,刀具移动

## 三、简答题

1. 简述数控机床的发展概况。
2. 数控机床由哪些部分组成? 各有什么作用?
3. 数控机床的工作过程是什么?
4. 什么是开环、闭环、半闭环数控机床? 它们之间有什么区别?
5. 数控编程中常用的坐标系有哪些?
6. 数控编程的方法及步骤如何?