

高职高专机电类专业“十一五”规划教材



数控技术

SHUKONG JISHU

主编 田林红



郑州大学出版社



電 控 技 術

第 1 期 2008 年 1 月

第 1 期 2008 年 1 月



高职高专机电类专业“十一五”规划教材

读者信息反馈表

个言客内

数控技术

SHUKONG JISHU

主编 田林红



郑州大学出版社

内容简介

本书详细介绍了数控机床的组成、数控编程基础知识、计算机数控装置、进给伺服系统、PLC 在数控机床中的应用、数控机床的机械结构、普通机床的数控改造以及数控机床的选型、安装及保养。本书为高职高专机电类专业的教材,也可作为初、中级数控技术人员的培训用书,还可作为职大、电大等层次和从事数控技术应用和机电一体化制造工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/田林红主编. —郑州:郑州大学出版社,
2008. 8

高职高专机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 81106 - 901 - 3

I. 数… II. 田… III. 数控机床 - 高等学校:技术学校 -
教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114948 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

黄委会设计院印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:14.5

字数:346 千字

版次:2008 年 8 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371 - 66966070

1/16

印次:2008 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 81106 - 901 - 3

定价:24.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

作者名单

主 编 田林红

副主编 霍苏萍

编 委 (以姓氏笔画为序)

王卓亚 田林红 刘光定

胡乾坤 宣 峰 姬清华

霍苏萍

本书是高职高专机电类专业教学用书,是在多年使用《数控技术及应用》教材的基础上,结合编者工程实践经验,根据高等职业教育的特点和大纲精神而编写的。在编写时,我们从高职教育的实际出发,以理论知识“必需、够用”为度,加强针对性和实用性。全书结构严谨,内容取材新颖,力求反映目前企业中普遍应用的数控技术,注重工程实践能力的培养。

本教材参考学时为60~80学时,共8章内容,各院校可根据实际情况决定内容的取舍。第1章介绍数控机床的组成、原理、分类及发展;第2章介绍数控编程基础知识,结合车床、铣床和加工中心实例讲述编程方法;第3章介绍计算机数控(CNC)装置中的软硬件结构、插补原理;第4章介绍数控机床伺服系统;第5章介绍PLC在数控机床中的应用,着重介绍FANUC的PMC;第6章介绍数控机床的机械结构,对主传动系统、进给传动系统、自动换刀装置等结构原理进行讲述;第7章结合普通机床的数控改造,介绍了数控机床电气控制技术;第8章介绍了数控机床的选型、安装与保养。本书每章后有以FANUC、SIEMENS、华中世纪星HNC-21T/M系统组成的多个实训项目,每个单元实训设计具体,可操作性强,可从多方面培养学生的动手操作能力;同时附有填空、判断、选择、简答以及计算类型的复习思考题。

本书满足高职高专机电类专业的教学要求,可作为高职高专的教学用书及相关工程技术人员的参考书。

本书由田林红任主编,他提出了全书的总体构思、编写大纲及编写的指导思想,并对全书统稿修改;霍苏萍为本书副主编。本书编写分工如下:第1章,宣峰;第2章第1~3节,姬清华;第3章第1~3节,刘光定;第4章第1~3节胡乾坤;第5章第1、2节,王卓亚;第6章,霍苏萍;第7、8章及其余部分,田林红。

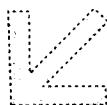
限于作者的水平,加之时间仓促,书中难免有缺点和不当之处,敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编者
2008年5月

第1章 绪论	1
1.1 数控机床简介	1
1.2 数控机床的工作原理及组成	4
1.3 数控机床的分类	5
1.4 数控技术的发展	8
第2章 数控加工程序编制	13
2.1 数控编程的内容与步骤	13
2.2 数控程序编制基础	17
2.3 数控车床编程	25
2.4 数控铣床编程	37
2.5 加工中心编程	44
2.6 自动编程	49
第3章 计算机数控(CNC)装置	59
3.1 CNC系统的组成和功能	59
3.2 CNC装置的硬件结构	61
3.3 CNC装置的软件结构	66
3.4 CNC系统的插补原理	69
3.5 典型CNC系统及应用	76
第4章 数控机床伺服系统	87
4.1 伺服系统的组成与分类	87
4.2 主轴伺服驱动系统	90
4.3 步进伺服驱动系统	93
4.4 直流进给伺服驱动系统	99
4.5 交流进给伺服驱动系统	105
4.6 全数字式伺服系统	115
4.7 数控机床位置检测	118

第5章 PLC在数控机床中的应用	136
5.1 数控机床中的PLC	136
5.2 FANUC系统的PLC控制	141
5.3 PLC在数控机床中的应用	155
第6章 数控机床的机械结构	164
6.1 机床的结构特点与要求	164
6.2 机床主传动系统及主轴部件	166
6.3 数控机床进给传动系统	170
6.4 自动换刀机构	180
第7章 普通机床的数控改造	190
7.1 数控改造的优点、内容与步骤	190
7.2 机械系统的改造	193
7.3 电气控制系统	195
第8章 数控机床的选型、安装及保养	203
8.1 数控机床的选型	203
8.2 数控机床的安装、调试和验收	205
8.3 数控机床的使用与维护保养	212
参考文献	220

第1章



绪 论

1.1 数控机床简介

1.1.1 基本概念

在航空、军工、造船、汽车和模具加工等行业,用普通机床加工(精度低、效率低、劳动强度大)已无法满足生产要求,市场需要一种灵活、通用、能够适用产品频繁变化的自动化机床。这种机床集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体,具有高精度、高效率、柔性自动化等特点,属于典型的机电一体化产品。

从仿生学的观点来看,数控机床的组成类似于人的构造及其功能。表 1.1 所示为人、机电一体化(产品)和数控机床的五大要素之间的对应关系。

表 1.1 人、机电一体化(产品)、数控机床五大要素的关系

人体要素	机电一体化(产品)	数控机床
头脑(处理信息)	控制器(计算机)	数控系统(CNC)
五官(接受信息)	检测传感器	位置、速度等检测元件
手脚(执行运动)	执行元件	伺服电动机及各种缸体
内脏(维持生命)	动力源	驱动装置
骨骼(规定运动)	机构	机械传动链

(1)数字控制 数字控制是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动化技术。有如下特点:

- 1)用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确。
- 2)可进行逻辑、算术运算,也可以进行复杂的信息处理。

3)不用改动硬件电路或机械机构,通过改变软件来改变信息处理的方式和过程,具有柔性化的特点。

(2) 数控系统 是一种程序控制系统,它能处理输入到系统中具有特定代码的程序,经过译码、运算,控制机床运动。这里主要指由硬件组成的系统。

(3) 计算机数控系统 采用了计算机或微型计算机的数控系统。

(4) 数控机床 采用了数控技术或装备了数控系统的机床,它依靠编制好的程序自动进行零件加工。

(5) 数控程序 数控机床执行确定加工任务的一系列指令代码。数控机床每执行一个程序段,就可以完成一个具体的动作。

(6) 数控编程 生成用于数控机床进行零件加工程序的过程。

(7) 数控加工 根据零件图样及工艺要求编制零件加工程序,通过输入装置将程序输入数控系统,控制数控机床中刀具与零件的相对运动,完成零件的加工。

1.1.2 数控机床的特点

1.1.2.1 数控机床的加工特点

(1) 加工精度高 由于数控机床是按数字形式给出的指令进行加工,数控机床控制的刀具或工作台最小移动量普遍达到 0.001 mm ,而且机床的数控装置可对机床传动中产生的间隙、热变形导致的误差等进行补偿,从而获得较高且稳定的加工精度。数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,其自动加工方式避免了人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量稳定。

(2) 生产效率高 数控机床能够有效地减少机动时间与辅助时间,因而加工生产效率比一般机床能提高 $2\sim 3$ 倍,甚至十几倍。主要体现在以下几个方面:第一,数控机床主轴转速和进给量比普遍机床的范围大,每一道工序都能选用最佳的切削用量,且良好的刚性结构允许大切削用量的强力切削,有效地缩短加工时间;第二,数控机床移动部件采用了自动加减速措施,快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多;第三,数控机床在更换加工零件后,不需要重新调整机床,减少了零件安装调整时间;第四,带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心,一次装夹可完成多工序加工,省去了普通机床加工的多次变换工种、工序以及划线等工序。

(3) 加工对象的适应性强 数控机床在加工零件时,不需要更换许多夹具和模具,更不需要重新调整机床,只需编制新程序,就能实现对零件的加工。因此,数控机床可以很快地从加工一种零件转变为另一种零件,这就为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,节省了大量工艺装备费用,为产品结构的不断更新提供了有利的条件。

(4) 良好的经济效益 使用数控机床分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的,但在单件、小批量生产情况下,可以节省加工之前的划线工时,在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间,减少了直接生产费用。另一方面,由于数控机床加工零件不需要手工制作模型及零件夹具,节省了工艺装备费用。同时,由于数控机床的加工精度稳定,减少了废品率,生产成本进一步下降,因此能够获得良好的经济效益。

(5) 减轻劳动强度 数控机床是按编制好的程序对零件进行自动加工。操作者除了对机床进行适时调整和关键工序的中间测量外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动

强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善,实现了由体力型转为智力型的操作。

(6)易于实现生产管理自动化 数控机床能够实现一机多工序加工,简化生产过程的管理,减少管理人员。数控机床采用数字信息与标准代码输入输出,通过与计算机联网实现生产管理自动化。

1.1.2.2 数控机床的使用特点

(1)对操作维修人员的要求 数控机床采用计算机控制,伺服驱动系统具有很高的技术含量,机械部分的精度要求高。因此,要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和综合技术素质。

当零件形状简单时可采用手工编制程序。当零件形状比较复杂时,手工编程较困难且往往易出错,必须采用计算机自动编程。操作人员除应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应非常了解数控机床的结构特点及工作原理。要在程序编制方面进行专门的培训,考核合格后才能上机操作。

数控机床的维修人员要有较高的理论知识和维修技术,要了解数控机床的机械结构,懂得数控机床的电气控制原理,还应掌握机、电、气、液、光等专业知识,这样才能综合分析,判断故障根源,实现高效维修,保证数控机床的良好运行。数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门的培训。

(2)对夹具和刀具的要求 数控机床的夹具应定位可靠,可自动夹紧或松开。数控机床的刀具应具有以下特点:

- 1)较高的精度、耐用度,几何尺寸稳定、变形小。
- 2)能实现机外预调和快速换刀。
- 3)刀具柄部应满足标准要求。
- 4)很好地控制切屑的折断和排出。
- 5)具有良好的可冷却性能。

1.1.2.3 数控机床的应用范围

普通机床、专用机床、数控机床都有各自的应用范围,如图1.1所示。从图1.1(a)中可看出,当零件不太复杂、生产批量较小时,宜采用普通机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床;数控机床用于加工复杂零件。从图1.1(b)中可看出,在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床费用更为合理。

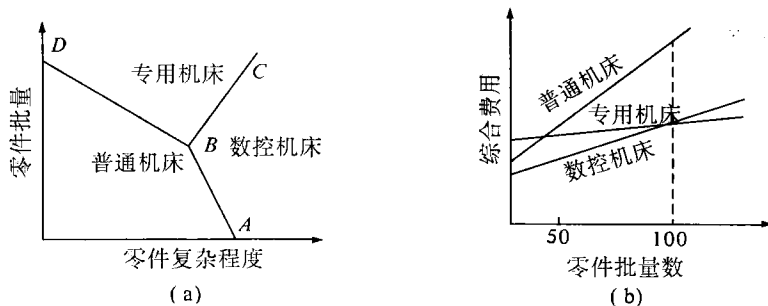


图 1.1 数控机床应用范围

最适合数控加工的零件包括:

- (1)多品种、小批量生产的零件。
- (2)形状结构比较复杂的零件。
- (3)需要频繁改型的零件。
- (4)价值昂贵,不允许报废的关键零件。
- (5)需要最少生产周期的急需零件。
- (6)批量较大、精度要求高的零件。

1.2 数控机床的工作原理及组成

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床进行加工时,根据零件图样要求及加工工艺过程,将所用刀具及机床各部件的移动量、速度及动作先后顺序、主轴转速、主轴旋转方向及冷却开关等要求,以规定的数控代码形式编制成加工程序,通过输入装置将加工程序输入到数控装置。然后,数控系统根据输入的指令,进行译码、运算和逻辑处理后,向机床各个坐标的伺服机构发出指令,驱动机床的各运动部件,并控制其他必要的辅助动作,如变速、冷却、零件的夹紧与松开、润滑泵的开与关等,最后加工出合格的零件。图 1.2 所示为数控机床加工工作过程。

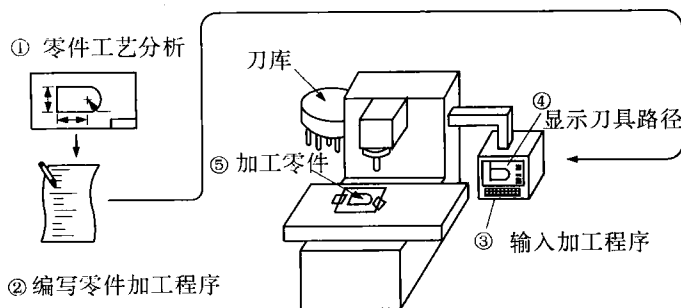


图 1.2 数控机床加工过程

1.2.2 数控机床的组成

数控机床有控制介质、输入装置、数控装置(CNC)、伺服系统、位置检测系统、辅助控制装置、机床本体等几部分组成,如图 1.3 所示。

(1)控制介质 对机床进行控制,就必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物就是控制介质,又称为信息载体。数控机床中常用的程序载体有磁盘、存储卡、光盘等。

(2)输入装置 输入装置的作用是将程序代码传递并存入到数控系统内。数控机床加工程序可通过键盘手动输入,还可采用计算机通信方式,通过数据线传输。

(3)计算机数控装置 数控装置是数控机床的核心,采用微型计算机控制,由运算

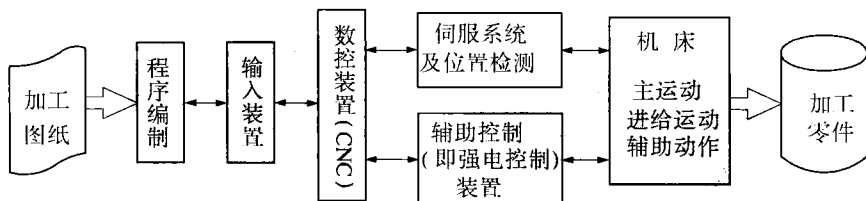


图 1.3 数控机床组成

器、控制器、存储器、输入输出接口等组成。控制器接受输入装置的指令,控制运算器与输出装置,实现机床的各种操作以及控制整机的工作循环。运算器接受控制的指令,将数据进行运算,不断地向输出装置送出运算结果,使伺服系统执行所要求的运动。

(4) 伺服系统 接受数控装置的指令信息,驱动机床的移动部件运动。伺服系统由伺服电动机和伺服驱动装置组成。每个坐标轴上都配有一套伺服驱动系统。

(5) 位置检测系统 将机床移动的实际位置、速度参数检测出来,转换成电信号,并反馈到 CNC 装置中,使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致,发出相应指令,纠正所产生的误差。

(6) 辅助控制装置 处理开关量指令信号,使机床的机械、液压、气动等辅助装置完成规定动作。主要包括主轴的变速、自动换刀、工作台自动交换、零件夹紧放松、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、保护装置等。

(7) 机床本体 机床加工运动的机械部分,主要包括支承部件(床身、立柱等)、主运动部件(主轴箱)、进给运动部件(工作台滑板、刀架)等。数控机床采用高性能主传动及主轴部件,进给传动采用高效传动件,具有完善的刀具自动交换和管理系统。机床本身具有很高的动、静刚度,运动摩擦系数小,传动部件之间的间隙小,采用全封闭罩壳等措施,从而满足了充分发挥数控机床特点和实现自动化控制的要求。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床 与传统加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。装有刀库和自动换刀装置的加工中心可以避免零件多次安装造成的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,大大提高了生产效率和加工质量。图 1.4 所示为金属切削类数控机床实物图片。

(2) 金属成型类数控机床 常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控折弯机、数控剪板机和数控压力机等。图 1.5 所示为金属成型类数控机床实物图片。

(3) 特种加工类数控机床 除了金属切削加工以外,数控技术也用于特种加工,如电火花线切割机床、电火花成型机床、等离子切割机床、火焰切割机床以及激光加工机床等。图 1.6 所示为特种加工类数控机床实物图片。

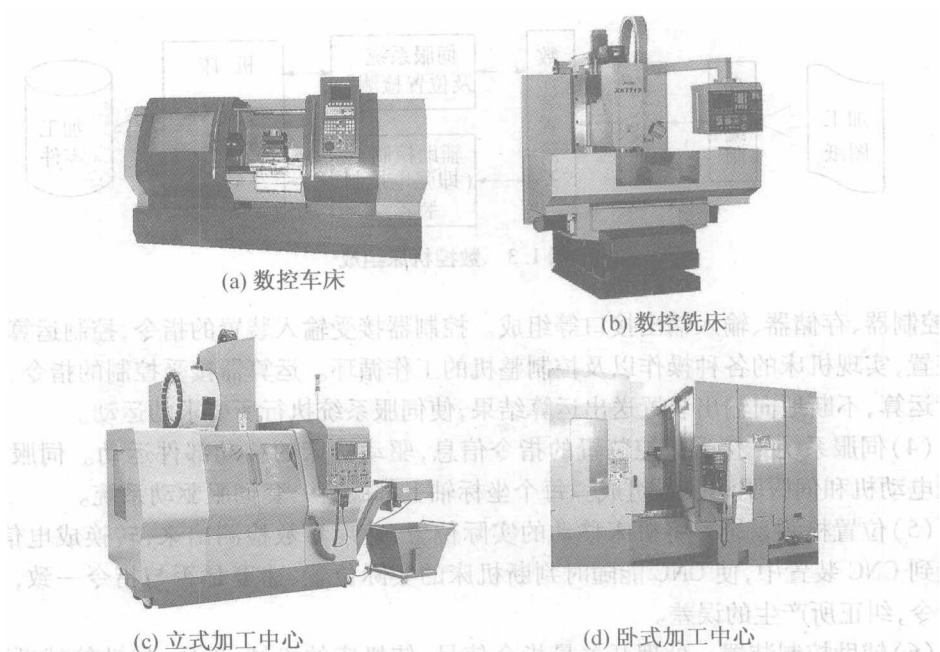


图 1.4 金属切削类数控机床图片

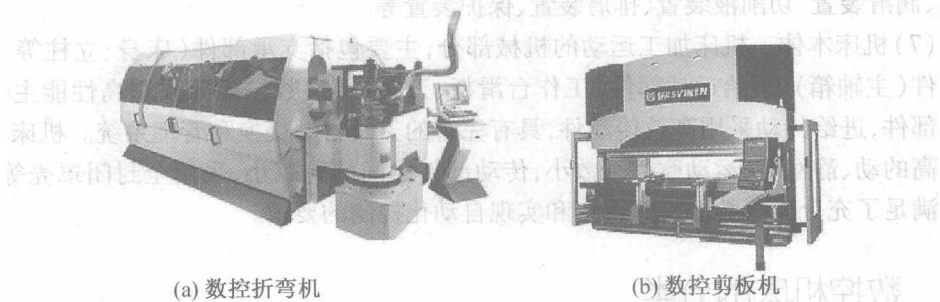


图 1.5 金属成型类数控机床图片

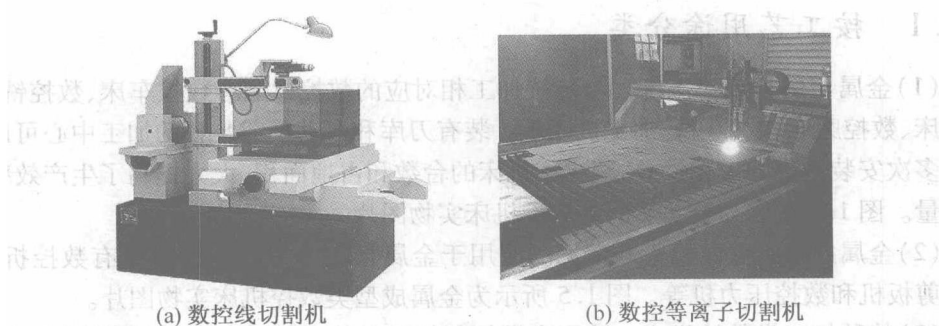


图 1.6 特种加工类数控机床图片

近年来,其他机械设备中也大量采用了数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

1.3.2 按运动轨迹分类

(1) 点位控制系统 点位控制系统只要求控制机床的移动部件从一点到另一点的准确定位,对于两点之间的运动轨迹并无严格要求,在定位移动过程中不进行切削加工。为提高生产效率,采用高速运行、低速趋近、慢速精确定位的运动方式,以便减少运动部件的惯性过冲引起的误差。具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控冲床等。图 1.7 所示为点位控制系统。

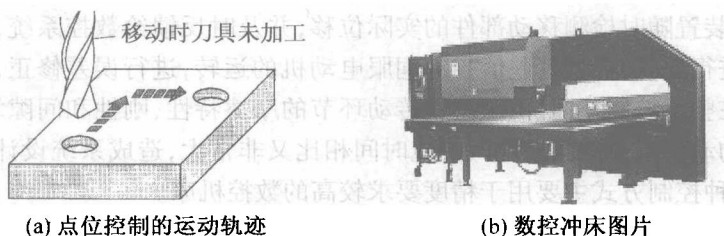


图 1.7 点位控制系统

(2) 直线控制系统 直线控制系统除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制相关点之间的移动速度和轨迹,其运动路线与机床坐标轴平行或成固定夹角,通常用于加工矩形、台阶形零件等。具有直线控制功能的机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等。图 1.8 所示为直线控制系统。

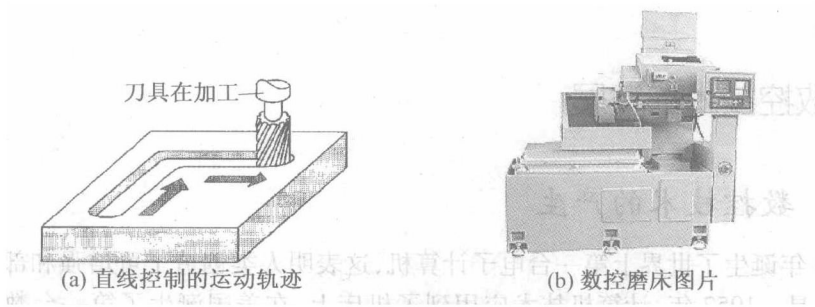


图 1.8 直线控制系统

(3) 轮廓控制数控机床 又称连续控制数控机床,能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行控制。它不仅要控制机床移动部件的起点和终点坐标,而且要控制整个加工过程中每一点的速度和位移量,运动轨迹是任意斜率的直线、圆弧等。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、加工中心等。图 1.9 所示为轮廓控制系统。

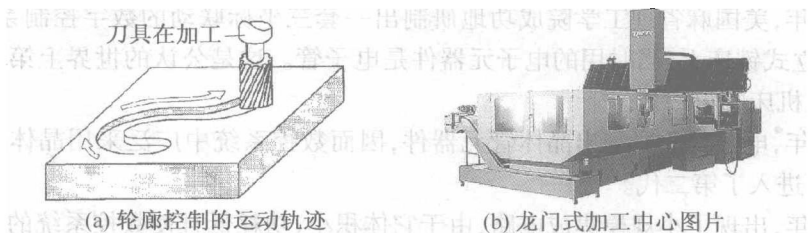


图 1.9 轮廓控制系统

1.3.3 按伺服控制系统分类

(1) 开环控制数控机床 这类机床的进给伺服驱动没有检测反馈装置, 数控系统发出的指令信号流是单向的, 采用步进电动机作为驱动元件。开环控制系统具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点。应用在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合。

(2) 闭环控制数控机床 这类数控机床配置有位置和速度反馈装置。在实际加工中, 位移检测装置随时检测移动部件的实际位移, 并及时反馈给数控系统, 将实际位移量与指令信号进行比较, 根据其差值控制伺服电动机的运转, 进行误差修正, 直到位移误差消除为止。在整个控制环内, 由于机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性, 且机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大, 造成系统设计复杂和调整困难。因此, 这种控制方式主要用于精度要求较高的数控机床。

(3) 半闭环控制数控机床 这类数控机床的检测装置安装在伺服电动机或丝杠端部, 这样可以消除机械传动环节对系统稳定性的影响, 而机械传动误差可采用软件定值补偿方法解决, 可获得满意的精度。因此, 大多数数控机床采用半闭环控制。

除了以上三种基本分类方法外, 目前还有按所用数控装置的构成方式, 分为硬件数控和计算机数控(又称软件数控); 还有按控制坐标轴数与联动轴数, 分为三轴二联动和四轴四联动等; 还有按功能水平的高低, 分为高档数控、中档数控和低档数控(又称经济型数控)等。

1.4 数控技术的发展

1.4.1 数控技术的产生

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机, 这表明人类创造了可增强和部分代替脑力劳动的工具。1952 年, 计算机技术应用到了机床上, 在美国诞生了第一台数控机床。从此, 传统机床产生了质的变化。近半个世纪以来, 数控系统经历了两个阶段和六代的发展。

(1) NC(Numerical Control)阶段(1952 ~ 1970) 早期计算机的运算速度低, 不能适应机床实时控制的要求, 数控系统的功能由数字逻辑电路实现, 称为硬件数控系统。这个阶段随着电子元器件的发展历经三代:

1952 年, 美国麻省理工学院成功地研制出一套三坐标联动的数字控制系统, 并把它装在一台立式铣床上, 当时用的电子元器件是电子管。这是公认的世界上第一台数控机床, 是数控机床的第一代。

1959 年, 电子行业研制出晶体管元器件, 因而数控系统中广泛采用晶体管和印刷电路板, 从而进入了第二代。

1960 年, 出现了小规模集成电路, 由于它体积小、功耗低且使数控系统的可靠性得到进一步提高, 数控系统发展到了第三代。

以上三代,都称为硬件数控系统(NC)。

(2)计算机数控(Computer Numerical Control)阶段(1970~今) CNC系统采用小型计算机取代专用计算机,其部分功能由软件实现,具有价格低、可靠性高和功能多等特点,从此进入了计算机数控(CNC)阶段,即进入了第四代。

1971年,美国英特尔公司开发和使用微处理器并将它应用于数控系统,数控机床得到飞速发展和广泛的应用,这就是第五代。

1990年,PC机的性能达到数控系统核心部件的要求,从此开始了基于PC的开放数控系统,即进入第六代。

1.4.2 直接数字控制系统

直接数字控制系统,可以理解为用一台计算机直接控制一群机床,简称DNC(Direct Numerical Control)系统,又称为群控系统,分为间接型、直接型和计算机网络三种。

(1)间接型 使用主计算机控制每台数控机床,加工程序全部存放在主计算机内,加工零件时,由主计算机将加工程序分送到每台数控机床的数控装置中,每台数控机床还保留原有功能,可以脱离DNC系统而独立操作。

(2)直接型 机床群中每台机床不再安装数控装置,只有一个由伺服驱动电路和操作面板组成的机床控制器。加工过程所需要的功能全部集中,由主计算机完成,这种系统内的任何一台数控机床都不能脱离主计算机单独工作。

(3)计算机网络 系统使用计算机网络协调各个数控机床工作,最终可以将该系统与整个工厂的计算机联成网,形成一个较大的、较完整的制造系统。

1.4.3 柔性制造单元及柔性制造系统

1.4.3.1 柔性制造单元(FMC, Flexible Manufacturing Cell)

传统的“刚性”自动化生产线主要实现单一品种的大批量生产,只能加工一个或几个类似的零件,产品要更新换代,自动流水线改动非常大。“柔性”是相对于“刚性”而言的,所谓柔性,是指一个制造系统适应各种生产条件变化的能力,它与系统方案、人员和设备有关。

一台数控机床或加工中心,装上自动装卸零件的装置即可构成柔性制造单元。FMC根据需要自动更换刀具和夹具,适合加工形状复杂的零件。FMC可以作为FMS(Flexible Manufacturing System)的基本单元。

1.4.3.2 柔性制造系统(FMS)

FMS是由数控机床、物流贮运装置和计算机控制系统组成的自动化制造系统,它包括多个柔性制造单元,并能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整,适用于多品种、中小批量生产。

FMS的工艺基础是成组技术,它按照成组的加工对象确定工艺过程,选择相适应的数控机床和零件、工具等储运系统,并由计算机进行控制。FMS不仅实现了生产过程中信息流的自动化,还实现了传递各种物质流的自动化。