

高 等 学 校 教 材



机床数控技术

主 编 梅雪松

副主编 许睦旬 徐学武



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

机床数控技术

Jichuang Shukong Jishu

主 编 梅雪松

副主编 许睦旬 徐学武

参 编 马振群 孙挪刚 姜歌东 张东升 陶 涛
孔凡峰 章 云 胡振邦 冯 斌



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是高等工科院校本科生数控技术课程教材，共分9章，内容包括概述、数控机床的编程技术、数控系统的硬件与软件、数控系统的逻辑控制与通信、数控伺服反馈测量元件原理、伺服进给驱动系统、机床主轴系统与控制、机床误差与控制、数控系统应用举例。

本书也可作为相关专业研究生的教学参考书，还可作为从事数控机床设计、研究、开发、应用的科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术 / 梅雪松主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2013. 4

ISBN 978 - 7 - 04 - 037007 - 2

I. ①机… II. ①梅… III. ①数控机床-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 031229 号

策划编辑	李文婷	责任编辑	李文婷	封面设计	于文燕	版式设计	王艳红
插图绘制	尹 莉	责任校对	胡晓琪	责任印制	赵义民		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京京科印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	22.25	版 次	2013 年 4 月第 1 版
字 数	540 千字	印 次	2013 年 4 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	32.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 37007 - 00

前 言

数控技术广泛应用于国民经济的各行业,特别是制造业中装备技术的发展与数控技术息息相关。数控技术已经成为先进制造技术的核心技术之一,也是工业发达国家制造业竞争的制高点。这种形势对机械类专业的学生在数控技术方面的知识与技能提出了更高的要求。

本书结合了编者多年的教学科研成果,以数控技术应用最早也是最普遍的数控机床为对象,使读者通过系统地学习数控技术的基本理论和知识,掌握数控技术的基本概念、基本原理,熟悉其应用方法,了解数控系统的基本构成,并最终具有实际数控系统使用、维护和初步的设计能力。

本书第1章由梅雪松、马振群执笔,第2章由孙挪刚执笔,第3章、第4章由徐学武、陶涛执笔,第5章由许睦旬执笔,第6章由马振群、姜歌东执笔,第7章由梅雪松执笔,第8章由张东升执笔,第9章由徐学武执笔。本书由梅雪松任主编,由许睦旬、徐学武任副主编,由梅雪松、许睦旬统稿。此外,孔凡峰、章云、胡振邦、冯斌等也参加了部分内容的编写。中北大学王爱玲教授审阅了本书,并对本书提出了不少宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书是高等工科院校机械工程及其自动化专业以及近机械类专业的专业课教材,也可作为相关专业研究生教学参考书,还可作为从事数控机床设计、研究、开发、应用的科技人员的参考用书。

由于编者的水平有限,加之时间仓促,书中不足之处,恳请专家、同仁和广大读者批评指正,联系邮箱为 xjtx@mail.xjtu.edu.cn。

编者

2012年12月

目 录

第 1 章 概述	1	5.2 脉冲编码器的测量原理	188
1.1 数控技术的定义	1	5.3 光栅测量原理	191
1.2 数控机床的分类	2	5.4 激光测量原理	194
1.3 机床数控系统的结构	5	5.5 旋转变压器的原理	199
1.4 机床数控技术的发展	9	习题	200
习题	12	第 6 章 伺服进给驱动系统	202
第 2 章 数控机床的编程技术	13	6.1 伺服进给驱动系统的基本要求	202
2.1 数控程序编制代码原理	13	6.2 步进电动机及其控制原理	203
2.2 数控机床坐标系	25	6.3 直流伺服电动机及其控制原理	212
2.3 数控程序编制中的工艺分析	29	6.4 交流伺服电动机及其控制原理	218
2.4 程序编制中的数学处理	36	6.5 伺服进给驱动系统建模及其动态特性分析	229
2.5 数控加工程序的编制	39	习题	240
2.6 自动编程简介	58	第 7 章 机床主轴系统与控制	242
习题	70	7.1 数控机床主轴结构	242
第 3 章 数控系统的硬件与软件	74	7.2 主轴控制原理	250
3.1 数控系统主控硬件的构成	74	7.3 高速主轴的动平衡控制	262
3.2 数控系统软件的构成	86	习题	274
3.3 轴运动控制软件算法	93	第 8 章 机床误差与控制	275
3.4 数控机床参数	126	8.1 机床本体的误差	275
习题	130	8.2 主轴系统误差	278
第 4 章 数控系统的逻辑控制与通信	131	8.3 进给系统误差	279
4.1 数控系统的 PLC 原理	131	8.4 机床数控系统的误差补偿与控制	283
4.2 PLC 与主控系统的数据交换及其接口	152	习题	299
4.3 数据通信及接口	164	第 9 章 数控系统应用举例	301
4.4 高速伺服总线及接口	172	9.1 国外数控系统	301
习题	181	9.2 国产数控系统	320
第 5 章 数控伺服反馈测量元件原理	182	9.3 MX-3 型开放式数控系统简介	332
5.1 位置检测装置的输出接口与传输协议	182	习题	347
		参考文献	348

第 1 章

概 述

数控技术广泛应用于航空航天、船舶、电子、汽车、纺织、印刷、医疗卫生等领域,对国家的科技进步和制造业的发展具有举足轻重的作用。学习数控技术的基本概念、了解数控技术的发展历程是进一步学习本课程的基础。本章主要介绍数控技术的定义、数控机床的分类、机床数控系统的结构及数控技术的发展等内容。

1.1 数控技术的定义

1.1.1 广义的数控技术

数控技术是以计算机技术为核心,结合控制理论发展起来的所有自动控制领域的一切应用与实践技术,其目标是实现控制对象的自动控制和最优运行结果。因此,计算机是数控技术的实现手段,控制理论则是数控技术的实现方法。其内涵是通过在具体控制对象和目标需求进行建模,根据控制理论提出控制决策,利用计算机实现控制过程的计算、分析与处理,输出所需要的控制信号。通过对控制信号的功率放大驱动执行机构,达到对控制对象所需要的目标控制。

数控技术在现代工业中的应用非常广泛。图 1-1 所示为工业窑炉的温度控制原理图,安置在窑炉中的温度传感器将窑体内的温度采集给计算机,计算机对目标温度进行处理分析,按照窑炉热产生与耗散的平衡算法提出温度稳定控制决策,并将决策结果以数字信号的方式输出给执行温度调节的发热器件,从而实现工业窑炉的温度控制。

另一个应用是大家熟知的仿人机器人。图 1-2 所示是仿人机器人抓举物体的控制原理图,机器人在抓举物体时,需要对抓举对象的空间位置进行识别与感知,这个工作依靠安装在机器人头部位置的 CCD 双目传感器完成。计算机通过对位移传感器的信息处理,计算出被抓物体的空间坐标,并将这些坐标值按照确定好的轨迹规划控制算法,以数字信号的方式分配给机械臂关节上的伺服电动机,通过这些电动机的运动组合,使手臂准确地运动到目标物体位置,实现物体的抓举运动控制。如果还需要控制抓举不同重量的物体,必须在机器人的手臂上安装感知抓力的传感器。计算机通过处理抓力的信息,按照手指抓力的平衡控制原理,计算出手指关节的运动分配数据,并输出给驱动手指运动的电动机,从而达到抓力的控制。

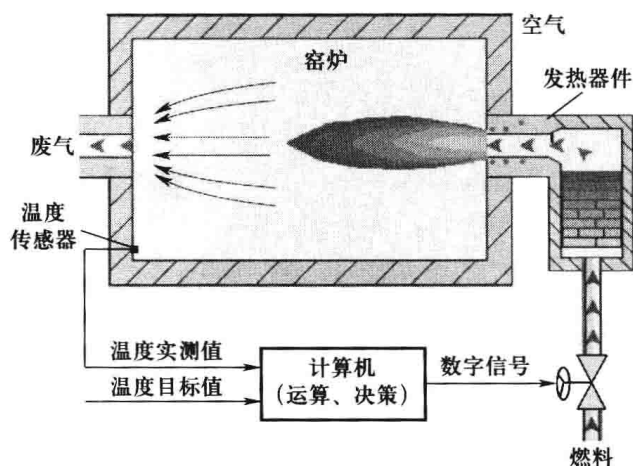


图 1-1 工业窑炉的温度控制原理图

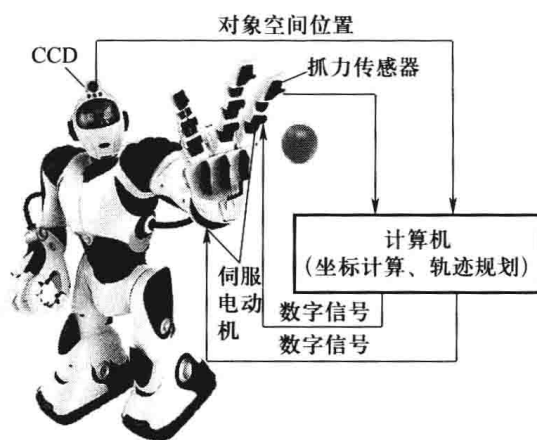


图 1-2 仿人机器人抓举物体的控制原理图

我们可以将上述两种不同的控制任务都归为数控技术的应用,只是后一个控制系统的组成更为复杂,控制目标的达成更加困难。类似的数控技术的应用可在如汽车、飞机、卫星等人们日常接触的工业领域见到,因此,数控技术是一个广泛应用的技术。

1.1.2 本课程所限定的数控技术

如上所述,数控技术广泛应用于现代工业的各个场合,是为实现某个工业目标而采用的自动控制技术。从机械加工中的数控机床、机器人、柔性生产线,到轻工机械中的印刷机、切纸机、包装机械、木工机械,再到集成芯片制造中的光刻机、封装机等,都应用了数控技术。因此,数控技术涉及的理论、知识非常宽泛。然而,对于机械工程专业的科技人员来说,面对的主要是制造业中的设备应用与开发问题。因此,本课程所述的数控技术限于以机械设备及其实现的工艺目的为应用对象。

机械设备是人类社会发展过程中为取代人力或者兽力,用于提高生产效率和质量的器具,是为达到生产过程中的工艺目的而输出运动和功率的机构。因此,采用数控技术来实现运动和功率的输出控制,就是希望机械设备为实现设备的工艺目标能够获得更复杂的、更精准的运动和功率。

机械设备千差万别,各有不同,但是,可以选取一个具有代表性,而且对运动和功率的控制最典型且具有较高要求的机械设备来研究其数控技术的应用及其发展问题。因此,数控机床这类机械设备就成为本课程的研究对象,这不仅因为机床是所有机械设备的制造设备或基础设备,而且机床工艺所需求的运动和功率控制相对其他设备而言更具有复杂、精准的控制要求,集中体现了数控技术最核心、最前沿的技术内容,并随着数控技术的发展而发展。因此,学习机床数控技术对其他机械设备的数控技术具有普遍意义。

1.2 数控机床的分类

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体四部分组成,是数控技术的典型应用对象如图 1-3 所示。

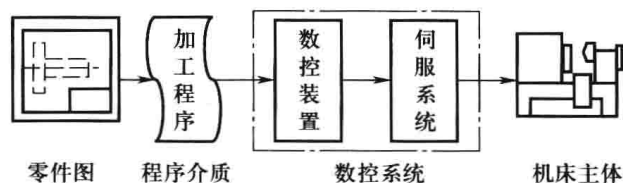


图 1-3 数控机床的组成

数控机床与普通机床的主要区别是:数控机床是按照事先编制好的零件加工程序自动加工零件,而普通机床由操作人员手工操作来加工零件。在数控机床上只要改变控制机床动作的程序,就可以达到加工不同零件的目的。因此,数控机床是一种灵活、高效的自动化机床,较好地解决了复杂、精密、多变的零件加工问题,在机械加工中得到广泛的应用。

数控机床种类很多,规格不一,按照数控技术的应用目标和要求,可以从不同的角度对其进行分类。

1.2.1 按刀具与工件的相对运动轨迹分类

数控机床按其控制刀具与工件相对运动的方式不同,可以分为点位控制和轮廓控制两大类。

1. 点位控制(又称位置控制)数控机床

这类数控机床的特点是只要求控制刀具从一点移到另一点的准确位置,而对于两点之间的运动轨迹不作严格要求,刀具在移动过程中不进行切削加工。例如,点位控制的孔加工机床,只要求获得精确的孔系坐标。图 1-4 所示为点位控制钻孔加工示意图。

此类数控机床常用的有数控钻床、数控镗床、数控冲床、印制电路板钻床等。

2. 轮廓控制(又称连续控制)数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制轮廓的起点和终点坐标值,还要控制两点之间运动轨迹上每一点的速度和位置,即这类数控机床的控制系统必须能够对两个或两个以上坐标方向的位移进行严格的连续控制。图 1-5 所示为轮廓控制铣削加工示意图。

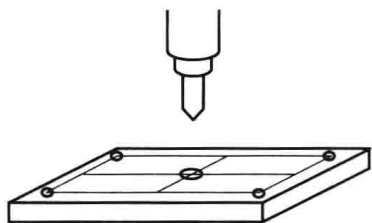


图 1-4 点位控制钻孔加工示意图

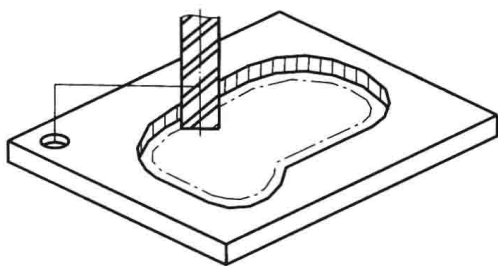


图 1-5 轮廓控制铣削加工示意图

现代数控机床绝大部分都属于这类,例如数控铣床、数控车床、数控磨床、电加工机床和加工中心等。

1.2.2 按伺服驱动系统的控制方式分类

数控机床按其伺服驱动系统的控制方式不同,可以分为开环控制、闭环控制和半闭环控制三大类。

1. 开环控制数控机床

这类数控机床没有位置检测装置。数控装置将零件程序处理后,输出数字指令信号给伺服系统以驱动步进电动机转动,再经传动机构带动工作台移动。开环控制数控机床示意图如图 1-6 所示。

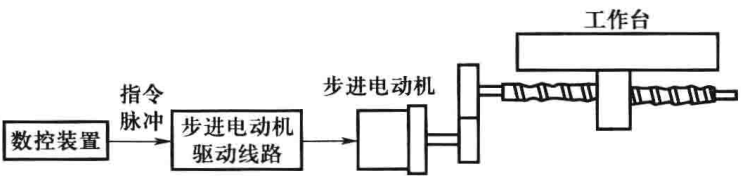


图 1-6 开环控制数控机床示意图

这类数控机床的特点是工作比较稳定、结构简单、维修方便、成本低,但其速度及精度都比较低,适用于对精度要求不高的场合。

2. 闭环控制数控机床

这类数控机床带有位置检测装置。位置检测装置安装在机床工作台上,直接对工作台的位移量进行检测。数控装置发出进给信号后,经伺服驱动使工作台移动。然后位置检测装置检测出工作台的实际位移并反馈到输入端,与指令位移进行比较,用差值进行控制,直到差值等于零为止。闭环控制数控机床示意图如图 1-7 所示。

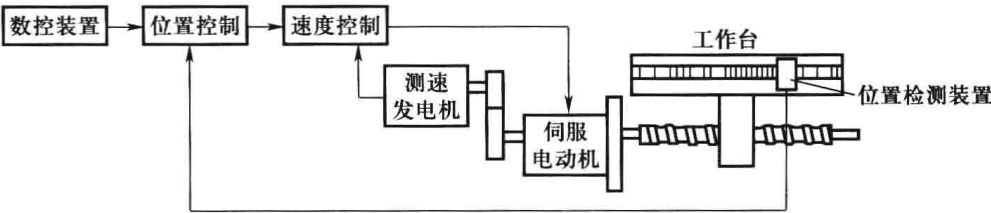


图 1-7 闭环控制数控机床示意图

这类数控机床可以消除由于传动部件存在的精度误差给零件加工带来的影响,从而可以获得很高的加工精度。但是由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内,各部件的摩擦特性、刚性以及间隙等都是非线性量,直接影响到伺服系统的稳定性。因此,其系统设计和调整困难、结构复杂、成本高。这类数控机床主要用于一些对精度要求很高的镗铣床、超精密车床及铣床、加工中心等。

3. 半闭环控制数控机床

这类数控机床的检测装置安装在进给丝杠或电动机端头,通过测量丝杠旋转角度来间接获得工作台位移的反馈信息。图 1-8 所示为半闭环控制数控机床示意图。

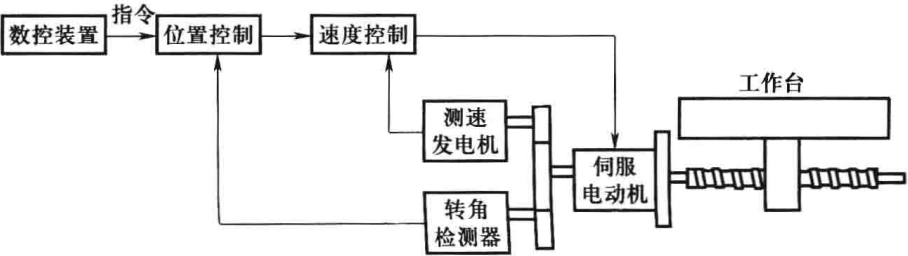


图 1-8 半闭环控制数控机床示意图

这类数控机床的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台,因此可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件,可以获得比较满意的精度及速度。因此,大多数数控机床采用这种半闭环的伺服系统控制方式,如数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.3 按功能水平分类

数控机床按其功能水平的高低分为高、中、低档三类。数控机床功能水平的高低主要由它们的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平等决定,主要包括数控系统的中央处理器(Central Processing Unit,简称 CPU)位数、机床联动轴数、分辨率、进给速度、显示功能、通信功能等。但是,这三个档次的数控机床之间并没有严格的界限,而且不同时期划分的标准也不尽相同。表 1-1 中所列数据为目前普遍认为的分类指标,可供参考。

表 1-1 数控机床按功能水平分类表

功能	高档	中档	低档
CPU 位数	32 位、64 位	16 位、32 位	8 位、16 位
联动轴数	3 ~ 5	3 ~ 5	2 ~ 3
分辨率/ μm	< 0.1	0.1 ~ 10	> 10
进给速度/(m/min)	> 24	15 ~ 24	< 15
显示	三维动态	字符/图形	LED/字符

1.2.4 按工艺用途分类

数控机床按其工艺用途的不同,可以分为以下几类:

1. 金属切削类

属于此类的有数控车床、数控钻床、数控磨床、数控铣床、数控齿轮加工机床、加工中心、虚拟轴加工机床等。

2. 金属成形类

属于此类的有数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控回转头压力机等。

3. 特种加工类

属于此类的有数控线切割机床、数控电火花加工机、数控激光切割机、数控火焰切割机等。

4. 其他类

属于此类的有数控装配机、数控测量机等。

1.3 机床数控系统的结构

机床数控系统是机床数控技术的具体情况,是实现机床自动控制的核心部件,一般由输入设备、输出设备、数控装置、主轴和进给驱动装置以及位置检测装置等构成。图 1-9 所示为机床数控系统的一般结构图(单点画线框表示数控系统,双点画线框表示机床主机),这种构成是为完成机床的切削加工工艺目标的自动控制而设置的。其中,数控系统的核心是数控装置,目前数控

装置大多采用计算机作为控制部件,故称为计算机数控(Computer Numerical Control,简称 CNC)装置。CNC 装置除了包括由硬件和软件构成的计算机以外,还包含可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)。其中计算机主要处理机床轨迹运动的数字控制,PLC 主要处理开关量的逻辑控制。

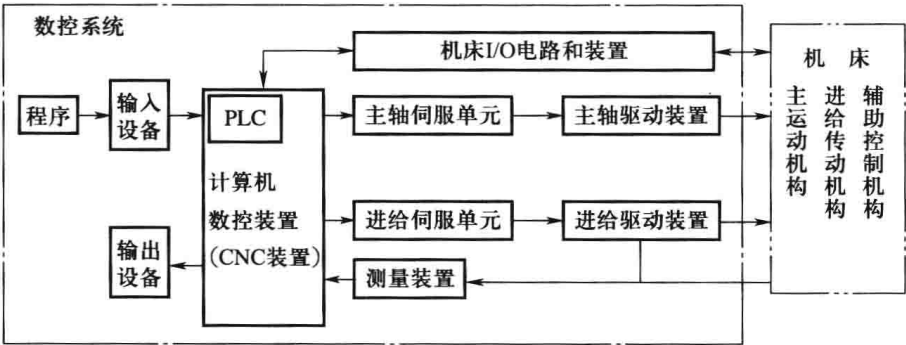


图 1-9 机床数控系统的一般结构

1.3.1 数控系统各部分的功能

1. 输入、输出设备

输入、输出设备是数控系统与外部设备进行交互的装置。交互的信息通常为程序,对于数控机床一般为零件加工程序,即将编制好并记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 装置,或将调试好了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。

2. 计算机

计算机由硬件和软件构成。其硬件包括 CPU、存储器、总线、键盘、显示器、接口电路及位置控制电路等。其软件是由管理软件和控制软件构成。管理软件主要包括输入、I/O 处理、显示、诊断等程序;控制软件包括译码、刀具补偿(简称刀补)、速度处理、插补计算、位置控制等程序。其基本功能是根据输入的零件加工程序进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入输出处理等),然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等)。所有这些工作是由硬件和软件协调配合、共同完成的。

3. PLC

PLC 用来接收来自零件加工程序的开关功能信息(M、S、T 指令)、机床操作面板上的开关量信号以及机床侧的其他开关量信号,并进行逻辑处理,完成输出控制功能,实现各功能及操作方式的连锁。即按照预先规定的逻辑顺序对诸如机床电气设备的启停,主轴的转速、转向及暂停,刀具的更换,工件的夹紧、松开,液压、气动、冷却、润滑系统的运行,以及倍率开关进行控制,并实现各种状态指示、故障报警以及通信、附加轴控制等。

4. 接口

接口是 CNC 装置与外部设备之间联系的桥梁和通道,是获取和传送控制指令、控制信息和数据的通道,包括与上位机的通信接口,大多数控制系统主要采用串行通信和网络通信,常用的标准有 EIA RS-232C、EIA RS-422、EIA RS-485 等;各种输入、输出设备(如键盘、显示器、手摇脉冲发生器、光盘驱动器、电传机等)的接口;与机床侧信号往来的 I/O 接口等。

5. 伺服驱动装置

机床的切削加工需要实现加工刀具的轨迹和速度控制,伺服驱动装置承担着轨迹和速度控制信号的功率放大任务。机床数控系统的伺服驱动装置包括主轴伺服驱动装置和进给伺服驱动装置两部分。伺服驱动装置由伺服驱动单元和伺服电动机组成。主轴驱动装置用于控制主轴的旋转运动,在宽范围内实现速度连续可调,并在每种速度下都能提供切削所需要的功率。进给驱动装置用于控制机床各坐标轴的切削进给运动,在切削过程中提供所需要的转矩,并可以任意调节运动速度,再配以位置控制系统,可实现对工作台(或刀具)位置的精确控制。

6. 位置检测装置

位置检测装置将检测出机床移动的实际位置、速度参数,将其转换成电信号,并反馈到 CNC 装置中。使 CNC 装置能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致,并发出相应指令,纠正所产生的误差。开环控制的数控系统没有设置检测元件,而闭环控制的数控系统则随着位置检测元件的不同又可分为闭环和半闭环数控系统。对于一个设计完善的闭环数控系统,其定位精度和加工精度与位置检测装置的精度密切关联。

1.3.2 数控系统的一般工作流程

机床数控系统的工作流程是按照加工工艺过程和要求编制的控制软件流程来实现的,包括如何让 CNC 装置获取控制数据、识别控制要求、处理控制数据和输出控制指令等几个部分。数控系统的工作过程是在硬件的支持下执行软件的过程,其一般的工作流程如图 1-10 所示。首先,根据零件图编制零件加工程序,再将零件加工程序输入到数控装置,由数控装置对输入的信息进行处理和运算,并控制伺服驱动系统使机床各坐标轴协调运动,从而实现刀具和工件的相对运动,完成零件的加工。

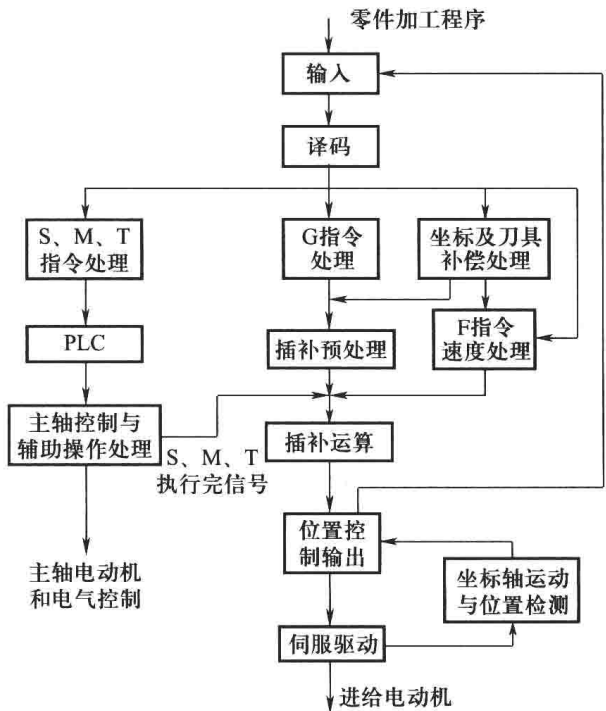


图 1-10 数控系统的工作流程图

1. 输入

输入就是 CNC 装置获取控制数据的过程,CNC 装置通过输入设备输入加工零件所需的零件加工程序和刀具补偿参数等。输入方式有键盘输入、光盘(或磁盘)输入、上位机通信输入、网络输入等。

2. 译码

译码是 CNC 装置识别控制要求的过程。所谓译码是指由计算机以零件程序的一个程序段为单位进行处理,把其中零件的轮廓信息(起点、终点、直线或圆弧等)及 F、S、T、M 指令等信息按一定的语法规则编译成计算机能够识别的数据形式,并以一定的数据格式存放在指定的内存专用区域。编译过程中还可以进行语法检查,发现错误立即报警。

3. 刀具补偿

刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹按系统存储的刀具尺寸数据自动转换成刀具中心(刀位点)相对于工件的移动轨迹。早期的 CNC 装置并没有刀具补偿功能,随着复杂加工过程的需要,人们设计了刀具补偿功能,它为数控加工带来了巨大的便利。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。

4. 进给速度处理

速度处理是指将各坐标合成运动方向上的速度分解成各进给运动坐标方向上的分速度,为之后插补时计算各进给坐标的行程量做准备。另外由于机床加减速过程会造成进给机构的振动,影响加工精度,因此也对机床允许的最低和最高速度限制进行处理。有的数控机床的自动加减速也在这里进行处理。

5. 插补

零件加工程序段中的指令行程信息是有限的,在进行轨迹加工时,CNC 装置必须从一条已知起点和终点的曲线上自动进行“数据点密化”的工作,这就是插补。即在每个周期内,按指令进给速度计算出一个微小的数据段,经过若干个插补周期后,插补完一个程序段的加工,也就完成了从程序段起点到终点的“数据点密化”工作。

6. 位置控制

位置控制的主要工作是在每个采样周期内,将插补计算出的理论位置值与实际反馈位置值进行比较,用其差值控制进给电动机。位置控制可由软件完成,也可由硬件完成。在位置控制中通常还要完成位置回路的增益调整、坐标方向的螺距误差补偿和反向间隙补偿等,以提高机床的定位精度。

7. I/O 处理

I/O 处理是 CNC 装置与机床之间信息传递和变换的通道。其作用一方面是将机床运动过程中的有关参数输入到 CNC 装置中;另一方面是将 CNC 装置的输出命令(如换刀、主轴变速换挡、加切削液等)转换为执行机构的控制信号,实现对机床的控制。

8. 显示

显示主要是为操作者提供方便。显示装置有 LED 显示器、CRT 显示器和 LCD 显示器,一般位于机床的操作面板上。通常有零件程序的显示、参数的显示、刀具位置显示、机床状态显示、报警信息显示等。有的 CNC 装置中还有刀具加工轨迹的静态和动态模拟加工图形显示。

1.4 机床数控技术的发展

1.4.1 机床数控技术的发展历程

促进数控技术发展的原动力是第二次世界大战后的军备竞赛。1948年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升机螺旋桨叶片轮廓用检查样板的机床时,由于样板形状复杂多样、精度要求高,一般加工设备难以适应,于是首先提出由计算机控制机床的设想。1949年在麻省理工学院(MIT)伺服机构研究室的协助下,开始数控机床的研究。于1952年成功研制了世界上第一台三坐标直线插补且连续控制的立式数控铣床。这是第一代数控系统,即电子管时代,它的控制装置由大约2 000个电子管组成,体积约有一间普通实验室那么大。从那时起,随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的发展,数控技术得到了迅速发展,且不断地更新换代。

1959年,晶体管器件的出现使电子设备的体积大大减小,数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板,数控技术的发展进入第二代,即晶体管时代。美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker Co., K & T)首次成功开发了带有自动换刀装置的数控机床,称之为“加工中心”(Machining Center,简称MC)。从1960年开始,数控技术进入实用阶段,工业发达国家如美国、德国、日本等开始开发及生产和使用数控机床。

1965年,出现了小规模集成电路。由于其体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得到进一步提高,数控系统从而发展到第三代,即集成电路时代。

以上三代数控机床的控制系统的所有功能都是靠硬件实现的,通常称之为普通数控系统(NC)。

随着计算机技术的发展,1970年小型计算机开始用于数控系统,数控技术的发展进入计算机数控(Computer Numerical Control,简称CNC)阶段,一般称之为第四代。数控系统主要由计算机硬件和软件组成,其突出的特点是许多数控功能可以由软件来实现,系统变得灵活、通用性好。

1974年,微处理器开始用于数控系统,数控技术发展到第五代,即微型机数控(Microcomputer Numerical Control,简称MNC)系统。由于中、大规模集成电路的可靠性高及价格低廉,自20世纪70年代末到80年代,数控技术在全世界得到了广泛的发展和应用。

从20世纪90年代开始,个人计算机(Personal Computer,简称PC)的发展日新月异,基于PC平台的数控系统应运而生,数控技术的发展进入第六代,即个人计算机数控系统。现在企业普遍使用的大多仍然是第五代数控系统,其典型代表是日本的FANUC-0系列和德国的SINUMERIK810系列数控系统。

我国的数控技术研究起步于1958年,由清华大学和北京第一机床厂合作研制我国第一台数控铣床。1966年研制成功晶体管并用于数控系统,1972年研制成功集成电路数控系统,并出现了线切割机、数控铣床等代表性产品。但由于各种原因,一直没有取得实质性成果。当时,数控机床的品质和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂的、特殊的零件加工中使用。

直到20世纪80年代初,我国才先后从日本、德国、美国等国引进了一些CNC装置及主轴、进给伺服系统的生产技术,并陆续投入了生产。这些数控系统性能比较完善,稳定性和可靠性都

比较好,在数控机床上采用后,得到了用户的认可,从而结束了我国数控机床发展徘徊不前的局面,使我国数控机床在质量和数量上都有了飞跃的发展。到 20 世纪 90 年代初,国内的数控机床及数控系统的生产具有了一定的规模。2003 年开始,我国已成为全球最大的机床消费国,也是世界上最大的数控机床进口国。

近年来数控机床无论从生产量、消费量还是进口量上都加快了增长速度,但进口量增长率始终大于生产量增长率,国外数控产品始终对国产数控产品保持着压力。高、中档数控机床几乎全部依赖进口。

我国机床数控技术的发展水平与工业发达国家相比还有较大差距,尤其是数控系统的可靠性还较差,核心技术严重缺乏。数控功能部件是另外一个薄弱环节,其性能和价格决定了数控产品的性能和价格,是影响国产数控产品使用的主要根源。

1.4.2 机床数控技术的发展支撑

机床数控技术是一门集计算机技术、伺服驱动技术、自动化控制技术、测量技术、机械制造技术、微电子技术、通信技术、信息处理技术等多学科交叉的综合技术。其中计算机技术与伺服驱动技术是机床数控技术发展的主要支撑技术。

1. 计算机技术方面

机床数控技术是随着计算机技术的发展而发展起来的。计算机技术的发展,不仅提供了控制技术的发展空间,同时提供了信息的传输与分析的发展空间,也促使制造业得到长足的发展。

(1) 高效率 随着计算机运算速度的不断提高,现代数控系统已从采用 16 位的 CPU 发展到普遍采用 32 位的 CPU,并向 64 位的 CPU 发展;主机频率由 5 MHz 提高到 20 ~ 33 MHz。有的系统还制造了插补器的专用芯片,以提高插补速度;有的采用多 CPU 系统,减轻主 CPU 的负担,进一步提高控制速度,也提高了数控机床的加工效率。

(2) 高可靠性 在集成化基础上,计算机容量越来越大,使得数控系统不仅能完成机床的数控功能,而且还可以充分利用软件技术使系统智能化,给使用者以更大的帮助。例如,在加工过程中可自动修正、调节与补偿各项参数,实现了在线诊断和智能化故障处理,大大提高了数控系统的可靠性。

(3) 使用方便 在计算机网络化的基础上,计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD)及计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称 CAM)与数控技术集成为一体,建立了友好的人机界面,给使用者带来更多的方便。例如使用自动编程功能时,操作者只要将加工形状和必要的毛坯形状输进数控系统,就能自动生成加工程序,这样数控加工的编程时间将大为缩短,即使经验不足的操作者也能进行操作。

(4) 经济性好 采用微机数控系统后,系统的性价比大为提高。现在利用 PC 丰富的软、硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统将进一步提高数控系统的性价比,降低成本。

2. 伺服驱动技术方面

伺服驱动技术已经历了几代的演变过程,伺服驱动技术的发展对数控系统的功能、动态特性和控制品质具有决定性的影响。

(1) 高速、高精度 目前交流伺服驱动系统发展迅速,已由模拟化向数字化方向发展。例如采用数字伺服系统,可使伺服电动机的位置环、速度环的控制都实现数字化。日本对 FANUC15

系列开发出专用的数字信号处理器,位置指令输入后,它与从脉冲编码器检测来的位置信息以及从电动机测速装置检测来的速度信息一起,在专用的微处理器芯片内进行位置控制、速度控制等运算,最后向功率放大器发出指令,以达到对电动机的高速、高精度控制。再如,采用现代控制理论中的各种算法,可减少滞后量,提高跟随精度,实现高速和高精度的伺服控制。还有,采用高分辨率的位置编码器,可提高电动机的角位移的检测精度。这些都为进一步提高加工速度和加工精度创造了条件。

(2) 稳定性好 随着伺服驱动技术的发展,数控系统能实现多种补偿功能,提高数控机床的动态特性和稳定性。数控系统的补偿功能主要用来补偿机械系统带来的误差。例如,直线度的补偿、丝杠和齿轮间隙补偿、热变形误差补偿等。另外,还可根据机床使用时的实际情况(如机床零件的磨损情况等)适时地修订补偿值。

1.4.3 机床数控技术的发展趋势

机床数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,它对国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用。从目前世界上数控技术及其装备发展的趋势来看,其主要研究热点有以下几个方面:

1. 数控系统向开放式体系结构发展

开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、可扩展性,并可以较容易地实现智能化、网络化。近几年许多国家纷纷研究开发这种系统,如美国国家制造科学中心(National Center of Manufacturing Science,简称 NCMS)与空军共同领导的“下一代工作站/机床控制器体系结构(NGC)”,欧共体的“自动化系统中开放式体系结构(OSACA)”,日本的 OSEC 计划等。开放式体系结构的硬件、软件和总线规范都是对外开放的,它为用户根据实际需要灵活配置数控系统带来了极大的方便,促进数控系统多档次、多品种的开发和应用,大大缩短了开发生产周期。同时,这种数控系统可随 CPU 升级而升级,而结构可以保持不变。

2. 数控系统向软数控方向发展

近年来,数控系统有正在从硬件数控向软件数控方向发展的趋势。例如,SOFT 型开放式数控系统,其 CNC 软件全部装在计算机中,而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口。它提供给用户最大的选择性和灵活性,用户可以在 Windows NT 平台上利用开放的 CNC 内核开发所需的各种功能,构成各种类型的高性能数控系统。这种 SOFT 型开放式数控系统具有最高的性价比。其典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT 等。

3. 数控系统向智能化方向发展

随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统而使自诊断和故障监控功能更趋完善。智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置能自动识别负载并自动优化调整参数。

4. 数控系统向多轴联动和复合化方向发展

采用多轴联动对三维复杂曲面零件进行加工时,可用刀具最佳几何形状进行切削,不仅光洁

度高,而且效率也可大幅度提高,因此多轴联动数控系统一直是一个研究的热点。为了尽可能降低加工的无用时间,可将不同的加工功能整合在同一台机床上,因此复合功能的机床成为近年来发展很快的机种,也正在呈现多样化的态势。目前,主流的数控系统开发商都能提供高性能的复合机床数控系统。

5. 数控系统的高速、高精度发展

为适应高速、高精度机床运动的控制需求,数控系统的高速、高精度控制功能成为其发展的重要特征。从数控系统的硬件发展来看,大量采用了具有高速数据处理能力的芯片和开关器件,将对实时控制要求特别高的软件进行硬件化处理,采用高速总线技术实现与伺服驱动的数据通信等。另一方面,采用新的控制算法,如纳米插补、适应高加减速的速度预处理、高增益控制等软硬件技术都体现了数控系统向着高速、高精度方向发展的趋势。

6. 数控系统的网络化发展

随着网络化和信息化技术的成熟和发展,越来越多的数控系统具有了与外部的其他控制系统或上位计算机进行网络连接、网络控制以及远程通信服务等功能。数控系统的网络化进一步促进了柔性自动化制造技术的发展,现代柔性制造系统从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(柔性制造单元 FMC、柔性制造系统 FMS、可调组合自动线 FTL、柔性加工自动线 FML)向面(工段车间独立制造岛 FA)、体(计算机集成制造系统 CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展。柔性自动化技术以易于联网和集成为目标,同时注重加强单元技术的开拓、完善,数控机床及其构成的柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP、MTS 联结,向信息集成方向发展,网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

7. 制造系统向绿色环保方向发展

随着人们对于环境和资源的重视,数控机床的发展趋势不仅是提高机床的性能,机床的绿色环保也日益受到重视。要加强绿色环保意识,在利用数控设备资源过程中,要使资源利用率最高、消耗最低、环境污染最小。例如,合理地使用切削液,减少变质,减少切削液中对人体有害的化学物质,改进空气、油雾、烟雾等滤清装置,最大限度地减少环境污染。再如,提高设备资源利用率不仅可使用户增效,也能促使整个产业链大量节材、节能、减排。总之,对绿色环保方面的要求日趋严格是未来经济发展的方向,也是产品进入国际市场的基础。

习 题

1. 广义数控技术的定义是什么?
2. 简述数控机床的种类。
3. 简述机床数控系统各构成部分及其功用。
4. 简述机床数控系统的一般工作流程。
5. 简述开环、闭环、半闭环控制数控机床的区别。
6. 简述数控技术发展的主要支撑技术。
7. 简述数控技术的发展趋势。