

643

2008
w31a

现代数控技术系列

现代数控原理及控制系统

王爱玲 张吉堂 吴雁 编著
主编 王爱玲 副主编 张吉堂



A0959723

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍机械加工领域中的有关数控原理与系统,主要内容包括机床数字控制的基本原理、机床数控系统的基本概念,数控加工程序的预处理,点位控制与点位/直线切削控制、连续切削控制的各种插补算法,数控系统的刀具补偿原理以及数控机床进给速度的控制等数控技术,并介绍了机床数控系统的硬、软件结构及接口电路、数控系统的通信等相关技术,还介绍了具有代表性的控制系统——开放式数控系统。本书取材新颖,介绍的内容由浅入深,循序渐进,理论与实际相结合,着重于应用,突出理论的系统性、实例的代表性和技术的先进性。

本书可作为高等院校机械制造及其自动化专业的教材和参考书,可作为机电一体化类专业各种层次的继续工程教育的数控培训教材,也可供自动化领域及机械制造业有关工程技术人员和研究人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控原理及控制系统/王爱玲主编. —北京:国防工业出版社,2002.1

(现代数控技术系列)

ISBN 7-118-02649-2

I. 现... II. 王... III. 数控机床—控制系统
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064503 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15¼ 342 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代数控技术系列》编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 李志勤 白恩远

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 彪	王俊元	王爱玲	白恩远
任建平	孙爱国	吴 雁	吴淑琴
沈兴全	张吉堂	赵学良	赵建强
赵美虹	彭彬彬	蓝海根	

序 言

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础,它的发展和运用,开创了制造业的新时代,使世界制造业的格局发生了巨大变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,它的关联效益和辐射能力更是难以估计;数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集在化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成,发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品,世界贸易额逐年增加。

因此,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

现代机械加工业逐步向柔性化、集成化、智能化方向发展,需要将不断飞速发展的通用计算机技术及其体系结构、现代自动控制理论及现代的电力电子技术应用于新一代数控机床并突出其“开放式”及“智能化”的特征。

我国从发展数控技术的战略高度结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

本系列书籍作者选准了这个题材,1995 年就在本单位机械设计制造及其自动化专业开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者所在单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自 1995 年以来,开办了 40 多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为 70 多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。

在新产品研究开发方面,作者应用现代数控技术为企业开发出复杂曲面 CAD/CAM

一体化多种产品。

本系列书籍是在作者多年从事现代数控技术方面的教学、科研、基础理论研究和工作的基础上总结深化撰写成的。本系列书籍系统地分专题详细论述了现代数控技术的有关理论,内容充实,重点突出,同时尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验;在注重理论系统性的同时,强调如何应用理论分析解决实际问题,如数控编程实例及故障诊断实例等。在编写结构上,内容深入浅出,图文并茂,条理清楚,便于学用。

相信这套系列书籍能够有益于我国数控技术领域人才的培养,有益于我国数控技术的发展,有益于我国立足世界数控技术之林。



2001年9月13日于太原

前 言

现代数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的机床控制新技术,它是综合了微电子技术、计算机技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术和机械制造技术的最新成就形成的一种高新技术,是先进制造技术的核心技术之一。而采用数控技术的典型产品——数控机床是机电工业的重要基础装备,是汽车、石化、电子等支柱产业及重矿产业生产现代化的最主要手段,也是世界第三次产业革命的一个重要内容。

近年来,工业发达国家数控技术发展迅速,我国也在积极研究开发具有自主产权的数控技术产品。同时,我国的不少制造企业引进了相当数量的数控设备,但普遍存在着设备利用率偏低的问题。因此,许多研究机构和制造企业数控技术方面的高级人才需求日益迫切。针对这种情况,全国不少高等院校加强了数控技术方面人才培养的力度和速度,纷纷开设相关专业和专业方向。数控原理是数控技术的核心,但目前还未见到有适合本科生教学的数控原理教材。现有的包含数控原理的教材大多比较笼统且与其他数控内容编在一起,不便于教学。一两本单独的数控原理教材是为成人培训编写的,内容太简单,不适合本科生教学。针对这种情况,我们自编了一本《数控原理与数控装置》的本科生教材,经过几年的教学实践的检验,不断进行补充、更新、修改编著了这本教材。本教材力求取材新颖,尽可能反映现代数控技术、着重于应用技术,突出理论的系统性、实例的代表性和技术的先进性,反映机与电的结合,减少繁杂的数学推导,系统全面地介绍数控系统。

本书主要介绍机械加工领域中的有关数控原理与系统,主要内容包括机床数字控制的基本原理、机床数控系统的基本概念、数控加工程序的预处理、点位控制与点位/直线切削控制、连续切削控制的各种插补算法、数控系统的刀具补偿原理以及数控机床进给速度的控制等数控技术,并介绍了机床数控系统的硬、软件结构及接口电路、数控系统的通信等相关技术,还介绍了具有代表性的控制系统——开放式数控系统。

本书由王爱玲任主编,张吉堂任副主编。第 1、2、3、8、9 章由张吉堂编写,第 4、5、6、7 章由吴雁编写。本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。

数控技术发展日新月异,限于编著者的水平,书中定有不少缺点,恳请读者批评指正。

作 者
2001 年 3 月

目 录

第 1 章 数控系统概述	1
1.1 机床数字控制的基本原理	2
1.1.1 数字控制的基本概念	3
1.1.2 数控机床的组成	4
1.1.3 数控机床加工零件的操作过程	5
1.1.4 计算机数控系统的工作过程	6
1.2 机床数控系统的分类	8
1.2.1 按机床的运动轨迹分类	9
1.2.2 按伺服系统的控制方式分类	10
1.2.3 按数控系统功能水平分类	11
1.3 数控系统的发展	12
1.3.1 数控系统的发展简史	13
1.3.2 我国数控系统的发展概况	14
1.3.3 数控系统的发展趋势	15
第 2 章 数控系统控制信号的构成	16
2.1 数控机床的坐标系	17
2.1.1 数控机床所使用的坐标系	18
2.1.2 机床坐标的确定方法	19
2.1.3 绝对坐标系与相对坐标系	20
2.2 数控机床的原点偏置	16
2.2.1 数控机床的各种原点	16
2.2.2 数控机床的零点偏置	16
2.3 数控机床指令代码	17
2.3.1 数控代码标准	17
2.3.2 程序段的组成	21
2.3.3 程序段格式	26
第 3 章 控制信息的输入	27
3.1 数控系统控制面板	28
3.1.1 经济型 JWK 数控系统控制面板	28
3.1.2 SIEMENS880 数控系统控制面板	30
3.2 数控加工程序的输入	31
3.2.1 数控加工程序的输入过程	34
3.2.2 键盘输入方式	35

3.2.3 纸带阅读器输入方式	37
3.3 数控加工程序的译码	40
3.3.1 硬件译码过程	40
3.3.2 软件译码过程	43
第4章 数控机床点位控制与点位/直线切削控制	50
4.1 点位控制与点位/直线切削控制的一般概念	50
4.1.1 点位控制与点位/直线控制的异同	50
4.1.2 程序编制的增量方式与绝对值方式	51
4.1.3 测量系统的增量方式与绝对方式	52
4.1.4 点位控制系统与点位/直线切削控制系统的结构	52
4.2 位置计算与比较	54
4.2.1 位置计算与比较线路的各种方案	54
4.2.2 消除增量值方式累计误差的方法	54
4.2.3 使用绝对值编程方式的位置计算与比较线路结构	56
4.2.4 位置计算与比较的软件实现	56
4.3 点位/直线切削机床的其它功能	57
4.3.1 主轴准停功能	57
4.3.2 自动换刀功能	59
4.4 补偿机能	64
4.4.1 齿隙补偿	64
4.4.2 螺距补偿	64
4.4.3 计算机数控系统的误差补偿	66
第5章 数控机床的连续切削控制	68
5.1 概述	68
5.2 逐点比较法	69
5.2.1 逐点比较法直线插补	70
5.2.2 逐点比较法圆弧插补	74
5.2.3 逐点比较法插补软件	79
5.2.4 逐点比较法算法的改进	84
5.3 数字积分插补法	89
5.3.1 数字积分法直线插补	90
5.3.2 数字积分法圆弧插补	93
5.3.3 空间直线插补	96
5.3.4 改进 DDA 插补质量的措施	97
5.3.5 数字积分法插补软件的实现	102
5.4 数据采样插补法	107
5.4.1 数据采样插补法原理	107
5.4.2 时间分割法插补原理	108
5.4.3 扩展 DDA 数据采样插补法	111

5.4.4	数据采样插补的终点判别	114
5.5	椭圆插补方法	120
5.5.1	椭圆插补基本原理	120
5.5.2	椭圆插补终点判别处理	122
5.5.3	椭圆插补精度分析	123
5.6	高次曲线样条插补方法	125
5.6.1	参数三次样条插补原理	125
5.6.2	参数三次样条插补基本算法	127
5.6.3	参数三次样条插补轮廓误差分析	128
5.7	螺纹加工算法	129
5.7.1	固定螺距的螺纹加工算法	130
5.7.2	变动螺距的螺纹加工算法	132
5.7.3	多螺纹加工算法	132
第 6 章	数控系统的刀具补偿原理	134
6.1	概 述	134
6.2	数控系统的刀具补偿原理	134
6.2.1	刀具数据	134
6.2.2	刀具长度补偿	137
6.2.3	刀具半径补偿	138
6.3	刀具补偿类型及判别方法	143
6.3.1	刀具补偿类型的定义	143
6.3.2	刀具半径补偿算法的几个基本概念	147
6.3.3	刀具补偿转接类型的判别方法	148
6.4	刀具补偿算法	150
6.4.1	直线接直线的情况	150
6.4.2	直线接圆弧的情况	153
6.4.3	圆弧接直线的情况	156
6.4.4	圆弧接圆弧的情况	159
第 7 章	数控机床加减速控制原理	161
7.1	进给速度的控制方法	161
7.1.1	进给速度的给定	161
7.1.2	进给速度的控制方法	161
7.2	CNC 装置的加减速控制	163
7.2.1	前加减速控制	164
7.2.2	后加减速控制	168
第 8 章	数控系统的软硬件	172
8.1	概 述	172
8.2	数控系统的硬件	173
8.2.1	数控系统硬件综述	173

8.2.2 数控装置硬件结构类型	174
8.3 数控系统的输入/输出接口电路	180
8.4 数控系统的可编程控制器	181
8.4.1 可编程控制器工作原理	181
8.4.2 PLC 在数控系统中的应用	185
8.5 数控系统软件结构	190
8.5.1 CNC 系统的软硬件界面	190
8.5.2 CNC 系统控制软件设计思想	191
8.5.3 CNC 系统两种典型的软件结构	193
8.6 数控系统的通信	202
8.6.1 数字通信概述	203
8.6.2 数控系统常用串行通信接口标准	206
8.6.3 数控系统网络通信接口	212
第9章 开放式数控系统	216
9.1 开放式数控系统概述	216
9.1.1 开放式数控系统产生的历史背景	216
9.1.2 开放式数控系统的特征	216
9.2 国外开放式数控系统研究简介	217
9.2.1 美国的开放式数控系统研究计划	217
9.2.2 欧盟的 OSACA 计划和日本的 OSEC 计划	221
9.3 我国开放式数控系统发展概况	223
9.3.1 中华 I 型数控系统	224
9.3.2 华中 I 型数控系统	226
9.3.3 航天数控系统平台	226
9.3.4 蓝天系列 CNC 系统	228
参考文献	231

第 1 章 数控系统概述

1.1 机床数字控制的基本原理

1.1.1 数字控制的基本概念

数字控制(Numerical Control——NC),简称为数控,是一种自动控制技术,是用数字化信号对控制对象加以控制的一种方法。数字控制是相对于模拟控制而言的,数字控制系统中的控制信息是数字量,而模拟控制系统中的控制信息是模拟量。数字控制与模拟控制相比有许多优点,如可用不同的字长表示不同精度的信息,可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作,特别是可用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改动电路或机械机构,从而使机械设备具有很大的“柔性”。因此数字控制已被广泛用于机械运动的轨迹控制和机械系统的开关量控制,如机床的控制、机器人的控制等。

数字控制的对象是多种多样的,但数控机床是最早应用数控技术的控制对象,也是最典型的数控化设备。数控机床是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing——IFIP)第五技术委员会,对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床。该系统能逻辑地处理具有使用号码或其它符号编码指令规定的程序。

定义中所提的程序控制系统,就是数控系统(Numerical Control System)。数控系统是一种控制系统,它自动输入载体上事先给定的数字量,并将其译码,再进行必要的信息处理和运算后,控制机床动作和加工零件。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统(Computer Numerical Control)简称 CNC。CNC 系统是由计算机承担数控中的命令发生器和控制器的数控系统。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床是典型的数控化设备,它一般由信息载体、计算机数控系统、伺服系统和机床四部分组成,如图 1-1 所示。

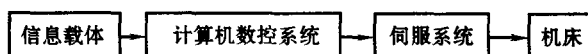


图 1-1 数控机床的组成

1. 信息载体

信息载体又称控制介质,用于记录数控机床上加工一个零件所必需的各种信息,如零件加工的位置数据、工艺参数等,以控制机床的运动,实现零件的机械加工。常用的信息载体有穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘等,并通过相应的输入装置将信息输入到数控系统中。数控机床也可采用操作面板上的按钮和键盘将加工信息直接输入,或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。高级的数控系统可能还包含一套自动编程机或者CAD/CAM系统。由这些设备实现编制程序、输入程序、输入数据以及显示、模拟显示、存储和打印等功能。

2. 计算机数控系统

计算机数控系统是数控机床的核心,它的功能是接受载体送来的加工信息,经计算和处理后去控制机床的动作。它由硬件和软件组成。硬件除计算机外,其外围设备主要包括光电阅读机、CRT、键盘、面板、机床接口等。光电阅读机是输入系统程序和零件加工程序;CRT供显示和监控用;键盘用于输入操作命令及编辑、修改程序段,也可输入零件加工程序;操作面板可供操作人员改变操作方式、输入整定数据、启停加工等;机床接口是计算机和机床之间联系的桥梁,机床接口包括伺服驱动接口及机床输入/输出接口。伺服驱动接口主要是进行数/模转化,以及对反馈元件的输出进行数字化处理并记录,以供计算机采样;机床输入/输出接口是用于处理辅助功能。软件由管理软件和控制软件组成。管理软件主要包括输入输出、显示、诊断等程序;控制软件包括译码、刀具补偿、速度控制、插补运算、位置控制等部分组成。数控装置控制机床的动作可概括为:

- 1) 机床主运动,包括主轴的启动、停止、转向和速度选择;
- 2) 机床的进给运动,如点位、直线、圆弧、循环进给的选择,坐标方向和进给速度的选择等;
- 3) 刀具的选择和刀具的补偿(长度、半径);
- 4) 其它辅助运动,如各种辅助操作,工作台的锁紧和松开,工作台的旋转与分度和冷却泵的开、停等。

3. 伺服系统

它是数控系统的执行部分,包括驱动机构和机床移动部件,它接受数控装置发来的各种动作命令,驱动受控设备运动。伺服电动机可以是步进电机、电液马达、直流伺服电机或交流伺服电机。

4. 机床

它是用于完成各种切削加工的机械部分,是在普通机床的基础上发展来的,但也做了很多改进和提高,它的主要特点是:

- 1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,因此数控机床的机械传动结构得到了简化,传动链较短;
- 2) 为了适应数控机床连续地自动化加工,数控机床机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小;
- 3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等;
- 4) 不少数控机床还采用了刀库和自动换刀装置以提高机床工作效率。

1.1.3 数控机床加工零件的操作过程

第一步,数控程序的编制 先根据零件图纸的要求设计数控加工工艺过程,如工步、加工路线、切削用量、行程等,再按编程手册的有关规定编制数控加工程序单;

第二步,控制介质的制作和程序的输入 由加工程序单制作控制介质,如穿孔带、磁带、磁盘等,再将控制介质记录的加工信息通过输入装置输入到数控系统中;

第三步,加工信息的处理与计算和控制指令的发出 当加工程序输入到数控系统后,在控制系统内部的系统程序的支持下,对加工程序进行必要的处理与计算后,发出相应的控制指令;

第四步,控制指令的执行 运动部件按控制指令进行运动,从而实现零件的数控加工。

1.1.4 计算机数控系统的工作过程

1) 输入 输入给数控系统的有零件加工程序、控制参数和补偿数据等。

2) 译码 输入的程序段含有零件的轮廓信息(起点、终点、直线还是圆弧等)、要求的加工速度以及其它的辅助信息(换刀、换挡、冷却液开关等)。计算机依靠译码程序来识别这些符号,将加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

3) 数据处理 数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算和辅助功能的处理。刀具半径补偿是把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工数据段以什么样的速度运动的问题。加工速度的确定是一个工艺问题。数控系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外,辅助功能如换刀、换挡等亦在这个程序中实现。

4) 插补 即根据给定的曲线类型(如直线、圆弧或高次曲线)、起点、终点以及速度,在起点和终点之间进行数据点的密化。计算机数控系统的插补功能主要由软件来实现,目前主要有两类插补方法:一是脉冲增量插补,它的特点是每次插补运算结束产生一个进给脉冲;二是数字增量插补,它的特点是插补运算在每个插补周期进行一次,根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。

5) 伺服控制 将计算机送出的位置进给脉冲或进给速度指令,经变换和放大后转化为伺服电机(步进电机或交、直流伺服电机)的转动,从而带动机床工作台移动。

6) 管理程序 当一个数据段开始插补时,管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理。即由它调用各个功能子程序,且保证一个数据段加工过程中将下一个程序段准备就绪。一旦本数据段加工完成,即开始下一个数据段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成。

1.2 机床数控系统的分类

机床数控系统的种类很多,为了便于了解和研究,可从不同的角度对其进行分类。

1.2.1 按机床的运动轨迹分类

按照机床的运动轨迹可把机床数控系统分为三大类:

1. 点位控制系统(Point to Point Control System)

点位控制系统只控制机床移动部件的终点位置,而不管移动所走的轨迹如何,可以一个坐标移动,也可以二坐标同时移动,在移动过程中不进行切削。为保证定位精度,可在移动过程中采用如图 1-2 所示的分级降速、连续降速或单向定位等方法提高定位精度。数控钻床、数控镗床、数控冲床等都属于点位控制系统。

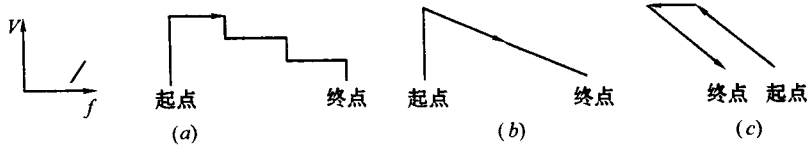


图 1-2 点位控制定位方式
(a)分级降速; (b)连续降速; (c)单向定位。

2. 直线切削控制系统(Strait Cut Control System)

直线切削控制系统控制刀具或工作台以适当的速度按平行于坐标轴的方向直线移动并可对工件进行切削,这类系统也能按 45° 进行斜线切削,但不能按任意斜率进行切削,简易数控车就属于直线切削控制系统。也可将点位控制系统和直线切削控制系统结合在一起成为点位/直线切削控制系统,数控镗床属于这一类系统。

3. 连续切削控制系统(Contouring Control System)

连续切削控制系统又称轮廓控制系统,它能对刀具与工件相对移动的轨迹进行连续控制,能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件,数控铣床、数控车床、数控磨床均采用连续切削控制系统。连续切削控制系统的核心装置就是插补器。插补器的功能是按给定的尺寸和加工速度用脉冲信号使刀具或工件走任意斜线或圆弧,分别称为直线插补器和圆弧插补器。高级的连续控制系统的插补器还具有抛物线、螺旋线插补功能。

连续切削控制系统按同时控制且相互独立的轴数,可以有 2 轴控制,2.5 轴控制,3、4、5 轴控制等。2 轴控制指的是可以同时控制 2 轴,但机床也许多于 2 轴,如 X 、 Y 、 Z 三个移动坐标轴,可以进行图 1-3 所示的曲线形状加工,同时控制 X 、 Z 坐标和 Y 、 Z 时,可以加工图 1-4 所示形状的零件;2.5 轴控制是指两个轴连续控制,第三个轴点位或直线控制,从而实现三个主要轴 X 、 Y 、 Z 内的二维控制;3 轴控制是指同时控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标,这样刀具在空间的任意方向都可移动,因而能够进行三维的立体加工,如图 1-5 所示;4 轴控制是指同时控制四个坐标运动,即在三个平动坐标之外,再加一个旋转坐标,同时控制四个坐标的数控机床如图 1-6 所示,可用来加工叶轮或圆柱凸轮;5 轴控制中的 5 个轴是三个平动 X 、 Y 、 Z ,再加上围绕这些直线坐标旋转的旋转坐标 A 、 B 、 C 中的两个坐标形成同时控制五个坐标,这时刀具可以给定在空间的任意方向。因而当进行图 1-7 所示的曲面切削时,可以使刀具对曲面经常保持一定角度,也可以进行图 1-8 所示零件

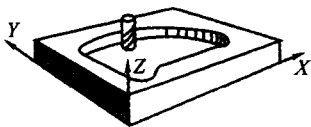


图 1-3 同时控制两个坐标的轮廓控制(a)

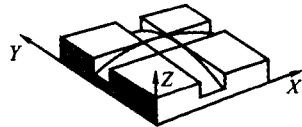


图 1-4 同时控制两个坐标的轮廓控制(b)

侧面的切削。此外,在一次装卡的情况下,能实现任意方向的孔加工。由于刀具可以按数学规律导向,使之垂直于任何双曲线平面,因此特别适合于加工透平叶片、机翼等。

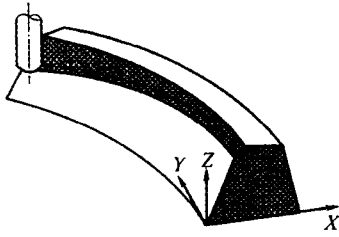


图 1-5 3轴联动的数控加工

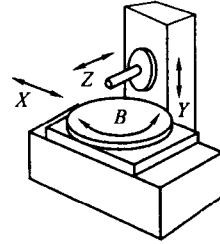


图 1-6 同时控制四个坐标的数控机床

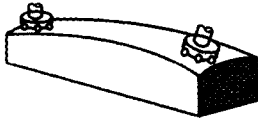


图 1-7 5轴联动的数控加工(a)

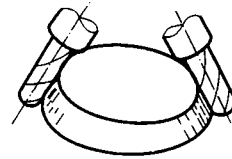


图 1-8 5轴联动的数控加工(b)

1.2.2 按伺服系统的控制方式分类

伺服系统包括驱动机构和机床移动部件,它是数控系统的执行部分,按其控制原理可分为以下三类。

1. 开环控制系统(Open Loop Control System)

典型的开环伺服系统如图 1-9 所示,是采用步进电机的伺服系统。对于数控装置发来的每一个进给脉冲经驱动线路放大并驱动步进电机转动一个步距(即一个固定的角度,如 1.5°)再经减速齿轮带动丝杠旋转,并通过丝杠螺母副传动工作台移动。可以看出工作台的移动量与进给脉冲的数量成正比。显然这种开环系统的精度完全依赖于步进电机的步距精度及齿轮、丝杠的传动精度。它没有测量反馈矫正措施,所以对高精度的数控机床往往不能满足要求,但开环系统的结构简单、调试容易、造价低,在数控机床的发展过程中占有一定的重要地位,现在仍普遍采用。

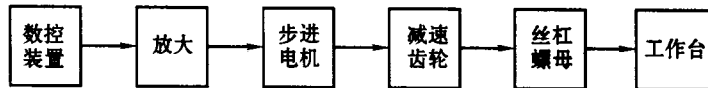


图 1-9 开环伺服系统方框图

2. 半闭环控制系统(Semi-closed Loop Control System)

如图 1-10 所示,采用装在丝杠上或伺服电机上的角位移测量元件测量丝杠或电机轴的转动量间接地测量工作台的移动量。它的优点就是不论工作台位移的长短,角位移测量元件是制成 360° 可循环使用。

半闭环的意思就是用丝杠(或电机轴)的转动量与数控装置的命令相比较(闭环),而另一部分丝杠——螺母——工作台的移动量不受闭环控制(开环),故称为半闭环。显然,

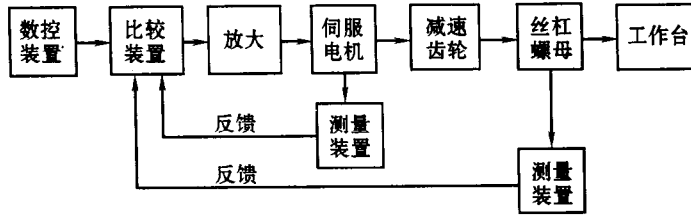


图 1-10 半闭环伺服系统方框图

从理论上讲,半闭环的精度低于闭环,但半闭环调试方便,稳定性好,角位移的测量元件简单、价廉,所以配备传动精度较高的齿轮、丝杠的半闭环系统得到广泛应用。

3. 闭环控制系统 (Closed Loop Control System)

如图 1-11 所示,采用直线位移测量元件,测量机床移动部件工作台(或主轴箱)的位置并将测量结果送回与数控装置命令的移动量相比较,二者不相等而有差值时,将此差值放大外控制伺服电机带工作台继续移动;直至测量值与命令值相等差值为零或接近于零时停止移动。从理论上讲,闭环伺服系统的精度取决于测量元件的精度,但实际上机床的结构、传动装置以及传动间隙等非线性因素都会影响精度,严重的还会使闭环伺服系统的品质下降甚至引起振荡。

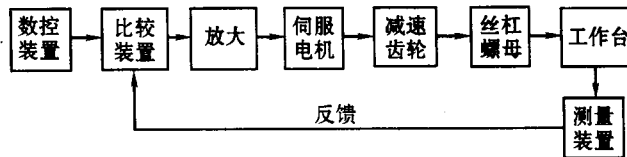


图 1-11 闭环伺服系统方框图

1.2.3 按数控系统功能水平分类

按照数控系统的功能水平,数控系统可以分为经济型(低档型)、普及型(中档型)和高档型数控系统三种。这种分类方法没有明确的定义和确切的分类界线,且不同时期、不同国家的类似分类含义也不同。下面的叙述可作为按数控系统功能水平分类的参考条件。

1. 经济型又称简易数控系统

这一档次的数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工,能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件,采用的微机系统为单板机或单片机系统,具有数码显示或 CRT 字符显示功能,机床进给由步进电机实现开环驱动,控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下,进给分辨率为 $10\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\text{m}/\text{min}$ 。这类机床结构一般都比较简单,精度中等,价格也比较低廉,一般不具有通信功能。如经济型数控线切割机床、数控钻床、数控车床、数控铣床及数控磨床等。

2. 普及型通常称之为全功能数控系统

这类数控系统功能较多,但不追求过多,以实用为准,除了具有一般数控系统的功能以外,还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等。采用的微机系统为 16

位或 32 位微处理器,具有 RS-232C 通信接口,机床的进给多用交流或直流伺服驱动,一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制,进给分辨率为 $1\mu\text{m}$,快速进给速度为 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$,其输入/输出的控制一般可由可编程序控制器来完成,从而大大增强了系统的可靠性和控制的灵活性。这类数控机床的品种极多,几乎覆盖了各种机床类别,且其价格适中,目前它总的趋势是趋向于简单、实用,不追求过多的功能,从而使机床的价格适当降低。

3. 高档型数控系统

指加工复杂形状工件的多轴控制数控机床,且其工序集中、自动化程度高、功能强、具有高度柔性。采用的微机系统为 32 位以上微处理器系统,机床的进给大多采用交流伺服驱动,除了具有一般数控系统的功能以外,应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制,最小进给分辨率为 $0.1\mu\text{m}$,最大快速移动速度能达到 $100\text{m}/\text{min}$ 或更高,具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面;同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能;还有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且能实现计算机的联网和通信。这类系统功能齐全,价格昂贵,如具有 5 轴以上的数控铣床,大、重型数控机床、五面加工中心,车削中心和柔性加工单元等。

1.3 数控系统的发展

1.3.1 数控系统的发展简史

1949 年美国帕森公司与美国空军合作,研制了一种计算装置,用于满足日益复杂的飞机叶片的自动加工,于是由帕森公司首先提出了机床数字控制的概念。1952 年美国麻省理工学院研制出基于电子管和继电器的机床数控装置,用于控制铣床,它标志着第一代数控系统——电子管数控系统的诞生。20 世纪 50 年代末,完全由固定布线的晶体管元器件电路所组成的第二代数控系统——晶体管数控系统被研制成功,取代了昂贵的、易坏的、难以推广的电子管控制装置。随着数控系统的发展,对数控系统的实用性、柔性、易维修性、控制装置的功能环境及对任意机床类型的适应性这些来自应用者方面的要求不断提高,要满足这些要求,对固定布线的晶体管元器件电路所组成晶体管数控系统而言,耗资巨大。随着集成电路技术的发展,1965 年出现了第三代数控系统——集成电路数控系统后,使这些问题的解决难度稍稍减轻了一些。当以计算机作为数控系统的核心组件后,才为这些复杂的问题提供了一种简单的、经济的解决方法。1970 年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了第四代数控系统——小型计算机数控系统,然后,随着微型计算机以其无法比拟的性能价格比渗透各个行业,1974 年,第五代数控系统——微型计算机数控系统也出现了。应用一个或多个计算机作为数控系统的核心组件的数控系统统称为计算机数控系统(CNC)。

综上所述,由于微电子技术和计算机技术的不断发展,数控机床的数控系统也随着不断更新,发展非常迅速,几乎 5 年左右时间就更新换代一次。