

机床数控

技术及编程

黄新燕 主 编
曹春平 蔡 理 张 雯 郭鲁家 编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机床数控技术及编程

黄新燕 主编

曹春平 蔡理 编

张雯 郭鲁家

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以现代数控机床为基础,较详细地介绍了当前机床数字控制的原理和最新技术。全书共分为8章,主要包括轮廓插补原理、数控机床的程序编制、计算机数字控制装置、位置检测装置、数控机床的伺服系统、机床电气控制原理和实验指导。

本书内容全面、深入,各章既有联系性,又有一定的独立性。可作为高等院校机电一体化类专业本科生的教材。对于想学习或使用数控机床的读者也有很好的参考价值。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术及编程/黄新燕主编. —北京:北京理工大学出版社, 2006. 12

ISBN 7-5640-0848-2

I. 机… II. 黄… III. 数控机床-程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第092222号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/[http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京圣瑞伦印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/19.5

字 数/454千字

版 次/2006年12月第1版 2006年12月第1次印刷

印 数/1~4000册

定 价/30.00元

责任校对/张宏

责任印制/李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

数控技术涵盖了机械制造、计算机技术、精密测量、信息处理、网络通信、液压气动、光机电及自动控制等领域的最新成就。它是使生产和制造实现自动化、柔性化和集成化的基础技术。它的发展和运用，开创了制造业的新时代，使世界制造业的水平发生了巨大变化。

一个国家数控机床的水平 and 数量是衡量其工业现代化程度和综合竞争力的重要指标，而数控机床的核心是数控系统。发达国家把数控技术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速发展而使制造业迅速崛起。以数控技术为主要标志的现代制造技术成为美国、日本和欧洲等工业国家和地区竞争的焦点之一。我国正积极采取各种措施大力发展数控产业，把数控技术作为振兴机械工业的重中之重。目前，我国低档经济型数控机床的数控系统基本实现了国产化，但在中高档的数控系统方面则处于劣势地位。

数控人才奇缺的现状在我国十分普遍，培养数控人才是社会发展的需要，更是我国实现工业现代化的需要。为此编写了“机床数控技术及编程”一书，主要对机床数控技术及编程所涉及的几个方面进行了集中、深入地介绍。本书通过向读者介绍数控技术的基本概念、原理和国内外最新的技术成果，来帮助读者掌握知识和提高工作能力。

本书可作为高等院校机电一体化相关专业的教材，也可以作为有志于发展我国数控事业的科研人员和工程技术人员的参考书。

参加本书编写的有黄新燕、曹春平、蔡理、张雯、郭鲁家。第1~4章由黄新燕编写，第5~7章由曹春平编写，第8章和附录部分由蔡理、张雯和郭鲁家编写。全书由黄新燕主编。通过完成各项实验，将能使学生进一步增强对所学课程的理解与掌握，同时通过实验时所提供的环境，能有效地提高学生的动手能力和掌握相关设备、仪器、软件的操作。在本书的编写过程中得到南京理工大学机械工程学院机电中心实验室的老师们的的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限、经验不足，书中难免存在疏漏之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2006年6月15日

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控的基本概念	1
1.1.3 数控机床的特点	2
1.2 数控机床的组成及分类	3
1.2.1 数控机床的组成	3
1.2.2 数控机床的分类	5
1.3 数控技术的发展	9
1.3.1 数控机床的发展动向	9
1.3.2 我国数控机床的发展情况	12
第 2 章 数控装置的轮廓控制原理	14
2.1 概述	14
2.2 脉冲增量插补算法	15
2.2.1 逐点比较法	15
2.2.2 数字积分法	29
2.3 数据采样插补法	48
2.3.1 插补周期与位置控制周期	48
2.3.2 插补周期与精度、速度之间的关系	49
2.3.3 数据采样法直线插补	50
2.3.4 数据采样法圆弧插补	51
2.3.5 数据采样插补流程	60
2.4 进给速度控制	63
2.4.1 进给速度控制	64
2.4.2 加减速控制	65
2.5 曲面直接插补 (SDI)	71
2.5.1 实现 SDI 的软件系统结构和工作流程	72
2.5.2 SDI 算法的基本原理	72
2.5.3 SDI 的信息输入	75
2.5.4 曲面直接插补的技术关键	76

第3章 数控机床的程序编制	78
3.1 概述	78
3.1.1 程序编制的内容和步骤	78
3.1.2 程序编制的方法	82
3.2 数控机床的有关功能规定	83
3.2.1 数控标准	83
3.2.2 程序编制的有关标准规定	84
3.2.3 准备功能(G)和辅助功能(M)	95
3.3 程序编制中的数学处理	111
3.3.1 数学处理的概念	111
3.3.2 线性逼近的计算方法	111
3.3.3 已知平面零件轮廓方程式的数学处理	114
3.4 数控车床程序编制实例	121
3.5 数控铣床编程实例	123
第4章 计算机数字控制装置	126
4.1 CNC系统的组成及特点	126
4.1.1 CNC系统的定义与结构	126
4.1.2 CNC系统软件	128
4.1.3 计算机数控系统的特点	130
4.2 计算机数控系统的硬件结构	131
4.2.1 CNC系统的硬件构成特点	131
4.2.2 单微处理机结构	132
4.2.3 多微处理机结构	132
4.2.4 PC数控系统	135
4.3 CNC系统的软件结构及控制	136
4.3.1 CNC系统的软硬件组合类型	136
4.3.2 CNC系统的控制软件结构特点	137
4.4 CNC系统的接口及通信	140
4.4.1 异步串行接口	140
4.4.2 CNC系统的网络通信接口	143
4.5 CNC系统的输入及数据处理	146
4.5.1 CNC系统的输入	146
4.5.2 输入数据处理	152
4.6 刀具补偿原理	157
4.6.1 刀具长度补偿	158
4.6.2 刀具半径补偿	159
4.7 CNC系统的可编程控制器	178
4.7.1 可编程控制器的工作原理	178

4.7.2 PLC 的特点	181
4.7.3 PLC 在 CNC 系统中的应用	182
第 5 章 位置检测装置	184
5.1 感应同步器	184
5.1.1 结构特点	184
5.1.2 工作原理及应用	185
5.2 光栅	187
5.2.1 光栅的构造	187
5.2.2 工作原理	189
5.2.3 光栅信息处理及应用	190
5.3 编码盘	193
5.3.1 接触式编码器	194
5.3.2 光电式编码器	195
5.3.3 编码盘在数控机床中的应用	196
第 6 章 伺服驱动系统	198
6.1 概述	198
6.2 步进电机及其驱动控制系统	199
6.2.1 步进电机的工作原理	200
6.2.2 步进电机的主要特性	202
6.2.3 步进电机的分类	203
6.2.4 步进电机的环形分配器	205
6.2.5 功率放大电路	207
6.3 直流伺服电机及其速度控制	211
6.3.1 直流伺服电机的结构与分类	211
6.3.2 直流伺服电机的调速原理与方法	212
6.3.3 直流伺服电机速度控制单元的调速控制方式	213
6.4 交流伺服电机及其速度控制系统	219
6.4.1 交流伺服电机的分类与特点	220
6.4.2 交流伺服电机的控制方式	221
6.4.3 交流伺服电机的变频调速	222
6.4.4 交流伺服电机的矢量控制	225
6.5 直线电机及其在数控机床中的应用	227
6.5.1 直线电机的特点	227
6.5.2 直线电机的基本结构和分类	228
6.5.3 直线电机的工作原理	230
6.5.4 直线电机在机床上的应用	231
6.6 位置控制	232

6.6.1	相位比较伺服系统.....	233
6.6.2	幅值比较伺服系统.....	237
6.6.3	数字脉冲比较伺服系统.....	238
6.6.4	全数字控制伺服系统.....	239
第7章	机床电气控制	240
7.1	常用低压电器.....	240
7.1.1	开关电器和熔断器.....	240
7.1.2	按钮、行程开关.....	242
7.1.3	交流接触器.....	243
7.1.4	继电器.....	244
7.2	机床电气原理图的画法规则.....	246
7.2.1	绘制原理图的原则和要求.....	247
7.2.2	图面区域的划分.....	248
7.2.3	符号位置索引.....	248
7.3	机床电路的逻辑表示.....	249
7.3.1	机床电器的逻辑表示.....	249
7.3.2	并串联电路的逻辑表示.....	249
7.3.3	逻辑代数的基本性质.....	250
7.4	机床电气控制电路.....	251
7.4.1	点动控制与连续工作.....	251
7.4.2	多点控制.....	252
7.4.3	联锁控制.....	252
7.4.4	顺序启动电路.....	252
7.4.5	异步电机启动、正反转、制动电路.....	253
第8章	数控技术及编程实验	258
8.1	数控插补原理实验.....	258
8.2	数控刀具半径补偿实验.....	264
8.3	数控加工程序编制实验.....	266
8.4	数控机床加工实验.....	269
8.5	速度控制实验.....	271
8.6	KR型交流变频调速实验.....	274
附录A	SKY2000型数控系统使用说明	280
A1	SKY2000型数控系统.....	280
A1.1	概要.....	280
A1.2	基本参数.....	280
A1.3	系统构成.....	280

A2	显示装置外观、键盘及鼠标.....	281
A2.1	显示装置外观.....	281
A2.2	键盘设定及鼠标使用.....	282
A3	系统的启动与关闭.....	283
A4	操作方式及功能.....	284
A4.1	SKY 系统主菜单.....	284
A4.2	F1 自动方式.....	284
A4.3	F3 手动方式.....	286
A4.4	F4 返参方式.....	289
A4.5	F5 管理方式.....	292
A4.6	其他.....	294
附录 B	LZH-1 型交流伺服实验系统 ——速度控制实验系统简介.....	295
B1	实验设备.....	295
B2	使用方法.....	295
B3	速度控制实验原理.....	297
B3.1	3/2 变换环节.....	298
B3.2	旋转变换环节.....	298
B3.3	速度调节器 (ST).....	298
B3.4	矢量运算环节.....	298
B3.5	磁通位置计算环节.....	298
B3.6	三值比较器环节.....	298
B3.7	延时功放及三相逆变器.....	298
	参考文献.....	299

第1章 概 论

1.1 基本概念

1.1.1 数控机床的产生

社会生产与科学技术的迅速发展使机械产品日趋精密、复杂而且改型频繁。这不仅对机床设备的生产提出了提高精度与效率的要求，也提出了增加通用性与灵活性的要求，特别是宇航、造船、武器生产等部门，它们的零件具有精度高、形状复杂、批量较小、经常变动的特点，使用普通机床去加工这类零件，不仅劳动强度大、生产效率低，还难以保证精度，有些零件甚至无法加工。

仿形机床基本解决了小批量、复杂零件的自动化加工问题。它借助靠模能加工出比较复杂的零件，有一定的灵活性。但是靠模的制造、安装与调整要花费许多手工劳动，而且为批量很小甚至单件零件制造靠模也很不经济。另外，仿形机床加工出的零件精度受靠模制造误差的影响，不能满足一些高精度零件的加工要求。

大批量的零件加工使用专用自动化单机、组合机床以及由它们组成的自动化加工线，可以得到高的加工效率。但是，约占机械加工总量 80% 的单件、小批量零件的加工，不宜使用这类不易变更的“刚性”自动化设备，这就对机床自动化设备提出了“柔性”的要求，即要求它灵活、通用，能迅速地适应加工零件的频繁变化，而不需对设备进行专门的调整及更换专用的工夹具。

随着微电子技术、自动信息处理、数据处理以及电子计算机技术的发展，给自动化技术带来了新的理念，推动了机械制造自动化的发展。

第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948 年，美国帕森斯（Parsons Co.）公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检查用样板的机床时，提出了数控机床的设想。后来受空军委托与麻省理工学院（MIT）合作开始了将三坐标铣床数控化的研究工作。1952 年世界上第一台数控机床样机诞生，这是一台直线插补连续控制的三坐标铣床，使用电子管元件。后又经过 3 年的改进，于 1955 年投入使用。

1.1.2 数控的基本概念

数控（Numerical Control, NC）是数字控制的简称，是利用数字化信息来实现自动控制的方法。数控机床（Numerical Control Machine Tools）是指采用数字化信息控制的机床。数控技术不仅用于机床的控制，还可用于控制其他设备。本书主要以机床数控为对象，讨论数控原理。

国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing, IFIP）第五技术委

员会对数控机床做了如下的定义：数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

在机床控制中，“数字控制”和“顺序控制”是两个不同的概念，对于“顺序控制”来说，只能控制加工动作的先后顺序，而对运动部件的位移量不能进行控制。它的位移量是靠预先调整好挡块的尺寸等方式来实现的。数字控制的过程是一个全自动化过程，对数控设备进行自动控制的指令以数字和文字编码的方式记载在控制介质上，指令经过控制计算机处理和计算后，对各种动作的顺序、位移量以及速度等实现自动控制。这样比起其他自动化设备所采用的凸轮、靠模、调整限位开关等要精确、可靠得多。

机床数控技术集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术为一体，使传统的机械加工工艺发生了质的变化，数控机床也成为现代机械制造系统的基础设备。

1.1.3 数控机床的特点

数控机床是新型的自动化机床，它具有良好的通用性和较高的自动化程度，数控机床是实现柔性自动化的重要装置之一，是发展柔性生产的基础。数控机床在以下的零件加工中更能显示出它的优越性。它们是：① 批量小而又多次生产的零件；② 几何形状复杂的零件；③ 在加工过程中具有多坐标联动功能；④ 切削余量大的零件；⑤ 公差带范围小的零件；⑥ 工艺设计变化的零件；⑦ 加工过程中的错误会造成严重浪费的贵重零件；⑧ 需全部检测的零件等。概括起来，数控机床具有以下几方面的特点：

1. 提高加工精度，产品质量稳定

数控机床是按照程序自动进行加工的，不需要人工干预。而且，加工精度还可以利用软件进行校正及补偿。因此，可以获得比机床精度更高的加工精度及重复精度，使产品质量稳定。

2. 提高生产效率

用数控机床加工，对工夹具的要求降低了，一般采用通用夹具，又免去了划线工作，从而使加工的准备时间缩短了；因有高的重复精度，可以简化检验工作，在加工过程中省去了对工件进行多次测量、检验的时间；在加工零件改变时，用改换纸带的方法，节省了准备与调整的时间；采用最佳切削参数和最佳走刀路线，缩短了加工时间。据统计，数控机床的生产效率较普通机床高2~3倍。尤其是某些复杂零件的加工，生产效率可提高十几倍甚至几十倍。

3. 提高了加工零件的适应性、灵活性

数控机床能完成很多普通机床难以胜任、或者根本不可能加工出来的复杂型面的零件的加工。这是由于数控机床具有多坐标联动功能。而且，通过改变程序，就可以加工新的零件。

4. 减轻工人劳动强度

数控机床是具有很高的自动化程度的新型机床。数控系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序，还能控制机床运动部件的运动速度以及刀具相对工件的运动轨迹。另外，自动换刀、启停冷却液、自动变速等操作也都不需人工参与，因而大大减轻了工人的劳动强度。

5. 提高生产管理水平

在数控机床上加工，能准确计算零件的加工时间，加强了零件加工的计划性，便于实现优化调度；简化了检验工作和对工夹具、半成品的管理工作；减少了因误操作产出废品及损

坏刀具的可能性，这些都有利于管理水平的提高。但是，数控机床的投资及维修等费用较高，对管理及操作人员的素质要求也较高，合理地选择及使用数控机床可以降低企业的生产成本，提高经济效益和竞争能力。目前，选用数控机床时主要考虑以下3种因素：即单件、中小批量的生产；形状比较复杂、精度要求高的零件的加工；更新频繁、生产周期要求短的零件的加工。凡是符合这3种因素之一的，均可采用数控机床来加工，对于提高产品质量、减轻工人劳动强度、提高经济效益等，都会获得显著的效果。

1.2 数控机床的组成及分类

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由4个部分组成：控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成。如图1-1所示，图中实线为开环控制的数控机床框图。

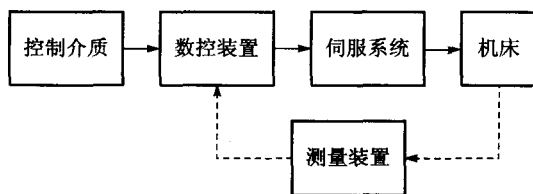


图 1-1 数控机床的组成

为了提高机床的加工精度，在上述系统中再加入一个测量装置（即图1-1中的虚线部分），这样就构成了闭环控制的数控机床框图。开环控制系统的工作过程是这样的：

将控制机床工作台运动的位移量、

速度、方向、轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置，数控装置根据这些参量计算得出进给脉冲序列（包含有上述4个参量），

然后经伺服系统转换放大，最后控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统，则在输入参量的同时，反馈检测机床工作台的实际位移值，反馈量与输入量在数控装置中进行比较，若有差值，说明二者间有误差，则数控机床向着减小误差的方向运动。最终按照要求的形状与尺寸完成零件的切削加工。

现将各组成部分简述如下。

1. 控制介质

数控机床工作时，不需要工人去摇手柄操作机床，但又要自动地执行人们的指令，这就必须在人和数控机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物称为控制介质（或称程序介质、输入介质、信息载体）。

在通用机床上加工零件时，由工人按图纸和工艺要求进行加工。在数控机床上加工时，则要把加工零件所需的动作及刀具相对于工件的位置等信息，用数控装置所能接受的数字和文字代码来表示，并把这些代码储存在控制介质上。

早期数控系统采用的控制介质是8单位的标准穿孔带，由于穿孔带是纸质的，所以又称纸带。其宽为25.4 mm，厚0.108 mm，每行除了必须有一个 $\phi 1.17$ mm的同步孔外，最多可以有8个 $\phi 1.33$ mm的信息孔。控制介质也可以是穿孔卡、磁带、磁盘或其他可以储存代码的载体。至于采用哪一种，则取决于数控装置的类型。

程序编制与穿孔纸带等控制介质的准备，在一定程度上影响了数控机床的使用效率。用通用计算机辅助实现自动程序编制，是解决此问题的重要途径，在CAD/CAM集成系统中，

可将数控程序直接送入数控装置，不需上述控制介质。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，是推动数控技术发展的关键技术。数控装置接收输入介质的信息，并将代码加以识别、储存、运算，输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统，进而控制机床动作。在普通数控机床中，一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。在计算机数控机床中，由于计算机本身含有运算器、控制器等单元，因此其数控装置的工作由一台计算机来完成。数控装置的主要功能有：

- (1) 多坐标控制（多轴联动）。
- (2) 实现多种函数的插补（如：直线、圆弧、抛物线、螺旋线等）。
- (3) 多种程序输入功能（人机对话、手动数据输入、由上级计算机或其他输入设备的程序输入以及程序的编辑和修改功能）。
- (4) 信息转换功能：EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、绝对值/增量值转换等。
- (5) 补偿功能：刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等。
- (6) 多种加工方式选择：可以实现各种循环加工、重复加工、凹凸模加工和镜像加工等。
- (7) 具有故障自诊断功能。
- (8) 显示功能：用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。
- (9) 通信和联网功能。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的指令转换为机床移动部件的运动，使工作台（或溜板）精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。因此伺服系统的性能是决定数控机床的加工精度、表面质量和生产效率的主要因素之一。伺服系统包括主轴驱动单元（主要是速度控制）、进给驱动单元（主要有速度控制和位置控制）、主轴电机和进给电机。在进给伺服系统中，相对于每个脉冲信号，机床移动部件的位移量叫做脉冲当量（用 δ 来表示）。常用的脉冲当量为 0.01 mm/脉冲、0.005 mm/脉冲及 0.001 mm/脉冲。一般来说，数控机床的伺服系统，要求有快速响应，以及能灵敏而准确地跟踪指令的功能。在数控机床的伺服系统中，常用的伺服执行元件有功率步进电机、电液脉冲马达、直流伺服电机和交流伺服电机等。交流伺服电机正在取代直流伺服电机。

4. 机床

数控机床中的机床，在开始阶段使用的是通用机床，只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面做了改进。实践证明，数控机床除切削用量大、连续加工发热多等因素影响工件精度外，还由于是自动控制，在加工中不能像通用机床那样可以随时由人工进行干预，所以其设计和制造要求比通用机床更严格。因而在数控机床设计时，采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施，使得数控机床的外部造型、整体布局、传动系统以及刀具系统等方面都发生了很大的变化。数控机床的机床本体结构概括起来有下面几个特点：

- (1) 传动链较短。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服系统，简化了机械传动结构。
 - (2) 动态特性好。为了适应连续的自动化加工，机床的动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能都较高。
 - (3) 传动效率高。采用一些高效传动件，如：滚珠丝杆螺母副、直线滚动导轨等。
- 另外，为了保证数控机床的功能得到充分发挥，还有一些配套部件（如冷却、排屑、防

护、润滑、照明等一系列装置)和辅助设备(编程机和对刀仪等)。

1.2.2 数控机床的分类

目前,数控机床品种齐全,规格繁多,据不完全统计已有400多种规格。为了研究数控机床,可以按照多种原则来进行分类。归纳起来,通常按下面5种原则来分类。

1. 按工艺用途分类

(1) 普通数控机床,这类机床和传统的通用机床一样,有数控的车、铣、镗、钻、磨床等,而且每一种又有很多品种,例如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。这类机床的工艺和通用机床相似,所不同的是它能加工形状复杂的零件。

(2) 数控加工中心机床,这类机床是在普通数控机床的基础上改进而成的。它是在普通数控机床上加装一个刀库(可容纳10~100多把刀具)和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀功能的数控机床(又称多工序数控机床或镗铣类加工中心,习惯上简称为加工中心——Machining Center),这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

数控加工中心机床和普通数控机床的区别是:工件经一次装夹后,数控装置就能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主的,主要用来加工箱体零件。据统计,一台数控加工中心机床在加工它“拿手”的箱体零件时,相当于5台普通数控机床。因此,和一般的数控机床相比,加工中心具有下列优点:

① 减少机床台数,便于管理。对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工,并可以减少半成品的库存量;

② 由于工件只需一次装夹,因此减少了由于多次安装造成的定位误差,可以依靠机床精度来保证加工质量;

③ 工序集中,减少辅助时间,提高了生产效率;

④ 由于零件在一台机床上一次装夹就能完成多道工序加工,所以大大减少了专用工夹具的数量,进一步缩短了生产的准备时间。

由于数控加工中心机床的优点很多,深受用户欢迎,因此在数控机床生产中占有很重要的地位。

另外还有一类加工中心是在车床基础上发展起来的,以轴类零件为主要的加工对象。除可进行车削、镗削外,还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻丝加工。这类加工中心也设有刀库,可安装4~12把刀具,习惯上称此类机床为车削中心(Turning Center, TC)。

(3) 多坐标数控机床。有些形状复杂的零件,用三坐标的数控机床还是无法加工,如螺旋桨、飞机上的曲面零件等,需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床,其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求。现在常用的是4、5、6个坐标的数控机床。图1-2为5轴联动的数控加工示意图。这时, x 、 y 、 z 3个坐标与转台的回转、刀具的摆动可以同时联动,以加工机翼等零件。

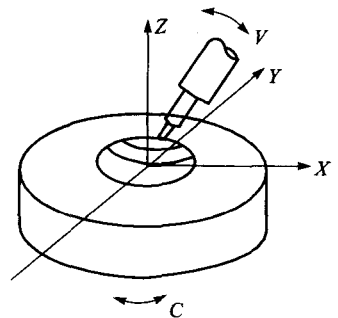


图1-2 五坐标加工

2. 按控制系统对运动轨迹的控制方式分类

按照数控系统控制的刀具与工件间相对运动的轨迹, 可将数控机床分为点位控制数控机床、点位直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等。

(1) 点位控制数控机床。这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点), 即仅控制行程终点的坐标值, 在移动过程中不进行任何切削加工, 至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产效率。为了在精确定位的基础上有尽可能高的生产效率, 所以两相关点之间的移动先是快速移动以接近新的位置, 然后降速 1~3 级, 使之慢速趋近定位点, 以保证其定位精度。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等, 其相应的数控装置称为点位控制装置。

(2) 点位直线控制数控机床。这类机床工作时, 不仅要控制两相关点之间的位置(即距离), 还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹)。其路线一般都由与各坐标轴平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于: 当机床的移动部件移动时, 可以沿一个坐标轴的方向(一般也可以沿 45° 斜线进行切削, 但不能沿任意斜率的直线切削)进行切削加工, 而且其辅助功能比点位控制的数控机床多, 例如, 要增加主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床有 2~3 个可控轴, 但可同时控制的轴只有一个。这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等, 相应的数控装置称之为点位直线控制装置。

(3) 轮廓控制数控机床。这类机床的控制装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点, 还要控制整个加工过程中各点的速度和位置, 使机床加工出符合图纸要求的形状复杂的零件。它的辅助功能亦比较齐全。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等。其相应的数控装置称之为轮廓控制装置(或连续控制装置)。

按照联动(同时控制)轴数分为: 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动和 5 轴联动数控机床。2.5 轴联动是 3 个主要控制轴(x 、 y 、 z)中, 任意两个轴联动, 另一个是点位或直线控制。

3. 按伺服系统的控制方式分类

数控机床按照对控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在闭环系统中, 根据测量装置安放的位置又可以将其分为全闭环和半闭环两种。在开环系统的基础上, 还发展了一种开环补偿型数控系统。现分析如下:

(1) 开环控制数控机床。在开环控制中, 机床没有检测反馈装置(见图 1-3), 数控装置发出信号的流程是单向的, 所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程, 它对机床移动部件的实际位置不做检验, 所以机床加工精度不高, 其精度主要取决于伺服系统的性能。工作过程是: 输入的数据经过数控装置运算后分配出指令脉冲, 通过伺服机构(伺服元件常为步进电机)使被控工作台移动。

这种机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单, 但由于其控制精度受到限制, 因此它适用于一般要求的中、小型数控机床。

(2) 闭环控制数控机床。由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求, 所以必须检测它的实际工作位置, 为此, 在数控机床上增加了检测反馈装置, 在加工中时刻检测机

床移动部件的位置，使之和数控装置所要求的位置相符合，以期达到很高的加工精度。

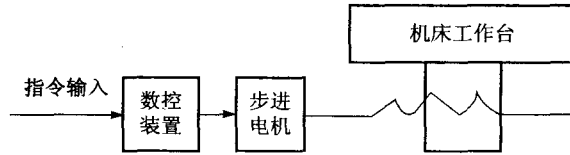


图 1-3 开环控制系统框图

闭环控制系统框图如图 1-4 所示，图中 A 为速度测量元件，C 为位置检测元件。当指令值发送到位置比较电路时，若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使得伺服电机转动。通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中与指令值进行比较，用比较的差值进行控制，直至差值消除为止，最终实现工作台的精确定位。这类机床的优点是精度高、速度快，但是调试和维修比较复杂。其关键是系统的稳定性，所以在设计时必须对稳定性给予足够的重视。

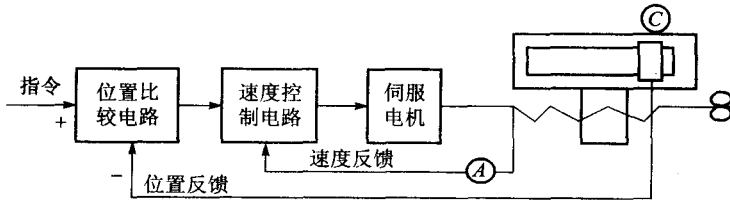


图 1-4 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制数控机床。半闭环控制系统的组成如图 1-5 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量，而是通过与伺服电机有联系的测量元件，如测速发电机 A 和光电编码盘 B (或旋转变压器) 等间接检测出伺服电机的转角，推算出工作台的实际位移量，用此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。从图 1-5 可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路内，因而称之为半闭环控制。这种控制方式介于开环与闭环之间，精度没有闭环高，调试却比闭环方便。

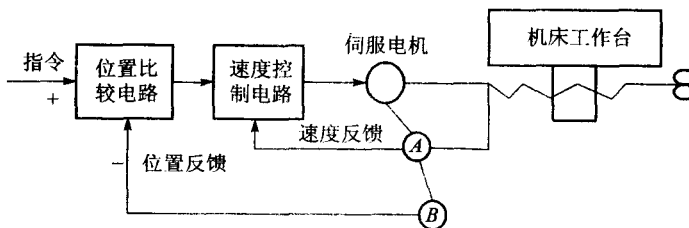


图 1-5 半闭环控制系统框图

(4) 开环补偿型数控机床。将上述 3 种控制方式的特点有选择地集中起来，可以组成混合控制的系统。这在大型数控机床中是人们多年研究的题目，现在已成为现实。因为，大型数控机床需要较高的进给速度和返回速度，又需要相当高的精度。如果采用全闭环的控制，机床传动链和工作台全部置于控制环节中，因而十分复杂。为了避开这些矛盾，可以采用混

合控制方式。在具体方案中它又可分为两种形式：一是开环补偿型；二是半闭环补偿型。这里仅将开环补偿型控制数控机床加以介绍。

图 1-6 为开环补偿型控制方式的组成框图。它的特点是：基本控制选用步进电机的开环控制伺服机构，附加一个校正伺服电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号来校正机械系统的误差。

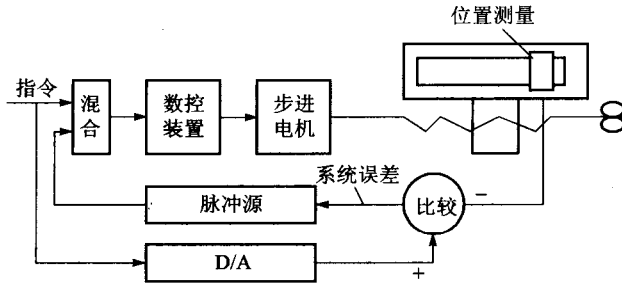


图 1-6 开环补偿型控制图

4. 按数控装置分类

数控机床若按其实现数控逻辑功能的数控装置来分，有硬线（件）数控和软线（件）数控两种。

（1）硬线数控（又称普通数控，即 NC）。

这类数控系统的输入、插补运算、控制等功能均由集成电路或分立元件等器件实现。一般来说，数控机床不同，其控制电路也不同，因此系统的通用性较差，因其全部由硬件组成，所以功能和灵活性也较差。这类系统在 20 世纪 70 年代以前应用得比较广泛。

（2）软线数控（又称计算机数控或微机数控，即 CNC 或 MNC）。

这类系统利用中、大规模及超大规模集成电路或用微机与专用集成芯片组成 CNC 装置，其主要的数控功能几乎全由软件来实现。对于不同的数控机床，只需编制不同的软件就可以实现，而硬件几乎可以通用，因而灵活性和适应性强，也便于批量生产。模块化的软、硬件同时也提高了系统的质量和可靠性，所以，现代数控机床都采用 CNC 装置。

5. 按功能水平分类

按照数控系统的功能水平分，数控机床可以分为经济型、中档型和高档型 3 种类型。这种分类方法目前尚无明确的定义和确切的分类界限，不同国家分类的含义也不同，不同时期的含义也不同。

（1）经济型数控机床。这类机床的伺服进给驱动一般是由步进电机实现的开环驱动，功能比较简单、价格比较低廉、精度中等，能实现形状比较简单的直线、圆弧及螺纹加工。一般控制轴数在 3 轴以下，脉冲当量（分辨率）多为 $10\ \mu\text{m}$ ，快速进给速度在 $10\ \text{m/min}$ 以下。

（2）中档型数控机床。中档型数控机床也称标准型数控机床，采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动，能实现 4 轴及 4 轴以下联动控制，脉冲当量为 $1\ \mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 24\ \text{m/min}$ ，一般采用 16 位或 32 位处理器，具有 RS-232C 通信接口、DNC 接口和内装 PLC，具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。

（3）高档型数控机床。高档型数控机床指加工形状复杂的多轴联动数控机床或加工中心，功能强，工序集中，自动化程度高，柔性好。一般采用 32 位以上微处理器，形成多 CPU 结