

现代数控技术

赵燕伟 主编

唐国兴 编著

张建生

周建强



SHIJI
GAODEN
JIAOYU
JINGPIN
DAXI



世纪高等教育精品大系

全国普通本科规划教材

浙江科学技术出版社
科学出版社

浙江省高等教育重点教材

现代数控技术

赵燕伟 主编

唐国兴 编著

张建生

周建强



全国普通本科规划教材
世纪高等教育精品大系

浙江科学技术出版社
科学出版社

内容提要

本书系统地介绍了现代机床数控技术各个方面的内容,包括数控插补原理、数控机床编程、数控系统构成及硬软件设计、伺服系统、检测装置、数控机床的机械结构和现代数控技术的发展方向等。本书取材新颖,注重内容的先进性、科学性、实用性和系统性,力求做到理论联系实际,面向应用,辅以相应的数控机床编程、操作实验,使学生能迅速掌握现代数控技术的原理并提高应用能力。

本书是高等工科院校机械类、机电类专业学生学习机电一体化知识的系列专业课教材之一,适合于机械制造、机械电子工程等本科、专科教材或参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控技术/赵燕伟主编;唐国兴,张建生,周建强
编著. —杭州:浙江科学技术出版社, 2004.8

(世纪高等教育精品大系)

ISBN 7-5341-2450-6

I. 现... II. ①赵...②唐...③张...④周...
III. 数控机床-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070369 号

从 书 名	世纪高等教育精品大系
书 名	现代数控技术
主 编	赵燕伟
编 著	唐国兴 张建生 周建强
出版发行	浙江科学技术出版社 科学出版社
联系电话	(0571) 85152486
印 刷	杭州大众美术印刷厂
开 本	787×1092 1/16
印 张	21.75
字 数	542 000
版 次	2004 年 8 月第 1 版
印 次	2004 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5341-2450-6
定 价	35.00 元
责任编辑	陈 岚
封面设计	孙 菁

前 言

制造业作为国民经济发展的基础产业，正经历前所未有的变化。各工业发达国家纷纷投入巨资，提出了诸如计算机集成制造（CIM-Computer Integrated Manufacturing）、精良生产（Lean Production）、敏捷制造（Agile Manufacturing）、并行工程（Concurrent Engineering）、智能制造（Intelligent Manufacturing）等先进的制造模式，以增强企业竞争能力。并从缩短研制生产周期 T（Time）、提高产品质量 Q（Quality）、降低成本 C（Cost）和提高服务 S（Serve）四方面着手，探索新的制造企业模式。

制造业的发展需要先进的装备来支撑，在现代制造系统中，数控（Computer Numerical, CNC）技术是关键技术，它集成微电子技术、计算机、信息处理、自动控制、自动检测等高新技术于一体，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点，对制造业实现柔性自动化、集成化、智能化起着举足轻重的作用。现代数控技术是当今机械工业自动化的重要手段，已成为衡量一个国家机械制造工业水平和机械制造企业技术水平的重要标志。

本书着眼于当代数控技术的最新成果，结合编著者多年来从事计算机数控技术的教学、开发与应用研究等方面的经验，较为系统地介绍了数控插补、数控机床编程、数控机床的结构、数控系统的硬件、数控伺服与检测以及开放式数控系统等基本原理和技术，便于读者由浅入深地了解现代数控技术。

本书在现有较为成熟的数控技术基础上，增编了基于 Unigraphics 的图形交互式自动编程系统、多 CPU 数控装置内部结构、数控装置的软件结构、检测电路中电细分的应用、软件式可逆计数、激光干涉仪原理、网络化开放式数控系统、MasterCAM 系统及其应用等内容，具有鲜明的时代特色。

全书由浙江工业大学赵燕伟教授担任主编并统稿，常州工学院唐国兴副教授、张建生副教授和浙江衢州学院周建强讲师任副主编。其中赵燕伟负责编写第 2、第 8、第 9 和第 10 章；唐国兴负责编写第 1 和第 7 章部分内容；张建生负责编写第 5 和第 6 章；周建强负责编写第 3 和第 8 章部分内容；浙江工业大学王贵明编写第 1 和第 2 章部分内容及附录；常州工学院徐建方负责编写第 7 章；常州工学院刘祖朋编写第 2 章部分内容；常州工学院褚辉生编写习题内容；浙江工业大学马亚良编写第 4 章部分内容。参加本书编写工作的还有王秋成、林峰、楼建勇、周鹏、杨丰玉、王景、王正初、翁海平、翁叶洪等。

本书得到浙江省高等教育重点建设教材项目资助，在此向浙江省教育厅表示衷心的感谢！

本书可作为高等工科院校机、电类专业本、专科学生学习数控技术课程教材，也可用于工程技术人员更新知识的自修用书，同时，可作为数控培训、编程与操作的技术参考书。

由于现代数控技术发展迅速，本教材内容涉及面广，加之作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者惠予斧正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

第1章 概 论	1
1.1 机床数字控制的基本原理	1
1.2 数控机床的分类	6
1.3 数控技术的应用与发展	11
思考与练习	21
第2章 数控机床的插补原理	22
2.1 概 述	22
2.2 逐点比较插补法	24
2.3 数字积分插补法	36
2.4 数据采集插补	46
2.5 刀具半径补偿	50
思考与练习	62
第3章 数控机床加工程序手工编制	63
3.1 程序编制基础	63
3.2 零件加工程序的编制	75
3.3 数控机床编程实例	81
思考与练习	95
第4章 数控加工自动编程	97
4.1 自动编程概述	97
4.2 APT 语言简介	99
4.3 CAD/CAM 数控自动编程	104
4.4 CAD/CAM 图形交互式自动编程系统——Unigraphics 的使用	110
思考与练习	122
第5章 计算机数控装置原理	123
5.1 计算机数控装置概述	123
5.2 CNC 数控装置的一般结构	124
5.3 显示及键盘原理	128
5.4 给定升降速控制规律	131
5.5 刀架、刀库的机械手控制	133
5.6 CNC 的输入输出与通信功能	134
5.7 可编程控制器 (PLC)	148
思考与练习	159
第6章 数控机床的位置检测装置	160

6.1 概 述	160
6.2 正交、正弦信号的细分及判向电路	162
6.3 感应同步器	164
6.4 光 栅	168
6.5 旋转变压器	170
6.6 编码器	171
6.7 磁 栅	172
6.8 激光干涉位置检测装置	174
思考与练习	176
第7章 数控机床的伺服系统	177
7.1 概 述	177
7.2 伺服系统基本性能指标的要求及分类	178
7.3 步进电机开环伺服系统	181
7.4 直流伺服电机与速度控制单元	187
7.5 交流伺服电机与速度控制单元	191
7.6 伺服系统的位置控制	193
7.7 数控伺服系统的可靠性	197
思考与练习	205
第8章 数控机床的机械结构	206
8.1 概 述	206
8.2 数控机床主传动及其实现	209
8.3 数控机床进给传动及其实现	214
8.4 数控回转工作台	232
8.5 SINUMERIK 810D 加工中心结构	237
思考与练习	241
第9章 数控机床的刀具与工件交换装置	242
9.1 刀具结构与特点	242
9.2 自动换刀装置	247
9.3 加工中心机床刀库	252
9.4 刀具的选择与识别	259
9.5 工件交换装置	263
思考与练习	266
第10章 网络化开放式数控系统	267
10.1 开放式数控系统的定义与特征	267
10.2 开放式数控系统国内外研究现状	268
10.3 新一代网络化开放式数控系统	272
思考与练习	278
参考文献	339

第1章 概 论

1.1 机床数字控制的基本原理

一、数控机床与其应用特点

随着微电子技术的发展,机械加工自动化已由刚性自动化向着柔性自动化方向发展,其中最典型的就是数控机床。目前由于计算机应用技术的成熟,机床数控系统均采用计算机数控(CNC, Computer Numerical Control)。为此,我们首先给数控机床下个简单定义:数控机床就是用计算机通过数字信息来自动控制机械加工的机床。

具体说来,数控机床是通过编制程序,即通过数字(代码)指令来自动完成机床各个坐标的协调运动,正确地控制机床运动部件的位移量,并且按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作(如:主轴转速、进给速度、换刀、工件夹紧放松、工件交换、冷却液开关等)。它是一种综合了计算机应用技术、自动控制、精密测量、微电子技术、机械加工技术、机床结构设计和成组工艺等各个技术领域里的最新技术而发展起来的,一种具有高效率、高质量和高柔性的自动化新颖机床。可以说它集中了自动(专用)机床、精密机床和万能机床三者的优点,而避免了它们的缺点,即具有专用机床的高效率,精密机床的高精度,万能机床的高柔性。具体说来,数控机床具有如下优点:

1. 广泛的适应性

由于采用数字程序控制,当生产品种改变时,只要重新编制零件程序,输入新的加工程序就能够实现对新零件的自动化生产。这对当前市场竞争中产品不断更新换代的生产模式是十分重要的,它为解决多品种、中小批量零件的自动化加工提供极好的生产方式。

2. 精度高、质量稳定

数控机床是按照预定程序自动工作的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造机床主机时,通常采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到较高的精度。数控装置的脉冲当量(或分辨率)目前可达 $0.01\sim 0.0001\text{mm}$,同时可以通过实时检测反馈修正误差或补偿来获得更高的精度。因此,数控机床可以获得比机床本身精度更高的加工精度。尤其是产品稳定性(即零件加工的一致性)是过去任何机床所不及的,它与操作者的思想情绪和熟练程度几乎无关。也由于零件加工的一致性,它给下道工序的加工或总装工序的互换性都带来许多方便。

3. 生产效率高

数控机床能够减少零件加工所需的机动时间与辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的

范围比通用机床的范围大，每一道工序都能选用最佳的切削用量，良好的机械结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削，从而有效地节省了机动时间。数控机床移动部件在定位中均采用加速和减速措施，并可选用很高的空行程运动速度，缩短了定位和非切削时间。由于采用了自动换刀、自动交换工作台和装夹工件，并还可在同一台机床（加工中心）上同时进行车、铣、镗、钻、磨等各种粗精加工，即在一台机床上实现多道工序的连续加工。它不仅减少了辅助工时，并且由于集中了工序，既减少了零件周转和装夹次数，又减少了半成品零件的堆放面积，给生产调度管理带来极大的方便。另外，也由于一机多用，减少了设备台数和厂房占地面积。

4. 减轻劳动强度，改善生产条件

由于数控机床是按所编程序自动完成零件加工的，操作者一般只需装卸工件和更换刀具，按自动循环按键后，由机床自动完成加工，因而大大减轻了操作者的劳动强度，改善了生产条件，减少了对熟练技术工人的需求，并可实现一人管理多台机床加工。

5. 能实现复杂零件的加工

普通机床难以实现或无法实现轨迹为二次以上的曲线或曲面的运动，如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面。而数控机床由于采用了计算机插补技术和多坐标联动控制，可以实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面，适用于各种复杂形面的零件加工。

6. 有利于现代化生产管理

采用数控机床加工，能很方便地准确计算零件加工工时、生产周期和加工费用，并有效地简化了检验，以及工夹具和半成品的管理工作。利用数控机床的通信接口，采用数控信息与标准代码输入，适宜于与计算机联网，实现计算机辅助设计、制造及管理一体化。

数控机床与“刚性自动化”机床所不同的根本点是具有广泛的适应性，也就是说对于各种不同零件的加工，只要在软件上通过不同的更改，不必从机械结构等硬件上作变动，即通过编制零件加工程序就能适应于自动加工各种形面、尺寸的零件。所以说它是解决多品种、中小批量机械加工自动化的根本出路。我们知道机械加工中 70%~80% 是中小批量零件，它是机械工业生产的主体。尤其是在当今技术飞跃发展的时代，机电产品日新月异，为加速产品的更新换代，实现中小批量机械加工自动化是关键的一步，这也是历来机械加工中的一大难题。由于微电子技术的迅速发展，计算机数控化使这个问题逐步得到了较满意的解决。

数控机床与普通机床相比具有许多优点，应用范围还在不断扩大。但是数控设备的初始投资费用较高。技术复杂，对编程、维修人员的素质要求也比较高。在实际选用中，需要充分考虑其技术经济效益。一般来说，数控机床特别适用于加工零件较复杂、精度要求高和产品更新频繁、生产周期要求短的场合。

根据国外数控机床应用实践，通常数控机床的适用范围可简单用图 1-1 来表示。

如图 1-1(a)所示是随零件复杂程度和生产批量的不同，3 种机床应用范围的变化情况。当零件不太复杂，生产批量又较小时，适宜采用通用机床；当生产批量很大时，适宜采用专用机床。而随着零件复杂程度的提高，数控机床愈显得适用。目前，随着数控机床的普及，应用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

如图 1-1(b)所示为通用机床、专用机床和数控机床加工零件时平均单件工艺成本与生产批量的关系曲线图。从图中看出，在多品种、中小批量生产情况下，采用数控机床总费用更为合理，其中最小经济批量 $N_{\min}$ 与最大经济批量 $N_{\max}$ 是其适用范围。

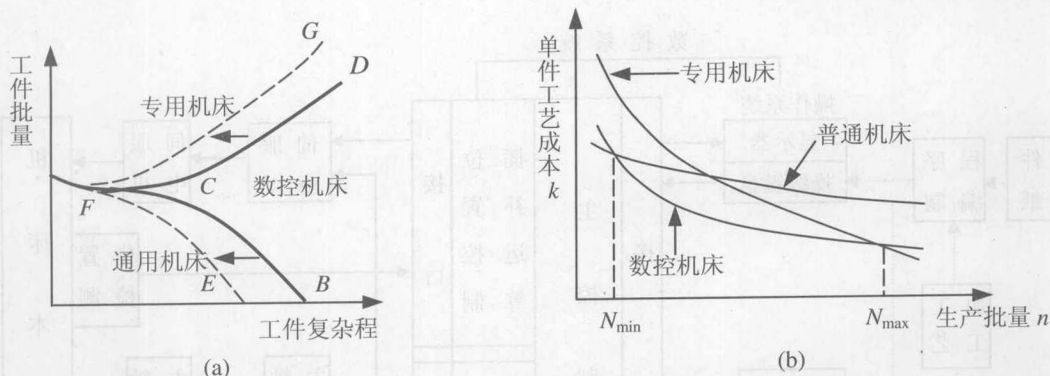


图 1-1 数控机床的适用范围示意图

另外就数控机床的应用特点还有:

- (1) 采用数控加工方法将为产品质量的稳定性提供可靠的保证,同时也为宣传本企业产品质量提供了一定的广告效益。
- (2) 数控机床的高柔性,使新产品开发周期短,可加速企业产品的更新换代。
- (3) 人员安排的不同。数控机床的使用对机床操作工的技能要求较低,但对数控编程和维修人员的技术素质要求较高。可采用一人操作多台数控机床的生产模式,来适当减少生产所需的职工人数。

二、数控机床的组成

数控机床一般由数控系统,包括伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、主传动系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成,如图 1-2 所示。图 1-2 中实线部分是一种较典型的现代数控机床构成框图,加上虚线部分即可表示数控加工的基本工作过程。对具体各类不同功能的数控机床,其组成部分应略有不同。

1. 数控系统

它是机床实现自动加工的核心。主要有操作系统、主控制系统、可编程控制器、各类输入输出接口等组成。其中操作系统由显示器和操纵键盘组成,显示器有数码管、CRT、液晶等多种形式。主控制系统与计算机主板有所类同,主要由 CPU、存储器、控制器等部分组成。数控系统所控制的一般对象是位置、角度、速度等机械量和温度、压力、流量等物理量,其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类,其中主控制器内的插补运算模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常主要由可编程控制器 PLC 来完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

2. 伺服系统

它是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,再经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机运转,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

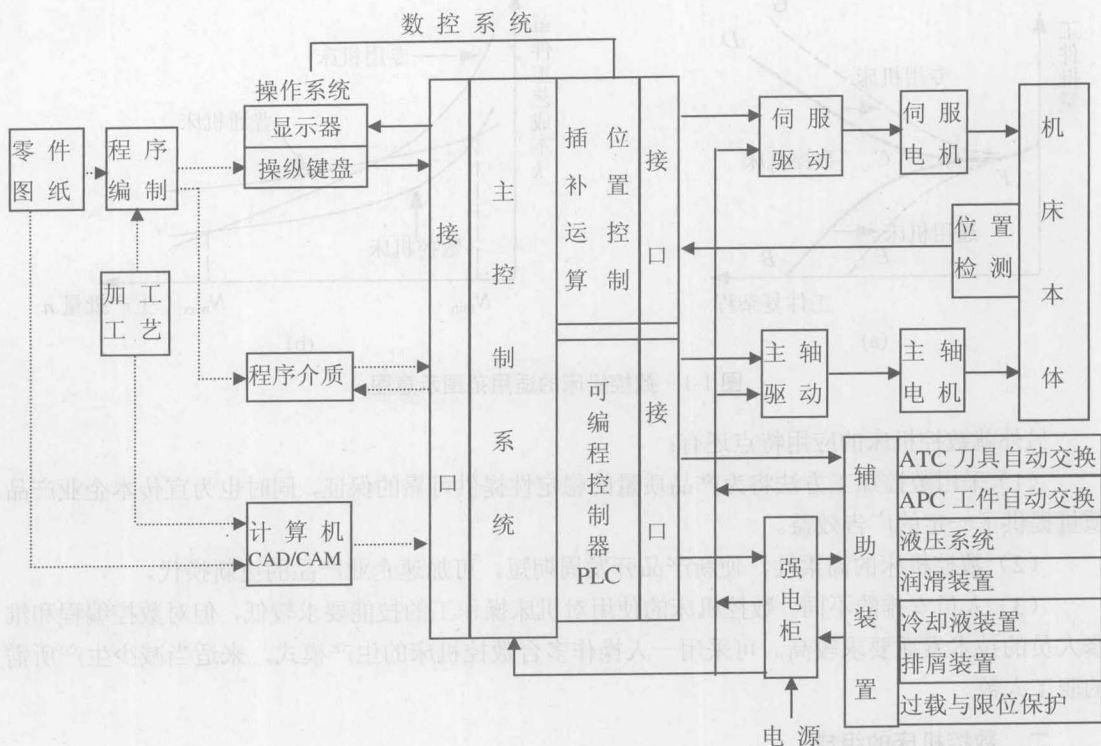


图 1-2 数控机床的主要组成部分与基本工作过程的示意框图

3. 主传动系统

它是机床切削加工时传递扭矩的主要部件之一。一般分为齿轮有级变速和电气无级调速两种类型。但较高档的数控机床都要求实现无级调速，以满足各种加工工艺的要求。它主要由主轴驱动控制系统、主轴电动机以及主轴机械传动机构等组成。

4. 强电控制柜

它主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，主要在可编程控制器 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元器件之间起桥梁联结作用，即控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等，起到扩展接点数和扩大触点容量等作用。另外它也与机床操作台的有关手控按钮连接。强电控制柜主要由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般的普通机床电气类似，但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性，要求各类频繁启动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器；对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

5. 辅助装置

它主要包括 ATC 刀具自动交换机构、APC 工件自动交换机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、冷却液装置、排屑装置、过载与限位保护功能等部分。但根据机床加工功能与类型不同，所包含的部分也不同。

6. 机床本体

它指的是数控机床机械结构实体。它与传统的普通机床相比较,同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。归纳起来有以下几点:

- (1) 采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- (2) 进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。
- (3) 有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件在加工中心类机床上一次安装后,能自动地完成或者接近完成工件各面的加工工序。
- (4) 有工件自动交换、工件夹紧与放松机构。如在加工中心类机床上采用工作台自动交换机构。
- (5) 床身机架具有很高的动、静刚度。
- (6) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部位进行全封闭。

三、数控机床的基本工作过程

首先根据零件图纸,结合加工工艺进行程序编制,然后通过键盘或其他输入设备输入,送入数控系统后再经过调试、修改,最后把它储存起来。加工时就按所编程序进行有关数字信息处理,一方面通过插补运算器进行加工轨迹运算处理,从而控制伺服系统驱动机床各坐标轴,使刀具与工件的相对位置按照被加工零件的形状轨迹进行运动,并通过位置检测反馈以确保其位移精度;另一方面按照加工要求等,通过 PLC 控制主轴及其他辅助装置协调工作,如主轴变速、主轴齿轮换挡、适时进行 ATC 刀具自动交换、APC 工件自动交换、工件夹紧与放松、润滑系统定时开停、冷却液按要求开关,必要时过载或限位保护起作用,控制机床运动迅速停止。

数控机床通过程序调试、试切削后,进入正常批量加工时,操作者一般只要进行工件上下料装卸,再按一下程序自动循环按钮,机床就能自动完成整个加工过程。

对于零件程序编制分为手动编程和自动编程。手动编程是指编程员根据加工图纸和工艺,采用数控程序指令(目前一般都采用 ISO 数控标准代码)和指定格式进行程序编写,然后通过操作键盘送入数控系统内,再进行调试、修改等。对于自动编程,目前已较多地采用了计算机 CAD/CAM 图形交互式自动编程,通过计算机有关处理后,自动生成的数控程序,可通过接口直接输入数控系统内。如图 1-2 所示的框图中的程序介质目前主要有 3 种:

- (1) 纸带。需要利用纸带穿孔机和光电阅读机进行程序纸带制作和输送。
- (2) 磁带。即采用录音机进行程序输入、输出。
- (3) 软盘。即计算机软盘,需借助于软驱进行程序输入、输出。

这里需要特别说明的是,由于目前一般都采用微处理机数控系统,系统内存容量已大大增加,数控系统内存 ROM 中本身就有编程软件,实现了在线编程,并且零件程序也能较多地直接保存在数控系统内存 RAM 中。对于程序存储介质的使用,主要是指某一数控机床所加工的零件品种较多时,为了工厂均衡生产的需要,把某些暂时不用的零件程序保存在程序介质中,等以后要用时再输入,即程序介质只起到外存储器的作用,它与以前硬线联接的 NC 数控机床对程序介质的使用要求是有本质区别的,即要求数控机床与程序介质同步运行来加工零件。

1.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,分类方法不一。根据数控机床的功能和结构,一般可以按下面3种方法来进行分类。

一、按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床

其特点是只要求控制机床移动部件从一点移动到另一点的准确定位,至于点与点之间移动的轨迹(路径和方向)并不严格要求,各坐标轴之间的运动是不相关的,如图1-3所示,起点到终点的运动轨迹可以是图中①或②、③、④、⑤中的任意一种,并且在移动过程中不进行加工。为了实现既快又精确的定位,两点间位置的移动一般先以最快速度移动,到即将接近新的位置点时再通过1~3级减速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。

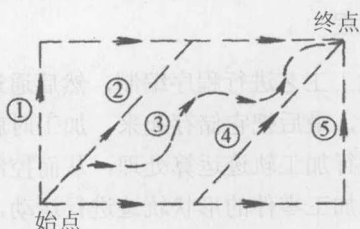


图 1-3 点位运动

这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。其相应的数控装置称为点位控制数控系统。

2. 直线控制数控机床

也称为平行控制,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹),但其路线只是与机床坐标轴平行的直线,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必具有插补运算功能),在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削,一般只能加工矩形、台阶形零件。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等,其相应的数控装置称为直线控制数控系统。

3. 轮廓控制数控机床

也称为连续控制,其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的表面要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算的功能,即根据程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或曲线的形状描述出来,并一边运算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求轮廓相符。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削,可以进行

各种斜线、圆弧、曲线的加工。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控缓进给成形磨床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。它按所控制的联动坐标轴数不同，又可分为下面几种主要形式：

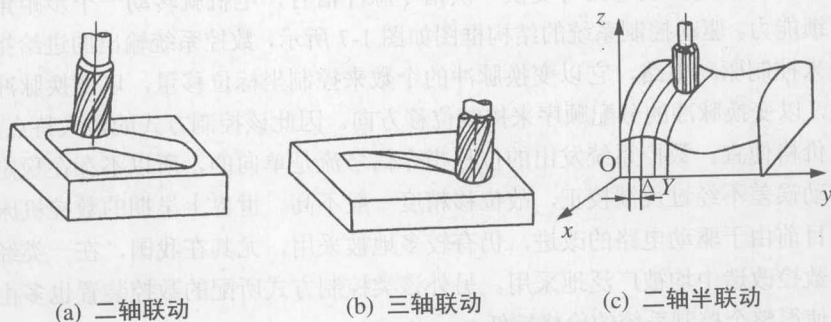


图 1-4 不同形面铣削的联动轴数

(1) 二轴联动。主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床等加工曲线柱面(如图 1-4(a)所示)。

(2) 二轴半联动。主要用于三轴以上控制的机床，其中两个轴互为联动，而另一个轴作周期进给，如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面(见图 1-4(c))。

(3) 三轴联动。一般分为两类，一类就是 x 、 y 、 z 三个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床、加工中心等，如用球头铣刀铣切三维空间曲面(见图 1-4(b))。另一类是除了同时控制 x 、 y 、 z 其中两个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向(z 轴)、横向(x 轴)两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 四轴联动。即同时控制 x 、 y 、 z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，如图 1-5 所示为同时控制 x 、 y 、 z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

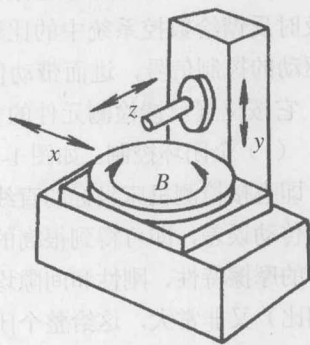


图 1-5 四轴联动的数控加工

(5) 五轴联动。除了同时控制 x 、 y 、 z 三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标，即形成同时控制 5 个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-6 所示。比如控制切削刀具同时绕着 x 轴和 y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的圆滑性，提高其加工精度和光洁度等。

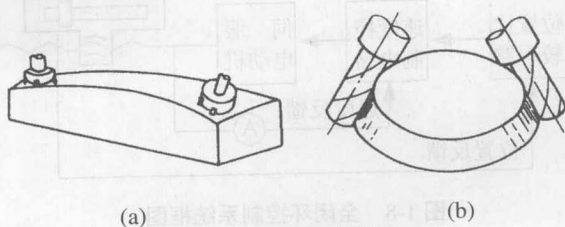


图 1-6 五轴联动的数控加工

二、按伺服控制方式分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的进给伺服驱动是开环的,即没有检测反馈装置。其驱动电机只能采用步进电机,该类电机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号,电机就转动一个步距角,并且电机本身就有自锁能力。驱动控制系统的结构框图如图 1-7 所示,数控系统输出的进给指令信号通过环行分配器来控制驱动电路,它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量,以变换脉冲的频率来控制位移速度,以变换脉冲的分配顺序来控制位移方向。因此该控制方式的最大特点是控制方便,结构简单,价格便宜。数控系统发出的位移指令信号流是单向的,所以不存在稳定性问题。但由于机械传动误差不经过反馈校正,故位移精度一般不高。世界上早期的数控机床均采用该控制方式,但目前由于驱动电路的改进,仍有较多地被采用,尤其在我国的,在一类经济型数控机床或旧设备数控改造中均被广泛地采用。另外该类控制方式所配的数控装置也多由单片机或单板机构成,使得整个控制系统的价格较低。

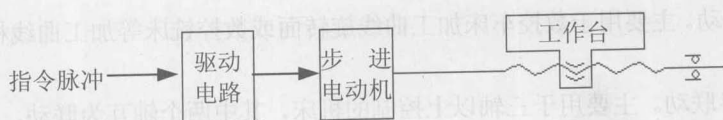


图 1-7 开环控制系统框图

2. 闭环控制数控机床

这类机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的。其驱动电机可采用直流或交流两种伺服电动机,并需同时配有速度反馈和位置反馈。在加工中随时检测移动部件的实际位移量,并及时反馈给数控系统中的比较器,它与插补运算所得的指令信号进行比较,其差值又作为伺服驱动的控制信号,进而带动位移部件以消除位移误差。

它按位置反馈检测元件的安装部位不同,又分为全闭环和半闭环两种控制方式。

(1) 全闭环控制。如图 1-8 所示,其位置反馈采用直线位移检测元件,安装在机床拖板部位上,即直接检测机床坐标的直线位移量,通过反馈可以消除从电动机到机床拖板整个机械传动链中的传动误差,即可得到很高的机床静态定位精度。但是,由于在整个控制环内,许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性,并且整个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,这给整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难,系统的设计和调整也都相当复杂,因此这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

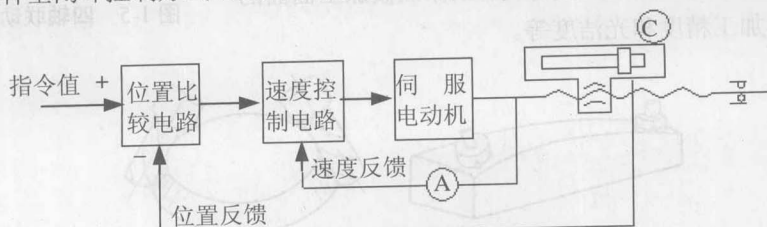


图 1-8 全闭环控制系统框图

(2) 半闭环控制。如图 1-9 所示, 其位置反馈采用转角检测元件, 直接安装在伺服电动机或丝杠端部。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。不过丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正, 但是可采用软件定值补偿的方法来适当提高其精度。目前, 大部分数控机床采用该半闭环控制方式。

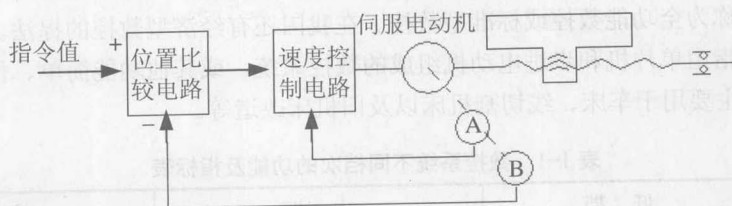


图 1-9 半闭环控制系统框图

3. 混合控制数控机床

将上述控制方式的特点有选择的集中, 可以组成混合控制的方案。如前所述, 由于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差, 而全闭环稳定性差, 所以为了互为弥补, 以满足某些机床的控制要求, 宜采用混合控制方式, 较多的采用下述两种形式:

(1) 开环补偿型。如图 1-10 所示为开环补偿型控制方式。其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构, 附加位置校正电路, 通过装在工作台上直线位移测量元件的反馈信号来校正机械传动误差。

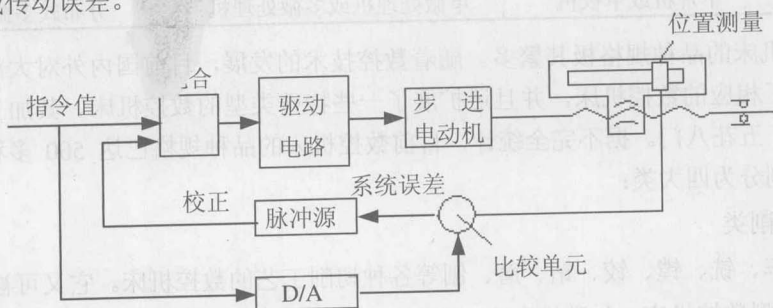


图 1-10 开环补偿控制系统框图

(2) 半闭环补偿型。如图 1-11 所示为半闭环补偿型控制方式。其特点是用半闭环进行基本驱动以取得稳定的高速响应特性, 再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环, 然后用全闭环和半闭环的差进行控制, 以获得高精度。其中 A 是速度测量元件 (测速发电机), B 是角度测量元件, C 是直线位移测量元件。

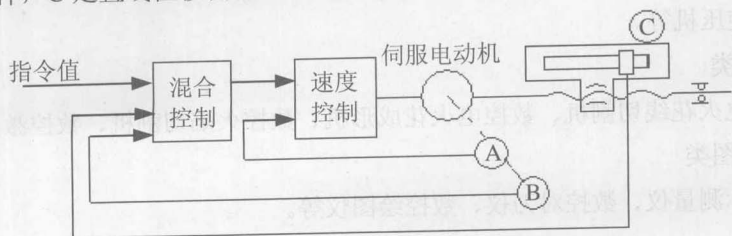


图 1-11 半闭环补偿控制系统框图

三、按数控系统功能和机床用途分类

按数控系统的功能水平通常把数控系统分为低、中、高 3 类。这种分类方式, 尤其在我国用的较多。低、中、高 3 档的界限是相对的, 不同时期, 划分标准也会不同。就目前的发展水平来看, 可以根据表 1-1 的一些功能及指标, 将各种类型的数控系统分为低、中、高档 3 类。其中中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控, 是指由单片机和步进电动机组成的数控系统, 或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标表

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
G00 速度	3~8m/min	10~24m/min	24~100m/min
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232C 或 DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT: 图形、人机对话	CRT: 三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结 构	单片机或单板机	单微处理机或多微处理机	分布式多微处理机

我们知道机床的品种规格极其繁多。随着数控技术的发展, 目前国内外对大部分普通机床几乎都已开发了相应的数控机床, 并且还扩展了一些特殊类型的数控机床。其加工用途、功能特点多种多样, 五花八门。据不完全统计, 目前数控机床的品种规格已达 500 多种, 但按其基本用途又可以划分为四大类:

1. 金属切削类

即指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可被分为两类:

(1) 普通型数控机床。如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

(2) 加工中心。其主要特点是具有自动换刀机构的刀具库, 工件经一次装夹后, 通过自动更换各种刀具, 在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣(车)、镗、钻、铰、攻丝等多工序的加工, 如(镗铣类)加工中心、车削中心、钻削中心等。

2. 金属成形类

即指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床, 常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3. 特种加工类

主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

4. 测量、绘图类

主要有三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

1.3 数控技术的应用与发展

一、数控技术的推广应用

1952年3月,美国帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院(MIT)合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,用于火箭零件的制造。在此以后,其他一些国家,如德国、英国和日本都相继地开发、生产及使用了数控机床,日本于1955年开始数控的研究工作,于1965年开始生产高技术的多坐标轮廓控制数控装置。

数控机床最早出现并获得使用的是数控铣床,这种铣床解决了普通机床难以加工的零件制造。由于当时的数控系统采用电子管式,体积庞大、功耗大,因此除了在军事部门使用外,其他行业几乎没有采用。

1960年以后,点位控制的数控机床得到了迅速的发展,因为点位控制的数控系统比轮廓控制的数控系统要简单得多,因此,数控钻床、数控冲床、数控镗床得到了发展。

在数控机床发展过程中,值得一提的是数控加工中心出现,这是一种具有自动换刀装置的数控机床,它能实现一次装夹,进行多工序的加工。这种机床在刀库中装有钻头、丝锥、铰刀、铣刀等刀具,通过程序指令自动选择刀具,并通过机械手将刀具装在主轴上,这样可大大缩短零件的装卸时间和换刀的时间。数控加工中心现在已经成为数控机床中一个非常重要的品种,不仅有立式、卧式等镗铣类的加工中心用于箱体类零件的加工,还有车削加工中心用于回转体零件的加工,以及磨削中心等等。

1974年微处理器直接应用于数控机床,进一步促进了数控机床的普及应用和发展。

20世纪80年代初,出现了以1(或2~3)台加工中心或车削中心为主体,配上工件自动装卸和监控检验装置的所谓柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。数控机床从20世纪50年代初到70年代末的近30年中,尽管经历了5代历史。但其实际应用普及率都一直比较低,分析其原因主要有机床价格昂贵,加工费用高,故障发生频繁,应用技术复杂以及各项配套措施没跟上等等。但近20年来随着微电子及相关技术的发展,使得该方面因素已大有改善,特别是微处理器技术的应用,使数控机床性能价格比有了极大的提高,实际应用普及率也越来越高。随着科学技术的飞速发展,机器制造技术发生了深刻的变化。由于市场对产品多样化的需求越来越大,多品种、中小批量生产的产品比重越来越大,传统的普通加工设备已经不能很好地适应高效率、高质量、多样化加工的要求。因此,从20世纪70年代以来,工业发达国家十分重视发展先进的制造技术,在加工设备中大量采用以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术,将机械技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术有机地结合在一起,使机器制造业的生产方式发生了一场变革。总结起来微处理器数控装置主要有下述优点:

(1) 价格便宜。由于大规模集成电路工艺的成熟,使得大批量制造微型计算机的芯片成本大大下降,由此,相应的数控系统价格也大大下降。

(2) 可靠性高。由于一方面采用了大规模集成元件,使外部连线的接点大大减少。另一方面许多功能都采用了软件的方法来扩展,这使系统的固有故障率大大下降。另外在数控系统设计中由于采用了故障相容设计(即对关键部件,使用额外的冗余部件以屏蔽故障)和故障诊断