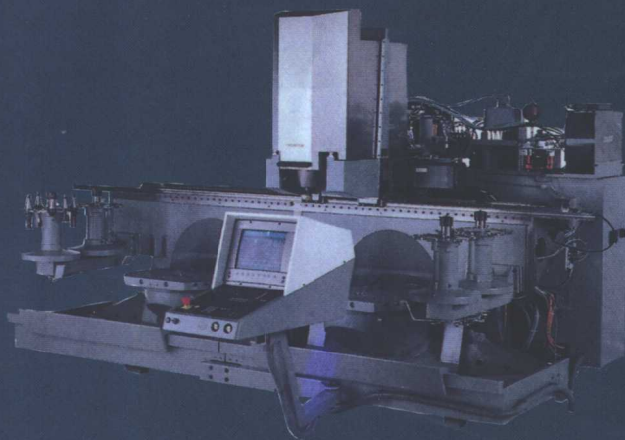


机床数控技术

王仁德 赵春雨 张耀满 编著



NEUPRESS
东北大学出版社

机床数控技术

王仁德 赵春雨 张耀满 编著

东北大学出版社

© 王仁德, 赵春雨, 张耀满 2002

图书在版编目 (CIP) 数据

机床数控技术 / 王仁德, 赵春雨, 张耀满编著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2002.9

ISBN 7-81054-798-4

I. 机… II. ①王… ②赵… ③张… 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 (2002) 第 068005 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http://www.neupress.com

印刷者: 东北大学印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 12.5

字 数: 245 千字

出版时间: 2002 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

责任编辑: 李毓兴

封面设计: 唐敏智

责任校对: 德 胜

责任出版: 秦 力

定 价: 20.00 元

前 言

机床数控技术是应用数字化代码程序、控制机床实现自动化加工的柔性控制技术，是集机械制造技术、电子技术、计算机技术和自动检测与控制技术等于一体的机电一体化技术，能适应现代制造技术向多品种、小批量、高精度、高效率 and 自动化加工等方向发展的要求，是现代制造技术的基础。

自从 20 世纪 50 年代第一台数控机床问世以来，数控机床及其数控技术经历了半个多世纪的发展，尤其是近 20 年，由于微处理器和微电子技术的发展，使数控机床的性能价格比有了极大的提高，不仅在工业发达国家，就是在发展中国家的应用普及率也越来越高，这不仅提高了产品加工质量和效率，缩短了生产周期，改善了劳动条件，而且对制造企业的产品结构、生产方式和生产组织管理等方面都产生了深远的影响，推动了制造业向信息化、集成化和智能化方向的发展，为机械制造业带来了一次技术革命。

本书是针对高校机械工程与自动化专业的教学需要而编写的，内容共分六章，包括概述、数控机床零件程序编制、机床数控装置的插补原理、计算机数字控制装置、数控机床的位移检测装置和数控机床的伺服控制系统。本书编者总结了多年的教学和科研经验，紧密结合了教学实践中的具体情况，对数控机床的主要内容及发展趋势进行了讲解，力求注意内容的系统性，论述的简明性，突出实用性和先进性，便于自学，为学生打下一个学习和应用机床数控技术及其他相关技术的基础。

本书的第一章和第四章由东北大学王仁德教授编写，第二章和第三章由东北大学张耀满讲师编写，第五章和第六章由东北大学赵春雨副教授编写。全书的组织和统稿工作由王仁德完成。由于编者水平有限，书中不乏欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

1	概 述	1
1.1	机床数控技术的基本概念	1
1.2	数控机床的特点与应用	1
1.3	数控机床的组成	3
1.4	数控机床的分类	5
1.4.1	按加工工艺及机床用途的类型分类	5
1.4.2	按机床运动的控制轨迹分类	6
1.4.3	按伺服控制方式分类	8
1.4.4	按数控系统的功能水平分类	9
1.5	数控技术的发展	10
1.5.1	数控机床的产生与发展	10
1.5.2	数控技术的发展趋势	10
1.6	以数控机床为基础的生产自动化技术	12
1.6.1	分布式数字控制 (DNC)	12
1.6.2	柔性制造单元 (FMC)	13
1.6.3	柔性制造系统 (FMS)	13
1.6.4	计算机集成制造系统	15
2	数控机床零件程序编制	17
2.1	概述	17
2.1.1	零件程序编制的步骤与内容	17
2.1.2	数控编程方法	18
2.2	数控加工的指令代码和程序结构	19
2.2.1	程序结构	19
2.2.2	程序段格式	20
2.2.3	变量参数编程与用户宏程序	24
2.2.4	数控加工中的坐标系与相关 G 指令	24

2.2.5	刀具补偿指令	27
2.2.6	固定循环	32
2.2.7	孔加工的程序编制	32
2.2.8	车削加工的程序编制	36
2.2.9	轮廓铣削加工的程序编制	38
2.3	程序编制中的数学处理	40
2.3.1	程序编制中数学处理的任務	40
2.3.2	非圆曲线的节点计算	41
2.3.3	列表曲线的插值与拟合	45
2.4	计算机辅助数控编程	49
2.4.1	计算机辅助编程技术的发展概况	49
2.4.2	典型的 CAD/CAM 软件介绍	51
2.4.3	MasterCAM 系统二维加工编程	52
2.4.4	MasterCAM 系统三维加工编程	59
3	机床数控装置的插补原理	67
3.1	概 述	67
3.1.1	插补的基本概念	67
3.1.2	插补方法的分类	67
3.2	基准脉冲插补	68
3.2.1	逐点比较法	68
3.2.2	数字积分法 (DDA 法)	73
3.3	数据采样插补	78
3.3.1	概述	78
3.3.2	数据采样法直线插补	80
3.3.3	数据采样法圆弧插补	81
3.4	曲面直接插补 (SDI)	86
3.4.1	SDI 的特点	86
3.4.2	SDI 的功能与信息输入	87
3.4.3	SDI 的结构和 workflow	87
3.4.4	SDI 的算法原理	87
3.4.5	SDI 的技术关键	91
4	计算机数字控制装置	93
4.1	计算机数字控制装置的硬件结构	93

4.1.1	大板式结构和模块化结构	93
4.1.2	单微处理器数控装置和多微处理器数控装置	93
4.1.3	开放式数控体系结构	96
4.2	CNC 装置功能	97
4.2.1	CNC 装置的主要功能与工作过程	97
4.2.2	CNC 装置的可选择功能	102
4.3	CNC 装置的软件系统	103
4.3.1	CNC 软件的特点	103
4.3.2	CNC 系统软件的总体结构	105
5	位置检测装置	110
5.1	概 述	110
5.2	旋转变压器	111
5.2.1	旋转变压器的结构和工作原理	111
5.2.2	旋转变压器的应用	113
5.2.3	磁阻式多极旋转变压器	115
5.3	感应同步器	115
5.3.1	感应同步器的结构和种类	116
5.3.2	感应同步器的工作原理	118
5.3.3	感应同步器测量系统	119
5.3.4	鉴幅测控系统	120
5.4	光 栅	121
5.4.1	计量光栅的种类	121
5.4.2	计量光栅的工作原理	122
5.4.3	光栅位移-数字转换系统	124
5.5	磁 栅	125
5.5.1	磁性标尺	126
5.5.2	读数磁头	126
5.5.3	磁栅的工作原理	127
5.6	编码器	128
5.6.1	绝对值式编码器	129
5.6.2	脉冲增量式码盘	130
6	数控机床的伺服控制系统	133
6.1	概 述	133

6.1.1	数控机床伺服系统的分类	133
6.1.2	数控机床对伺服系统的要求	136
6.1.3	机床伺服系统的发展	137
6.2	直流伺服电机及其速度控制	138
6.2.1	直流伺服电机的结构与分类	138
6.2.2	直流伺服电机的机械特性	139
6.2.3	直流伺服电机的调速原理与方法	140
6.2.4	直流伺服电机速度控制单元的调速控制方式	141
6.3	交流伺服电机及其速度控制系统	149
6.3.1	交流伺服电机的分类	149
6.3.2	交流伺服电机的变频调速与变频器	153
6.3.3	SPWM 波调制	155
6.3.4	交流电动机控制方式	164
6.3.5	交流伺服电机的矢量控制	165
6.4	步进电机开环位置控制系统	172
6.4.1	步进电机的工作原理	172
6.4.2	步进电机的主要特性	174
6.4.3	步进电机的结构类型	176
6.4.4	步进电机的环形分配器	177
6.4.5	功率放大器	180
6.4.6	步进电机的细分驱动技术	182
6.5	位置控制	185
6.5.1	脉冲比较伺服系统	185
6.5.2	相位伺服控制系统	186
6.5.3	幅值伺服控制系统	188
6.5.4	CNC 伺服系统和全数字式伺服系统	188
参考文献		190

1 概 述

1.1 机床数控技术的基本概念

在现代机械制造领域中,数控机床与机床数控技术已成为最基本的概念之一。数控是数字控制(Numerical Control,简称 NC)技术的简称,是用数字化代码实现自动控制的技术。根据不同的控制对象,有各种数字控制系统存在,其中,最早产生的、目前应用最为广泛的是机械制造行业中的各种机床数控系统。因此本书中的数控系统具体指机床数控系统。

最早的机床数控系统是由数字逻辑电路构成的,因此称为硬件数控系统。随着计算机技术的发展,硬件数控系统已被淘汰,取而代之的是计算机数控(Computer Numerical Control,简称 CNC)系统。机床的 CNC 系统是采用存储程序的计算机来完成部分或全部基本数控功能,主要由计算机程序,即软件来对各类控制信息进行处理,不仅具有真正的柔性,而且可处理逻辑电路难以处理的各种复杂信息,因此使数控系统的功能大大提高,而且还在向更高水平发展。现在的数控机床都是计算机数控机床。

有些文献将数控机床称为用数字化代码控制的机床,这种说法过于简单。实际上,在现代机床控制领域除了“数字控制”外,还有“顺序控制”,后者是利用可编程控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)实施控制。现代的 PLC 是以微处理器为基础的通用型自动控制装置,也是采用数字化代码进行控制,可单独用于专门化机床和专用机床的各种加工动作的先后顺序的控制,同时也用于数控系统中的逻辑控制,作为 CNC 系统的一部分。因此,数控机床应定义为采用数字化代码程序控制、能完成自动化加工的通用机床。数控机床的最显著特点是能完成复杂的机床刀具与工件间的相对位移控制,其控制信息要反映在零件加工程序中,零件加工程序可根据加工对象方便、高效地编写与输入,改变零件加工程序,便可实现不同零件的加工,因此比“顺序控制”有更大的柔性,适用于单件小批生产的自动化加工。

1.2 数控机床的特点与应用

由于数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密

机床设计与制造技术,具有专用机床的高效率,精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,具体说来可包括以下几个方面。

(1) 柔性自动化,具有广泛的适应性。由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可实现对新零件的自动化加工,因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种、中小批量生产自动化问题。

(2) 精度高、质量稳定。在数控机床中集中了众多提高加工精度和保证质量稳定性的技术措施。首先数控机床是根据数控程序自动工作,一般在工作过程中不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;数控机床的机械结构是按照精密机床要求进行设计和制造的,采用了滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件,而且刚度大,抗干扰性能好;伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $0.01\sim 0.0005\text{mm}$,同时工作中还大多采用具有检测反馈的闭环控制,并且有误差修正或补偿功能,可进一步提高精度和稳定性;数控加工中心具有刀库和自动换刀装置,工件可在一次装夹后完成工件的多面和多工序加工,最大限度地减小了装夹误差的影响等。

(3) 生产效率高。数控机床能最大限度地减小零件加工所需的机动时间与辅助时间,使生产效率显著提高。数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,因此每一道工序都能选择最佳的切削速度和进给速度;良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量和进行强力切削;一般不需要停机对工件进行检测,从而有效地减少了机床加工中的停机时间;机床移动部件在定位中都采用自动加减速措施,因此可选用很高的空行程运动速度,大大节约了辅助运动时间;加工中心可采用自动换刀和自动交换工作台等措施,工件一次装夹,可进行多面和多工序加工,可大大减少工件装夹、对刀等辅助时间,而且加工工序集中,可减少零件周转,减少了设备台数及厂房面积,给生产调度管理带来极大方便。

(4) 能实现复杂零件的加工。由于数控机床采用计算机插补技术和多坐标联动控制,可以实现任意的轨迹运动和加工出任何复杂形状的空间曲面,可方便地完成各种复杂曲面,如螺旋桨、汽轮机叶片、汽车外形冲压用模具等类零件的加工。

(5) 减轻劳动强度、改善劳动条件。由于数控机床的操作者主要是利用操作面板对机床的自动加工进行操作,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以实现一个人轻松管理多台机床。

(6) 有利于现代化生产与管理。采用数控机床加工能方便精确计算零件的加工工时或进行自动加工统计,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、群控或分布式控

制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造系统的基础。

但是与普通机床相比,数控机床的初始投资及维护费用较高,对操作与管理人员的素质要求较高,必须从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床,并且要循序渐进,培养人才,积累经验,才能达到降低生产成本,提高企业经济效益和市场竞争能力的目的。

1.3 数控机床的组成

现代数控机床都是 CNC 机床,其组成如图 1-1 所示。

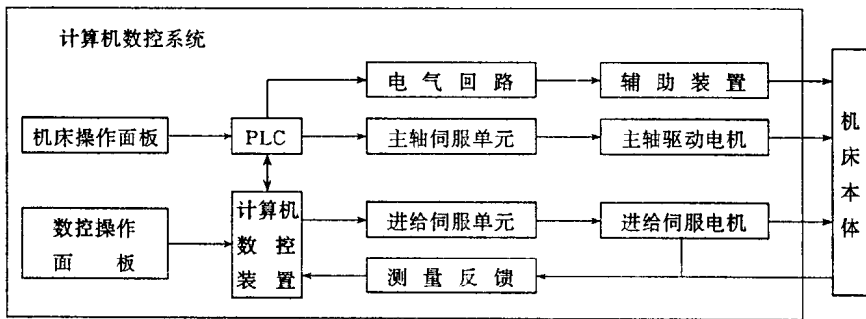


图 1-1 CNC 机床的组成

(1) CNC 装置

计算机数控装置,即 CNC 装置,是 CNC 系统的核心,由微处理器(CPU)、存储器、各种 I/O 接口及外围逻辑电路等构成,其主要作用是对输入的数控程序及有关数据进行存储与处理,通过插补运算等形成运动轨迹指令,控制伺服单元和驱动装置,实现刀具与工件的相对运动。对于离散的开关控制量,可通过 PLC 对机床电器的逻辑控制来实现。

(2) 数控面板

数控面板是数控系统的控制面板,各种数控系统的数控面板是不相同的,但大多数是有共性或相似的。主要由显示器、手动数据输入(Manual Data Input,简称 MDI)键盘组成,又称为 MDI 面板。显示器常具有多个软功能键,用于选择菜单。按键除各种符号键和数字键外,还常设控制键和用户定义键等。操作人员可通过键盘和显示器实现系统管理和对数控程序及有关数据进行输入和编辑修改。此外,数控程序及数据还可以通过磁盘(即软盘)或通讯接口输入。

(3) 可编程逻辑控制器 PLC

可编程逻辑控制器 PLC 也是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装

置,又称为 PC(Programmable Controller)或 PMC(Programmable Machine Controller),用于完成数控机床的各种逻辑运算和顺序控制,如:机床启停、工件装夹、刀具更换、冷却液开关等辅助动作。PLC 还接受机床操作面板的指令,一方面直接控制机床的动作,另一方面将有关指令送往 CNC 用于加工过程控制。

CNC 系统中的 PLC 有内置型和独立型。内置型 PLC 与 CNC 是综合在一起设计的,又称集成型,是 CNC 的一部分。独立型 PLC 是由独立的专业厂生产,又称外装型。

(4) 机床操作面板

机床操作面板(Operator Panel)主要用于手动方式下对机床的操作以及自动方式下对机床的操作或干预。其上有各种按钮与选择开关,用于机床及辅助装置的启停,加工方式选择、速度倍率选择等;还有数码管及信号显示等。中小型数控机床的操作面板常和数控面板做成一个整体,但二者之间有明显界限。数控系统的通讯接口,如串行接口,常设置在机床操作面板上。

(5) 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电机组成,对于闭环和半闭环控制的进给伺服系统,还应包括位置检测反馈装置。进给伺服单元接收来自 CNC 装置的运动指令,经变换和放大后,驱动伺服电机运转,实现刀架或工作台的运动。CNC 装置每发出一个控制脉冲,机床刀架或工作台的移动距离称为数控机床的脉冲当量或最小设定单位,脉冲当量或最小设定单位的大小直接影响数控机床的加工精度。

在闭环和半闭环控制伺服进给系统中,位置检测装置安装在机床上(闭环控制)或伺服电机上(半闭环控制),其作用是将机床或伺服电机的实际位置信号反馈给 CNC 系统,以便与指令位移信号相比较,用其差值控制机床运动,达到消除运动误差,提高定位精度的目的。

一般说来,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的优劣,如运动速度与精度等,则主要取决于伺服驱动系统。

数控技术的不断发展,对伺服进给驱动系统的要求越来越高,一般要求定位精度为 $0.01\sim 0.001\text{mm}$,高精设备要求达到 0.0001mm 。为保证系统的跟踪精度,一般要求动态过程在 $200\mu\text{s}$ 、甚至几十微秒以内,同时要求超调要小,为保证加工效率,一般要求进给速度为 $0\sim 24\text{m}/\text{min}$,高档的要求在 $0\sim 240\text{m}/\text{min}$ 内连续可调,此外要求低速时输出较大的输出转矩。

(6) 主轴伺服系统

数控机床的主轴驱动与进给驱动区别很大,电机功率输出应为 $2.2\sim 250\text{kW}$;进给电机一般是恒转矩调速,而主电机除了有较大范围的恒转矩调速外,还要有较大范围的恒功率调速,对于数控车床,为了能加工螺纹和恒切速功

能,要求主轴和进给驱动能同步控制,对于加工中心,还要求主轴进行高精度准停和分度功能。因此中高档数控机床的主轴驱动都采用电机无级调速或伺服驱动。

(7) 机床本体

数控机床的机械结构的设计与制造要适应数控技术发展,具有刚度大、精度高、抗振性强、热变形小等特点;由于普遍采用了伺服电机无级调速技术,机床进给运动和主传动的变速机构被极大地简化甚至取消;广泛采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效、高精度传动部件;采用机电一体化设计与布局,机床布局主要考虑有利于生产率的提高,而不象传统机床那样主要考虑方便操作;此外还采用自动换刀装置、自动更换工件机构和数控夹具等。

1.4 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,一般可以按下面四种原则来进行分类。

1.4.1 按加工工艺及机床用途的类型分类

随着数控技术的发展,目前国内外大部分普通机床几乎都已开发了相应的数控机床,并且还开发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,按其基本用途可分为四大类。

(1) 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型,又可分为两类:

① 普通数控机床,是指数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床等,其工艺用途与传统车床、铣床、钻床、磨床等基本相似。

② 加工中心,其主要特点是具有刀库和自动换刀装置,工件一次装夹后可进行多种工序加工,主要有铣镗加工中心和车削中心两类,前者一般简称加工中心,主要完成铣、镗、钻、攻丝等加工,后者以完成各种车削加工为主,还能利用自驱动刀具完成铣平面、键槽及钻横孔等工序。

(2) 金属成形类

指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、折弯机、弯管机、旋压机等。

(3) 特种加工类

主要指数控电火花切割机、电火花成形机、火焰切割机、激光加工机等。

(4) 测量绘图类

主要有三坐标测量机、绘图机、对刀仪等。

1.4.2 按机床运动的控制轨迹分类

根据数控机床刀具与工件相对运动轨迹的类型,可将数控机床划分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

(1) 点位控制数控机床

这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,其特点是机床移动部件在移动中不进行加工,只要求以最快的速度从一点移动到另一点,并准确定位。至于点与点之间的移动轨迹(路径与方向)并无严格要求,各坐标轴之间的运动并不相关。

(2) 直线控制数控机床

这类机床是在点位控制基础上,能对单个机床坐标轴的移动速度进行控制,使数控车床、数控铣床和数控磨床等能完成简单台阶形或矩形零件的加工。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其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控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的表面要求。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算的功能,即根据加工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),通过数控系统的插补运算器的数学处理,把直线或曲线形状的相关坐标点计算出来,并边计算,边根据计算结果控制 2 个或 2 个以上坐标轴协调运动。目前的大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

对于轮廓控制的数控机床,根据同时控制坐标轴的数目还可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴或五轴联动。

① 二轴联动同时控制 2 个坐标轴实现二维直线、斜线和圆弧等曲线的轨迹控制,如图 1-2 所示。

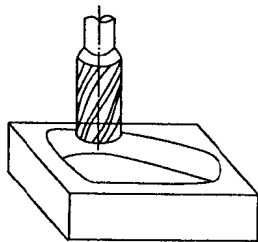


图 1-2 二轴联动加工

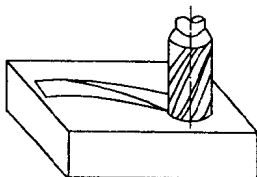


图 1-3 三轴联动加工

② 三轴联动同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,如图 1-3 所示。或控制 X 、 Y 、 Z 中的两个直线坐标轴和绕其中某一直线坐标轴作旋转运动的坐标轴。

例如车削加工中心除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴外,还同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

③ 二轴半联动用于三轴以上机床的简化控制,其中两个轴为联动控制,而另一个轴作周期调整进给,图 1-4 所示为在数控铣床上用球头铣刀对三维空间曲面用行切法进行加工,其中球头铣刀在 XZ 平面内进行插补铣削曲线,每加工完一段后移动 ΔY , Y 轴是调整坐标轴。

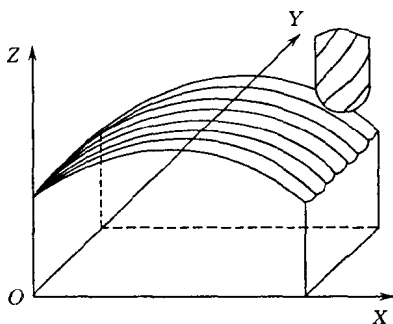


图 1-4 两轴半机床行切法加工

④ 四轴或五轴联动

在某些复杂曲面的加工中,为保证加工精度或提高加工效率,铣刀的侧面或端面应始终与曲面贴合,这就需要铣刀轴线位于曲线或曲面的切线或法线方向,为此,除需要 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外,还需同时控制三个旋转坐标 A 、 B 、 C 中的一个或两个,

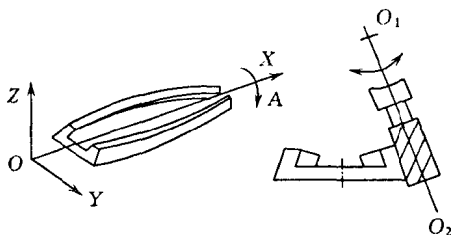


图 1-5 四轴联动加工

个,使铣刀轴线围绕直线坐标轴摆动,形成四轴或五轴联动,如图 1-5 和图 1-6 所示。

图 1-5 是四轴联动加工,图中所示的飞机大梁的加工表面是直纹扭曲面,若采用 3 坐标联动的球头铣刀加工,不但生产率低,而且加工表面质量差,为此可采用四轴联动的圆柱铣刀周边切削方式。此时除了 3 个移动坐标的联动外,为保证刀具与工件型面在全长上始终接触,刀具轴线还要同时绕移动坐标轴 X 摆动,即作 A 坐标运动。

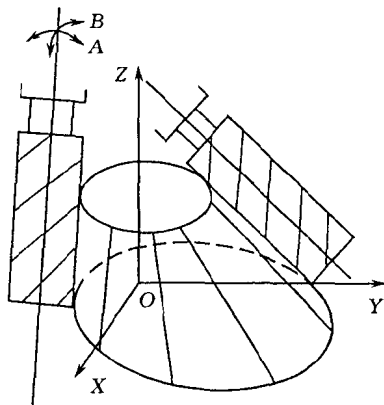


图 1-6 五轴联动加工

如果要加工图 1-6 中异形凸台,为保证铣刀的周边与曲面的侧面重合,此时除了三个移动坐标的联动外,端铣刀轴线必需沿 A 、 B 坐标作绕 X 和 Y 轴的旋转运动。

1.4.3 按伺服控制方式分类

数控机床伺服驱动控制的方式很多,主要是开环控制、闭环控制和半闭环控制三种类型,此外还有开环补偿型和半闭环补偿型等混合控制。

(1) 开环控制数控机床

这类机床的伺服进给系统中没有位移检测反馈装置,数控装置的控制指令直接通过驱动装置控制步进电机的运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移,如图 1-7(a)所示。这种控制系统由于没有检测反馈校正,位移精度一般不高,但其控制方便、结构简单、价格便宜,在我国广泛用于经济型数控机床或旧设备的数控改造中。

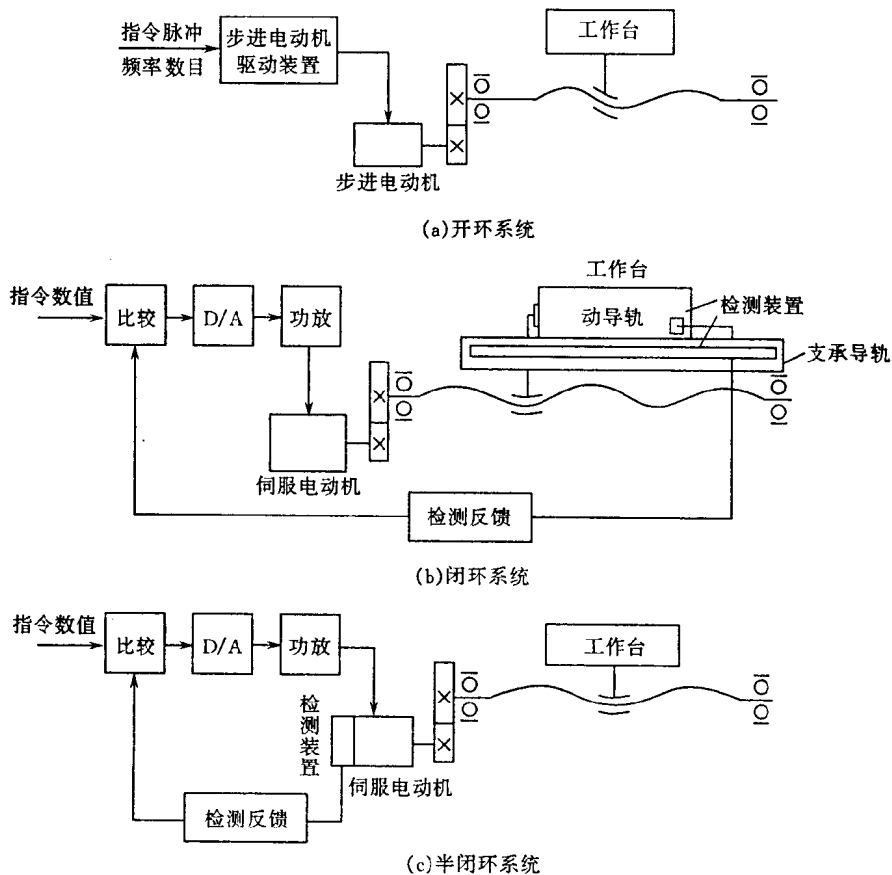


图 1-7 数控机床伺服驱动的开环控制、闭环控制和半闭环控制

(2) 闭环控制数控机床

又称全闭环控制机床,其检测装置安装在机床刀架或工作台等执行部件上,

用以直接检测这些执行部件的实际运行位置(直线位移),并将其与 CNC 装置的指令位置(或位移)相比较,用差值进行控制,如图 1-7(b)所示。这种控制方式是直接检测校正,位置控制精度很高,但由于它将丝杠螺母副及机床工作台这些大惯量环节放在闭环之内,系统稳定性受到影响,调试困难,且结构复杂、价格昂贵。

(3) 半闭环控制数控机床

这类机床的位置检测元件安装在伺服电机上,通过测量伺服电机的角位移间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置(或位移),然后进行反馈控制,如图 1-7(c)所示。由于将丝杠螺母副及机床工作台等大惯量环节排除在闭环控制系统之外,不能补偿它们的运动误差,精度受到影响,但系统稳定性有所提高,调试比较方便、价格也较全闭环系统便宜。

1.4.4 按数控系统的功能水平分类

按照数控系统的功能水平,数控机床可以分为经济型(低挡或简易型)、普及型(中挡型或全功能型)和高档型三种类型。这种分类方法没有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,且数控技术在不断发展,不同时期的含义也在不断发展变化。下面的论述仅作为功能水平分类的参考条件。

(1) 经济型

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,控制轴数为 3 轴或 3 轴以下,脉冲当量或进给分辨率为 $10\sim 2\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\text{m}/\text{min}$ 。系统的微机系统多为 8 位单板机或单片机,用数码管显示,一般不具备通讯功能。这类机床结构一般比较简单,精度中等,能满足加工形状比较简单的直线、斜线、圆弧及螺纹加工,价格比较便宜。如经济型数控车床、铣床、线切割机床等,在我国应用比较普遍,其发展趋势是逐渐采用 16 位和 32 位微处理器,采用字符或图形显示器,并采用低价位的交流伺服电机代替步进电机实现半闭环控制。

(2) 普及型或中档型

这类机床进给采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动,能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制,进给分辨率为 $1\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$,一般采用 16 位或 32 位处理器,具有 R232C 通信接口,具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。此类数控机床的品种极多,几乎覆盖了各种机床类别,其发展趋势是趋向于简单、实用,不追求过多功能,保持价格适当且不断有所降低。

(3) 高档型

指加工复杂形状的多轴联动加工中心,功能强、工序集中、自动化程度高、具有高柔性。一般采用 32 位以上微处理器,形成多 CPU 结构。采用数字化交流