



随书附赠一张光盘

李学光 曹国华 张树仁 苗立琴 编著

数控加工 编程与实例

SHUKONG JIAGONG BIANCHENG YU SHILI



国防工业出版社

National Defense Industry Press

数控加工编程与实例

李学光 曹国华 张树仁 苗立琴 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与实例 / 李学光等编著. —北京:
国防工业出版社, 2010. 6
ISBN 978-7-118-06818-4
I. ①数... II. ①李... III. ①数控机床—程序设计
IV. ①TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088144 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 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12¼ 字数 279 千字
2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474
发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

前 言

数控技术的发展,给制造业带来了前所未有的发展生机,数控技术的应用给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征。随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,它对关系国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用。如今,在汽车业、装备制造业、模具制造业以及其他日用品制造业,数控技术占有十分重要的位置,数控机床及其编程技术的实施和应用,使得制造业的生产效率得到了明显的提高,为适应这样的发展趋势,社会急需大量数控技术方面的人才。

本书对数控机床的原理及工作方式、数控编程的基本方法、手动编程与 CAM 软件编程、数控机床的最新产品等进行了详细的介绍,对数控编程方面的内容,每一条单一指令采用了由浅入深的详细介绍,并列举了大量有参考价值的实例,对手动编程与 CAM 软件编程分别列举了实例进行讲解。实用性是本书的最大特点。通过本书的学习,不仅可以掌握数控编程方面的内容,对运用数控方法进行产品加工的整个过程及其他辅助工作的准备流程也会有一个清晰的思路,避免仅仅停留在某一个细节而不能运用自如地去解决实际问题。本书的另一个特点是采用图文并茂的方式,形象直观,化复杂为简单,便于读者理解。读者通过本书的实例演练,能够快速提升实战能力。

本书可作为大中专院校教材,也可作为职业培训的教材及欲从事数控编程工作的技术人员的参考用书。

本书随书提供光盘,CAM 软件编程的实例全部收录在光盘之中。

本书由长春理工大学李学光、曹国华、张树仁及长春设备工艺研究所苗立琴编写,在材料的整理过程中得到了长春理工大学王慧伟、王军硕士以及吉林大学石学诚、齐爽硕士的帮助,在此一并表示感谢。

本书在编写过程中,参考了数控技术方面大量的文献资料,在此对文献中的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,书中难免有错误与不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

目 录

第 1 章 数控技术概论	1
1.1 数控技术的基本概念	1
1.1.1 数控	1
1.1.2 计算机数控系统	1
1.1.3 数控机床	1
1.2 数控机床的组成及功能	2
1.2.1 数控机床的组成及工作原理	2
1.2.2 数控机床的工作过程	3
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按控制运动轨迹分类	4
1.3.2 按驱动装置的特点分类	5
1.3.3 按加工工艺方法分类	7
第 2 章 数控编程基本理论	11
2.1 数控机床坐标系	11
2.1.1 数控机床坐标系的确定原则	11
2.1.2 运动方向的确定	12
2.1.3 工件坐标系	13
2.1.4 机床原点及参考点	13
2.2 数控程序的组成	15
2.2.1 数控程序段的格式	15
2.2.2 数控程序的组成	16
2.3 数控编程的主要内容及步骤	16
2.3.1 数控编程的具体步骤与要求	16
2.3.2 数控程序的常用编制方法	18
2.4 数控轨迹插补原理	19
2.4.1 求取基本数控曲线的方法	19
2.4.2 数控轨迹插补	19

2.5	PC 数控轨迹插补的基本原理	21
2.5.1	数字方式下的轨迹插补原理	22
2.5.2	脉冲方式下的轨迹插补原理	23
2.6	数控系统的指令集	23
第3章	数控车床程序编制	28
3.1	数控车床的相关基础理论	28
3.1.1	数控车床的组成	28
3.1.2	数控车床的分类	28
3.1.3	数控车床刀具补偿	30
3.1.4	数控车床坐标系	32
3.1.5	数控车床常用的程序指令	32
3.2	数控车床编程常用的单一指令	36
3.2.1	快速点定位指令(G00)	36
3.2.2	直线插补指令(G01)	37
3.2.3	圆弧插补指令(G02、G03)	40
3.2.4	其他常用编程指令	43
3.3	数控车床编程常用的循环指令	46
3.3.1	单一形状固定循环指令 G90、G94	46
3.3.2	复合形状多重固定循环	48
3.3.3	螺纹车削程序编制	51
3.4	子程序调用指令	57
3.5	数控车床编程实例	60
	思考与练习题	64
第4章	数控铣床与加工中心程序编制	67
4.1	数控铣床及加工中心相关理论	67
4.1.1	数控铣床的结构	67
4.1.2	数控铣床的分类	67
4.1.3	加工中心的组成	68
4.1.4	加工中心的分类	69
4.1.5	加工中心的结构特点	70
4.1.6	加工中心的主要加工对象	71
4.1.7	数控铣及加工中心常用编程指令	72
4.2	数控铣及加工中心基本编程指令	75
4.2.1	设置工件坐标系(G92)	75

4.2.2	选择工件坐标系(G54 ~ G59)	75
4.2.3	快速定位指令(G00)	77
4.2.4	直线插补(G01)	78
4.2.5	圆弧插补(G02/G03)	79
4.3	刀具偏置功能	82
4.3.1	刀具半径补偿	82
4.3.2	刀具长度补偿	85
4.4	固定循环	86
4.4.1	固定循环基本概念	87
4.4.2	固定循环指令	89
4.4.3	固定循环编程的注意事项	94
4.5	子程序调用指令	94
4.5.1	子程序指令	94
4.5.2	子程序的嵌套	95
4.6	镜像与坐标旋转指令	96
4.6.1	镜像指令	96
4.6.2	坐标系旋转指令	98
第5章	数控编程实例	100
5.1	手工编程部分	100
实例一		100
实例二		102
实例三		105
实例四		108
实例五		111
实例六		114
实例七		117
实例八		121
实例九		124
实例十		127
5.2	CAM 软件编程部分	132
5.2.1	UG 相关理论介绍	132
5.2.2	CAM 软件编程实例	135
实例一		135
实例二		148
实例三		166

实例四	173
实例五	177
参考文献	188

第 1 章 数控技术概论

1.1 数控技术的基本概念

1.1.1 数控

数控(Numerical Control, NC),即数控技术,是利用数字化信息对机床工作台与工件之间的相对运动及加工过程进行控制的一种方法。现代数控都采用了计算机进行控制,因此,也可以称为计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)。

1.1.2 计算机数控系统

计算机数控系统,即通常所说的数控系统,由输入装置、输出装置、计算机数控装置(CNC 装置)、可编程逻辑控制器(PLC)、主轴驱动装置和进给(伺服)驱动装置等组成。数控系统的核心是数控装置。由于数控系统采用了计算机进行控制,使其具有了软件功能,能够完成复杂的数值运算,同时,由 PLC 代替了传统的机床电器逻辑控制装置,使系统的灵活性、通用性、可靠性提高,易于实现复杂的数控功能。数控系统的功能结构如图 1-1 所示。

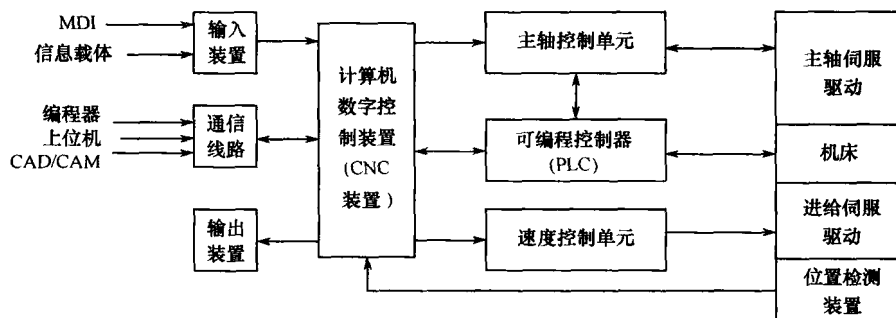


图 1-1 数控系统功能结构图

1.1.3 数控机床

数字控制机床(NC Machine Tools)简称数控机床,即装备了数控系统的机床。它把被加工零件的相关信息及加工过程中的各种控制信息用符合规定标准的数字代码,即数控程序(NC 程序)表示,经输入装置输入到机床的数控装置。经运算、译码处理,由数控装置发出各种控制信号至伺服驱动系统,控制机床的动作,自动完成零件的加工。数控机床是一种典型的机电一体化产品。

1.2 数控机床的组成及功能

1.2.1 数控机床的组成及工作原理

如图 1-2 所示,数控机床由控制介质、数控系统、伺服系统及位置检测、辅助控制装置、机床主体等几部分组成。

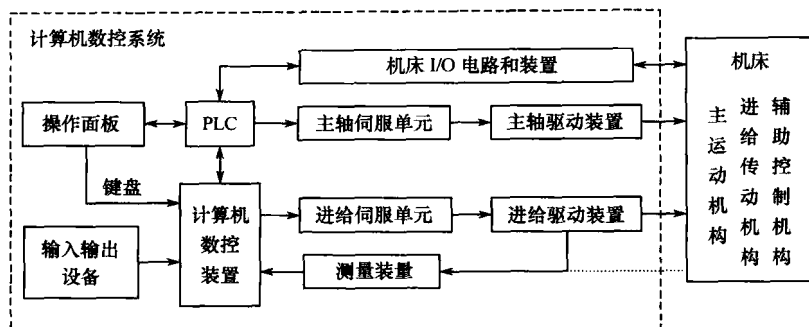


图 1-2 数控机床的组成

1. 控制介质

目前,随着计算机技术的发展,计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture, CAM)软件应用越来越广泛,如 MasterCAM、UG、PowerMill 等软件的应用越来越多,与此相应的是,程序的编制也逐渐过渡到以 CAM 软件为主同时兼顾手工编程,简单的程序可以直接在数控系统中进行编制,复杂的程序一般通过计算机中的 CAM 软件进行编制,然后通过磁盘、串口、USB 或网口传输到机床的数控系统中。控制介质也称为信息载体,用以记录或传输数控程序,如上所述的磁盘或为进行程序传输而建立的计算机与机床之间的通信都属于控制介质之列。

2. 数控系统

数控系统是机床按照数控程序实现自动加工的核心,主要由输入装置、监视器、数控装置(CNC)、可编程控制器(PLC)、输入/输出接口等组成,如图 1-3 所示。数控装置主要由 CPU、存储器、控制器、总线等部分组成。其中 CNC 装置的主要功能是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,输出各种控制信号控制机床各坐标轴的位移。PLC 主要完成与逻辑运算相关的动作,它接受来自 CNC 的控制代码 M、S、T(辅助功能、主轴转速、选刀及换刀)等开关量信息,通过译码处理之后,控制辅助装置进行机床相应的动作。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床主体之间的中间联系环节,主要由伺服执行机构及驱动控制系统和位置检测与速度控制装置等组成,如图 1-4 所示。伺服执行机构一般有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。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反馈信号比较后作为位移指令,再经过驱动系统的功率放大后,驱动电动机运转,通过机械传动装置带动工作台或

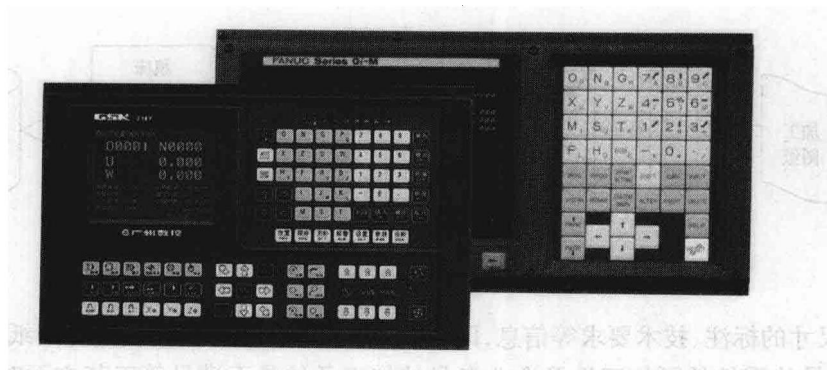


图 1-3 数控系统

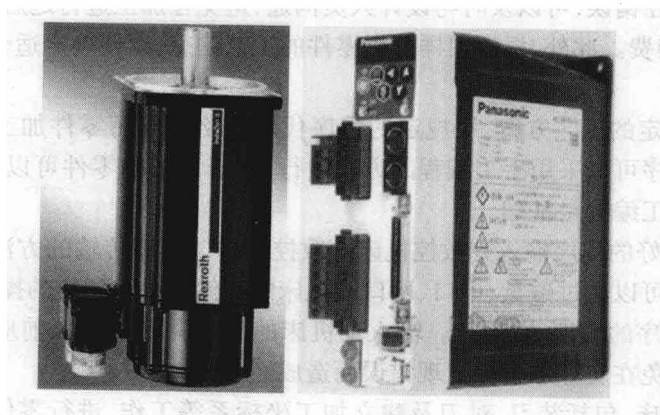


图 1-4 伺服系统

刀架运动。

4. 辅助装置

辅助装置的控制一般由 PLC 完成,它接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台 APC (Automatic Pallet Changer)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

5. 机床主体

数控机床的机床主体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压和气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。与传统的普通机床相比,数控机床采用高性能主动传动及主轴部件。目前的高速机床的主轴转速超过 100000r/min,所以必须保证较好的抗振性及较小的热变形。进给传动采用高效传动件,一般采用电机丝杠直连的方式,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。

1.2.2 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程指从零件的加工图纸一直到零件加工完毕的全过程,如图 1-5 所示,主要由以下几部分组成。

(1)分析加工图纸并确定工艺方案。分析加工图纸的目的主要是检查图纸的准确

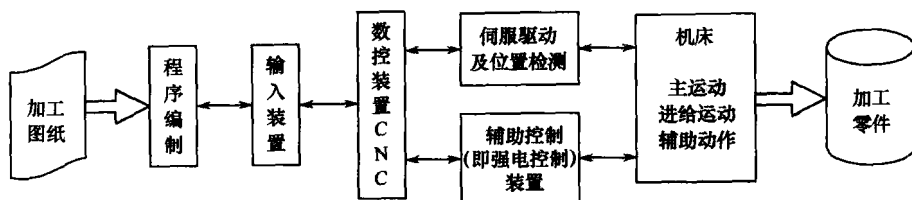


图 1-5 数控机床的工作过程

性,如尺寸的标注、技术要求等信息,因为设计人员是从设计的角度进行图纸的设计,而工艺人员是从零件的可加工性及企业自身的加工条件是否满足等工艺方面对图纸进行审查,如果图纸存在错误,可以及时与设计人员沟通,避免在加工进行之后才发现问题,造成时间和资源的浪费。此外,根据图样分析零件的工艺信息,以便确定适合企业自身条件的工艺方案。

(2)根据确定的工艺方案,用规定的程序代码和格式编写零件加工的数控程序。简单的零件,其程序可以采用手工编程的方式进行,对于复杂的零件可以借助 CAM 软件来自动完成,但手工编程是基础。

(3)将编制好的程序输入到数控机床的数控系统。程序传输的方法应根据不同类型机床进行确定,可以通过磁盘、串口、网口或机床的存储卡进行相应的操作。

(4)数控程序的模拟、空运行。输入到机床的程序在正式加工前应对其进行模拟校验及空运行,避免在实际加工中出现错误而造成经济损失。

(5)操作机床,包括装刀、对刀及建立加工坐标系等工作,进行零件的实际加工。程序经过模拟验证后,可以进行实际工件的切削加工。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中刀具不进行零件的切削加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动,点位控制机床的加工示意如图 1-6 所示。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,而且在移动和定位过程中刀具可以进行零件的切削加工。这类机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。直线控制机床的加工示意如图 1-7 所示。

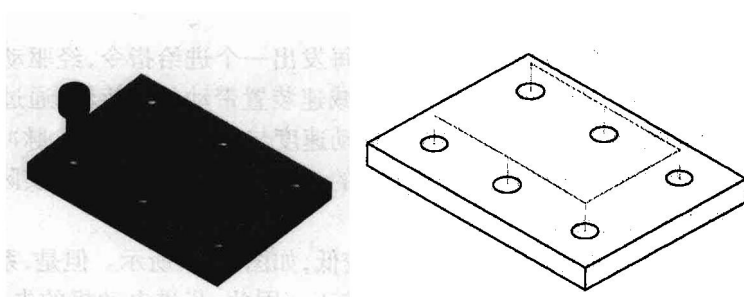


图 1-6 点位控制

数控镗铣床、数控车床、数控磨床等机床,它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整,兼有点位和直线控制加工的功能。

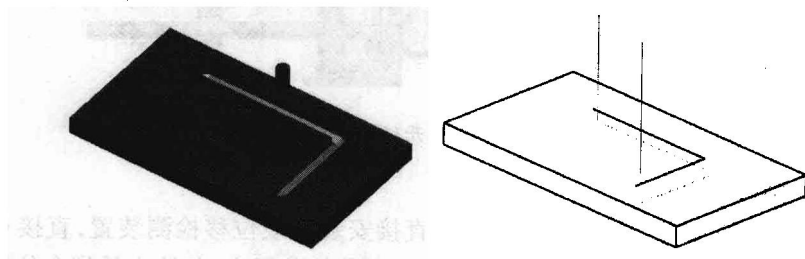


图 1-7 直线控制

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上轴的运动位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成要求的轮廓形状,轮廓控制机床的加工示意如图 1-8 所示。

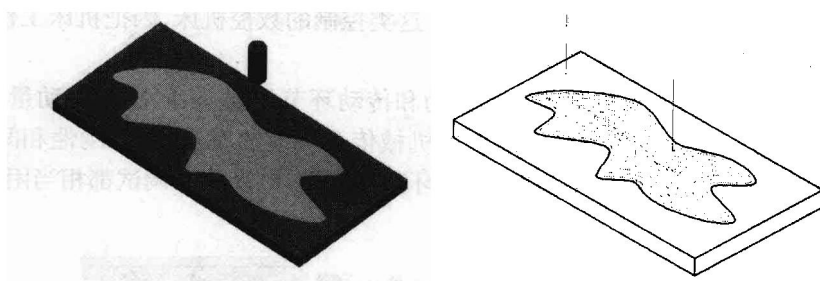


图 1-8 轮廓控制

该类机床有数控车床、数控铣床、线切割机床及加工中心等,数控火焰切割机、电火花加工机床等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的速度与位移控制。

1.3.2 按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

这类控制的数控机床,其控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步

进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电机旋转一个角度,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转,通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单,成本较低,如图 1-9 所示。但是,系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正。因此,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床。

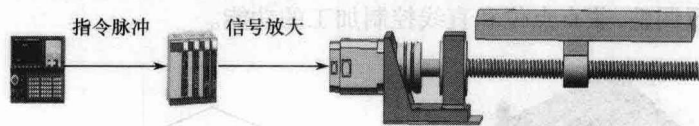


图 1-9 开环控制

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移进行检测,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值对机床进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度,与传动链的误差无关,因此其控制精度高。图 1-10 所示为闭环控制数控机床的系统框图。当位移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,指令值使得伺服电动机转动,通过速度传感器将速度反馈信号送到速度控制电路,通过位移传感器将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与位移指令值相比较,用比较后得到的差值进行位置控制,直至差值为零时为止。这类控制的数控机床,因把机床工作台纳入了控制环节,故称为闭环控制数控机床。

从理论上讲,闭环控制可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,故很容易造成系统的不稳定,使闭环系统的设计、安装和调试都相当困难,系统复杂,成本高。

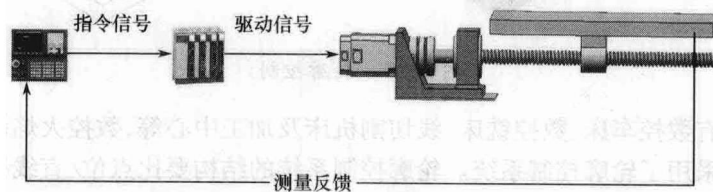


图 1-10 闭环控制

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移电流检测装置(如光电编码器等),通过检测丝杠的转角,间接地检测移动部件的实际位移,然

后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。通过测速元件和光电编码盘可间接检测出伺服电动机的转速,从而推算出工作台的实际位移量,将此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中,因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的调试比较方便,并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体,这样,使结构更加紧凑。半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此可获得稳定的控制性能,其系统的稳定性虽不如开环系统,但比闭环要好。由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差难以消除,因此,其精度较闭环差,较开环好。但随着数控技术及计算机技术的发展,可对这类误差通过螺距补偿等方法进行补偿修正,同时通过提高丝杠及螺母的制造精度和装配精度,仍可获得满意的精度。半闭环数控系统结构简单、调试方便、精度也较高,因而在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。半闭环控制如图 1-11 所示。

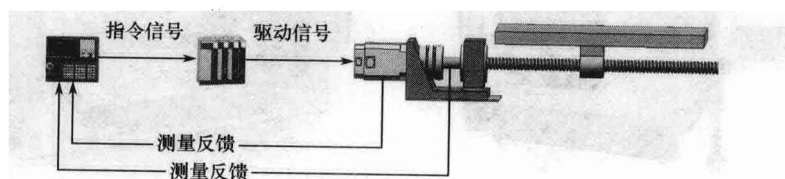


图 1-11 半闭环控制

1.3.3 按加工工艺方法分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等,如图 1-12 ~ 图 1-29 所示。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有较高的生产率和自动化程度。

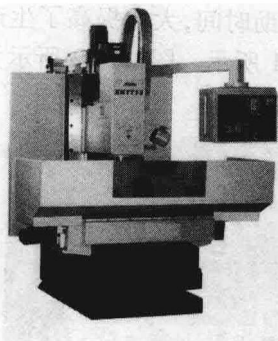


图 1-12 数控铣床

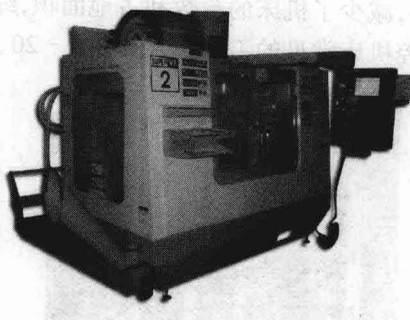


图 1-13 立式加工中

在普通数控机床加装一个刀库和换刀装置就成为数控加工中心机床。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心,它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对箱体零件的四面甚至五面大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成



图 1-14 卧式加工中心

图 1-15 数控车床

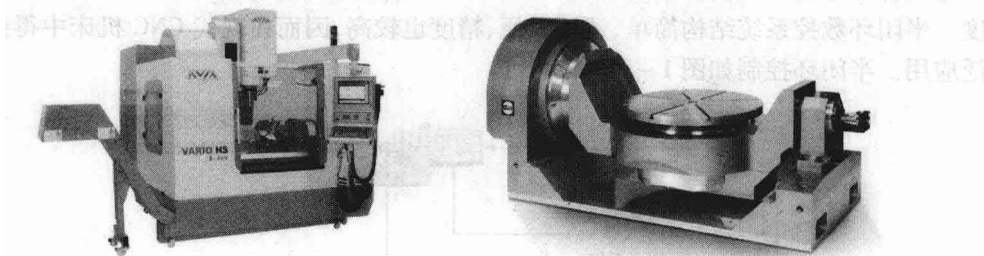


图 1-16 立卧五轴加工中心

图 1-17 回转工作台

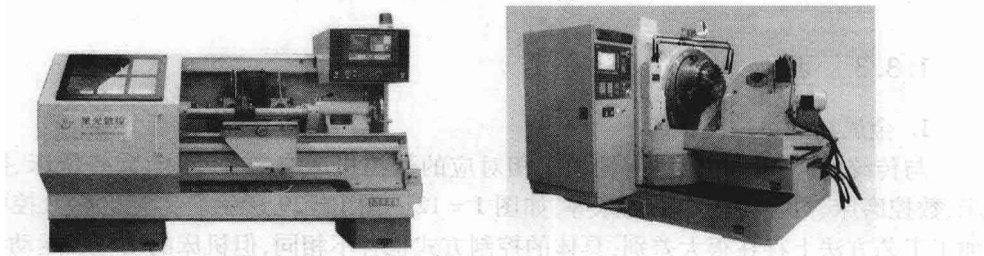


图 1-18 数控外圆磨床

图 1-19 齿轮加工机床

的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量,数控机床常见的刀库形式如图 1-20、图 1-21 所示。图 1-22 所示为卧式加工中心自动交换的工作台。

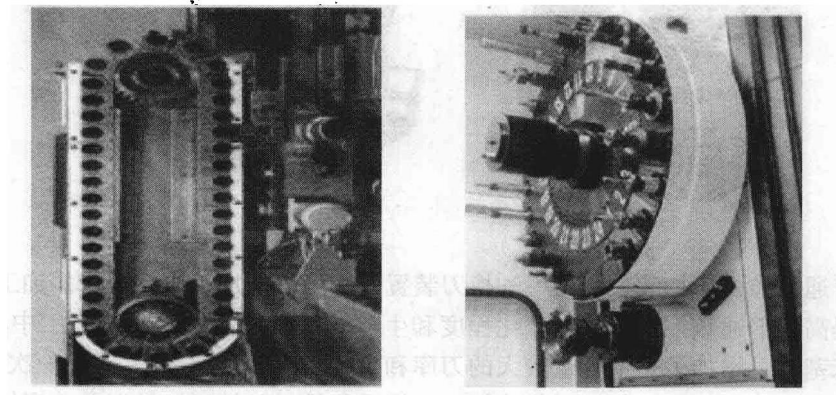


图 1-20 链式刀库

图 1-21 盘式刀库

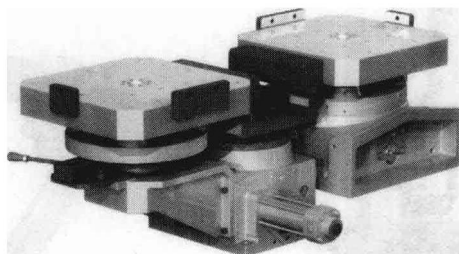


图 1-22 卧式加工中心交换工作台

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等,如图 1-23、图 1-24 所示。

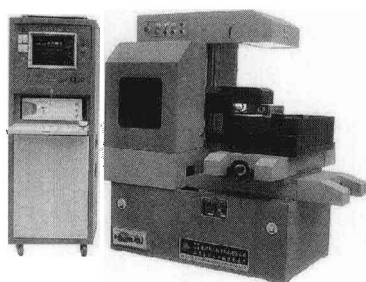


图 1-23 线切割机床



图 1-24 电火花机床

3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控折弯机、数控压力机、数控剪板机等,如图 1-25、图 1-26 所示。

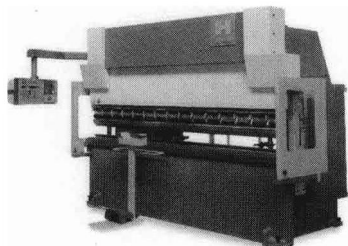


图 1-25 数控折弯机

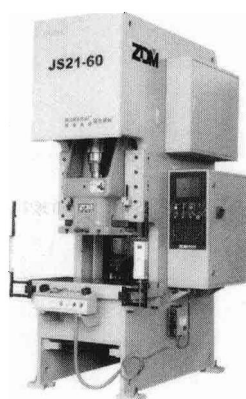


图 1-26 数控压力机

近年来,其他机械设备中也大量采用了数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等,如图 1-27、图 1-28 所示。