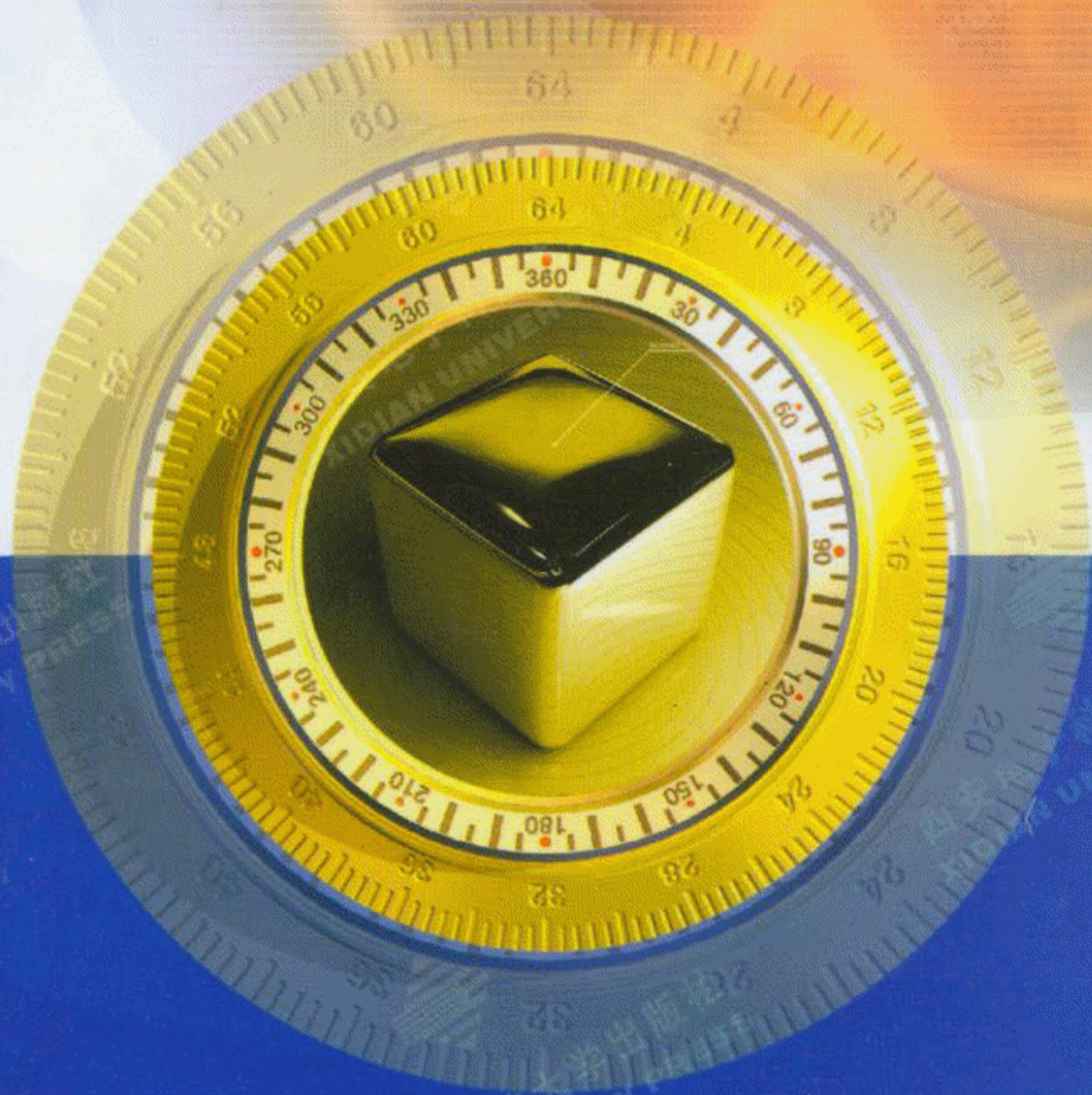




面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材



# 数控编程与操作

■ 主编 秦启书 主审 嵇宁



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

# 数控编程与操作

主 编 秦启书

副主编 刘向红 刘志刚

主 审 嵇 宁

西安电子科技大学出版社

2006

## 内 容 简 介

本书全面、系统地讲解了数控机床编程与操作的基础知识和数控机床的操作步骤, 主要内容包括数控程序编制基础、数控车床程序编制、数控车床操作、数控铣床程序编制、数控铣床操作、计算机辅助设计简介、加工中心编程、加工中心操作、数控设备维护与简单故障处理等。本书浅显易懂, 图文并茂, 理论与实际紧密结合, 列举了较多的编程实例, 在理论与实际操作讲解中主要以 FANUC 系统为例。各章都提供有相应的习题思考题供读者参考。

本书是高职高专数控专业和相关专业的教材, 可作为机械制造、模具、机电一体化、计算机辅助设计等专业的教材, 也可作为数控机床操作人员的培训教材, 还可作为数控技术人员的参考用书。

★ 本书配有电子教案, 有需要的老师可与出版社联系, 免费提供。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作 / 秦启书主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.2

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

ISBN 7-5606-1644-5

I. 数… II. 秦… III. ① 数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材

② 数控机床—操作—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007200 号

策 划 马晓娟

责任编辑 雷鸿俊 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: [xdupfxb@pub.xaonline.com](mailto:xdupfxb@pub.xaonline.com)

经 销 新华书店

印刷单位 西安市高陵县印刷厂

版 次 2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 13.5

字 数 313 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 16.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1644 - 5/TP • 0394

**XDUP 1936001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

# 前 言

数控机床是机电一体化最典型的产品，利用数字化控制机械加工过程，不仅可以提高产品的质量和生产率，同时也可降低劳动强度。数控技术发展迅猛，数控机床应用越来越普及，国家已将数控人才列为目前四大紧缺人才之一，学习和掌握数控加工技术已成为一种新的趋势。

2004年11月，西安电子科技大学出版社组织陕、豫、甘部分专业性较强且有一定知名度的10余所高职高专院校的教师，组编机电、电气类高职高专系列教材，本书为系列教材之一。这些教材能较好地体现“面向21世纪，能力为本、应用型人才培养”的教学特点，以适应新世纪对机电、电气类应用型技术人才培养的需求。

本书全面、系统地讲解了数控机床编程与操作的基础知识和数控机床操作步骤，浅显易懂，图文并茂，理论与实际紧密结合，列举了较多的编程实例。

本书由河南工业职业技术学院秦启书主编。全书共10章，各章作者为：第1章、第2章漯河职业技术学院刘瑞秋；第3章、第4章陕西工业职业技术学院刘向红；第5章秦启书；第6章河南工业职业技术学院刘志刚；第7章、第8章8.3节西安航空职业技术学院张超；第8章8.1、8.2节及第9章、附录西安航空职业技术学院庞勇；第10章郑州铁路职业技术学院魏保利。

本书由西安航空职业技术学院高等专科学校嵇宁老师主审，他对书稿提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正，以尽早修订完善。

编 者  
2005年11月于南阳

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 数控机床的组成及工作原理 .....	1
1.1.1 数控机床的组成 .....	1
1.1.2 数控机床的工作原理 .....	4
1.2 数控机床的种类与常见数控机床 .....	5
1.2.1 数控机床的种类 .....	5
1.2.2 常见数控机床 .....	8
1.3 数控加工技术的应用与发展 .....	12
1.3.1 数控机床的产生 .....	12
1.3.2 数控技术现状 .....	13
1.3.3 数控技术的发展 .....	15
1.3.4 先进制造系统简介 .....	17
习题与思考题 .....	20
<b>第 2 章 数控加工程序编制基础</b> .....	21
2.1 机床坐标系 .....	21
2.1.1 机床坐标系和主运动方向 .....	21
2.1.2 机床原点和机床参考点 .....	23
2.1.3 工件坐标系和工件原点 .....	23
2.1.4 工件坐标系和机床坐标系的关系 .....	24
2.2 数控加工程序格式 .....	25
2.2.1 程序基本格式 .....	25
2.2.2 程序指令分类 .....	27
2.2.3 程序编制步骤 .....	32
2.3 编程中的数学处理 .....	34
2.3.1 圆弧连接计算 .....	34
2.3.2 非圆曲线处理方法 .....	35
习题与思考题 .....	37
<b>第 3 章 数控车床程序编制</b> .....	38
3.1 数控车床编程基础 .....	38
3.1.1 数控车床编程特点 .....	38

3.1.2	数控车床的坐标系和参考点.....	38
3.1.3	工件坐标系和工件原点 .....	39
3.1.4	数控车床基本功能指令 .....	40
3.1.5	数控车床的补偿功能 .....	41
3.2	数控车床 G 指令应用.....	41
3.2.1	坐标系设定 .....	41
3.2.2	基本指令 G00、G01、G02、G03、G04 和 G28 .....	42
3.2.3	循环加工指令 .....	48
3.2.4	螺纹加工指令 .....	55
3.3	数控车床 T 指令 .....	57
3.3.1	刀具偏置补偿 .....	57
3.3.2	车刀刀尖半径补偿 .....	58
3.4	数控车床 M 指令 .....	59
3.4.1	常用的 M 指令.....	59
3.4.2	子程序调用功能 .....	60
	习题与思考题.....	62
<b>第 4 章</b>	<b>数控车床加工操作 .....</b>	<b>63</b>
4.1	数控车床结构与技术参数.....	63
4.1.1	数控车床结构与技术参数.....	63
4.1.2	数控车床控制面板 .....	66
4.2	数控车床操作.....	71
4.2.1	启动与回参考点 .....	71
4.2.2	对刀与建立工件坐标系 .....	72
4.2.3	自动运行 .....	73
4.2.4	简单零件加工举例 .....	74
4.2.5	综合举例 .....	75
	习题与思考题.....	80
<b>第 5 章</b>	<b>数控铣床程序编程 .....</b>	<b>81</b>
5.1	数控铣床编程基础.....	81
5.1.1	数控铣床功能特点 .....	81
5.1.2	数控铣床坐标系和参考点.....	82
5.1.3	工件坐标系 .....	84
5.1.4	数控铣削基本功能指令 .....	84
5.2	数控铣床 G 指令.....	86
5.2.1	坐标系设定指令 .....	86
5.2.2	基本指令 .....	87
5.2.3	固定循环加工指令 .....	88

5.3 刀具补偿功能.....	94
5.3.1 刀具半径补偿.....	95
5.3.2 刀具长度补偿.....	99
5.4 数控铣床 M 指令.....	100
5.4.1 常用的 M 指令.....	100
5.4.2 子程序.....	102
5.4.3 镜像加工.....	105
5.4.4 旋转变换.....	106
5.4.5 其他功能.....	107
习题与思考题.....	108
<b>第 6 章 数控铣床加工操作.....</b>	<b>109</b>
6.1 数控铣床结构与技术参数.....	109
6.1.1 XK5025 型数控铣床的特点及技术参数.....	109
6.1.2 数控铣床系统 CRT/MDI 操作面板.....	110
6.1.3 数控铣床操作面板.....	111
6.2 数控铣床操作.....	113
6.2.1 机床操作方法与步骤.....	113
6.2.2 简单零件加工举例.....	119
6.2.3 综合举例.....	121
习题与思考题.....	123
<b>第 7 章 CAD/CAM 软件应用基础.....</b>	<b>124</b>
7.1 常用 CAD/CAM 软件介绍.....	124
7.2 CAXA 制造工程师应用实例.....	125
7.2.1 CAXA 制造工程师简介.....	125
7.2.2 CAXA 制造工程师界面介绍.....	125
7.2.3 应用实例.....	126
习题与思考题.....	137
<b>第 8 章 加工中心编程.....</b>	<b>138</b>
8.1 加工中心简介.....	138
8.1.1 概述.....	138
8.1.2 工艺特点及加工对象.....	139
8.1.3 加工中心的分类.....	142
8.2 加工中心的程序编制.....	144
8.2.1 数控系统的功能.....	144
8.2.2 编程指令详解.....	146
8.3 宏程序简介.....	153

8.3.1 概述 .....	153
8.3.2 变量 .....	155
8.3.3 运算指令 .....	157
8.3.4 控制指令 .....	158
习题与思考题.....	158
<b>第 9 章 加工中心的操作.....</b>	<b>159</b>
9.1 加工中心的辅具及辅助设备.....	159
9.1.1 刀柄及刀具系统 .....	159
9.1.2 常用工具 .....	162
9.2 加工中心的操作.....	166
9.2.1 加工中心的操作 .....	166
9.2.2 加工中心的对刀方法 .....	173
9.3 加工中心加工实例.....	175
9.3.1 壳体内型腔的加工实例 .....	175
9.3.2 五边形凸台加工实例 .....	180
习题与思考题.....	185
<b>第 10 章 数控机床的维护和常见故障处理 .....</b>	<b>186</b>
10.1 数控机床的使用与维护保养.....	186
10.1.1 数控机床的使用要求 .....	186
10.1.2 数控机床安全操作规程 .....	186
10.1.3 数控机床的维护保养 .....	187
10.2 数控机床的常见故障及处理.....	188
10.2.1 故障与可靠性 .....	188
10.2.2 故障的分类 .....	189
10.2.3 故障诊断及处理的基本原则.....	190
10.2.4 故障诊断的基本方法 .....	191
10.3 数控机床常见机械故障.....	193
10.4 数控机床常见电气故障.....	198
习题与思考题.....	203
<b>附录 FANUC-0MD 系统程序报警代码表(P/S 报警).....</b>	<b>204</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>206</b>

# 第 1 章 概 述

## 1.1 数控机床的组成及工作原理

### 1.1.1 数控机床的组成

#### 1. 数控机床的概念

数控即数字控制(Numerical Control, 简称 NC)。数控技术即 NC 技术,是指用数字化信息发出指令并实现自动控制的技术。计算机数控(Computerized Numerical Control, 简称 CNC)是指用计算机实现部分或全部的数控功能。采用数控技术的自动控制系统为数控系统,采用计算机数控技术的自动控制系统为计算机数控系统,其被控对象可以是生产过程或设备。如果被控对象是机床,则称为数控机床。数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透形成的机电一体化产品,是一种具有广阔发展前景的新型自动化机床,它综合了当今世界上许多领域最新的技术成果,如机械制造技术、信息处理与加工、传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、软件技术等。数控机床具有自动换刀、自动变速和其他辅助操作自动化功能,有广泛的通用性和很高的自动化程度,尤其适合于单件、小批量、复杂型面零件的自动化生产并能保证质量要求。

数控机床的加工过程是:将所需的多个操作步骤(如机床的启动或停止、主轴的变速、工件的夹紧或松开、刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移,以及进给速度等都用数字化的代码来表示,按规定编写零件加工程序并送入数控系统,经分析处理与计算后发出相应的指令控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。

数控机床具有如下特点:

(1) 具有柔性化和灵活性,当改变加工零件时,只要改变数控程序即可,所以适合于产品更新换代快的要求。

(2) 可以采用较高的切削速度和进给量。

(3) 加工精度高,质量稳定。机床本身精度高,此外还可以利用参数的修改进行精度校正和补偿。

如今,数控机床已经在机械加工行业中占据了非常重要的地位,其应用领域逐步扩大到汽车、轮船、机床等机械制造行业。数控机床的自动化程度高,并具有数据通信功能,它可以与计算机辅助设计 CAD、辅助制造 CAM、自动检验 CAT 及生产管理等进行联网,组成生产过程自动化的现代制造生产系统。

## 2. 数控机床的组成

数控机床通常由程序载体、输入装置、数控装置、伺服驱动系统、强电控制系统、检测装置、机床本体与机床的零部件以及数控机床附件等组成。

### 1) 程序编制及程序载体

数控程序由数控机床自动加工零件所需工作指令组成，包含切削过程中所必需的机械运动、零件轮廓尺寸、工艺参数等加工信息。编制程序的工作可以人工进行，也可以在数控机床以外用计算机自动编程系统来完成。对于几何形状比较简单的零件，程序段不多，可以采用手工编程；对于比较复杂特别是空间曲面零件，由于手工编程繁琐而费时，且易出错，需采用自动编程的方法。

编制好的零件加工程序，存放在控制介质(存储载体)上，常用的控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘等信息载体，采用哪种存储载体，取决于数控装置的设计类型。最早使用的存储载体是穿孔纸带，即在特制的纸带上穿孔，用孔的不同位置的组合来构成不同的数控代码，这种存储载体如今已经逐渐被淘汰。对于配置有计算机驱动器的数控机床，可以将程序存储在磁盘上，通过软驱输入系统。

### 2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号并传送至数控装置的存储器。根据程序控制介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。最早使用光电阅读机对穿孔纸带进行阅读，之后大量使用磁带机和软盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体，而是将程序清单的内容通过数控装置上的键盘，用手工的方式输入。也可以用通信方式将数控程序由编程计算机直接传送至数控装置。

手动输入就是操作者利用机床上的键盘及显示屏输入加工指令。通信方式输入是指使用数控装置的串行口，通过相关软件和对有关参数的设定，直接读入在自动编程机上或其他计算机上编制好的程序。目前，随着 CAD、CAM、CIMS 技术的发展，越来越多地采用通信方式进行程序的传输。

### 3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心，包括微型计算机、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软件。它能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及各种控制功能。

数控装置接受输入装置送来的脉冲信号，经过编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令来控制机床的各个部分，并按程序要求实现规定的、有序的动作。这些控制信号是：各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度的指令信号；主运动部件的变速、换向和启停指令信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制冷却、润滑的启停，工件和机床部件松开、夹紧，分度工作台转位等辅助信号等。

数控装置具备的功能有：① 多坐标控制；② 实现多种函数的插补；③ 信息转换功能，如英制/公制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换；④ 补偿功能，如刀具半径补偿、长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿；⑤ 多种加工方式选择，如可以实现各种加工循环、重复加工；⑥ 具有故障自诊断功能；⑦ 通信和联网功能等。

### 4) 强电控制装置

强电控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统。其主要作用是

接收数控装置输出的主轴变速、换向、启动或停止，刀具的选择和更换，分度工作台的转位和锁紧，工件的夹紧或松开，切削液的开或关等辅助操作的信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的执行元件(如电器、液压、气动和机械部件等)，以完成指令所规定的动作，从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

#### 5) 伺服控制装置

伺服系统主要完成机床的运动及运动控制(包括进给运动、主轴运动、位置控制等)，它由伺服驱动电路和伺服驱动电机组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它接受来自数控装置的位置控制信息，将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确的定位运动，驱动机床执行机构运动。由于是数控机床的最后控制环节，它的性能将直接影响数控机床的生产效率、加工精度和表面加工质量。

伺服驱动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。目前，常用的伺服驱动电机有功率步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。由于交流伺服电机具有良好的性能价格比，它已成为首选的伺服驱动器件。

#### 6) 机床的机械部件

数控机床的机械部件是数控机床的主体，通常由床身、立柱、主运动部件、进给运动执行部件(工作台、拖板)、刀架系统等部件组成；此外，还有冷却、润滑、排屑、转位和夹紧等辅助装置。与传统的普通机床相比，数控机床机械部件有如下几个特点：

- (1) 采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置，机械传动结构得到简化，传动链较短。
- (2) 机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼刚度、耐磨性以及抗热变形性能。
- (3) 较多地采用高效传动件，如滚珠丝杠螺母副、直线滚动导轨等。
- (4) 还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置)和辅属设备(编程机和对刀仪等)。

这些特点较好地满足了数控技术的要求，并能充分适应数控加工的特点，便于实现自动化控制。

(1) 主传动系统及主轴部件。主传动电机已逐步被变频主轴电机和交流调速电机所代替，不再使用普通的交流异步电机或传统的直流调速电机。由于主轴部件要求实现自动更换刀具或工件，因此主轴上设计有刀具自动夹紧机构。此外还有主轴准停装置。

(2) 进给系统。由于进给系统传动精度、灵敏性和稳定性将直接影响被加工工件的最后坐标精度和轮廓精度，因此，为减少摩擦阻力，进给系统普遍采用滚珠丝杠螺母副和滚动导轨。

(3) 数控回转工作台。回转工作台通常用来实现数控机床的圆周进给运动，除了用来进行各种圆弧加工或与直线进给联动进行曲面加工外，还可以实现精确的分度。对于自动换刀的多工序加工中心来说，回转工作台已成为一个不可缺少的部件。

(4) 刀具及自动换刀系统。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、自动刀具交换装置、自动交换工作台等部件。由于数控机床是按预先编制的程序自动进行加工的，因而数控机床所用刀具的标准化、系列化以及编程前刀具的选用和加工前刀具的预调等都很重要。此外，自动换刀系统还应满足换刀时间短、刀具重复定位精度高、足够的刀具储存量、刀库占地面积小以及安全可靠等要求。

## 1.1.2 数控机床的工作原理

### 1. 工作原理

数控机床是一种高度自动化的机床，它在加工工艺与加工表面形成方法上与普通机床基本相同，最根本的不同在于实现自动化控制的原理与方法上：数控机床是用数字化的信息来实现自动控制的。

在数控机床上加工零件时，首先要将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化。先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具参数，再按数控机床规定采用的代码和程序格式，将与加工零件有关的信息如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量)以及辅助操作(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关)等编制成数控加工程序，然后将程序输入到数控装置中，经数控装置分析处理后，发出指令控制机床进行自动加工。

### 2. 插补

#### 1) 插补的概念

如何控制刀具或工件的运动是数控机床的核心问题。数控机床的信息数字化就是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小单位量，即最小位移量。数控系统按照程序的要求，经过信息处理、分配，使坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成零件的加工。

在数控机床中，刀具的运动轨迹是折线，因此刀具不能严格地沿着所加工的曲线运动，只能用折线以一定的精度要求逼近被加工曲线，当逼近误差相当小时，这些折线之和就接近曲线了。数控机床是以脉冲当量为单位，计算轮廓起点与终点之间的坐标值，进行有限分段，以折代直，以弦代弧，以直代曲，分段逼近，相连成轨迹的。CNC 装置每发出一个脉冲，机床执行部件的最小位移量称为脉冲当量。常用机床的脉冲当量为 0.01~0.001 mm/脉冲，脉冲当量越小，数控机床精度越高。各种斜线、圆弧、曲线均可由以脉冲当量为单位的微小直线段拟合而成。

零件的轮廓形状是由各种线形如直线、螺旋线、抛物线、自由曲线等构成的，用户在加工程序中，一般仅提供描述该线形所必需的相关参数。例如，对直线，仅提供起点和终点的坐标值；对圆弧，除必须提供起点和终点的坐标值外，还必须提供圆心相对于起点的位置数值以及圆弧的旋转方向。因此，数控系统必须在运动过程中实时计算出满足线形和进给速度要求的若干中间点(在起点和终点之间)，这就是插补。它实质上是根据有限的信息完成“数据密化”的工作。可将插补定义为：插补就是根据给定进给速度和给定轮廓线形的要求，在轮廓的已知点之间计算中间点的方法。

数控系统对直线进行的插补计算即为直线插补，对圆弧进行的插补计算为圆弧插补，对其他曲线进行的插补计算为其他的曲线插补。数控系统能进行哪几种线形的插补计算，即具有哪几种插补功能。目前，绝大多数数控系统只有直线插补功能和圆弧插补功能。因此，数控机床只能作直线进给和圆弧进给，其指令为 G01 和 G02/G03。

#### 2) 插补方法的分类

目前常用的插补方法大致分为两类：脉冲增量插补和数字增量插补。

(1) 脉冲增量插补。主要用于采用步进电机驱动的开环系统。每次插补计算结束，CNC 装置向各坐标轴驱动装置发出一个脉冲，驱动步进电机带动机床移动部件运动。其基本思想是：用折线来逼近曲线(包括直线)。

脉冲增量插补每次插补的结果仅产生一个单位的行程增量(一个脉冲当量)。以一个个脉冲的方式输出给步进电机。脉冲增量插补的插补速度与进给速度密切相关，还受到步进电机最高运行频率的限制。脉冲增量插补的实现方法较为简单，比较容易用硬件来实现，也有用软件来完成这类算法的。这类插补算法有逐点比较法、最小偏差法、数字积分法等。

逐点比较法的基本原理是：数控系统在控制加工过程中，逐点计算和判别加工误差，与规定的运动轨迹进行比较，由比较结果决定下一步的移动方向。这种算法的特点是：运算直观，插补误差小于一个脉冲当量，输出脉冲均匀，而且输出脉冲的速度变化小，调节方便。因此，逐点比较法在两坐标联动的数控机床中应用较为广泛。

(2) 数字增量插补。主要用于采用交、直流伺服电机为伺服驱动系统的闭环、半闭环数控系统，也可以用于以步进电机为伺服驱动系统的开环数控系统。目前所使用的 CNC 系统中，大多采用这类插补方法。CNC 装置产生的不是单个脉冲，而是标准的二进制数。其基本思想是，用直线段来逼近曲线(包括直线)。

采用数字增量插补时，插补程序以一定的时间间隔定时进行。根据编程的速度将轮廓曲线分割为插补采样周期的进给段即轮廓步长，用弦线和割线逼近轮廓轨迹。在每一插补周期内，插补程序被调用一次，计算出各坐标轴在下一插补周期内的位移增量(数字量而不是单个脉冲) $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  等，然后再计算出相应插补点位置的坐标值。插补运算速度与进给速度无严格的关系，因此可以达到较高的进给速度。数字增量插补的实现算法较脉冲增量插补复杂，对计算机的运算速度有一定要求。这类插补算法有数字积分法、二阶近似插补法、时间分割法等。

对于直线插补，用插补所形成的步长子线段逼近给定直线，与给定直线重合；在圆弧插补时，用切线、弦线和割线逼近圆弧，常用的是弦线和割线。

## 1.2 数控机床的种类与常见数控机床

### 1.2.1 数控机床的种类

通常，可按工艺方式、控制系统运动方式及控制系统功能水平对数控机床进行分类。

#### 1. 按工艺方式分类

按工艺方式分，最常用的数控机床可分为以下三类：

##### 1) 金属切削类数控机床

这类数控机床如数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控钻床、数控齿轮加工机床、加工中心等。尽管这些机床在加工工艺方面存在很大差异，具体的控制方法也各不相同，但它们都适合于单件、小批量和多品种的零件加工，具有很高的生产率和自动化程度。

## 2) 金属成型类数控机床

这类数控机床如数控折弯机、数控弯管机、数控冲床等。

## 3) 数控特种加工及其他类型机床

这类数控机床如数控线切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机、数控电火花加工机床等。

## 2. 按控制系统运动方式分类

按控制方式分，最常用的数控机床可分为以下三类：

### 1) 开环数控机床

这类数控机床采用开环进给伺服系统。其数控装置发出的指令信号是单向的，没有检测反馈装置对运动部件的实际位移量进行检测，不能进行运动误差的校正，因此步进电机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。

这类机床通常为经济型、中小型机床，具有结构简单、价格低廉、调试方便等优点，但通常输出的扭矩值大小受到限制，而且当输入的频率较高时，容易产生失步，难以实现运动部件的控制，因此已不能充分满足数控机床日益提高功率、运动速度和加工精度的控制要求。图 1-1 是开环控制的系统框图。

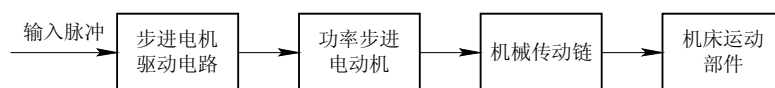


图 1-1 开环控制的系统框图

### 2) 闭环数控机床

这类机床的位置检测装置安装在进给系统末段端的执行部件上，该位置检测装置可测进给系统的位移量或位置。数控装置将位移指令与工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较，根据其差值不断控制运动，使运动部件严格按照实际需要的位移量运动；还可利用测速元器件随时测得驱动电机的转速，将速度反馈信号与速度指令信号相比较，对驱动电机的转速随时进行修正。这类机床的运动精度主要取决于检测装置的精度，与机械传动链的误差无关，因此可以消除由于传动部件制造过程中存在的精度误差给工件加工带来的影响。图 1-2 是闭环控制的系统框图。

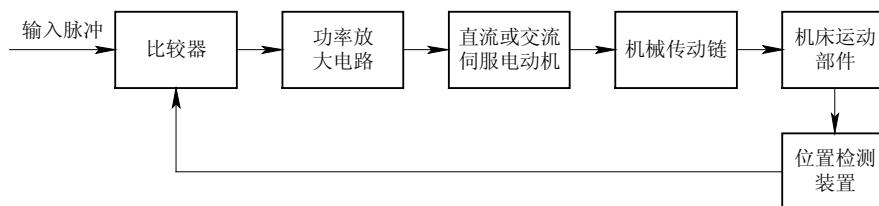


图 1-2 闭环控制的系统框图

相比于开环数控机床，闭环数控机床精度更高，速度更快，驱动功率更大，但是，这类机床价格昂贵，对机床结构及传动链依然提出了严格的要求。传动链的刚度、间隙，导轨的低速运动特性，机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试困难。闭环系统设计和调

整得不好，很容易造成系统的不稳定。所以，闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

### 3) 半闭环数控机床

这类机床的检测元件装在驱动电机或传动丝杠的端部，可间接测量执行部件的实际位置或位移。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节，控制系统的调试十分方便，因此可以获得稳定的控制特性。由于采用高分辨率的测量元件，如脉冲编码器，因此可以获得比较满意的精度与速度。半闭环数控机床可以获得比开环系统更高的精度，但由于机械传动链的误差无法得到消除或校正，因此它的位移精度比闭环系统的要低。大多数数控机床采用半闭环控制系统。图 1-3 是半闭环控制的系统框图。

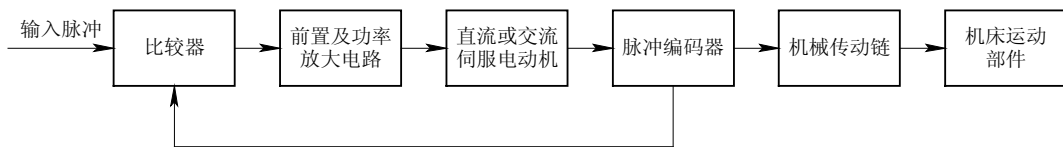


图 1-3 半闭环控制的系统框图

## 3. 按控制系统功能水平分

按控制系统的功能水平，可以把数控机床分为经济型、普及型、高级型三类，主要由技术参数、功能指标、关键部件的功能水平来决定。这些指标具体包括 CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、联动轴数等。

### 1) 经济型数控机床

这类数控机床通常为低档数控机床，一般采用 8 位 CPU 或单片机控制，分辨率为  $10\ \mu\text{m}$ ，进给速度为  $6\sim 15\ \text{m/min}$ ，采用步进电机驱动，具有 RS232 接口。低档数控机床最多联动轴数为二轴或三轴，具有简单 CRT 字符显示或数码管显示功能，无通信功能。

### 2) 普及型数控机床

这类数控机床通常为中档数控机床，一般采用 16 位或更高性能的 CPU，分辨率在  $1\ \mu\text{m}$  以内，进给速度为  $15\sim 24\ \text{m/min}$ ，采用交流或直流伺服电机驱动；联动轴数为 3~5 轴；有较齐全的 CRT 显示及很好的人机界面，大量采用菜单操作，不仅有字符，还有平面线性图形显示功能、人机对话、自诊断等功能；具有 RS232 或 DNC 接口，通过 DNC 接口，可以实现几台数控机床之间的数据通信，也可以直接对几台数控机床进行控制。

### 3) 高级型数控机床

这类数控机床通常为高档数控机床，一般采用 32 位或 64 位 CPU，并采用精简指令集 RISC 作为中央处理单元，分辨率可达  $0.1\ \mu\text{m}$ ，进给速度为  $15\sim 100\ \text{m/min}$ ，采用数字化交流伺服电机驱动，联动轴数在五轴以上，有三维动态图形显示功能。高档数控机床具有高性能通信接口，具备联网功能，通过采用 MAP(制造自动化协议)等高级工业控制网络或 Ethernet(以太网)，可实现远程故障诊断和维修，为解决不同类型不同厂家生产的数控机床的联网和数控机床进入 FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)等制造系统创造了条件。

上述这种分类方式没有严格的界限，经济型数控是相对于标准数控而言的，在不同时期、不同国家的含义是不一样的。区别于经济型数控，把功能比较齐全的数控系统称为全功能数控，也称为标准型数控。

## 1.2.2 常见数控机床

### 1. 数控车床

数控车床主要用于加工轴类和回转体零件，能自动完成内外圆柱面、圆弧面、端面、螺纹等工序的切削加工，适合于加工形状复杂、精度要求高的轴类或盘类零件。数控车床具有加工灵活、通用性强、能适应产品的品种和规格频繁变化的特点，能满足新产品的开发和多品种、小批量、生产自动化的要求。图 1-4 为广州机床厂生产的 CJK6146 型经济型数控车床。该机床主轴转速为 14~1600 r/min，刀架工位数为 4，主电机功率为 7.5 kW；切削进给速度：X 方向为 3 m/min，Z 方向为 6 m/min。图 1-5 为沈阳机床股份有限公司生产的 CKH6116 型数控车床。该机床主轴转速为 500~4000 r/min，加工精度为 IT7~IT6。



图 1-4 CJK6146 型经济型数控车床

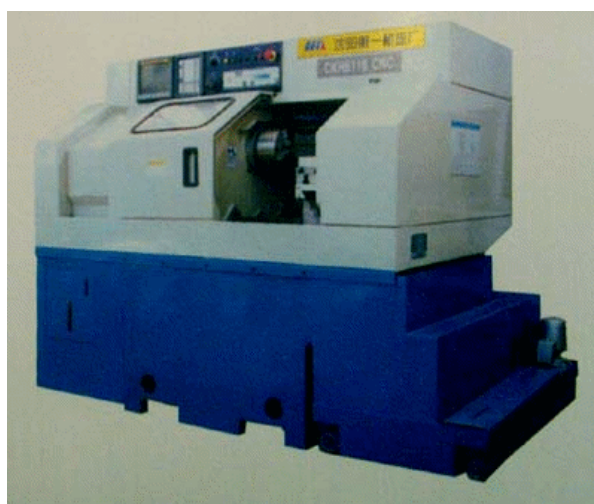


图 1-5 CKH6116 型数控车床

对数控车床可以采用不同的分类方法进行分类。

#### 1) 按主轴配置形式分

按主轴配置形式分，可将数控车床分为卧式和立式两大类，其中数控卧式车床有水平导轨和斜置导轨两种形式。

#### 2) 按刀架数量分

按刀架数量分，可将数控车床分为单刀架和双刀架两类。单刀架数控车床多采用水平导轨，两坐标控制；双刀架数控车床多采用斜置导轨，四坐标控制。

#### 3) 按数控车床控制系统和机械结构的档次分

按数控车床控制系统和机械结构的档次分，可分为经济型数控车床、全功能数控车床和车削中心。车削中心是在数控车床基础上发展起来的一种复合加工机床，可以在一次装夹中完成回转体零件的所有加工工序，包括车削内外表面、铣平面、铣槽、钻孔和攻螺纹等工序。车削中心除具有一般二轴联动数控车床的所有功能之外，其转塔刀架上装有能使刀具旋转的动力刀座，主轴具有按轮廓成形要求连续回转运动和进行精确分度的C轴功能，该轴能与X轴或Z轴联动。有的车削中心还具有Y轴，X、Y、Z轴交叉构成三维空间，可进行端面和圆周上任意部位的钻削、铣削和螺纹加工等。

## 2. 数控铣床与加工中心

数控铣床和加工中心都能够进行铣削、钻削、镗削及攻螺纹等加工，它们在结构、工艺和编程等方面有许多相似之处。全功能数控铣床与加工中心比较，区别主要在于数控铣床没有自动换刀装置，只能手动换刀，而加工中心具有刀具库和自动换刀装置，可将使用的刀具预先安排存放于刀具库内，需要时通过换刀指令，由ATC(自动换刀装置)自动换刀。图1-6为上海第五机床厂生产的XK5025型经济型数控铣床。图1-7为南通机床股份有限公司生产的XH714A型立式加工中心。



图 1-6 XK5025 型经济型数控铣床