

# 数控机床的编程与操作

主编 周喜忠

编委 沈 玲 刘 悦 范智勇

主审 王仁德

东北大学出版社

• 沈 阳 •

## 内 容 摘 要

本书简要概括数控机床的编程技术,在此基础上,系统介绍各类机床及其 CNC 系统的操作与编程。本书注重系统性和实用性相结合,特别是提供了大量实际加工的编程实例。

本书可以作为数控机床操作人员和编程人员的培训教材,也可以供有关专业的工程技术人员和大专院校学生参考。

© 周喜忠 2004

图书在版编目(CIP)数据

数控机床的编程与操作/周喜忠主编.—沈阳:东北大学出版社,2004.5

ISBN 7-81102-030-0

I. 数... II. ①周... III. ①数控机床—程序设计 ②数控机床—操作  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 029873 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 : 沈阳市光华印刷厂

发 行 者 : 东北大学出版社

幅面尺寸 : 170mm × 228mm

字 数 : 140 千字

印 张 : 7.375

出版时间 : 2004 年 5 月第 1 版

印刷时间 : 2004 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑 : 刘 莹

责任校对 : 文 玉

封面设计 : 唐敏智

责任出版 : 秦 力

---

定 价 : 15.00 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，尤其是近二十年，随着微处理器和微电子技术的发展，数控机床的性能价格比有了极大提高，不仅在工业发达国家，而且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发展，为机械制造业带来了一次技术革命。

本书是为了满足数控机床操作人员和编程人员培训教学需要而编写的，集中了多位编者实际加工和教学培训经验。全书共分 6 章，第 1 章为数控机床概述，简要介绍了数控机床的特点、分类及发展；第 2 章为数控机床零件加工编程基础，系统介绍了数控机床的编程原理，可以独立讲授，也可与后 4 章中内容结合起来教学；后 4 章分别是数控车床的编程与操作、数控铣床的编程与操作、电火花数控线切割机床的编程与操作和 TH5680 加工中心的编程与操作，有一定的独立性，读者可以有选择地学习。

本书力求内容系统，论述简明，注重理论与实际相结合，突出实用性和可操作性，便于自学，能为读者打下一个学习和应用数控机床的技术基础。

本书在编写过程中，得到王殿宽、贾宝财、郑文忠等同志的大力帮助，在此谨表感谢。由于编者水平有限，书中难免存在欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

# 目 录

1 数控机床概述 .....	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 按照加工工艺及机床用途分类 .....	5
1.4.2 按照机床运动的控制轨迹分类 .....	6
1.4.3 按照伺服控制方式分类 .....	7
1.4.4 按照数控系统的功能水平分类 .....	8
1.5 数控技术的发展 .....	9
1.5.1 数控机床的产生与发展 .....	9
1.5.2 数控技术的发展趋势 .....	10
1.5.3 以数控机床为基础的生产自动化技术 .....	12
2 数控机床零件加工编程基础 .....	13
2.1 零件程序编制的步骤与内容 .....	13
2.2 数控编程方法 .....	14
2.3 零件程序的结构和指令代码 .....	16
2.3.1 程序结构 .....	16
2.3.2 程序段格式 .....	16
2.4 数控加工中的坐标系 .....	20
2.5 辅助功能字 .....	21
2.6 准备功能字 .....	22
2.6.1 概述 .....	22
2.6.2 与坐标相关的 G 指令 .....	22
2.6.3 定位与加工 G 指令 .....	23
2.6.4 刀具补偿指令 .....	25
2.6.5 控制进给速度与切削速度的 G 指令 .....	30
2.6.6 固定循环指令 .....	30

2.6.7	子程序和宏程序.....	38
<b>3</b>	<b>数控车床的编程与操作.....</b>	<b>40</b>
3.1	CK6136 数控车床概述 .....	40
3.2	CK6136 数控车床的编程特点 .....	40
3.2.1	坐标指令.....	40
3.2.2	前置刀架和后置刀架对机床坐标系的影响.....	40
3.2.3	刀具补偿功能.....	41
3.2.4	单一固定循环 ( G77 , G78 , G79 或 G90 , G92 , G94 ) .....	42
3.2.5	复合固定循环 ( G70 ~ G76 ) .....	44
3.3	加工编程实例.....	52
3.4	CK6136 车床的操作 .....	56
3.4.1	系统操作面板.....	56
3.4.2	机床基本操作.....	59
<b>4</b>	<b>数控铣床的编程与操作.....</b>	<b>64</b>
4.1	XKA5032A 数控铣床概述 .....	64
4.2	XKA5032A 数控铣床编程的特点 .....	64
4.2.1	工件坐标系的建立.....	64
4.2.2	刀具补偿功能.....	65
4.2.3	钻镗固定循环.....	65
4.2.4	镜像加工.....	66
4.3	加工编程实例.....	66
4.3.1	使用固定循环指令的孔加工程序.....	66
4.3.2	综合实例.....	68
4.4	XKA5032A 数控铣床的操作 .....	70
4.4.1	系统操作面板.....	70
4.4.2	基本操作.....	74
<b>5</b>	<b>电火花数控线切割机床的编程与操作.....</b>	<b>79</b>
5.1	电火花数控线切割机床概述.....	79
5.1.1	线切割机床的加工原理.....	79
5.1.2	线切割机床的分类.....	80
5.1.3	线切割加工工艺指标.....	80

5.1.4	影响加工工艺指标的因素.....	81
5.1.5	线切割的加工形式.....	83
5.2	DK7740 电火花数控线切割机床编程 .....	84
5.2.1	手工编程.....	84
5.2.2	YH 系统图形编程 .....	85
5.3	DK7740 电火花数控线切割机床的操作 .....	87
<b>6</b>	<b>TH5680 加工中心的编程与操作 .....</b>	<b>90</b>
6.1	TH5680 加工中心概述 .....	90
6.2	TH5680 加工中心的编程特点 .....	90
6.2.1	与坐标系有关的指令.....	90
6.2.2	刀具补偿功能.....	91
6.2.3	圆弧插补 (G02, G03) .....	91
6.2.4	换刀指令.....	92
6.2.5	模态子程序调用格式.....	92
6.2.6	钻镗加工循环.....	92
6.2.7	其他固定循环.....	94
6.3	加工编程实例.....	96
6.3.1	综合实例 1 .....	96
6.3.2	综合实例 2 .....	99
6.4	TH5680 数控加工中心操作 .....	101
6.4.1	TH5680 加工中心的控制面板 .....	101
6.4.2	加工中心的基本操作 .....	103
	参考文献.....	<b>108</b>

# 1 数控机床概述

## 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经成为最基本概念之一。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技术的总称。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。数控机床是采用数字化代码程序控制、能完成自动化加工的通用机床。

早期的机床数控系统由数字逻辑电路构成，因此称为硬件数控系统。随着计算机技术的发展，硬件数控系统已经被淘汰，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，因此大大提高了数控系统的功能，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。

## 1.2 数控机床的特点与应用

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，适合多变、复杂、精密零件的高效、自动化加工。具体说来，可以包括以下几个方面。

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，便可以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，解决了多品种和中、小批量生产自动化问题。

② 精度高、质量稳定。数控机床集中采用以下提高加工精度和保证质量稳定性的技术措施。第一，数控机床根据数控程序自动工作，在工作过程中，一般不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的失误或误差；第二，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；第三，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，可以进一步提高精度和稳定性；第四，数控加工中心具有刀库和自动换刀装置，可以在一次装夹后，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，显著提高生产效率。第一，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；第二，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；第三，一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；第四，机床移动部件在定位中都采用自动加减速措施，因此可以选用很高的空行程运动速度，大大节约了辅助运动时间；第五，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，可以进行多面和多工序加工，大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间；第六，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利用操作面板对机床的自动加工进行操作，因此大大减轻了操作者的劳动强度，改善了生产条件，并且可以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、精确地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。

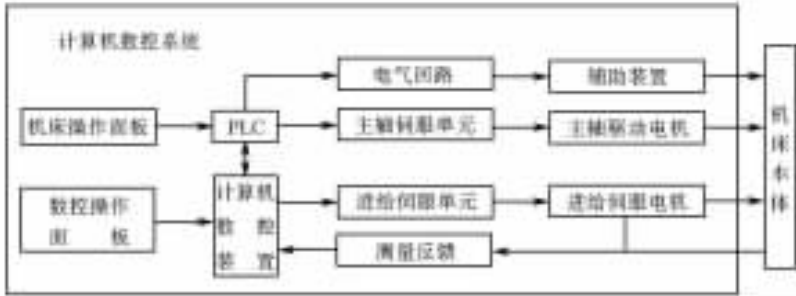


图 1.1 CNC 机床的组成

### (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，可以通过可编程逻辑控制器实现对机床电器的逻辑控制。

### (2) 数控面板

数控机床的操作是通过人机操作面板实现的，人机操作面板由数控面板和机床面板组成。

数控面板是数控系统的操作面板，多数由显示器和手动数据输入（Manual Data Input，简称 MDI）键盘组成，又称为 MDI 面板。显示器的下部常设有菜单选择键，用于选择菜单。键盘除各种符号键、数字键和功能键外，还可设置用户定义键等。操作人员可以通过键盘和显示器，实现系统管理，对数控程序及有关数据进行输入、存储和编辑修改。在加工中，屏幕可以动态显示系统状态和故障诊断报警等。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

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 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、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（闭环控制）或伺服电机（半闭环控制）上，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  $0.0001\text{mm}$ ；为了保证系统的跟踪精度，一般要求动态过程在  $200\mu\text{s}$ 、甚至几十微秒内，同时要求超调要小；为了保证加工效率，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；此外要求低速时能输出较大的转矩。

#### (6) 主轴驱动系统

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，为了能加工螺纹和实现恒切速，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，经济型数控机床的主传动系统与普通机床的类似，仍需要手工机械变速，CNC系统仅对主轴进行简单的启动或停止控制。

### (7) 机床本体

数控机床机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展，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、滚动导轨等高效率、高精度的传动部件；采用机电一体化设计与布局，机床布局主要考虑有利于提高生产率，而不像传统机床那样，主要考虑方便操作；此外，还采用自动换刀装置，自动交换工作台和数控夹具等。

## 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，一般可以按照下面四种原则进行分类。

### 1.4.1 按照加工工艺及机床用途分类

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经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，按照其基本用途，可以分为四大类。

#### (1) 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型，又可以分为两类。

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，可以进行多种工序加工，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，如数控冲压机、剪板机、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 按照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,可以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也不相关。

#### (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的直线或 $45^\circ$ 斜线加工。

#### (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进行数学处理,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两个或两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,还可分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴或五轴联动。

① 两轴联动同时控制两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。

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  $X, Y, Z$  中两个直线坐标轴和绕其中某一直线坐标轴做旋转运动的另一坐标轴,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 两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,而另一个轴做周期调整进给,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  $XZ$  平面内进行插补控制,以铣削曲线,每加工完一段后,移动  $\Delta Y$ ,  $Y$ 轴是调整坐标轴。

④ 四轴或五轴联动。在某些复杂曲面的加工中，为了保证加工精度或提高加工效率，铣刀的侧面或端面应该始终与曲面贴合，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，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 1.2 两轴联动加工



图 1.3 三轴联动加工

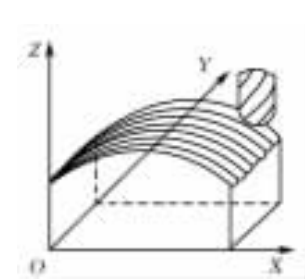


图 1.4 两轴半机床行切法加工

图 1.5 是四轴联动加工，图中所示飞机大梁的加工表面是直纹扭曲面，若采用球头铣刀三坐标联动加工，不但生产效率低，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，除了三个移动坐标联动外，为了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，即做  $A$  坐标运动。

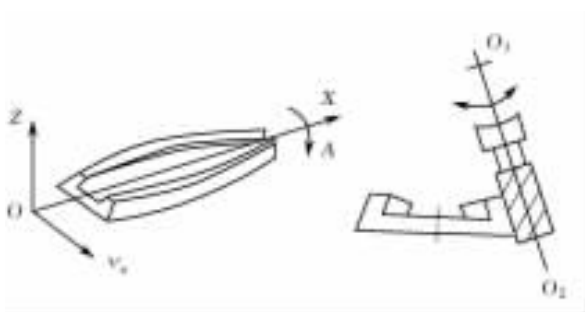


图 1.5 四轴联动加工

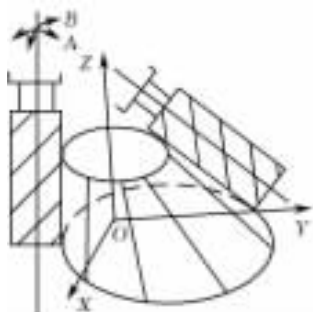


图 1.6 五轴联动加工

如果要加工如图 1.6 所示的异形凸台，为了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联动外，圆柱铣刀的轴线必须沿  $A, B$  坐标做绕  $X$  轴和  $Y$  轴的旋转运动。

### 1.4.3 按照伺服控制方式分类

数控机床伺服驱动控制方式很多，主要有开环控制、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。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。

### (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。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，因此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。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，因此精度受到影响，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 按照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（低档型或简易型）、普及型（中档型或全功能型）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，控制轴数为三轴或三轴以下，脉冲当量或进给分辨率为  $2 \sim 10 \mu\text{m}$ ，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 位或 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

这类机床进给采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动，能够实现四轴或四轴以下联动控制，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 位微处理器，具有 RS232C 通信接口，具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。此类数控机床品种极多，几乎覆盖了各种机床类别，其发展趋势趋向于简单、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。采用数字化交流伺服电机形成闭环驱动，并开始使用直线伺服电机。具有主轴伺服功能，能够实现五轴以上联动，最高分辨率可达  $0.1\mu\text{m}$ ，最大快速驱动速度可达  $100\text{m}/\text{min}$  以上；具有三维动画功能，能进行加工仿真检验和宜人的图形用户界面，同时还具有多功能智能监控系统和面向用户的宏程序功能，有很强的智能诊断和智能工艺数据库，能够实现加工条件的自动设定，且能实现计算机的网络和通讯，具有 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 等高性能通讯接口。这类系统功能齐全，价格昂贵。如具有五轴以上的数控铣床，大、重型数控机床，五面体加工中心，车削中心和柔性加工单元等。

# 1.5 数控技术的发展

## 1.5.1 数控机床的产生与发展

数控机床最早产生于美国，是军备竞赛的产物，是为了解决航空与航天技术方面的大型和复杂零件的单件、小批量生产而发展起来的。1952 年，美国 PARSONS 公司与麻省理工学院 (MIT) 合作试制了世界上第一台三坐标数控立式铣床。此后数控系统经历了两个阶段和六代产品的发展。这六代指电子管数控系统、晶体管数控系统、集成电路数控系统、小型计算机数控系统、微处理器数控系统和基于工业 PC 机的通用 CNC 系统。前三代为第一阶段，数控系统主要由硬件联结构成，称为硬件数控；后三代为计算机数控，称为 CNC 系统，其功能主要由软件完成，又称为软件数控。

我国于 1958 年由清华大学和北京机床研究所研制了第一台电子管控制数控机床，同样经历了六代发展历史。从 20 世纪 50 年代初到 70 年代末近三十年的时间，数控机床尽管经历了五代历史，但由于其价格昂贵、加工费用高、故障率高、应用技术复杂和各项配套措施尚在发展中等，其实际应用的普及率并不高。

近二十年来，微电子技术及相关技术的发展，特别是微处理器技术的应用，使数控机床的性能价格比有了极大提高，实际应用普及率越来越高，使得数控机床成为现代机械制造技术的基础。

### 1.5.2 数控技术的发展趋势

随着科学技术的发展，世界先进制造技术的兴起和不断成熟，对数控技术提出了更高的要求。数控系统的主要发展目标为：进一步降低价格，增加可靠性，拓宽功能，提高操作宜人性，提高集成性、系统柔性和开放性。表 1.1 列出了数控系统的主要发展趋势。

表 1.1 数控系统的主要发展趋势

数控系统领域	发 展 趋 势
硬件	开放式，PC 集成技术，模块化
系统软件	开放式，标准操作系统，实时数据库
CNC 核心功能	三维刀具补偿，样条插补
监控和诊断	自适应功能，智能故障诊断
编程功能	面向车间的编程 WOP，宏程序设计，会话式，后台式，三维图形仿真
伺服系统	交流驱动，数字调节器，SERCOS，直线伺服电机
用户界面	用户可设计的界面
通讯	MAP/MMS，TCP/IP，现场总线

#### (1) 数控系统

新一代数控系统是开放式的数控系统，要求应用标准组件（如 PC 卡、标准元器件、标准驱动系统和数据库等），应用开放的模块化结构构成系统的硬、软件，使系统便于组合、扩展和升级，并且使系统硬件和软件相分离，使系统能提供柔性的、易适应的控制功能，并易为用户所掌握。根据这种要求，目前趋向于采用基于 PC 机的硬件构成形式，通过这种形式，使应用 PC 软件（如 MS - Windows）PC 工具和 PC 硬件成为可能，以便于提高功能、降低价格。

采用位数、频率更高的微处理器，提高系统的基本运算速度，采用超大规模集成电路和多微处理器结构，提高系统数据的处理能力，如插补运算器采用大规模集成芯片，提高插补运算的速度和精度，开发样条插补功能，提高特殊曲线和曲面的加工效率与质量，配置高速、强功能的内装式可编程控制器（PLC），满足高速加工和各种实时性要求。

#### (2) 伺服驱动系统

当代数控机床的伺服系统趋向于采用数字式交流伺服与主驱动（或伺服），