

电气工程及自动化应用丛书

# 数控机床

## 编程与加工技术

● 严建红 主编

福建科学技术出版社

95

60

电气工程及其自动化专业

TG695

Y050

# 数控机床

## 编程与加工技术

● 严建红 主编

福建科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与加工技术/严建红主编. —福州: 福建科学技术出版社, 2004. 1

(电气工程及自动化应用丛书)

ISBN 7-5335-2270-2

I. 数… II. 严… III. ①数控机床—程序设计  
②数控机床—加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 089732 号

书 名	数控机床编程与加工技术 电气工程及自动化应用丛书
作 者	严建红
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建二新华印刷有限公司
开 本	720 毫米×980 毫米 1/16
印 张	8.75
字 数	165 千字
版 次	2004 年 1 月第 1 版
印 次	2004 年 1 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-2270-2/TM·29
定 价	15.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

## 编辑的话

——写在《电气工程及自动化应用丛书》出版之时

经济全球化的大潮，已使我国跻身制造大国，并逐步成为世界制造中心之一。在这期间，以电子信息技术为代表的高新技术迅猛发展，带动和提升了传统的工业技术产业，新技术、新设备不断涌现。同时，这也引起现代社会职业岗位结构的调整，产生了一些技术含量较高的新岗位，并对人才的结构、素质和能力提出了新要求。

电气工程及自动化技术，一端承接着信息技术革命最新的成果，另一端服务于几乎所有的工业部门，是当今最为活跃的技术领域之一。其从业者更需要不断汲取新知识、新技术，不断提高分析能力、创新能力和实践能力。我们编辑出版这套《电气工程及自动化应用丛书》，就是为从事这一领域的工程技术人员及相关专业的院校师生提供一套实用的新技术读本。他们有一定的专业理论基础，更希望获得新技术资料，以及指导工程实践的经验。因而本丛书采取理论从略、应用从详的原则，“淡化”理论知识，“强化”实际技能，从工程实例入手，重点介绍电气工程及自动化领域中的实用技术和新产品应用，将理论与实践紧密结合起来，以提高读者的分析能力和动手能力。我们的努力能否获得预期的效果，还有待时间的检验。

本丛书将陆续出版《PLC 技术与应用》、《变频器控制技术与应用》、《电气控制技术与应用》、《电机技术与应用》、《电力电子技术与应用》、《数控机床编程与加工技术》等六种，今后我们还将根据技术的发展与需求，进一步出版新的图书品种，也希望广大专家学者、工程技术人员提出建议，共同参与编写，为推广普及电气工程与自动化新技术而努力。

# 前 言

数控机床是现代机械制造系统中的重要组成设备，是 CAD/CAM、FMS、CIMS 等高新技术的基础单元。随着机电一体化进程的不断深入，具有通用性、灵活性、高精度、高效率、高质量等特点的数控机床，应用日益广泛。而数控机床的发展和普及，对数控机床的编程和操作人员提出了更高的要求，本书正是为适应这一需求而编写的。

本书的特点是注重实践环节，兼顾理论知识，旨在培养既能编程，又能操作数控机床，同时还掌握着一定理论知识的复合型人才。本书中，有关理论知识部分，只介绍一般原理；对于编程部分，通过实例，由浅入深进行剖析；而操作技能部分，则叙述详尽，便于读者较好地掌握数控机床的编程方法和典型数控机床的基本操作方法。

本书着重介绍数控车床、数控铣床和加工中心的编程与加工操作，以及常见故障的判断与排除方法，教操作者怎样正确维护和保养数控机床。

本书通俗易懂，操作性强，适合作为职业技术教育类院校相关专业的教材，以及数控机床编程与操作类的培训教材，同样适于数控机床编程与操作爱好者自学。

本书由严建红主编。严建红编写了第一章、第三章和第四章；谢暴编写了第二章，马斌绘制了全书图稿。

因编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2003 年 9 月

# 目 录

第一章 概述 .....	(1)
第一节 什么是数控机床 .....	(1)
一、数控技术与数控机床 .....	(1)
二、数控机床的组成与工作原理 .....	(1)
三、数控机床的特点 .....	(3)
四、数控机床的类型 .....	(4)
第二节 数控加工的工艺分析 .....	(9)
一、工序与工步的划分 .....	(9)
二、工件的安装与夹具的选择 .....	(9)
三、加工路线的确定 .....	(10)
四、确定刀具与工件的相对位置 .....	(12)
五、刀具选择 .....	(12)
六、切削用量的选择 .....	(13)
第二章 数控车床的编程与加工操作 .....	(14)
第一节 数控车床的主要功能与参数 .....	(14)
一、数控车床的加工特点 .....	(14)
二、数控车床的组成 .....	(14)
三、数控车床的主要参数 .....	(15)
四、数控车床系统的主要功能 .....	(17)
第二节 数控车床加工程序编制 .....	(18)
一、数控车床的坐标系 .....	(18)
二、程序格式与编程规则 .....	(19)
三、工艺指令 .....	(21)
四、端面与外圆加工程序的编制 .....	(22)
五、圆弧面加工程序的编制 .....	(25)
六、螺纹加工程序的编制 .....	(27)
七、固定循环 .....	(30)
八、车刀的刀具补偿功能 .....	(38)
第三节 车削加工编程实例 .....	(41)

一、数控车床编程要点 .....	(41)
二、编制程序 .....	(42)
第四节 数控车床的加工操作 .....	(43)
一、数控车床操作面板 .....	(43)
二、对刀 .....	(48)
三、数控车床的操作 .....	(49)
四、机床的急停 .....	(51)
五、程序的输入/输出、检查和修改 .....	(52)
六、刀具补偿值的输入与修改 .....	(52)
七、避免碰撞 .....	(53)
八、机床的运转 .....	(53)
九、常见故障的判断与处理方法 .....	(55)
<b>第三章 数控铣床的编程与加工操作 .....</b>	<b>(64)</b>
第一节 数控铣床的主要功能与参数 .....	(64)
一、数控铣床的加工特点 .....	(64)
二、数控铣床的组成 .....	(65)
三、数控铣床的主要参数 .....	(65)
四、数控铣床系统的主要功能 .....	(66)
第二节 数控铣床加工程序的编制 .....	(70)
一、数控铣床的坐标系 .....	(70)
二、平面轮廓加工程序的编制 .....	(72)
三、孔加工程序的编制 .....	(75)
四、子程序 .....	(81)
五、铣刀的刀具补偿功能 .....	(82)
第三节 铣削加工编程实例 .....	(87)
一、数控铣床编程要点 .....	(87)
二、编程实例 .....	(89)
第四节 数控铣床的加工操作 .....	(93)
一、数控铣床操作面板介绍 .....	(93)
二、工件的安装与夹具选择 .....	(98)
三、数控铣床的操作 .....	(99)
四、数控铣床操作步骤及注意事项 .....	(103)
五、数控铣床的预防性维护和保养 .....	(104)

<b>第四章 加工中心的编程与操作</b> .....	(106)
<b>第一节 加工中心的主要功能</b> .....	(106)
一、加工中心的加工特点 .....	(106)
二、加工中心的分类 .....	(107)
<b>第二节 加工中心程序的编制</b> .....	(108)
一、数控系统的功能 .....	(108)
二、编程中的参考点和坐标系 .....	(108)
三、有关坐标系的指令 .....	(109)
四、返回参考点指令 .....	(113)
五、刀具补偿功能 .....	(113)
六、换刀指令 .....	(114)
七、螺旋切削 .....	(114)
<b>第三节 加工中心的编程实例</b> .....	(115)
<b>第四节 加工中心的操作</b> .....	(119)
一、加工中心的操作 .....	(119)
二、加工中心的常见故障与排除方法 .....	(123)
<b>参考文献</b> .....	(127)



# 第一章 概 述

## 第一节 什么是数控机床

### 一、数控技术与数控机床

数控技术是指采用数字化信息实现加工自动化的控制技术，简称 NC (Numerical Control)。它不仅可以控制位移、角度、速度等机械量，还可以控制温度、压力、流量等其他量。

数控机床就是利用数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的机床。它将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等）和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示，通过控制介质将数字信息送入数控装置，数控装置对输入的信息进行处理与运算，发出各种控制信号，控制机床的伺服系统或其他驱动元件，使机床自动加工出所需要的工件。数控机床的诞生与发展，有效地解决了一系列生产上的矛盾，为单件、小批量精密复杂工件的加工提供了自动化加工手段。

1948 年，美国帕森兹公司 (Parsons) 在研制加工直升机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想。1949 年该公司与麻省理工学院 (MIT) 合作，开始了三坐标铣床的数控化工作，1952 年 3 月世界上第一台数控机床试制成功。经过三年的试用、改进与提高，数控机床于 1955 年进入实用化阶段。从此，德国、英国、日本和苏联等国都开始研制数控机床，其中日本的技术发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司、美国的 A-B 公司、意大利的 A-BOSZA 公司等。1959 年，美国 Keaney & Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床，可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工，如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削等。至此，数控机床的新一代——加工中心 (Machining Center) 诞生了，并成为当今数控机床发展的主流。

### 二、数控机床的组成与工作原理

数控机床由控制介质、计算机数控装置、伺服驱动系统、辅助装置、机床等部分组成，如图 1-1 所示。

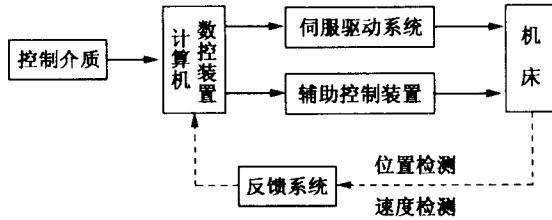


图 1-1 数控机床的组成框图

### 1. 控制介质

要对数控机床进行控制，就必须在人与数控机床之间建立某种联系，这种联系的中间媒介物质就是控制介质，又称信息载体。在使用数控机床之前，先要根据工件图上规定的尺寸、形状和技术条件，编写出工件的加工程序，将加工时刀具相对工件的位置和机床的全部动作顺序，按照规定的格式和代码记录在信息载体上。需要加工该工件时，把信息（即加工程序）输入计算机数控装置。常用的控制介质有键盘、穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘等。

另外，由于计算机编程能力强大，可通过数控机床上的通信接口将计算机内的程序送入数控装置进行加工，也可将数控装置上的加工程序送回计算机保存起来。

### 2. 计算机数控装置

数控装置是数控机床的中枢，目前绝大部分的数控机床采用微机控制，所以也称为 CNC 机床。图 1-2 点划线框中所包含部分就是数控装置，它由输入、输出、运算器、控制器、存储器等部分组成。

输入装置接收控制介质送入的加工信息代码（加工程序）。它们经识别、译码后，送到相应的存储区，作为控制和运算的原始数据，再经过数据运算处理，由输出装置发出相应的控制指令和运动指令。指令以脉冲形式输出。

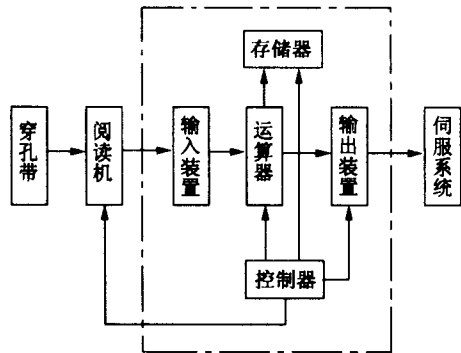


图 1-2 数控装置结构框图

### 3. 伺服驱动系统

伺服驱动系统的作用是把来自数控装置的运动指令进行放大，驱动机床的移动部件运动，使工作台按规定轨迹移动或准确定位，加工出符合图纸要求的工件。每个脉冲信号使机床移动部件的位移量称为脉冲当量，用  $\delta$  表示。常用的脉冲当量有 0.01 毫米/脉冲，0.005 毫米/脉冲，0.001 毫米/脉冲等。

伺服系统由伺服驱动电路、功率放大电路、伺服电动机、传动机构和检测反馈装置组成。常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。伺服系统的性能是决定数控机床加工精度和生产效率的主要因素之一。闭环控制的数控机床带有检测反馈系统，如图 1-1 虚线所示。其作用是将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到计算机数控装置中，使数控装置能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出相应指令，修正所产生的偏差，提高加工精度。

#### 4. 辅助控制装置

辅助控制装置的作用是把计算机送来的辅助控制指令经机床接口转换成强电信号，以控制主轴电动机的起停及转速，冷却泵起停及工作台的转位和换刀等动作。

#### 5. 机床

高精度和高生产率的自动化加工机床，比普通机床相应具有更好的抗振性和刚度，要求运动部件的摩擦因数要小，进给传动部件之间间隙要小。所以其设计要求比普通机床更严格，加工制造要求更精密，并采用加强刚性、减小热变形、提高精度的设计措施。

#### 6. 反馈系统

在闭环和半闭环数控机床上，都有反馈系统。它的作用是将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到计算机中，使计算机能随时随地判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出指令，作相应的差值控制，补偿误差。

### 三、数控机床的特点

#### 1. 适应性强

数控机床在生产过程中是按照数控指令进行工作的，当生产对象改变时，只需改变数控加工的程序并配备所需的生产工具，而无需改变机械部分和控制部分的硬件。这一特点不仅满足了当前产品更新快的市场竞争需要，而且解决了单件、小批量及新产品试制的自动化生产问题。

#### 2. 能实现复杂工件的加工

数控机床几乎可以实现任意轨迹的运动和任何形状的空间曲面的加工，如螺旋桨、汽轮机叶片等空间曲面。

#### 3. 精度高，质量稳定

数控机床是按照预定的程序自动加工的，消除了操作者人为产生的误差，因而产品的生产质量十分稳定；而且数控机床的机械部分具有较高的动态精度，数控装置的脉冲当量可达 0.001 毫米/脉冲，还可以通过实时检测反馈修正误差或补偿获得更高的精度。

#### 4. 生产率高

产品的生产时间主要包括工艺时间和辅助时间。数控机床采用大功率高速切削，缩短工艺时间；还配备自动换刀装置、检测装置及交换工作台，减少了工件的装卸次数和其他辅助时间，从而明显地提高了生产效率。

#### 5. 减轻劳动强度，改善劳动条件

数控机床在生产过程中不需要人工干预，又可在恶劣的环境下自动进行加工，从而降低了工人的劳动强度，极大地改善了劳动条件。

#### 6. 有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，有利于与计算机连接，构成由计算机控制、管理的生产系统，为产品的设计、制造及管理一体化奠定了基础。

### 四、数控机床的类型

数控机床的种类很多，常按以下四种方法进行分类。

#### (一) 按工艺用途分

##### 1. 一般数控机床

同普通机床一样，数控机床也有数控车床、铣床、磨床、镗床等。图 1-3 是 CK7815 数控车床。图 1-4 是 XK5040A 数控铣床。它们和传统的普通车床、铣床工艺用途相似，但是它们的生产率和自动化程度比普通车床、铣床高，都适合加工单件、中小批量和形状复杂的工件。

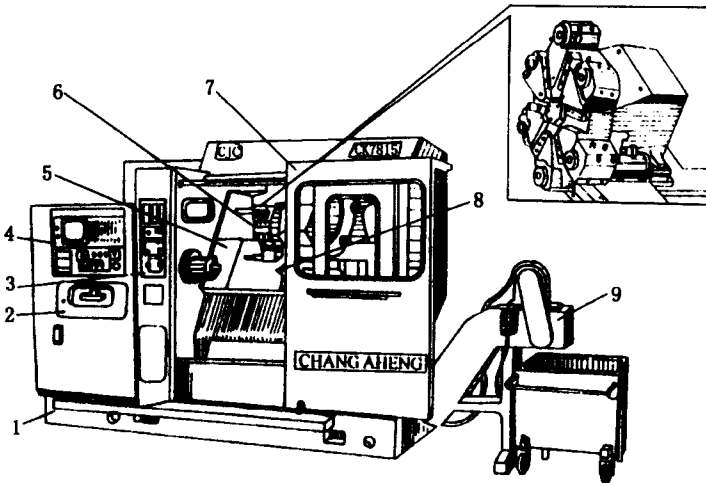


图 1-3 CK7815 数控车床

1—床体 2—光电读带机 3—机床操作台 4—数控系统操作面板 5—倾斜 60°导轨 6—刀盘 7—防护门 8—尾座 9—排屑装置

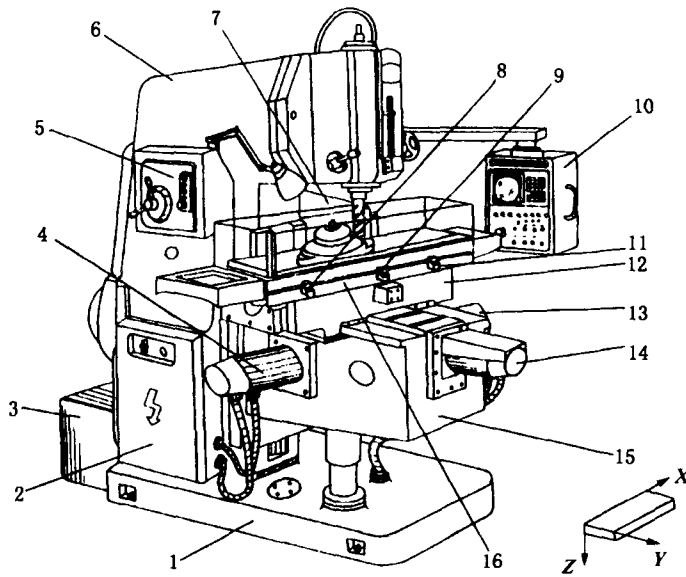


图 1-4 XK5040A 型数控铣床

1—底座 2—强电箱 3—变压器箱 4—升降进给伺服电动机 5—主轴变速手柄和按钮板  
 6—床身立柱 7—数控柜 8、11—纵向行程限位保护开关 9—纵向参考点设定挡铁 10—操纵台  
 12—横向溜板 13—纵向进给伺服电动机 14—横向进给电动机 15—升降台  
 16—纵向工作台

## 2. 数控加工中心

这是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置，构成一种可以自动换刀的数控机床。图 1-5 是 XH754 型卧式加工中心，图 1-6 是 TH5632 型立式加工中心。这类数控机床的出现打破了一台机床只能进行单工种加工的传统概念，实现了一次安装定位，完成多工序加工的方式。如 TH5632 型立式加工中心，其刀库容量为 16 把刀，在刀库和主轴之间有一换刀机械手，工件一次夹装后，可自动地连续进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多工序加工，由此避免了因多次安装造成的误差，减少了机床的数量，提高了生产效率和加工

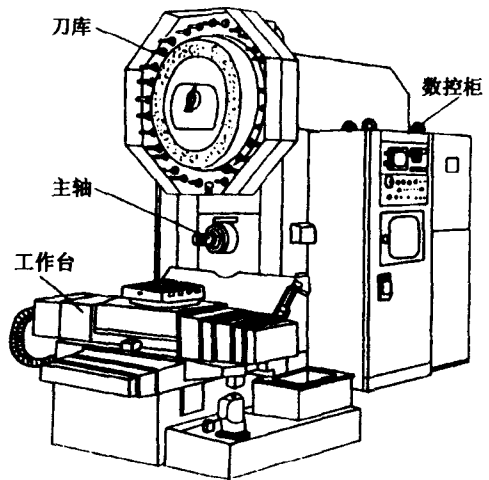


图 1-5 XH754 型卧式加工中心

1—工作台 2—主轴 3—刀库 4—数控柜

自动化程度。

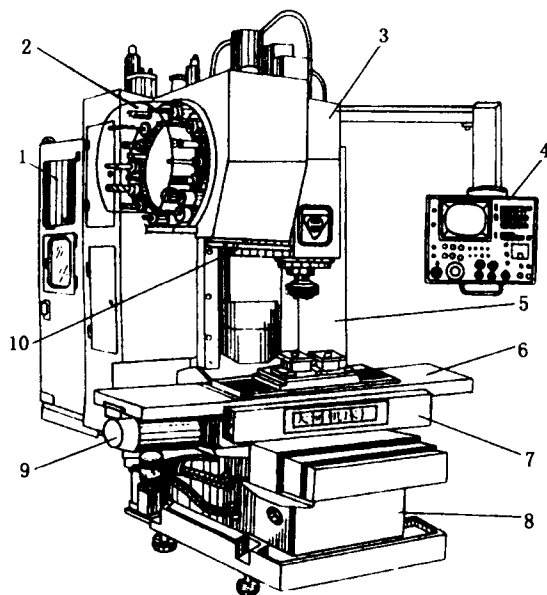


图 1-6 TH5632 型立式加工中心

1—数控柜 2—刀库 3—主轴箱 4—操纵台 5—驱动电源柜 6—纵向工作台 7—滑座  
8—床身 9—X轴进给伺服电动机 10—换刀机械手

### 3. 多坐标轴数控机床

有些复杂的工件，例如螺旋桨、飞机发动机叶片曲面等用三坐标数控机床无法加工，于是出现了多坐标的数控机床。其特点是控制轴数较多，机床结构比较复杂，坐标的轴数取决于加工工件的工艺要求。

#### (二) 按控制的运动轨迹分类

##### 1. 点位控制

点位控制数控机床只要求控制准确的加工坐标点位置。这类数控机床只是在刀具或工件到达指定位置后才开始加工，在运动过程中并不进行加工，所以从一个位置移动到另一个位置的轨迹不需要严格控制。数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床都采用这种控制方式。图 1-7 是点位控制加工示意图。这类数控机床最重要的性能要求是保证各孔之间的相对位置准确，并要求快速点定位，以便减少空行程时间，其控制过程是当刀具和工件接近定位点时，首先降低移动速度，然后准确定位。

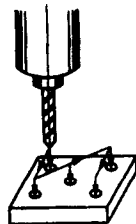


图 1-7 点位控制加工示意图

## 2. 直线控制

直线控制数控机床，除了要求控制位移的终点位置外，还能实现平行于坐标轴的直线切削加工，并可设定直线切削加工的进给速度。直线精度由相应的系统保证。例如在车床上车削阶梯轴，铣床上铣削台阶面等。图 1-8 是直线控制切削加工示意图。

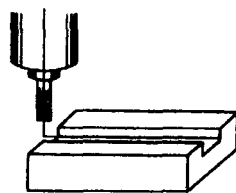


图 1-8 直线控制切削加工示意图

## 3. 轮廓控制

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制，不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标值，而且能控制整个加工进程中每一点的速度、方向与位移量。即控制加工轨迹，加工出符合要求的工件轮廓。图 1-9 是多坐标轮廓控制的示意图。

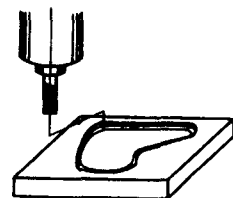


图 1-9 轮廓控制加工示意图

### (三) 按控制方式分类

数控机床按对被控制量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置可分为闭环和半闭环两种。

#### 1. 开环控制的数控机床

图 1-10 是典型的开环数控系统。开环控制系统中没有检测装置，指令信号发出后，没有反馈，故称开环系统。开环控制的伺服系统主要使用步进电机。数控系统进行插补运算后，发出进给脉冲，经驱动放大后，驱动步进电机转动。一个进给脉冲使步进电机转动一个角度，通过丝杠使工作台移动一个位移量。因此工作台的位移量与步进电机的转角成正比，即与进给脉冲的数量成正比。进给脉冲以某一频率输出时，则步进电机以相应的转速运转。所以改变进给脉冲的数量和频率，就可以控制工作台的位移量和速度。

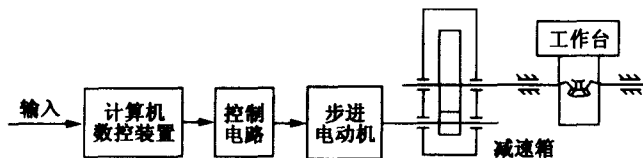


图 1-10 开环系统框图

开环控制的特点是结构简单、调试方便、易于维护、成本较低，但速度和控制精度不高。目前国内的经济型数控机床，普遍采用开环数控系统。

#### 2. 闭环控制数控机床

开环控制系统的控制精度不高，主要是由于没有检测工作台移动的装置，也没有反馈功能，即没有纠正偏差的能力。图 1-11 是闭环控制系统框图，安装在工作

台上的检测元件可将工作台实际位移量反馈到计算机数控装置中，与所要求的位置指令进行比较，系统根据比较的差值进行控制，直到差值消除为止，从而使加工精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电机的实际转速转换成电信号，送到速度控制电路中去，进行反馈校正，保证电机转速保持恒定不变。常用的速度检测元件是测速电动机。

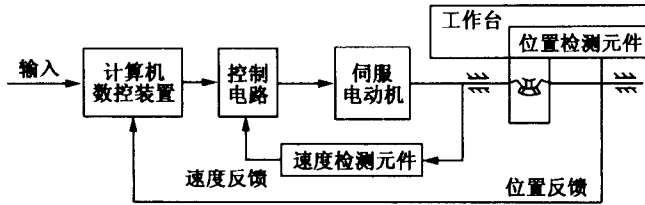


图 1-11 闭环控制系统框图

闭环控制的特点是加工精度高，移动速度快。这类数控机床采用直流伺服或交流伺服电机作为驱动元件，电机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵，因而调试和维修比较复杂，成本高。

### 3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统框图如图 1-12 所示，它不是直接检测工作台的位移量，而是通过与伺服电机有联系的转角检测元件，如光电编码器，测出伺服电机的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机数控装置中进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈系统内不包含工作台，故称半闭环控制。

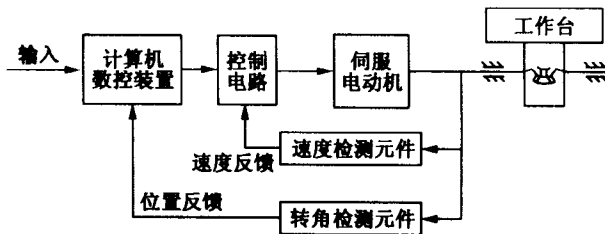


图 1-12 半闭环控制系统框图

半闭环控制精度较闭环控制精度差，但稳定性好，成本较低，调试维修也比较容易，兼顾了开环和闭环两者的优点。

## (四) 按功能分类

### 1. 经济型数控机床

这类数控机床的数控装置通常采用一个微处理器作为主控单元，伺服系统大多使用步进电机驱动，采用开环控制方式，脉冲当量为 0.01~0.005 毫米/脉冲，机



床快移速度为 5~8m/min, 精度较低, 功能较简单。

### 2. 全功能型数控机床

在计算机中采用 2~4 个微处理器进行控制, 其中一个为主控微处理器, 它完成用户程序的数据处理、插补运算、文本和图形显示等, 其余微处理器在可控微处理器的管理下, 完成对外围设备, 主要是伺服控制系统的控制和管理, 从而实现对各坐标轴的连续控制。

全功能型数控机床允许最大速度一般为 8~24m/min, 脉冲当量为 0.01~0.001 毫米/脉冲, 广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

### 3. 精密型数控机床

精密型数控机床采用闭环控制, 它不仅具有全功能型数控机床的全部功能, 而且机械系统的动态响应较快, 其脉冲当量一般小于 0.001 毫米/脉冲。应用于精密和超精密加工。

## 第二节 数控加工的工艺分析

数控加工的第一步就是根据工件图样确定工艺方案, 如确定加工方法、定位夹紧以及加工顺序、使用刀具、切削用量和选择合理的加工路线等。这就要求编程人员必须具备一定的工艺知识。虽然数控机床的加工工艺与普通机床的加工工艺有许多相同之处, 但也有许多不同, 下面加以简要说明。

### 一、工序与工步的划分

#### 1. 工序的划分

在数控机床上加工工件, 工序要比较集中, 在一次装夹中尽可能完成大部分或全部工序的加工。一般工序划分按下列原则进行:

- (1) 按工件装夹定位方式划分。
- (2) 按粗、精加工划分。
- (3) 按所用刀具划分。

#### 2. 工步的划分

工步的划分按下列原则进行:

- (1) 按粗加工、半精加工、精加工或粗加工、精加工划分。
- (2) 按刀具划分。
- (3) 既有平面加工, 又有孔加工时, 按先面后孔的原则划分。

### 二、工件的安装与夹具的选择

#### 1. 工件的安装

数控机床上工件的定位安装原则和普通机床基本相同, 主要应考虑以下几点: