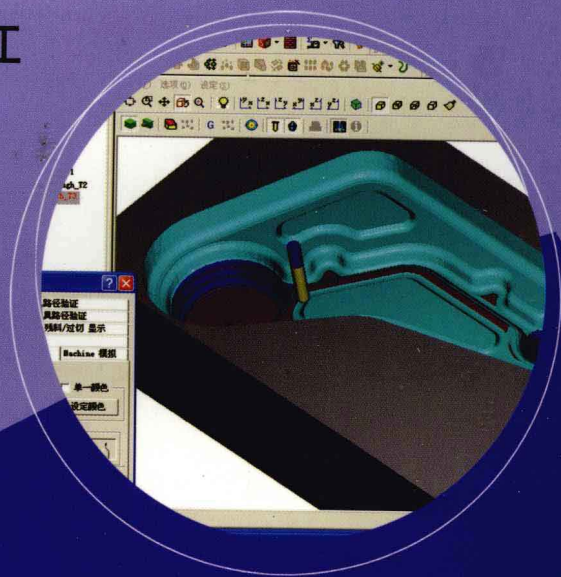




21世纪高等职业教育精品规划教材

# 数控编程与加工技术

◎ 主编 吴青松 杨武 陈红江



## 21世纪高等职业教育精品规划教材

机械制图

机械制图习题集

机械设计基础

机械设计基础课程设计

工程力学

金工实习

塑料成型工艺与模具设计

互换性与测量技术

Mastercam X 实例教程

机械制造基础

Pro/ENGINEER 中文野火版3.0实用教程

液压与气动技术

机械零件常规加工

冲压工艺与模具设计

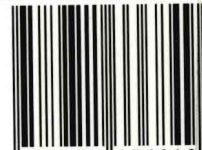
数控编程与加工技术

AutoCAD2008 中文版实用教程

AutoCAD2008 中文版习题与实训

策划编辑：钟志刚  
责任编辑：张彦  
封面设计：广通文化

ISBN 978-7-81133-684-9



9 787811 336849 >


定价：29.80元



21 世纪高等职业教育精品规划教材

# 数控编程与加工技术

主 编 吴青松 杨 武 陈红江  
副主编 黄文华 李汉平 杨良根 李河水  
参 编 黄诚忠

 **哈尔滨工程大学出版社**  
Harbin Engineering University Press

## 内容提要

本书是高等职业教育数控技术专业规划教材之一。本书内容包括数控技术与数控机床概述、数控加工工艺基础、数控编程基础、数控车床工艺与编程、数控铣床(加工中心)工艺与编程、数控电火花线切割加工工艺与编程。

本书适合作为各类高等职业技术学院、职工大学等相关专业教材,也可供大专院校和从事数控加工与编程工作的工程技术人员参考使用,还可作为工厂数控加工设备操作工人的自学教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/吴青松等主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-81133-684-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第030789号

---

出版发行: 哈尔滨工程大学出版社

社 址: 哈尔滨市南岗区东大直街124号

邮 编: 150001

发行电话: 0451-82519328

传 真: 0451-82519699

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市通州京华印刷制版厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 417千字

版 次: 2010年2月第1版

印 次: 2010年2月第1次印刷

定 价: 29.80元

http://press.hrbeu.edu.cn

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议, 请与本书责编联系。邮箱: jixie\_book@sina.com

---



# 出版说明

近年来,我国的高等职业教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,在提高劳动者的素质、建设社会主义精神文明、促进社会进步和经济发展方面发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展和经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等职业院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以转变教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,逐步形成适应我国社会主义现代化建设需要的高等职业教育思想和教育理念。

要加快高等职业教育改革和发展的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等职业教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等职业教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等职业教育教材的建设,加快高等职业教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等职业院校的教学特点,编写了《21世纪高等职业教育精品规划教材》,旨在使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明、实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供高等职业院校、成人高校及各类培训学校相关专业使用。在编写过程中,得到了许多教师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

哈尔滨工程大学出版社

# 前 言

装备制造业是国民经济和国防建设的基础性产业，其产值占国民生产总值40%以上，而先进制造技术是振兴传统制造业的技术支持和发展趋势，数控技术是其核心部分，谁先掌握数控技术，谁就能占领市场。数控技术的出现和快速应用，已经引起世界各国的广泛重视。

随着我国工业经济的快速发展，产业结构进一步调整和升级，数控机床在现代企业大量应用，同时经济发展对高技能人才需求不断上升，当前，社会需要一大批能够掌握数控机床操作和应用的数控应用型人才。

数控编程及加工技术是工科类专业的一门重要的职业技能课程，为了适应机械发展的新的形势，我们编写了本书。内容包括数控技术与数控机床概述、数控加工工艺基础、数控编程基础、数控车床工艺与编程、数控铣床（加工中心）工艺与编程、数控电火花线切割加工工艺与编程等内容。本书注重与实际相结合，从企业的实践角度出发，详尽地介绍了几种数控系统的编程，同时详细补充了数控加工工艺和刀具的知识，从而形成完整的知识结构，使读者易于理解。

本书由吴青松、杨武、陈红江任主编，黄文华、李汉平、杨良根、李河水任副主编。黄诚忠参与本书部分内容的资料搜集工作。

本书在编写过程中，参阅了许多院校和其他单位的教材、资料和文献，在此向作者表示感谢。因编者水平有限，书中疏漏及不足之处，欢迎广大师生和读者批评、指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 数控技术与数控机床概述</b> .....	1
1.1 数控机床的产生与发展.....	1
1.1.1 数控机床的产生和发展阶段 .....	1
1.1.2 数控机床的发展趋势.....	1
1.2 数控机床组成结构.....	3
1.2.1 数控机床的基本概念.....	3
1.2.2 数控机床加工零件的过程 .....	3
1.2.3 数控机床的组成.....	3
1.3 数控机床的分类.....	5
1.3.1 按控制运动的轨迹分类 .....	5
1.3.2 按伺服系统的类型分类 .....	5
1.3.3 按控制的坐标轴数(联动轴数)分类 .....	6
1.3.4 按加工工艺范围分类.....	7
1.3.5 按数控系统功能水平分类 .....	8
1.4 数控机床的特点及适用范围 .....	8
1.4.1 数控机床加工的特点.....	8
1.4.2 数控机床的适用范围.....	9
<b>第 2 章 数控加工工艺基础</b> .....	11
2.1 数控加工工艺概述 .....	11
2.1.1 数控加工的工艺特点 .....	11
2.1.2 数控加工工艺设计的主要内容 .....	12
2.1.3 数控加工对象 .....	12
2.2 数控加工工艺分析与设计 .....	14
2.2.1 数控加工零件图样分析 .....	14
2.2.2 零件的结构工艺性分析 .....	15
2.2.3 定位基准的选择 .....	18
2.2.4 工序划分 .....	19
2.2.5 加工方法与加工方案的确定 .....	20
2.2.6 加工顺序的确定 .....	23
2.2.7 走刀路线的确定 .....	24
2.3 数控加工刀具选择 .....	28
2.3.1 数控加工刀具的分类及特点 .....	28
2.3.2 可转位刀具的种类和用途 .....	29



2.3.3	数控加工常用刀具的材料 .....	30
2.3.4	数控加工刀具的选择 .....	32
2.3.5	数控机床工具系统 .....	32
2.4	数控加工夹具选择 .....	36
2.4.1	工件装夹的基本原则 .....	36
2.4.2	选择夹具的基本原则 .....	36
2.5	切削用量的选择 .....	36
2.6	数控编程中的数学处理 .....	39
2.6.1	基点坐标计算 .....	39
2.6.2	节点坐标计算 .....	41
2.7	数控加工工艺文件编制 .....	42
2.7.1	数控加工工序卡 .....	43
2.7.2	数控加工刀具卡 .....	44
2.7.3	机床调整单 .....	45
2.7.4	数控加工走刀路线图 .....	46
2.7.5	数控加工程序单 .....	46
2.8	数控机床安全操作规程 .....	47
<b>第3章</b>	<b>数控编程基础</b> .....	<b>49</b>
3.1	程序结构与程序段格式 .....	50
3.1.1	数控加工程序的结构 .....	50
3.1.2	数控加工程序的分类 .....	51
3.2	数控指令代码系统 .....	51
3.2.1	准备功能 G .....	51
3.2.2	辅助功能 M .....	53
3.2.3	刀具功能 T .....	54
3.2.4	进给功能 F .....	54
3.2.5	主轴转速功能 S .....	54
3.3	数控机床坐标系统 .....	55
3.3.1	数控机床的坐标系 .....	55
3.3.2	数控机床上几个重要的坐标点 .....	57
3.4	数控机床插补原理 .....	58
3.4.1	插补概述 .....	58
3.4.2	逐点比较法 .....	59
3.4.3	数字增量插补 .....	64
3.5	零件程序编制方法 .....	66
3.5.1	手工编程 .....	66
3.5.2	计算机辅助的自动编程 .....	66

<b>第 4 章 数控车床工艺与编程</b> .....	69
4.1 数控车床编程基础 .....	69
4.1.1 数控车床概述 .....	69
4.1.2 数控车床加工特点与加工对象 .....	72
4.1.3 数控车削刀具 .....	73
4.1.4 数控车削夹具 .....	76
4.1.5 数控车削切削用量的选择 .....	78
4.2 数控车床指令系统 .....	81
4.2.1 基本指令与格式 .....	81
4.2.2 循环编程指令及应用 .....	87
4.2.3 螺纹编程指令及应用 .....	96
4.2.4 子程序和宏程序的编程 .....	100
4.3 数控车床综合编程举例 .....	105
4.3.1 综合实例 1 .....	105
4.3.2 综合实例 2 .....	107
4.3.3 综合实例 3 .....	109
4.4 FANUC Oi—T 数控系统操作及应用 .....	113
4.4.1 数控车床仿真软件的进入和退出 .....	113
4.4.2 数控车床仿真软件的界面介绍 .....	114
4.4.3 数控车仿真软件操作 .....	120
4.4.4 数控车床的操作方法 .....	124
4.4.5 数控车床仿真软件操作实例 .....	129
<b>第 5 章 数控铣床（加工中心）工艺与编程</b> .....	136
5.1 数控铣床（加工中心）编程基础 .....	136
5.1.1 数控铣床概述 .....	136
5.1.2 刀具的类型及选用 .....	139
5.1.3 确定切削用量 .....	142
5.1.4 数控铣削工艺设计 .....	143
5.2 数控铣床指令系统 .....	146
5.2.1 数控铣床坐标系 .....	147
5.2.2 数控铣床建立工件坐标系指令 .....	149
5.2.3 圆弧插补指令——G02、G03 .....	150
5.2.4 刀具半径补偿的意义 .....	152
5.2.5 二维刀具半径补偿指令——G41、G42、G40 .....	152
5.2.6 刀具长度补偿指令——G43、G44、G49 .....	155
5.2.7 常用孔加工的固定循环 .....	156
5.2.8 图形比例指令——G50、G51 .....	160

5.2.9	镜像功能 .....	162
5.2.10	坐标系旋转功能——G68、G69 .....	163
5.3	数控铣床综合编程举例 .....	165
5.3.1	综合实例 1 .....	165
5.3.2	综合实例 2 .....	166
5.3.3	综合实例 3 .....	167
5.3.4	综合实例 4 .....	169
5.4	加工中心工艺与编程 .....	173
5.4.1	综合实例 1 .....	173
5.4.2	综合实例 2 .....	176
5.4.3	综合实例 3 .....	180
5.4.4	综合实例 4 .....	184
5.4.5	综合实例 5 .....	187
5.5	FANUC Oi—M 数控系统操作及应用 .....	189
5.5.1	数控铣床（加工中心）仿真软件界面介绍 .....	189
5.5.2	数控铣（加工中心）仿真软件操作 .....	192
5.5.3	数控铣床的操作方法 .....	196
5.5.4	数控铣床（加工中心）仿真软件操作实例 .....	199
<b>第 6 章 数控电火花线切割加工工艺与编程 .....</b>		<b>208</b>
6.1	电火花线切割加工原理与特点 .....	208
6.1.1	电火花线切割机床工作原理 .....	208
6.1.2	电火花加工的极性效应 .....	208
6.1.3	电火花线切割加工的主要对象 .....	209
6.1.4	电火花线切割加工的特点 .....	209
6.2	线切割机床概述 .....	209
6.2.1	机床分类与型号 .....	209
6.2.2	快走丝线切割机床简介 .....	210
6.2.3	慢走丝线切割机床简介 .....	211
6.2.4	线切割加工机床功能简介 .....	212
6.3	线切割加工工艺基础 .....	213
6.3.1	主要加工工艺指标 .....	213
6.3.2	电参数对加工工艺指标的影响 .....	214
6.3.3	非电参数对工艺指标的影响 .....	215
6.3.4	电火花线切割加工工艺设计 .....	221
6.4	线切割加工程序编制 .....	226
6.4.1	线切割 3B 代码程序格式 .....	226
6.4.2	线切割 ISO 代码程序编制 .....	231
<b>参考文献 .....</b>		<b>239</b>

# 第 1 章

## 数控技术与数控机床概述

### 1.1 数控机床的产生与发展

#### 1.1.1 数控机床的产生和发展阶段

社会需求是推动生产力发展最有力的因素。20 世纪 40 年代以来,由于航空航天技术的飞速发展,对于各种飞行器的加工提出了更高的要求,这些零件大多形状非常复杂,材料多为难加工的合金,用传统的机床和工艺方法进行加工,不能保证精度,也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形状表面的加工问题,1952 年美国帕森斯公司和麻省理工学院成功研制了世界上第一台数控机床。半个多世纪以来,数控技术得到了迅猛发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床发展至今已经经历了两个阶段和六个时代。

##### 1. 数控 (NC) 阶段 (1952—1970 年)

早期的计算机运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控 (NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了三代:1952 年起的第一代——电子管数控机床,1959 年起的第二代——晶体管数控机床,1965 年起的第三代——集成电路数控机床。

##### 2. 计算机数控 (CNC) 阶段 (1970 年至今)

1970 年,通用小型计算机已经出现并投入成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了三代:1970 年起的第四代——小型计算机数控机床,1974 年起的第五代——微型计算机数控系统,1990 年起的第六代——基于 PC (个人计算机) 的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每 5 年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

#### 1.1.2 数控机床的发展趋势

数控机床的出现不但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,而且随着数控技术的发展和应用领域的扩大,它对国计民生的一些重要行业 (如 IT、汽车、轻工、医疗等) 的发展起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控机床的发展呈现如下趋势。

##### 1. 高速度和高精度

速度和精度是数控机床的两个重要技术指标,它直接关系到加工效率和产品质量。高速度首先是要求计算机数控系统在读入加工指令数据后,能高速度处理并计算出伺服电动机的位移

量,并且要求伺服电动机快速做出反应。此外,要实现生产系统的高速度,还必须谋求主轴转速、进给率、刀具交换、托盘交换等各种关键部件的高速度。

提高数控机床的加工精度,一般通过减少数控系统的误差和采用补偿技术来实现。在减少数控系统误差方面,一般采用三种方法:①提高数控系统的分辨率,以微小程序段实现连续进给;②提高位置检测精度;③位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制。在采用补偿技术方面,除采用间隙补偿、丝杠螺距补偿和刀具补偿等技术外,还采用了热变形补偿技术。

### 2. 多功能

一机多能的数控机床,可以最大限度地提高设备的利用率。如数控加工中心(Machining Center, MC)配有机械手和刀具库,工件一经装夹,数控系统就能控制机床自动地更换刀具,连续对工件的各个加工面自动地完成铣削、镗削、铰孔、扩孔及攻螺纹等多工序加工,从而避免多次装夹所造成的定位误差。这样既减少了设备台数、工夹具和操作人员,又节省了占地面积和辅助时间。为了提高效率,新型数控机床在控制系统和机床结构上也有所改革。例如采取多系统混合控制方式,用不同的切削方式(车、钻、铣、攻螺纹等)同时加工零件的不同部位等。现代数控系统控制轴最多达15个,同时联动的轴最多已达到6个。

### 3. 智能化

数控机床应用高技术的重要目标是智能化。智能化技术主要体现在以下几个方面。

(1) 引进自适应控制技术。引进自适应控制技术(Adaptive Control, AC)的目的是在随机的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。通常,数控机床是按照预先编好的程序进行控制,但随机因素(如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等)难以预测,为了确保质量,势必在编程时采用较保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC系统可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,并由CPU进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号,确保AC处于最佳的切削用量状态,从而在保证质量条件下使加工成本最低或生产率最高。AC系统主要在宇航等工业部门用于特种材料的加工。

(2) 附加人机会话自动编程功能。建立切削用量专家系统和示教系统,从而提高编程效率,并降低对编程人员技术水平的要求。

(3) 具有设备故障自诊断功能。数控系统出了故障,控制系统能够进行自诊断,并自动采取排除故障的措施,以适应长时间无人操作环境的要求。

### 4. 小型化

蓬勃发展的机电一体化设备,对数控系统提出了小型化的要求,体积小化便于将机、电装置合为一体。日本开发的FS16和FS18都采用了三维安装方法,使电子元器件得以高密度地安装,极大地缩小了系统的占有空间。此外,它们还采用了新型TFT(彩色液晶薄型)显示器,使数控系统进一步小型化,这样可更方便地将它们装到机械设备上。

### 5. 高可靠性

数控系统比较贵重,用户期望发挥投资效益,因此要求设备具有高可靠性。特别是对在长时间无人操作环境下运行的数控系统,可靠性成为人们最为关注的问题。提高可靠性,通常可采取如下一些措施。

(1) 提高线路集成度。采用大规模或超大规模的集成电路、专用芯片及混合式集成电路,以减少元器件的数量,精简外部连线并降低功耗。

(2) 建立由设计、试制到生产的一整套质量保证体系。例如采取防电源干扰,输入/输出光电隔离;使数控系统模块化、通用化及标准化,以便于组织批量生产及维修;在安装制

造时注意严格筛选元器件；对系统可靠性进行全面的检查考核等。通过这些手段，保证产品质量。

(3) 增强故障自诊断功能和保护功能。由于元器件失效、编程及人为操作错误等原因，数控机床完全可能出现故障。数控机床一般具有故障自诊断功能，能够对硬件和软件进行故障诊断，自动显示出故障的部位及类型，以便快速排除故障。新型数控机床还具有故障预报功能、自恢复功能、监控与保护功能。例如，有的系统设有刀具破损检测、行程范围保护和断电保护等功能，以避免损坏机床或报废工件。由于采取了各种有效的可靠性措施，现代数控机床的平均无故障时间（MTBF）可达到10000~36000小时。

## 1.2 数控机床组成结构

### 1.2.1 数控机床的基本概念

#### 1. 数控（Numerical Control, NC）

数控是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

#### 2. 数控机床

数控机床是指装备了计算机数控系统的机床，简称CNC机床。

### 1.2.2 数控机床加工零件的过程

利用数控机床完成零件加工的过程如图1-1所示，主要包括以下内容。

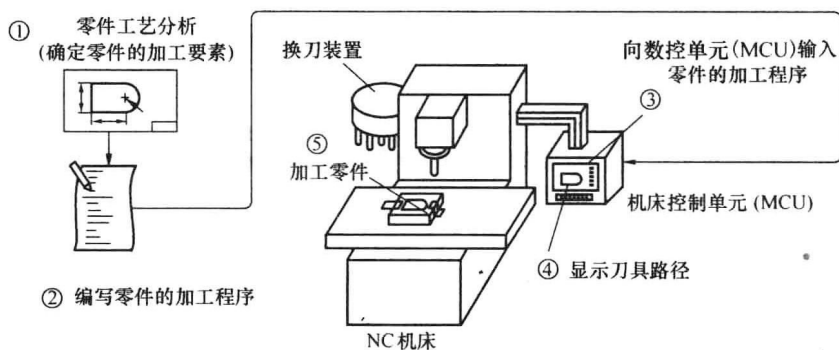


图 1-1 数控机床加工零件的过程

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单，或用自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元（MCU）。

(4) 利用输入或传输到数控单元的加工程序，进行刀具路径模拟、试运行等。

(5) 通过对机床的正确操作，使程序运行，完成零件加工。

### 1.2.3 数控机床的组成

数控机床由输入输出设备、计算机数控装置（简称CNC装置）、伺服系统和机床本体等部分组成，其组成框图如图1-2所示，其中输入输出设备、CNC装置、伺服系统合起来就是计算



机数控系统。

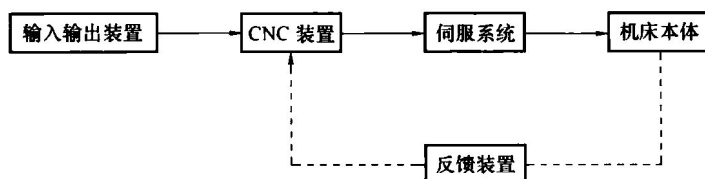


图 1-2 数控机床的组成示意图

### 1. 输入输出装置

在数控机床上加工零件时，首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术条件，确定加工工艺，然后编制出加工程序，程序通过输入装置，输送给机床数控系统，机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置传出。输入输出装置是机床与外部设备的接口，常用的输入装置有软盘驱动器、RS232C 串行通信口、MDI 方式等。

### 2. CNC 装置

CNC 装置是数控机床的核心，它接收输入装置送来的数字信息，经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。现在的 CNC 装置通常由一台通用或专用微型计算机构成。

### 3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部分，其作用是把来自 CNC 装置的脉冲信号转换成机床的运动，使机床移动部件精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，从而加工出符合图纸要求的零件。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量（也称作最小设定单位），常用的脉冲当量为 0.001mm/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服系统，伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床加工零件的表面质量和生产率。伺服系统一般包括驱动装置和执行机构两大部分，常用的执行机构有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

### 4. 机床本体

机床本体是数控机床的机械结构实体，主要包括主运动部件、进给运动部件（如工作台、刀架）、支承部件（如床身、立柱等），还有冷却、润滑、转位部件，如夹紧、换刀机械手等辅助装置。与普通机床相比，数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化，主要包括以下几个方面：

(1) 采用高性能主动传动及主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗震性好及热变形小等优点。

(2) 进给传动采用高效传动件，具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

(3) 具有完善的刀具自动交换和管理系统。

(4) 在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

(5) 机床本身具有很高的动、静刚度。

(6) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对机床的加工部件进行全封闭。

对于半闭环、闭环数控机床，还带有检测反馈装置，其作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测，把检测结果转化为电信号反馈给 CNC 装置。检测反馈装

置主要有感应同步器、旋转变压器、光栅、编码器、磁栅、激光测距仪等。

## 1.3 数控机床的分类

从不同的技术或经济指标出发,可对数控机床进行各种不同的分类,如按机床的工艺用途、控制运动的轨迹、伺服系统的类型、控制的坐标轴数及机床数控系统的性能价格比等都可进行分类。以下介绍常用的几种分类。

### 1.3.1 按控制运动的轨迹分类

#### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的机械运动实行点到点的准确定位控制,而对其点到点之间的运动轨迹不作要求,这是因为刀具在其定位运动的过程中不进行切削,而是快速进给到定位位置(即不与工件接触),如图1-3所示。数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床、数控元件插装机及数控测量机等均属于点位控制数控机床。

#### 2. 直线控制数控机床

这类机床的机械运动方式除了要控制刀具相对于工件(或工作台)的起点和终点的准确位置外,还要控制每一程序段的起点与终点间的位移过程,即刀具以给定的进给速度作平行于某一坐标轴方向的直线运动,如图1-4所示。属于直线控制数控机床的有数控车床和数控磨床等。

#### 3. 连续控制数控机床

连续控制数控机床又称为轮廓控制数控机床,它能够同时对两个或两个以上的坐标进行控制,从而按给定的规律和速度进行准确的轮廓控制,使其运动轨迹成为所需要的直线、曲线或曲面,如图1-5所示。数控车床、铣床、凸轮磨床、齿轮加工机床及线切割机床等属于这类机床。

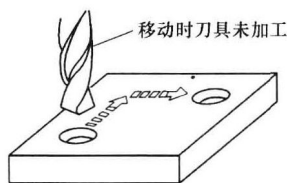


图 1-3 点位控制示意图

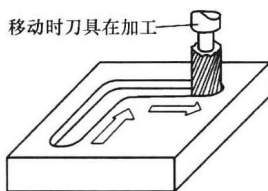


图 1-4 直线控制示意图



图 1-5 连续控制示意图

### 1.3.2 按伺服系统的类型分类

按机床进给伺服系统不同的控制方式,可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和全闭环控制数控机床。

#### 1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床采用开环伺服系统(又称为步进电动机驱动系统),没有位置检测反馈装置,如图1-6所示。控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电动机本身,故控制精度不高。但结构简单,反应迅速,工作稳定可靠,调试及维修均很方便,价格低。

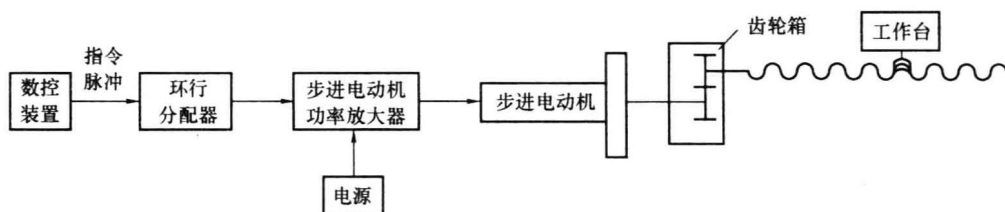


图 1-6 开环控制系统

## 2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的控制原理如图 1-7 所示。系统中有位置检测元件。为测量反馈装置，部分位置随动控制环路，但不把机械传动装置包括在内，故称为“半闭环”。控制精度比开环高。

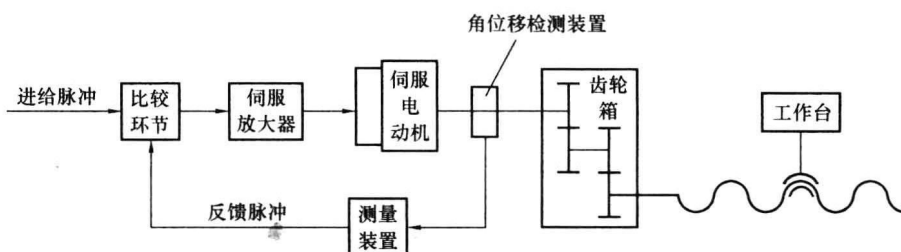


图 1-7 半闭环控制系统

## 3. 全闭环控制数控机床

控制精度很高，全部位置随动控制环路，如图 1-8 所示。自动检测并补偿所有的位移误差，但调试、维修工作均较困难，价格也较高。

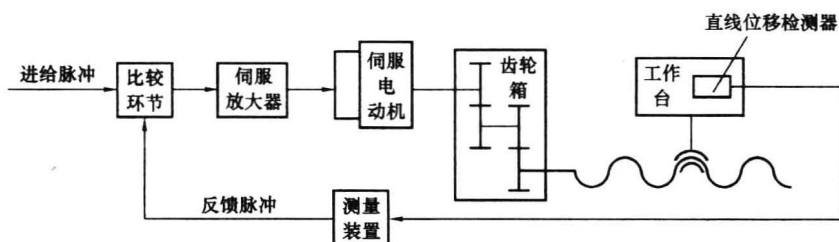


图 1-8 闭环控制系统

### 1.3.3 按控制的坐标轴数（联动轴数）分类

#### 1. 两坐标数控机床

两坐标数控机床，指可以控制两个坐标轴加工曲线轮廓零件的机床。如同时控制  $x$  和  $z$  坐标轴的数控车床，同时控制  $x$  和  $y$  坐标轴的数控线切割机床、简易数控铣床等。

#### 2. 三坐标数控机床

联动控制的坐标轴均为三轴的轮廓控制机床，可用于加工不太复杂的空间曲面。最典型的是数控立式升降台铣床。