



工业和信息化高职高专  
“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

# 数控加工工艺设计 与程序编制

(第2版)

CNC Machining Process Design  
and Programming (2nd Edition)

省级精品课配套教材

以典型零件的数控编程过程组织教学内容

构建项目驱动教学单元，实现教、学、做一体



◎ 周虹 喻丕珠 罗友兰 主编

◎ 周淑芳 魏平 副主编



工业和信息化部高职高专  
“十二五”规划教材

高等职业院校

“十二五”规划教材

# 数控加工工艺设计 与程序编制

(第2版)

CNC Machining Process Design  
and Programming (2nd Edition)



◎ 周虹 喻丕珠 罗友兰 主编

◎ 周淑芳 魏平 副主编

人民邮电出版社  
北京



## 图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工工艺设计与程序编制 / 周虹, 喻丕珠, 罗友兰主编. -- 2版. -- 北京: 人民邮电出版社, 2012.4  
高等职业院校机电类“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-115-27341-3

I. ①数… II. ①周… ②喻… ③罗… III. ①数控机床—加工工艺—高等职业教育—教材②数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第018805号

## 内 容 提 要

本书以培养学生的数控加工程序编制技能为核心, 以工作过程为导向, 以 FANUC 数控系统为主, SIEMENS、华中数控系统为辅, 详细地介绍了数控加工工艺设计, 数控车、铣床的编程指令, 宇航、宇龙数控仿真软件的操作等内容。

本书采用项目教学的方式组织内容, 每个项目都来源于企业的典型案例。全书共设 8 个项目。主要内容包括 8 个由简单到复杂零件的数控编程与仿真加工, 每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、拓展知识、自测题 5 部分组成。附录中包括湖南省高职院校数控技术专业技能抽查标准及部分轴套类零件的数控车削加工题、箱体类零件的数控铣削加工题。通过学习和训练, 学生不仅能够掌握数控编程知识, 而且能够掌握零件数控加工程序编制的方法, 达到高级数控车工、数控铣工、加工中心操作工数控手工编程的水平。

本书可作为高等职业技术学院数控技术应用、模具设计与制造、机械制造及自动化等机械类专业的教学用书, 也可供相关技术人员、数控机床编程与操作人员参考、学习、培训之用。

工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校机电类“十二五”规划教材

### 数控加工工艺设计与程序编制 (第 2 版)

- 
- ◆ 主 编 周 虹 喻丕珠 罗友兰  
副 主 编 周淑芳 魏平  
责任编辑 李育民
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京艺辉印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 18.75 2012 年 4 月第 2 版  
字数: 442 千字 2012 年 4 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-27341-3

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



零件的数控加工程序编制是数控加工设备操作工、数控工艺（编程）员的典型工作任务，是数控技术高技能人才必须掌握的技能，也是高职机械类专业的一门重要的专业核心课程。

作者于2009年所编写的《数控加工工艺设计与程序编制》一书自出版以来，受到了众多高职高专院校的欢迎。为了更好地满足广大高职高专院校的学生对数控编程知识学习的需要，作者结合近几年的教学改革实践和广大读者的反馈意见，在保留原书特色的基础上，对教材进行了全面的修订，这次修订的主要内容如下。

- 对本书第1版中部分项目所存在的一些问题进行了校正和修改。
- 增加了华中数控系统的编程指令等内容，这样本书涵盖了目前国内企业使用的主流数控系统，即发那科、西门子、华中数控系统。
- 增加了湖南省高职院校数控技术专业技能抽查标准及部分轴套类零件的数控车削加工题、箱体类零件的数控铣削加工题，为参加数控技术专业技能抽查的高职学院的教师和学生提供参考。
- 进一步贴近数控车工、数控铣工、加工中心操作工考证需求，补充了大量有针对性的习题。

在本书的修订过程中，作者始终贯彻以来源于企业的典型零件为载体，采用项目教学的方式组织内容的思想。通过8个形状由简单到复杂的零件的数控编程与仿真加工，将零件的数控加工工艺分析与数控程序编制融为一体，突出解决问题能力的培养。修订后的教材，内容比以前更具针对性和实用性，内容的叙述更加准确、通俗易懂和简明扼要，这样更有利于教师的教学和读者的自学。为了让读者能够在较短的时间内掌握教材的内容，及时地检查自己的学习效果，巩固和加深对所学知识的理解，每个项目后还附有自测题。

全书参考总教学时数为84学时，建议采用理论实践一体化教学模式。各项目的学时分配见下表。

项目	名称	学时数
	绪论	4
项目一	定位销轴的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目二	螺纹球形轴的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目三	定位套的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目四	椭圆手柄的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目五	U形槽的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目六	凸模板的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目七	调整板的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目八	基座的数控加工工艺设计与程序编制	8
总计		84

全书由湖南铁道职业技术学院周虹、喻丕珠、罗友兰担任主编，黄河学院的周淑芳、安徽机电职业技术学院魏平担任副主编。其中，绪论、项目一～项目六由周虹编写，项目七由周淑芳编写，项目八由魏平编写。附录一～附录三由湖南铁道职业技术学院喻丕珠、罗友兰编写，其中，湖南铁道职业技术学院董小金、张克昌，胡绍军，张家界航空职业技术学院田正芳，湖南生物机电职业技术学院廉良冲，长沙航空职业技术学院杨丰等完成了部分零件图的设计与绘制。全书由周虹统稿和定稿。在此，向所有关心和支持本书出版的人员表示衷心的感谢！

限于作者的学术水平，不妥之处在所难免，敬请专家、读者批评指正，来信请至 [zhouredcnc@163.com](mailto:zhouredcnc@163.com)。

周 虹

2012年1月

# 素 材 列 表



表 1 PPT 课件

素材类型	功能描述
PPT 课件	供教师上课用

表 2 动画

序号	名称	序号	名称	序号	名称
1	刀具半径补偿的常用方法	15	锥螺纹切削循环指令 G92	29	精镗孔循环指令 G76
2	刀具半径补偿意义	16	端面车削循环指令 G94	30	钻孔循环指令 G81
3	快速点定位指令 G00	17	快速定位指令 G00	31	带暂停的钻孔循环指令 G82
4	直线插补指令 G01	18	直线插补指令 G01	32	深孔钻削循环指令 G83
5	圆弧插补指令 G02	19	顺时针圆弧插补指令 G02	33	G83 指令循环
6	圆弧插补指令 G03	20	逆时针圆弧插补指令 G03	34	攻丝循环指令 G84
7	圆弧插补指令的分类和判定	21	加工平面设定指令 G17、G18、G19	35	G84 指令加工循环
8	自动返回参考点指令 G28	22	机床返回原点指令 G28	36	镗孔循环指令 G85
9	螺纹加工指令 G32	23	刀具半径补偿指令 G40、G41、G42	37	镗孔循环指令 G86
10	设置工件坐标系指令 G50	24	刀具半径左补偿指令 G41	38	数控车床的回零操作
11	刀尖圆弧半径补偿指令 G40、G41、G42	25	刀具正向长度补偿指令 G43	39	进给功能指令 F
12	刀尖圆弧半径左补偿指令 G41	26	刀具长度补偿指令 G43、G44、G45	40	数控机床的手动连续进给操作
13	外径内径车削循环指令 G90	27	高速深孔钻循环指令 G73	41	数控车床的手轮进给操作
14	直螺纹切削循环指令 G92	28	攻左牙循环指令 G74	42	数控车床的 MDI 运行方式



续表

序号	名称	序号	名称	序号	名称
43	数控车床创建新程序的操作	46	数控铣床的手动连续进给操作	49	数控铣床插入、修改和删除字的操作
44	数控铣床的回零操作	47	数控铣床的 MDI 运行方式		
45	数控车床插入、修改和删除字的操作	48	数控铣床创建新程序的操作		

表 3

视频

序号	名称	序号	名称	序号	名称
1	G00 指令加工演示	10	G50 指令功能演示	19	G85 指令加工演示
2	G01 指令加工演示	11	G94 指令加工演示	20	G86 指令加工演示
3	G02 指令加工演示	12	G41 指令加工演示	21	心轴的数控车削加工演示
4	G03 指令加工演示	13	G43 指令加工演示	22	挖槽数控加工演示
5	G92 之锥螺纹切削循环加工演示	14	G73 指令加工演示	23	定位销轴的数控车削加工演示
6	G90 指令加工演示	15	G74 指令加工演示	24	打孔数控加工演示
7	G92 之直螺纹切削循环加工演示	16	G76 指令加工演示	25	外形铣削加工演示
8	G28 指令功能演示	17	G81 指令加工演示	26	面铣数控加工演示
9	G32 指令加工演示	18	G82 指令加工演示		



## 绪论 >>>

一、数控加工概述	1
(一) 数控机床的产生与发展	1
(二) 数控机床的概念及组成	3
(三) 数控机床的种类与应用	5
(四) 数控机床加工的特点及应用	10
二、数控编程基础	12
(一) 数控机床坐标系的确定	12
(二) 数控机床的两种坐标系	14
(三) 数控编程的种类及步骤	15
(四) 常用编程指令	16
(五) 数控加工程序的结构	22
三、学习内容及学习方法	24
小结	25
自测题	25

## 项目一 定位销轴的数控加工工艺设计与程序编制

一、项目导入	28
二、相关知识	29
(一) 数控加工工艺设计的方法	29
(二) 外圆车刀、切断切槽刀的选用	30
(三) 车圆柱面、台阶、锥面、切槽、切断的走刀路线设计	41
(四) 切削用量的选择	43
(五) 数控车床坐标系及编程坐标系	45

(六) 数控车床编程的特点	45
(七) 数控车编程指令	46
(八) 宇航数控车仿真软件的操作	51
三、项目实施	58
(一) 零件工艺性分析	58
(二) 制订机械加工工艺方案	58
(三) 编制数控技术文档	60
(四) 试加工与优化	62
四、拓展知识	65
(一) SINUMERIK 802S 系统的基本编程指令	65
(二) 华中世纪星 HNC-21T 系统的基本编程指令	66
(三) 宇龙数控车仿真软件的操作	66
小结	71
自测题	71

## 项目二 螺纹球形轴的数控加工工艺设计与程序编制

一、项目导入	73
二、相关知识	73
(一) 螺纹车刀的选用	73
(二) 车螺纹切削用量的选择	75
(三) 车圆弧面的走刀路线设计	76
(四) 车螺纹的走刀路线设计及各主要尺寸的计算	78
(五) 数控车编程指令	79



三、项目实施	86	(一) 车非圆曲线的走刀路线设计	130
(一) 零件工艺性分析	86	(二) 用户宏程序基础	130
(二) 制订机械加工工艺方案	87	(三) 用户宏程序功能 A	131
(三) 编制数控技术文档	88	(四) 用户宏程序功能 B	136
(四) 试加工与优化	92	三、任务实施	140
四、拓展知识	93	(一) 零件工艺性分析	140
(一) SINUMERIK 802S 系统的车圆弧指令和 车螺纹指令	93	(二) 制订机械加工工艺方案	141
(二) 华中世纪星 HNC-21T 系统的车圆弧指令和 车螺纹指令	95	(三) 编制数控技术文档	142
小结	98	(四) 试加工与优化	146
自测题	98	四、拓展知识	146
<b>项目三 定位套的数控加工工艺设计与     程序编制</b>	102	(一) SINUMERIK 802S 系统宏程序功能	146
一、项目导入	102	(二) 华中世纪星 HNC-21T 系统宏指令编程	147
二、相关知识	103	小结	148
(一) 内孔车刀的选用	103	自测题	148
(二) 车内表面的走刀路线设计	105	<b>项目五 U 形槽的数控加工工艺设计与     程序编制</b>	151
(三) 数控车编程指令	105	一、项目导入	151
三、项目实施	111	二、相关知识	151
(一) 零件工艺性分析	111	(一) 槽、键槽的加工方法	151
(二) 制订机械加工工艺方案	111	(二) 键槽铣刀	153
(三) 编制数控技术文档	113	(三) 立式数控铣床坐标系及编程坐标系	153
(四) 试加工与优化	116	(四) 数控铣 F、S、T 指令	153
四、拓展知识	117	(五) 数控铣常用编程指令	154
(一) SINUMERIK 802S 系统的循环编程 指令	117	(六) 宇航数控铣仿真软件的操作	161
(二) 华中世纪星 HNC-21T 系统的循环编程 指令	121	三、任务实施	166
小结	126	(一) 零件工艺性分析	166
自测题	126	(二) 制订机械加工工艺方案	167
<b>项目四 椭圆手柄的数控加工工艺设计与     程序编制</b>	129	(三) 编制数控技术文档	168
一、项目导入	129	(四) 试加工与优化	169
二、相关知识	130	四、拓展知识	172
		(一) SINUMERIK 802D 系统的基本编程指令	172
		(二) 华中世纪星 HNC-21M 系统基本编程 指令	173
		(三) 宇龙数控铣仿真软件的操作	174
		小结	178

自测题	179	(二) 制订机械加工工艺方案	216
<b>项目六 凸模板的数控加工工艺设计与程序编制</b>	182	(三) 编制数控技术文档	217
一、项目导入	182	(四) 试加工与优化	221
二、相关知识	182	四、拓展知识	221
(一) 平面铣削方法及面铣刀	182	(一) SINUMERIK 802D 系统的孔加工循环编程指令	221
(二) 内外轮廓的铣削方法	183	(二) 华中世纪星 HNC-21M 系统的孔加工循环编程指令	225
(三) 立铣刀	185	小结	233
(四) 铣削用量的选择	186	自测题	233
(五) 数控铣编程指令	187	<b>项目八 基座的数控加工工艺设计与程序编制</b>	236
三、任务实施	195	一、项目导入	236
(一) 零件工艺性分析	195	二、相关知识	237
(二) 制订机械加工工艺方案	195	(一) 曲面的铣削方法	237
(三) 编制数控技术文档	196	(二) 曲面加工时铣刀的选择	238
(四) 试加工与优化	200	(三) 数控铣宏程序	238
四、拓展知识	200	三、项目实施	241
(一) SINUMERIK 802D 系统的子程序编程指令	200	(一) 零件工艺性分析	241
(二) SINUMERIK 802D 系统的刀具半径补偿编程指令	201	(二) 制订机械加工工艺方案	241
(三) 华中世纪星 HNC-21M 系统的子程序编程指令	201	(三) 编制数控技术文档	242
(四) 华中世纪星 HNC-21M 系统的刀具半径补偿编程指令	202	(四) 试加工与优化	248
小结	202	四、拓展知识	248
自测题	202	(一) SINUMERIK 802D 系统的宏程序功能	248
<b>项目七 调整板的数控加工工艺设计与程序编制</b>	206	(二) 华中世纪星 HNC-21M 系统的宏程序功能	250
一、项目引入	206	小结	250
二、相关知识	207	自测题	251
(一) 孔的加工方法	207	<b>附录一 湖南省高等职业院校数控技术专业 技能抽查标准</b>	252
(二) 加工孔走刀路线设计	209	<b>附录二 轴套类零件的数控车削加工题库 选编</b>	259
(三) 固定循环指令	211	<b>附录三 箱体类零件的数控铣削加工题库 选编</b>	271
三、项目实施	216	<b>参考文献</b>	290
(一) 零件工艺性分析	216		

# 绪论

## 【能力目标】

了解本课程学习内容和学习方法，熟悉数控机床的组成及分类，掌握数控机床坐标系的确定和数控加工程序的结构。

## 【知识目标】

1. 掌握数控机床的概念、组成、分类、加工的特点及应用。
2. 掌握数控机床坐标系的确定。
3. 了解数控编程的种类及步骤。
4. 了解常用编程指令。
5. 熟悉数控加工程序的结构。
6. 了解本课程学习内容和学习方法。

## 一、数控加工概述

### （一）数控机床的产生与发展

#### 1. 数控机床的产生

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。这些用于飞行器的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研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来，数控技术得到了迅猛的发展，加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了 2 个阶段共 6 代。

（1）数控（NC）阶段（1952~1970 年）。早期的计算机运算速度慢，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 3 代，即 1952 年的第 1 代——电子管数

控机床, 1959 年的第 2 代——晶体管数控机床, 1965 年的第 3 代——集成电路数控机床。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年~现在)。1970年, 通用小型计算机已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3代, 即1970年的第4代——小型计算机数控机床, 1974年的第5代——微型计算机数控系统, 1990年的第6代——基于PC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。

## 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(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) 高速度高精度化。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。当前, 数控机床的主轴转速最高可达40 000 r/min, 最大进给速度达120 m/min, 最大加速度达 $3\text{m/s}^2$ , 定位精度正在向亚微米进军, 纳米级5轴联动加工中心已经商品化。

(2) 多功能化。数控机床正向一机多能的方向发展, 这样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。这样减少了设备台数、工夹具和操作人员, 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数多达15轴, 同时联动的轴数已达到6轴。

(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。自适应控制(Adaptive Control, AC)技术的目的是要求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系统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, 从而达到提高编程效率和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,体积小便于将机、电装置融为一体。日本新开发的 FS16 和 FS18 系列 CNC 产品都采用了三维安装方法,使电子元器件得以高密度地安装,大大地缩小了系统的占用空间。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。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,精简外部连线和降低功耗。

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,将会导致数控机床出现故障。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、自恢复、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,以避免损坏机床及报废工件。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 10 000~36 000 h。

## (二) 数控机床的概念及组成

### 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(Numerically Controlled Machine Tool)。数控机床是指装备了计算机数控系统的机床,简称 CNC 机床。

### 2. 数控机床加工工件的过程

利用数控机床完成工件加工的过程,如图 0-1 所示,主要包括以下内容。

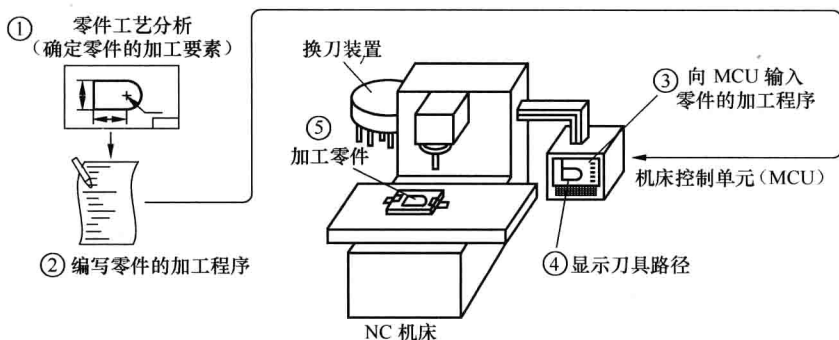


图0-1 数控机床加工工件的过程

(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数控加工程序单, 或用自动编程软件直接生成数控加工程序文件。

(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) 对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, 运行程序, 完成工件的加工。

### 3. 数控机床的组成

数控机床由输入输出装置、计算机数控装置 (CNC 装置)、伺服系统和机床本体等部分组成, 其组成框图如图 0-2 所示, 其中输入输出装置、CNC 装置、伺服系统的组合就是计算机数控系统。

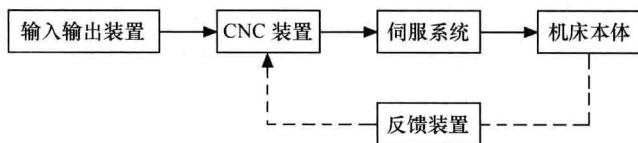


图0-2 数控机床的组成

(1) 输入输出装置。在数控机床上加工工件时, 首先根据零件图样上的零件形状、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, 机床内存中的数控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, 常用输入装置有软盘驱动器、RS-232C 串行通信口、MDI 键盘等。

(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, 使机床工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动, 最后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 (也叫做最小设定单位), 常用的脉冲当量为 0.001 mm。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的加工精度、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。为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点, 归纳起来, 包括以下几个方面的变化。

① 采用高性能主传动及主轴部件。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、光栅、编码器、磁栅、激光测距仪等。

### （三）数控机床的种类与应用

数控机床的分类方法很多，主要有以下几种。

#### 1. 按工艺用途分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的，各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床，按工艺用途分类，大致如下。

（1）金属切削类数控机床。指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大。这里需要特别强调的是加工中心，也称为可自动换刀的数控机床。这类数控机床带有一个刀库和自动换刀系统，刀库可容纳 16~100 多把刀具。图 0-3、图 0-4 分别是立式加工中心、卧式加工中心的外观图。立式加工中心最适宜加工高度方向尺寸相对较小的工件，一般情况下，除底部不能加工外，其余 5 个面都可以用不同的刀具进行轮廓和表面加工。卧式加工中心适宜加工有多个加工面的大型零件或高度尺寸较大的零件。

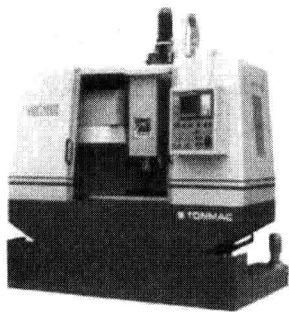


图0-3 VMC1000立式加工中心

#### 相关参数

工作台尺寸(长×宽): 1 050mm×500mm  
 刀库容量: 20 把  
 坐标定位精度(X, Y, Z/A, C): ±0.01mm  
 重复定位精度: 0.004mm  
 行程(X/Y/Z): 1 020mm×560mm×510mm  
 主轴转速: 80~8 000(可选 10 000)r/min  
 主电机功率: 7.5/11kW  
 快速移动(X/Y/Z): 15m/min  
 换刀时间: 7s

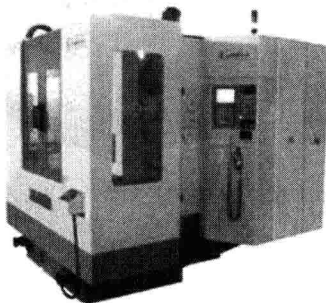


图0-4 JIHMC40卧式加工中心

#### 相关参数

工作台尺寸(长×宽): 400mm×400mm  
 刀库容量: 30 把  
 刀柄: BT40  
 坐标行程参数: X: 630mm, Y: 500mm,  
 Z: 520mm  
 主轴转速: 60~6 000r/min  
 功率: 7.5/11kW  
 粗糙度:  $R_a = 1.6\mu\text{m}$   
 加工精度: IT6 级  
 控制系统: FANUC Oi-MC

(2) 金属成形类数控机床。指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床。包括数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机、数控压力机等。这类机床起步晚,但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机床、数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控设备。如数控三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

## 2. 按机床运动的控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床只要求控制机床的移动部件从某一位置移动到另一位置的准确定位,对于两位置之间的运动轨迹不作严格要求,在移动过程中刀具不进行切削加工,如图 0-5 所示。为了实现既快又准的定位,常采用先快速移动,然后慢速趋近定位点的方法来保证定位精度。

具有点位控制功能的数控机床有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线,因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工,所以对移动的速度也要进行控制,如图 0-6 所示。

具有直线控制功能的数控机床有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床目前不多见。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制又称连续轨迹控制,这类数控机床能够对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,因而可以进行曲线或曲面的加工,如图 0-7 所示。

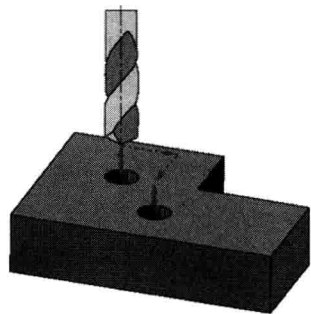


图0-5 点位控制数控机床加工示意图

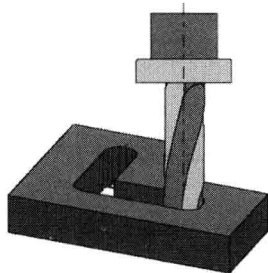


图0-6 直线控制数控机床加工示意图

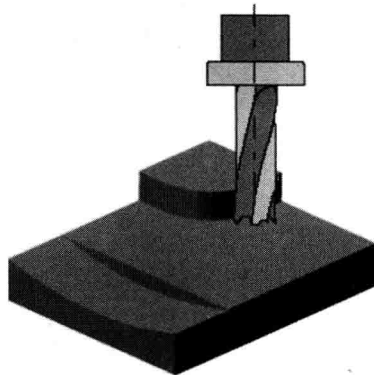


图0-7 轮廓控制数控机床加工示意图

具有轮廓控制功能的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

## 3. 按伺服控制的方式分类

(1) 开环控制系统。开环控制系统是指不带反馈的控制系统,即系统没有位置反馈元器件,通

常用功率步进电动机或电液伺服电动机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算,发出指令脉冲,通过环形分配器和驱动电路,使步进电动机或电液伺服电动机转过一个步距角,再经过减速齿轮带动丝杠旋转,最后转换为工作台的直线移动,如图 0-8 所示。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。

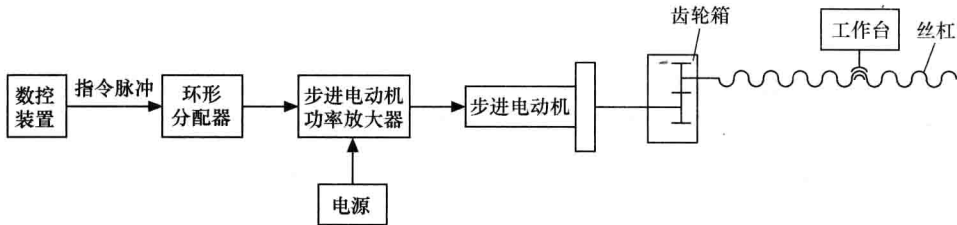


图0-8 开环控制系统

开环控制具有结构简单、系统稳定、调试容易、成本低等优点。但是因为系统对移动部件的误差没有补偿和校正,所以精度低。一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。

(2) 半闭环控制系统。如图 0-9 所示,半闭环控制系统是在伺服电动机或丝杠端部装有角位移检测装置(如感应同步器和光电编码器等),通过检测伺服电动机或丝杠端部的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中,由于惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内,因而称作半闭环控制系统。

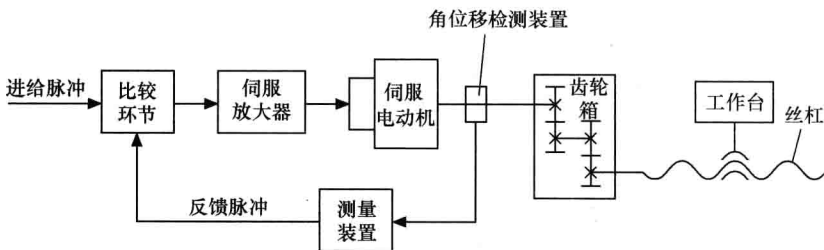


图0-9 半闭环控制系统

在这种系统中,因为闭环回路内不包括机械传动环节,所以可获得稳定的控制特性。又因为可用补偿的办法消除机械传动环节的误差,所以可获得满意的精度。中档数控机床广泛采用半闭环数控系统。

(3) 闭环控制系统。闭环控制系统是在机床移动部件上直接装有位置检测装置,将测量的结果直接反馈到数控装置中,与输入的指令位移进行比较,用偏差进行控制,使移动部件按照实际的要求运动,最终实现精确定位,其原理如图 0-10 所示。因为把机床工作台纳入了位置控制环,所以称为闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的运动误差,因而定位精度高、调节速度快。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响,给调试工作造成较大的困难。如果各种参数匹配不当,将会引起系统振荡,造成不稳定,影响定位精度。可见闭环控制系统复杂并且成本高,适用于精度要求很高的数控机床,如精密数控镗铣床、超精密数控车床等。