



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

数控编程 与仿真实训

(第3版)

NC Program and
Simulation Training (3rd Edition)

结合宇龙仿真软件讲解

理论实训一体化编写模式

包含 Fanuc, Siemens, 华中系统

◎ 周虹 董小金 张克昌 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

封面设计：董志桢



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

数控编程 与仿真实训

(第3版)

NC Program and
Simulation Training (3rd Edition)

◎ 周虹 董小金 张克昌 主编

人 民 邮 电 出 版 社
北 京



精品系列

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程与仿真实训 / 周虹, 董小金, 张克昌主编

— 3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 978-7-115-27524-0

I. ①数… II. ①周… ②董… ③张… III. ①数控机床—程序设计—高等教育—教材②数控机床—加工—高等教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第035872号

内 容 提 要

本书主要内容包括数控机床的工作原理, 数控铣床(加工中心)仿真操作与编程, 数控车床仿真操作与编程, 全书以 FANUC 数控系统为主, 兼顾 SIEMENS 数控系统和华中数控系统, 按照实训一体化的模式编写。本书可作为高职高专、高级技校的数控类专业的教材或教学参考用书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业院校机电类“十二五”规划教材

数控编程与仿真实训 (第3版)

◆ 主 编 周 虹 董小金 张克昌

责任编辑 潘新文

◆ 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>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19.25

2012年4月第3版

字数: 478千字

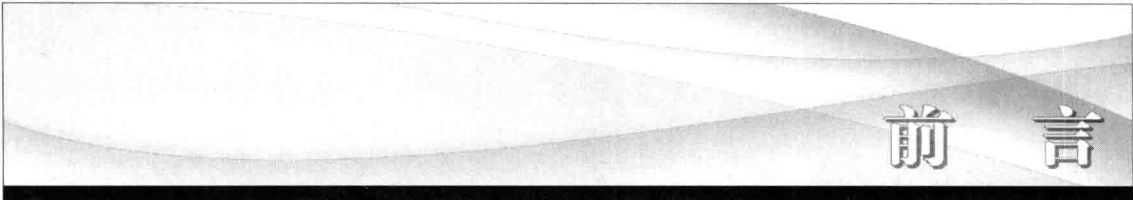
2012年4月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-27524-0

定价: 38.00元

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

反盗版热线: (010)67171154



前言

本书根据理论实训一体化的教学模式组织编写,在内容的安排上注意遵循高职高专学生的认知规律,做到从理论到实践,由浅入深、图文并茂、通俗易懂;集理论教学、实训、学习指导于一体。全书内容包括3篇18个课题。其中,基础篇包括:认识数控机床、数控机床的工作原理、数控机床的坐标系及编程规则3个课题;数控铣床(加工中心)仿真操作与编程篇包括:宇龙数控铣仿真软件的操作,数控铣削加工工艺分析,直槽的编程与加工,圆弧槽的编程与加工,内、外轮廓的编程与加工,孔系的编程与加工,加工中心的编程技巧,曲面的编程与加工8个课题;数控车床仿真操作与编程篇包括:宇龙数控车仿真软件的操作、数控车削加工工艺分析、简单轴类零件的编程与加工、圆弧面零件的编程与加工、螺纹的编程与加工、数控车床的编程技巧、异形面的编程与加工7个课题。在介绍编程时,以FANUC数控系统为主,兼顾SIEMENS数控系统和华中数控系统。教学时,教师可以根据学院的软硬件条件选择需要的内容进行教学。

本书的每个课题包含了实训目的、相关知识、拓展知识、实训内容、实训自测题5个部分,层次清晰、体系完整,适合于教学和自学。为适应教学需要,本书在附表中列出了实训报告、机械加工工序卡、工装及坐标调整卡、数控加工程序清单、加工中心及数控车床的刀具调整卡的格式,以供参考。为方便教学,本书精选了大量的典型案例,案例中的程序均在实践过程中经过检验,读者可以放心采用。

本书的参考学时数为70~90学时。教师在组织教学时,可根据自己学校的教学计划和硬件环境酌情予以增减。

本书由湖南铁道职业技术学院周虹、董小金、张克昌担任主编。其中,课题1~3、5~11由周虹编写,课题4、12由杨兴民编写,课题13~18由董小金、罗友兰、喻丕珠、张克昌编写。全书由周虹统稿和定稿。

由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2011年11月

目 录

基 础 篇

课题 1 认识数控机床	2
1.1 实训目的	2
1.2 相关知识	2
1.2.1 数控机床的产生与发展趋势	2
1.2.2 数控机床的概念及组成	4
1.2.3 数控机床的种类与应用	6
1.2.4 数控机床加工的特点及应用	11
1.2.5 先进制造技术	13
1.2.6 本课程的学习方法	18
1.3 实训内容	18
1.4 实训自测题	19

课题 2 数控机床的工作原理	21
2.1 实训目的	21
2.2 相关知识	21
2.2.1 计算机数控系统的工作流程	21

2.2.2 刀具补偿原理	24
2.2.3 插补原理	27
2.3 实训内容	33
2.4 实训自测题	33

课题 3 数控机床的坐标系及编程规则	35
3.1 实训目的	35
3.2 相关知识	35
3.2.1 数控机床坐标系的确定	36
3.2.2 数控机床的两种坐标系	39
3.2.3 数控编程的步骤及种类	40
3.2.4 常用编程代码	41
3.2.5 数控加工程序的结构	47
3.3 实训内容	48
3.4 实训自测题	48

数控铣床(加工中心)仿真操作与编程篇

课题 4 宇龙数控铣仿真软件的操作	52
4.1 实训目的	52
4.2 相关知识	52
4.2.1 宇龙(FANUC)数控铣仿真软件的进入和退出	52
4.2.2 宇龙(FANUC)数控铣仿真软件的工作窗口	54
4.2.3 宇龙(FANUC)数控铣仿真软件的基本操作	57
4.2.4 宇龙(FANUC)数控铣仿真软件的操作实例	62

4.3 拓展知识	69
4.3.1 宇龙(SIEMENS)数控铣仿真软件的进入和退出	69
4.3.2 宇龙(SIEMENS)数控铣仿真软件的工作窗口	70
4.3.3 宇龙(SIEMENS)数控铣仿真软件的基本操作	72
4.4 实训内容	74
4.5 实训自测题	75

课题 5 数控铣削加工工艺分析	76
5.1 实训目的	76

5.2	相关知识	76
5.2.1	零件数控铣削加工方案的拟定	76
5.2.2	刀具的类型及选用	82
5.2.3	切削用量的确定	85
5.2.4	工件的安装与夹具的选择	86
5.2.5	支撑套零件的加工工艺分析	87
5.3	实训内容	90
5.4	实训自测题	91
课题 6	直槽的编程与加工	93
6.1	实训目的	93
6.2	相关知识	93
6.2.1	选择尺寸单位	94
6.2.2	绝对值 G90 与增量值 G91	94
6.2.3	设置工件坐标系	94
6.2.4	快速点位运动 G00	95
6.2.5	直线插补 G01	96
6.2.6	刀具长度补偿 G43、G44、G49	97
6.2.7	课题 6 案例编程	98
6.3	拓展知识	99
6.3.1	SINUMERIK 802D 系统的基本编程指令及应用	99
6.3.2	华中世纪星 HNC-21M 系统基本编程指令及应用	100
6.4	实训内容	101
6.5	实训自测题	102
课题 7	圆弧槽的编程与加工	104
7.1	实训目的	104
7.2	相关知识	104
7.2.1	插补平面选择 G17、G18、G19	105
7.2.2	圆弧插补 G02、G03	105
7.2.3	螺旋线插补 G02、G03	106
7.2.4	课题 7 案例编程	106
7.3	拓展知识	107

7.3.1	SINUMERIK 802D 系统的插补平面选择、圆弧插补、螺旋线插补指令及应用	107
7.3.2	华中世纪星 HNC-21M 系统的插补平面选择、圆弧插补、螺旋线插补指令	108
7.4	实训内容	109
7.5	实训自测题	110
课题 8	内、外轮廓的编程与加工	112
8.1	实训目的	112
8.2	相关知识	112
8.2.1	刀具半径补偿功能的作用	113
8.2.2	刀具半径补偿 (G41、G42、G40)	113
8.3	拓展知识	115
8.3.1	SINUMERIK 802D 系统的刀具半径补偿编程指令及应用	115
8.3.2	华中世纪星 HNC-21M 系统的刀具半径补偿编程指令及应用	116
8.4	实训内容	116
8.5	实训自测题	117
课题 9	孔系的编程与加工	120
9.1	实训目的	120
9.2	相关知识	120
9.2.1	孔加工循环的动作	121
9.2.2	孔加工循环指令	121
9.3	拓展知识	125
9.3.1	SINUMERIK 802D 系统的孔加工循环编程指令及应用	125
9.3.2	华中世纪星 HNC-21M 系统的孔加工循环编程指令及应用	129
9.4	实训内容	138
9.5	实训自测题	139

课题 10 加工中心的编程技巧	142
10.1 实训目的.....	142
10.2 相关知识.....	142
10.2.1 子程序 M98、M99.....	143
10.2.2 任意角度倒角/拐角圆弧.....	144
10.2.3 典型零件的数控铣削加工.....	145
10.3 拓展知识.....	149
10.3.1 SINUMERIK 802D 系统的子程序编程指令及应用.....	149
10.3.2 华中世纪星 HNC-21M 系统的子程序编程指令及应用.....	151
10.4 实训内容.....	152
10.5 实训自测题.....	153

课题 11 曲面的编程与加工	156
11.1 实训目的.....	156
11.2 相关知识.....	156
11.2.1 用户宏程序概述.....	159
11.2.2 控制指令.....	162
11.2.3 用户宏程序功能 B.....	163
11.2.4 典型宏程序的编制.....	167
11.3 拓展知识.....	173
11.3.1 SINUMERIK 802D 系统的宏程序功能及应用.....	173
11.3.2 华中世纪星 HNC-21M 系统的宏程序功能及应用.....	175
11.4 实训内容.....	177
11.5 实训自测题.....	177

数控车床仿真操作与编程篇

课题 12 宇龙数控车仿真软件的操作 ...	180
12.1 实训目的.....	180
12.2 相关知识.....	180
12.2.1 宇龙 (FANUC) 数控车仿真软件的进入和退出.....	180
12.2.2 宇龙 (FANUC) 数控车仿真软件的工作窗口.....	181
12.2.3 宇龙 (FANUC) 数控车仿真软件的基本操作.....	181
12.2.4 宇龙 (FANUC) 数控车仿真软件的操作实例.....	183
12.3 拓展知识.....	193
12.3.1 宇龙 (SIEMENS) 数控车仿真软件的进入和退出.....	194
12.3.2 宇龙 (SIEMENS) 数控车仿真软件的工作窗口.....	194
12.3.3 宇龙 (SIEMENS) 数控车仿真软件的基本操作.....	195
12.4 实训内容.....	200
12.5 实训自测题.....	201

课题 13 数控车削加工工艺分析	202
13.1 实训目的.....	202
13.2 相关知识.....	202

13.2.1 零件数控车削加工方案的拟定.....	202
13.2.2 车刀的类型及选用.....	205
13.2.3 切削用量的选择.....	209
13.2.4 装夹方法的确定.....	211
13.2.5 数控车床的编程特点.....	212
13.2.6 典型车削零件的工艺分析.....	212
13.3 实训内容.....	215
13.4 实训自测题.....	215

课题 14 简单轴类零件的编程与加工	217
14.1 实训目的.....	217
14.2 相关知识.....	217
14.2.1 主轴转速功能设定 G50、G96、G97.....	218
14.2.2 进给功能设定 G98、G99.....	218
14.2.3 刀具功能 T 指令.....	219
14.2.4 快速点位运动 G00.....	219
14.2.5 直线插补 G01.....	219
14.2.6 暂停指令 G04.....	220
14.2.7 课题 14 案例编程.....	221

14.3	拓展知识	222
14.3.1	SINUMERIK 802S 系统的 基本编程指令及应用	222
14.3.2	华中世纪星 HNC-21T 系统 的基本编程指令及应用	223
14.4	实训内容	225
14.5	实训自测题	225
课题 15	圆弧面零件的编程与加工	227
15.1	实训目的	227
15.2	相关知识	227
15.2.1	圆弧插补 G02、G03	228
15.2.2	刀尖半径补偿 G41、G42、G40	229
15.2.3	课题 15 案例编程	231
15.3	拓展知识	232
15.3.1	SINUMERIK 802S 系统的 圆弧插补、刀尖半径补偿 指令及应用	232
15.3.2	华中世纪星 HNC-21T 系统 的圆弧插补、刀尖半径补偿 指令及应用	233
15.4	实训内容	234
15.5	实训自测题	235
课题 16	螺纹的编程与加工	238
16.1	实训目的	238
16.2	相关知识	238
16.2.1	车螺纹 G32	239
16.2.2	螺纹切削单一循环 指令 G92	241
16.2.3	车螺纹复合循环 G76	242
16.2.4	课题 16 案例编程	243
16.3	拓展知识	244
16.3.1	SINUMERIK 802S 系统 的车螺纹指令及应用	244
16.3.2	华中世纪星 HNC-21T 系统的车螺纹指令及应用	246
16.4	实训内容	250
16.5	实训自测题	251

课题 17	数控车床的编程技巧	253
17.1	实训目的	253
17.2	相关知识	253
17.2.1	单一固定循环	254
17.2.2	复合固定循环指令	256
17.2.3	课题 17 案例编程	257
17.2.4	典型零件的数控 车削加工	258
17.3	拓展知识	261
17.3.1	SINUMERIK 802S 系统的 循环编程指令及应用	261
17.3.2	华中世纪星 HNC-21T 系统的 循环编程指令及应用	265
17.4	实训内容	270
17.5	实训自测题	271
课题 18	异形面的编程与加工	274
18.1	实训目的	274
18.2	相关知识	274
18.2.1	用户宏程序功能 A	278
18.2.2	用户宏程序功能 B 在数控 车床上的应用	284
18.2.3	课题 18 案例编程	286
18.3	拓展知识	288
18.3.1	SINUMERIK 802S 系统 宏程序功能及应用	288
18.3.2	华中世纪星 HNC-21T 系统 宏指令编程及应用	289
18.4	实训内容	289
18.5	实训自测题	290
附表 1	实训报告	292
附表 2	机械加工工序卡	293
附表 3	工装及坐标调整卡	294
附表 4	数控加工程序清单	295
附表 5	加工中心刀具调整卡	296
附表 6	数控车床刀具调整卡	297
参考文献		298

基 础 篇

课题 1

认识数控机床

1.1

实训目的

掌握数控机床的组成及种类，熟悉数控机床的加工特点和加工对象，了解数控机床的产生背景、发展趋势及先进的制造技术。

1.2

相关知识

1.2.1 数控机床的产生与发展趋势

1. 数控机床的产生

20 世纪 40 年代以来，随着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。飞行器的零件大多形状非常复杂，材料多为难以加工的合金，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 1 台数控机床。半个多世纪以来，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两个阶段和 6 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 3 代，即 1952 年的第 1 代——电子管数控机床、1959 年的第 2 代——晶体管数控机床和 1965 年的第 3 代——集成电路数控机床。

（2）计算机数控（CNC）阶段（1970 年至今）

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和 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，它对关系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，它们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 000r/min，最大进给速度达 120m/min，最大加速度达 3m/s^2 ，定位精度正在向亚微米进军，纳米级五轴联动加工中心已经商品化。

（2）多功能化

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，缩写 MC）配有机床手和刀具库，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，从而避免了多次装夹造成的定位误差，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。自适应控制技术（Adaptive Control，缩写 AC）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的，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，势必要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，从而在保证质量的条件下使加工成本最低或生产率最高。AC 系统主要用于宇航等工业部门特种材料的加工。

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，可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。如果数控系统出了故障，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，体积小型化便于将机、电装置合为一体。日本新开发的 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，以便更方便地将它们装到机械设备上。

（5）高可靠性

数控系统造价比较昂贵，用户期望其能发挥最大的投资效益，因此要求设备具有高可靠性。要想提高可靠性，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，可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、编程错误及人为操作错误等原因，数控机床很可能会出现故障。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、监控与保护等功能。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 000h。

1.2.2 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的基本概念

数控（Numerical Control，缩写 NC）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；数控机床（Computer Numerical Controlled Machine Tool）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 1.1 所示，主要包括以下内容。

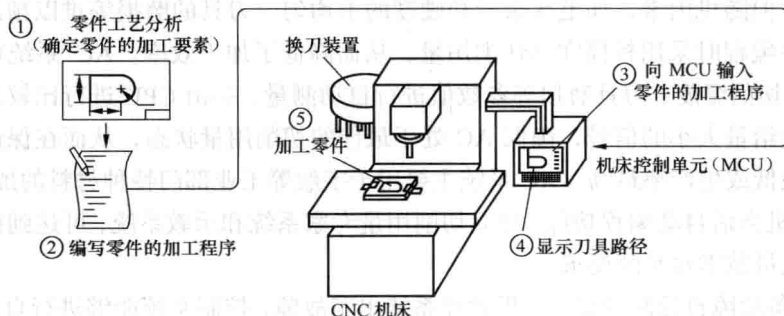


图 1.1 数控机床加工工件的过程

- 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; 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, 后者也称机床控制单元 (MCU)。
- ④ 将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 (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/输出装置、CNC 装置、伺服系统合起来就是计算机数控系统。

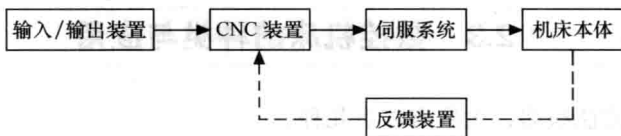


图 1.2 数控机床的组成框图

(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, 常用的输入装置有软盘驱动器、RS-232C 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 (也叫最小设定单位), 常用的脉冲当量为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$ 。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, 常用的执行机构有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等。

(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 (如工作台和刀架)、支撑部件 (如床身和立柱等), 此外还有冷却、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, 数控机床在整体布局、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。归纳起来，为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点，主要有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 high、抗振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的，因此为了操作安全等原因，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。

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。

1.2.3 数控机床的种类与应用

数控机床的分类方法很多，大致有以下几种。

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都起源于同类型的普通机床。数控机床按工艺用途大致可分为以下几种。

(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、数控铣床、数控铇床、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 把刀具。图 1.3、图 1.4 所示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。



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 1.3 立式加工中心外观图



J1HMC40 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 为 630mm, Y 为 500mm,
 Z 为 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 0i-MC

图 1.4 卧式加工中心外观图

(2) 金属成型类数控机床

指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床,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 1.5 所示。

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。

(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 1.6 所示。

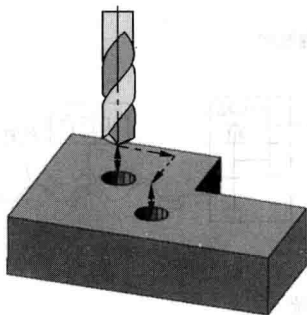


图 1.5 点位控制数控机床加工示意图

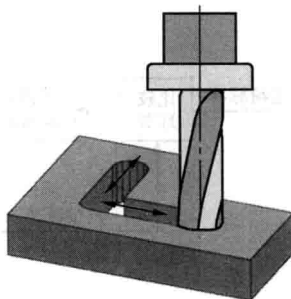


图 1.6 直线控制数控机床加工示意图

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。