



新世纪高职高专实用规划教材

● 机电系列

数控编程 与操作实训教程

SHUKONG BIANCHENG YU CAOZUOSHIXUNJIAOCHENG

刘力群 陈文杰 主 编

赠 送
电子课件



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

数控编程与操作实训教程

刘力群 陈文杰 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书的基础理论以“必需、够用”为度,应用实例紧密结合生产实际,根据学习进度,配以相应的强化性练习题,有很强的实用性。课程进度安排合理、内容丰富,不但适于学生自学,也可使任课老师轻松教学。本书内容包括数控机床的基本知识,编程基础,数控车床、铣床、加工中心、数控电火花线切割机床的编程与操作等内容。

本书紧密结合生产实际,选取生产中的应用实例,覆盖面大,同时体现先进性、有效性、针对性和实用性,可作为高职高专院校数控技术与应用、机电一体化、机械制造与自动化、模具设计与制造等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作实训教程/刘力群,陈文杰主编.—北京:清华大学出版社,2007.4

(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)

ISBN 978-7-302-14782-4

I. 数… II. ①刘… ②陈… III. ①数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材②数控机床—操作—高等学校:技术学校—教材 IV.TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第027606号

责任编辑:黄 飞

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任校对:马素伟 周剑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市昌平环球印刷厂

装订者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:19.75 字数:471千字

版 次:2007年4月第1版 印 次:2007年4月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:021840-01

前 言

数控专门人才是国家公布的 4 项紧缺专门人才之一，是国家和各级教育行政主管部门教育发展战略布局的重中之重，是各类举办高职高专教育院校的发展重点。

本书根据高职高专数控技术及应用、机电一体化专业人才培养的要求，结合教改试点专业的经验编写，内容全面、系统，重点突出，力求体现先进性、实用性、易懂性。本书基础理论以“必需、够用”为度，应用实例紧密结合生产实际，根据学习进度，配以相应的强化性练习题。本书习题覆盖范围广，内容丰富，从易到难，循序渐进，安排得科学、合理。书中将一些难点反复在习题中出现，强化学生的编程能力，在大量练习的前提下，能使学生更好地理解知识点。

本书不但对学生的数控加工工艺、数控编程方法、操作进行强化，而且注意采用循序渐进的教学过程，使学生轻松入门、熟练掌握、稳步提高，为今后的发展打下坚实基础。

本书紧密结合现实生产实际，选取生产实际中的应用实例，覆盖面大，同时体现出了有效性、针对性和实用性。学生只要按部就班、扎扎实实，按照本书的要求认真地完成练习，必定会使自己在短时间内较快地提高数控机床编程及应用能力。本书的各章内容安排如下。

第 1 章为绪论，概述了数控机床的组成部分及其工作原理，数控机床的分类及发展趋势，数控机床的主要功能，常用数控系统，技工中心操作的职业技能要求。

第 2 章为数控机床编程基础，介绍数控机床的编程方法、常用功能指令、编程的工艺基础、数控系统的编程功能及数学处理等。

第 3 章至第 9 章为数控车床、铣床、加工中心及数控系统的编程与操作，介绍了数控车床、铣床、加工中心及数控系统的编程特点、编程方法、编程实例、加工与操作等。

本书可作为高职高专院数控技术与应用、机电一体化、机械设计制造与自动化、模具设计与制造等专业的教材，也可作相关工程技术人员的参考用书。

本书是作者多年从事数控机床教学经验的总结，是根据高职高专对数控技术及应用、机电一体化专业人才培养的要求而编写的。第 1、2 章由河北机电职业技术学院刘力群编写，第 9 章由河北机电职业技术学院陈文杰编写，第 3、4 章由长春职业技术学院李国会编写，第 5、6 章由常州机电职业技术学院周保中编写，第 7 章由西安工业学院万宏强编写，第 8 章由河北机电职业技术学院张振山编写，全书由刘力群、陈文杰统稿。由于创作时间比较仓促及作者水平有限，书中难免有错漏之处，欢迎广大读者和有关专家批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控技术概论	1	2.4 数控车床编程实例	48
1.1 数控技术基础	1	2.4.1 实例 1	49
1.1.1 数控机床的组成	1	2.4.2 实例 2	51
1.1.2 数控机床的分类	2	2.4.3 实例 3	52
1.1.3 数控机床的主要功能	5	2.4.4 实例 4	55
1.1.4 数控机床常用术语	6	2.5 实训练习题	57
1.1.5 常用数控系统	7	第 3 章 FANUC 系统数控铣床	
1.2 加工中心操作工国家职业标准	9	编程与操作实训	62
1.2.1 职业概况	9	3.1 FANUC 0-MD 数控铣床概述	62
1.2.2 职业技能基本要求	11	3.1.1 数控铣床的功能与特点	62
1.2.3 技能要求	12	3.1.2 操作面板、控制	
1.2.4 数控机床安全操作规范	19	面板及软件功能	63
第 2 章 FANUC 0-TD 系统数控		3.1.3 编程指令概述	66
车床加工技术与实训	20	3.2 数控铣床的基本操作	80
2.1 FANUC 0-TD 系统数控车床概述	20	3.2.1 数控铣床的准备	80
2.1.1 CAK6150P 数控车床结构	20	3.2.2 工件与刀具的装夹	80
2.1.2 数控车床基本规格及功能	20	3.2.3 手动操作与自动操作	81
2.1.3 操作面板功能简介	22	3.2.4 程序的输入与编辑	82
2.1.4 数控车床坐标系	26	3.2.5 工件坐标系的建立、	
2.2 数控车床操作	28	对刀及刀具补偿	82
2.2.1 系统的启闭及注意事项	28	3.2.6 控制与图形显示方式	85
2.2.2 数控系统操作	28	3.2.7 自动加工	89
2.2.3 机床操作	30	3.3 数控铣床加工过程监控	90
2.2.4 车削加工装夹方法	32	3.3.1 加工工件质量控制	90
2.2.5 自动加工	35	3.3.2 加工的中断控制及恢复	91
2.2.6 工件坐标系的建立、		3.4 典型零件加工实例	92
对刀及刀具补偿	37	3.4.1 实例 1	92
2.2.7 程序校验	39	3.4.2 实例 2	94
2.3 常用编程指令	40	3.5 实训练习题	95
2.3.1 准备功能	40	第 4 章 FANUC 系统加工中心	
2.3.2 辅助功能	47	编程与操作实训	98
2.3.3 F、T 功能	48	4.1 加工中心概述	98

4.1.1 加工中心功能与 结构特点.....	98
4.1.2 FANUC-18MC 系统加工 中心操作面板、控制面板 及软键功能.....	99
4.1.3 FANUC-18MC 系统 编程指令概述.....	99
4.2 加工中心的基本操作.....	100
4.2.1 加工中心的手动操作.....	100
4.2.2 程序输入与编辑.....	108
4.2.3 工件坐标系的建立、 对刀及刀具补偿.....	109
4.2.4 加工中心刀具装夹.....	111
4.2.5 图形模拟功能和空运行.....	111
4.2.6 首件试切.....	113
4.3 加工中心的加工过程监控.....	113
4.3.1 加工工件质量的控制.....	113
4.3.2 加工的中断控制及恢复.....	113
4.4 典型零件加工实例.....	115
4.4.1 实例 1.....	115
4.4.2 实例 2.....	120
4.5 实训练习题.....	125

第 5 章 SIEMENS 系统数控

车床编程与操作..... 128

5.1 数控车床概述.....	128
5.1.1 数控车床基本规格 及功能.....	128
5.1.2 操作面板.....	129
5.1.3 屏幕说明.....	130
5.1.4 数控车床坐标系统.....	133
5.2 数控车床操作.....	133
5.2.1 启闭机床及注意事项.....	133
5.2.2 数控系统操作.....	134
5.2.3 机床操作.....	138
5.2.4 自动运行及其方式选择.....	140
5.2.5 对刀及刀具补偿的建立.....	143
5.2.6 输入、修改、计算 工件零点偏置值.....	147

5.2.7 程序校验与试切	148
5.3 编程指令.....	149
5.3.1 准备功能	149
5.3.2 M、S、F、T 功能	151
5.3.3 R 参数及程序跳转	152
5.3.4 固定循环	153
5.3.5 其他功能	156
5.4 典型零件加工实例.....	157
5.4.1 实例 1	157
5.4.2 实例 2	160
5.4.3 实例 3	167
5.5 实训练习题.....	173

第 6 章 SIEMENS 系统数控铣床

编程与操作实训..... 175

6.1 SIEMENS 数控铣床概述	175
6.1.1 数控铣床结构及 基本规格	175
6.1.2 编程指令概述	178
6.2 数控铣床的基本操作.....	189
6.2.1 数控铣床的准备	189
6.2.2 工件与刀具的装夹	190
6.2.3 手动操作	192
6.2.4 自动操作	195
6.2.5 程序输入和编辑	197
6.2.6 对刀、工件坐标系 设定与修改	203
6.2.7 刀具补偿	212
6.2.8 自动加工	214
6.3 数控铣床加工过程监控.....	215
6.3.1 加工工件质量控制	215
6.3.2 加工中断控制及恢复	217
6.4 典型零件加工实例.....	218
6.4.1 实例 1	218
6.4.2 实例 2	222
6.4.3 实例 3	226
6.4.4 实例 4	227
6.4.5 实例 5	230
6.5 实训练习题.....	232

第 7 章 SIEMENS 系统加工中心	
编程与操作实训	235
7.1 加工中心概述.....	235
7.1.1 加工中心的功能与特点.....	235
7.1.2 加工中心的操作面板、 控制面板及软件功能.....	236
7.1.3 编程指令概述.....	240
7.2 加工中心的基本操作.....	241
7.2.1 加工中心的手动操作.....	241
7.2.2 程序输入与编辑.....	242
7.2.3 建立工件坐标系、 对刀及刀具补偿.....	243
7.2.4 加工中心刀具装夹.....	244
7.2.5 工件的定位与装夹.....	245
7.2.6 图形模拟功能和空运行.....	247
7.2.7 首件试切.....	249
7.3 加工中心的加工过程监控.....	250
7.3.1 工件加工质量的控制.....	250
7.3.2 加工的中断控制及恢复.....	252
7.4 典型零件加工实例.....	253
7.4.1 实例 1.....	253
7.4.2 实例 2.....	255
7.5 实训练习题.....	257
第 8 章 华中世纪星系统数控车床	
操作与编程	259
8.1 华中世纪星系统数控车床概述.....	259
8.1.1 结构特点及基本规格.....	259
8.1.2 操作面板功能介绍.....	261
8.1.3 数控车床坐标系.....	263
8.2 数控车床操作.....	263
8.2.1 系统启闭及注意事项.....	263
8.2.2 数控系统操作.....	265
8.2.3 常用装夹方式.....	268
8.2.4 对刀操作方法及过程.....	268
8.2.5 程序校验.....	271
8.2.6 自动加工及其方式选择.....	271
8.3 常用编程指令.....	272
8.3.1 准备功能(G 功能).....	272
8.3.2 辅助功能.....	275
8.3.3 F、T、S 功能.....	275
8.4 典型零件加工实例.....	275
8.4.1 实例 1.....	275
8.4.2 实例 2.....	276
8.4.3 实例 3.....	277
8.5 实训练习题.....	278
第 9 章 华中世纪星系统数控铣床	
编程与操作实训	281
9.1 华中世纪星数控铣床概述.....	281
9.1.1 机床结构特点 及基本规格.....	281
9.1.2 控制面板、操作 面板及软件功能.....	283
9.1.3 编程指令概述.....	284
9.2 数控铣床的基本操作.....	291
9.2.1 数控铣床的准备.....	291
9.2.2 工件与刀具的装夹.....	291
9.2.3 手动操作.....	291
9.2.4 程序的输入与编辑.....	295
9.2.5 工件坐标系的建立、 对刀及刀具补偿.....	296
9.2.6 自动加工.....	299
9.3 数控铣床加工过程监控.....	299
9.3.1 加工工件质量的控制.....	299
9.3.2 加工的中断控制及恢复.....	299
9.4 典型零件加工实例.....	301
9.4.1 实例 1.....	301
9.4.2 实例 2.....	302
9.5 实训练习题.....	303

第 1 章 数控技术概论

本章概述数控机床的基本概念、组成、工作原理、分类、主要功能、行业常用术语，数控机床的加工过程与特点，数控机床发展趋势等，以及加工中心操作职业概况、职业技能要求、工作要求和安全操作规范。

1.1 数控技术基础

1.1.1 数控机床的组成

数控机床主要由以下 6 部分组成(如图 1.1 所示)。

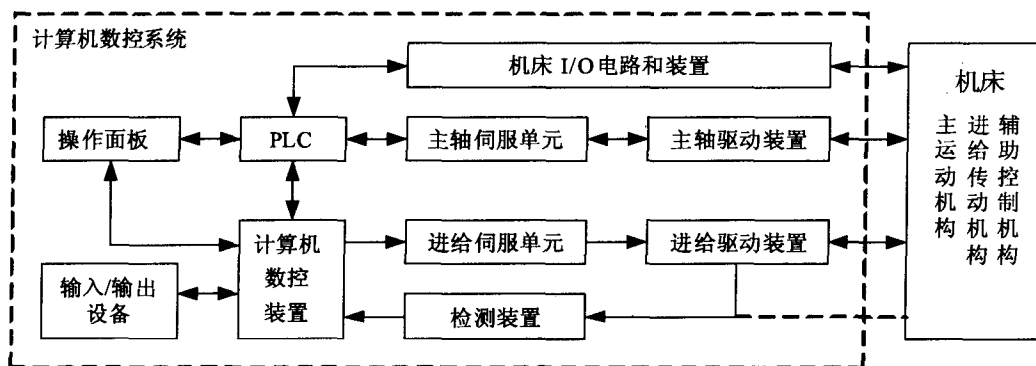


图 1.1 数控机床的组成

1. 计算机数控装置(CNC 装置)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心，其主要作用是根据输入的工件加工程序或操作命令进行译码、运算、控制等相应的处理，然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动单元和 PLC 等)，完成工件加工程序或操作者所要求的工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模板以及相应的控制软件的模块组成。

2. 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电动机、进给伺服驱动装置及进给电动机。测量装置是指位置和速度检测装置，它是实现主运动和进给运动的速度、位置闭环控制的必要装置。主轴运动的伺服系统的主要作用是实现工件加工的切削运动，其控制量为速度；进给伺服系统的主要作用是实现工件加工的成形运动，其控制量为速度和位

置,特点是能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

3. 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现加工工件的执行部件。主要组成有:主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)、支撑件(立柱、床身等)以及特殊装置、自动工件交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)。

4. 控制介质与程序 I/O(输入/输出)设备

控制介质是记录工件加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。程序 I/O(输入/输出)设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置,其作用是将记录在控制介质上的工件加工程序输入 CNC 系统,或将已调试好的工件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的介质上。目前数控机床常用的控制介质和程序输入/输出设备是磁盘和磁盘驱动器等。

此外,现代数控系统一般可利用通信方式进行信息交换。这种方式是实现 CAD(计算机辅助设计)与 CAM(计算机辅助制造)的集成,FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)应用的基本技术。目前在数控机床上常用的通信方式有:串行通信、自动控制专用接口、网络技术。

5. PLC 及机床 I/O(输入/输出)电路和装置

PLC 是用于进行与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制部件,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用于实现 I/O 控制的执行部件,是由继电器、电磁阀、行程开关和接触器等组成的逻辑电路。它们共同完成以下任务。

(1) 接受 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作。

(2) 接受操作面板和机床侧的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令,控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

6. 控制面板

控制面板又称操作面板,是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具。操作人员可以通过控制面板对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解或查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的一个 I/O 部件,主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成。

1.1.2 数控机床的分类

1. 按控制功能分类

(1) 点位控制机床

点位控制数控机床只控制刀具或工作台,从一个点(坐标位置)准确、快速地移动到下一个点(坐标位置),然后控制第 3 个坐标轴进行切削加工。它具有较高的位置定位精度,

在移动过程中不进行切削加工,所以对运动轨迹没有要求。点位控制数控机床主要用于加工平面内的孔系,主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量机等。

(2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台,按规定的进给速度,从一个点以直线方式准确地移动到下一个点。移动过程中能进行直线的切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带着多轴箱轴向进给进行钻、镗等切削加工,它可以算做一种直线控制的数控机床。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床具有控制几个轴同时协调运动的能力,即坐标轴联动,使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动,能在运动过程中进行连续切削加工。这类数控机床有用于加工曲线和曲面形状工件的数控车床、数控铣床、加工中心等。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为 2 轴(X、Y 轴联动或 X、Z 轴联动)、2.5 轴(任意 2 轴联动,第 3 轴周期进给)、3 轴(X、Y、Z 轴联动)、4 轴(X、Y、Z 和 A 或 B4 轴联动)、5 轴(X、Y、Z 和 A、B 或 X、Y、Z 和 A、C 或 X、Y、Z 和 B、C5 轴联动)联动数控机床。联动轴数越多,加工程序的编写越难,通常 3 轴联动以上的工件加工程序只能采用自动编程系统编写。

2. 按进给伺服系统类型分类

(1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。如图 1.2 所示为开环进给伺服系统简图。由图可知,开环进给伺服系统没有位置反馈装置,信号流是单向的(数控装置→进给系统),故系统稳定性好。但由于无位置反馈,精度(相对闭环系统)不高,其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。该系统一般以步进电机为伺服驱动元件,具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力距不大的场合得到了广泛应用。

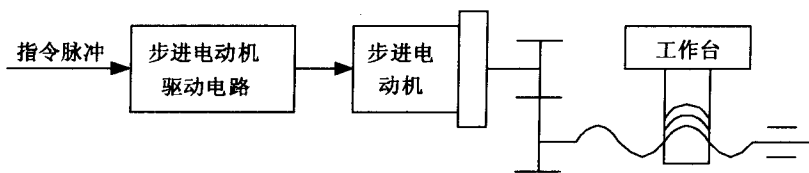


图 1.2 开环进给伺服系统简图

(2) 半闭环数控机床

半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1.3 所示。半闭环数控系统的位置检测点是从驱动电动机(常用交、直流伺服电动机)或丝杠端引出,通过检测电动机和丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量,而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,可获得较稳定的控制性能,其系统稳定性虽不如开环系统,但比闭环要好。另外,在位置环内各组成环节的运动误差可得到某种程度的纠正,位置环外不能直接消除的丝杠螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差等,可通过软件补偿来提高运动精度,所以在现代 CNC 机床中得到了广泛的应用。

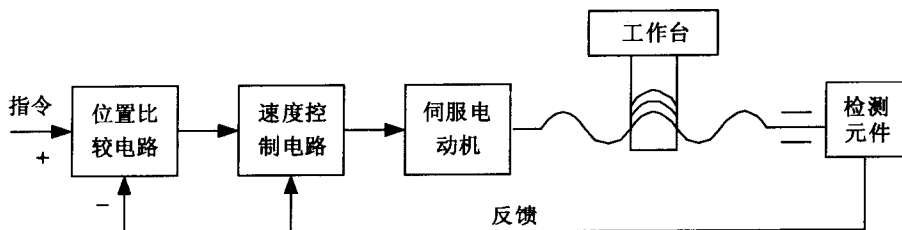


图 1.3 半闭环进给伺服系统简图

(3) 闭环数控机床

闭环进给伺服系统(如图 1.4 所示)直接对工作台的实际位置进行检测。理论上讲,可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定。因此闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度,对其环节的精度、刚性和传动特性等都有较高的要求,故价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

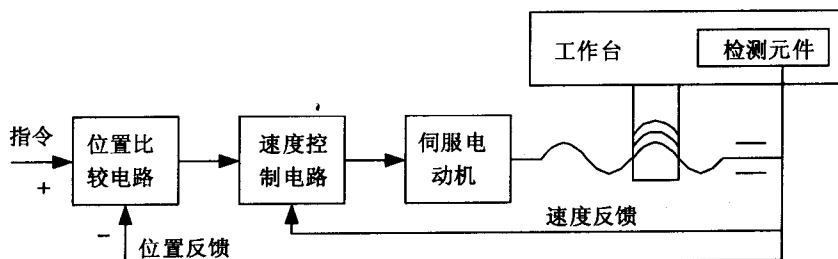


图 1.4 闭环进给伺服系统简图

3. 按工艺用途分类

(1) 切削加工类

此类是指即具有切削加工功能的数控机床。在金属切削机床常用的车床、铣床、刨床、磨床、钻床、镗床、拉床、切断机床、齿轮加工机床等中,国内外都开发了数控机床,而且品种分得越来越细。比如,在数控磨床中不仅有数控外圆磨床,数控内圆磨床,集磨外圆,内圆于一机的数控万能磨床,数控平面磨床,数控坐标磨床,数控工具磨床,数控无心磨床,数控齿轮磨床,还有专用或专门化的数控轴承磨床、数控外螺纹磨床、数控内螺纹磨床、数控双端面磨床、数控凸轮轴磨床、数控曲轴磨床,能自动换砂轮的数控导轨磨床等,还有工艺范围更广的车削中心、加工中心和柔性制造单元等。

(2) 成型加工类

此类是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床,如数控折弯机、数控冲床、数控弯管机和数控旋压机等。

(3) 特种加工类

此类是指具有特种加工功能的数控机床,如数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、带有自动换电极功能的“电加工中心”、数控激光切割机床、数控激光热处理机

床、数控激光板料成型机床和数控等离子切割机等。

(4) 其他类型

此类是指一些广义上的数控设备，如数控装配机、数控测量机和机器人等。

1.1.3 数控机床的主要功能

1. 多轴控制功能

多轴控制功能是指 CNC 系统能控制和能联动控制数控机床各坐标轴的进给运动的功能。CNC 系统的控制进给轴有：移动轴和回转轴、基本轴和附加轴。

2. 准备功能

准备功能即 G 功能——指令机床运动方式。

插补功能是指数控系统进行工件表面加工轨迹插补运算的功能。一般 CNC 系统仅具有直线和圆弧插补，较为高档的数控系统还具有抛物线、椭圆、极坐标、正旋线、螺旋线以及样条曲线等插补功能。在数控加工中，有些加工内容如钻孔、镗孔、攻螺纹等，所做的动作需要循环且十分典型，数控系统预先将这些循环动作 G 代码进行定义，在加工时使用这类 G 代码可大大简化编程工作量，即为固定循环功能。

3. 补偿功能

(1) 刀具半径和长度补偿功能

该功能实现用工件轮廓编写的程序，按刀具中心轨迹运动，以及在刀具半径和长度发生变化时，可对刀具半径或长度做相应的补偿。该功能由 G 指令或 T 指令实现。

(2) 传动链误差、反向间隙误差补偿功能

螺距误差补偿可预先测量出螺距误差和反向间隙，然后按要求输入 CNC 装置的存储单元内，在加工过程中进行实时补偿。

(3) 智能补偿功能

对由于外界干扰所产生的随机误差，可采用人工智能、专家系统等方法建立模型，实施智能补偿。如热变形引起的误差，装置将会在相应部位自动进行补偿。

4. 主轴功能

主轴功能是指数控系统对切削速度的控制功能，主要有以下 5 种控制功能。

(1) 主轴转速：实现刀具切削点切削速度的控制功能。单位为 r/min 。

(2) 恒线速度控制：实现刀具切削点的切削速度为恒速的控制功能。单位为 m/min 。

(3) 主轴定向控制：实现主轴周向定位于定点的控制功能。

(4) C 轴控制：实现主轴周向任意位置的控制功能。

(5) 切削倍率：实现人工实时修调切削速度，即通过面板的倍率开关在 $0\sim 200\%$ 之间对其进行实时修调。

5. 进给功能

进给功能指数控系统对进给速度的控制功能，主要有以下 3 种控制功能。

- (1) 进给速度：控制刀具或工作台的运动速度。单位为 mm/min 。
- (2) 同步进给速度：实现切削速度和进给速度的同步。单位为 mm/r 。用于加工螺纹。
- (3) 进给倍率：实现人工实时修调进给速度，即通过面板的倍率开关在 $0\sim 200\%$ 之间对其进行实时修调。

6. 宏程序功能

宏程序功能通过编辑子程序中的变量来改变刀具路径和刀具位置的功能。

7. 辅助功能

辅助功能即 M 功能——规定主轴的启、停、转向，工件的夹紧和松开，冷却泵的接通和断开等机床辅助动作的功能。

8. 刀具管理功能

刀具管理功能是实现对刀具几何尺寸和刀具寿命的管理及刀具选择的功能。刀具几何尺寸是指刀具的半径和长度，这些参数供刀具补偿功能使用。刀具寿命是指总计切削时间，当某刀具的时间寿命到期时，CNC 系统将提示用户更换刀具。另外，CNC 系统都具有 T 功能，即刀具号管理功能，它用于标识刀库中的刀具和自动选择加工刀具。

9. 人机对话功能

在 CNC 装置中配有单色或彩色阴极射线管显示器(CRT)，通过软件实现字符和图形的显示，以方便用户操作和使用。主要功能有：菜单结构的操作界面；数据及工件加工程序的输入及编辑；系统和机床参数、状态、故障信息的显示及查询等。

10. 自诊断功能

自诊断功能是指 CNC 系统防止故障发生、进行故障诊断、故障定位和防止故障扩大的功能。现代 CNC 系统或多或少都具有自诊断功能，这些自诊断功能主要用软件来实现。具有此功能的 CNC 系统，可以防止故障的发生或能够在故障出现后迅速查明故障的类型或部位，减少故障停机时间，防止故障扩大。CNC 装置的诊断程序既可以在系统软件中、在系统运行过程中进行检查，也可以作为服务性程序，在系统运行前或故障停机后进行诊断以查找故障的部位。有些 CNC 装置还可以进行远程通信诊断。

11. 通信功能

通信功能是指 CNC 装置与外界进行信息和数据交换的功能。通常 CNC 系统都具有 RS-232C 接口，可与其他计算机进行通信，传达工件加工程序，有的还有 DNC 接口，以实现直接数控，更高级的系统还可以使用 MAP 协议、Internet 或 LAN，构成 FMS、CIMS 等大的集成制造系统。

1.1.4 数控机床常用术语

本节所选用的术语主要是参照国际标准化组织 1980 年颁布的 ISO2806《机床数字控

制词汇》国际标准以及日本和美国标准及中国的 GB8129—87 等标准。

- (1) 轴：机床上的部件可沿其做直线移动或回转运动的基准方向。
- (2) 机床坐标系：以机床上的某一固定点为基准的笛卡儿坐标系。
- (3) 工件坐标系：以工件上的某一固定点为基准的笛卡儿坐标系。
- (4) 机床原位：当机床所有部件都处于原始位置上时，机床坐标系的一种状态。
- (5) 机械原点：机床出厂前已调整好的、与机床坐标系原点保持精确位置关系的点。
- (6) 机床基准点：给机床部件设定的零点。
- (7) 绝对尺寸(绝对坐标)：某一点距离坐标系原点的直线距离或角度。
- (8) 绝对程序编写：采用绝对尺寸(绝对坐标)字的程序编写。
- (9) 增量尺寸(增量坐标)：在一系列点的增量中，各点距前一点的距离或角度值。
- (10) 增量程序编写：采用增量尺寸(增量坐标值)字的程序编写。
- (11) 语言：用来传达信息的表示方法、约定和规则的集合。
- (12) 格式：信息的规定安排形式。
- (13) 坐标尺寸字：定义绝对尺寸的字。

(14) 程序段：作为一个单元处理的一组字、一组字符或一组数字，在控制带上，各个程序段通常用“程序段结束”字符来分隔。

(15) 计算机数控：这是一种数控系统。在此系统中，采用存储程序的专用计算机实现部分或全部基本数控功能。

(16) 加工程序：为完成加工，用特定的语言和格式书写的顺序指令集，被存放在适当的输入介质上，完全能用于直接操作。

(17) 零件程序：为完成加工，按某种语言或某种格式书写的顺序指令集。零件程序写在输入介质上，需经处理，得到加工程序。

(18) 后置处理程序：这是一种计算机程序，它把前置处理程序的输出改编成加工程序，以便在机床和控制机的成套装置上制造工件。

(19) 子程序：可由适当的机床控制指令调用的一段加工程序。

(20) 刀具轨迹：由刀具上给定的一点所描述的轨迹。

(21) 进给保持：在加工程序执行期间，暂时中断进给的功能。

(22) 间隙距离：当刀具从快速变为进给移动时，为了防止碰刀，在刀具和工件之间留出的距离。

(23) 零点偏置：数控系统中规定可以使测量系统的坐标原点在指定范围内相对机床零点移动。

(24) 刀具补偿：垂直于刀具轨迹的位移，用来修正刀具实际半径或直径与其程序规定的值之差。

(25) 固定循环：这是预先给定的一系列操作，用来控制机床轴的位移，或使主轴运转，从而完成各项加工，如镗、钻、攻螺纹等。

1.1.5 常用数控系统

数控系统是数控机床的核心，数控机床根据功能和性能要求，配置不同的数控系统。

系统不同,其指令代码也有差别,因此,编程时应按所使用数控系统代码的编程规则进行编程。FANUC(日本)、SIEMENS(德国)、FAGOR(西班牙)、HEIDENHAIN(德国)、MITSUBISHI(日本)等公司的数控系统及相关产品,在数控机床行业占据主导地位;我国数控产品以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能数控系统产业化。

1. FANUC 数控系统

可靠型 Power Mate 0 系列:用于控制 2 轴的小型车床,取代步进电机的伺服系统;可配画面清晰、操作方便,有中文显示的 CRT/MDI,也可配性能/价格比高的 DPL/MDI。

普及型 CNC 0-D 系列:0-TD 用于铣床及小型加工中心;0-GCD 用于圆柱磨床;0-GSD 用于平面磨床;0-PD 用于冲床。

全功能型的 0-C 系列:0-TC 用于通用车床、自动车床;0-MC 用于铣床、钻床、加工中心;0-GCC 用于内、外圆磨床;A0-GSC 用于平面磨床;0-TTC 用于双刀架 4 轴车床。

高性能/价格比的 0i 系列:整体软件功能包,高速、高精度加工;并具有网络功能。0i-MB/MA 用于加工中心和铣床;4 轴 4 联动;0i-TB/TA 用于车床;4 轴 2 联动;0i-MATE MA 用于铣床,3 轴 3 联动;0i-MATE TA 用于车床,2 轴 2 联动。

具有网络功能的超小型、超薄型 CNC16i/18i/21i 系列:控制单元与 LCD 集成于一体,具有网络功能,超高速串行数据通信能力。其中 FS16i-MB 的插补、位置检测和伺服控制以 nm(纳米)为单位。16i 最大可控 8 轴、6 轴联动;18i 最大可控 6 轴、4 轴联动;21i 最大可控 4 轴、4 轴联动。

除此之外,还有实现机床个性化的 CNC16/18/160/180 系列。

2. SIEMENS 数控系统

SINUMERIK 802S/C:用于车床、铣床等,可控 3 个进给轴和 1 个旋转轴。802S 适于步进电机驱动;802C 适于伺服电机驱动,具有数字 I/O 接口。

SINUMERIK 802D:控制 4 个进给轴和 1 个旋转轴,PLC I/O 模块,具有图形式循环编程,车削、铣削/钻削工艺循环,FRAME(包括移动、旋转和缩放)等功能,为复杂加工任务提供智能控制。

SINUMERIK 810D:用于数字闭环驱动控制,最多可控 6 轴紧凑型可编程 I/O。

SINUMERIK 840D:全数字模块化数控设计,用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机床,最大可控 31 个坐标轴。

3. FAGOR 数控系统

CNC 8070 是目前 FAGOR 最高档的数控系统,代表 FAGOR 顶级水平。它是 CNC 技术与 PC 技术的结晶,是与 PC 兼容的数控系统,采用 Pentium CPU,可运行 Windows 和 MS-DOS;可控制 16 轴+3 电子手轮+2 主轴;可运行 Visual Basic、Visual C++,程序段处理时间小于 1ms;PLC 可达成 1024 输入点/1024 输出点;具有以太网、CAN、SERCOS 通信接口;可选用 $\pm 10V$ 模拟量接口。

8055 系列数控系统是 FAGOR 高档数控系统,可实现 7 轴 7 联动+主轴+手轮控制;按其处理速度不同分为 8055/A、8055/B、8055/C 3 种档次;适用于车床、车削中心、铣

床、加工中心及其他数控设备；具有连续数字化仿形、RTCP 补偿、内部逻辑分析、SERCOS 接口、远程诊断等许多高级功能。

8040/8055-I 标准系列属中高档数控系统，采用中央单元与显示单元合为一体的结构。8040 可控制 4 轴 4 联动+主轴+2 个手轮；8055-I 可实现 7 轴 7 联动+主轴+2 个手轮。两者用户内存均可达到 1MB 且具有 $\pm 10V$ 模拟量接口及数字化 SERCOS 光缆接口，可配置带 CAN 接口的分布式 PLC。

8040/8055-i/8055 TCO/MCO 系列是一种开放式的数控系统，可供 OEM 再开发成为专用数控系统，适用于任何机床设备。

8040/8055-i/8055 TC/MC 系列是人机对话式数控系统，其主要特点是无须采用 ISO 代码编程，可将工件图中的数据通过人机交互图形界面直接输入系统，从而实现编程。人称傻瓜式数控系统。

8025/8035 系列：8025 系列是 FAGOR 公司的中档数控系统，适用于铣床、加工中心、车床及其他数控设备，可控 2~5 轴不等，该数控系统具有操作面板、显示器，中央单元合一的紧凑结构；8035 是 8040/8055-i/8055 的简化型，同时也是 8025 的更新换代产品，采用 32 位 CPU。

4. 华中数控系统

华中数控以“世纪星”系列数控单元为典型产品，HNC-21T 为车削系统，最大联动轴数为 4 轴；HNC-21M 为铣削系统，最大联动轴数为 4 轴，采用开放式体系结构，内置嵌入式工业 PC。

伺服系统的主要产品包括：HSV-11 系列交流伺服驱动装置、HSV-16 系列全数字交流伺服驱动装置、步进电机驱动装置、交流伺服主轴驱动装置与电机、永磁同步交流伺服电机等。

5. 北京航天数控系统

其主要产品为 CASNUC2100 数控系统，是以 PC 机为硬件基础的模块化、开放式的数控系统，可用于车床、铣床、加工中心等 8 轴以下机械设备的控制，具有 2 轴、3 轴、4 轴联动功能。

1.2 加工中心操作工国家职业标准

1.2.1 职业概况

1. 职业名称

加工中心操作工。

2. 职业定义

操作加工中心机床，进行工件多工序组合切削加工的人员。

3. 职业等级

本职业共设 4 个等级, 分别为中级(国家职业资格四级)、高级(国家职业资格三级)、技师(国家职业资格二级)、高级技师(国家职业资格一级)。

4. 职业环境

室内、常温。

5. 职业能力特征

具有较强的计算能力和空间感、形体知觉及色觉, 手指、手臂灵活, 动作协调。

6. 基本文化程度

高中毕业(含同等学力)。

7. 培训要求

(1) 培训期限

全日制职业学校教育, 根据其培养目标和教学计划确定。晋级培训期限: 中级不少于 400 标准学时; 高级不少于 4000 标准学时; 技师不少于 350 标准学时; 高级技师不少于 350 标准学时。

(2) 培训教师

基础理论课教师应具备本科或本科以上学历, 具有一定教学经验; 培训初级、中级人员的教师必须具备本职业高级以上的职业资格证书; 培训高级或技师人员的教师必须具备相关专业讲师以上教师资格或本职业高级技师职业资格证书; 培训高级技师的教师必须具备相关专业高级讲师(副教授)以上资格或其他相关的职业资格证书。

(3) 培训场地设备

满足教学需要的标准教室; 加工中心机床及完成加工所需的工件、刀具、夹具、量具和机床辅助设备。

8. 鉴定要求

(1) 适用对象

从事和准备从事本职业的人员。

(2) 申报条件

—— 中级(具备以下条件之一者)

① 取得相关职业(工种)初级职业资格证书后, 连续从事相关职业 3 年以上, 经本职业正规培训达到规定的标准学时, 并取得毕(结)业证书。

② 取得相关职业(工种)中级职业资格证书后, 连续从事本职业工作 1 年以上, 经本职业中级正规培训达到规定的标准学时数, 并取得毕(结)业证书。

③ 取得中等职业学校数控机床专业或大专(含大专)以上相关专业毕业证书。

—— 高级(具备以下条件之一者)

① 取得本职业中级职业资格证书后, 连续从事相关职业 4 年以上, 经本职业高级正