



高等职业教育机电类“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIDIAN LEI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

主 编 宋建国 宋卫国
副主编 赵 辉 罗 涛
主 审 刘锡河 巩华荣 梁宝桢



数控技术

实训教程

SHUKONG JISHU SHIXUN JIAOCHENG



电子科技大学出版社

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

数控技术实训教程

主 编 宋建国 宋卫国

副主编 赵 辉 罗 涛

主 审 刘锡河 巩华荣 梁宝桢

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控技术实训教程 / 宋建国, 宋卫国主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2007. 9
高等职业教育机电类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-81114-494-9
I. 数… II. ①宋…②宋… III. 数控机床—加工—
教学参考资料 IV. TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 121821 号

内容简介

本书共八章, 主要内容包括普通车床、铣床的基本操作与技能训练; 数控仿真技术的应用; 数控车床、加工中心的基本操作与技能训练; 数控机床的安装调试与维护保养等内容。该书特别适合技术学院(高级技工学校)、高职高专院校数控专业的实训教学, 是培养数控复合型技能人才的专门教材, 也可作为数控职业技术培训用书。

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

数控技术实训教程

主 编 宋建国 宋卫国

副主编 赵 辉 罗 涛

主 审 刘锡河 巩华荣 梁宝桢

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 朱 丹
责任编辑: 汤云辉
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 成都经纬印务有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 20.25 字数 493 千字
版 次: 2007 年 9 月第一版
印 次: 2007 年 9 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-81114-494-9
定 价: 29.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

教材编写指导委员会

编委会主任 王杰恩

编委副主任 丁元涛 沙岩玉 陆 民

编委会委员 (按姓氏笔画排序)

王宗贵 巩华荣 刘锡河

孙国成 孙典国 肖学东

宋延良 宋卫国 宋建国

李卫华 梁宝桢

前 言

本书先后由校内外几十位经验丰富的一线教师参与编写,具有广泛的技术内容、可靠的适用性和操作性;其内容可概括为基础应用与技术应用两大部分:基础应用包括普通车床、铣床、钳工的基本操作与技能训练;技术应用包括数控车床、加工中心、数控仿真的基本操作与技能训练;数控机床的安装调试、验收与维护保养等知识。该书内容新颖、结构紧凑、图文并茂、难易结合、风格独具地体现了现代职业技术教育的特点,既考虑教学目标的实现,又考虑了使用时的方便,结合每章的教学内容,有针对性编写了思考与技能练习题,在附录中还提供了数控职业资格鉴定“应知”方面的模拟试题供参考。该书特别适合技术学院(高级技工学校)、高职高专院校数控专业的实训教学,是培养数控复合型技能人才的专门教材,也可作为数控职业技术培训用书。

本书由烟台工程职业技术学院高级指导教师宋建国、烟台职业学院副教授宋卫国主编,赵辉、罗涛任副主编;由烟台工程职业技术学院高级指导教师刘锡河、高级讲师巩华荣、烟台市职业鉴定中心教学研究室高级讲师梁宝桢担任主审。其中第一章由宋卫国、纪成美、王晶、郑华编写;第二章由赵辉、陈伟伟、王飒爽、刘建军、谭业杰、姬新国编写;第三章由董小侠、李忠诚、沙令娥编写;第四章由罗涛、殷玉臻、娄镜浩、于雪梅、郭海燕编写;第五章由宋建国、张所夏、周红珠编写;第六章由于德清、刘爱杰、张琳、宋海峰编写;第七章由刘冬祥、于书军、王雷、张清明编写;第八章由林忠来、邹广明、李翠华、崔莱威编写;附录由窦美宁、巩运强编写;全书由宋建国统稿。

本书在编写过程中得到了烟台工程职业技术学院、教务处、数控技术系、实训中心的大力支持与关爱;得到了烟台职业学院、威海职业学院、烟台开发区高级职业学校、烟台天虹技工学校的大力协作,在此一并致谢。

由于编者的水平有限,难免有缺陷乃至疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年5月

目 录

第一章 数控机床概述.....	1
1.1 数控机床的产生与发展.....	1
1.1.1 国外数字控制技术的产生和发展.....	1
1.1.2 我国数控机床的产生和发展.....	2
1.1.3 现代数控系统的功能.....	2
1.2 数控机床的发展趋势.....	5
1.2.1 数控机床的发展水平和趋势.....	5
1.2.2 数控系统的发展水平和趋势.....	6
1.2.3 伺服系统的发展水平和趋势.....	7
1.3 数控机床的特点和应用范围.....	7
1.3.1 数控机床的特点.....	7
1.3.2 数控机床的应用范围.....	8
1.4 数控机床的分类.....	8
1.4.1 数控机床按工艺用途划分.....	8
1.4.2 数控机床按运动方式划分.....	9
1.4.3 数控机床按控制方式划分.....	9
1.4.4 数控机床按功能水平划分.....	10
1.5 数控机床坐标系.....	11
1.5.1 平面坐标系.....	11
1.5.2 右手直角笛卡儿坐标系.....	11
1.5.3 机床坐标轴的确定.....	13
本章小结.....	14
思考与练习.....	14
第二章 普通车床基本操作与切削加工技术.....	15
2.1 CA6140 型普通车床的基本操作.....	16
2.1.1 CA6140 型普通车床的结构与用途.....	16
2.1.2 CA6140 型普通车床的润滑保养与安全生产.....	17
2.1.3 CA6140 型普通车床的操作.....	18
2.2 普通车床常用夹具及使用.....	19
2.2.1 普通车床常用夹具.....	19
2.2.2 在三卡爪卡盘上校正零件.....	21
2.3 普通车床常用刀具与刃磨.....	21
2.3.1 常用车刀及用途.....	21

2.3.2 车刀刃磨.....	22
2.4 常用量具及使用.....	25
2.4.1 游标卡尺.....	25
2.4.2 千分尺.....	26
2.4.3 万能角度尺.....	28
2.4.4 内径百分表.....	29
2.5 车床的基本切削加工.....	30
2.5.1 端面、外圆的加工.....	30
2.5.2 台阶零件的加工.....	32
2.5.3 中心孔.....	33
2.5.4 麻花钻的刃磨与钻孔.....	35
2.5.5 圆柱孔的加工.....	37
2.5.6 沟槽的加工.....	38
2.6 轴类零件的加工.....	40
2.6.1 两顶尖间车削轴类零件.....	40
2.6.2 一夹一顶车削轴类零件.....	41
2.6.3 圆锥的加工.....	42
2.7 盘类零件的加工.....	45
2.7.1 盘类零件的加工要求.....	45
2.7.2 端面槽的加工.....	47
2.7.3 滚花加工.....	48
2.7.4 成形面的加工和表面抛光.....	49
2.8 普通车床的螺纹加工.....	51
2.8.1 普通三角形螺纹的要素及各部分名称.....	51
2.8.2 三角形螺纹尺寸计算.....	52
2.8.3 普通三角形螺纹车刀及刃磨.....	52
2.8.4 普通三角形外螺纹的车削.....	55
2.8.5 普通三角形内螺纹的车削.....	60
2.8.6 普通三角形螺纹的高速车削.....	63
2.8.7 攻螺纹和套螺纹.....	65
2.8.8 车削三角形螺纹的废品分析及预防.....	68
2.8.9 车削梯形螺纹.....	69
本章小结.....	74
思考与练习.....	74
第三章 普通铣床基本操作与铣削加工技术.....	75
3.1 X6132 型卧式万能升降台铣床概述.....	75
3.1.1 X6132 型卧式万能铣床的基本加工内容与特点.....	75
3.1.2 X6132 型万能铣床的基本结构与功能.....	76

3.1.3 X6132 型万能铣床的润滑保养与安全技术	77
3.1.4 X6132 型卧式万能铣床的基本操作	78
3.2 常用夹具的结构及使用	80
3.2.1 平口钳	80
3.2.2 压板	81
3.2.3 万能分度头	81
3.2.4 圆回转工作台	82
3.3 普通铣床常用刀具及使用	83
3.3.1 常用刀具	83
3.3.2 常用铣刀的安装	84
3.4 平面的铣削	86
3.4.1 平面的铣削方式	86
3.4.2 平面的铣削加工与质量分析	87
3.5 垂直面和平行面的铣削加工	88
3.5.1 用端铣刀铣垂直面和平行面	88
3.5.2 用周铣铣垂直面和平行面	89
3.6 斜面的基本铣削加工	92
3.7 阶台及沟槽的基本铣削加工	95
3.7.1 阶台的铣削与测量	95
3.7.2 直角沟槽的铣削加工	97
3.7.3 轴上键槽的铣削加工	99
本章小结	101
思考与练习	101
第四章 数控车床的基本操作与切削加工技术	103
4.1 数控车床概述	103
4.1.1 数控车床的分类	103
4.1.2 数控车床的加工对象	105
4.1.3 数控车床刀具	105
4.2 数控车床的机床坐标系与工件坐标系	105
4.2.1 机床坐标系、机床原点和机床参考点	105
4.2.2 工件原点、工件坐标系、对刀点和换刀点	107
4.3 数控车床程序的结构与常用功能代码	109
4.3.1 程序的结构	109
4.3.2 常用功能代码	109
4.4 数控车床常用指令的编程方法与应用	111
4.4.1 数控车床程序编辑的基本方式	111
4.4.2 常规指令 (G00-G04) 的编程方法与应用	113
4.4.3 固定循环功能的应用	117

4.4.4 螺纹循环功能的应用	125
4.4.5 刀具补偿功能的运用	131
4.4.6 子程序	133
4.4.7 非圆曲线加工	136
4.5 FANUC-0i 数控车床的基本操作与切削加工	141
4.5.1 数控车床的使用要求	141
4.5.2 FANUC-0i 系统面板的操作	142
4.5.3 FANUC-0i 机床面板的操作	143
4.6 SIEMENS 802D 数控车床(简介)	148
4.6.1 SIEMENS 802D 数控车床的基本操作	148
4.6.2 数控车床车削加工程序的编辑	154
4.7 加工实例与工艺分析	157
4.7.1 数控车床轴类零件加工实例与工艺分析	157
4.7.2 数控车床盘套类零件加工实例与工艺分析	162
本章小结	165
思考与练习	165
第五章 数控加工中心基本操作与铣削加工技术	169
5.1 数控加工中心概述	169
5.1.1 数控加工中心	169
5.1.2 数控加工中心的基本组成及工作原理	170
5.1.3 数控加工中心的分类、特点与应用范围	171
5.2 数控加工中心刀具及工具系统	177
5.2.1 数控加工中心常用刀具	177
5.2.2 数控加工中心常用刀具的刀柄	180
5.2.3 数控加工中心的工具系统	181
5.2.4 机外对刀仪	183
5.3 数控加工中心的坐标系与编程特点	184
5.3.1 加工中心的机床坐标系与工件坐标系	184
5.3.2 加工中心程序编制特点	186
5.4 数控加工中心程序的结构及编程指令	186
5.4.1 程序的有关术语及指令代码	186
5.4.2 加工程序的结构	190
5.4.3 常用编程指令代码	194
5.4.4 固定循环编程指令	204
5.4.5 用户宏程序简介	214
5.5 数控加工中心机床的基本操作与使用	217
5.5.1 加工中心的使用要求	217
5.5.2 数控系统的操作	218

5.5.3 数控机床的操作.....	220
本章小结.....	228
实训练习题.....	229
第六章 数控仿真系统的基本操作.....	231
6.1 数控仿真系统的基本操作.....	231
6.1.1 数控仿真概述.....	231
6.1.2 数控仿真的启动.....	231
6.1.3 仿真系统工作界面.....	232
6.2 广州数控 GSK-980T 数控车床的操作.....	233
6.2.1 机床准备.....	233
6.2.2 各种方式下的机床操作.....	234
6.2.3 设置工件坐标系原点(对刀).....	238
6.3 FANUC 0i 数控车床的操作.....	239
6.3.1 FANUC0i 系统操作面板.....	239
6.3.2 用户机床操作面板.....	242
6.3.3 车床准备.....	244
6.3.4 设置工件坐标系原点(对刀).....	244
6.3.5 各种方式下的操作.....	246
6.4 FANUC 0i 标准铣床和立式加工中心的基本操作.....	247
6.4.1 系统操作面板与用户操作面板.....	247
6.4.2 机床准备.....	249
6.4.3 设置工件坐标系(对刀).....	250
6.4.4 各种方式下的操作.....	253
本章小结.....	254
练习题.....	254
第七章 数控机床的安装、调试与维护保养.....	257
7.1 数控机床的安装和调试.....	257
7.1.1 机床的安装.....	257
7.1.2 机床的调试.....	258
7.2 数控机床的验收.....	261
7.2.1 机床外观的检查.....	261
7.2.2 机床几何精度的检查.....	261
7.2.3 机床定位精度的检查.....	262
7.2.4 机床切削精度的检查.....	263
7.2.5 机床性能及数控系统性能检查.....	263
7.3 数控机床的日常维护.....	265
7.3.1 机械部件的维护.....	265

7.3.2 直流伺服电动机的维护	267
7.3.3 检测元件的维护	267
7.3.4 数控系统的日常维护	268
本章小结	269
思考与练习	269
第八章 钳工基本加工技能训练	270
8.1 銼削技能与训练	270
8.1.1 銼削工具	270
8.1.2 平面銼削的相关知识	270
8.1.3 銼削中容易出现的问题及注意事项	272
8.2 挫削技能与训练	273
8.2.1 挫刀的种类	273
8.2.2 平面挫削	273
8.2.3 平面挫削的质量检验与分析	276
8.3 锯割技能与训练	276
8.3.1 锯弓的结构和锯条的安装	276
8.3.2 锯割加工的相关要求	277
8.3.3 锯割训练	279
8.4 划线技能与训练	280
8.4.1 划线工具及使用	280
8.4.2 划线实例训练	282
8.5 钻孔、攻丝和套丝技能与训练	284
8.5.1 钻孔	284
8.5.2 攻丝和套丝	285
本章小结	288
附录一 附表	289
附录二 数控技能鉴定考核理论模拟试题	291
附录三 数控技能鉴定考核理论模拟试题参考答案	310
参考文献	312

第一章 数控机床概述

【学习目标】

1. 了解国际国内数控机床产生、发展的基本情况与现代数控系统的功能。
2. 理解数控机床的特点、应用范围及其分类情况。
3. 掌握数控机床基本坐标系的原理与应用，为学习程序的编写与零件加工打下基础。

1.1 数控机床的产生与发展

随着科学技术的不断发展，对机械产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。为了有效地提高产品质量与生产效率、降低生产成本、改善劳动条件，一种新型的数字控制机床应运而生。它极其有效地解决了在普通机床加工中存在的一系列缺点和不足，为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

1.1.1 国外数字控制技术的产生和发展

最早采用数字控制技术进行机械加工的思想，是在 20 世纪 40 年代提出的。当时美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕尔森斯公司（Parsons Corporation）在制造飞机框架及直升飞机叶片轮廓样板时，利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理，并考虑了刀具半径对加工路径的影响，使加工精度达到 $\pm 0.0381\text{mm}$ （ ± 0.0015 英寸）。在当时的水平来看，是相当高的。

1952 年，美国麻省理工学院研制出一套试验性数字控制系统，并把它装在一台立式铣床上，成功地实现了同时控制三轴的运动。这台数控机床被人们称为世界上第一台数控机床，是数控机床的第一代。1954 年 11 月，在帕尔森斯专利基础上，第一台工业用的数控机床由美国本迪克斯公司（Bendix-Corporation）生产出来。

1959 年，电子行业研制出晶体管元器件，在数控系统中广泛采用晶体管和印刷电路板，从而使数控机床跨入了第二代。同年 3 月，美国克耐·杜列克公司（Keaney & Trecker Corp）发明了带有自动换刀装置的数控机床，称为“加工中心”。

1960 年，研制出了小规模集成电路。使数控系统的可靠性得以进一步提高，数控系统发展到第三代。以上三代，都是采用专用控制的硬件逻辑数控系统（NC）。

1967 年，英国首先把几台数控机床联接成具有柔性的加工系统，这就是最初的 FMS（Flexible Manufacturing System）柔性制造系统。之后美、欧、日也相继进行开发和应用。

随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统（NC），数控的许多功能由软件程序实现。由计算机作控制单元的数控系统（CNC），称为第四代。1970 年，在美国芝加哥国际展览会上，首次展出了这种系统。

1970 年前后，美国英特尔公司开发和使用微处理器。1974 年，美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统的数控机床。随后微处理器数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛的应用，这就是第五代数控（MNC）。人们将 MNC 统称为 CNC。

20 世纪 80 年代初,国际上又出现了柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)。这种单元投资少、见效快,既可单独长时间无人看管运行,也可集成到 FMS 或更高级的集成制造系统中使用。FMC 和 FMS 被认为是实现 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 计算机集成制造系统的必经阶段和基础。

1.1.2 我国数控机床的产生和发展

我国从 1958 年开始研究数字控制技术,到 1965 年,国内开始研制晶体管数控系统。20 世纪 60 年代末至 70 年代初研制成功 X53K-1G 立式数控铣床、CJK-18 数控系统和数控非圆齿轮插齿机。

从 20 世纪 70 年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功。但系统的可靠性、稳定性未得到解决,没能被广泛推广。由于线切割机床结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到了应用和推广。20 世纪 80 年代,我国从日本 FANUC 公司引进了部分系列的数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机等技术,并进行了国产化改造,在机床的性能和质量上产生了质的飞跃。

1995 年以后,我国数控机床品种不断增多,规格齐全。许多技术复杂的大型数控机床、重型数控机床都相继研制出来。为了跟踪国外技术的发展,北京机床研究所研制出了 JCS-FM-102 型的柔性制造单元和柔性制造系统。一些较高档次、高精度数控系统、数字仿形系统、为柔性单元配套的数控系统都开发出来了,并开始了专业化生产和使用。

21 世纪为数控机床的开发、生产和应用,开辟了更加广阔的前景,我国将成为数控机床的生产、使用大国。

1.1.3 现代数控系统的功能

现代数控系统所具有的功能可以概括为基本功能、可选功能和先进功能三个方面。

1. 基本功能

基本功能是数控系统必须具备的功能,主要包括准备功能(G 功能)、进给功能(F 功能)、主轴转速功能(S 功能)、辅助功能(M 功能)和刀具功能(T 功能)五项。

(1) 准备功能(G 功能) 是设定数控机床或控制工作方式的命令(G00~G99)。由于数控系统功能不断增加,某些高档数控系统 G 功能已经采用三位数字。尽管有 ISO 1056:1975 (E) 国际标准和 JB/T3028-1999 行业标准,但无论是国外的中、高档数控系统,还是国内的经济型数控系统,大多数都没有完全遵守这些标准,有些系统的差别还较大。除了 G00~G04、G17~G19、G40~G42 的含义在各类系统中基本相同外,其余代码的标准化程度较低。当接触新系统时,操作者必须仔细阅读产品说明书以便正确编程和操作。

(2) 进给功能(F 功能) 用于给定切削速度。现代数控系统均采用直接进给方式,即用 F 后的数字直接给定进给速度值(mm/min)。除直接给定进给速度值外,还可用主轴每转进给量给定。F 地址符在螺纹切削程序段中还用于给定导程。

(3) 主轴转速功能(S 功能) 用于给定主轴转速。用 S 指令后的数字值直接给定(r/min)。为了提升主轴低速时的输出转矩,增大调速范围,可将齿轮变速挡与无级调速配合使用,从而实现主轴分段无级变速。

(4) 辅助功能(M 功能) 由 M 后紧跟两位数字构成,用于指定数控机床辅助装置的接通或断开,数控装置一般通过开关量 I/O 接口,控制内置或独立的可编程序控制器来实现。

与 G 功能一样，M 功能的标准化程度也较低。不同厂家的数控系统的 M 功能相差较大。各
因素(5) 刀具功能(T 功能) 刀具功能用于指定加工用刀具号及刀具长度与半径补偿号，
并且车床系统与加工中心(镗铣床)系统刀具功能的使用差别较大。对于大多数的数控车床
系统，一般采用 T 加 2 位或 4 位数字构成。现代中、高档数控系统大多采用 T 加 4 位数字
的形式。对于加工中心(镗铣床)，刀具的指定(换刀)与刀具补偿号的指定是分开的。不
同厂家的数控系统的刀具补偿号指定方法差别较大。

2. 可选功能 可选功能是数控系统所具有的附加功能，这些功能不仅大大方便了操作和编程，也拓展
了数控系统的用途，用户可根据需要选用这些功能，如图 1-1 所示。

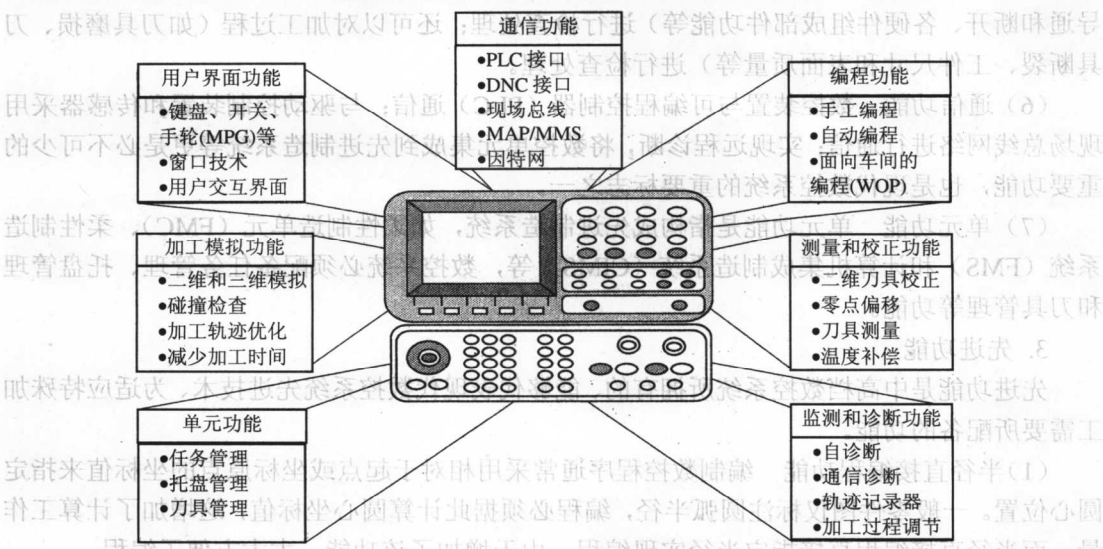


图 1-1 现代数控系统各种可选择功能

(1) 编程功能 数控系统可提供各种数控加工程序的编程工具，有简单手工编程系统、自动编程系统及面向车间的编程（WOP，Workshop Oriented Programming）系统等。自动编程系统使用计算机代替手工编程，程序员根据被加工零件的几何图形和工艺要求，由计算机自动生成数控加工程序。WOP 利用图形编程，操作简单，程序员不需使用抽象的语言，只要以图形交互方式进行零件描述，利用 WOP 系统推荐的工艺数据，根据自己的生产经验进行选择和优化修正，WOP 系统就能自动生成数控加工程序。

(2) 用户界面功能 用户界面是数控系统与操作者之间的界面，是数控系统提供给用户调试和使用机床的全部辅助手段，如用户交互界面、开关、键盘、手轮等人工控制元件，用户可自由查看的过程和信息，可定义的数据和功能键，可规定的软件钥匙，可连接的硬件接口等。友好的用户界面是现代数控系统所大力追求的。

(3) 加工模拟功能 加工模拟功能是虚拟制造技术在数控系统中的初步体现。在进行加工之前，先进行加工过程模拟，编程者可以根据图形模拟的结果检查和优化加工程序。使用与数控装置相连的手轮进行操作时，也可以利用图形加工模拟器实时观察数控系统的运动状况。功能较强的图形加工模拟器还允许操作者通过修改机床和刀具参数，进行不同机床类型

各种刀具的加工模拟。

(4) 测量和校正功能 由于机床机械精度、机械结构受温度、刀具磨损及一些随机因素的影响,会导致加工位置的变化。对经常变化的量(如工件的夹紧位置、刀具磨损和受温度影响导致的主轴伸长等),可借助测量装置、传感器和探测器测出机床、刀具和工件的位置变化,查出相应的校正值进行补偿。对随机误差(如主轴上升误差),通常在开动机床时,在机床上一次性测量,并存入校正存储单元中,用于后续相应操作的校正。

(5) 监测和诊断功能 为了保证加工过程的正确进行,避免机床、工件和刀具的损坏,应使用监测和诊断功能。监测和诊断功能可以对机床(如动态运行状态、几何精度和润滑状态等)进行检查处理;可以对数控系统本身的硬件和软件(如数控系统硬件配置、硬件电路导通和断开、各硬件组成部件功能等)进行检查处理;还可以对加工过程(如刀具磨损、刀具断裂、工件尺寸和表面质量等)进行检查处理。

(6) 通信功能 数控装置与可编程控制器(PLC)通信;与驱动控制装置和传感器采用现场总线网络进行通信;实现远程诊断,将数控单元集成到先进制造系统等更是必不可少的重要功能,也是现代数控系统的重要标志之一。

(7) 单元功能 单元功能是指构成先进制造系统,如柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等,数控系统必须配备任务管理、托盘管理和刀具管理等功能。

3. 先进功能

先进功能是高档数控系统所拥有的、能够代表现代数控系统先进技术、为适应特殊加工需要所配备的功能。

(1) 半径直接编程功能 编制数控程序通常采用相对于起点或坐标原点的坐标值来指定圆心位置。一般零件图仅标注圆弧半径,编程必须据此计算圆心坐标值,这增加了计算工作量。而半径直接编程直接指定半径实现编程。由于增加了该功能,大大方便了编程。

(2) 倒角功能 一般数控系统编程中,对倒角需要专门增加一个零件加工程序段,增加了编程工作量。配置倒角功能的数控系统,可大大简化倒角处理程序。

(3) 恒线速度切削功能 可自动无级调整主轴转速,保证恒定且最佳的线速度切削,以使加工表面的粗糙度保持在均衡和最佳的状态。

(4) 刀尖圆弧半径补偿功能 理想刀尖是绝对尖,而实际刀具的刀尖呈圆弧形。配备刀尖圆弧自动补偿功能的数控系统可以消除编程误差,提高系统的综合精度。

(5) 镜像加工功能 镜像加工也称为轴对称加工。配备镜像加工功能的数控系统,对轴对称形状的工件,只需编出一半加工程序即可,从而大大简化了编程过程。

(6) 自动交换工作台功能 可控制两个工作台自动交换。缩短准备时间,提高生产效率。

(7) 靠模加工与数据采集功能 数控系统可按实物实现靠模加工,数控系统必须配备数据采集系统,通过传感器(通常为电磁感应式、红外或激光扫描式)对实物模型进行测量和数据采集,并对采集到的数据进行自动处理,然后生成加工程序进行加工。

(8) 动力刀具与 C 轴功能 车削中心的主题是数控车床,它还需具有如下三项功能:配置刀库和换刀机械手,大大增加自动选择的刀具数量;动力刀具功能,即刀架上某些刀位可使用回转刀具,如铣头或钻头,然后通过刀架的内部机构,使铣刀、钻头回转;C 轴位置控制功能。一般来说,车削加工只要求主轴的无级变速,以实现恒线速度切削,而对定位分

分辨率和角位置控制未做要求。车削中心的 C 轴（指以 Z 轴为中心的旋转坐标轴）有很高的角度分辨率，如 0.001，可按数控系统的指令做任意低速的回转运动，并能与原 X、Z 轴做插补运动，使车床具有三坐标两联动的轮廓加工功能。

（9）子程序与用户宏程序 在一个程序中，多次出现的程序段，可以当做子程序处理，单独命名，由主程序重复调用。宏程序功能是现代数控系统编程方面所具有的重要功能，也是其他许多先进功能的基础。宏程序的变量有公共变量、局部变量和系统变量三种，可进行加、减、乘、除、逻辑运算和高级函数运算。

（10）循环加工功能 是指数控系统制造商利用宏程序功能将常用的加工步骤复合编制成宏程序，经加密后提供给用户，供用户自由调用。利用循环加工功能可大大减少编程工作量，减少编程错误。

（11）跳步功能 是在数控加工程序不变的前提下，对指令作出执行或不执行的选择。

（12）工件自动检测功能 工件自动检测功能是工件加工好后可由安装在某一刀位上的接触式传感器探针（测头）进行机内检测、判别，并根据测量结果自动修改刀具偏差值；在加工过程中的检测被称为在线检测，是更高级的工件自动检测功能。

（13）螺纹加工中的特殊功能 螺纹加工较为复杂。许多数控系统专门增加了精密螺纹加工功能、变螺距螺纹加工功能等。

（14）同步轴控制功能 是指能使机床两个部件同步运动，如使用两台电动机驱动的重型龙门式结构。

（15）先进伺服控制功能 是指将自动控制理论中的先进控制技术应用用于伺服系统中，可以改进闭环控制的性能，减少跟随误差。

（16）逆动功能 使用数控系统控制某些特种机床（如火焰切割机床等），当火焰熄火时，常需要逆动（沿原轨迹反向移动）至熄火处重新切割。

（17）比例缩放与坐标旋转功能 将程序指定的形状按一定比例放大或缩小，缩放比例一般为 0.001~99.999 倍；也可将程序给定的形状旋转一定的角度。

除了上述三类功能以外，还可为数控系统设置一些其他的功能，如企业和机床数据统计功能、数控加工程序管理功能等。

1.2 数控机床的发展趋势

1.2.1 数控机床的发展水平和趋势

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度以及方便使用，提高可行性。

1. 工序集中

加工中心机床使工序集中在一台机床上完成，减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差，提高了加工精度，同时也减少了机床的台数与占地面积，压缩了工序间的辅助时间，有效地提高了数控机床的生产效率和数控加工的经济效益。

2. 高速、高效、高精度

这三个方面是机械加工的目标，数控机床因其价格昂贵，因此在这三个方面的发展也就更为突出。

(1) 高速 提高切削速度可以减少机动时间。目前数控机床的主轴转速已普遍达 6000r/min (转/分钟), 有的高达 40 000r/min 以上; 切削速度达到 2000m/min (米/分钟)。传统的砂轮线速度为 30~60m/s (米/秒), 目前数控磨床的砂轮线速度已达到 140~150m/s, 甚至高达 500m/s, 磨削进给线速度可达 5~10m/min。

(2) 高效 为了减少机床辅助时间, 提高机床效率, 采取了一系列措施, 如: 缩短换刀时间, 采用新的刀库和换刀机械手, 使选刀动作与机动时间重合; 采用各种形式的交换工作台, 使装卸工件的时间与机动时间重合; 广泛采用脱机编程、实现后台输入修改编辑程序, 前台加工, 缩短新的加工程序在机调试时间。

(3) 高精度 工件的加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前新型数控机床具有很高的分辨率, 达到 0.1 μ m, 有的甚至达到 0.001 μ m。为了提高机床精度, 采用了各种措施和技术来提高机床的动态、静态刚度; 减少热变形, 提高其热稳定性, 克服爬行和提高传动精度。如: 采用新材料丙烯树脂“混凝土”代替铸铁来制造机床床身, 用陶瓷材料和人造花岗岩制造机床的支承件等。

3. 方便使用, 提高可靠性

建立友好的人机对话界面、方便使用、提高数控机床的可靠性也是目前数控机床的一个发展趋势。

(1) 加工编程方便 近年来发展起来的图形交互式编程系统(WOP 又称面向车间编程)很受用户欢迎。这种编程方式不使用 G、M 代码, 而是借助图形菜单, 输入整个图形块以及相应参数作为加工指令, 形成加工程序。这种图形交互编程方法在制定标准后, 可能成为将来数控机床统一的编程方法。

(2) 使用方便 数控机床除普遍采用彩色 CRT 进行人机对话外, 还可以显示说明书、编程指南、润滑指南等信息。

(3) 诊断功能不断发展完善 系统开机时有“起始诊断”功能, 以确认数控系统各部分能否正常工作; 运动时又有“在线诊断”功能。现代数控机床制造厂家已开发出“离线诊断”和“通信诊断”功能。

(4) 可靠性不断提高 目前数控系统平均无故障时间已达 30 000~36 000H (小时)。

1.2.2 数控系统的发展水平和趋势

1. 采用专用微机技术的专业化生产

采用专用微机的专业化生产, 是采用自行开发的专用微机、专用芯片, 其基础技术为厂家所专有, 在国际上有影响的系统有: 德国的西门子(SIEMENS)系统; 日本的法纳克(FANUC)系统; 美国的(A-B)系统等等。

2. 采用通用微机技术的专业化生产

采用通用微机技术的专业化生产开发数控系统, 这样可以避开专有技术的制约, 是一条发展数控技术的捷径, 目前很多机床生产厂商正在借助这一捷径, 生产适销对路的数控机床。

3. 数控系统的微机字长也在不断提高

数控系统的微机字长也在不断提高, 由最早的 8 位机, 后来的 16 位机, 到目前被广泛采用的 32 位机, 现在又有向 64 位机发展的趋势。微机的 CPU 也由单个向多个发展。目前, 高性能的 CNC 数控系统可以同时控制几个轴, 甚至几十个轴(坐标轴、主轴与辅助轴)。另