



现代数控技术

及其发展研究

陈君宝 袁海兵◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代数控技术 及其发展研究

陈君宝 袁海兵◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书系统全面地论述了数控技术的有关内容,突出了内容的先进性、技术的综合性,并力图将数控技术理论与本学科发展的相关新技术、新方法有机地融合。

本书以数控车削加工、数控铣削加工为重点,紧紧围绕现代加工技术的中心环节,详细阐述了市场上广泛使用的 FANUC 系统手工编制程序的步骤和方法,同时对自动编程也做了简要说明。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,可供从事机床数控技术的工程技术人员、研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控技术及其发展研究/陈君宝,袁海兵著.

—北京:中国水利水电出版社,2017.8

ISBN 978-7-5170-5782-6

I. ①现… II. ①陈… ②袁… III. ①数控技术—研究 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 210575 号

书 名	现代数控技术及其发展研究 XIANDAI SHUKONG JISHU JI QI FAZHAN YANJIU
作 者	陈君宝 袁海兵 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 16.75 印张 300 千字
版 次	2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	75.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

在现代制造系统中,数控技术及数控加工是关键技术,它集微电子技术、计算机、信息处理、自动控制、自动检测等高新技术于一体,具有高精度、高效率、柔性自动化等优点,对于制造业实现集成化、智能化及产业升级换代具有不可替代的重要作用。现代数控技术的发展水平真正体现了一个国家机械工业自动化的水平与实力,是衡量一个国家先进制造水平和制造企业技术实力的重要标志。现代数控技术的不断开发研究对于国民经济各行业、国防、科技的现代化具有重要的意义,在科技不断发展和多学科广泛交叉作用中,数控技术的内涵与外延将进一步丰富和扩展,对于提升现代化装备的技术水平会发挥越来越重要的作用。

全书共分9章。第1章为数控技术概论,主要介绍了数控机床的组成与功能、分类与加工特点,以及现代数控技术在机械制造中的应用与发展;第2章为数控加工工艺基础,介绍了数控加工的工艺处理、数控机床的刀具与使用、数控编程的基础知识以及典型零件数控加工工艺;第3章为数控车床编程与加工技术,介绍了数控车削加工工艺处理、数控车床编程、数控车床加工技巧以及数控车削加工实例;第4章为数控铣床编程与加工技术,介绍了数控铣削加工工艺处理、数控铣床编程、数控铣床加工技巧以及数控铣床加工实例;第5章为数控加工中心编程与加工技术,介绍了数控加工中心的工艺处理、加工中心编程、加工中心操作技巧以及操作实例;第6章为数控电火花线切割编程与加工技术,介绍了数控电火花线切割加工工艺处理、数控电火花线切割编程、操作技巧以及加工实例;第7章为其他现代数控特种加工技术的发展,介绍了超声加工、数控激光加工、数控电火花成型加工以及复合加工技术;第8章为伺服驱动系统及位置检测装置,介绍了伺服控制原理、速度控制、伺服驱动控制系统的典型应用以及常用位置检测装置;第9章为数控机床的机械结构,介绍了数控机床的结构及性能实现、数控机床的进给运动及传动机构、数控机床的主传动系统及主轴部件、数控回转工作台。

本书具有以下特点：

(1) 内容丰富，突出重点

本书突出数控编程这一主线，紧紧围绕现代加工技术的中心环节，详细阐述了市场上广泛使用的 FANUC 系统手工编制程序的步骤和方法，同时对自动编程也做了简要说明。本书对编程要求的零件加工工艺、刀具等方面的知识也做了适当的介绍，有助于读者较好地掌握数控机床编程技术基础知识。

(2) 针对性强，适用面广

本书以数控车削加工、数控铣削加工和加工中心为重点，为了便于读者掌握数控机床编程技术，列举了大量典型零件的数控加工编程实例。

(3) 图文并茂，通俗易懂

以实物图代替平面图形，以图片或表格呈现形式为主；书中示例程序后均配有文字说明，以降低认知难度；数控机床操作部分采用大量的与机床面板功能一致的图标，再配合功能说明，使数控机床操作一目了然，也便于读者自主学习。

本书是湖北汽车工业学院陈君宝、袁海兵副教授结合多年的教学实践和相关科研成果而撰写的，凝聚了作者的智慧、经验和心血。在撰写过程中，作者参考了大量的书籍、专著和相关资料，在此向有关专家、编辑及文献原作者一并表示衷心的感谢。由于作者水平所限以及时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

作者

2017 年 6 月

目 录

前 言

第 1 章	数控技术概论	1
1.1	数控基本概念	1
1.2	数控机床的组成与功能	3
1.3	数控机床的分类与加工特点	5
1.4	现代数控技术在机械制造中的应用	11
1.5	现代数控技术的发展趋势	17
第 2 章	数控加工工艺基础	19
2.1	数控加工工艺分析及路线的确定	19
2.2	数控刀具及其使用	24
2.3	数控加工常见的装夹装置	33
2.4	数控程序的结构分析	43
2.5	数控机床常用编程指令	53
2.6	典型零件数控加工工艺分析	57
第 3 章	数控车床编程与加工技术	63
3.1	数控车床概述	63
3.2	数控车削加工工艺处理	65
3.3	数控车床编程	75
3.4	数控车床面板的说明及基本操作	82
3.5	数控车床加工技巧与注意事项	88
3.6	数控车削加工实例	90
第 4 章	数控铣床编程与加工技术	97
4.1	数控铣床概述	97
4.2	数控铣削加工工艺处理	100
4.3	数控铣床编程	102
4.4	数控铣床操作面板的说明及基本操作	112
4.5	数控铣床加工技巧与注意事项	120

4.6	数控铣床加工实例	122
第5章	数控加工中心编程与加工技术	126
5.1	数控加工中心概述	126
5.2	数控加工中心的工艺处理	129
5.3	加工中心编程	130
5.4	加工中心操作面板的说明及基本操作	137
5.5	加工中心操作技巧与注意事项	138
5.6	加工中心操作实例	142
第6章	数控电火花线切割编程与加工技术	149
6.1	数控电火花线切割概述	149
6.2	数控电火花线切割加工工艺处理	151
6.3	数控电火花线切割编程	159
6.4	数控电火花线切割机床操作面板的说明及基本操作	165
6.5	数控电火花线切割机床操作的技巧与注意事项	170
6.6	数控电火花线切割加工实例	172
第7章	其他现代数控特种加工技术的发展	176
7.1	特种加工概述	176
7.2	超声加工技术	179
7.3	数控激光加工技术	183
7.4	数控电火花成型加工技术	191
7.5	复合加工技术	200
第8章	伺服驱动系统及位置检测装置	202
8.1	伺服控制原理	202
8.2	伺服电机及其速度控制	206
8.3	伺服驱动控制系统的典型应用	221
8.4	常用位置检测装置	226
第9章	数控机床的机械结构	235
9.1	数控机床的结构及性能的实现	235
9.2	数控机床的进给运动及传动机构	240
9.3	数控机床的主传动及主轴部件	248
9.4	数控回转工作台	256
	参考文献	260

第 1 章 数控技术概论

在工业生产、国防军工、汽车制造等多个行业和领域中,需要使用到大大小小的各种机器、仪器和工具。这些大型机器都是由一个个小的金属零件组成,金属零件从设计开始到加工成合格的产品一般都需要经过机械加工,机械加工所用到的各种机床。随着计算机技术的发展,数控技术在机床上得到了广泛的应用。

1.1 数控基本概念

数控技术(Numerical Control, NC)是指用数字化信号对控制对象进行控制的方法,也称为数字技术。对于数控机床来说,控制对象就是金属切削机床。

现代数控技术是一门边缘科学技术,它综合了计算机、自动控制、电动机、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果。是现代机械制造业中的高新技术之一。

1. 数字控制

数字控制是相对于模拟控制而言的一种自动控制机床的运动及其加工的技术。数字控制相对于模拟信号而言,它便于储存、加密、传输和再现,数字控制抗干扰性强、可靠性高、集成度高。

2. 数控机床

数控机床(NC Machine)是技术密集度高、自动化程度很高的用计算机通过数字信息来自动控制加工的机床。

3. 数控系统

数控系统(NC System)是一种自动控制系统,它是数控车床的核心,它

的基本任务是接收控制介质上的数字化信息。在数控系统中,数控装置是实现数控技术的关键。数控装置完成数控程序的读入、解释,并根据数控程序的要求对机床进行运动控制和逻辑控制。

4. 计算机数控系统

计算机数控系统(Computerized Numerical Control System,CNC)主要是指以计算机为核心的数控系统。它是由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程序控制器(PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,如图 1-1 所示。

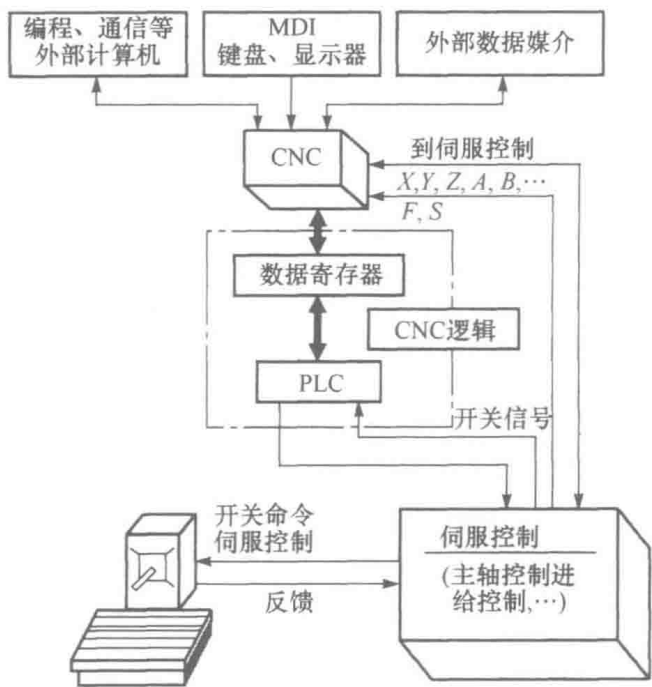


图 1-1 CNC 系统原理

5. 开放式数控系统

所谓开放式系统,就是指应用软件不仅能在某个特定的平台上运行,而且还能在不同的软硬件平台上运行,并且能与其他软硬件协同工作。开放式 CNC 系统的特征如下:

(1) 向用户开放

可以采用先进的图形交互方式支持下的简易编程方法,使数控机床的操作更加容易。

(2) 向机床制造商开放

允许机床制造商在开放式 CNC 系统软件的基础上开发专用的功能模块及用户操作界面。

1.2 数控机床的组成与功能

1.2.1 数控机床的组成

如图 1-2 所示是数控机床的组成框图。数控机床主要由数控装置、进给伺服系统、主轴伺服系统以及反馈装置等部分组成。进给伺服系统包括进给驱动单元、进给电动机和位置检测装置。主轴伺服系统包括主轴驱动单元、主轴电动机和主轴准停装置等。

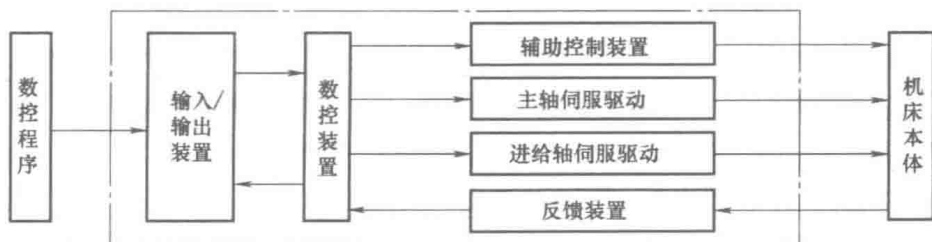


图 1-2 数控机床的组成框图

1. 数控程序

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令，是在零件工艺分析的基础上编制出的描述机床加工过程的程序，是由文字、数字和符号等按一定的规则和格式组成的代码。数控程序可由手工编程或计算机自动编程获得。早期数控程序的载体是程序单或穿孔纸带，现代程序的载体多为电子文档，故程序的载体可以是存储卡、计算机、磁盘等，采用哪种存储介质取决于数控装置的设计。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心部件，现代数控机床都采用计算机数控装置。它包括微型计算机的电路、各种接口电路、CRT 显示器、键盘等硬件以及相应的软件。数控装置能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及实现各种控制功能。

3. 伺服系统及位置检测装置

伺服系统主要由伺服驱动电机、驱动控制系统、位置检测和反馈装置等组成,它是数控系统的执行部分。数控机床进给系统由机床的执行部件和机械传动部件组成,进给系统接收数控装置发来的速度和位移指令信息,然后控制执行部件的进给速度、方向和位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。通常我们将伺服系统分为三类,分别是开环、闭环和半闭环。一般闭环和半闭环伺服系统中,还配备有位置测量装置,直接或间接地测量执行部件的实际位移量。

4. 机床本体及机械部件

数控机床的机床本体与传统机床相近,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。图 1-3 所示为 FANUC 系统数控车床组成框图。

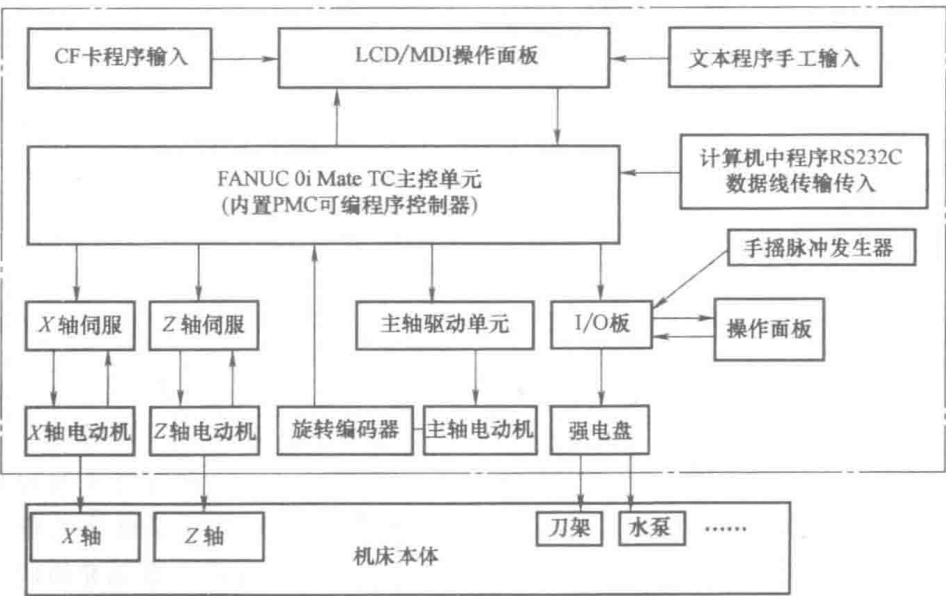


图 1-3 FANUC 系统数控车床组成框图

1.2.2 数控机床的加工过程

数控机床加工工件的过程如图 1-4 所示,具体内容如下:

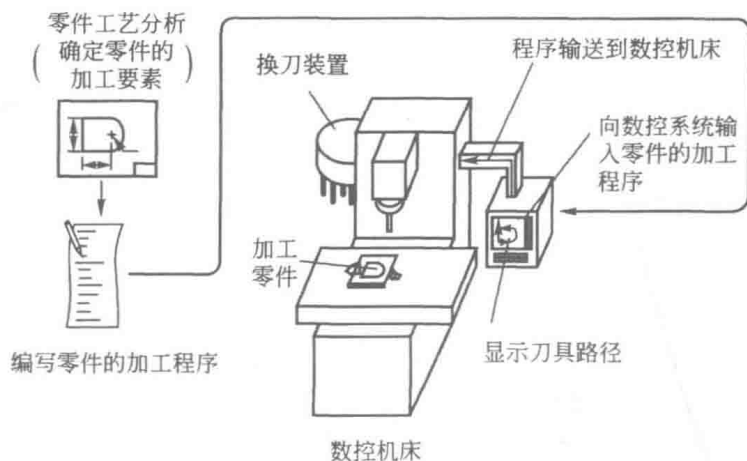


图 1-4 数控机床加工过程

①分析零件加工图样,确定实际可行的加工方案、工艺参数和位移数据。

②编写零件加工程序,常采用的编程方法有手动编程和计算机辅助编程,最后生成零件的加工程序文件。

③程序的输入,可以直接在操作面板上手工输入,也可以用辅助软件生成相应的程序,通过存储卡或计算机的单行通信接口直接传输到数控机床的数控装置。

④校核输入数据装置加工程序。

⑤操作机床完成对零件的加工。

1.3 数控机床的分类与加工特点

1.3.1 数控机床的分类

1. 按加工工艺及机床用途分类

(1) 金属切削类

所谓金属切削类数控机床就是采用了各种切削工艺的机床,常见的切削工艺有车、铣、铰、磨、刨和钻等。它又可分为普通型数控机床和加工中心两大类。普通型数控机床,如数控车床(图 1-5)、数控铣床(图 1-6)、数控磨床(图 1-7)等。加工中心是指带有自动换刀机构和刀具库的数控车床和铣床,如(铣削类)加工中心(图 1-8)、车削中心(图 1-9)等。



图 1-5 数控车床(水平导轨)

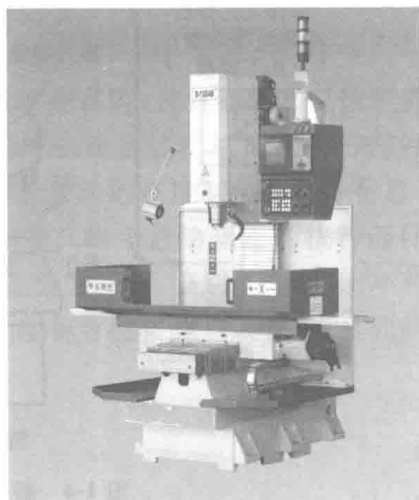


图 1-6 数控铣床(立轴式)



图 1-7 数控磨床(数控外圆磨床)



图 1-8 加工中心



图 1-9 车削中心

(2) 金属成形类

金属成形类数控机床是采用挤、冲、压、拉等工艺过程加工金属的机床，比较常用的金属成型类数控机床有数控压力机(图 1-10)、数控折弯机(图 1-11)、数控弯管机(图 1-12)等。

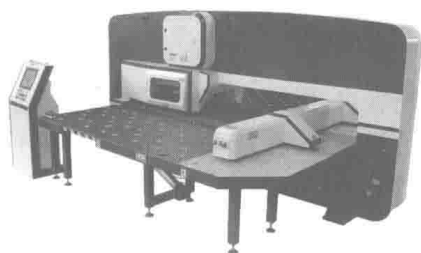


图 1-10 数控压力机

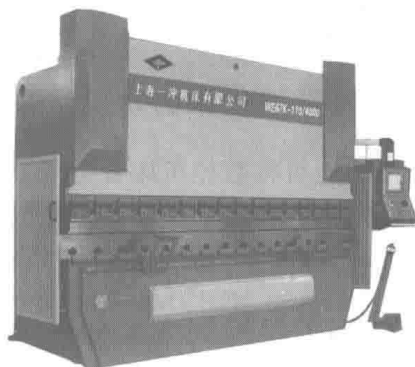


图 1-11 数控折弯机

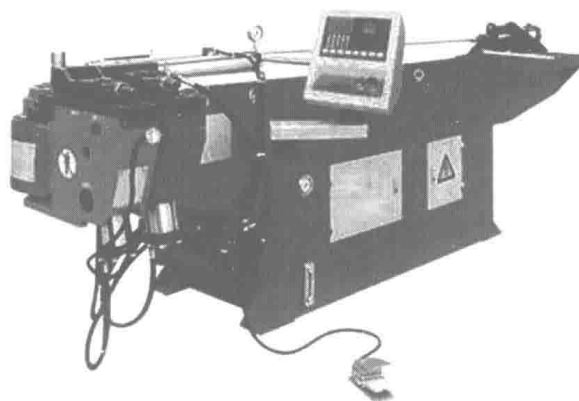


图 1-12 数控弯管机

(3) 特种加工类

特种加工类数控机床主要有数控电火花线切割机床(图 1-13)、数控电火花成形机床(图 1-14)等。

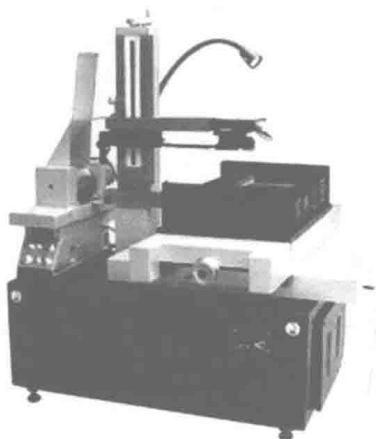


图 1-13 数控电火花线切割机床



图 1-14 数控电火花成形机床

2. 按数控机床的功能水平分类

按功能可将数控机床分为低、中、高三档。其中,中、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控机床。低档数控机床通常称为经济型数控机床,它的功能简单,易于操作。

3. 按伺服控制方式分类

数控机床按伺服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闭环控制数控机床三大类。

①开环控制数控机床,如图 1-15 所示。



图 1-15 开环控制系统

②半闭环控制数控机床,如图 1-16 所示。

③闭环控制数控机床,如图 1-17 所示。

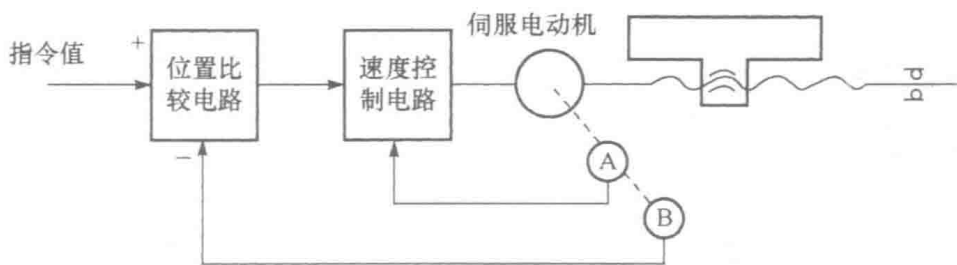


图 1-16 半闭环控制系统

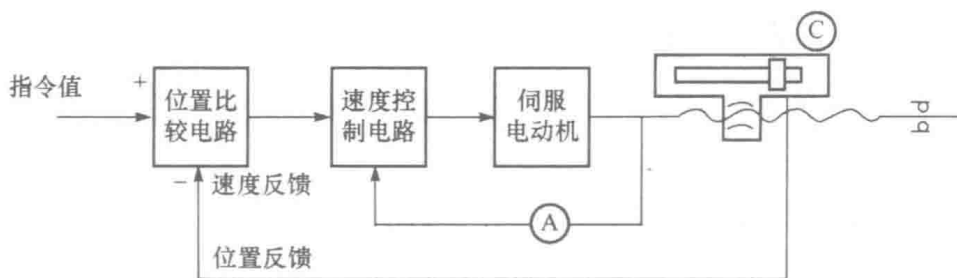


图 1-17 闭环控制系统

4. 按数控系统分类

目前工厂常用数控系统有：FANUC(发那科)数控系统、SIEMENS(西门子)数控系统、三菱数控系统等。每种数控系统又分为不同的型号。例如，发那科系统从 0i 到 23i，西门子系统从 SINUMERIK 802S、802C 到 802D、810D、840D 等。各种数控系统的指令代码、编程要求及面板按键功能都各不相同，编程和加工时应以数控机床说明书为准。

1.3.2 数控机床加工的特点

数控机床与普通机床相比，具有以下特点：

1. 适应性强

适应性是指数控机床对生产对象变化的适应能力。更换生产对象后，只需要重新编写或修改数控加工程序即可实现对零件的加工，不需要重新设计模具、夹具等工艺装备，从而缩短了生产准备周期。

2. 精度高

工作过程不需要人工干预，而是自动工作的，并且通过实时检测装置来

修正或补偿以获得更高的精度。加工尺寸精度在 $0.005\sim 0.01\text{mm}$, 零件的复杂程度不会对加工造成影响。数控机床的操作主要由机器完成, 人为参与的误差大大减小, 保证同批次零件尺寸的一致性, 一些精密的数控机床上还采用了位置检测装置, 更加确保了数控加工的精度。

3. 效率高

数控机床可以采用较大的切削用量, 而且具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化的功能, 省去了大量的辅助性工作, 提高了生产效率。

4. 减轻劳动强度、改善劳动条件

用数控机床加工零件, 不需要进行其他的手工操作, 劳动强度和紧张度大为减轻。

5. 有利于生产管理的现代化

利用计算机辅助系统连接数控机床, 形成 CAD/CAM 一体化系统。机床之间也能建立联系, 从而达到规模性的控制。

1.3.3 数控机床加工的应用范围

随着互联网技术的发展和生产力不断进步, 对机械加工业的要求不断提高。一般来说, 机械加工业中, 占生产总量 80% 以上的是单件和小批量生产的零件, 尤其是在造船、航空、航天等领域这些部门所需零件的加工批量小、频繁改变形状、零件的形状复杂而且精度要求高。为有效地保证产品质量, 提高产能, 这就需要数控机床具有很好的通用性和相应的灵活性, 并且加工过程实现智能化。而在通用机械、汽车、拖拉机、家用电器等制造厂, 大都采用自动机床、组合机床和专用自动生产线, 采用这些高度自动化和高效率的设备一次投资费用大, 生产准备时间长, 不适应频繁改型和多种产品生产的需要。

为了满足多元化单位生产需求, 急需一种灵活的、通用的、适用性广的柔性自动化机床, 数控机床正是在这样的背景下产生与发展起来的。它从根本上解决了上述问题, 使得单件、小批量生产精密零件的加工成为现实。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践, 数控机床一般适应以下零件的加工:

- ①多品种、小批量生产的零件。
- ②形状结构比较复杂的零件。