



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术及应用专业系列

数控机床加工技术

余英良 编著



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控机床加工技术

余英良 编著

高等教育出版社

内容简介

本书内容以数控加工工艺和编程所涉及的相关技术为主线,突出数控工艺设计与数控编程的联系,教材中将车、铣各一套生产型案例的全程知识,以案例法教学分解在各个知识点的学习和与此对应的实训项目中,突出数控工艺设计与数控编程的结合,突出各知识点学习内容和实训项目的结合,突出数控工艺技术与编程技术的实际应用。

本书以讲清概念为前提,以强化应用为重点,为实训的展开奠定基础。与本书配套的教材是《数控车铣削加工案例解析》。

本书的编写定位:以培训中级职业技能数控操作的能力为目标,使用 Siemens 数控系统(或 Fanuc 数控系统)的具体操作为基础,培养岗位适应性较强的、需求量和紧缺性较大的、具有较强数控加工操作技能和较丰富加工工艺知识的数控工艺人员。

本书可作为高职高专数控技术以及相关专业的教材,也可作为成人教育、数控技术培训的教材,也是从事数控加工人员继续再教育的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工技术/余英良编著. —北京:高等教育出版社, 2007. 5

ISBN 978 - 7 - 04 - 021276 - 1

I. 数… II. 余… III. 数控机床 - 加工 - 高等学校 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 047648 号

策划编辑	徐 进	责任编辑	李京平	封面设计	于 涛	责任绘图	朱 静
版式设计	王艳红	责任校对	王 雨	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京铭成印刷有限公司印刷

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 33.75

字 数 830 000

购书热线 010 - 58581118

免费咨询 800 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 5 月第 1 版

印 次 2007 年 5 月第 1 次印刷

定 价 41.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21276 - 00

前 言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。随着科学技术的迅猛发展,数控机床已是衡量一个国家机械制造工业水平的重要标志。我国正在成为世界制造中心,因此大量普及应用数控机床、振兴制造业就成为我国经济发展的当务之急。近年来,我国数控机床的产量以每年超过30%的速度递增,目前我国在役数控机床约20万台。数控机床和制造业的快速发展需要大量能熟练掌握现代数控机床操作、工艺编程和维修的技能型人才,这为高等职业教育提供了广阔的发展空间。

全书内容共12个单元,分别介绍数控机床及其操作、数控加工工艺(工艺路线、装夹方式、刀具、切削用量)、数控编程、数控车削编程实例、数控铣削编程实例、编程技巧等相关实用知识。

针对高等职业教育“突出实际技能操作培养”的要求,本书具有以下鲜明特点:

1. 将有关基础课程内容、专业内容和实训内容整合在一起,既相对独立,又相互呼应。
2. 突出实用性,采用单元式编写模块,每个单元均附以相应的实训项目,系统地进行数控工艺、数控加工编程以及实际操作的实训。
3. 采用理论学习与实训相结合的编写模式,有数控机床实训条件的院校可以按此教材进行;没有数控机床实训条件的院校可以使用数控机床仿真软件辅助进行教学,也可以使用教学课件辅助进行教学。可以将理论和实训的对应内容合并进行教学,也可以将理论知识与实训内容分开进行。
4. 将数控车床(数控铣床)编程、数控车床(数控铣床)加工工艺分单元编写,这样可以在理论教学中突出不同的机床编程和工艺特点,又可以在实训中分班分别同时进行,能够大大提高数控基地的利用率。
5. 考虑到实际技能培养和数控技术在实际使用中的需要,给出了一套在生产实际中应用的数控加工工艺文件范本供参考选用。
6. 编写时突破以往教材数控编程的模式,将数控5大指令功能糅和在一起,按照加工程序实际执行的先后顺序,分为几类指令组进行学习编程,每类指令组均附以实训项目,这样更有利于数控编程的学习和实际操作的需要。
7. 在编程实训中,将零件分解为各种零件结构,按照零件结构识图→刀具选择→工件坐标系设定→确定刀具运行轨迹路线→轨迹节点计算→选定切削参数→程序编制→程序输入仿真或数控系统→(实际操作)零件装夹→零件校正→安装刀具→对刀→设置数控系统辅助参数→试切→测量→修正程序→正式加工的模式进行练习实训,掌握各种零件结构数控加工编程的格式内容后,就可以充分发挥学习者的潜能,组合演绎出变化万千的各种类型零件的加工方法。

本书内容涵盖了数控技术在实际应用如刀具、装夹、切削用量、车削工艺、铣削工艺、数控机床操作和数控编程等中的相关知识。在各单元知识的学习过程中,共设置了40个实训项

目约 200 个实训小项,目的就在于加深和检验学生对所学知识的理解与实际掌握程度。就学习而言,此时所掌握的知识还是离散的和相对独立的,如能将这些已经掌握的知识综合起来,达到融会贯通,就能形成数控加工的实际能力。实现这个目标的具体做法就是将已经完成的各个单元的实训报告汇总并重新整合,并将其内容在数控机床或数控仿真系统上通过实际调试加工。这样既是对实训项目的复习总结和升华,同时也就自然而然地形成了本课程的课程设计。书中给出了“教学型”课程设计和“生产型”课程设计,即在数控工艺文件指导下进行的数控加工(其中包含普通工艺和数控工艺的相互衔接)。本书的配套教材是《数控车铣削加工案例解析》,详细进行了 10 个车削加工案例、10 个铣削加工案例、4 个车铣削加工综合案例的解析,目的在于数控加工能力的进一步提高。

本书以培训中级职业技能数控操作能力为目标,以 SIEMENS 数控系统(或 FANUC 数控系统)的具体操作为基础,培养岗位适应性较强的、需求量和紧缺性较大的、具有较强数控加工操作技能和较丰富加工工艺知识的数控编程工艺人员。

全书由漯河职业技术学院余英良编写,由天津大学数字化制造与测量技术研究所所长王太勇教授审阅编写结构,北京航空航天大学宋放之教授审稿。另外,天津天大精益数控技术有限公司对本书的编写给予了大力帮助和支持。本书在编写过程中还参阅了大量国内教材和数控公司的资料、说明书。在此一并感谢。

限于编写水平,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2007 年 1 月

目 录

单元 1 数控机床概述	1
一、数控机床的产生和发展	1
二、数控机床的组成	2
三、数控机床的工作原理	4
四、数控机床的分类	4
五、数控机床的性能指标与功能	8
六、数控机床的特点	10
七、数控机床的主体结构	12
八、典型数控系统简介	14
九、实训项目 1 认识数控机床的结构与组成,数控机床加工演示	16
十、实训项目 2 数控车床的基本操作	16
十一、实训项目 3 数控铣床的基本操作	23
单元 2 数控加工工艺概述	30
一、数控加工工艺的基本特点和主要内容	30
二、数控加工工艺分析的一般步骤与方法	31
三、数控加工工艺文件	37
单元 3 数控机床装夹方式	43
一、数控机床工装夹具介绍	43
二、数控车床零件基准和加工定位基准	44
三、数控车床通用夹具	46
四、数控车床的装夹校正	51
五、实训项目 4 数控车床零件装夹与校正操作	51
六、数控铣床零件定位基准与装夹	60
七、数控铣床夹具与安装	63
八、数控铣床的装夹校正	69
九、实训项目 5 数控铣床零件装夹与校正操作	70
复习思考题	78
单元 4 数控刀具与选用	81
一、数控机床对刀具的要求	81
二、数控刀具的种类	82
三、数控刀具的特点和性能要求	85
四、数控机床所用刀具材料的类型与选择	86
五、数控刀具的失效形式	90
六、数控可转位刀片与刀片代码	92
七、数控可转位刀片的夹紧	93
八、数控车削刀具(可转位刀片)的选择	94
九、数控车床刀具的装夹	97
十、实训项目 6 数控车床加工刀具以 及装夹训练	99
十一、数控铣削刀具的选择	104
十二、对刀仪与对刀块	108
十三、实训项目 7 数控铣削加工刀具以 及装夹训练	110
十四、实训项目 8 认识数控机床的刀 库及其换刀机构的 部件	118
复习思考题	119
单元 5 数控加工的切削用量	120
一、数控车削加工与刀具	121
二、数控车削加工切削用量的选择	129
三、数控铣削加工与刀具	134
四、数控铣削加工切削用量的选择	141
五、实训项目 9 数控车床加工中不同切 削用量的演示与实训	142
实训项目 10 数控铣床加工中不 同切削用量的演示 与实训	142

复习思考题	143	六、实训项目 17 轴类零件结构车削加工实训	258
单元 6 数控车削加工工艺	144	七、实训项目 18 套类零件结构车削加工实训	285
一、数控车削加工工艺	144	八、实训项目 19 数控车床加工运行类指令编程实训	299
二、数控车削工艺零件分析举例(教学型)	158	九、实训项目 20 螺纹加工指令实训	305
三、实训项目 11 数控车削加工工艺实训(生产型)	162	十、循环加工类指令	313
复习思考题	170	十一、实训项目 21 螺纹循环加工指令实训	323
单元 7 数控铣削加工工艺	171	十二、实训项目 22 轴(套)类零件循环加工指令实训	326
一、数控铣削加工工艺的主要内容	171	十三、返回类指令	328
二、数控铣削加工工艺与工艺分析的一般步骤和方法	172	十四、刀具补偿指令	330
三、数控铣削工艺分析举例(教学型)	190	十五、实训项目 23 刀具补偿指令实训	336
四、实训项目 12 数控铣削加工工艺实训(生产型)	193	十六、子程序指令	336
复习思考题	202	十七、实训项目 24 子程序编制及加工实训	337
单元 8 数控编程基础	203	复习思考题	339
一、数控编程概述	203	单元 10 数控车床编程实例	341
二、数控编程的内容和步骤	204	一、数控车削加工实例(教学型)	341
三、机床坐标系和运动方向	209	二、实训项目 25 数控车削加工轴类零件实例(生产型)	351
四、工件坐标系和运动方向	214	三、实训项目 26 数控车削加工套类零件实例(生产型)	367
五、数控系统的准备功能和辅助功能	215	四、实训项目 27 数控车削加工实例练习(生产型)	379
六、实训项目 13 数控车削加工工件坐标系的建立与对刀	220	复习思考题	381
七、实训项目 14 数控铣削加工工件坐标系的建立与对刀	228	单元 11 数控铣床的程序编制	382
八、实训项目 15 测量(游标卡尺、千分尺、百分表、万能角度尺)	235	一、数控铣床铣削加工的主要功能	382
复习思考题	247	二、数控铣床加工准备类指令(SIEMENS 数控系统)	383
单元 9 数控车床的程序编制	248	三、实训项目 28 数控铣床加工准备类指令编程实训	387
一、数控车床编程指令的功能	248	四、数控铣床基本加工类指令	388
二、数控车床编程的特点	249	五、实训项目 29 零件(外形)基本结构铣削加工实训	390
三、数控车床加工准备类指令(FANUC 数控系统)	250	六、实训项目 30 零件(内形)基本结构数控铣削加工实训	415
四、实训项目 16 数控车床加工准备类指令编程实训	253		
五、数控车床基本加工类指令	255		

七、实训项目 31 数控铣床加工运行类 指令编程实训	441	实训	464
八、数控铣床加工轨迹运行编 辑类指令	444	十八、循环加工类指令	465
九、实训项目 32 数控铣床加工轨迹运 行编辑类编程实训 ...	447	十九、实训项目 37 钻孔循环加工编程 实训	471
十、转移跳转类指令	449	二十、子程序指令	475
十一、实训项目 33 转移跳转类指令编 程实训	450	二十一、实训项目 38 数控铣床子程序 编程实训	479
十二、坐标偏置类指令	452	复习思考题	480
十三、实训项目 34 坐标偏置类指令编 程实训	456	单元 12 数控铣床编程实例	488
十四、刀具补偿类指令	457	一、数控铣削加工实例(教学型)	488
十五、实训项目 35 刀具补偿实训	460	二、实训项目 39 数控铣削加工实例 (生产型)	501
十六、返回类指令	463	三、实训项目 40 数控铣削加工实例练 习(生产型)	529
十七、实训项目 36 返回类指令编程		复习思考题	530
		参考文献	531

单元 1

数控机床概述

单元导读

学习数控加工技术的目的是为了掌握它并且能够运用它进行工作,因此就必须了解和熟悉数控机床。本单元学习数控机床,并通过实际演示加深了解和掌握数控机床的程度。

学习目标

掌握数控机床的工作原理;了解数控机床的分类与特点;了解数控机床的组成和主体部件的结构,了解、掌握典型数控系统 FANUC、SIEMENS 的机床操作。

学习重点

数控机床的组成和主体部件的结构。

掌握典型数控系统 FANUC、SIEMENS 的机床面板操纵,了解典型数控系统 FANUC、SIEMENS 的机床使用。

一、数控机床的产生和发展

数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)简称数控(NC),是近代发展起来的一种自动控制机床,通过数字信息自动控制机床的运转。数控机床的加工程序和运动变量(如坐标方向、位移量、轴的转向和转速等)通过数控装置自动控制,同时具有自动换刀、自动测量、自动润滑和自动冷却等功能。

数控机床的发展完全依赖于数控系统的发展。自 1952 年美国研制出第一台数控铣床起,数控系统经历了两个阶段和六代的发展。

1. 数控(NC)阶段(1952—1970 年)

早期计算机的运算速度低,这虽然对当时的科学计算和数据处理影响并不大,但却不能适应机床适时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这被称为硬件连接数控(Hard-wired NC),简称为数控(NC)。随着元器件的发展,这个阶段经历了三代,即:

第一代数控:1952—1959 年采用电子管元件构成的专用 NC 装置。

第二代数控:1959—1964 年采用晶体管电路的 NC 装置。

第三代数控：1965—1970 年采用小、中规模集成电路的 NC 装置。

2. 计算机数控(CNC)阶段(1970 至今)

到 1970 年，通用小型计算机已批量生产，其运算速度比五六十年代有了大幅度的提高，这比专门“搭”成的专用计算机成本低、可靠性高，于是将它移植过来作为数控系统的核心部件，从此进入了计算机数控(CNC)阶段。随着计算机技术的发展，这个阶段也经历了三代，即：

第四代数控：1970—1974 年采用大规模集成电路的小型通用计算机数控系统。

第五代数控：1974—1990 年应用微处理器的计算机数控系统。

第六代数控：1990 年以后，PC(个人计算机,国内习惯称微机)的性能已发展到很高的阶段，可满足作为数控系统核心部件的要求，数控系统从此进入了基于 PC(PC - BASED)的时代。

二、数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成，如图 1-1 所示。

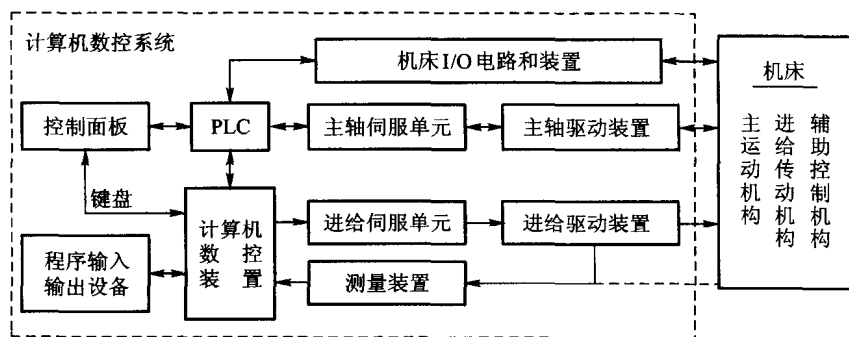


图 1-1 数控机床的组成

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零件加工程序或操作命令进行相应的处理，然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等)，完成零件加工程序或操作者的要求。所有这些工作都由 CNC 装置协调控制、合理组织，使整个系统有条理地工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等组成。

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测量装置，它是实现主轴、进给速度闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。主轴伺服系统的作用是实现零件加工的切削运动，其控制量为速度。进给伺服系统的作用是实现零件加工所需的成形运动，其控制量为速度和位置，特点是能够灵敏、准确地实现 CNC 装置的速度和位置指令。

3. 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。操作人员可以通过它对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解和查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的一个输入输出部件,主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能同于计算机键盘)和显示器等组成。

4. 程序输入输出设备

程序输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交换的装置,其作用是将零件加工程序输入 CNC 系统,或将调试好的零件加工程序通过输出进行存储。目前数控机床的程序输入输出设备是磁盘和磁盘驱动器等。

此外,现代数控系统还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)/CAM(计算机辅助制造)集成、FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)的基本技术。目前在数控机床上常用的通信方式有:

- (1) 串行通信。
- (2) 自动控制专用接口。
- (3) 网络技术。

5. PLC、机床 I/O(输入/输出)电路和装置

PLC 是用二进制与逻辑运算来控制与顺序动作有关的 I/O 电路,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用来实现 I/O 控制的执行部件,由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成。它们共同完成以下任务:

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

(2) 接收操作面板和机床传送来的 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. 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现零件加工的执行部件。它主要由主运动机构(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)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置、自动工作台交换(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)组成。

数控机床的组成相对于普通机床有以下几个特点:

(1) 由于采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,数控机床的机械传动装置得到了简化,传动链较短。

(2) 数控机床的机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能。

(3) 数控机床较多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

要点提示:

- ◆ 数控机床由哪些部分组成?各有什么作用?

三、数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-2 所示。首先根据被加工零件的状态、尺寸及工艺要求等,手工或通过计算机进行零件加工程序编制,把加工零件所需的机床各种动作及工艺参数变成数控装置所能接受的程序代码,然后经输入装置送入数控装置。进入数控装置的信息经一系列的处理和运算转变成脉冲信号,有的脉冲信号传送到机床的伺服系统,经传动装置驱动机床有关运动部件;有的脉冲信号则传送到可编程控制器中,按顺序控制机床的其他辅助动作,如工件夹紧、松开、冷却液的开闭、刀具的自动更换等。

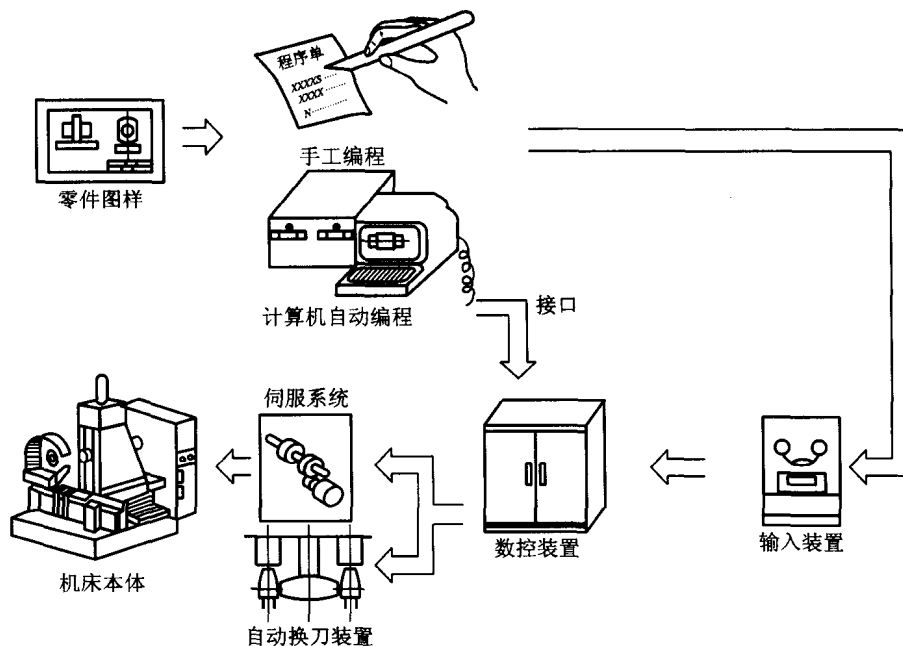


图 1-2 数控机床工作原理示意图

四、数控机床的分类

数控机床的种类很多,从不同角度出发就有不同的分类方法,通常有以下几种分类方法。

1. 按控制功能分类

(1) 点位控制数控机床

这类数控机床能控制两个坐标轴带动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),然后控制第三个坐标轴进行钻削、镗削等切削加工。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,因此对运动轨迹没有要求。点位控制数控机床主要用于平面内的孔系加工,包括点位控制数控钻床、点位控制数控镗床、点位控制数控冲床等。

(2) 直线控制数控机床

这类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度从一个点沿一条直线准确地移动到下一个点,移动过程中能进行切削加工,根据切削条件和加工材料的不同,进给速度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,驱动动力头带动多轴箱沿工件轴向进给方向进行钻削、镗削等切削加工,它可以算作一种直线控制数控机床。

(3) 轮廓控制数控机床

这类数控机床具有控制沿几个坐标轴同时协调运动的功能即多坐标轴联动的功能,可使刀具相对于工件按程序指定的轨迹和速度运动,在运动过程中能进行连续切削加工。这类数控机床包括用于加工曲线和曲面零件的数控车床、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。根据其联动轴数还可细分为2轴联动(X 、 Z 轴联动或 X 、 Y 轴联动)、2.5轴联动(任意二轴联动,第三轴周期进给)、3轴联动(X 、 Y 、 Z 三轴联动)、4轴联动(X 、 Y 、 Z 和 A 或 B 四轴联动)、5轴联动(X 、 Y 、 Z 和 A 、 C 或 X 、 Y 、 Z 和 B 、 C 或 X 、 Y 、 Z 和 A 、 B 五轴联动)的数控机床。联动坐标轴数越多则加工程序的编制越复杂,通常三轴联动以上的零件加工程序均采用自动编程系统编制。

2. 按进给伺服系统类型分类

按数控系统的进给伺服系统有无位置测量反馈装置可分为开环数控机床和闭环数控机床。闭环数控机床根据位置测量装置安装的位置不同又可分为全闭环和半闭环数控机床两种。

(1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统,图1-3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测量反馈装置,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,相对闭环系统而言,控制精度不高,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。这类数控机床一般以步进电动机作为伺服驱动元件,具有机构简单、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、驱动力矩不大的场合开环数控机床得到广泛应用。

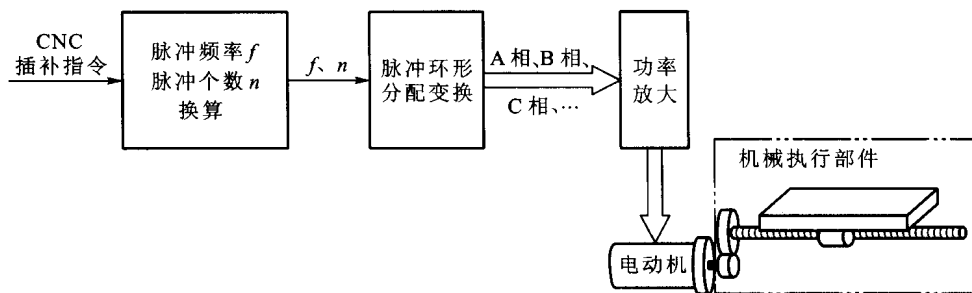


图 1-3 开环进给伺服系统简图

(2) 半闭环数控机床

半闭环数控机床采用半闭环进给伺服系统,图1-4所示为半闭环进给伺服系统简图。半闭环数控系统的位置检测点从驱动电动机(常用交、直流伺服电动机)或丝杠端引出,是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。由于在半闭环路内不包括或只包括少量机械环节,因此可获得较稳定的控制性能。

这类数控系统的稳定性虽不如开环系统，但比闭环系统要好。另外，在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正，如位置环处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均可通过软件进行补偿以提高机床系统的运动精度，因此半闭环数控机床得到了广泛应用。

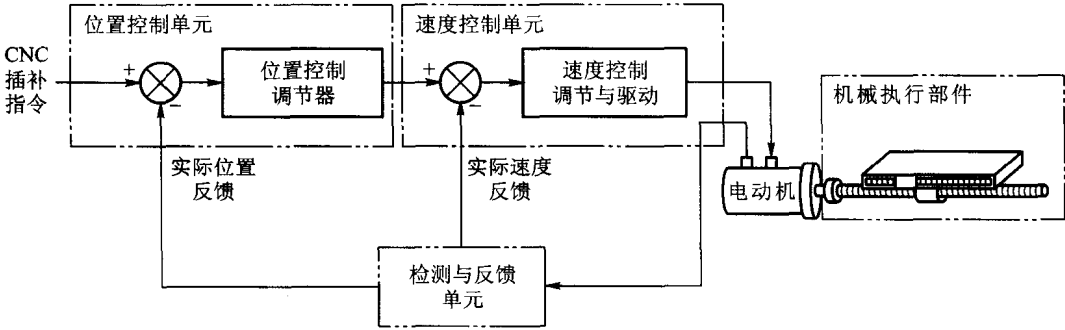


图 1-4 半闭环进给伺服系统简图

(3) 闭环数控机床

闭环数控机床采用闭环进给伺服系统，图 1-5 所示为闭环伺服系统简图。闭环进给伺服系统的位置检测点如图 1-5 中的点划线所示，它直接对工作台的实际位置进行检测。理论上讲，闭环数控机床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。但由于位置环系统的设计、安装和调试都有相当的难度，且对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求，因此闭环数控机床价格昂贵。闭环进给伺服系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

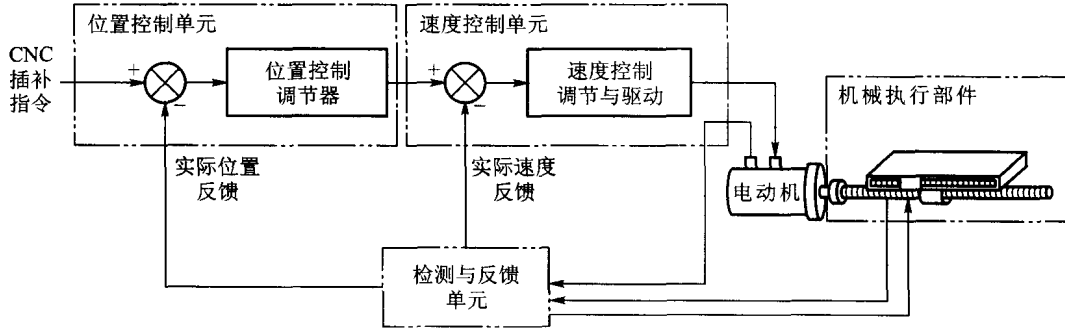


图 1-5 闭环进给伺服系统简图

3. 控工艺用途(机床类型)分类

(1) 切削加工类数控机床

在常用的车床、铣床、刨床、磨床、镗床、插床、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。例如，在数控磨床中不仅有数控外圆磨床、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

(又称导轨磨削中心)等, 还有工艺范围更宽的车削中心、加工中心、柔性制造单元(FMC)等。

(2) 成形加工类数控机床

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、数控旋压机等。

(3) 特种加工类数控机床

指具有特种加工功能的数控机床, 如数控电火花成形机床、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、数控激光板料成形机床、数控等离子切割机等。

(4) 其他类型数控机床

是指一些广义上的数控设备, 如数控装配机、数控测量机、机器人等。

4. 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平有两种分法。一种是把数控机床分为高、中、低档(经济型)数控机床。这种分类方法在我国应用较普遍。目前高、中、低档的界限还没有一个统一的界定标准, 加之不同时期划分的标准也不同, 故这种分类的指标限定仅供参考。高、中、低档数控系统功能水平界定指标见表 1-1。

表 1-1 高、中、低档数控系统功能水平指标

功 能	低 档	中 档	高 档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	8 ~ 15	15 ~ 24	15 ~ 100
驱动轴数/轴	开环	半闭环或闭环直流或交流伺服系统	
通信功能	2 ~ 3	2 ~ 4	3 ~ 5 以上
显示功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口, 有联网能力
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位或 32 位以上的多 CPU	

注: ① MAP - Manufacturing Automation Protocol, 制造自动化协议。

② 较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的显示。

另一种分类是将数控机床分为经济型(简易)、普及型(全功能)和高档型数控机床。全功能型并不追求过多功能, 以实用为准, 也称为标准型。经济型数控机床是根据实际机床的使用要求合理地简化系统, 降低价格。在我国, 经济型数控机床是指装备了功能简单、价格低、使用操作方便的低档数控系统的机床、线切割机及进行数控化改造的机床等。

要点提示:

- ◆ 数控机床的分类通常是如何划分的?
- ◆ 数控机床按照其控制功能, 可以分成哪几类?
- ◆ 什么是开环、闭环、半闭环数控机床? 它们之间有什么区别?

五、数控机床的性能指标与功能

1. 数控机床的主要性能指标

(1) 数控机床的主要技术规格

数控车床主要的技术规格有床身尺寸、刀架最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等；数控铣床主要的技术规格有工作台、工作台 T 形槽、工作台行程等。

(2) 数控机床的运动指标

数控机床主轴采用直流或交流伺服电动机驱动，选用高速精密轴承支撑，保证主轴的转动具有较宽转速范围、较高回转精度以及较高的刚度和抗震性。现代数控机床的主轴转速普遍达到 5 000 ~ 15 000 r/min，甚至更高。主轴转速可以通过操作面板上的“主轴转速倍率”开关直接改变，其调节范围为 50% ~ 120%，每挡间隔为 5% ~ 10%。

(3) 数控机床的精度指标

1) 单位位移精度(脉冲当量)

单位位移精度是影响数控机床加工精度和表面质量的主要因素，因而是数控机床的重要精度指标。普通数控机床的单位位移精度是 0.001 mm，经济型数控机床的单位位移精度为 0.01 mm，精密或超精密数控机床的单位位移精度为 0.001 ~ 0.000 1 mm。

2) 定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件所达到的实际位置的精度。实际位置与指令位置的差值为定位误差，引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统的误差，以及运动部件的几何误差。定位误差将直接影响零件加工的精度，一般数控机床的定位精度为 0.001 ~ 0.018 mm。

3) 重复定位精度

重复定位精度是指在相同的条件下，采用相同的操作方法，重复进行同一动作时得到一致性的程度。一般数控机床的重复定位精度为 0.008 mm。

(4) 刀具系统指标

数控机床包括刀架工位数、刀具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间等各项内容。加工中心刀库的容量与换刀时间直接影响着生产效率。通常数控车床的刀架容量为 4 ~ 8 刀位，中小型加工中心的刀库容量为 16 ~ 60 把，大型加工中心的刀库容量为 100 把以上。

(5) 其他指标

除了以上性能指标外，还有主轴变频电动机和进给伺服电动机的规格型号和功率等电气指标、冷却系统指标、数控机床外形尺寸、机床重量等。

2. 数控机床的主要功能

(1) 可控轴数与联动轴数

可控轴数是指数控系统最多可以控制的坐标轴数目，包括移动轴和回转轴。联动轴数是指数控系统按照加工要求控制同时运动的坐标轴数目。

(2) 插补功能

所谓插补就是在工件轮廓的某起始点和终止点之间进行“数据密化”，并求取中间点的过

程。插补功能是指数控机床能够实现的线性加工能力。

由于直线和圆弧是构成零件轮廓的基本几何元素，所以绝大多数数控系统都具有直线和圆弧的插补功能。而椭圆、抛物线、螺旋线等复杂曲线的插补，只有高档数控系统或特殊需要的数控系统才具备。

(3) 进给功能

数控系统的进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、点动进给、进给倍率修调、自动加减速等功能。

(4) 主轴功能

数控系统的主轴功能包括恒转速控制、主轴定向停止、主轴转速修调等。

恒转速控制即主轴自动变速，使刀具相对于切削点的线速度保持不变。主轴定向停止也称为主轴准停，即在换刀和精镗孔后退刀等动作开始之前，主轴在工件圆周方向实现准确定位。

(5) 刀具补偿功能

刀具补偿功能包括刀具位置补偿、刀具半径补偿和刀具长度补偿。位置补偿是对刀具刀尖位置变化、刀具在进行换刀后位置变化的补偿；刀具半径补偿是对车刀刀尖半径、铣刀半径变化等的补偿；刀具长度补偿是指沿加工深度方向对刀具长度变化的补偿。

(6) 操作功能

数控机床通常有单程序段执行、跳段执行、试运行、图形模拟、机械锁住、暂停和急停等功能，有的还有软件操作功能。

(7) 程序管理功能

数控系统的程序管理功能是指对加工程序的检索、编辑、修改、插入、删除、更名和程序的存储、通讯等。

(8) 图形显示功能

一般的数控系统都具有 CRT 显示，可以显示字符和图形，还可以动态显示刀具轨迹实现人机对话、自诊断等，具有刀具轨迹的动态显示。高档的数控系统还具有三维图形显示功能。

(9) 辅助编程功能

除基本的编程功能外，数控系统通常还具有固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转、极坐标等编程功能，可以减少手工编程的工作量和减小编程的难度。

(10) 自诊断报警功能

现代数控系统具有人工智能故障诊断系统，可以实现对整个加工过程的监视，诊断数控系统的故障，并及时报警。这种系统是以专家们所掌握的各种故障原因及其处理方法为依据而开发出来的应用软件。操作者只要回答显示器中提出的简单问题，就能和专家一样诊断出数控机床的故障原因并找到排除故障的方法。

(11) 通信功能

数控系统一般都配有 RS-232C 或 RS-422 远距离串行接口，可以按照用户的格式要求与同一级计算机进行多种数据交换。现代数控系统大都具有制造自动化协议(MAP)接口，并采用光缆通信，提高数据传送的速度和可靠性。