



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

数控编程与操作

主 编 李英平

结合数控系统及机床介绍指令
数控编程与操作知识无缝结合
习题丰富，全面强化学习效果



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

数控编程与操作

主 编 李英平
副主编 马世强 赵昌龙



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书共分5章, 主要内容包括数控编程基础、常用编程指令及数学处理、数控车床编程与操作、数控铣床和加工中心编程与操作、Mastercam X2 软件自动编程。本书注重理论与实践相结合, 把指令与相关操作一并讲解, 除讲解大量实例外, 每章都附有练习与思考题供读者选做。其中, 第5章结合实例介绍了 Mastercam X2 软件的造型功能和加工功能。

本书是机械类专业本科生教材, 也可作为机械类高职高专教学和技能考核培训用书, 还可作为工厂人员操作和编程的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作/李英平主编. —北京: 北京大学出版社, 2012. 8

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-20903-5

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—程序设计—专业学校—教材②数控机床—操作—专业学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 139851 号

书 名: 数控编程与操作

著作责任者: 李英平 主编

策划编辑: 林章波

责任编辑: 童君鑫

标准书号: ISBN 978-7-301-20903-5/TH·0300

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市博文印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 273 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

数控加工程序的编制及基本操作是机械类学生应具有的基本知识和技能。随着数控机床的普及,现代企业对于懂得数控工艺、操作、编程、设计的技术人才的需求量越来越大,工科院校的学生和企业技术人员都迫切希望了解和掌握数控编程与操作的知识及相应技能。为了适应这种发展的需要,根据高等院校应用型本科人才培养的教学要求,编者编写了本书。

本书编写的指导思想立足于理论与实践相结合,在讲解数控编程指令应用的同时,基于数控机床仿真软件,结合 FANUC 0i 数控系统及机床介绍其具体指令的实现和操作,使编程与操作无缝结合,这也是本书的特点之一。

全书共分 5 章。第 1 章为数控编程基础,主要介绍数控机床的产生及发展、数控机床及数控加工的特点、数控机床的组成及分类、数控编程的基础知识和程序编制中的工艺分析;第 2 章为常用编程指令及数学处理,主要介绍常用编程指令及数控编程中的数学处理;第 3 章为数控车床编程与操作,主要介绍数控车床编程基础、数控车床的基本操作、工件坐标系的建立与刀具补偿、刀尖圆弧半径补偿与刀具磨损补偿、数控车床常用指令的编程方法,并介绍了典型数控车床编程及仿真加工实例;第 4 章为数控铣床和加工中心编程与操作,介绍了数控铣床概述、数控铣床编程基础、数控系统的功能、数控铣床的基本操作、工件坐标系的建立与刀具补偿、数控铣床与加工中心基本编程方法,并给出数控铣床与加工中心的编程与操作实例;第 5 章为 Mastercam X2 软件自动编程,介绍了 Mastercam X2 基础知识、二维图形的绘制与编辑、三维线架造型与曲面造型及三维实体造型的建模方法,并结合实例介绍了 Mastercam X2 二维铣床加工系统、三维曲面加工的主要加工方法。各章末均配有练习与思考题。

本书由长春大学从事多年数控技术及编程教学的教师编写,是编者多年教学经验的总结。本书由李英平担任主编,马世强、赵昌龙为副主编。本书第 3 章、第 5 章由李英平编写,第 4 章由马世强编写,第 1 章、第 2 章由赵昌龙编写。全书由李英平统稿。

由于编者的水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 数控编程基础	1
1.1 数控机床的产生及发展	2
1.1.1 数控机床的产生	2
1.1.2 数控机床的发展	3
1.2 数控机床及数控加工的特点	4
1.2.1 数控机床	4
1.2.2 数控加工的特点及应用	5
1.3 数控机床的组成及分类	6
1.3.1 数控机床的组成	6
1.3.2 数控机床的分类	7
1.4 数控编程概述	10
1.4.1 数控编程概念	10
1.4.2 数控编程的方法	11
1.5 数控编程的基础知识	12
1.5.1 数控编程中的程序代码	12
1.5.2 程序结构与格式	12
1.5.3 坐标系	13
1.5.4 数控机床的回零	15
1.6 程序编制中的工艺分析	16
1.6.1 数控加工工艺的主要 内容	16
1.6.2 数控加工工序的划分	16
1.6.3 加工路线的确定	16
1.6.4 对刀点和换刀点的确定	18
1.6.5 切削用量的确定	19
1.6.6 零件的安装和夹具的 选择	20
1.6.7 数控加工的工艺文件	22
练习与思考题	22
第 2 章 常用编程指令及数学处理	24
2.1 常用编程指令	25
2.1.1 绝对坐标尺寸与增量坐标 尺寸指令 G90、G91	25
2.1.2 预置寄存指令 G92	26
2.1.3 坐标平面选择指令 G17、 G18、G19	27
2.1.4 快速点定位指令 G00	27
2.1.5 直线插补指令 G01	27
2.1.6 圆弧插补指令 G02/G03	28
2.1.7 刀具半径补偿指令 G40、 G41/G42	31
2.2 程序编制中的数值计算	32
2.2.1 基点和节点的计算	33
2.2.2 程序编制中的误差	33
练习与思考题	34
第 3 章 数控车床编程与操作	36
3.1 数控车床编程基础	38
3.1.1 数控车床的编程特点	38
3.1.2 数控系统的功能	39
3.1.3 数控车床的加工工艺 概述	40
3.1.4 对刀	43
3.2 数控车床的基本操作	44
3.2.1 斯沃数控仿真软件简介	44
3.2.2 数控车床的基本操作	44
3.3 工件坐标系的建立与刀具补偿	49
3.3.1 用 G50 指令建立工件 坐标系	50
3.3.2 用 G54(或 G55~G59)指令 建立工件坐标系	51
3.3.3 以任意位置建立工件 坐标系	51
3.3.4 刀具补偿	52
3.4 刀尖圆弧半径补偿与刀具磨耗 补偿	53
3.4.1 刀尖圆弧半径补偿	53
3.4.2 刀具磨耗补偿	55
3.5 数控车床常用指令的编程方法	57

3.5.1 外径切削固定循环指令 G90	57	4.5.1 对刀方法	93
3.5.2 端面切削固定循环指令 G94	58	4.5.2 工件坐标系的建立	96
3.5.3 螺纹加工及其循环指令	61	4.5.3 刀具半径补偿	98
3.5.4 复合固定循环 G70~G73	64	4.5.4 刀具长度补偿指令 G43/G44、 G49	99
3.5.5 综合编程举例	70	4.6 数控铣床与加工中心基本编程 方法	101
3.6 典型数控车床编程及仿真加工 实例	73	4.6.1 基本编程指令	101
3.6.1 确定加工路线	73	4.6.2 固定循环指令	104
3.6.2 确定切削用量	74	4.6.3 子程序	112
3.6.3 编制加工程序	74	4.6.4 坐标变换	113
3.6.4 仿真加工	76	4.6.5 加工中心换刀程序	117
练习与思考题	77	4.6.6 编程实例	117
第 4 章 数控铣床和加工中心 编程与操作	81	4.7 数控铣床与加工中心的编程与 操作实例	121
4.1 数控铣床概述	83	4.7.1 实例一	121
4.1.1 数控铣床的分类	83	4.7.2 实例二	123
4.1.2 数控铣床的加工对象和 数控铣削加工特点	84	4.7.3 实例三	125
4.1.3 刀具及工艺参数确定	85	练习与思考题	128
4.2 数控铣床编程基础	87	第 5 章 Mastercam X2 软件自动 编程	132
4.2.1 数控铣床编程特点	87	5.1 Mastercam X2 基础知识	133
4.2.2 数控铣削编程中的 坐标系	87	5.1.1 Mastercam X2 使用方法和 步骤	133
4.2.3 数控铣削编程应注意的 问题	88	5.1.2 Mastercam X2 的工作 界面	134
4.3 数控系统的功能	89	5.1.3 系统配置与运行环境的 设置	135
4.3.1 准备功能 G	89	5.2 二维图形的绘制与编辑	135
4.3.2 辅助功能 M	90	5.2.1 二维图形的绘制	135
4.3.3 刀具功能 T	90	5.2.2 二维图形的编辑	136
4.3.4 进给功能 F	90	5.2.3 二维图形的标注	137
4.3.5 主轴转速功能 S	90	5.2.4 二维图形绘制举例	137
4.4 数控铣床的基本操作	91	5.3 三维线架造型与曲面造型	138
4.4.1 回参考点	91	5.3.1 三维线架造型	138
4.4.2 手动移动机床	92	5.3.2 曲面造型	140
4.4.3 开、关主轴	92	5.4 三维实体造型	140
4.4.4 装换刀具	92	5.4.1 创建基本实体	141
4.5 工件坐标系的建立与刀具 补偿	93	5.4.2 由二维图形创建基本 实体	141

5.4.3	由曲面生成实体	141	5.6.3	投影铣削粗加工	166
5.4.4	实体布尔运算	142	5.6.4	流线粗加工	166
5.4.5	实体编辑	143	5.6.5	等高外形粗加工	168
5.4.6	实体造型举例	143	5.6.6	挖槽粗加工	169
5.5	二维铣床加工系统	148	5.6.7	钻削式粗加工	170
5.5.1	Mastercam X2 加工基本 设置	148	5.7	三维曲面精加工	171
5.5.2	面铣削加工	150	5.7.1	平行铣削精加工	171
5.5.3	外形铣削加工	152	5.7.2	陡斜面精加工	172
5.5.4	挖槽加工	155	5.7.3	放射状铣削精加工	173
5.5.5	全圆加工	157	5.7.4	投影铣削精加工	173
5.5.6	孔加工	157	5.7.5	流线精加工	174
5.5.7	进行后置处理生成 NC 文件	160	5.7.6	等高外形精加工	175
5.6	三维曲面粗加工	162	5.7.7	浅面精加工	175
5.6.1	平行铣削粗加工	162	5.7.8	其他精加工方法	176
5.6.2	放射状铣削粗加工	164	练习与思考题		177
			参考文献		181

第 1 章

数控编程基础



本章学习目标

- ★ 了解数控机床的产生及发展
- ★ 了解数控机床及数控加工的特点
- ★ 了解数控机床的组成及分类
- ★ 了解数控编程的基本概念
- ★ 掌握数控编程的基础知识
- ★ 了解程序编制中的工艺分析



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
数控机床的产生及发展	了解数控机床产生的背景及发展状况	机床及自动加工技术
数控机床	了解数控机床组成、分类及数控加工特点	机床结构及机床加工的基本原理
数控编程	了解数控编程方法步骤；掌握数控编程基本知识；了解程序编制中的工艺分析	CAD/CAM 软件，坐标系，切削用量

导入案例

数控机床编程基础知识是数控编程人员和数控机床操作人员必须具备的基本常识。机床为工业母机，每个领域的振兴都需要大批数控机床来装备，这样就需要众多的数控编程与操作人员，图1和图2所示分别为数控车床和数控铣床，是生产实践中常用的两类机床。现代机械制造中加工机械零件的方法很多，除切削加工外，还有铸造、锻造、焊接、冲压、挤压等，但凡属精度要求较高和表面粗糙度要求较小的零件，一般都需在机床上用切削的方法进行最终加工。数控编程与操作人员，除了要了解数控机床相关的基本常识外，需重点掌握编程方面的所必须了解的基础知识。

(1) 数控机床的产生及发展：数控机床的产生背景，数控机床品种和数控系统的发展，伺服驱动系统的发展，数控机床结构的发展。

(2) 数控机床组成、分类及数控加工特点：数控机床及数控技术的概念，数控加工的特点，数控机床的组成及分类。

(3) 编程编程：数控编程方法步骤，数控编程中的程序代码，程序结构与格式，坐标系，数控机床的回零，程序编制中的工艺分析。

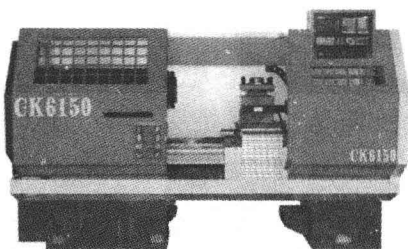


图1 数控车床

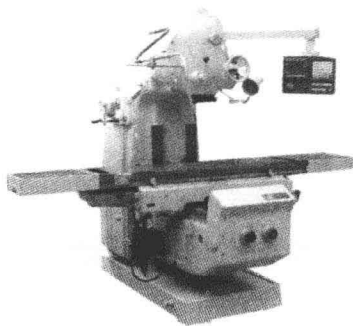


图2 数控铣床

1.1 数控机床的产生及发展

1.1.1 数控机床的产生

20世纪40年代以来，随着科学技术和社会生产力的迅速发展，人们对各种产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。机械加工的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。飞机、汽车、农机、家电等生产企业大多采用了自动机床、组合机床和自动生产线，从而保证了产品质量，极大地提高了劳动效率，降低了生产成本，加强了企业自身在市场上的竞争力，还能够极大地改善工人的劳动条件，减轻劳动强度。然而成年累月地进行单一产品零件生产的高效率和高度自动化的刚性机床及专用机床生产方式，需要巨大的初期投资和很长的生产准备周期，因此，它仅适用于批量较大的零件生产。

但是，在产品加工中，大批量生产的零件并不很多。据统计，单件与中、小批量生产的零件占机械加工总量的80%以上，尤其是在航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加

工机械、包装机械和军工产品等行业,不仅加工批量小,而且加工零件形状比较复杂,精度要求也较高,还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的零件,就显得很不合理。经常改装和调整设备,对于这种专用的生产线来说,不仅会大大提高产品的成本,甚至是不可能实现的。市场经济体制日趋成熟,绝大多数的产品都已从卖方市场转向买方市场,产品的竞争十分剧烈。为在竞争中求得生存和发展,迫使生产企业不断更新产品,提高产品技术档次,增加产品种类,缩短试制和生产周期以提高产品的性能价格比,满足用户的需要。由于这种以大批量生产为主的生产方式使产品的改型和更新变得十分困难,用户即使得到了价格相对低廉的产品也是以牺牲产品的某些性能为代价换取的。因此,企业为了保持产品的市场份额,即便是以大批量为主的企业,也必须改变产品长期一成不变的传统做法。这样,传统“刚性”自动化生产方式生产线已难以适应小批量、多品种的要求。

已有的仿型加工设备在过去的生产中部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时,必须重新制造靠模并调整设备,不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于靠模加工误差的影响,零件的加工精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产技术——数控技术应运而生。

1948年美国帕森斯公司(Parsons Corporation)受美国军方的委托研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所进行合作,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新理念,于1952年成功研制出世界上第一台由专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果。后来又经过改进,于1955年实现了产业化,并批量投放市场,但由于技术和价格的原因,仅局限在航空工业中应用。数控机床的诞生,对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用,同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。

尽管这种初期数控机床采用电子管和分立元件硬接线电路来进行运算和控制,体积庞大而功能单一,但它采用了先进的数字控制技术,且具有普通设备和各种自动化设备无法比拟的优点,具有强大的生命力,它的出现开辟了工业生产技术的新纪元。从此,数控技术在全世界得到了迅速发展。

1.1.2 数控机床的发展

1. 数控机床品种的发展

从第一台数控机床问世到现在的半个世纪中,数控机床的品种得以不断发展,几乎所有的机床都已实现了数控化。1956年日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床,美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床,1958年美国K&T公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心(Machining Center, MC),1978年以后加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。在20世纪60年代末期,出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统(Direct Numerical Control, DNC)。1967年出现了由多台数控机床连接而成的可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。目前,已出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,

CIMS), 以实现生产自动化。

2. 数控系统的发展

数控系统的发展是数控技术和数控机床发展的关键。电子元器件和计算机技术的发展推动了数控系统的发展。数控系统的发展历程由当初的电子管式起步, 历经了分立式晶体管式—小规模集成电路式—大规模集成电路式—小型计算机式—超大规模集成电路式—微型计算机式的数控系统等几个阶段。数控系统的 CPU 已由 8 位增加至 16 位和 32 位, 时钟频率由 2MHz 提高到 16MHz、20MHz 和 32MHz, 最近还开发出了 64 位 CPU, 并且开始采用精简指令集运算芯片 RISC 作为 CPU, 使运算速度得到进一步提高。此外, 大规模和超大规模集成电路和多个微处理器的采用, 使数控系统的硬件结构标准化、模块化和通用化, 使数控功能可根据需要进行组合和扩展。高性能的计算机数控系统可以同时控制十几个轴, 甚至几十个轴(包括坐标轴、主轴和辅助轴), 且能实现在线编程, 使得编程和控制一体化。操作者可以在机床旁直接通过键盘编程, 并利用显示器显示人机对话, 便于检查、修改程序, 给调试和加工带来极大的方便。

计算机数控系统带有可编程逻辑控制器(PLC), 它代替了传统的继电器逻辑控制, 大大减小了庞大的强电柜的体积。PLC 可通过编制程序来改变其逻辑控制, 同样具有高度的柔性。数控系统和 PLC 的结合, 可以有效地完成刀具管理和刀具寿命监控。

3. 伺服驱动系统的发展

伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分, 它的电动机、电路及检测装置等的技术水平都有极大的提高。电动机由早期采用步进电动机和液压扭矩放大器, 到采用液压伺服系统、小惯量直流伺服电动机、大惯量直流伺服电动机、交流伺服电动机以及近来出现的数字伺服系统。与通常的模拟伺服系统相比, 数字伺服系统的脉冲当量从 $1\mu\text{m}$ 减小到 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度仍能达到 $10\text{m}/\text{min}$ 。可以预计, 数字伺服系统的出现, 将会促进高精度数控机床的发展。

4. 数控机床结构的发展

数控机床的主运动部件不断向高速化方向发展, 除采用直流调速电动机和变频调速电动机驱动主轴部件, 以提高主运动的速度和调速范围, 并缩短传动链外, 近来更有采用电主轴, 将主轴部件做在电动机转子上, 从而大大提高了主轴转速和减少了机械转动惯量, 主轴转速最高可达 $10000\text{r}/\text{min}$, 而且仅用 1.8s 即可从零转速升到最高转速。

1.2 数控机床及数控加工的特点

1.2.1 数控机床

采用数控技术(Numerical Control, NC)进行控制的机床, 称为数控机床(NC 机床)。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机械加工等先进技术的典型机电一体化产品, 是现代制造技术的基础。

数控技术是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法, 由于现代数控

都采用了计算机进行控制,因此,也称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件,用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统(Numerical Control System),数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。由于数控系统、数控装置的英文缩写也采用NC(或CNC),因此,在实际使用中,在不同场合NC(或CNC)具有三种不同的含义,既可以在广义上代表一种控制技术,又可以在狭义上代表一种控制系统的实体,还可以代表一种具体的控制装置——数控装置。

1.2.2 数控加工的特点及应用

1. 数控加工的特点

与传统机械加工方法相比,数控加工具有以下特点。

1) 可以加工具有复杂型面的工件

在数控机床上,所加工零件的形状主要取决于加工程序,非常复杂的零件也能加工。

2) 加工精度高,质量稳定

数控机床本身的精度比普通机床高,一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.015\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$;而且在数控加工过程中,操作人员并不参与,所以消除了操作者的人为误差,工件的加工精度全部由数控机床保证;又因为数控加工采用工序集中,减少了工件多次装夹对加工精度的影响。基于以上几点,数控加工工件的精度高,尺寸一致性好,质量稳定。

3) 生产率高

数控加工可以有效地减少零件的加工时间和辅助时间。由于数控机床的主轴转速、进给速度快及其快速定位,通过合理选择切削用量,充分发挥刀具的切削性能,可以减少零件的加工时间。此外,数控加工一般采用通用或组合夹具,因此在数控加工前不需画线,而且在加工过程中能自动进行换刀,减少了辅助时间。

4) 改善劳动条件

在数控机床上从事加工的操作者,其主要任务是编写程序、输入程序、装卸工件、准备刀具、观测加工状态及检验零件等,因此劳动强度极大降低。此外,数控机床一般是封闭式加工,既清洁又安全,使劳动条件得到了改善。

5) 有利于生产管理现代化

因为相同工件所用时间基本一致,所以数控加工可预先估算加工工件所需时间,因此工时和工时费用可以精确估计。这既便于编制生产进度表,又有利于均衡生产和取得更高的预计产量。此外,对数控加工所使用的刀具、夹具可进行规范化管理。以上特点均有利于生产管理的现代化。

6) 数控加工是CAD/CAM技术和先进制造技术的基础

数控机床使用数字信号与标准代码作为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与CAD/CAM技术有机地结合起来,形成现代集成制造技术的基础。

2. 用数控设备进行加工的部分行业及典型零件

1) 电器、塑料制造业和汽车制造业等

主要用来加工模具型面。

2) 航空航天工业

主要用来加工高压泵体、导弹仓、喷气叶片、框架、机翼、大梁等。

3) 造船业

主要用来加工螺旋桨等。

4) 动力工业

主要用来加工叶片、叶轮、基座、壳体等。

5) 机床工具业

主要用来加工箱体、盘轴类零件、凸轮、非圆齿轮、复杂形状刀具与工具。

6) 兵器工业

主要用来加工炮架件体、瞄准陀螺仪壳体、恒速器壳体。

目前的数控加工主要应用在两个方面：一是二维车削、箱体类镗铣等，目的是提高效率、避免人为误差，保证产品质量；二是用于加工复杂零件。

1.3 数控机床的组成及分类

1.3.1 数控机床的组成

数控机床的组成如图 1.1 所示。由用户编写的数控程序通过输入装置输入到数控装置中，数控装置把输入的程序进行处理输出两种控制信息：一种控制信息为机床轨迹控制信息，输出给伺服驱动器驱动机床的刀架或工作台完成它的轨迹控制；另一种控制信息为辅助控制信息，控制机床的辅助动作。

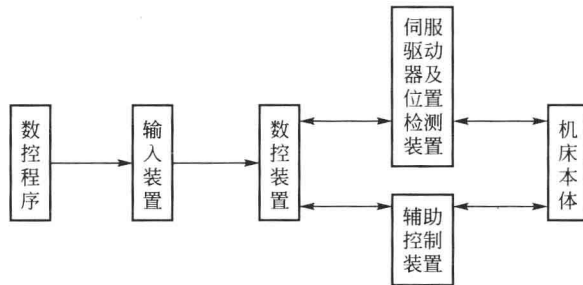


图 1.1 数控机床的组成

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。通过对零件进行工艺分析，得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息，然后按规定的方法和格式编写数控加工程序。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号，将其传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体，而是将数控加工程序的内容通过数控装置的键

盘, 用手工方式输入, 或者将数控加工程序由计算机用通信的方式传送到数控装置中。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心, 它接收输入装置送来的脉冲信号, 经过数控装置的系统软件或逻辑电器进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种控制信号和指令来控制机床的各个部分, 进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的控制信号是由插补运算决定的各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度指令, 经伺服驱动系统驱动执行部件做进给运动。其他信号还有主运动部件的变换方向和启停信号; 选择和交换刀具的刀具指令信号, 控制冷却、润滑的启停, 工件和机床部件的松开、夹紧及分度工作台的转位等辅助指令信号。

4. 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置(电动机)组成, 并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个坐标轴都配有一套伺服驱动系统。

伺服驱动系统有开环、闭环和半闭环之分。在闭环和半闭环伺服驱动系统中, 使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给部件的进给位移, 然后与指令位移进行比较, 最后按闭环原理将其差值转换放大后控制执行部件的进给运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和变换, 以及其他辅助装置动作等指令信号, 经必要的编译、逻辑判别和运算, 再经功率放大后直接驱动相应的电器, 带动机床机械部件和液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外, 机床上的限位开关等开关信号经其处理后送数控装置进行处理。可编程逻辑控制器(PLC)已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床本体由主运动部件、进给运动执行部件、床身和工作台, 以及辅助运动部件、液压气压系统、润滑系统、冷却装置等组成。对于加工中心类的数控机床, 还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床的组成与普通机床相似, 但传动结构要求更为简单, 在精度、刚度、抗振性方面要求更高, 而且其传动和变速系统便于实现自动化控制。

1.3.2 数控机床的分类

1. 按加工工艺方法进行分类

1) 普通数控机床

为了不同的工艺需要, 与传统的通用机床一样, 普通数控机床有数控车、铣、钻、镗及磨床等, 而且每一类又有很多品种, 如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等, 这类机床的工艺性能与通用机床相似, 所不同的是其能自动地加工精度更高、形状更复杂的零件。

2) 数控加工中心

数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的数控加工中心有镗铣加

工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上,可以使零件一次装卸后,进行多种工艺、多道工序的集中连续加工,这就大大减少了机床台数。由于减少了装卸工件、更换和调整刀具的辅助时间,从而提高了机床效率;同时由于减少了多次安装造成的定位误差,从而提高了各加工面的位置精度,因此近年来数控加工中心得以迅速发展。

3) 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件,用三坐标的数控机床还是无法加工,如螺旋桨、飞机机翼曲面等复杂零件的加工,就需要三个坐标轴以上的合成运动才能加工出所需的截面形状。于是出现了多坐标联动的数控机床,其特点是数控装置同时控制的轴数较多,机床结构也较复杂。坐标轴数的多少取决于加工零件的复杂程序和工艺要求,现在常用的有四、五、六坐标联动的数控机床。

4) 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

2. 按控制运动的方式分类

1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以沿多个坐标同时移动,也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,当接近终点位置时,再减速缓慢靠近终点,以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要控制点的准确定位,而且要控制刀具(或工作台)以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择及循环进给加工等辅助功能。这种机床常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能够满足零件轮廓的要求,其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较全的辅助功能。这类机床常用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

轮廓控制数控机床有数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

3. 按所用进给伺服系统的类型进行分类

1) 开环数控机床

开环数控机床采用进给伺服系统。开环控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式步进电动机,如图 1.2(a)所示,数控装置每发出一个进给指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的,即进给脉冲发出去以后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制系统。

开环控制系统的优点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握。但是,由于受步进电

动机的步距精度和传动机构传动精度的影响，难以实现高精度的位置控制，进给速度也受步进电动机工作频率的限制。因此开环数控机床一般适用于中、小型控制系统的经济型数控机床，特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2) 闭环数控机床

闭环数控机床的进给伺服系统是按照闭环原理工作的，闭环控制系统如图 1.2(b)所示。这类控制系统带有直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机和交流伺服电动机。当指令值发送到比较装置时，若工作台没有移动则没有反馈量，指令值使得伺服电动机转动，通过测量装置将反馈信号反馈到比较装置，在比较装置中与指令值进行比较，用比较后的差值进行位置控制，直到差值为零时控制终止。这类控制系统，因为把机床工作台纳入了控制环节，所以称为闭环控制系统。该系统的优点是可以消除包括工作台传动链在内的传动误差，因而定位精度高。其缺点是由于工作台惯性大，对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等都提出了严格的要求，否则对系统稳定性会带来不利的影晌。同时调试和维修都较困难，系统复杂，成本高，一般适用于精度要求较高的数控机床，如数控精密镗铣床。

3) 半闭环数控机床

半闭环控制系统如图 1.2(c)所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于它采用了角位移检测元件，检测反馈信号不是来自于工作台，而是来自与电动机相联系的角位移检测元件，通过检测元件检测出伺服电动机的转角，推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用其差值来实现控制。从图 1.2(c)可以看出，由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机，目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个整体，使系统结构简单、调试方便。半闭环控制系统的性能介于开环与闭环之间，其精度没有闭环控制系统高，调试却比闭环控制系统方便，因而得到广泛应用。

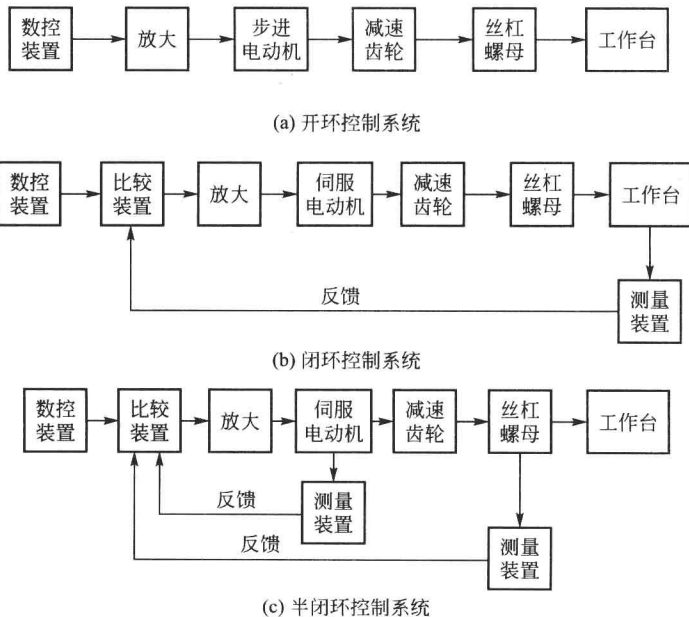


图 1.2 伺服系统的类型

4. 按数控装置的功能水平分类

按数控装置的功能水平通常把数控机床分为低、中、高档三类。低、中、高档三类的界限是相对的，不同时期的划分标准不同。就目前的发展水平来看，可以根据表 1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控产品分为低、中、高档三类。其中，中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法，经济型数控属于低档数控，是由单板机或单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控装置主要应用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表 1-1 不同档次数控装置的功能及指标表

功能	低档	中档	高档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
进给速度	8~15m/min	15~24m/min	24~100m/min
伺服进给类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服电动机	闭环及直、交流伺服电动机
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232C 或 DNC	RS232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人机对话	CRT：图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

1.4 数控编程概述

1.4.1 数控编程概念

数控机床是按照事先编好的加工程序、自动地对被加工零件进行加工。人们把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、进给量、背吃刀量)、及辅助功能(换刀，主轴正、反转，冷却液开、关等)，按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单，然后把程序输入到数控装置中，从而指挥机床加工工件。数控加工程序编写的内容与步骤如图 1.3 所示。

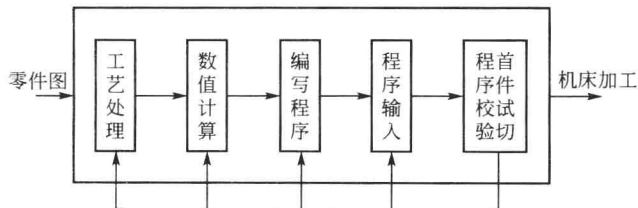


图 1.3 数控编程的步骤

1. 工艺处理

在工艺处理时，编程人员要根据零件图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析，