

【现代加工实用技术丛书】

加工中心实用技术

杨江河 蒋文兵 编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



现代加工实用技术丛书

加工中心实用技术

杨江河 蒋文兵 编

机械工业出版社

本书针对加工中心的特点,以加工中心的结构、加工工艺、编程和操作为核心内容,突出了系统性、实用性和通俗性。主要包括:数控加工技术概述、加工中心的基本结构、加工中心的加工工艺、加工中心的手工编程、加工中心的自动编程、加工中心的操作与加工实例和加工中心维护及常见故障排除。全书各章节联系紧密,并精选了大量经过实践验证的典型实例。

本书立足于应用,面向技术工人和工程技术人员,可作为加工中心操作人员的培训教材,也可作为高职数控专业学生以及从事数控加工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

加工中心实用技术/杨江河编. —北京:机械工业出版社, 2007.1

(现代加工实用技术丛书)

ISBN 7-111-20248-1

I. 加... II. 杨... III. 加工中心 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第128207号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:朱 华 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.75印张·388千字

0 001—4 000册

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线:(010) 88379083

封面无防伪标均为盗版

前言

制造业是经济发展与社会发展的物质基础，是一个国家综合国力的具体体现，它对国民经济的增长有巨大的拉动效应，并给社会带来巨大的财富。据统计：美国 68% 的财富来源于制造业，日本国民经济总产值的 49% 是由制造业提供的。在我国，制造业在工业总产值中所占的比例为 40%。近 10 年来我国国民生产总值的 40%、财政收入的 50%、外贸出口的 80% 都来自于制造业，制造业还解决了大量人员的就业问题。因此，没有发达的制造业，就不可能有国家真正的繁荣和强大。而机械制造业的发展规模和水平，则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更新产品，是制造业竞争和发展的基础和技术水平的标志。

20 世纪 50 年代初第一台数控机床的出现，使机械制造技术的发展出现了日新月异的局面，数控技术及装备是发展高新技术产业和尖端工业（如信息技术及其产业，生物技术及其产业，航空、航天等国防工业）的关键技术和基本装备。而数控技术是当今先进制造技术和装备最核心的技术，目前世界各国机械制造业广泛采用数控技术以提高制造能力和水平，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术，已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

制造业也是技术密集性的行业，工人的操作技能水平对于保证产品质量，降低制造成本，实现及时交货，提高经济效益，增强市场竞争力，具有决定性的作用。近几年来社会对高技能型人才的需求越来越大。如深圳到 2005 年全市的技能人才需求量为 165 万，但目前只有技术工人 116 万人，技师和高级技师类的高技能人才只有 1400 多人，因此许多企业用高薪聘请高级技术工人，一些高级蓝领的薪酬甚至高于一般的经理和硕士研究生。

全国人大常委会委员长吴邦国同志在出席 2002 年 7 月在北京举行的全国职业教育工作会议上发表了“加强职业教育和培训，提高职工队伍素质和企业竞争力”的讲话，他在讲话中指出“我国职工队伍的整体素质还比较低，高级技工严重缺乏。全国仅数控机床的操作工就短缺 60 万人。杭州汽轮机厂需要 260 名数控技工，参加十多场招聘会，月薪提到 6000 元，还招不到合适人选。我国高级技工占技工总数的比例只有 3.5%，与发达国家 40% 的比例相差甚远。”从吴邦国委员长的这段话，我们不难看出培养数控高级操作人员的重要性和迫切性。

当今社会所需的技能性人才应具有技术全面、一专多能、经验丰富的技术素质。比如对一个数控机床操作人员来说，一般应具备以下四个方面的知识和能力：一是具备基本的机械加工工艺知识；二是熟悉基本的编程知识，掌握一到两种自动编程软件的使用方法；三是能熟练操作机床，并熟悉机床的性能和参数的选择；四是能对机床进行正确的保养与维护。

鉴于此，为了适应技术工人的岗位培训和提高操作技能水平，满足社会对技能型人才的需求，我们编写了“现代实用加工技术”丛书。这套丛书的作者有长期从事高等、中等职业教育的理论和培训专家，也有长期工作在一线的工程技术人员。该丛书是在作者们多年从事现代实用加工技术方面的研究和实践操作的基础上撰写而成的。

该丛书立足于应用，在内容组织和编排上图文并茂、通俗易懂，特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践，包括许多典型的加工实例、操作技能及先进技术的应用，兼顾先进性与实用性。该丛书主要适合企业的技师和技术工人阅读，也可供相关工程技术人员参考。

该丛书首批推出的有：《现代数控铣削技术》、《现代数控车削技术》、《现代模具制造技术》、《加工中心实用技术》和《精密加工实用技术》。加工中心在数控加工中占有比较重要的地位，加工中心是多功能高精度的数控机床。加工中心能够自动换刀，在一次装夹中，能完成铣、镗、钻、扩、铰、镗、攻螺纹、内槽加工等，特别适合加工复杂零件，可以大大提高生产率。通过对本书的学习可提高读者操作加工中心的技术水平。《加工中心实用技术》一书由杨江河、蒋文兵编写，高晓平审稿。本书在编撰过程中参考了大量的资料和书籍，作者在此一并感谢。读者在使用本书过程中如有任何问题、意见或建议，可以通过电子邮件 yjhntst@163.com 与作者联系。

由于作者水平有限，不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评赐教。

编 者

目 录

前言

第一章 数控加工技术概述..... 1

第一节 数控机床简介..... 1

一、数控机床的组成与分类..... 1

二、数控机床的特点和应用范围..... 5

第二节 数控加工过程和基本要

求..... 7

一、数控加工过程..... 7

二、数控加工的特点与工装操作..... 7

三、对加工中心操作人员的基本要

求..... 9

第二章 加工中心的基本结构..... 11

第一节 加工中心简介..... 11

一、加工中心的基本概念..... 11

二、加工中心的分类..... 12

第二节 加工中心的结构..... 16

一、加工中心的构成简介..... 16

二、加工中心的电气控制系统..... 19

三、加工中心的机械系统..... 27

四、加工中心典型产品介绍..... 37

第三章 加工中心的加工工艺..... 43

第一节 加工中心的工艺特点..... 43

一、典型加工工件分析..... 43

二、加工中心工艺特点分析..... 44

第二节 加工中心刀具和夹具的

选用..... 47

一、加工中心的刀具选用..... 47

二、加工中心夹具的选用..... 51

三、加工中心工艺规程的制定..... 53

第三节 加工中心的合理选用..... 54

一、机床规格和精度的选择..... 54

二、自动换刀装置的选择..... 57

三、刀具预调仪的选择..... 58

四、功能和附件的选择..... 58

第四章 加工中心的手工编程..... 60

第一节 数控编程基础..... 60

一、数控编程基础知识..... 60

二、数控系统的功能..... 80

第二节 加工中心的基本编程方

法..... 86

一、基本编程方法..... 86

二、加工中心编程要点及举例..... 111

第五章 加工中心的自动编程..... 116

第一节 自动编程基础..... 116

一、自动编程基本概念..... 116

二、自动编程的基本原理与步骤..... 122

三、国外主要的 CAM 软件介绍..... 125

第二节 Master CAM 编程方法..... 127

一、Master CAM 软件系统简介..... 127

二、Master CAM 系统的基本功能简

介..... 128

第六章 加工中心的操作与加工实

例..... 152

第一节 加工中心的操作..... 152

一、加工中心的使用要点..... 152

二、数控系统操作面板简介..... 155

三、加工中心手动操作与自动操作..... 159

四、加工中心自动换刀与对刀..... 166

五、加工中心安全操作..... 170

六、加工中心操作实例..... 172

第二节 典型零件加工实例..... 179

一、板面的加工..... 179

二、热电机主轴箱体的加工..... 184

三、凸轮加工..... 195

四、手工编程典型实例..... 204

第七章 加工中心维护及常见故障

排除..... 214

第一节 操作中的常见问题及处

理..... 214

一、加工中心的安装与调试..... 214

二、加工中心的故障分类及维护..... 216

第二节 机械系统维护及常见故障

排除	220	故障排除	226
一、机械系统故障诊断	220	一、数控系统的维护与故障排除	226
二、机械系统故障排除实例	223	二、电气系统故障排除实例	235
第三节 电气控制系统维护及常见		参考文献	245

第一章 数控加工技术概述

第一节 数控机床简介

一、数控机床的组成与分类

数控是数字控制 (Numerical Control, 即 NC) 的简称。用计算机实现数字控制称计算机数控 (Computerized Numerical Control, 即 CNC)。采用数控技术控制的机床, 或者说装备了数控系统的机床, 即为数控机床。

(一) 数控机床的组成

数控机床主要由控制介质、数控系统、伺服系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成, 其组成框图见图 1-1。

1. 控制介质

它是用于记载各种加工信息 (如零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等), 以控制机床的运动, 实现零件的机械加工。常用的控制介质有标准的纸带、磁带和磁盘。

控制介质上记载的加工信息要经输入装置输送给数控机床, 常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。对于用微机控制的数控机床, 也可用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接用键盘输入, 并在 CRT 显示器上显示。

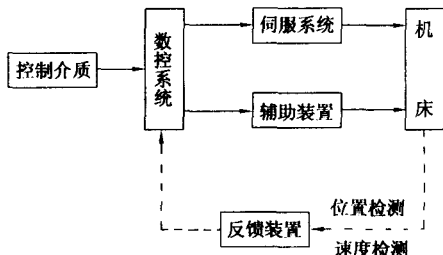


图 1-1 数控机床的组成

2. 数控系统

数控系统是机床实现自动加工的核心, 主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量, 以及温度、压力、流量等物理量, 其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中主控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序, 通过译码、编译等处理后, 进行相应的刀具轨迹插补运算, 并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较, 从而控制机床各坐标轴的位移。而通常时序逻辑控制由可编程控制器 PLC 来完成, 它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调, 按各检测信号进行逻辑判别, 从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件, 驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令, 再经过驱动系统的功率放大后, 驱动电动机运转, 通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。

4. 强电控制柜

强电控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件,除提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源,以及各种短路、过载、欠压等电气保护外,主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起桥梁连接作用,控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外,它也与机床操作台有关手动按钮连接。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般普通机床的电气类似,但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性,要求各类频繁起动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器;对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

5. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构 APC (Automatic Pallet Changer)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载保护装置等。

6. 机床本体

数控机床的本体指其机械结构实体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在原普通机床的基础上改进而得到的,具有以下特点:

- 1) 数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,机械传动结构简化,传动链较短。
- 2) 数控机床机械传动结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形小。
- 3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

与普通机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

数控机床的辅助装置和附属设备主要有电器、液压、气动系统与冷却、排屑、润滑、照明、储运等装置以及编程机、对刀仪等。

(二) 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,结构、功能各不相同。一般可根据功能和结构,按以下方法进行分类:

1. 按控制系统的特点分类

根据刀具与工件相对运动方式,可分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种,见图 1-2。

(1) 点位控制数控机床 特点是只控制移动部件由一个位置到另一个位置的精确定位,而对他们在运动过程中的轨迹没有严格要求,在移动和定位过程中不进行任何加工。因此,为了减少移动部件的运动时间和定位时间,两相关点之间的移动先是以快速移动到接近新的位置,然后进行连续降速或分级降速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机、数控折弯机等,其相应的数控装置称为点位控制装置。

(2) 直线控制数控机床 特点是刀具相对于工件的运动不仅要控制两相关点之间的准确位置(距离),还要控制两相关点之间移动的速度和轨迹。其路线一般由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于当机床移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工,而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。这类机床主要有数控镗铣

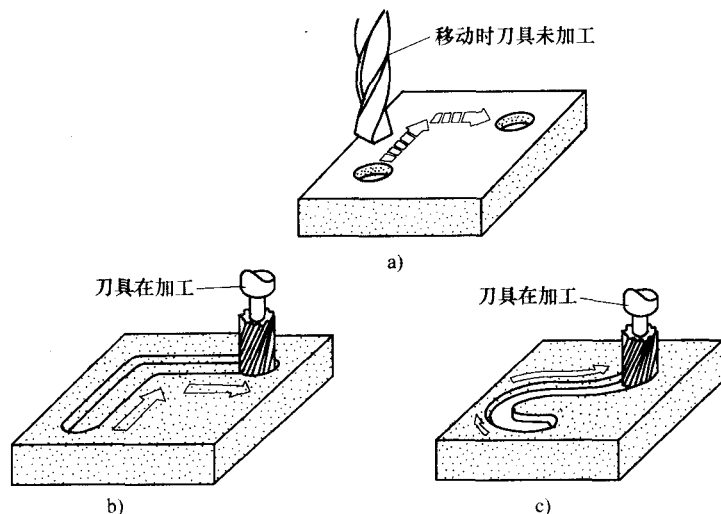


图 1-2 数控机床分类

a) 点位控制 b) 直线控制 c) 轮廓控制

床、数控磨床和数控车床等，相应的数控装置称为直线控制装置。

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制又称连续控制，大多数数控机床具有轮廓控制功能。其特点是能同时控制两个以上的轴联动，具有插补功能。它不仅控制起点和终点位置，而且要控制加工过程中每一点的位置和速度，可加工出任意形状的曲线或曲面。这类机床有数控铣床、数控车床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置要比点位、直线控制装置结构复杂得多，功能齐全得多。

2. 按进给伺服系统的类型分类

(1) 开环进给伺服系统数控机床 开环伺服系统通常不带有位置测量元件，伺服驱动元件多为步进电动机或电液脉冲马达。图 1-3 所示为步进电动机开环进给伺服系统原理图。数控装置发出的指令脉冲通过环形分配器和驱动电路，使步进电动机转过相应的步距角，再经过传动系统，带动工作台或刀架移动。移动部件的速度与位移是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。它的定位精度不高，一般可达到 $\pm 0.02\text{mm}$ ，主要取决于伺服驱动元件和机床传动机构的精度、刚度和动态特性。

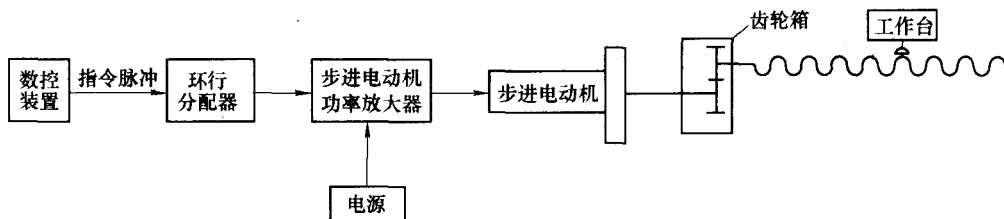


图 1-3 步进电动机开环进给伺服系统原理图

这种开环伺服系统具有结构简单、系统稳定、调试方便、价格低廉等优点。但是由于系

统对移动部件的误差没有补偿和校正，所以精度低。一般适用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

(2) 闭环进给伺服系统数控机床 闭环进给伺服系统是指在机床的运动部件上安装位移测量装置，图 1-4 是用进给伺服电动机驱动的闭环进给伺服系统原理图。它主要是由比较环节、伺服驱动放大器、进给伺服电动机、机械传动装置和直线位移测量装置组成。

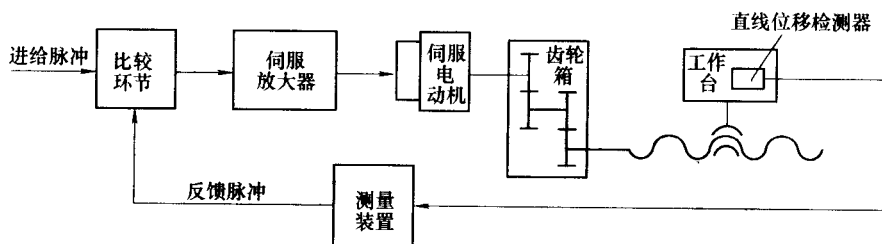


图 1-4 闭环进给伺服系统原理图

闭环系统的工作原理是，当数控装置发出位移指令脉冲，经过伺服电动机、机械传动装置驱动移动部件移动时，安装在移动部件上的直线位置的检测装置，把检测所得位移量反馈到输入端，与输入信号进行比较，得到的差值再去控制伺服电动机，驱动移动部件向减少差值的方向移动。如果指令脉冲不断地输入，则移动部件就不断地运动，只有差值为零时，移动部件才停止移动。此时移动部件的实际位移量与指令的位移量相等。

由闭环进给伺服系统的工作原理可以看出，系统的精度主要取决于位移检测装置的精度，从理论上讲，它可以完全消除由于传动部件制造中存在的误差给工件带来的影响，所以这种控制系统可以得到很高的加工精度。闭环系统的设计和调整都有较大的难度，直线位移检测元件的价格也比较昂贵，主要用于一些精度要求较高的数控镗铣床、超精密数控车床和加工中心。

(3) 半闭环进给伺服系统数控机床 图 1-5 是半闭环进给伺服系统的工作原理图，它与全闭环的惟一区别是全闭环的检测元件是直线位移检测器，安装在移动部件上，而半闭环的检测元件是角位移检测器，直接安装在电动机轴上，个别的也安装在丝杠上，但二者的工作原理是完全一样的。

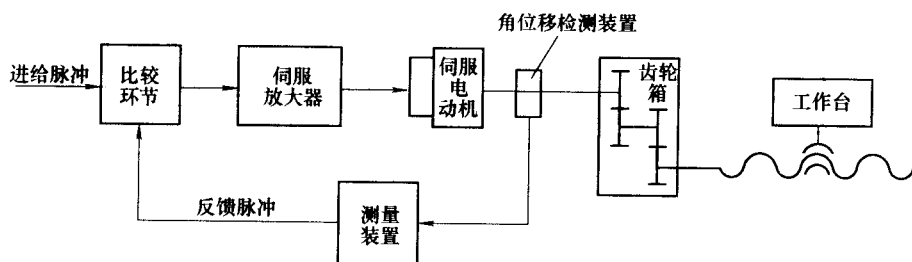


图 1-5 半闭环进给伺服系统的工作原理图

因为半闭环系统的反馈信号取自电动机轴的回转，因此进给系统中的机械传动装置处于

反馈回路之外，其刚度、间隙等非线性因素对系统稳定性没有影响，调试方便。同样的理由，机床的定位精度主要取决于机械传动装置的精度，但是现在的数控装置均有螺距误差补偿和间隙补偿功能，不需要将传动装置各种零件精度提得很高，通过补偿就能将精度提高到绝大多数用户都能接受的程度。再加上直线位移检测装置比角位移检测装置贵很多，因此除了对定位精度要求特别高或行程特别长，不能采用滚珠丝杠的大型机床外，绝大多数数控机床均可采用半闭环系统。

3. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床 这类机床包括数控铣床、数控车床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大。特别是加工中心，也称为可自动换刀的数控机床，一般都带有一个刀库，可容纳 10~100 把刀具。其特点是：工件在一次装夹可完成多道加工工序。为了进一步提高生产率，有的加工中心使用双工作台，一面加工，一面装卸，工作台可自动交换等。

(2) 金属成型类数控机床 这类机床包括数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机、数控回转头压力机等。这类机床起步晚，但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床 这类机床包括数控线（电极）切割机床、数控电火花加工、火焰切割机、数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控机床 这类机床如数控三坐标测量机等。

二、数控机床的特点和应用范围

1. 数控机床与普通机床的区别

(1) 数控机床一般具有手动加工（用电手轮）、机动加工和控制程序自动加工功能 加工过程中一般不需要人工干预。普通机床只有手动加工和机动加工功能，加工过程全部由人工控制。

(2) 数控机床一般具有 CRT 屏幕显示功能 显示加工程序、多种工艺参数、加工时间、刀具运动轨迹以及工件图形等。数控机床一般还具有自动报警显示功能，根据报警信号或报警提示，可以迅速查找机器故障，而普通机床不具备这些功能。

(3) 数控机床一般具有工件测量系统 加工过程中一般不需要进行工件尺寸的人工测量。而普通机床在加工过程中必须由人工不断地进行测量，以保证工件的加工精度。

数控机床与普通机床最显著的区别是当加工对象（工件）改变时，数控机床只需改变加工程序（应用软件），不需要对机床作较大的调整，即能加工出各种不同的工件。

2. 数控机床的特点

(1) 对加工对象改型的适应性强 数控机床实现自动加工的控制信息是由纸带提供的，或以手工方式通过键盘输入给控制机。当加工对象改变时，除了更换相应的刀具和解决毛坯装夹方式外，只需要重新编制程序，更换一条新的穿孔纸带，或手动输入程序就能实现对零件的加工。因此数控机床可以很快地从加工一种零件转变为加工另一种零件，这就为单件、小批生产及试制新产品提供了极大便利。

(2) 加工精度高 目前数控装置的脉冲当量普遍达到了 0.001mm，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床，定位精度普遍可达到 0.03mm，重复定位精度为 0.01mm。因为

数控机床传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，而且提高了它的制造精度，特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差，同一批加工零件的尺寸一次性好，产品合格率高，加工质量十分稳定。

(3) 灵敏度高 数控机床在自动状态下工作，要求精度比普通机床高，因而运动部件应具有高灵敏度。导轨部件通常用滚动导轨、塑料导轨、静压导轨等，以减少摩擦力，在低速运行时无爬行现象。工作台、刀架等部件的移动，由直流或交流伺服电动机驱动，经滚珠丝杠或静压丝杠传动。主轴既要高刚度、高速下回转，又要有高灵敏度，因而多数采用滚动轴承或静压轴承。

(4) 刀具先进 数控机床要能充分发挥效能，实现高精度、高效率、高自动化，除了机床本身应满足这些要求外，刀具也必须先进，应有高的刀具寿命，其结构也要合理。对于不同的数控机床，要有不同的刀具系统及相应的刀片。

(5) 加工生产率高 数控机床能够有效地减少零件加工所需要时间（包括机动时间与辅助时间），因此加工生产率比普通机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床要大，每一道工序都能选用最有利的切削用量，良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削，有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速和减速措施，因而选用了很高的空行程运动速度，消耗在快进、快退和定位的时间要比普通机床少得多。另外，数控机床用于停机进行零件安装的时间和停机检验的时间比普通机床也节省很多。

(6) 具有良好的经济效益 使用数控机床加工工件时，分摊到每个工件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下，可以节省许多其他费用，因此能够获得良好的经济效益。

使用数控机床，在加工之前节省了划线工时，在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间，减少了直接生产费用。另一方面，由于数控机床加工工件不需要手工制作模型、凸轮、钻模板及其他工夹具，节省了工艺装备费用。还由于数控机床的加工精度稳定，减少了废品率，使生产成本进一步降低。

(7) 有利于生产管理的现代化 利用数控机床加工，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工件。这些特点都有利于使生产管理现代化。

3. 数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床，有普通机床所不具备的许多优点，所以数控机床的应用范围在不断扩大，但数控机床是一种高度机电一体化产品，技术含量高，成本高，使用维修都有一定难度，若从最经济的方面出发，数控机床适用于加工：

- 1) 多品种小批量零件。
- 2) 结构较复杂，精度要求较高的零件。
- 3) 需要频繁改型的零件。
- 4) 价格昂贵，不容许报废的关键零件。
- 5) 要求精密复制的零件。
- 6) 需要最短生产周期的急需零件。
- 7) 要求 100% 检验的零件。

第二节 数控加工过程的基本要求

一、数控加工过程

数控机床就是用数字信息来控制机床的运动。机床的所有运动包括主运动、进给运动及各种辅助运动，都是用输入数控装置的数字信号来控制的。

数控加工是将待加工工件进行数字化表达，数控机床按数字量控制刀具和零件的运动，从而完成零件加工的过程。被加工工件采用线条、曲面、实体等几何体来表示，CAM 系统在零件几何体的基础上生成刀具轨迹，经过后置处理生成加工代码，将加工代码通过传输介质传给数控机床，数控机床按数字量控制刀具运动，完成工件加工。

具体而言，数控机床的工作过程，即工件的加工过程，见图 1-6。

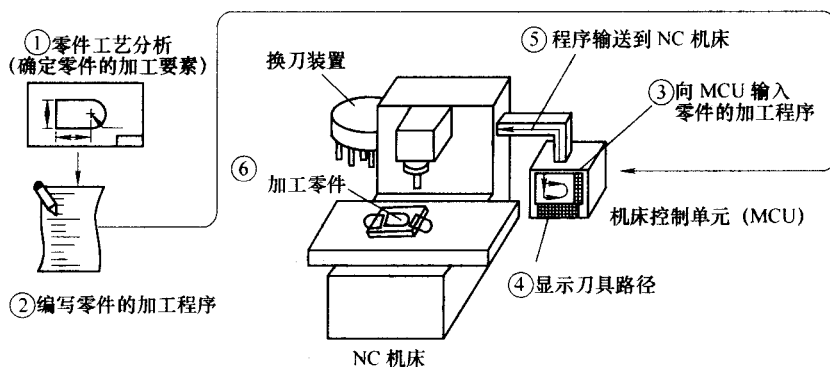


图 1-6 数控机床加工过程示意图

其主要步骤为：

1) 根据被加工工件图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等，制定工件加工的工艺过程，刀具相对工件的运动轨迹、切削参数以及辅助动作顺序等，进行工件加工的程序设计。

2) 用规定的代码和程序格式编写工件加工程序单。

3) 按照程序单上的代码制作穿孔带（控制介质）。

4) 通过输入装置（如光电阅读机）把孔带上的加工程序输入给数控装置。

5) 启动机床后，数控装置根据输入的信息进行一系列的运算和控制处理，将结果以脉冲形式运往机床的伺服机构（如步进电动机、直流伺服电动机、电液脉冲马达等）。

6) 伺服机构驱动机床的运动部件，使机床按程序预定的轨迹运动，从而加工出合格的零件。

二、数控加工的特点与工装操作

1. 数控加工的主要特点

数控加工的最大特点有二：一是可以极大地提高精度，包括加工质量精度及加工时间误差精度；二是加工质量的重复性，可稳定加工质量，保持加工零件质量的一致。即工件的加

工质量及加工时间是由数控程序决定而不是由机床操作人员决定的。数控加工具有如下优点:

1) 数控机床一般只需一次加工即能达到加工部位的精度,而不需分粗加工、精加工。便于设计变更,加工设定柔性强。

2) 在数控机床上工件一次装夹,可以进行多个部位的加工,有时甚至可完成工件的全部加工内容。可减少工装夹具,容易实现操作过程的自动化,一人可以操作多台机床。

3) 由于刀具库或刀架上装有几把甚至更多的备用刀具,因此,在数控机床上加工工件时刀具的配置、安装与使用不需要中断加工过程,使加工过程连续。

4) 操作容易,极大减轻体力劳动强度。

由于数控加工工序相对集中,因此对数控工艺规程中的工序内容要求特别详细。如加工部位、加工顺序、刀具配置与使用顺序,刀具加工时的刀具轨迹、刀位路径、切削参数等,要比普通机床加工工艺中的工序内容详细。

数控机床上工件安装方法与普通机床一样,要尽量选用已有的通用夹具装夹,且应注意减少装夹次数,尽量做到在一次装夹中能把工件上所有要加工表面都加工出来。工件定位基准应尽量与设计基准重合,以减少定位误差对尺寸精度的影响。

2. 数控加工工装操作

在确定工件的装夹方法和夹具的选用或设计时,应考虑以下几点:

1) 尽量选用可调整夹具、组合夹具等标准化、通用化夹具装夹工件,当工件批量较大、精度要求较高时,可以设计专用夹具,但结构应尽可能简单。

2) 装夹工件要迅速方便,要多采用气动、液压夹具,以减少数控机床停机时间。

3) 工件上的加工部位要外露敞开,不要因装夹工件而影响刀具进给和切削加工。

4) 夹紧力应力求靠近主要支撑点或在支撑点所组成的三角形内。应力求靠近切削部位,并在刚性较好的地方。

5) 工件的装卡、定位要考虑到重复安装的一致性,以减少对刀时间,提高同一批零件加工的一致性。

6) 便于工件坐标系的建立,即便于对工件坐标系原点和坐标轴精确定位。

3. 数控加工的适用范围

数控加工的特点是加工的工件一致性好,质量稳定,加工精度高。但是,数控加工设备昂贵,加工准备周期长。因此,数控加工有其适用范围。

(1) 最适合类工件 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的工件;复杂曲线轮廓或复杂曲面的零件;难测量、难控制进给、难控制尺寸的具有内腔的壳体或盒型零件;必须在一次装卡中合并完成铣、镗、刨、铰或攻螺纹等多道工序的零件。

(2) 较适合类工件 在通用机床上加工时极易受人为因素干扰,材料又昂贵的零件;在通用机床上必须有复杂专用工装的工件;需要多次更改设计后才能定型的工件;在通用机床上加工需要做长时间调整的工件;在通用机床上加工,生产率较低或劳动强度很大的工件。

(3) 不适合数控加工的工件 装卡困难或完全靠找正定位来保证加工精度的工件;加工余量很不稳定,且数控机床上无在线检测系统可自动调整零件的坐标位置的工件。

三、对加工中心操作人员的基本要求

对加工中心操作人员的基本要求（示例）见表 1-1。

表 1-1 加工中心操作人员的基本要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、工艺准备	(一) 读图	1. 能够读懂机械制图中的各种线型和尺寸标注 2. 能够读懂标准件和常用件的表示法 3. 能够读懂一般零件的三视图、局部视图和剖视图 4. 能够读懂零件的材料、加工部位、尺寸公差及技术要求	1. 机械制图国家标准 2. 标准件和常用件的规定画法 3. 零件三视图、局部视图和剖视图的表达方法 4. 公差配合的基本概念 5. 形状、位置公差与表面粗糙度的基本概念 6. 金属材料的性质
	(二) 编制简单加工工艺	1. 能够制定简单的加工工艺 2. 能够合理选择切削用量	1. 加工工艺的基本概念 2. 钻、铣、扩、铰、镗、攻螺纹等工艺特点 3. 切削用量的选择原则 4. 加工余量的选择方法
	(三) 工件的定位和装夹	1. 能够正确使用台虎钳、压板等通用夹具 2. 能够正确选择工件的定位基准 3. 能够用量表找正工件 4. 能够正确夹紧工件	1. 定位夹紧原理 2. 台虎钳、压板等通用夹具的调整及使用方法 3. 量表的使用方法
	(四) 刀具准备	1. 能够依据加工工艺卡选取刀具 2. 能够在主轴或刀库上正确装卸刀具 3. 能够用刀具预调仪或在机内测量刀具的半径及长度 4. 能够准确输入刀具有关参数	1. 刀具的种类及用途 2. 刀具系统的种类及结构 3. 刀具预调仪的使用 4. 自动换刀装置及刀库的使用方法 5. 刀具长度补偿值、半径补偿值及刀号等参数的输入方法
二、编制程序	(一) 编制孔类加工程序	1. 能够手工编制钻、扩、铰（镗）等孔类加工程序 2. 能够使用固定循环及子程序	1. 常用数控指令（G 代码、M 代码）的含义 2. S 指令、T 指令和 F 指令的含义 3. 数控指令的结构与格式 4. 固定循环指令的含义 5. 子程序的嵌套
	(二) 编制二维轮廓程序	1. 能够手工编制平面铣削程序 2. 能够手工编制含直线插补、圆弧插补二维轮廓的加工程序	1. 几何图形中直线与直线、直线与圆弧、圆弧与圆弧交点的计算方法 2. 刀具半径补偿的作用
三、基本操作及日常维护	(一) 日常维护	1. 能够进行加工前电、气、液、开关等的常规检查 2. 能够在加工完毕后，清理机床及周围环境	1. 加工中心操作规程 2. 日常保养的内容

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
三、基本操作及日常维护	(二) 基本操作	1. 能够按照操作规程启动及停止 2. 正确使用操作面板上的各种功能键 3. 能够通过操作面板手动输入加工程序及有关参数 4. 能够通过纸带阅读机、磁带机及计算机等输入加工程序 5. 能够进行程序的编辑、修改 6. 能够设定工件坐标系 7. 能够正确调入调出所选刀具 8. 能够正确进行机内对刀 9. 能够进行程序单步运行、空运行 10. 能够进行加工程序试切削并做出正确判断 11. 能够正确使用交换工作台	1. 加工中心机床操作手 2. 操作面板的使用方法 3. 各种输入装置的使用方法 4. 机床坐标系与工件坐标系的含义及其关系 5. 相对坐标(系)、绝对坐标(系)的含义 6. 找正器(寻边器)的使用方法 7. 机内对刀方法 8. 程序试运行的操作方法
四、工件加工	(一) 孔加工	能够对单孔进行钻、扩、铰切削加工	麻花钻、扩孔钻及铰刀的功用
	(二) 平面铣削	能够铣削平面、垂直面、斜面、阶梯面等, 尺寸公差等级达 IT9, 表面粗糙度达 $R_a 6.3\mu m$	1. 铣刀的种类及功用 2. 加工精度的影响因素 3. 常用金属材料的切削性能
	(三) 平面内、外轮廓铣削	能够铣削二维直线、圆弧轮廓的工件, 且尺寸公差等级达 IT9, 表面粗糙度达 $R_a 6.3\mu m$	
	(四) 运行给定程序	能够检查及运行给定的三维加工程序	1. 三维坐标的概念 2. 程序检查方法
五、精度检验	(一) 内、外径检验	1. 能够使用游标卡尺测量工件内、外径 2. 能够使用内径百(千)分表测量工件内径 3. 能够使用外径千分尺测量工件外径	1. 游标卡尺的使用方法 2. 内径百(千)分表的使用方法 3. 外径千分尺的使用方法
	(二) 长度检验	1. 能够使用游标卡尺测量工件长度 2. 能够使用外径千分尺测量工件长度	
	(三) 深(高)度检验	能够使用游标卡尺或深(高)度尺测量深(高)度	1. 深度游标卡尺的使用方法 2. 高度游标卡尺的使用方法
	(四) 角度检验	能够使用游标万能角度尺检验工件角度	游标万能角度尺的使用方法
	(五) 机内检测	能够利用机床的位置显示功能自检工件的尺寸	有关机床坐标的位置显示功能