



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类规划教材

数控加工技术

吴明友 编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



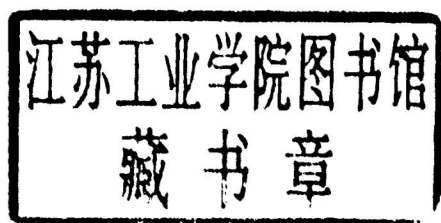
赠 电子教案



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类规划教材

数控加工技术

吴明友 编
彭文 审



机械工业出版社

本书选用目前比较流行、市场占有率比较高、具有代表性的三种数控系统(数控车床为华中数控系统、数控铣床为 FANUC Oi 数控系统、加工中心为 SIEMENS 810D 数控系统)来介绍数控机床的编程与操作方法。全书包括八章,主要内容为:数控机床概述、数控加工技术基础、数控车削工艺设计、数控车床(华中数控)编程与操作、数控铣削工艺设计、数控铣床(FANUC Oi)编程与操作、加工中心工艺设计、加工中心(SIEMENS 810D)编程与操作。本书提供了大量的编程例题,便于自学。在第四、六、八章还介绍了数控机床(数控车床、数控铣床、加工中心)中高级考工应会样题及答案,供读者参考。

本书可作为高职高专数控技术专业、机械制造与自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业以及机电技术应用专业的教材,也可作为大学、中专、技校、职高等相关专业师生的参考书,还可供使用配有其他数控系统的数控机床操作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/吴明友编. —北京:机械工业出版社,
2008.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高等职业
教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-24665-7

I. 数... II. 吴... III. 数控机床—加工—高等
学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 105550 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:郑丹 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·412千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24665-7

定价:27.00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

编辑热线电话:(010)88379171

封面防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的进步与发展,数控机床的应用日趋普及,现代数控加工技术使得机械制造过程发生了巨大的变化,急需培养一大批既懂数控机床加工工艺又能熟练掌握数控机床编程与操作的应用型高级技术人才。为了满足当前社会对数控机床编程与操作高级技术人才的需求,以及高职高专院校教学的需要,编者编写了本书。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是参照劳动部门颁发的数控机床高级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范,结合高职高专院校的教学特点编写的。

本书编者在使用其主编的《数控机床加工技术——编程与操作》(参考文献[10])30余次进行理论教学、实训和业余培训的基础上,结合近年来高职高专教学改革需要,将数控加工工艺的设计和数控机床的编程与操作融为一体,避免了将数控加工工艺与数控机床编程与操作割裂开来。本书强调实用性,是编者总结多年数控机床教学和业余培训的经验而不断进行教学改革的结果。

本书选用目前比较流行、市场占有率比较高、具有代表性的三种数控系统(数控车床为华中数控系统、数控铣床为 FANUC Oi 数控系统、加工中心为 SIEMENS 810D 数控系统)来介绍数控机床的编程与操作方法。在第四、六、八章还介绍了数控机床(数控车床、数控铣床、加工中心)中高级考工应会样题及答案,供读者参考。

全书包括八章,主要内容为:数控机床概述、数控加工技术基础、数控车削工艺设计、数控车床(华中数控)编程与操作、数控铣削工艺设计、数控铣床(FANUC Oi)编程与操作、加工中心工艺设计、加工中心(SIEMENS 810D)编程与操作。

本书可作为高职高专数控技术专业、机械制造与自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业,以及机电技术应用专业的教材,也可作为大学、中专、技校、职高等相关专业师生的参考书,还可供使用配有其他数控系统的数控机床操作人员参考。本书编排了大量的编程例题,便于读者自学。

本书由江苏多棱数控机床股份有限公司副总经理、总工程师彭文高级工程师审阅,他对书稿提出了许多宝贵意见,在此谨致衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考引用了参考文献中的资料以及华中数控公司的 HNC—21T 系统、发那科公司的 FANUC Oi 系统、西门子的 SIEMENS 810D 系统编程与操作说明书,在此对这些作者和公司表示诚挚的感谢。

本书虽经反复推敲和校对,但因时间仓促,加上编者水平所限,书中不足和漏误之处在所难免,敬请广大读者和同行批评指正。编者联系方式:wumy20050101@163.com。

编 者

目 录

| | |
|--|-----|
| 前言 | |
| 第一章 数控机床概述 | 1 |
| 第一节 数控机床及其分类 | 1 |
| 第二节 数控车床 | 3 |
| 第三节 数控铣床 | 6 |
| 第四节 加工中心 | 9 |
| 第五节 数控机床的发展 | 14 |
| 思考题 | 16 |
| 第二章 数控加工技术基础 | 17 |
| 第一节 刀具几何角度及切削要素 | 17 |
| 第二节 金属切削过程的基本规律及应用 | 24 |
| 第三节 刀具几何参数与刀具材料的合理选择 | 36 |
| 第四节 机械加工精度及表面质量 | 44 |
| 思考题 | 46 |
| 第三章 数控车削工艺设计 | 48 |
| 第一节 数控车削加工工艺分析 | 48 |
| 第二节 数控车床常用的工装夹具 | 54 |
| 第三节 数控车削刀具的类型及选用 | 56 |
| 第四节 选择切削用量 | 59 |
| 第五节 典型零件的数控车削加工工艺分析 | 60 |
| 思考题 | 65 |
| 第四章 数控车床(华中数控)编程与操作 | 66 |
| 第一节 华中数控系统的基本功能 | 66 |
| 第二节 华中数控系统基本编程指令 | 69 |
| 第三节 编程实例 | 88 |
| 第四节 华中数控系统数控车床的操作 | 90 |
| 第五节 数控车床中、高级考工应会样题 | 104 |
| 思考题 | 115 |
| 第五章 数控铣削工艺设计 | 117 |
| 第一节 数控铣削加工工艺分析 | 117 |
| 第二节 数控铣床常用的工装夹具 | 124 |
| 第三节 数控铣削刀具的类型及选用 | 126 |
| 第四节 选择切削用量 | 133 |
| 第五节 典型零件的数控铣削加工工艺分析 | 134 |
| 思考题 | 140 |
| 第六章 数控铣床(FANUC 0i)编程与操作 | 141 |
| 第一节 FANUC 0i 数控系统的基本功能 | 141 |
| 第二节 FANUC 0i 数控系统的基本编程指令 | 145 |
| 第三节 编程实例 | 169 |
| 第四节 FANUC 0i 数控系统数控铣床的操作 | 172 |
| 第五节 数控铣床中、高级考工应会样题 | 185 |
| 思考题 | 193 |
| 第七章 加工中心工艺设计 | 195 |
| 第一节 加工中心加工工艺分析 | 195 |
| 第二节 加工中心常用的工装夹具 | 202 |
| 第三节 加工中心刀具的类型及选用 | 203 |
| 第四节 选择切削用量 | 204 |
| 第五节 典型零件的加工中心加工工艺分析 | 205 |
| 思考题 | 211 |
| 第八章 加工中心(SIEMENS 810D)编程与操作 | 213 |
| 第一节 SIEMENS 810D 数控系统的基本功能 | 213 |
| 第二节 SIEMENS 810D 数控系统的 | |



| | | | |
|--|-----|------------------------------|-----|
| 基本编程指令 | 215 | 第五节 加工中心中、高级考 工应会样题 | 248 |
| 第三节 编程实例 | 230 | 思考题 | 259 |
| 第四节 SIEMENS 810D 数控系统 加工中心的操作 | 232 | 参考文献 | 261 |

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床及其分类

1. 数控机床的基本概念

数控机床(Numerical Control Machine Tool)是通过数字信号对机床的运动及加工过程进行控制的机床。数控机床是装备了数控系统的机床。该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。数控机床是典型的机电一体化的产品。

2. 数控机床的构成及基本工作原理

数控机床主要由控制介质、数控装置、伺服系统、辅助装置和机床本体组成(图 1-1)。

(1) 控制介质。控制介质是用于记载各种加工信息(如工件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等),控制机床的运动,实现零件的机械加工的中间媒介物质。控制介质又称信息载体。

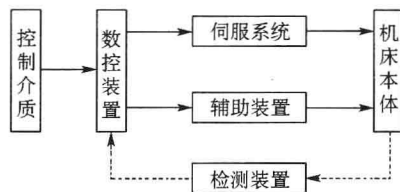


图 1-1 数控机床的基本构成

(2) 数控装置。数控装置是数控机床的运算和控制系统,也是数控机床的核心。它的功能是接受输入装置输入的加工信息,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将发出的相应脉冲送给伺服系统,通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。数控装置集成了微电子技术、信息技术、自动控制技术、驱动技术、监控检测技术、软件工程技术和机械加工工艺知识。数控机床正是在它的控制下,按照给定的程序自动地对机械零件进行加工。

(3) 伺服系统及位置检测装置。伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。其基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号,控制机床执行部件的进给速度、方向和位移量,以完成工件的自动加工。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。伺服系统有开环、闭环和半闭环之分,在闭环和半闭环伺服系统中,还需配有位置检测装置,直接或间接测量执行部件的实际位移量。

(4) 辅助装置。辅助装置包括自动换刀装置、转位和夹紧装置、电气及液压气动控制系统、冷却、润滑、排屑、防护等装置。

(5) 机床本体。数控机床的本体包括主运动部件、进给运动执行部件及其传动部件,以及床身立柱等支承部件。

数控机床加工工件时,首先应根据零件图样制定加工方案,然后把图样要求变成数控装置能接受的信息代码,即编制零件的加工程序,这是数控机床的工作指令。将加工程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、起停,进给的方向、速度和位移量,以及其他,如刀具选择更换、工件的夹紧松开、冷却润滑的开关等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合要求的零件。

3. 数控机床的分类

(1) 按工艺用途分。数控机床可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、数控齿轮加工机床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控冲床、数控剪床、数控激光加工机、数控液压机等各种工艺用途的数控机床。

(2) 按机床运动控制方式分。数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种,如图 1-2 所示。其中,轮廓控制数控机床(又称连续控制数控机床)的特点是不管数控机床有几个控制轴,其中任意两个或两个以上的控制轴能实现联动控制,从而实现轨迹控制。根据联动轴的数量,可分成两轴联动、三轴联动和多轴联动数控机床。

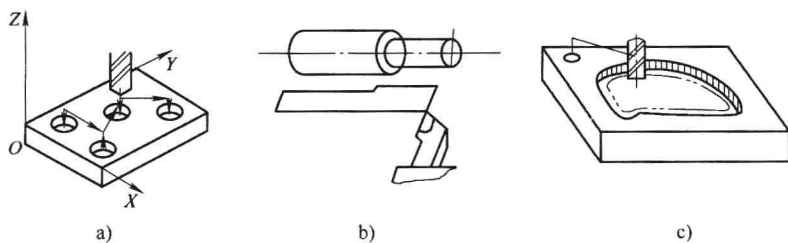


图 1-2 数控机床运动控制方式

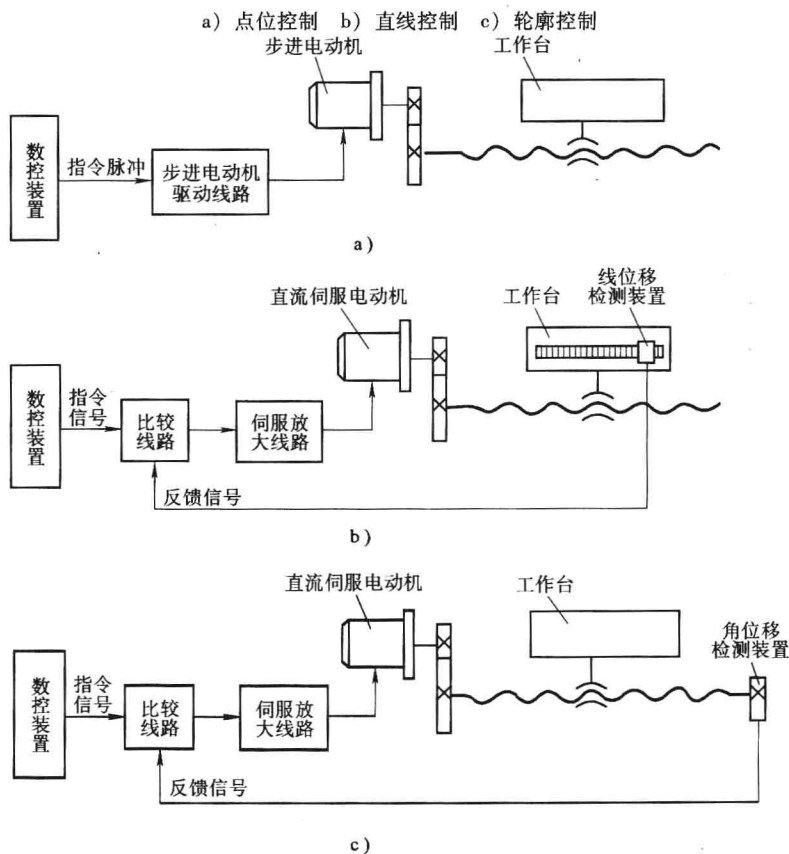


图 1-3 控制系统分类

a) 开环控制系统 b) 闭环控制系统 c) 半闭环控制系统

(3) 按有无位置检测和反馈装置分。数控机床可分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统三种,如图 1-3 所示。

(4) 按数控装置的构成方式分。数控机床可分为硬件数控(简称 NC; Numerical Control)系统和计算机数控(简称 CNC; Computer Numerical Control)系统两种。硬件数控系统的信息输入处理、运算和控制功能,都由专用的固定组合逻辑电路来实现,不同功能的机床,其组合逻辑电路不同。改变或增减控制、运算功能时,需要改变数控装置的硬件电路。软件数控系统也称计算机数控系统,使用软件数控装置。这种数控装置的硬件电路是由小型或微型计算机加上通用或专用的大规模集成电路制成的,数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现,修改或增减系统功能时,不需要变动硬件电路,只需要改变系统软件,因此,具有较高的灵活性。

第二节 数控车床

一、数控车床的分类

数控车床种类繁多、规格不一,可按如下方法进行分类:

1. 按数控车床的档次分

(1) 简易数控车床。简易数控车床一般是用单板机或单片机进行控制,属于低档次数控车床。简易数控车床机械部分由卧式车床略作改进而成,主轴电动机一般不作改动,进给多采用步进电动机、开环控制、四刀位回转刀架。简易数控车床没有刀尖圆弧半径自动补偿功能,所以编程尺寸计算比较繁琐,加工精度较低,现在很少使用。

(2) 经济型数控车床。经济型数控车床一般有单显 CRT、程序储存和编辑功能,属于中档次数控车床。经济型数控车床多采用开环或半闭环控制,主轴电动机仍采用普通三相异步电动机,所以,它的显著缺点是没有恒线速切削功能。

(3) 全功能数控车床。全功能(多功能)数控车床主轴一般采用能调速的直流或交流主轴控制单元来驱动,进给采用伺服电动机,半闭环或闭环控制,属于较高档次的数控车床。多功能数控车床功能很多,特别是具备恒线速度切削和刀尖圆弧半径自动补偿功能。

(4) 高精度数控车床。高精度数控车床主要用于加工类似磁鼓、磁盘的合金铝基板等需要镜面加工,并且形状、尺寸精度要求都很高的零部件,可以代替后续的磨削加工。这种车床的主轴采用超精密空气轴承,进给采用超精密空气静压导向面,主轴与驱动电动机之间采用磁性联轴器联接等。床身采用高刚性厚壁铸铁,中间填砂处理,支撑采用空气弹簧两点支撑。总之,为了进行高精度加工,机床在各方面采取了多项措施。

(5) 高效率数控车床。高效率数控车床主要有一个主轴两个回转刀架及两个主轴两个回转刀架等形式,两个主轴和两个回转刀架能同时工作,提高了机床加工效率。

(6) 车削中心。数控车床在增加刀库和 C 轴控制后,除了能车削、镗削外,还能对端面和圆周面任意进行钻、铣、攻螺纹等加工,而且在具有插补功能的情况下,还能铣削曲面,这样就构成了车削中心。车削中心在转盘式刀架的刀座上安装上驱动电动机,可进行回转驱动,主轴可以进行回转位置的控制(C 轴控制)。车削加工中心可进行四轴(X、Y、Z、C)控制,而一般的数控车床只能两轴(X、Z)控制。

车削中心的主体是在数控车床上配备刀库和换刀机械手,与数控车床单机相比,自动选

择和使用刀具数量大大增加。但是,卧式车削中心与数控车床的本质区别并不在刀库上,它还应具备如下两种先进功能:一种是动力刀具功能,如铣刀和钻头,通过刀架内部结构,可使铣刀、钻头回转。另一种是C轴位置控制功能,C轴是指以Z轴(对于车床来说,Z轴是卡盘与工件的回转中心轴)为中心的旋转坐标轴。位置控制原有X、Z坐标,再加上C坐标,就使车床变成三坐标两联动轮廓控制。

(7) FMC 车床。FMC 车床实际上是一个由数控车床、机器人等构成的柔性加工单元,它除了具备车削中心的功能外,还能实现工件搬运、装卸自动化及加工调整准备自动化。

2. 按加工工件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控车床。这类数控车床未设置尾座,主要适用于车削盘类(含短轴类)零件,其夹紧方式多采用电动液压控制。

(2) 顶尖式数控车床。这类数控车床设置有普通尾座或数控尾座,主要适用于车削较长的轴类零件及直径不太大的盘、套类零件。

3. 按数控车床主轴位置分类

(1) 立式数控车床。立式数控车床的主轴垂直于水平面,并有一个直径很大的圆形工作台,供装夹工件用。这类数控车床主要用于加工径向尺寸较大、轴向尺寸较小的大型复杂零件。

(2) 卧式数控车床。卧式数控车床的主轴轴线处于水平位置,它的床身和导轨有多种布局形式,是应用最广泛的数控车床。

4. 按刀架数量分类

(1) 单刀架数控车床。普通数控车床一般都配置有各种形式的单刀架。

(2) 双刀架数控车床。这类数控车床中,双刀架的配置可以采用平行交错结构,也可以采用同轨垂直交错结构。在数控车床上,各种刀架转换刀具的过程都是:接受转位指令→松开夹紧机构→分度转位→粗定位→精定位→锁紧→发出动作完成回答信号。驱动刀架工作的动力有电动和液压两类。

二、数控车床的功能及结构特点

1. 功能

数控车床(CNC 车床)能自动完成对轴类与盘类零件内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹等的切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔和铰孔等工作。数控车床具有加工精度稳定性好、加工灵活、通用性强等特点,能适应多品种、小批生产自动化的要求,特别适合加工形状复杂的轴类或盘类零件。

2. 结构特点

数控车床由主轴箱、刀架、进给系统、床身,以及液压、冷却、润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通卧式车床的进给系统在结构上有本质的区别:普通卧式车床的进给运动经过交换齿轮架、进给箱、溜板箱传递到刀架,实现纵向和横向进给;数控卧式车床采用伺服电动机将动力经滚珠丝杠传到滑板和刀架,实现Z向(纵向)和X向(横向)进给运动,其结构较普通卧式车床大为简化。

图 1-4 所示为数控车床的结构示意图。由于数控车床刀架两个方向的运动分别由两台伺服电动机驱动,所以它的传动链短,不必使用交换齿轮、光杠等传动部件。伺服电动机可以直接与丝杠联接带动刀架运动,也可以用同步齿形带联接。多功能数控车床一般采用直流或

交流主轴控制单元来驱动主轴，按控制指令作无级变速。所以，数控车床主轴箱内的结构比卧式车床简单得多。

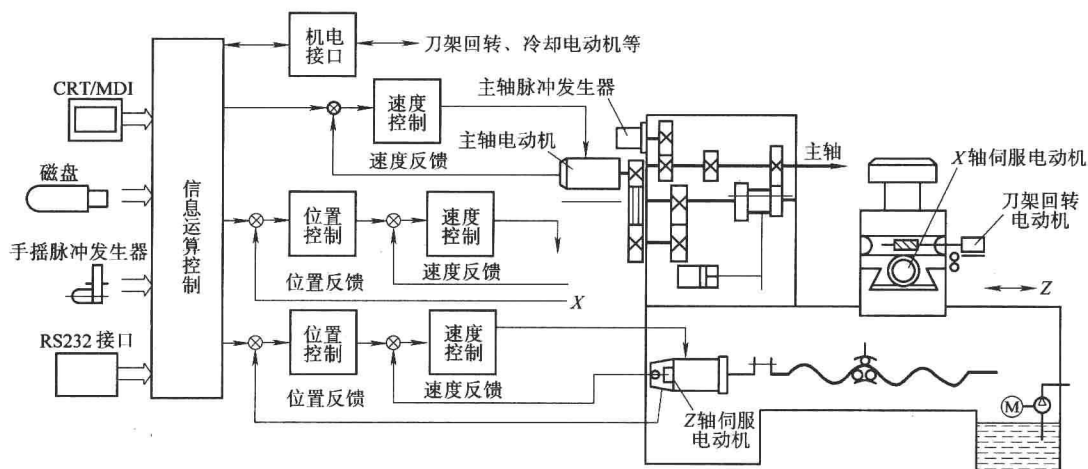


图 1-4 数控车床结构示意图

车削中心结构示意图如图 1-5 所示。

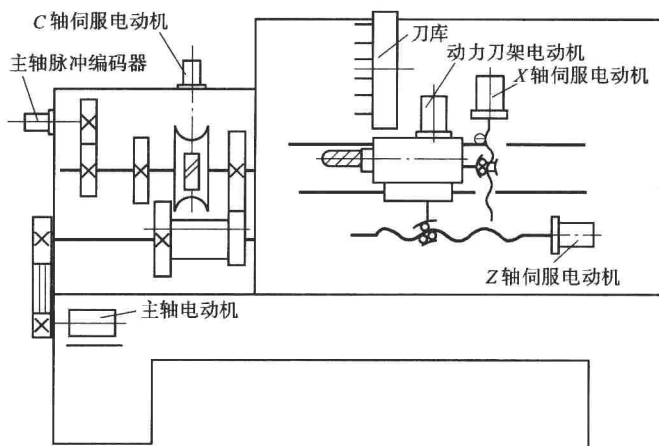


图 1-5 车削中心结构示意图

综上所述，数控车床机械结构的特点为：

- 1) 采用高性能的主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- 2) 进给伺服传动一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等高性能传动件，具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。
- 3) 高档数控车床具有较完善的刀具自动交换和管理系统，工件在车床上一次安装后，能自动完成多道工序。

三、数控车床的选择配置与机械结构组成

图 1-6 所示为典型数控车床的选择配置与机械结构组成，包括主轴传动机构、进给传动机构、刀架、床身、辅助装置(刀具自动交换机构、润滑与切削液装置、排屑、过载限位)等部分。

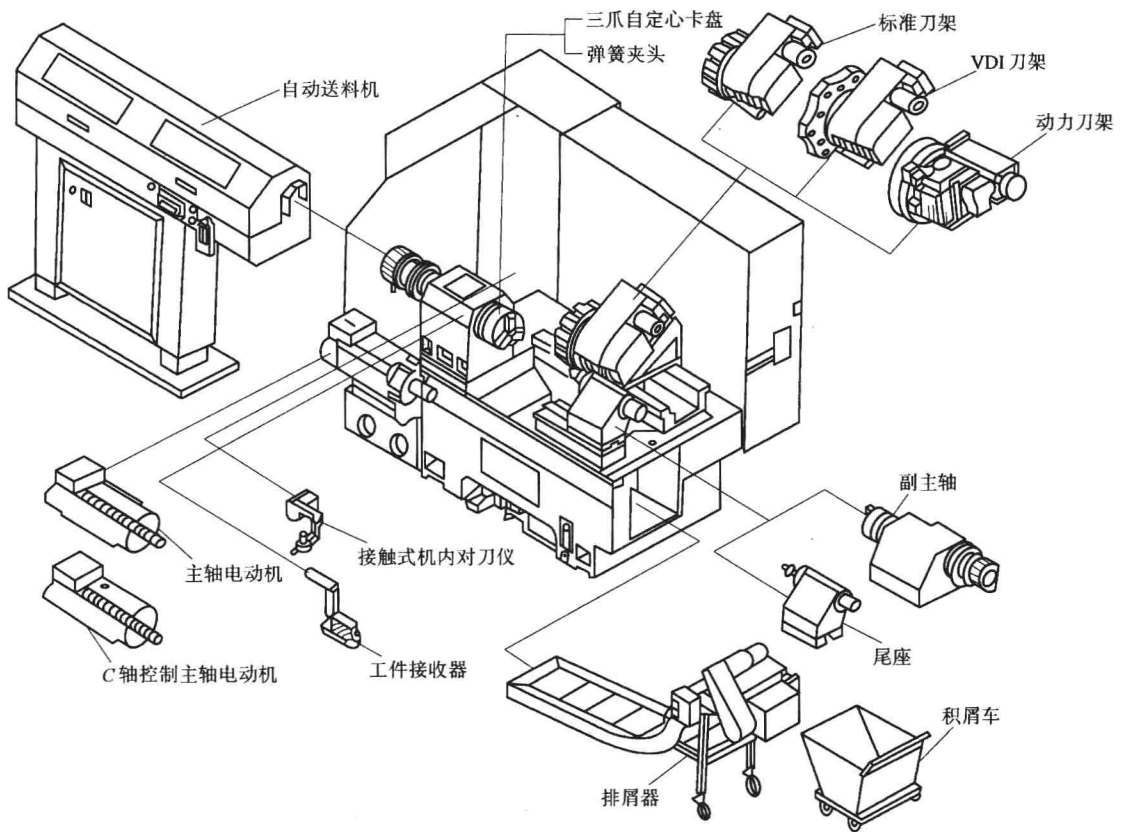


图 1-6 数控车床的选择配置与机械结构组成

第三节 数控铣床

一、数控铣床的分类

数控铣床也可以按通用铣床的分类方法分为以下三类：

1. 立式数控铣床

立式数控铣床在数量上一直占据数控铣床的大多数，应用范围也最广。小型数控立铣一般都采用工作台移动、升降，主轴不动的方式，与普通立式升降台铣床类似，如图 1-7 所示。中型数控立铣一般采用纵向和横向工作台移动方式，主轴可以沿垂向溜板上下运动。大型数控立铣，因要考虑扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术问题，往往采用龙门架移动式，其主轴可以在龙门架的横向与垂向溜板上运动，而龙门架则沿床身作纵向运动。从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前，三坐标数控立铣仍占大多数，一般可进行三坐标联动加工，但也有部分机床只能进行三个坐标中的任意两个坐标联动加工（常称为 $2\frac{1}{2}$ 坐标加工）。此外，还有机床主轴可以绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴中的一个或两个轴作数控摆角运动的四坐标和五坐标数控立铣。一般来说，机床控制的坐标轴越多，特别是要求联动的坐标轴越多，机床的功能、加工范围及可选择的加工对象也越多。但随之而来的是机

床的结构更复杂,对数控系统的要求更高,编程难度更大,设备价格也更高。

为了扩大数控立铣的功能、加工范围及加工对象,也可以附加数控转盘,当转盘水平放置时,可增加一个 C 轴;垂直放置时可增加一个 A 轴或 B 轴。如果是万能数控转盘,则可以一次增加两个转动轴。但附加转盘后,能实现几个坐标联动加工,则是由不同的机床自身配置的数控系统的控制功能决定的。

为了提高数控立铣的生产效率,一般采用自动交换工作台,来减少零件装卸的生产准备时间或增加主轴数量(在大型龙门式数控立铣上为多见),以同一程序同时加工几个相同零件或型面(可成倍提高生产效率)等。

除上述方法外,还可以增加靠模装置,使数控立铣同时具备两种控制功能来扩大加工范围和加工对象;采用气动或液压多工位夹具来提高生产效率等,这里不再一一列举。

2. 卧式数控铣床

与通用卧式铣床相同,卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面。为了扩大加工范围和扩充功能,卧式数控铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘来实现4、5坐标加工。这样,不但可以加工工件侧面的连续回转轮廓,而且可以实现在一次安装中,通过转盘改变工位,进行“四面加工”。尤其是万能数控转盘(或工作台),可以把工件上各种不同角度的加工面摆成水平来加工,这样,可以省去很多专用夹具或专用角度成形铣刀。对箱体类零件或需要在一次安装中改变工位的工件来说,选择带数控转盘的卧式数控铣床进行加工是非常合适的。

3. 立卧两用数控铣床

目前,这类数控铣床已不少见,由于这类铣床的主轴方向可以更换,从而在一台机床上既可以进行立式加工,又可以进行卧式加工,同时具备上述两类机床的功能,其使用范围更广,功能更全,选择加工对象的余地更大,给用户带来很多方便。特别是当生产批量小,品种较多,又需要立、卧两种方式加工时,用户只需买一台这样的机床就可以了。

图1-8所示为一台立卧两用数控铣床的两种使用状态,图1-8a所示为机床处于卧式加工状态,图1-8b为机床处于立式加工状态。

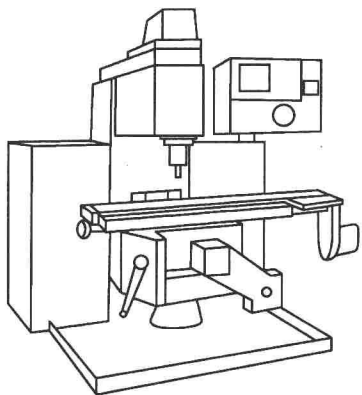


图 1-7 立式数控铣床

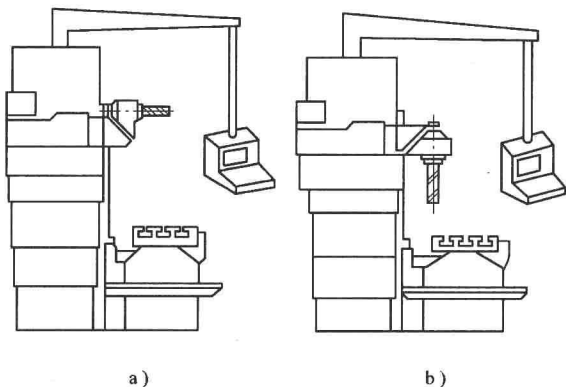


图 1-8 立卧两用数控铣床

立卧两用数控铣床有手动与自动两种更换主轴方向的方法。特别是采用数控万能主轴头的立卧两用数控铣床,其主轴头可以任意转换方向,加工与水平面呈各种不同角度的工件表

面。当立卧两用数控铣床增加了数控转盘以后,就可以实现对工件的“五面加工”,即除了工件与转盘贴合的定位面外,其他表面都可以在一次安装中进行加工,可见其加工性能是非常优越的。可以预见,带有数控万能主轴头的立卧两用数控铣床(或加工中心)将是今后国外数控机床生产的重点类型,也是国产数控机床的发展方向。

二、数控铣床的主要功能

1. 数控铣床的一般功能

不同的数控铣床(或配置的数控系统不同)其功能也不尽相同,除各有特点之外,常具有下列一般功能:

(1) 点位控制功能。利用该功能,数控铣床可以进行只需要作点位控制的钻孔、扩孔、铰孔、铰孔和镗孔加工。

(2) 连续轮廓控制功能。数控铣床通过直线与圆弧插补,可实现对刀具运动轨迹的连续轮廓控制,加工出由直线和圆弧两种几何元素构成的平面轮廓工件。对非圆曲线(如椭圆、抛物线、双曲线等二次圆锥曲线及对数螺旋线、阿基米德螺旋线和以型值点表述的列表曲线等)构成的平面轮廓,在经过直线或圆弧拟合后也可以加工。除此之外,还可以加工一些简单的立体型面,如简单的空间曲面等。

(3) 刀具半径自动补偿功能。利用该功能,可以使刀具中心自动偏离工件轮廓一个刀具半径,因而在编程时可以很方便地按工件实际轮廓形状和尺寸进行计算,编制出加工程序,而不必按铣刀中心轨迹计算和编程。我们也可以利用该功能,通过改变刀具半径补偿量的方法弥补铣刀制造精度的不足,扩大刀具直径选用范围及刀具返修刃磨的允许误差。还可以通过改变刀具半径补偿值的方法,以同一加工程序实现分层铣切和粗、精加工,或用于提高加工精度。此外,改变刀具半径补偿值的正负号,还可以用同一加工程序加工某些需要相互配合的工件(如阴阳模等)。

(4) 镜像加工功能。镜像加工也称为轴对称加工。对于两个轴对称的工件,只需编制其中一个工件的加工程序,利用镜像加工功能就可以把它们都加工出来(这样的轴对称零件在飞机中数量较多)。而对于一个具有轴对称形状的工件来说,利用这一功能,只需编出一半加工程序就行了。

(5) 固定循环功能。目前,档次稍高的数控铣床都已具备该功能。利用数控铣床的点位直线控制功能,可以对孔进行钻、扩、铰、铰和镗加工。这些加工的基本动作是:刀具无切削快速到达孔位→慢速切削进给→快速退回。对于这种典型化动作,可以专门设计一段程序(子程序),在需要的时候自由调用,以实现上述加工循环。特别是在加工许多相同的孔时,应用固定循环功能可以大大简化程序。

利用数控铣床的连续轮廓控制功能时,也常常会遇到一些典型化的动作,如铣整圆、方槽等,也可以实现循环加工。

对于大小不等的同类几何形状(如圆、矩形、三角形、平行四边形等),可以用参数方式编制出加工各种几何形状的子程序,在加工中进行调用,并对子程序中设定的参数进行不同的赋值,以加工出大小或形状不同的工件轮廓及孔径、孔深不同的孔。目前,已有不少数控系统带有各种已编好的子程序库,并可以进行多重嵌套,用户可以直接调用,编程更加方便。

2. 数控铣床的特殊功能

有不少数控铣床,在增加了某些特殊装置或附件后还分别具备或兼备下列一些特殊

功能:

(1) 刀具长度补偿功能。利用该功能可以自动改变切削面高度,同时可以降低制造与返修时对刀具长度尺寸的精度要求,还可以弥补轴向对刀误差。尤其是当具有A、B两个主轴摆动坐标的四、五坐标数控铣床联动加工时,因铣刀摆角(沿刀具转动中心旋转)而造成刀尖离开加工面或形成过切。为了保持刀具始终与加工面相切,当刀具摆角运动时,必须随之进行X、Z轴或Y、Z轴的附加运动来实现四坐标联动加工,或进行X、Y、Z轴的同时附加运动来实现五坐标联动加工。这时,若没有刀具长度自动补偿功能将是十分困难的。

(2) 靠模加工功能。有些数控铣床增加了靠模(电脑仿型)加工装置后,可以在数控和靠模两种控制方式中任选一种进行加工,从而扩大了机床使用范围。

(3) 自动变换工作台功能。有的数控铣床带有两个或两个以上的自动交换工作台,当工件在其中的一个工作台上加工时,可以对另一个工作台上的工件进行检测与装卸。工件加工完后,工作台自动交换,机床马上又进入加工状态,如此往复进行,可大大缩短准备时间,提高生产率。

(4) 自适应功能。具备该功能的数控铣床可以在加工过程中把感受到的切削状况(如切削力、温度等)的变化,通过适应性控制系统及时控制机床改变切削用量,使铣床及刀具始终保持最佳状态,从而获得较高的切削效率和加工质量,延长刀具使用寿命。

(5) 数据采集功能。数控铣床在配置了数据采集系统后,可以通过传感器(通常为电磁感应式、红外线或激光扫描式)对工件或实物制造依据(样板、样件、模型等)进行测量,采集所需要的数据。目前,已出现既能对实物进行扫描、采集数据,又能对采集到的数据进行自动处理并生成数控加工程序的系统(简称录返系统)。这种功能为那些必须按实物依据生产的工件实现数控加工带来了很大方便,大大减少了对实样的依赖,为仿制与逆向进行设计制造一体化工作提供了有效手段。

第四节 加工中心

一、加工中心的功能及特点

1. 加工中心的功能

加工中心(Machining Center——MC)是一种功能较全的数控加工机床。它把铣削、镗销、钻削和切削螺纹等功能集中在一台设备上,具有多种工艺功能。加工中心设置有刀库,刀库中存放着不同数量的各种刀具或量具,在加工过程中由程序自动选用和更换,这是它与数控铣床、数控镗床的主要区别。加工中心与同类数控机床相比结构较复杂,控制系统功能较多。加工中心最少有三个运动坐标系,多的达十几个。其控制功能最少可实现两轴联动控制,实现刀具运动直线插补和圆弧插补。多的可实现五轴联动、六轴联动,从而保证刀具进行复杂型面加工。加工中心还具有不同的辅助功能,如各种加工固定循环、刀具半径自动补偿、刀具长度自动补偿、刀具破损报警、刀具寿命管理、过载超程自动保护、丝杠螺距误差补偿、丝杠间隙补偿、故障自动诊断、工件与加工过程图形显示、人机对话、工件在线检测和加工自动补偿、离线编程等。这些功能提高了数控机床的加工效率,保证了产品的加工精度和质量,是普通加工设备无法比拟的。

2. 加工中心的特点

加工中心是典型的集高新技术于一体的机械加工设备,它的发展代表了一个国家设计、制造的水平,因此,在国内外企业界都倍受重视。加工中心综合加工能力较强,工件一次装夹后能完成较多的加工步骤,加工精度较高,对于中等加工难度的批量工件,其效率是普通设备的5~10倍。加工中心对形状较复杂、精度要求高的单件加工或中小批量多品种生产更为适合。特别是对于必须采用工装和专机设备来保证产品质量和效率的工件,采用加工中心加工,可以省去工装和专机。这为新产品的研制和改型换代节省了大量的时间和费用,从而使企业具有较强的竞争能力。因此,它也是企业技术能力和工艺水平的重要标志之一。如今,加工中心已成为现代机床发展的主流方向,广泛用于机械制造业。

与普通数控机床相比,加工中心有以下几个突出特点:

(1) 工序集中。加工中心备有刀库,能自动换刀,并能对工件进行多工序加工。现代加工中心可使工件在一次装夹后实现多表面、多工位的连续、高效、高精度加工,即工序集中。这是加工中心最突出的特点。

(2) 加工精度高。加工中心同其他数控机床一样具有加工精度高的特点,一次装夹工件,可实现多工序集中加工,减少了多次装夹带来的误差,故加工精度更高、加工质量更稳定。

(3) 适应性强。加工中心对加工对象的适应性强。改变加工工件时,只需重新编制(更换)程序,输入新的程序就能实现对新的工件的加工,这为结构复杂零件的单件、小批量生产及新产品试制带来极大的方便。同时,加工中心还能自动加工普通机床很难加工或无法加工的精密复杂零件。

(4) 生产效率高。加工中心带有刀库,在一台机床上能集中完成多种工序,因而可减少工件装夹、测量和机床调整的时间,减少工件半成品周转、搬运和存放的时间,机床的切削利用率(切削时间和开机时间之比)高。

(5) 经济效益好。加工中心加工工件时,虽然分摊在每个零件上的设备费用较昂贵,但在单件、小批生产的情况下,可以节省许多其他费用。由于是数控加工,加工中心不必准备专用工艺装备,加工之前节省了划线工时,工件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间。另外,由于加工中心加工质量稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。

(6) 自动化程度高,劳动强度低。加工中心加工零件是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了操作键盘、装卸工件、进行关键工序的中间测量以及观察机床运行情况之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度大为减轻。

(7) 有利于生产的现代化管理。用加工中心加工工件,能够准确地计算工件的加工工时,并有效地简化检验和工夹具、半成品的管理工作,这些有利于生产管理现代化。当前有许多大型CAD/CAM集成软件已经开发了生产管理模块,实现了计算机辅助生产管理。加工中心使用数字信息与标准代码输入,最适宜计算机联网及管理。

加工中心工序集中的加工方式有其独特的优点,但也带来一些问题。

1) 工件由毛坯直接加工为成品,一次装夹中金属切除量大、几何形状变化大,没有释放应力的过程,加工完一段时间后内应力释放,使工件变形。

2) 粗加工后直接进入精加工阶段,工件的温升来不及回复,冷却后尺寸变动,影响零件精度。

3) 装夹工件的夹具必须满足既能承受粗加工中大的切削力,又能在精加工中准确定位

的要求，并且零件夹紧变形要小。

4) 切削不断屑，切屑的堆积、缠绕等会影响加工的顺利进行及工件表面质量，甚至会损坏刀具、产生废品。

二、加工中心的组成

加工中心是计算机控制下的自动化机床，其控制方式大致如图 1-9 所示。各种类型的加工中心，外形结构各异，但总体结构主要由以下几部分组成。

(1) 基础部件。基础部件由床身、立柱和工作台等大件组成。它们是加工中心的基础结构，可以是铸铁件也可以是焊接的钢结构件，主要承受加工中心的静载荷以及加工时的切削负载，因此刚度必须很高。基础部件也是加工中心中质量和体积最大的部件。

(2) 主轴部件。主轴部件由主轴伺服电源、主轴电动机、主轴箱、主轴、主轴轴承和传动轴等零件组成。主轴的起动、停止和变速等均由数控系统控制，并通过安装在主轴上的刀具参与切削运动，是切削加工的功率输出部件。主轴是加工中心的关键部件，其结构的好坏对加工中心的性能有很大的影响，它决定着加工中心的切削性能、动态刚度、加工精度等。主轴内部刀具自动夹紧机构是自动刀具交换装置的组成部分。

(3) 数控系统。单台加工中心的数控部分由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动装置及电动机等部分组成。CNC 装置根据它包含的功能、可控轴数、主运算器的性能等分成各种加工中心用的系统，采用微处理器、存储器、接口芯片等，通过软件实现数控机床的各种功能。可编程序控制器替代一般机床中机床电气柜执行数控系统指令，控制机床执行动作。数控系统主要功能有：控制功能、进给功能、主轴功能、辅助功能、刀具功能和第二辅助功能、补偿功能、字符图形显示功能、自诊断功能、通信功能、人机对话程序编制功能等。数控系统是加工中心执行顺序控制动作、完成加工过程的控制中心。

(4) 自动换刀系统。自动换刀系统是加工中心区别于其他数控机床的典型装置，它解决工件一次装夹后多工序连续加工中，工序与工序间的刀具自动储存、选择、搬运和交换任务。自动换刀系统由刀库、机械手等部件组成。刀库是存放加工过程所要使用的全部刀具的装置。当需要换刀时，根据数控系统的指令，机械手(或通过别的方式)将刀具从刀库取出装入主轴孔中。刀库有盘式、鼓式和链式等多种形式，容量从几把到几百把。机械手的结构根据刀库结构的不同及其与主轴的相对位置也有多种形式，如单臂式、双臂式、回转式和轨道式等。有的加工中心不用机械手而利用主轴箱或刀库的移动来实现换刀。

(5) 自动托盘交换系统。有的加工中心为了实现进一步的无人化运行或进一步缩短非切削时间，采用多个自动交换工作台方式储备工件。一个工件安装在工作台上加工的同时，另外一个或几个可交换的工作台面上可以装卸别的工件。当完成一个托盘上工件的加工后，便自动交换托盘，进行新工件的加工，这样可以减少辅助时间，提高加工效率。

(6) 辅助系统。辅助系统包括润滑、冷却、排屑、防护、液压和随机检测系统等部分。

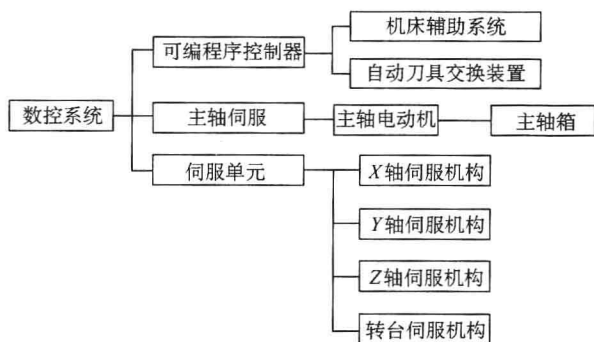


图 1-9 加工中心控制结构