



中等职业教育数控专业规划教材

数控铣床加工工艺 与编程操作

Shukong Xichuang Jiagong Gongyi
Yu Biancheng Caozuo

金晶 主 编



中等职业教育数控专业规划教材

数控铣床加工工艺 与编程操作

主 编	金 晶	
副主编	任国兴	
参 编	徐鲲鹏	贺汉明
	赵慧曜	王青云
	崔广军	兰松云
主 审	许 毅	



机械工业出版社

本教材第一章主要讲述了数控铣床和加工中心的工作原理、分类及特点。第二章主要讲述了常用的工件装夹和找正方法、如何确定工件的加工顺序和进给路线、顺铣和逆铣的方法及适用情况、选择刀具和确定切削用量的方法等内容。第三章主要讲述了数控程序的结构和格式、数控程序编制的一般方法和步骤、不同数控系统中常用的编程指令。第四章主要讲述了不同数控系统中常用的编程指令和格式；子程序与固定循环等功能的应用。第五章主要讲述了刀具半径补偿功能和刀具长度补偿功能指令的意义、格式及其应用。第六章主要讲述了镜像、旋转和缩放功能指令的格式及其应用。第七章主要讲述了面铣削、外形铣削、挖槽铣削、钻孔、雕刻文字等加工方法。第八章讲述了宏程序的编程方法。课题一讲述了数控铣床的手动操作、MDI 方式操作、程序的编辑与自动加工。课题二讲述了试切法对刀的方法及用 G54 编程、G92 编程的对刀方法。课题三讲述了刀具的半径补偿及长度补偿功能的原理、方法和刀具数据的设置。课题四至课题十二讲述了不同数控系统中常用的编程指令的应用；课题十三讲述了 Master-CAM9 自动编程软件从绘图、生成刀具路径到产生最终 NC 代码的全过程。本教材内容丰富，简洁明了，图文并茂，通俗易懂。书中所采用的加工实例均经过实际加工检验，因此具有可操作性和实用性。

本教材既可作为中等职业技术学校数控加工相关专业编程与操作教学的教材，也可作为数控操作人员岗位培训的实训指导书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣床加工工艺与编程操作/金晶主编. —北京:

机械工业出版社, 2006.5

中等职业教育数控专业规划教材

ISBN 7-111-18965-5

I. 数… II. 金… III. ①数控机床: 铣床-加工工艺-专业学校-教材②数控机床: 铣床-程序设计-专业学校-教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034793 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: 汪光灿 版式设计: 张世琴 责任校对: 张莉娟

封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·16.75 印张·410 千字

0 001—5 000 册

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部数控技术应用型紧缺人才的培训方案的指导思想,结合中等职业学校培养具有实际操作技能的应用型人才这一目标,参照最新的数控专业教学计划,本着“基本理论的教学以应用为目的,以必需和够用为尺度”这一原则编写的。本教材力求体现“以职业活动为导向,以职业技能为核心”的指导思想。考虑目前各企业所用的数控设备种类的不同,我们在教材中采用了华中世纪星 HNC—21M/22M 数控加工系统、FANUC Oi-MA 数控加工系统和 SIEMENS 802D 数控加工系统的编程与操作,对三个系统分别进行了讲解,并且补充了各类主流数控系统最新功能以及先进的工艺路线和加工方法,使本教材更具有针对性、可操作性和实用性,力争为数控加工制造领域人才的培养,起到促进作用。

本教材的内容从编排上以突出实际操作技能为主导,在分析加工工艺的基础上应用多种实例,重点讲述了数控加工的编程与操作方法。为了让学生对所学知识能更好的理解,教材上既有例题又有习题,而且在内容的编排上循序渐进。本教材力争做到既内容丰富,又简洁明了,而且图文并茂,通俗易懂,适合学校学生及技术工人阅读,同时也可作为数控加工实训的指导书。

建议本教材的总学时:基础篇 70~90 学时,实训篇 80~150 学时,总学时大约 150~240 学时。

本教材的第一、二、三章由任国兴、王青云、兰松云、金晶编写,第四章由徐鲲鹏、贺汉明、金晶编写,第五章和课题四、五、六由贺汉明编写,第六章和课题九、十、十一、十二由徐鲲鹏编写,第七章由赵慧曜和金晶编写,课题七、八、十三由赵慧曜编写,第八章由徐鲲鹏、兰松云编写,课题一、二、三由崔广军编写,本教材各章内容及思考练习题由金晶改编和统稿。

在教材的编写过程中,各位参编老师付出了艰辛的劳动,提出了许多宝贵意见。在此,谨向为编写本教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!限于作者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

主 编

2006 年 2 月于长春

目 录

前言

基础篇 数控铣床（加工中心）的编程

第一章 数控铣床（加工中心）概述	2	第五章 刀具参数补偿功能指令	89
第一节 数控铣床（加工中心） 的组成和工作原理	3	第一节 刀具的半径补偿	90
第二节 数控铣床（加工中心） 的分类和特点	5	第二节 刀具的长度补偿	96
思考练习题	13	思考练习题	98
第二章 铣削加工工艺基础	14	第六章 其他辅助功能指令	100
第一节 铣削加工的质量分析	15	第一节 镜像功能指令的 格式及应用实例	101
第二节 工件的装夹与 定位基准的选择	18	第二节 旋转功能指令的 格式及应用实例	103
第三节 工艺规程	19	第三节 缩放功能指令的 格式及应用实例	106
思考练习题	30	思考练习题	109
第三章 数控编程基础	31	第七章 复杂零件综合编程实例	110
第一节 编程的一般步骤	32	第一节 面铣削加工实例	111
第二节 数控铣床的坐标系	34	第二节 外形铣削加工实例	114
第三节 刀具轨迹的坐标值计算	36	第三节 挖槽铣削加工实例	118
第四节 程序编制的基本概念	42	第四节 钻孔加工实例	121
思考练习题	47	第五节 雕刻文字加工实例	123
第四章 数控铣床（加工中心）编程指令	48	第六节 复杂零件的加工实例	127
第一节 数控铣床（加工中心） 常用编程指令	49	思考练习题	138
第二节 详解 G 代码	71	第八章 宏程序简介	141
思考练习题	87	第一节 概述	142
		第二节 宏程序基础知识	142
		第三节 常用宏指令及其应用实例	144
		思考练习题	151

实训篇 数控铣床（加工中心）的实训操作

课题一 数控铣床（加工中心）的基本操作	154	课题六 挖槽铣削加工	207
第一节 数控机床的安全操作规程和日常维护与保养	155	课题七 钻孔加工	215
第二节 面板操作与手动操作	158	课题八 雕刻文字加工	219
第三节 MDI 方式操作	172	课题九 镜像功能指令练习	223
第四节 程序编辑与自动加工	174	课题十 旋转功能指令练习	226
课题二 数控铣床（加工中心）的对刀方法	182	课题十一 缩放功能指令练习	229
第一节 用 G54 编程的对刀方法	183	课题十二 宏程序加工练习	232
第二节 用 G92 编程的对刀方法	185	课题十三 自动编程简介	238
第三节 质量控制	187	第一节 创建基本图形	240
课题三 刀具的半径补偿及长度补偿功能的用法	188	第二节 设置毛坯外形尺寸、选择材料	244
第一节 刀具的半径补偿功能的用法	189	第三节 选择刀具、设置刀具参数和加工参数	244
第二节 刀具的长度补偿功能的用法	190	第四节 校核刀具路径、进行实体加工模拟与创建文件	252
第三节 刀具数据设置	192	第五节 传送 NC 文件到数控机床	255
课题四 外形铣削加工	195	参考文献	261
课题五 面铣削加工	201		

基础篇

数控铣床(加工中心) 的编程

第 一 章

数控铣床（加工中心）概述

【学习目的】

了解数控铣床（加工中心）的结构、主要部件和其工作原理；掌握数控铣床和加工中心的分类及特点。通过本章节学习后，读者对不同产品的加工应如何选用数控铣床和加工中心，有大致的了解。

【学习重点】

了解数控铣床和加工中心的输入装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、机床本体的结构；掌握数控铣床和加工中心的工作原理、分类及特点。

第一节 数控铣床（加工中心）的组成和工作原理

数控是数字控制或数值控制（Numerical Control, NC）的一种方法的简称，用数字化信号进行自动控制的一门技术称为数控技术。数控技术是与机床的自动控制技术密切结合而发展起来的技术，已广泛地应用于各个领域控制及其他方面。半个世纪以来，随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的迅速发展，数控机床也得到了快速发展，产品不断更新换代，品种不断增多。

一种设备的操作命令是以数字的形式来描述，工作过程是按照规定的程序自动地进行，那么这种设备就称为数控设备。数控机床、数控火焰切割机、数控绘图机、数控冲剪机等都是属于这个范畴内的自动化设备。目前，数控技术已在机床行业、造船行业、飞机制造业以及其他军用、民用行业获得了广泛的应用。

数控铣床是主要采用铣削方式加工零件的数控机床，它能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂型面的铣削，如凸轮、模具、叶片等。另外，数控铣床还具有孔加工的功能，通过特定的功能指令可进行一系列孔的加工，如钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻螺纹等，如图 1-1 所示。

加工中心是一种备有刀库并能自动更换刀具对工件进行多工序加工的数控机床，是具备两种机床功能的组合机床，如图 1-2 所示。它的最大特点是工序集中和自动化程度高，可减少工件装夹次数，避免工件多次定位所产生的累积误差，节省辅助时间，实现高质、高效加工。加工中心可完成镗、铣、钻、攻螺纹等工作，它与普通数控镗床和数控铣床的区别之处，主要在于它附有刀库和自动换刀装置。衡量加工中心刀库和自动换刀装置的指标有刀具存储量、刀具（加刀柄和刀杆等）最大尺寸与重量、换刀重复定位精度、安全性、可靠性、可扩展性、选刀方法和换刀时间等。

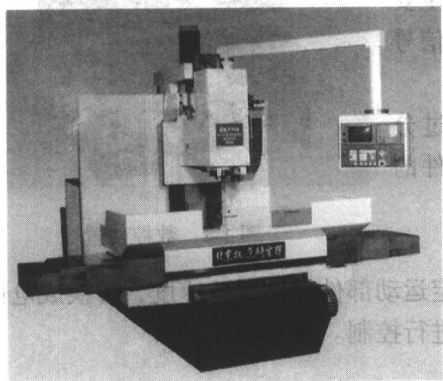


图 1-1 数控铣床

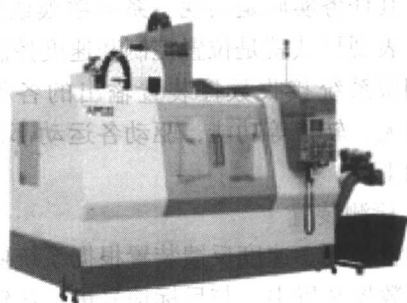


图 1-2 加工中心

一、数控铣床（加工中心）的组成

数控铣床（加工中心）大体由输入装置、数控装置、伺服系统、检测及其辅助装置和机床本体等组成，如图 1-3 所示。

1. 输入装置

数控程序编制后需要存储在一定的介质上,按目前的控制介质大致分为纸介质和电磁介质,相应地通过不同方法输入到数控装置中去。纸带输入方法,即在专用的纸带上穿孔,用不同孔的位置组成数控代码,再通过纸带阅读机将代表不同含义的信息读入。穿孔纸带使用 ISO 和 EIA 两种标准信息代码,数控机床能自动识别。手动输入是将数控程序通过数控机床上的键盘输入,程序内容将存储在数控系统的存储器内,使用时可以随时调用。

数控程序的产生由计算机编程软件或手工输入到计算机中,可以采用通信方式来传递数控程序到数控系统中,通常使用数控装置的 RS-232C 串行口或 RJ45 口等来完成。

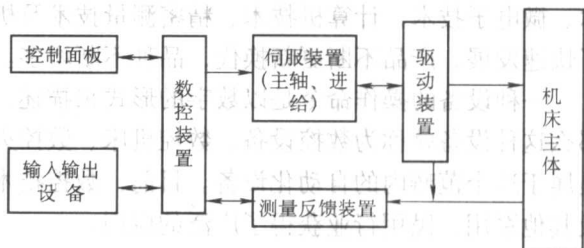


图 1-3 数控机床工作原理图

一般数控系统是由专用或通用计算机

硬件加上系统软件和应用软件组成,完成数控设备的运动控制功能、人机交互功能、数据管理功能和相关的辅助控制等功能。它是数控设备功能实现和性能保证的核心组成部分,是整个数控设备的中心控制机构。随着开放式数控技术的出现,数控系统具备了自我扩展和自我维护的功能,为数控设备的应用提供了自由完善、自定义系统软硬件功能和性能的能力。

数控装置是数控铣床的核心,是由数控系统、输入和输出接口等组成,它接收到的数控程序,经过编译、数学运算和逻辑处理后,输出各种信号到输出接口上,如图 1-4 所示。

3. 伺服系统

它是连接数控装置和机械结构的控制传输通道,它将数控装置的数字量的指令输出转换成各种形式的电动机运动,带动机械结构上执行元件实现其所规定出来的运动轨迹。伺服系统包括驱动放大器和电动机两个主要部分,其任务实质是实现一系列数模或模数之间的信号转化,表现形式就是位置控制和速度控制。

伺服系统接收数控装置输出的各种信号,经过分配、放大、转换等功能,驱动各运动部件,完成零件的切削加工。

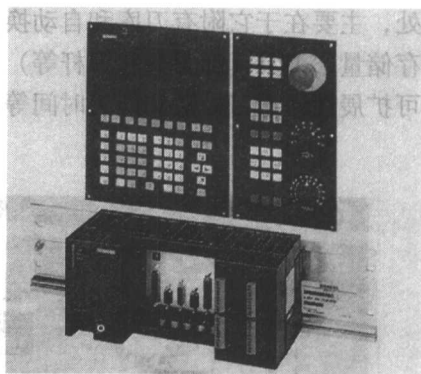


图 1-4 数控装置

4. 检测装置

位置检测、速度反馈装置根据系统要求不断测定运动部件的位置或速度,转换成电信号传输到数控装置中,与目标信号进行比较、运算,进行控制。

5. 运动部件

由包括床身、主轴箱、工作台、进给机构等组成的机械部件,伺服电动机驱动运动部件运动,完成工件与刀具之间的相对运动。

6. 辅助装置

辅助装置是指数控铣床(加工中心)的一些配套部件,包括刀库、液压和气动装置、冷却系统和排屑装置等。

二、数控铣床（加工中心）的工作原理

1. 数控加工的过程

首先要将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化，也就是将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴速度和进给速度的变换、切削液的开关、工件和刀具的交换等控制和操作，按规定的代码和格式编写成加工程序，然后送入数控系统，数控系统则按照程序的要求，先进行相应的运算、处理，然后发出控制命令，使各坐标轴、主轴及相关的辅助动作相互协调，实现刀具与工件的相对运动，自动完成零件的加工。

2. 数控机床的工作过程

数控机床的主要任务是利用数控系统进行刀具和工件之间相对运动的控制，完成零件的数控加工。

数控机床接通电源后，数控系统对各组成部分的工作状况进行自检，并根据厂家设定的参数要求设置为初始状态，一切正常，无报警提示，等待用户输入信息。回参考点、手动、MDI、自动、编辑等操作方式由用户操作使用。

零件的加工程序编制可以脱开机床编程，也可以在线编程。在线编程就是利用数控系统提供的面板键盘进行输入相关格式指令完成，程序直接进入数控系统的存储区域，可以随时调用；脱机编程是操作者在机床外用计算机进行一种编程方式，编写好的程序存储在磁盘等介质上，要进行使用时，通过数控机床提供的 RS-232C、RJ45 等接口与计算机相连，用传输软件将数控程序送入数控系统进行加工，它可以实现 DNC 方式加工。

在加工之前，为了使机床明白操作者设定的编程坐标，操作者必须通过对刀方式将编程坐标系转换成机床工件坐标系，也就是加工前输入实际使用刀具的参数及工件坐标系原点相对于机床坐标系的坐标值。

加工程序输入后，数控系统启动运行，系统对输入的信息进行内部处理，编译成二进制数据，通过数据计算，转换成控制信号。数控系统对信息预处理后，运行数控加工程序，系统根据程序中给出的几何数据和工艺数据进行插补计算，确定各线段的起点、终点，确定坐标轴运动的方向、大小和速度，分别向各个控制轴发出运动序列指令。

伺服系统接受信息后完成驱动，再根据机床上位置检测装置测得的实际数值反馈到数控系统内部的位置调节器，与理想数值进行比较、调节，输出补偿信息，控制各坐标轴的精确运动。

数控系统再次进行数控程序中程序段的插补计算和位置控制，逐行完成程序段的编译和处理，直至零件加工程序执行完毕。

第二节 数控铣床（加工中心）的分类和特点

数控机床加工与传统机床加工的工艺规程从总体上说是一致的，但与普通机床有着一定的区别。

(1) 工序集中 数控机床一般带有可以自动换刀的刀架、刀库，换刀过程由程序控制自动进行，因此，工序比较集中，减少机床占地面积，节约厂房，同时减少或没有中间环节（如半成品的中间检测、暂存搬运等），既省时间又省人力。

(2) 自动化程度高 数控机床加工时，不需人工控制刀具，自动化程度高，对操作工人

的要求降低。数控操作工在数控机床上加工出的零件比普通工在传统机床上加工出的零件精度高,而且省时、省力,降低了工人的劳动强度。

(3) 产品质量稳定 数控机床的加工自动化,免除了普通机床上工人的疲劳、粗心等人为误差,提高了产品的一致性。

(4) 加工效率高 数控机床的自动换刀等使加工过程紧凑,提高了劳动生产率。

(5) 柔性化高 改变数控加工程序,就可以在数控机床上加工新的零件,且又能自动化操作,柔性好,效率高,因此数控机床很适应市场竞争。

(6) 加工能力强 数控机床能精确加工各种轮廓,而有些轮廓在普通机床上无法加工。

一、数控铣床的分类和特点

(一) 数控铣床的分类

数控铣床是一种用途广泛的数控机床,按照不同方法分为不同种类。

1) 按主轴轴线位置方向分为立式数控铣床、卧式数控铣床。

2) 按加工功能分数控铣床、数控仿形铣床、数控齿轮铣床等。

3) 按控制坐标轴数分两坐标数控铣床、两坐标半数控铣床、三坐标数控铣床等。

4) 按伺服系统方式分为闭环伺服系统、开环伺服系统、半闭环伺服系统数控铣床等。

(二) 数控铣床的特点

数控铣床一般都能完成铣平面、铣斜面、铣槽、铣曲面、钻孔、镗孔、攻螺纹等加工,一般情况下,可以在一次装夹中完成所需的加工工序。

目前,数控装置的脉冲当量一般为 0.001mm ,高精度的数控系统可达 0.0001mm ,能保证工件精度。另外,数控加工还可避免工人的操作误差,一批加工零件的尺寸同一性特别好,大大提高了产品质量,定位精度比较高,所以数控铣床具有高精度,在加工各种复杂模具中显示较好的优越性。

数控铣床的最大特点是高柔性,所谓“柔性”即灵活、通用、万能,可以适用加工不同形状的工件。数控铣床的高效率主要是数控铣床高柔性带来的,一般不需要使用专用夹具工艺装备,在更换工件时,只需调用存储于计算机中的加工程序,装夹工件和调整刀具数据即可,能大大缩短生产周期。如一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能,使工序高度集中,大大提高了生产效率并减少了工件的装夹误差。

数控铣床的主轴转速和进给量都是无级变速的,因此,有利于选择最佳切削用量,具有快进、快退、快速定位功能,可大大减少辅助时间。采用数控铣床比普通铣床可提高生产率 $3\sim 5$ 倍。对于复杂的成形面加工,生产率可提高十几倍,甚至几十倍。

数控机床加工前经调整后,输入程序并起动,机床就能自动连续地进行加工,甚至加工结束。操作者主要是程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工形态的观测、零件的检验等工作。这样可极大地降低了劳动强度。机床操作者的劳动趋于智力型工作。

二、加工中心的分类和特点

(一) 加工中心的分类

1. 按照机床结构分类

可分为立式、卧式、龙门式和万能加工中心。

(1) 立式加工中心 立式加工中心指主轴轴线为垂直状态设置的加工中心,其结构形式多为固定立柱式,工作台为长方形、十字滑台,适合加工各类铣削类零件,具有三个直线运

动坐标,并可在工作台上安装一个水平的数控转台用以加工螺旋线类零件,如图 1-5 所示。立式加工中心的结构简单、占地面积小、价格低。

(2) 卧式加工中心 卧式加工中心指主轴轴线水平设置的加工中心。卧式加工中心有固定立柱式或固定工作台式。固定立柱式的卧式加工中心的立柱不动,主轴箱在立柱上做上下移动,工作台可在水平面上做两个方向(X 、 Z)移动,如图 1-6 所示。固定工作台式的卧式加工中心其 Z 坐标的运动由立柱移动来定位,安装工件的工作台只完成 X 坐标移动。

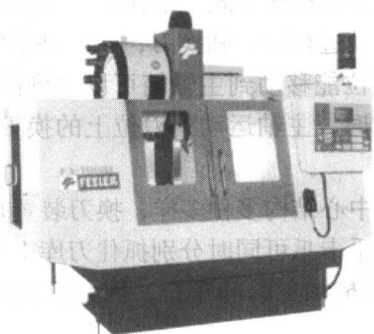


图 1-5 立式加工中心外形图

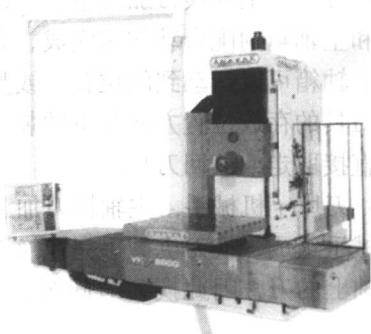


图 1-6 卧式加工中心外形图

卧式加工中心通常带有可进行分度回转运动的正方形分度工作台,一般具有 3~5 个运动坐标,常见的是三个直线运动坐标(沿 X 、 Y 、 Z 轴方向)加一个回转运动(回转工作台),它能够使工件在一次装夹后完成除安装面和顶面以外的其余四个面的加工,最适合箱体类工件的加工。

与立式加工中心相比较,卧式加工中心的结构复杂,占地面积大,重量大,价格也较高。

(3) 龙门式加工中心 龙门式加工中心形状与龙门式铣床相似,如图 1-7 所示。主轴多为垂直设置,带有自动换刀装置和可更换的主轴头附件,数控装置的软件功能也较齐全,能够一机多用,尤其适用于大型或形状复杂的工件,如航天工业及大型气轮机上的某些零件的加工。

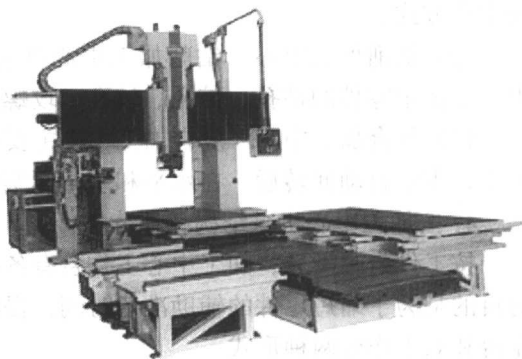


图 1-7 龙门式加工中心外形图

(4) 万能加工中心 这种加工中心具有立式和卧式加工中心的功能,在工件的一次装夹后,能完成除安装面外的所有五个面的加工,故又称五面加工中心。常见的五面加工中心有两种形式:一种是主轴可以旋转 90° ,既可以像立式加工中心那样工作,也可以像卧式加工中心那样工作;另一种是主轴不改变方向,而工作台可以带着工件旋转 90° 完成对工件五个表面的加工,可以使工件的形位误差降到最低,省去二次装夹的工装,从而提高生产效率,降低加工成本。由于五面加工中心存在着结构复杂、造价高占地面积大等缺点,所以它的使用和生产在数量上远不如其他类型的加工中心应用广泛。

2. 按自动换刀装置分类

按自动换刀装置分类,通常可以分为四类:转塔头加工中心、刀库+主轴换刀加工中心、刀库+机械手+主轴换刀加工中心、刀库+机械手+双主轴转塔头加工中心等。

(1) 转塔头加工中心 转塔头加工中心有立式和卧式两种,主轴数一般为6~12个,这种结构换刀时间短、刀具数量少、主轴转塔头定位精度要求较高。一般在小型立式加工中心上采用转塔刀库形式,主要以孔加工为主。

(2) 刀库+主轴换刀加工中心 这种加工中心特点是无机械手式主轴换刀,其换刀是通过刀库和主轴箱的配合动作来完成,并由主轴箱上下运动进行选刀和换刀,一般是采用把刀库放在主轴箱可以运动到的位置,或整个刀库或某一刀位能移动到主轴箱可以达到的位置,刀库中刀具的存放位置方向与主轴装刀方向一致。换刀时,主轴运动到刀位上的换刀位置,由主轴直接取走或放回刀具。

(3) 刀库+机械手+主轴换刀加工中心 这种加工中心结构多种多样,换刀装置是由刀库和机械手组成,换刀机械手完成换刀工作。由于机械手卡爪可同时分别抓住刀库上所选的刀和主轴上的刀,因此换刀时间短,并且选刀时间与机械加工时间重合,因此得到广泛应用。

(4) 刀库+机械手+双主轴转塔头加工中心 这种加工中心在主轴上的刀具进行切削时,通过机械手将下一步所用的刀具换在转塔头的非切削主轴上。当主轴上的刀具切削完后,转塔头即回转,完成换刀工作,换刀时间短。

3. 按加工中心完成功能特征分类

按功能特征分类,可分为镗铣、钻削和复合加工中心;按工艺用途可分为镗铣加工中心、车削加工中心、钻削加工中心、攻螺纹加工中心及磨削加工中心等。

(1) 镗铣加工中心 镗铣加工中心和龙门式加工中心,以镗铣为主,适用于箱体、壳体类零件加工以及各种复杂零件的特殊曲线和曲面轮廓的多工序加工,适用于多品种、小批量的生产方式。

(2) 钻削加工中心 钻削加工中心以钻削为主,刀库形式以转塔头形式为主,适用于中、小批量零件的钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹及连续轮廓铣削等多工序加工。

(3) 复合加工中心 复合加工中心主要指五面复合加工,可自动回转主轴头,进行立卧加工,主轴自动回转后,在水平和垂直面实现刀具自动交换。

4. 按加工中心机械结构特征分类

按工作台种类分,加工中心工作台有各种结构,可分为单、双和多工作台。设置工作台的目的是为了缩短零件的辅助准备时间,提高生产效率和机床自动化程度。最常见的是单工作台和双工作台两种形式。

5. 按主轴结构特征分类

根据主轴结构特征分类,可分为单轴、双轴、三轴及可换主轴箱的加工中心。

(二) 加工中心的特点

加工中心作为一种高效多功能的数控机床,在现代生产中扮演着重要角色。它可以自动连续地完成铣、钻、扩、铰、镗、攻螺纹等多工序加工,适合于小型板类、盘类、壳体类、模具等零件的多品种小批量加工。它除了具有数控机床的共同特点外,还具有其独特的特点。

1. 工序集中

加工中心的制造工艺与传统工艺及普通数控加工有很大不同。由于加工中心备有刀库并能自动更换刀具,对工件进行多工序加工,使得工件在一次装夹后,数控系统能控制机床按不同工序自动选择和更换刀具,自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助机能,现代加工中心更大程度的使工件在一次装夹后实现多表面、多特征、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. 强力切削

主轴电动机的运动经一对齿形带轮传到主轴,主轴转速的恒功率范围宽,低转速的转矩大,机床的主要构件刚度高,故可以进行强力切削。因为主轴箱内无齿轮传动,所以主轴运转时噪声低、振动小、热变形小。

3. 对加工对象的实用性强

四轴联动、五轴联动加工中心的应用以及 CAD/CAM 技术的成熟、发展,使复杂零件的自动加工成为易事,加工中心生产的柔性不仅体现在对特殊要求的快速反映上,而且可以快速实现批量生产,提高了市场竞争能力。

4. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。加工中心带有刀库和自动换刀装置,在一台机床上能集中完成多种工序,因而可减少工件装夹、测量和机床的调整时间,减少工件半成品的周转、搬运和存放时间,使机床的切削利用率高于普通机床 3~4 倍,达 80% 以上,因此,加工中心生产率高。

5. 高速定位

进给伺服电动机的运动经联轴节和滚珠丝杠副,使 X 轴、Y 轴和 Z 轴获得高速的快速移动,机床基础件刚度高,使机床在高速移动时振动小,低速移动时无爬行,并且有高的精度稳定性。

6. 减轻操作者的劳动强度

加工中心对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了操作键盘、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运动之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度和紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到很大的改善。

7. 随机换刀

驱动刀库的伺服电动机经蜗轮副使刀库回转,机械手的回转、取刀、装刀机构均由液压系统驱动,自动换刀装置结构简单,换刀可靠,由于它安装在立柱上,故不影响主轴箱移动精度。采用记忆式的任选换刀方式,每次选刀运动,刀库正转或反转均不超过 180°。

8. 经济效益高

使用加工中心加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的,但在单件、小批生产的情况下,可以节省许多其他方面的费用,因此能获得良好的经济效益。加工中心的加工稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。

9. 有利于生产管理的现代化

用加工中心加工零件,能够准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点有利于使生产管理现代化。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。

三、数控铣床及加工中心机械结构的主要组成部分

数控铣床及加工中心机械结构的主要组成部分如下：

1. 机床基础件（如床身，底座等）
2. 主传动系统（包括主轴电动机及传动部分）

主传动部分是数控机床的组成部分之一，主轴夹持刀具旋转，直接参加工件表面成形运动。主轴部件的刚度、精度、抗振性和热变形对工件加工质量影响较大。主轴转速高低及范围、传递功率大小和动力特性，决定了工件的切削加工效率和加工工艺能力。大多数主轴都采用无级变速运动，调速范围大，运动方式一般有齿轮传动方式、带传动方式以及电动机直接传动方式等。数控铣床及加工中心主轴组件一般由轴承、支承、传动件和刀具夹紧等装置组成。主轴轴承的类型、结构、配置和精度直接影响组件的工作性能。

3. 进给系统

进给传动系统承担了数控机床各直线坐标轴、回转轴的定位和切削进给，进给系统的传动精度、灵敏度和稳定性直接影响被加工工件的轮廓和加工精度。进给系统由联轴节、滚珠丝杠、导轨等组成，导轨必须摩擦系数小，耐磨能力强，常用导轨有高频淬火导轨、贴塑导轨等，高档的还有滚动导轨、线导轨、液压导轨等。滚珠丝杠副是回转运动与直线运动相互转换的传动装置，如图 1-8 所示。机床能在高速进给下达到工作平稳、定位精度高，没有高刚度、无间隙、高灵敏度和低摩擦阻力的滚珠丝杠做支撑是不行的。

4. 实现工件回转、定位的装置和附件

为了扩大数控机床范围，提高生产效率，机床除了沿 X 、 Y 、 Z 三个坐标方向直线进给运动外，有的还需配备有绕 X 、 Y 、 Z 轴的圆周进给运动。实现回转运动通常采用回转工作台和分度工作台。分度工作台只是将工件分度转位，实现分别加工工件的各个表面的目的，给零件加工带来了很大方便。而回转工作台除了分度和转位的功能外，还能实现圆周进给运动。

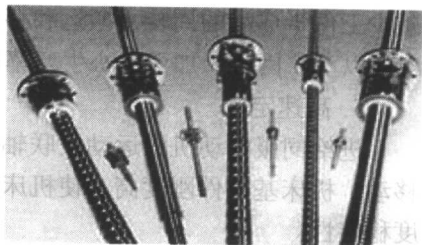


图 1-8 滚珠丝杠

5. 自动换刀装置（ATC）

一般数控铣床的主轴中只能装备一把刀，要更换刀具时，只能靠配备的主轴机构进行手动换刀。而加工中心配备一定数量刀具的存储装置，为了完成工件的多工序加工需要进行更换刀具，这种装置称为自动换刀装置（ATC）。其基本要求是刀具换刀时间短且可靠性高，刀具重复定位精度高，有足够的刀具容量且占地面积小。

带刀库的自动换刀系统是由刀库和换刀机构组成，刀库可以存放很多刀具。刀库类型分为盘式、链式和箱式。盘式刀库又称斗笠式刀库，容量较小；链式刀库容量较大，一般配有 30 把以上的刀具时采用；箱式刀库容量更大，空间利用率高，但是换刀时间长。刀库与主轴交换方式通常有机械手交换刀具方式和由刀库与机床主轴的相对运动实现刀具交换方式。其交换方式及它们的具体结构直接影响机床的工作效率和可靠性。

6. 自动托盘交换装置（APC）

它不仅是加工系统与物流系统间的工件输送接口，也起物流系统工件缓冲站的作用。托盘交换装置按其运动方式有回转式和往复式两种，托盘交换器在机床运行时是加工中心的一个辅件，完成或协助完成物料（工件）的装卸与交换，并起缓冲作用。

7. 辅助装置（如液压、气动、润滑、冷却、排屑、防护等装置）

数控机床配备液压和气动装置来完成自动运行功能，其结构紧凑，工作可靠，易于控制和调节，液压传动装置使用工作压力高的油性介质，动作平稳，噪声较小；气动装置的气源容易获得，结构简单，动作频率高，适合频繁起动的辅助工作。如主轴的自动松开和夹紧，交换工作台的自动交换动作、自动换刀时机械手的伸缩、回转及刀具的松开和拉紧等工作都离不开液压和气动等装置。图 1-9 所示为直动式电液伺服阀。

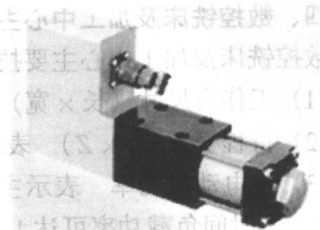


图 1-9 直动式电液伺服阀

排屑装置的主要作用是将切屑从加工区域排出到数控机床之外，切屑中混着切削液，排屑装置将切屑从其中分离出来送入切屑小车。

8. 工具系统

生产中广泛使用数控铣床及加工中心来加工各种不同的工件，所以刀具装夹部分的结构、尺寸也是各种各样的。把通用性较强的装夹工具系列化、标准化就有了不同结构的工具系统，它一般分为整体式结构和模块式结构两大类，如图 1-10 所示刀具系统附件、图 1-11 对刀仪等。整体式刀具系统基本上由整体柄部和整体刃部（整体式刀具）两者组成，传统的钻头、铣刀、铰刀等就属于整体式刀具。模块式刀具系统是把整体式刀具系统按功能进行分割，做成系列化的标准模块（如刀柄、刀杆、接长杆、接长套、刀夹、刀体、刀头、刀刃等），再根据需要快速地组装成不同用途的刀具，当某些模块损坏时可部分更换。这样既便于批量制造，降低成本，也便于减少用户的刀具储备，节省开支。因此模块式刀具系统在使用中倍受推崇。

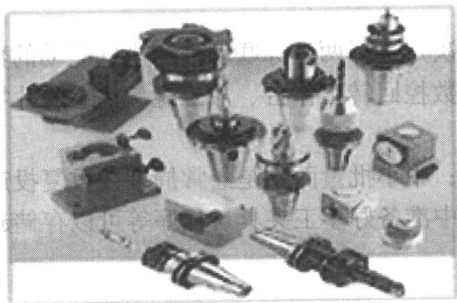


图 1-10 刀柄、对刀器、卸刀器等附件

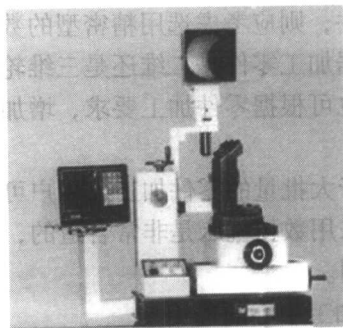


图 1-11 机外对刀仪

常用的是 40 号、45 号、50 号 7:24 长圆锥柄，在该系列中，我国的 GB/T10944—1989、德国的 DIN69871、美国的 ANSIL5.50 都已与 ISO7388 标准趋于一致，在主轴端为同一锥度号的主轴孔，以及刀库、换刀机械手之间互相通用。如 JT40—XS16—75，其中 JT40 表示刀柄型式及尺寸，其后数字为相应的 ISO 锥度号，40 代表大端直径 44.45 的 7:24 锥度。JT 表示采用日本标准 MAS403 号加工中心机床用锥柄形式；XS16 表示刀柄用途及主参数（XD 装三面铣刀刀柄，MW 装无扁尾氏锥柄刀柄，XS 装三面刃铣刀刀柄，M 装有扁尾氏锥柄刀柄，Z (J) 装钻夹头刀柄，XP 装削平柄铣刀刀柄）；后面的数字表示工具的工作特性，75 数字为