

加工中心实训教程



JIAGONG ZHONGXIN SHIXUN JIAOCHENG

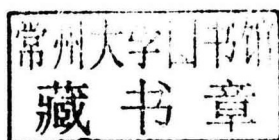
李建国 吴娜 主编



电子科技大学出版社

加工中心实训教程

主 编	李建国	吴 娜
主 审	秦曼华	
参 编	刘 洋	陈振国
	李文军	张 敬



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

加工中心实训教程 / 李建国, 吴娜主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5647-4146-4

I. ①加… II. ①李… ②吴… III. ①加工中心-教
材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 001329 号

内 容 简 介

本书共十个项目, 主要内容包括项目一数控加工中心概述、项目二数控加工中心的加工工艺、项目三数控加工中心的操作基础、项目四加工中心编程基础、项目五 CAXA 软件编程、项目六数控加工中心精度及加工精度、项目七数控加工中心的故障诊断和排除、项目八数控加工技术应用、项目九数控加工中心考级强化训练、项目十数控加工中心职业技能鉴定试题库等内容。

本书以“够用为度, 强化应用”为原则, 以技能素质培养为根本目标, 注意基本知识、基本理论的阐述, 注重理论联系实际, 突出系统性、实用性和先进性, 列举了一定数量的典型加工实例, 进一步强化实践操作技能。

加工中心实训教程

主 编 李建国 吴 娜

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 全国新华书店经销

印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 18 字数 450 千字

版 次: 2017 年 1 月第一版

印 次: 2017 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-4146-4

定 价: 36.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: (028) 83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

20 世纪 90 年代以来,随着以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,数控技术通过不断采用控制理论等相关领域的最新技术成果,正成功地带动机械制造装备的重大技术进步,推动着装备制造自动化的不断发展。在经历了蒸汽一代和电气一代后,现代装备制造业正在全面进入数控一代,并必然会发展到智能一代。加工中心是从数控铣床发展而来的。与数控铣床的最大区别在于加工中心具有自动交换加工刀具的能力,通过在刀库上安装不同用途的刀具,可在一次装夹中通过自动换刀装置改变主轴上的加工刀具,实现多种加工功能。

数控加工中心是由机械设备与数控系统组成的适用于加工复杂零件的高效率自动化机床。数控加工中心是目前世界上产量最高、应用最广泛的数控机床之一。

本书坚持以服务为宗旨,以就业为导向的思想,突出了职业技能教育的特色。本书的主要特点如下。

(1) 本书编写理念上根据中职生的培养目标及认知特点,打破了传统的理论—实践—再理论的认知规律,代之以实践—理论—再实践的新认知规律,突出“做中学、学后再做”的新教育理念。

(2) 本书教学上坚持理实一体,贯彻“做中学、学中做”的职教理念,强调实践与理论的有机统一,技能上力求满足企业用工需要,理论上做到适度、够用。

(3) 本书选用的图标直观、形象,好教易学,定位准确,内容紧扣主题,简洁、通俗,除了可以作为学校的教学用书外,还可以作为相关专业技术工人的培训、自学教材。

本书由天津职业大学机械工程实训中心部分教师合作编写。本书由李建国、吴娜老师担任主编,参加编写的有李建国(项目一、二、三)、吴娜(项目四、五)、刘洋(项目六)、陈振国(项目七)、李文军(项目八)、张敬(项目九、十)。本书由李建国、吴娜共同担任主编并负责全书通稿,秦曼华教授担任主审,对全书文稿和图稿进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,对此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之出版时间仓促,书中难免存在不妥之处,恳请相关专家、学者以及读者批评指正,以便我们今后的更改和完善。

编 者

2016 年 11 月



目 录

项目一 数控加工中心概述	(1)
第一节 数控加工中心的分类和工作原理	(1)
第二节 数控加工中心的加工特点及加工对象	(7)
第三节 数控加工中心的技术参数	(11)
第四节 加工中心的传动系统	(13)
第五节 数控系统的主要功能	(18)
第六节 数控技术的发展及其方向	(18)
项目二 数控加工中心的加工工艺	(22)
第一节 加工中心加工工艺的基本特点及内容	(22)
第二节 工艺路线的制定	(23)
第三节 数控加工的质量分析	(25)
第四节 数控铣工艺分析	(28)
第五节 数控加工中心工艺设计	(31)
第六节 加工中心工艺分析实例	(35)
项目三 数控加工中心的操作基础	(39)
第一节 数控系统机床的系统面板	(39)
第二节 加工中心的刀库	(42)
项目四 加工中心编程基础	(64)
第一节 加工中心编程基础	(64)
第二节 常用代码指令	(66)
第三节 刀具半径补偿、长度补偿应用	(72)
第四节 FANUC 数控系统固定循环功能指令应用	(75)
第五节 子程序功能指令应用	(84)
第六节 特殊编程功能指令应用	(87)
第七节 宏程序功能指令应用	(95)
第八节 加工中心编程实例	(99)
项目五 CAXA 软件编程	(103)
第一节 仿真与自动编程软件认识	(103)
第二节 典型零件程序编制与加工	(107)
项目六 数控加工中心精度及加工精度	(130)
第一节 数控机床零件加工精度检测基础	(130)
第二节 影响数控机床加工精度的因素	(132)



第三节 数控加工零件的精度检测方法.....	(136)
第四节 数控机床典型零件加工精度分析.....	(142)
第五节 提高数控机床加工精度的方法和措施.....	(150)
项目七 数控加工中心的故障诊断和排除.....	(156)
第一节 数控加工中心维护的特点.....	(156)
第二节 数控加工中心维护保养的内容.....	(159)
第三节 数控加工中心常见故障的分析及维修.....	(179)
项目八 数控加工技术应用.....	(189)
第一节 利用比例缩放功能加工编程(4例).....	(189)
第二节 利用坐标系旋转功能加工编程(3例).....	(193)
第三节 利用极坐标功能加工编程(2例).....	(197)
第四节 利用镜像功能加工编程(2例).....	(199)
第五节 利用宏程序加工编程(8例).....	(201)
项目九 数控加工中心考级强化训练.....	(218)
数控加工中心强化训练一.....	(218)
数控加工中心强化训练一标准答案与评分标准.....	(224)
数控加工中心强化训练二.....	(226)
数控加工中心强化训练二标准答案与评分标准.....	(231)
数控加工中心强化训练三.....	(232)
数控加工中心强化训练三标准答案与评分标准.....	(238)
项目十 数控加工中心职业技能鉴定题库.....	(239)
数控加工职业技能鉴定理论题及答案.....	(239)
数控加工职业技能鉴定实操样题及答案.....	(252)



项目一 数控加工中心概述

第一节 数控加工中心的分类和工作原理

随着社会生产和科学技术地迅速发展，机械产品日趋精密复杂，且需频繁改型，精度要求高，形状复杂，批量小。加工这类产品需要经常改装或调整设备，普通机床或专用化程度高的自动化机床已不能适应这些要求。为了解决上述问题，一种新型机床——数控机床应运而生。这种新型机床具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高等优点。它综合了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构多方面的技术成果，是今后机床控制的发展方向。

一、数控机床的组成

如图 1-1、图 1-2 所示，数控机床一般由输入装置、数控装置、伺服系统、检测及其辅助装置和机床本体等组成。

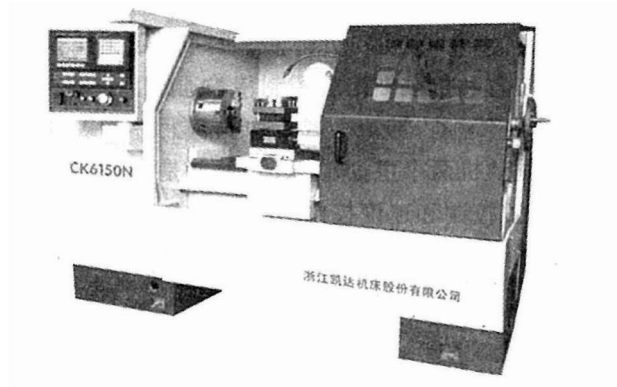


图 1-1 数控车床

（一）输入装置

数控程序编制后需要存储在一定的介质上。目前，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。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。

数控程序由计算机编程软件产生或手工输入到计算机中。数控程序可采用通信方式传递到数控系统中。此类通信通常使用数控装置的 RS232C 串行口或 RJ45 口等来完成。

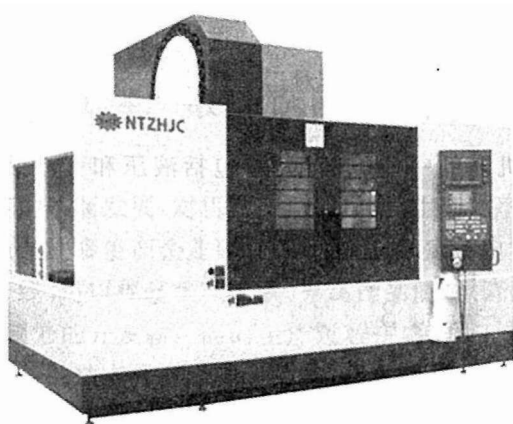


图 1-2 数控铣床

(二) 数控装置

数控系统一般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，能够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，是整个数控设备的中心控制机构。开放式数控技术的出现，使数控系统具备了自我扩展和自我维护的功能，为数控设备在应用中提供了自由完善、自定义系统软硬件功能和性能的能力。

数控装置是数控机床的核心，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。

(三) 伺服系统

伺服系统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，带动机械结构执行元件实现其所规定的运动轨迹。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，驱动各运动部件，完成零件的切削加工。

(四) 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。其结果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，以此对运动部件进行控制。

(五) 运动部件

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

(六) 辅助装置

辅助装置是指数控机床的一些配套部件，包括液压和气动装置、冷却系统和排屑装置等。

二、加工中心的组成结构

加工中心的组成随机床的类别、功能、参数的不同而有所不同。机床本身分为基本部



件和选择部件，数控系统有基本功能和选用功能，机床参数有主参数和其他参数。机床制造厂可根据用户提出的要求进行生产，但同类机床产品的基本功能和部件组成一般差别不大。图 1-3 为 JCS-018A 型立式加工中心组成部件示意图。

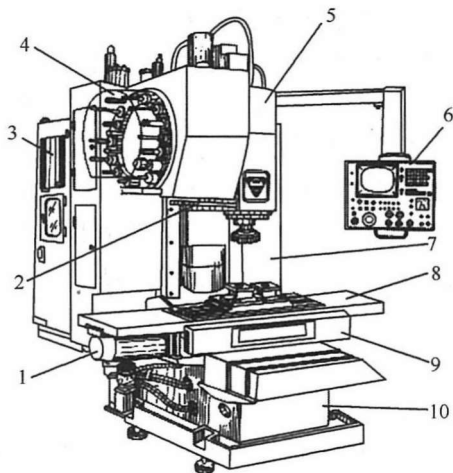


图 1-3 JCS-018A 型立式加工中心组成部件示意图

1- X 轴的直流伺服电动机；2-换刀机械手；3-数控柜；4-盘式刀库；5-主轴箱；
6-操作面板；7-驱动电源柜；8-工作台；9-滑座；10-床身。

尽管出现了各种类型加工中心，外形结构各异，但从总体来看大体上由以下几大部分组成。

（一）基础部件

基础部件主要由床身、立柱和工作台等组成，是加工中心的基础构件，它们可以是铸件，也可以是焊接钢结构件，都要承受加工中心的静载荷以及在加工时切削载荷。因此，该部件必须有足够的刚度。基础部件在加工中心组成部分中是质量和体积最大的部件。

（二）主轴组件

主轴组件主要由主轴、主轴电机、主轴轴承和主轴箱等零件组成。主轴的启动、停止和转动等动作都是由数控系统控制，并且通过装在主轴上的刀具参与切削运动。主轴是加工中心的关键部件，主要承担着加工中心的功率输出，其结构优劣对加工中心的性能会有很大的影响。

（三）控制系统

加工中心的数控部分是由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动装置以及电动机等部分组成。它们是加工中心执行顺序控制动作和完成加工过程中的控制中心。CNC 系统一般由中央处理器、存储器和输入输出接口组成。中央处理器又由存储器、运算器、控制器和总线组成。CNC 系统主要特点是输入存储、数据处理、插补运算以及机床各种控制功能，都是通过计算机软件来完成，增加了很多逻辑电路中难以实现的功能。计算机与其他装置之间可通过接口设备连接。当控制对象改变时，只需改变软件与接口。

（四）伺服装置

加工中心的伺服系统主要是控制机床的进给运动和主轴的转速。伺服系统接受来自数

控装置的指令信号，经过放大和转换，驱动机床执行件跟随指令脉冲运动，实现预期的运动，并保证动作的速度和准确性。伺服系统的性能是决定机床的加工精度、表面质量和生产效率的主要因素之一。

（五）自动换刀装置

自动换刀装置主要由刀库、机械手和驱动机构等部件组成。

（六）辅助系统

辅助系统主要包括润滑、冷却、排屑、液压和随机检测系统等。

三、加工中心的分类

（一）按照机床形态分类

1. 立式加工中心

立式加工中心是指主轴为垂直状态的加工中心，如图 1-4 所示。其结构形式多为固定立柱，工作台为长方一形，无分度回转功能，适合加工盘、套及板类零件，它一般具有三个直线运动坐标轴，并可在工作台上安装一个沿水平轴旋转的回转台，用以加工螺旋线类零件。

立式加工中心装卡方便，便于操作，易于观察加工情况，调试程序容易，结构简单，占地面积小，价格相对较低，应用广泛。但是，受到立柱高度及换刀装置的限制，不能加工太高的零件，在加工型腔或下凹的型面时，切屑不容易排出，严重时损坏刀具，破坏已加工表面，影响加工的顺利进行。

2. 卧式加工中心

卧式加工中心是指主轴为水平状态的加工中心，如图 1-5 所示。卧式加工中心通常都带有自动分度的回转工作台，具有 3~5 个运动坐标轴，一般是三个直线运动坐标加一个回转运动坐标，工件在一次装卡后能完成除安装面和顶面以外的其余 4 个表面的加工，较适合加工箱体类零件。

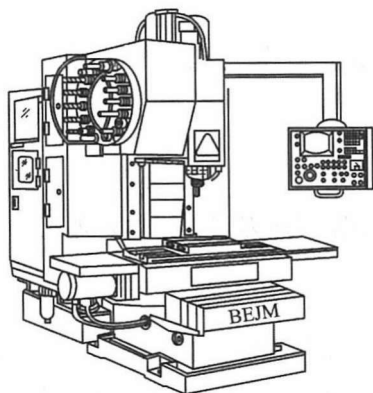


图 1-4 立式加工中心

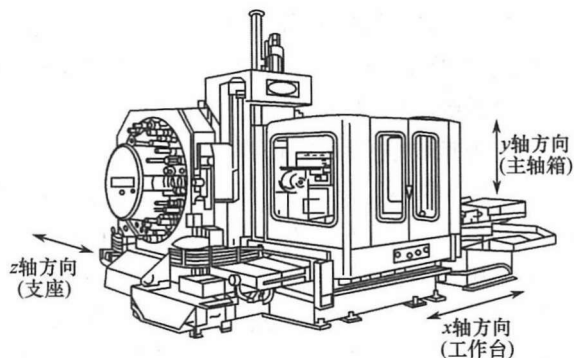


图 1-5 卧式加工中心

卧式加工中心在调试程序及试切过程中，不便于操作员进行观察，加工时也不方便监



视, 零件装夹和测量不方便, 但加工时排屑较容易, 对加工有利。与立式加工中心相比, 卧式加工中心的结构复杂, 占地面积大, 价格也较高。

3. 龙门式加工中心

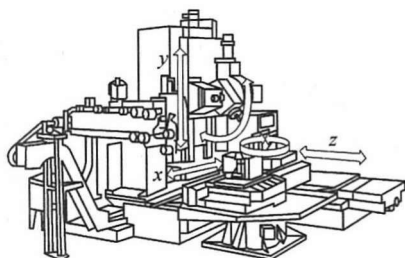
龙门式加工中心的形状与数控龙门铣床相似。龙门式加工中心主轴多为垂直设置, 除带有自动换刀装置以外, 还带有可更换的主轴附件。数控装置的功能也较齐全, 能够一机多用, 尤其适用于加工大型工件和形状复杂的工件, 如航空工业及大型汽轮机上的某些零件的加工都需要这类多坐标龙门式加工中心。

4. 五轴加工中心

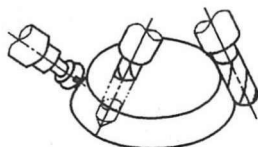
五轴加工中心具有立式加工中心和卧式加工中心的功能, 如图 1-6 所示。工件一次安装后能完成除安装面以外的其余五个面的加工, 也称为万能加工中心或复合加工中心。使用五轴加工中心加工零件, 可以使工件的形状误差降到最低, 省去二次装夹工件, 从而提高效率。常见的五轴加工中心有两种形式: 一种是主轴可以旋转, 对工件进行立式和卧式加工; 另一种是主轴不改变方向, 而由工作台带着工件旋转, 完成对工件五个表面的加工。但是五面加工中心的结构复杂、造价高。

5. 虚轴加工中心

虚轴加工中心如图 1-7 所示。它改变了以往传统机床的结构, 通过连杆的运动, 实现主轴多自由度的运动, 对工件的复杂曲面进行加工。



(a) 机床结构图



(b) 加工示意图

图 1-6 五轴加工中心

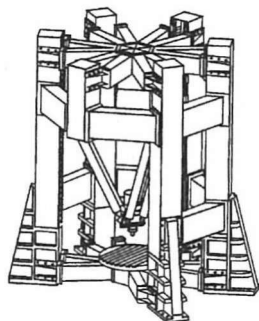


图 1-7 虚轴加工中心

(二) 按照加工中心机床功用分类

1. 车削加工中心机床

车削加工中心机床可以用于加工轴类零件, 还可以进行铣 (如铣扁、铣六等)、钻 (如钻横向孔) 等工序。

2. 钻削加工中心机床

钻削加工中心机床主要用于钻孔, 也可进行小面积的端铣。

3. 镗铣加工中心机床

镗铣加工中心机床简称为加工中心。主要用于镗削、铣削、钻孔、扩孔、铰孔及攻螺纹等工序, 特别适合于加工箱体类及形面复杂、工序集中的零件。



(三) 按照自动换刀装夹形式分类

1. 带刀库、机械手的加工中心

加工中心的换刀装置是由刀库和机械手组成，换机械手完成换刀工作。这是加工中心采用最普遍的形式，如 JCS-018A 型立式加工中心。

2. 无机械手的加工中心

无机械手的加工中心的换刀是通过刀库和主轴箱的配合动作来完成。一般是采用把刀库放在主轴箱可以运动到的位置，也可采用把整个刀库或者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的装刀方向一致。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，多用于小型加工中心，如 XH754 型卧式加工中心。

3. 转塔刀库式加工中心

转塔刀库式加工中心的主轴转塔头刚性和承载能力较弱，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，主要是以孔加工为主，如 ZH5120 型立式钻削加工中心。按照功能特殊性分类有：单工作台、双工作台和多工作台加工中心；单轴、双轴、三轴及可换主轴箱的加工中心；立式转塔加工中心和卧式转塔加工中心；刀库加主轴换刀加工中心；刀库加机械手加主轴换刀加工中心；刀库加机械手加双主轴转塔加工中心等。

(四) 按照运动坐标数和同时控制的坐标数分类

加工中心可分为三轴二联动，三轴三联动，四轴三联动，五轴四联动，六轴五联动等。

(五) 按照工作台数量分类

加工中心可分为单工作台加工中心、双工作台加工中心和多工作台加工中心。

四、加工中心的工作原理

根据零件图样制定工艺方案，采用手工或计算机自动编制零件加工程序，把零件所需的机床各种动作及全部工艺参数变成机床的数控装置能接受的信息代码，并把这些代码存储在信息载体上，将信息载体送到输入装置。读出信息并送入数控装置，或利用计算机与加工中心直接进行通信，实现零件程序的输入和输出。

进入数控装置的信息经过一系列处理和运算转变为脉冲信号。有的信号送到机床的伺服系统，通过伺服机构进行转换和放大，再经过传动机构，驱动机床有关零部件使刀具和工件严格执行零件程序所规定的相应运动。还有的信号送到可编程序控制器中用于顺序控制机床的其他辅助动作，实现刀具的自动更换。

金属切削铣床加工零件时，操作者根据图纸要求，控制铣床操作系统，不断改变工件与刀具的相对运动参数（位置、速度等），使刀具从工件上切除多余材料，制造出符合形状、尺寸、表面质量等技术要求的零件。

数控加工的基本工作原理包括以下三个方面：

(1) 把加工过程中所需的各种操作步骤（如主轴变速、工件夹紧、进给、启停、刀



具选择、冷却液供给等) 和工件的形状尺寸用程序来表示。

(2) 将信息输入到计算机数控装置, 并进行相应的处理和运算。

(3) 把刀具和工件的运动坐标分割成一些最小单位量, 由数控系统按照零件程序的要求控制伺服驱动系统, 从而实现刀具与工件的相对运动, 完成零件的加工。

在数控加工中, 数控装置以脉冲群的形式向数控铣床传递运动命令, 每一个脉冲对应于铣床的单位位移量, 由此实现数控铣床的加工。

所谓插补运算, 是指在进行曲面加工时, 用给定的数学函数来模拟线段 ΔL , 即给出一个曲线的种类、起点、终点以及速度后, 然后根据给定的数学函数, 在理想的轨迹或轮廓上的已知点之间进行数据点的密化, 从而确定一些中间点的运算方法。

由此可见, 要实现数控加工, 必须有一台具备以下功能要求的数控设备:

(1) 数控装置应具备接受零件图样加工要求的信息, 并按照一定的数字模型进行插补运算, 实时地向各坐标轴发出速度控制指令以及切削用量的功能。

(2) 驱动装置应当响应快速、功率符合要求。

(3) 能满足上述加工要求的铣床主铣、刀具、辅助设备以及各种加工所需的辅助功能。在数控机床上, 先把被加工零件的工艺过程(如加工顺序、加工类别)、工艺参数(如主轴转速、进给速度、刀具尺寸)以及刀具与工件的相对位移用数控语言编写成一系列的加工程序, 然后将程序输入到数控装置, 数控装置便根据数控指令控制机床的各种操作和刀具与工件的相对位移, 当零件加工程序结束时, 铣床会自动停止, 加工出合格的零件, 其工作原理如图 1-8 所示。

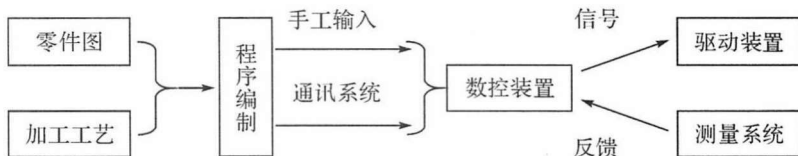


图 1-8 数控铣床工作原理

第二节 数控加工中心的加工特点及加工对象

一、加工中心机械结构的主要特点

加工中心与普通机床在外形上比较相似, 但在结构和功能方面有较大差异, 这是由数控机床的加工原理和加工特点所决定的, 具有以下结构特点。

(一) 结构简单、操作方便、自动化程度高

加工中心需要根据数控系统的指令, 自动完成对进给速度、主轴转速、刀具运动轨迹以及其他机床辅助功能的控制。它必须利用伺服进给系统代替普通机床的进给系统, 并可以通过主轴调速系统实现主轴自动变速。因此, 在机械结构上, 加工中心的主轴箱、进给变速箱结构一般非常简单; 齿轮、轴类零件、轴承的数量大为减少; 电动机可以直接连接主轴和滚珠丝杠, 不用齿轮; 在使用直线电动机、电主轴的场合, 甚至可以不用丝杠、主轴箱。在操作方面上, 它不必像普通机床那样, 需要操作者通过手柄进行调整和变速, 操



作机构比普通机床要简单很多，甚至部分机床都没有手动机械操作系统。此外，由于加工中心的大部分辅助动作都可以通过数控系统的辅助功能进行控制。因此，常用的操作按钮也较普通机床少。

（二）广泛采用高效、无间隙传动装置和新技术、新产品

加工中心进行的是高速、高精度加工，在简化机械结构的同时，对于机械传动装置和元件也提出了更高的要求。高效、无间隙传动装置和元件在加工中心上获得了广泛的应用。如滚珠丝杠副、塑料滑动导轨、静压导轨、直线滚动导轨等高效执行部件，不仅可以减少进给系统的摩擦阻力，提高传动效率；而且还可以使运动平稳和获得较高的定位精度。特别是随着新材料、新工艺的普及和应用，高速加工已经成为目前加工中心的发展方向之一，快进速度达到了每分钟数十米，甚至上百米，主轴转速达到了每分钟上万转、甚至十几万转，采用电主轴、支线电动机、直线滚动导轨等新产品、新技术已势在必行。

（三）具有适应无人化、柔性化加工的特殊部件

无人化、柔性化加工的基本要求是“工艺复合化”和“功能集成化”，这也是加工中心最显著的特点和当前的发展方向。因此，自动换刀装置（ATC）、动力刀架、自动润滑装置、自动换屑装置等特殊机械部件是必不可少的，部分机床还带有自动工作台交换装置（APC）。

“功能集成化”是当前加工中心的另一重要发展方向。在现代加工中心上，自动换刀装置、自动工作台交换装置等已经成为基本装置。随着加工中心向无人化、柔性化加工发展，功能集成化更多体现在：工件的自动装卸、自动定位，刀具的自动对刀、破损检测、寿命管理，工件的自动测量和自动补偿功能上。因此，国外还新近开发了集中突破传统机床界限，集钻、铣、镗、车、磨等加工于一体的所谓“万能加工机床”，大大提高了附加值，并随之不断出现新的机械部件。

（四）对机械结构、零部件的要求高

高速、高效、高精度的加工要求，无人化管理以及工艺复合化、功能集成化，一方面可以大大地提高生产率，同时，也必然会使机床的开机时间、工作负载随之增加，机床必须高负荷下，长时间可靠工作。因此，对组成机床的各种零部件和控制系统的可靠性要求很高。

此外，为了提高加工效率，充分发挥机床性能，加工中心通常都能够同时进行粗细加工。这就要求机床既能满足大切削量的粗加工对机床的刚度、强度和抗震性的要求，而且也能达到精密加工机床对机床精度的要求。因此，加工中心的主轴电机的功率一般比同规格的普通机床大，主要部件和基础件的加工精度通常比普通机床高，对组成机床各部件的动、静态性能以及热稳定性的精度保持性也提出了更高的要求。

（五）具有较高的静、动刚度和良好的抗振性

机床的刚度反映了机床机构抵抗变形的能力，机床变形产生的误差，通常很难通过调整和补偿的方法予以彻底地解决。为了满足加工中心高效、高精度、高可靠性以及自动化的要求，与普通机床相比，加工中心应具有更高的静刚度。另外，为了充分发挥机床的效率，加大切削用量，还必须提高机床的抗振性，避免切削时产生的共振和颤振。而提高机



构的动刚度是提高机床抗振性的基本途径。

(六) 具有较好的热稳定性

机床的热变性是影响机床加工精度的主要因素之一。由于加工中心的主轴转速、快速进给都远远超过普通机床，机床又长时间处于连续工作状态，电动机、丝杠、轴承、导轨的发热都比较严重，加上高速切削产生的切屑的影响，使得加工中心的热变性影响比普通机床要严重得多。虽然在先进的数控系统具有热变性补偿功能，但是它并不能完全消除热变性对于加工精度的影响，在加工中心上还应采取必要的措施，尽可能减小机床的热变性。

为了使机床的主轴、工作台、刀架等运动部件的发热量小，以防止产生热变形，立柱一般采取双壁框式结构，在提高刚度的同时使零件结构对称，防止因热变形而产生倾斜偏移，通常采用恒温冷却装置，减少主轴轴承在运转中产生的热量。为减少电动机运转发热的影响，在电动机上安装有散热装置和热管消热装置。

(七) 具有较高的运动精度和良好的低速稳定性

加工中心的伺服系统代替了普通机床的进给系统，其伺服系统最小的移动量（脉冲当量），一般只有 0.001mm，甚至更小；最低进给速度，一般只有 1mm/min，甚至更低。这就要求进给系统必须具有较高的运动精度，良好的跟踪性能和低速稳定性，才能对数控系统的位置指令做出准确的响应，从而得到要求的定位精度。传动装置的间隙直接影响着机床的定位精度，虽然在数控系统中可以通过间隙补偿、单向定位等措施减小这一影响，但不能完全消除。特别是对于非均匀间隙，必须机械消除间隙措施，才能得到较好的解决。

(八) 具有良好的操作、安全防护性能

在大部分加工中心上，刀具和工件的装卸、刀具和夹具的调整，还需要操作者完成，机床的维修更离不开人，而且由于加工效率的提高，加工中心的工件装卸可能比普通机床更加频繁，因此良好的操作性能是加工中心设计时必须考虑的问题。加工中心是一种高度自动化的加工设备，动作复杂，高速运动部件较多，对机床动作互锁、安全防护性能的要求也比普通机床要高很多。同时，加工中心一般都有高压、大流量的冷却系统，为了防止切屑、冷却液的飞溅，加工中心通常应采用封闭的防护形式，增加防护性能。

二、加工中心的主要加工对象

加工中心适宜于加工形面复杂、工序多、精度要求较高、需用多种类型的普通机床和众多刀具夹具，且经多次装夹和调整才能完成加工的零件。其加工的主要对象有箱体类零件，复杂曲面，异形件，盘、套、板类零件和特殊加工共五类。

(一) 箱体类零件

箱体类零件大多为铸件，一般起支承、容纳、定位和密封等作用，内外形状较为复杂。其主要结构有均匀的薄壁围成不同形状的空腔，空腔壁上还有多方向的孔。另外有加强筋、凸台、凹坑、铸造圆角、起模斜度等常见机构。箱体零件的表达方式常需要三个以上的视图，必要时还可以采用局部视图表达其结构。箱体类零件对重要的轴线、重要的端面、结合面及其之间应有几何公差的要求较高。箱体类零件如图 1-9 所示。



用合理的工艺措施，一次或两次装夹，利用加工中心多工位点、线、面混合加工的特点，完成多道工序或全部工序的加工。

（四）盘、套、板类零件

这类工件包括带有键槽和径向孔，端面分布有孔系、曲面的盘套或轴类工件。如：带法兰的轴套、带有键槽或方头的轴类零件等；具有较多孔加工的板类零件，如各种电动机盖等。

端面有分布孔系、曲面的盘类零件在加工时宜选择立式加工中心，有径向孔的零件在加工时可选卧式加工中心。

（五）特殊加工

在熟练掌握了加工中心的功能之后，配合一定的工装和专用工具，利用加工中心可完成一些特殊的工艺工作。如：在金属表面上刻字、刻线、刻图案；在加工中心的主轴上装上高频电火花电源，可对金属表面进行线扫描表面淬火；在加工中心上装高速磨头，可实现小模数渐开线锥齿轮磨削及各种曲线、曲面的磨削等。

第三节 数控加工中心的技术参数

一、加工中心的总布局与机床的结构性能

数控机床的总体布局应能兼顾机床有良好的精度、刚度、抗振性和热稳定性等结构性能。如图 1-11 所示的几种数控卧式镗铣床（加工中心）示意图，其运动要求与加工功能是相同的，但是结构的总体布局却各不相同，因而其结构性能是有差异的。

如图 1-11（a）与图 1-11（b）所示的方案采用 T 形床身布局，前床身横置与主轴轴线垂直，立柱带着主轴箱一起作 Z 坐标进给运动，主轴箱在立柱上作 Y 向进给运动。T 形床身布局的优点是：工作台沿着前床身方向作 X 坐标进给运动，在全部行程范围内工作台均可支承在床身上，因此，机床刚性好，工作台承载能力强，加工精度容易得到保证。而且这种结构很容易增加 X 轴的行程，床身、工作台及数控转台为三层结构，在相同的台面高度下，比图 1-11（c）和图 1-11（d）十字形工作台的四层结构，更易保证大件的结构刚性。而且在图 1-11（c）和图 1-11（d）的十字形工作台的布局方案中，当工作台带着数控转台在横向（即 X 向），作大距离移动和下拖板作 Z 向进给时，Z 向床身的一条导轨要承受很大的偏载，在图 1-11（a）、图 1-11（b）的方案中就没有这一问题。十字形工作台结构适用于中小型加工中心，立柱移动式 T 形床身结构适用于较大型的加工中心。

图 1-11（a）和图 1-11（d）中，主轴箱装在框式立柱中间，设计成对称形结构。图 1-11（b）和图 1-11（c）中，主轴箱悬挂在单立柱的一侧，从受力变形和热稳定性的角度分析，这两种方案是不同的。框式立柱布局要比单立柱布局少承受一个扭转力矩和一个弯曲力矩，因而受力后变形小，有利于提高加工精度；框式立柱布局的受热与热变形是对称的，因此，热变形对加工精度的影响小。所以一般数控镗铣床和自动换刀数控镗铣床大都采用这种框式立柱的结构形式。在这四种总布局方案中，都应该使主轴中心线 Z 向进给丝杠布置在同一个平面 YOZ 平面内，丝杠的进给驱动力与主切削抗力在同一平面内，因而扭曲力矩很小，容易保证铣削精度和镗孔加工的平行度。但是在图 1-11（b）和图 1-11