

数控铣削 编程与加工技术

黄华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控铣削编程与加工技术

主 编 黄 华
副主编 鲍 镇 邹 芳 程贵生
参 编 赵春辉 金兴伟 郭 茜
主 审 徐夏民



机械工业出版社

本书是根据数控技术专业人才培养指导方案要求,结合数控铣工(加工中心)国家职业技能鉴定标准,并依据考工培训的教学特点而编写的。

全书分为基础知识篇、入门技术篇、中级技术篇和高级技术篇,内容包括数控铣床(加工中心)概述、数控铣床(加工中心)加工工艺、数控铣床(加工中心)编程基础知识、FANUC 0i MC 数控系统编程指令、SINUMERIK 802D 数控系统编程指令、数控铣床(加工中心)基本操作、数控铣削编程与加工入门技术、数控铣削编程与加工中级技术、数控铣削编程与加工高级技术,附录中还收录了中级与高级技能鉴定试卷。

本书内容深入浅出,内容丰富,详简得当,既注重内容的先进性,又有实用性,有理论又有实例,实用性很强。

本书可作为职业院校数控技术应用专业和机电技术应用专业的理论实践一体化教学用书,也可用作从事数控铣床(加工中心)工作的工程技术人员的参考书、数控铣床(加工中心)短期培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削编程与加工技术/黄华主编. —北京:机械工业出版社, 2010.3

ISBN 978-7-111-29506-8

I. ①数… II. ①黄… III. ①数控机床:铣床-程序设计②数控机床:铣床-金属切削-加工 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第029104号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:高依楠 责任校对:陈延翔

封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军

三河市国英印务有限公司印刷

2010年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·23印张·445千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-29506-8

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

我国正处在先进制造技术大发展时期,制造自动化技术是它的重要组成部分,其核心技术就是数控技术。数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术和机电一体化技术于一身的多学科高新制造技术,数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。目前,数控技术已广泛应用于制造业,企业急需大批能熟练掌握数控机床编程、操作、维修的工程技术人员,为此,教育部颁布了《数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》。方案把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强生产实训、实习等实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质技能性人才或技术性人才。

本书的编写始终坚持以就业为导向、以职业能力培养为核心的原则,将数控铣削加工工艺和程序编制方法等专业技术能力融合到教学项目之中。在课程结构上打破原有课程体系,以国家职业技能鉴定为标准,突出了编程技能和实践操作。在基础知识上以“必需、够用”为原则,体现了针对性和实用性;在技能训练上按模块化形式,增强实践性和应用性。本书以采用螺旋式上升的方式展开内容,突出了新知识、新工艺、新技能,提高了学生对所学知识的应用能力和综合能力。

本书由黄华任主编,鲍镇、邹芳、程贵生任副主编。具体编写分工如下:第三章、第四章、第五章、第六章由黄华编写;第八章和第九章的第一节至第五节由鲍镇编写;第七章和第九章的第六节至第九节由邹芳编写;第一章和第二章由程贵生编写;附录一和附录三由赵春辉编写;附录二由郭茜编写;附录四由金兴伟编写,同时金兴伟负责资料的收集,以及相关的调研协调工作;教学课件由赵春辉整理。全书由黄华统稿和定稿,由徐夏民主审。

由于编者的水平和经验有限,书中难免有错误和欠妥的地方,恳请读者批评指正,以便不断改进与完善。

为了方便教学,本书还配备教学指南和教学课件,请需要的读者与机械工业出版社联系,电子邮箱地址为 cmplwy@sina.com。

编者

目 录

前言

基础知识篇

第一章 数控铣床（加工中心）概述	1
第一节 数控铣床（加工中心）工作原理与组成	1
第二节 数控铣床（加工中心）的特点及分类	5
第三节 数控系统的主要功能	14
复习思考题	15
第二章 数控铣床（加工中心）加工工艺	17
第一节 数控铣削加工概述	17
第二节 数控铣削加工工艺的制订	20
第三节 数控铣削夹具的选择	28
第四节 数控铣削刀具的选择	33
第五节 数控切削用量的选择	42
第六节 典型零件数控铣削加工工艺分析	45
复习思考题	48
第三章 数控铣床（加工中心）编程基础知识	50
第一节 数控编程概述	50
第二节 数控铣床（加工中心）坐标系统	55
第三节 数控铣床（加工中心）对刀	59
复习思考题	64
第四章 FANUC Oi MC 数控系统编程指令	65
第一节 尺寸系统指令	66
第二节 坐标轴运动指令	71
第三节 返回参考点指令	79
第四节 主轴运动指令	81
第五节 进给速度指令	82
第六节 刀具补偿功能	83
第七节 辅助功能	88
第八节 坐标的变换	90

第九节 铣削固定循环指令	97
第十节 子程序调用	108
第十一节 用户宏程序	110
复习思考题	115
第五章 SINUMERIK 802D 数控系统编程指令	116
第一节 坐标系指令	117
第二节 坐标轴运动指令	120
第三节 主轴运动指令	130
第四节 进给速度指令	131
第五节 刀具和刀具补偿	132
第六节 辅助功能	136
第七节 坐标的变换	137
第八节 标准铣削循环指令	142
第九节 子程序调用	153
第十节 计算参数 R	156
第十一节 程序跳转	157
复习思考题	160
第六章 数控铣床（加工中心）基本操作	162
第一节 数控铣床（加工中心）安全操作规程	162
第二节 数控铣床（加工中心）的维护与保养	164
第三节 数控铣床（加工中心）主要技术参数	166
第四节 数控铣床（加工中心）操作面板	167
第五节 数控铣床（加工中心）操作方法与步骤	178
第六节 数控铣床（加工中心）故障诊断及排除	197
复习思考题	200

入门技术篇

第七章 数控铣削编程与加工入门技术	201
第一节 铣削四方凸台	201
第二节 铣削六边形	206
第三节 铣削整圆凸台	211
第四节 铣削对称轮廓	215
第五节 铣削四方型腔	219
第六节 铣削图形旋转	224
第七节 铣削型腔槽板	229

第八节	铣削图形镜像与缩放	234
第九节	铣削凸台五边形	239

中级技术篇

第八章	数控铣削编程与加工中级技术	246
第一节	铣削螺纹训练	246
第二节	铣削菱形底板	251
第三节	铣削四方型腔板	255
第四节	铣削圆弧连接底板	260
第五节	铣削圆弧槽底板	265
第六节	铣削 NC 底板	270
第七节	铣削人形槽板	275
第八节	铣削矩形槽板	280
第九节	综合铣削训练	285

高级技术篇

第九章	数控铣削编程与加工高级技术	290
第一节	镗孔铣削训练	290
第二节	铣削椭圆槽板与圆周钻孔	295
第三节	铣削抛物线轮廓	301
第四节	铣削正弦曲线轮廓	306
第五节	铣削薄壁轮廓与孔口倒圆角	311
第六节	铣削等距离外倒角与孔口倒角	316
第七节	铣削椭圆与倒圆角轮廓	321
第八节	铣削球状体轮廓	326
第九节	综合铣削训练	331
附录		339
附录一	数控铣(加工中心)中级应知鉴定试卷	339
附录二	数控铣(加工中心)中级应会鉴定试卷	347
附录三	数控铣(加工中心)高级应知鉴定试卷	349
附录四	数控铣(加工中心)高级应会鉴定试卷	357
参考文献		359

基础知识篇

第一章 数控铣床（加工中心）概述

第一节 数控铣床（加工中心）工作原理与组成

一、数控的基本概念

数控是数字控制或数值控制（Numerical Control, NC）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，如图 1-1 所示，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。

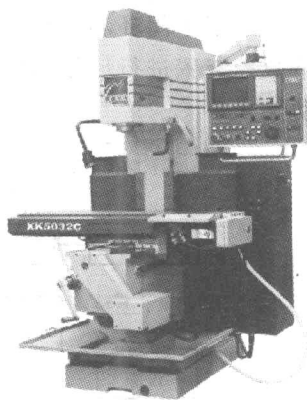


图 1-1 数控铣床

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

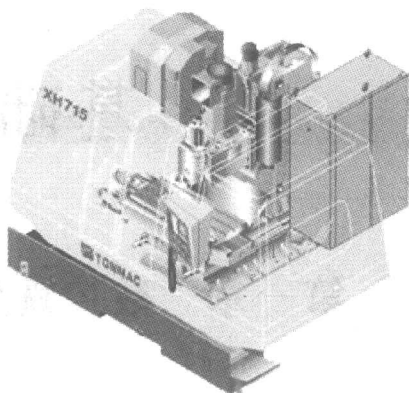


图 1-2 加工中心

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。

二、数控铣床（加工中心）的工作原理

数控铣床（加工中心）基本工作原理如图 1-3 所示,在数控铣床（加工中心）上,根据被加工零件的图样、尺寸、材料及技术要求等内容进行工艺分析,如零件的加工顺序、走刀路线、切削用量等用专用的数控指令代码编制程序单（控制介质），通过面板键盘输入或磁盘读入等方法把加工程序输入到数控铣床的专用计算机（数控装置）中。数控装置将接收到的信号经过驱动电路控制和放大后,使伺服电动机转动,通过齿轮副（或直接）经滚珠丝杠,驱动铣床工作台（X、Y 轴）和头架滑板（Z 方向），再与选定的主轴转速相配合。对于半闭环和闭环的数控机床来说,检测反馈装置可以把测得的信息反馈给数控装置进行比较后再处理,最终完成整个零件的加工。加工结束后机床自动停止。

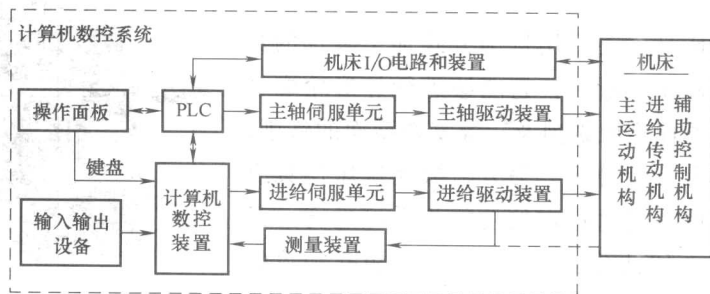


图 1-3 数控铣床（加工中心）基本工作原理

三、数控铣床（加工中心）的组成

数控铣床（加工中心）主要由数控程序及程序载体、输入装置、数控装置（CNC）、伺服驱动及位置检测装置、辅助控制装置、机床本体等几部分组成，如图 1-4 所示。

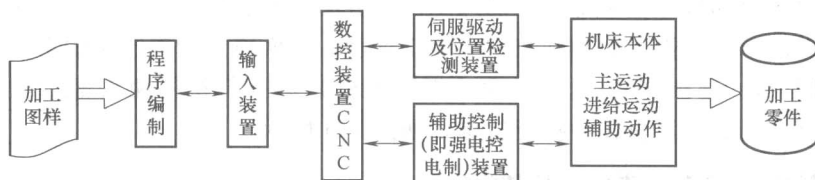


图 1-4 数控铣床（加工中心）的组成

1. 数控程序及程序载体

数控程序是数控铣床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上，确定零件坐标系在铣床坐标系上的相对位置，即零件在铣床上的安装位置、刀具与零件相对运动的尺寸参数、零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后，用由文字、数字和符号组成的标准数控代码，按规定的方法和格式，编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行；对于形状复杂的零件来说，则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程（APT）或 CAD/CAM 设计。

编好的数控程序，存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上，它可以是穿孔纸带、磁带、磁盘和 CF 卡等。采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体（信息载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控铣床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统，数控加工程序还可通过编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是边读入边加工（数控系统内存较小时），另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从内部存储器中逐段逐段调出进行加工。

3. 数控装置

数控装置是数控铣床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编

译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制铣床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。数控装置一般由专用(或通用)计算机、输入输出接口板及可编程逻辑控制器(PLC)等组成,如图1-5所示。

4. 伺服驱动装置和位置检测装置

伺服驱动装置接受来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动铣床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控铣床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。伺服驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前大都采用交流伺服电动机作为执行机构,如图1-6所示。

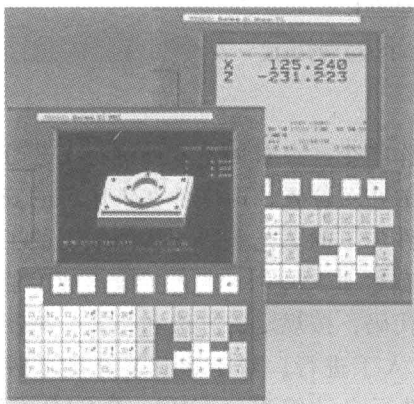


图 1-5 数控装置

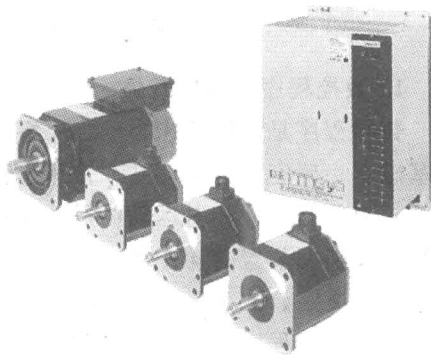


图 1-6 交流伺服驱动装置

位置检测装置将数控铣床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到铣床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动。

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开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动铣床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和起停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的起动停止,工件和铣床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。由于可编程逻辑控制器(PLC)主要用于对数控铣床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能等控制,具有响应快,性能可靠,易于使用、编程和修改程序并可直接起动铣床等特点,现已广泛用作数控铣床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控铣床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床

身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。与传统的机床相比，数控铣床的结构强度、刚度和抗振性，传动系统和刀具系统的部件结构，操作机构等方面都发生了很大的变化，其目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控铣床的效能。

第二节 数控铣床（加工中心）的特点及分类

一、数控铣床（加工中心）的结构特点

为了满足数控加工的要求，数控铣床与传统的普通铣床相比较具有以下结构特点：

- 1) 铣床本身具有很高的动、静刚度。
- 2) 进给传动一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等高效传动件，具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。
- 3) 多数数控铣床具有完善的刀具自动交换装置和管理系统。如加工中心上就具有刀库和刀具自动交换的机械手或机器人，同时还具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。
- 4) 采用高性能主传动及主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- 5) 为了保证操作安全，一般数控铣床都采用了移动门结构的全封闭罩壳，对铣床的加工进行全封闭。

二、数控铣床（加工中心）的加工特点

数控铣床和加工中心都能够进行铣、钻、扩、铰、镗及攻螺纹等多工序加工，它们在结构、工艺和编程等方面有许多相似之处。全功能数控铣床与加工中心比较，区别主要在于数控铣床没有自动换刀装置，只能手动换刀，而加工中心具有刀具库和自动换刀装置，可将使用的刀具预先安排存放于刀具库内，需要时通过换刀指令，由自动换刀装置（ATC）自动换刀。

1. 自动化程度高

数控铣床（加工中心）上的零件加工是在程序的控制下自动完成的。在零件加工过程中，操作者只需完成装卸工件、装刀对刀、操作键盘、启动加工程序、加工过程监视、工件质量检验等工作，因此劳动强度低，劳动条件明显改善。数控铣床是柔性自动化加工设备，是制造装备数字化的主角，是计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）、柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）、计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing

System, CIMS) 等柔性自动化制造系统的重要底层设备。

2. 加工精度高

数控铣床(加工中心)的控制分辨率高,机床本体强度、刚度、抗振性、低速运动平稳性、精度、热稳定性等性能均很好,具有各种误差补偿功能,机械传动链很短,且采用闭环或半闭环反馈控制,因此本身即具有较高的加工精度。由数控铣床的加工过程自动完成,排除了人为因素的影响,因此加工零件的尺寸一致性好,合格率高,质量稳定。

3. 生产率高

一方面,数控铣床(加工中心)主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,快速空行程速度高,结构刚性好,驱动功率大,可选择最佳切削用量或进行高速高强力切削,与传统铣床相比,切削时间明显缩短。另一方面,数控铣床(加工中心)加工可免去划线、手工换刀、停机测量、多次装夹等加工准备和辅助时间,从而明显提高数控铣床的生产效率。此外,有些数控铣床(加工中心)采用了双工作台结构,使工件的装卸辅助时间与铣床的切削时间重合,进一步提高了生产效率。

4. 对工件的适应性强

数控铣床(加工中心)具有坐标控制功能,配有完善的刀具系统,可通过数控编程加工各种形状复杂的零件。数控铣床(加工中心)主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,可适应多种难加工材料零件的加工。数控铣床属柔性自动化通用铣床,在不需对铣床和工件进行较大调整的情况下,即可适应各种批量的零件加工。

5. 有利于生产管理信息化

数控铣床(加工中心)按数控加工程序自动进行加工,可以精确计算加工工时、预测生产周期,所用工装简单,采用刀具已标准化,因此有利于生产管理的信息化。现代数控铣床正向智能化、开放化、网络化方向发展,可将工艺参数自动生成、刀具破损监控、刀具智能管理、故障诊断专家系统、远程故障诊断与维修等功能集成到数控系统中,并可在计算机网络和数据库技术支持下将多台数控铣床集成为柔性自动化制造系统,为企业制造信息化奠定底层基础。

三、数控铣床(加工中心)的适用范围

数控铣床(加工中心)的性能特点决定了它的适用范围。对数控加工,可按适应程度将加工对象大致分为以下三类。

1. 最适应类

最适应数控加工的零件有:形状复杂,加工精度要求高,用普通加工设备无法加工或虽然能加工但很难保证加工精度的零件;用数学模型描述的复杂曲线或

曲面轮廓零件；具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件；必须在一次装夹中完成钻、铣、镗、铰等多道工序的零件。

2. 较适应类

较适应数控加工的零件包括在普通铣床上加工生产率低，劳动强度大，质量难稳定控制的零件；毛坯获得困难，不允许报废的零件；在普通铣床上加工时有一定难度，受铣床操作人员精神及工作状态等多种因素影响，容易产生次品或废品的零件。用于改型比较以便进行性能或功能测试的零件，其尺寸一致性要求高，应在数控铣床上加工。

3. 不适和类

不适和数控加工的零件一般是指经过数控加工后，在生产率与经济性方面无明显改善，甚至可能弄巧成拙或得不偿失的零件。这类零件大致有以下几种：生产批量大的零件（当然不排除其中个别工序用数控铣床加工）；装夹困难或完全靠找正定位来保证精度的零件；加工余量很不稳定，且数控铣床上无在线检测系统可自动调整零件坐标位置的零件；必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

四、数控铣床（加工中心）的分类

1. 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数控铣床、开环伺服系统数控铣床、半闭环伺服系统数控铣床等。

2. 加工中心的分类

(1) 按照机床结构分类

1) 立式加工中心。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 1-2 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 1-7 所示。固定工作台式的卧式加工中心的 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。

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）加一个回转运动坐标（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1-8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，如航天工业及大型汽轮机上的某些零件的加工。

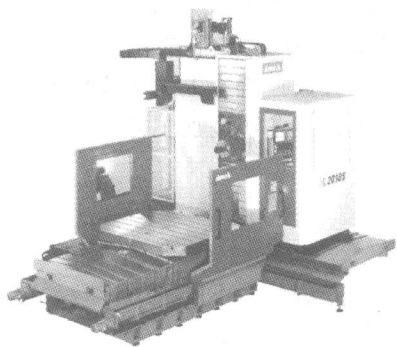


图 1-7 卧式加工中心

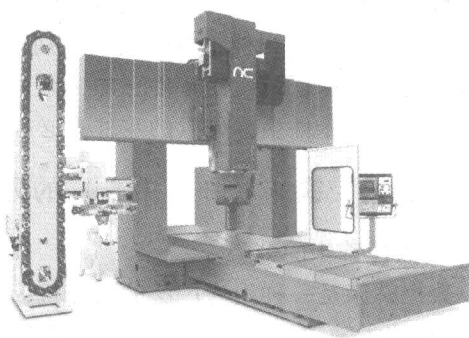


图 1-8 龙门式加工中心

4) 万能加工中心。万能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，如图1-9所示。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。



图 1-9 万能加工中心

（2）按自动换刀装置分类

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。该加工中心特点是无机械手式主轴换刀，其换刀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毕后，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

1) 镗铣加工中心。镗铣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。

五、加工中心的自动换刀装置

自动换刀装置的用途是按照加工需要，自动地更换装在主轴上的刀具。自动换刀装置是一套独立、完整的部件。

1. 自动换刀装置的形式

自动换刀装置的结构取决于机床的类型、工艺、范围及刀具的种类和数量等。自动换刀装置主要有回转刀架和带刀库的自动换刀装置两种形式。

回转刀架换刀装置的刀具数量有限，但结构简单、维护方便，如车削中心上的回转刀架。

带刀库的自动换刀装置是镗铣加工中心上应用最广的换刀装置，主要有机械手换刀和刀库换刀两种方式。其整个换刀过程较复杂，首先把加工过程中需要使用的全部刀具分别安装在标准刀柄上，在机外进行尺寸预调后，按一定的方式放入刀库；换刀时，先在刀库中进行选刀，并由机械手从刀库和主轴上取出刀具，或直接通过主轴以及刀库的配合运动来取刀，然后进行刀具交换，再将新刀具装入主轴，把旧刀具放回刀库。存放刀具的刀库具有较大的容量，它既可以安装在主轴箱的侧面或上方，也可以作为独立部件安装在机床以外。

2. 刀库的形式

刀库的形式很多，结构各异。加工中心常用的刀库有鼓轮式和链式刀库两种。

鼓轮式刀库结构简单紧凑，应用较多，一般存放刀具不超过 32 把，如图 1-10 所示。

链式刀库多为轴向取刀，适于要求刀库容量较大的数控机床，如图 1-11 所示。在图 1-8 中，加工中心机床用的就是链式刀库。

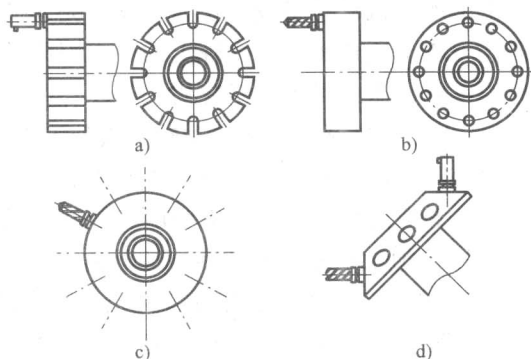


图 1-10 鼓轮式刀库

a) 径向取刀形式 b) 轴向取刀形式 c) 径向布置形式 d) 角度布置形式

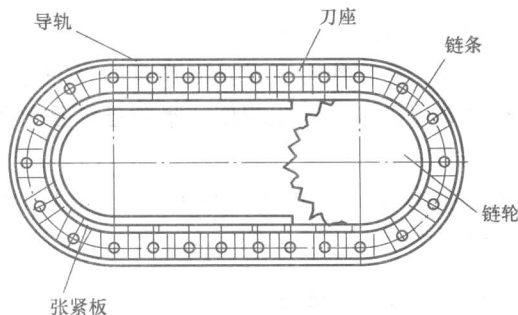


图 1-11 链式刀库

3. 换刀过程