

高级数控技工职业技能培训教程

第2版

加工中心 培训教程

李家杰 编著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

第2版

李家杰 编著


 中国共产党

免費語文、 作文、閱讀、聽力、口語練習、在本書內
 查閱辭典、 查閱辭典

机械工业出版社

本书根据教育部有关数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想以及人力资源和社会保障部制定的《加工中心操作工国家职业标准》，并结合等级考试人员培训的教学特点编写而成。全书分3篇共9章，主要内容包括加工中心概述、加工中心的加工工艺、加工中心编程基础知识、FANUC 0i-MC 系统加工中心编程与操作、SINUMERIK 802D 系统加工中心编程与操作、加工中心自动编程、加工中心考级强化训练、加工中心的使用和维护，以及加工中心职业技能鉴定题库等。

本书适用面宽，不仅可作为机械类、数控类、模具类及机电类各专业大中专、高职、技校的教材，也可作为国家职业技能鉴定等级考试人员和加工中心技术工人的培训教材，以及数控技术及应用方面工程技术人员的实用参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

加工中心培训教程/李家杰编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2015. 8
高级数控技工职业技能培训教程
ISBN 978-7-111-51087-1

I. ①加… II. ①李… III. ①加工中心 - 技术培训 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 180333 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: 周国萍 责任编辑: 周国萍 杨明远

版式设计: 霍永明 责任校对: 杜雨霏

封面设计: 路恩中 责任印制: 李 洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21 印张 · 541 千字

0001-2500册

标准书号: ISBN 978-7-111-51087-1

定价: 59.00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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

第2版前言

本书根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想以及人力资源和社会保障部制定的《加工中心操作工国家职业标准》，并结合等级考试人员培训的教学特点编写而成。

作者编写的《加工中心培训教程》一书自2012年出版以来，受到了广大院校师生的热烈欢迎。为了更好地满足读者对加工中心学习的需要，作者结合近几年的教学、培训实践经验成果和广大读者的反馈意见，在保留原书初版特色的基础上，第2版修订的主要内容如下。

1) 在全面审阅基础上，对本书第1版中部分内容存在的一些问题进行了校正和修改。

2) 为了更切合教学实际和培训要求，适当增删了部分内容，如对本书第1版第8章8.3节加工中心技师强化训练以及第9章9.3节加工中心技师职业技能鉴定试题库内容进行了删除，精简了部分内容等。

3) 精选和替换了部分典型例题，以更好地适应教学与培训实践的需要。

全书分3篇共9章，主要内容包括加工中心概述、加工中心的加工工艺、加工中心编程基础知识、FANUC 0i-MC系统加工中心编程与操作、SINUMERIK 802D系统加工中心编程与操作、加工中心自动编程、加工中心考级强化训练、加工中心的使用和维护，以及加工中心职业技能鉴定试题库等。

作者集二十多年从事数控加工、数控教学与考级人员培训的经验成果，从选材内容到实例分析都做了精心的编排，力求做到内容丰富、图文并茂、详略得当、通俗易懂，使本书具有系统性、通用性、实用性和先进性的突出特色。修订后的内容较第1版更具有针对性和实用性，也更有利于教学实际和培训实践。

本书适用面宽，不仅可作为机械类、数控类、模具类及机电类各专业大中专、高职、技校的教材，也可作为参加国家职业技能鉴定等级考试人员和加工中心技术工人的培训教材，以及数控技术及应用方面的工程技术人员的实用参考书。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥和错误之处，恳请有关专家、学者及广大读者批评指正。作者 E-mail: ljhn@126.com。

作者

2015年8月于南京

目 录

第2版前言	思考与练习题	45
第1篇 加工中心基础知识	第3章 加工中心编程基础知识	46
第1章 加工中心概述	3.1 数控编程概述	46
1.1 加工中心的组成和工作原理	3.1.1 数控编程的内容与步骤	46
1.1.1 加工中心的组成	3.1.2 数控编程的分类	48
1.1.2 加工中心的工作原理	3.1.3 程序结构与格式	49
1.2 加工中心的分类和用途	3.2 加工中心的编程特点	52
1.2.1 加工中心的分类	3.3 加工中心坐标系	52
1.2.2 加工中心的用途	3.3.1 机床坐标系	52
1.3 加工中心的加工特点和应用范围	3.3.2 机床坐标系的原点	53
1.3.1 加工中心的加工特点	3.3.3 工件坐标系和编程原点	53
1.3.2 加工中心的应用范围	3.3.4 局部坐标系	54
1.4 加工中心的主要结构和技术参数	3.3.5 绝对坐标系与增量(相对)坐标系(G90、G91)	54
1.5 数控系统的主要功能	3.4 典型数控系统的指令代码	54
1.6 数控技术的发展及其方向	思考与练习题	67
思考与练习题	第2篇 加工中心编程与操作	
第2章 加工中心的加工工艺	第4章 FANUC 0i-MC 系统加工中心编程	68
2.1 加工中心的加工工艺概述	4.1 系统功能介绍	68
2.1.1 加工中心的主要加工对象	4.1.1 准备功能(G功能)	68
2.1.2 加工中心的工艺特点	4.1.2 辅助功能(M功能)	68
2.1.3 加工中心的工艺内容	4.1.3 F、S、T、D、H功能	69
2.2 数控加工工艺文件	4.2 工件坐标系设定	70
2.3 加工中心的加工工艺制订	4.2.1 G92指令设定	70
2.3.1 零件图样分析	4.2.2 G54~G59指令设定	71
2.3.2 工序的划分	4.2.3 局部坐标系设定(G52)	73
2.3.3 加工顺序的安排	4.3 编程方式的选用	74
2.3.4 进给路线的确定	4.3.1 绝对值编程与增量值编程(G90/G91)	74
2.3.5 定位与装夹方案的确定	4.3.2 米制尺寸/寸制尺寸编程(G21/G20)	74
2.3.6 加工中心夹具的选择	4.4 平面选择指令	74
2.3.7 加工中心刀具的选择	4.5 快速定位与插补功能指令	75
2.3.8 切削用量的选择		
2.4 典型零件的加工工艺分析		



4.5.1 快速定位指令 (G00)	75	5.1.2 坐标系转换指令	126
4.5.2 直线插补指令 (G01)	76	5.1.3 固定循环指令	126
4.5.3 圆弧插补指令 (G02、G03) ...	76	5.1.4 辅助功能 (M 功能)	127
4.6 子程序	78	5.1.5 F、S、T、D 功能	127
4.6.1 子程序的格式	78	5.2 工件坐标系设定	128
4.6.2 调用子程序指令 (M98)	79	5.3 编程方式的选用	129
4.6.3 子程序的嵌套	79	5.3.1 绝对尺寸/增量尺寸编程 (G90/G91, AC/IC)	129
4.6.4 子程序的应用	79	5.3.2 米制尺寸/寸制尺寸编程 (G71/G70、G710/G700) ...	130
4.6.5 子程序编程实例	79	5.4 平面选择指令	132
4.7 刀具补偿功能	81	5.5 坐标轴运动指令	133
4.7.1 刀具半径补偿指令 (G40、 G41、G42)	81	5.5.1 快速线性移动指令 (G0) ...	133
4.7.2 刀具长度补偿指令 (G43、 G44、G49)	85	5.5.2 带进给率的线性插补 指令 (G1)	133
4.8 极坐标系与坐标系转换指令	88	5.5.3 圆弧插补指令 (G2、G3)	134
4.8.1 极坐标系指令 (G15、G16) ...	88	5.5.4 通过中间点进行圆弧插补 指令 (CIP)	135
4.8.2 比例缩放指令 (G50、G51) ...	90	5.5.5 螺旋插补指令 (G2/G3 TURN)	136
4.8.3 可编程镜像指令 (G50.1、G51.1)	92	5.5.6 恒螺距螺纹切削指令 (G33)	137
4.8.4 坐标系旋转指令 (G68、 G69)	94	5.5.7 带补偿夹具攻螺纹 (G63)	138
4.9 固定循环指令	95	5.5.8 螺纹插补指令 (G331、 G332)	138
4.9.1 固定循环概述	95	5.5.9 圆弧进给率修调 (CFTCP, CFC)	139
4.9.2 常用的固定循环	99	5.5.10 带先导控制功能运行 (FFWON, FFWOF)	140
4.10 用户宏程序	113	5.5.11 第4轴	140
4.10.1 用户宏程序概述	113	5.5.12 暂停 (G4)	141
4.10.2 用户宏程序编程的适用 范围	113	5.6 主轴运动指令	141
4.10.3 变量	113	5.6.1 主轴转速 S, 旋转方向	141
4.10.4 变量的赋值	114	5.6.2 主轴转速极限 (G25/G26) ...	142
4.10.5 运算符与表达式	115	5.6.3 主轴定位 (SPOS)	142
4.10.6 转移和循环语句	116	5.6.4 齿轮级	143
4.10.7 宏程序调用指令	117	5.7 刀具补偿功能	143
4.10.8 用户宏程序的应用 实例	118	5.7.1 刀具调用指令 (T)	143
思考与练习题	121	5.7.2 刀具补偿号 (D)	144
第5章 SINUMERIK 802D 系统加工			
中心编程	124		
5.1 系统功能介绍	124		
5.1.1 准备功能 (G 功能)	124		



5.7.3 刀具半径补偿功能 (G41/ G42/G40)	145	7.1.1 系统操作面板 (LCD/MDI 单元)	204
5.8 极坐标系与坐标系 转换指令	147	7.1.2 机床控制面板	206
5.8.1 极坐标, 极点定义 (G110、 G111、G112)	147	7.2 FANUC Oi-MC 系统加工中心的 基本操作	207
5.8.2 可编程的零点偏置 (TRANS/ATRANS)	148	7.2.1 开机与关机	207
5.8.3 可编程旋转 (ROT/AROT) ...	149	7.2.2 返回参考点	208
5.8.4 可编程的比例系数 (SCALE/ASCALE)	150	7.2.3 手动操作	208
5.8.5 可编程的镜像 (MIRROR/ AMIRROR)	152	7.2.4 加工程序的管理和传输	210
5.9 子程序	154	7.2.5 自动运行操作	213
5.9.1 子程序的应用	154	7.3 FANUC Oi-MC 系统加工中心 对刀操作方法和步骤	214
5.9.2 子程序的结构	154	7.3.1 对刀点与换刀点的确定	214
5.9.3 子程序的命名	154	7.3.2 工件坐标系设定	214
5.9.4 子程序的调用	154	7.3.3 X、Y 轴对刀原点的选择	215
5.9.5 子程序的嵌套	154	7.3.4 X、Y 轴的对刀方法	216
5.10 固定循环指令	155	7.3.5 Z 轴对刀形式	219
5.10.1 概述	155	7.3.6 Z 轴对刀方法	219
5.10.2 钻孔循环	156	7.4 SINUMERIK 802D 系统加工 中心面板	221
5.10.3 钻孔样式循环	170	7.4.1 系统操作面板	221
5.10.4 铣削循环	174	7.4.2 机床控制面板	223
5.11 R 参数编程和程序跳转	190	7.4.3 屏幕划分	223
5.11.1 计算参数 R	190	7.4.4 操作区域	224
5.11.2 标记符——程序跳转 目标	191	7.5 SINUMERIK 802D 系统加工 中心的基本操作	225
5.11.3 绝对跳转	191	7.5.1 开机和回参考点	225
5.11.4 有条件跳转	191	7.5.2 手动控制运行	226
5.11.5 程序跳转举例	192	7.5.3 程序的输入与编辑	229
思考与练习题	193	7.5.4 图形模拟	232
第6章 加工中心自动编程	195	7.5.5 输入刀具参数及刀具补偿 ...	232
6.1 自动编程概述	195	7.5.6 自动运行方式	235
6.2 CAD/CAM 基础知识	197	7.5.7 加工的中断控制及恢复	237
6.3 CAD/CAM 常用软件介绍	200	7.5.8 执行外部程序——DNC 加工	238
思考与练习题	203	7.6 SINUMERIK 802D 系统加工 中心对刀操作方法和步骤	238
第7章 加工中心操作	204	7.6.1 对刀原理	239
7.1 FANUC Oi-MC 系统加工中心的 面板	204	7.6.2 数控铣床对刀操作与设定 零点偏置值	239



7.6.3 对刀正确性校验	242
7.7 典型零件编程与加工实例	243
7.8 文明生产与安全操作规程	249
7.8.1 加工中心文明生产	249
7.8.2 加工中心安全操作规程	249
7.9 加工中心日常维护和保养	251
7.10 加工中心常见故障诊断和 处理	253
7.10.1 数控机床常见故障诊断	253
7.10.2 数控机床常见故障排除	256
思考与练习题	266
第3篇 加工中心考级实训	
第8章 加工中心考级强化训练	267
8.1 加工中心中级工强化训练	267
8.1.1 加工中心中级工强化 训练题(一)	267
8.1.2 加工中心中级工强化 训练题(二)	272
8.2 加工中心高级工强化训练	277
8.2.1 加工中心高级工强化 训练题(一)	277
8.2.2 加工中心高级工强化 训练题(二)	282
思考与练习题	287

第9章 加工中心职业技能鉴定	
题库	294
9.1 加工中心中级工职业技能鉴定	
题库	294
9.1.1 加工中心中级工职业技能 鉴定理论知识试卷(一) ...	294
加工中心中级工职业技能鉴定理论 知识试卷(一) 参考答案	297
9.1.2 加工中心中级工职业技能 鉴定理论知识试卷(二) ...	298
加工中心中级工职业技能鉴定理论 知识试卷(二) 参考答案	301
9.2 加工中心高级工职业技能鉴定	
题库	302
9.2.1 加工中心高级工职业技能 鉴定理论知识试卷(一) ...	302
加工中心高级工职业技能鉴定理论 知识试卷(一) 参考答案	306
9.2.2 加工中心高级工职业技能 鉴定理论知识试卷(二) ...	308
加工中心高级工职业技能鉴定理论 知识试卷(二) 参考答案	311
附录 加工中心操作工国家职业技能 鉴定标准	313
参考文献	325

第1篇 加工中心基础知识

第1章 加工中心概述

1.1 加工中心的组成和工作原理

加工中心 (Machining Center) 是在数控铣床的基础上发展而来的一种高度自动化的加工设备,它是一种带有刀库和自动换刀装置(ATC)的数控机床,又称为自动换刀数控机床或多工序数控机床。工件经一次装夹后,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功能;依次完成工件几个面上多工序的加工。这样,减少了工件装夹、测量和机床调整时间,缩短了工件存放、搬运时间,提高了生产效率和机床的利用率。加工中心是自动化加工中不可缺少的设备,也是柔性制造系统(FMS)中的核心机器。为了改善加工中心的功能,出现了自动更换刀库、自动更换主轴头和自动更换主轴箱的加工中心。自动更换刀库的加工中心,刀库容量更大,便于进行多工序复杂箱体类零件的加工。自动更换主轴头的加工中心,可以进行卧铣、立铣、磨削和转位铣削等加工。这种加工中心除刀库外,尚有主轴头库,由工业机器人或机械手进行更换。自动更换主轴箱的加工中心一般有粗加工主轴箱和精加工主轴箱,以便提高加工精度和加工范围。加工中心与普通数控机床的区别,主要在于它能在一台机床上完成由多台机床才能完成的工作。目前,加工中心的刀库容量越来越大,换刀时间越来越短,加工精度越来越高,功能不断增强,除了在数控铣床基础上发展起来的加工中心(铣镗加工中心)外,还出现了在数控车床基础上发展起来的车削加工中心。

1.1.1 加工中心的组成

自1958年世界上第一台加工中心诞生以来,出现了各种类型的加工中心,其外形结构各异,但总体上是由以下几大部分组成。

1. 机床本体

加工中心的本体是指其机械结构实体部分,由主传动系统、进给传动系统、床身、立柱和工作台等部分组成。这些部件中有铸铁件,也有焊接的钢结构件,它们是加工中心的基础结构,要承担加工中心的静载荷以及在加工时产生的切削负载,因此必须具有足够的刚度。

2. 数控系统

数控系统是加工中心的控制中心,是加工中心的灵魂所在。主要由主控制系统、可编程序控制器(PLC)、输入/输出接口、键盘、监视器等组成。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。



而时序逻辑控制通常由 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部件,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. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置(ATC)、自动交换工作台机构(APC)、工件夹紧放松机构、回转工作台、润滑冷却装置、自动排屑装置、液压系统、气动系统、电气系统、过载和保护装置等。它们对加工中心的工作效率、加工精度和安全性起着保障作用。

1.1.2 加工中心的工作原理

加工中心加工零件,首先根据所设计的零件图,经过加工工艺分析、设计,将加工过程中所需的各种操作,如主轴起停、主轴变速、切削用量、进给路线、切削液供给以及刀具与工件相对位移量等,以规定的数控代码按一定的格式编写成加工程序,然后通过键盘或其他输入设备将信息传送到数控系统,由数控系统中的计算机对接收的程序指令进行处理和计算,向伺服系统和其他各辅助控制线路发出指令,使它们按程序规定的动作顺序、刀具运动轨迹和切削工艺参数来进行自动加工,零件加工结束时,机床停止。

当加工中心通过程序输入、调试和首件试切合格,进入批量生产时,操作者一般只要进行工件上、下料装卸,再按一下程序自动循环启动按钮,加工中心就能自动完成整个加工过程。

1.2 加工中心的分类和用途

1.2.1 加工中心的分类

加工中心品种繁多,形态各异,分类方法有多种。按加工精度可分为普通加工中心和高精度加工中心;按可控坐标轴数和联动坐标轴数可分为三轴三联动、四轴三联动、五轴四联动和六轴五联动等加工中心;按工作台数量及功能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等。常用分类方法是按机床结构分,一般可分为立式加工中心、卧式加工中心、龙门式加工中心和五面体加工中心。

(1) 立式加工中心 立式加工中心是指主轴垂直设置的加工中心,一般具有三个坐标轴,可实现三轴联动。有些加工中心甚至可进行五轴、六轴的控制,可加工更复杂的零件。图 1-1 为一种立式加工中心外观图。其结构形式多为固定立柱式,工作台为长方形,无分度回转功能,适合加工盘、套、板类零件。立式加工中心可在工作台上安装一个水平轴的数控回转台,用以加工螺旋线类零件。

立式加工中心装夹工件方便,易于观察,便于操作,程序调试容易。此外,立式加工中心结构简单紧凑,占地面积小,价格相对较

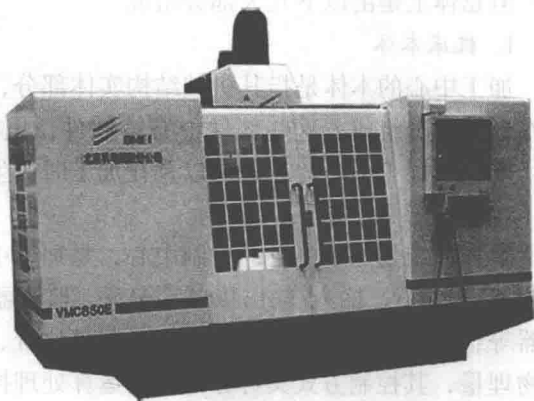


图 1-1 立式加工中心 (VMC850E) 外观图



低,故得到了广泛应用。但立式加工中心由于受立柱高度及换刀装置的限制,不能加工太高的工件。在加工型腔或下凹的型面时排屑困难,严重时损坏刀具,破坏已加工的表面,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水平设置的加工中心,图 1-2 所示为一种卧式加工中心的外形图。卧式加工中心一般有 3~5 个坐标轴,常见的是三个直线运动坐标轴加上一个回转运动坐标轴,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,较立式加工中心更适合加工箱体类零件,特别适合孔与定位基面或孔与孔之间有相对位置精度要求的箱体类零件的加工,容易保证其加工精度。

卧式加工中心在调试程序及试切时不便观察,加工时不便监视,零件装夹和测量不方便,但加工时排屑容易,有利于加工。卧式加工中心与立式加工中心相比,具有刀库容量大、整体结构复杂、体积和占地面积大、价格较高等特点。卧式加工中心是加工中心中应用范围最广的一种。

(3) 龙门式加工中心 龙门式加工中心的形状与龙门铣床相似,主轴多为垂直设置。除自动换刀装置以外,还带有可更换的主轴头附件,数控装置的功能较齐全,能一机多用,尤其适合加工大型或形状复杂的工件,如图 1-3 所示。



图 1-2 卧式加工中心

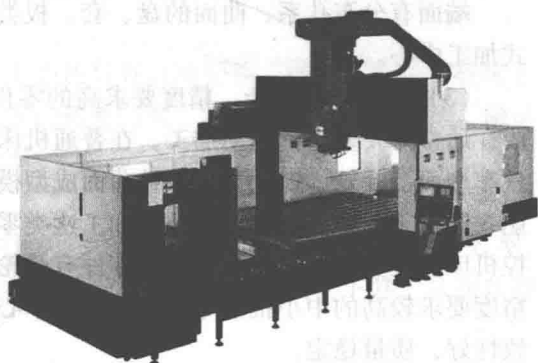


图 1-3 龙门式加工中心

(4) 五面体加工中心 五面体加工中心是兼有立式加工中心和卧式加工中心功能的加工中心,即立、卧两用的复合加工中心,如图 1-4 所示。五面体加工中心能在工件一次安装后,完成除安装面以外的所有侧面和顶面等其他五个面的加工,极大地提高了加工精度和生产效率,经济效益显著。

常见的五面体加工中心有两种:一种是主轴可以旋转 90° ,实现立式和卧式加工;另一种是主轴不改变方向,而由数控回转工作台沿 X 轴旋转 90° ,从而带着工件旋转 90° ,完成对工件五个表面的加工。



图 1-4 五面体加工中心

1.2.2 加工中心的用途

加工中心价格昂贵,一次性投入大,零件的加工成本较高,而且要求操作人员素质高,故



需从零件的形状、精度要求等多方面综合考虑哪些零件适合在加工中心上加工。一般来说,加工中心适用于形状复杂,精度要求高,工序多,需多种类型普通机床和种类繁多的刀具、工装,经过多次装夹和调整才能完成加工的零件。

(1) 箱体类零件 箱体类零件一般是指具有一个以上孔系,内部有一定型腔,在长、宽、高方向有一定比例的零件。这类零件在机械、汽车、飞机等行业较多,如汽车的发动机缸体、变速器体,机床的主轴箱,柴油机缸体,齿轮泵壳体等。

箱体类零件一般都需要进行多工位孔系及平面加工,是加工中心的首选加工对象之一。公差要求特别是几何公差要求较为严格,通常要经过铣、镗、钻、扩、铰、铰、攻螺纹等工序,一次装夹可以完成普通机床 60% ~ 95% 的工序内容,零件各项精度一致性好,质量稳定,同时可大大缩短生产周期,降低成本。对加工工位较多、工作台需多次旋转角度才能完成的零件,一般选用卧式加工中心;当加工的工位较少且跨距不大时,可选立式加工中心,从一端进行加工。

(2) 盘、套、板类零件 带有键槽或径向孔,或端面有分布的孔系、曲面的盘、套或轴类零件,例如带法兰的轴套、带有键槽或方头的轴类零件等。此外,还有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、套、板类零件宜选用立式加工中心,而有径向孔的可选用卧式加工中心。

(3) 结构形状复杂、精度要求高的零件 结构形状复杂的零件其加工面多由复杂曲面组成,通常需要多坐标联动加工,在普通机床上一般难以胜任甚至无法完成。复杂曲面如飞机和汽车型面、叶轮、螺旋桨、各种曲面成型模具等在机械制造业,特别是在航空航天、汽车、船舶、国防工业中占有重要地位。加工这类零件一般选择加工中心来加工,这类零件也是普通数控机床的主要加工对象。典型的零件有凸轮类零件、整体叶轮类零件和模具类零件等。对加工精度要求较高的中小批量零件选择加工中心加工,能获得很好的尺寸精度和形位精度,尺寸一致性好,质量稳定。

加工复杂曲面,如果在不出现加工干涉区或加工盲区时,可采用球头铣刀进行三坐标联动加工。加工精度高,但效率较低。如果工件存在加工干涉区或加工盲区,就必须考虑采用四坐标或五坐标联动的机床。加工复杂曲面时并不能发挥加工中心自动换刀的优势,因为复杂曲面的加工一般经过从粗铣到(半)精铣等步骤,所用刀具较少,尤其是像模具这样的单件加工。

(4) 异形件 异形件是外形不规则的零件,且大多需要以点、线、面多工位混合加工,如支架、基座、样板、靠模等。异形件的刚性一般较差,装夹复杂,切削时易变形,加工精度难以保证。如果采用普通机床加工,工序多,工装多,时间长,加工质量难以保证。这时可充分利用加工中心工序集中的特点,采用合适的工艺措施,经一次或两次装夹,用较短的时间完成大部分工序或全部加工内容。

加工异形件时,形状越复杂,精度要求越高,越能显示和发挥加工中心的优势。用加工中心加工零件,花在工艺准备和程序编制上的时间占整个工时的比例很大,故对周期性批量生产的零件,可反复多次使用同一程序,大大缩短生产周期。

1.3 加工中心的加工特点和应用范围

1.3.1 加工中心的加工特点

加工中心与普通数控机床相比,具有以下几个突出特点。



1. 工序集中

加工中心具有刀库和自动换刀装置,工件经一次装夹后,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功能,连续地对工件各加工表面自动进行铣、钻、扩、铰、镗、攻螺纹等多种工序的加工,适用于加工凸轮、箱体、支架、盖板、模具等各种复杂型面的零件。

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,而且加工中心由于加工工序集中,避免了长工艺流程,减少了人为干扰,故加工精度更高,加工质量也更加稳定。

3. 加工适应性强

加工中心对加工对象的适应性强,即具有高柔性。加工中心生产的柔性不仅体现在对特殊要求的快速反应上,而且还可以快速实现批量生产,从而提高市场竞争能力。

4. 劳动强度减轻,劳动条件改善

加工中心加工零件是按事先编好的程序自动运行,完成对零件的加工。操作者除了操作面板、装卸工件、对刀、关键工序的中间检测以及观察机床运行等操作之外,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大为减轻,也改善了劳动条件。

5. 生产效率高

加工中心带有刀库和自动换刀装置,有的加工中心还具有自动交换工作台,在一台机床上能集中完成多种工序,可减少工件装夹、测量和机床的调整时间,减少了半成品的周转、搬运和存放时间,使辅助时间大为缩短,提高了生产效率。

6. 经济效益好

使用加工中心加工零件,虽然分摊在每个零件上的设备费用是昂贵的,但其高生产效率、高加工精度以及加工稳定而减少了废品率且工艺装备费用低,使生产成本大为下降,从而获得良好的经济效益。

7. 便于生产管理的现代化

使用加工中心加工零件,能准确地计算出零件的加工工时,并能有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作,有利于使生产管理现代化。

虽然加工中心有以上优点,但其价格昂贵、技术复杂、维修困难、加工成本高,并且要求管理及操作人员素质较高,因此应综合考虑各方面因素以使企业获得最佳的经济效益。

1.3.2 加工中心的应用范围

加工中心是一种高效率、高精度、高自动化的机床,具有许多普通机床无法比拟的优点。目前,加工中心的应用范围正在不断扩大,为充分发挥出加工中心的最佳效益,加工中心比较适合加工具有以下特点的零件。

1. 多品种、小批量生产的零件

加工中心生产的柔性不仅体现在对特殊零件加工的快速反应上,而且可以快速实现批量生产,迅速占领市场。

2. 形状结构复杂的零件

有些零件形状结构复杂,在普通机床上加工需要昂贵的工艺装备,使用数控铣床也需要多次更换刀具和夹具,而使用加工中心即可实现一次装夹就能完成铣、钻、镗、攻螺纹等多种工序加工。



3. 价格昂贵的高精度零件

有些零件需求少,但其价格昂贵,是不允许报废的关键零件,要求精度高且工期短,如果用传统机床加工需多台机床协调工作,并容易受人为因素的影响而出现废品。采用加工中心进行加工,生产过程完全由程序控制,避免了工艺流程中的干扰因素,生产效率高且质量稳定。

4. 周期性重复投产的零件

有些产品的市场需求具有周期性和季节性,如果采用专门的生产线则得不偿失,用普通设备加工效率又太低,质量还不稳定。而采用加工中心首件试切成功后,程序和相关信息可保留下来,下次再生产该产品时,只要很少的准备时间就可开始生产了。

5. 需频繁改型的零件

当加工对象改变后,只需改变加工程序、调整刀具参数等即可进行新零件加工,生产准备周期大大缩短,给新产品的研发、产品的改进和改型提供了捷径。

6. 难测量的零件

对一些难测量的零件,可充分利用加工中心本身所具有的高精度特点,来保证零件的加工精度。

1.4 加工中心的主要结构和技术参数

1. 主轴部件

主轴部件是加工中心的重要部件之一,其刚度和回转精度直接影响工件的加工质量。主轴部件主要由主轴箱、主轴电动机、主轴和主轴轴承等组成。加工中心的主轴电动机主要采用直流主轴电动机和交流主轴电动机,实现主运动的无级变速。主轴的起停和变速等动作均由数控系统控制,并通过装在主轴上的刀具进行切削,是切削加工的功率输出部件。

2. 支撑系统

(1) 床身 床身是机床的基础件,要求具有足够高的静、动刚度和精度保持性。在满足总体设计要求的前提下,应尽可能做到既要结构合理、筋板布置恰当,又要保证良好的冷、热加工工艺性。

车削加工中心的床身,为提高其刚性,一般采用斜床身。斜床身可以改善切削加工时的受力情况,截面可以形成封闭的腔形结构,其内部可以充填泥芯和混凝土等阻尼材料,在振动时利用相对摩擦来耗散振动能量。

(2) 立柱 加工中心的立柱主要是对主轴箱起到支承作用,满足主轴的 Z 向运动,立柱应具有较好的刚性和热稳定性。加工中心采用封闭的箱形结构,内部采用斜板提高立柱的抗弯、抗扭能力,整个结构采用铸造实现。

(3) 导轨 加工中心的导轨大都采用直线滚动导轨,滚动导轨摩擦因数很低、动静摩擦因数差别小,低速运动平稳、无爬行,因此可以获得较高的定位精度。但是,这些精度的实现必须建立在底座处于正确状态的基础上,否则垂直方向的支撑高低误差会造成结构侧向扭曲,进而造成全行程内摩擦阻力的变化,导致产生定位精度的误差。以往采用滑动导轨时,导轨的配合面要刮研精修,在装配过程中可发现导轨扭曲现象,并通过修配实现校正。改用滚动导轨,不存在修正过程,很难避免床身扭曲或安装所造成的轨道扭曲,因此应采用三点支撑的底座。

3. 伺服系统

(1) 主轴伺服系统 随着数控技术的发展,现代数控机床对主轴传动提出了越来越高的



要求。如要求很宽的范围内转速连续可调,恒功率的范围要宽,要有四象限的驱动能力。为满足加工中心自动换刀以及某些加工工艺的需要,要求主轴具有高精度的准停控制等。主轴驱动变速目前主要采用两种形式:一是主轴电动机带齿轮分段无级变速;二是主轴电动机通过同步齿形带或传送带驱动主轴,该类主轴电动机又称宽域电动机或强切削电动机,具有恒功率范围宽的特点。主轴的准停控制分为机械准停与电气准停,目前国内外中高档数控系统均采用电气准停控制。

1) 直流主轴驱动系统。直流主轴驱动多采用晶闸管调速方式,直流进给伺服系统是由速度环和电流环构成的双环控制系统来控制直流主轴电动机的电枢电压,主轴电动机采用他励式电动机,励磁绕组与电枢绕组相互独立。电动机转速从最小值到额定值,保持励磁电流不变,实现调压调速,属于恒转矩控制;从额定值到最大值,励磁电流减小,实现调磁调速,属恒功率控制。

2) 交流主轴驱动系统。随着交流调速技术的发展,目前数控机床的主轴驱动多采用主轴电动机配变频器的控制方式。电网端逆变器由六只晶闸管组成的三相桥式全控整流电路组成,该电路可工作在整流状态,向中间电路直接供电,也可工作在逆变状态,完成能量反馈电网的任务。负载端逆变器由带反并联续流二极管的六只功率晶体管组成。通过磁场计算机的控制,负载端逆变器输出三相正弦脉宽调制(PWM)电压,使电动机获得所需的转矩电流和励磁电流。输出的三相 PWM 电压幅值范围为 $0 \sim 430\text{V}$,频率调节范围为 $0 \sim 300\text{Hz}$ 。在反馈制动时,电动机能量通过变流器的六只续流二极管向电容器充电,当电容器上的电压超过 600V 时,通过控制调节器和电网端逆变器把电容器上的能量返回电网。

(2) 进给伺服系统

1) 脉宽调制方式进给伺服系统。脉宽调制方式调速是利用脉宽调制器对大功率晶体管的开关时间进行控制。将速度控制信号转换成一定频率的方波电压,加到直流伺服电动机的电枢两端,通过方波宽度的控制改变电枢两端的平均电压,达到控制伺服电动机转速的目的。

数控系统的 CPU 发出信号经插补器输出一系列脉冲信号,这些脉冲经过指令倍率器 CMR 后,与位置反馈脉冲相比较所得的差值,送到误差寄存器,然后与位置增益和偏移量补偿运算后送 PWM 进行脉宽调制,随后经 D/A 转换或模拟电压,作为速度控制信号 VCMD 送到速度控制单元。脉冲编码器发出的脉冲,经断线检查器确认无信号断线后,送到鉴相器,对两组脉冲 PA、PB 进行鉴相,确定电动机的旋转方向。从鉴相器出来的一路信号经 F/V 变换,作为速度反馈信号 TSA;另一路输出经检测倍频器 DMR,作为位置反馈信号。参考点计数器及一转信号 PC 用于栅格法回参考点的操作。

2) 交流进给驱动伺服系统。直流进给伺服系统虽有优良的调速功能,但由于所用电动机有电刷和换向器,易磨损,且换向器换向时会产生火花,从而使电动机的最高转速受到限制。另外,直流电动机结构复杂,制造困难,所用铜铁材料消耗大,制造成本高,而交流电动机却没有这些缺点。近 20 年来,随着新型大功率电力器件的出现,新型变频技术、现代控制理论以及微型计算机数字控制技术等在实际应用中取得了突破性的进展,促进了交流进给伺服技术的飞速发展,交流进给伺服系统已全面取代了直流进给伺服系统。由于交流伺服电动机采用交流永磁式同步电动机,因此,交流进给驱动装置从本质上说是一个电子换向的直流电动机驱动装置。

4. 刀库及自动换刀装置

加工中心利用刀库实现换刀,这是目前加工中心大量使用的换刀方式。由于有了刀库,机



床只要一个固定主轴夹持刀具，有利于提高主轴刚度。独立的刀库，大大增加了刀具的储存数量，有利于扩大机床的功能，并能较好地隔离各种影响加工精度的干扰因素。

刀库换刀，按照换刀过程有无机械手参与，分成有机手换刀和无机手换刀两种情况。在有机手换刀的过程中，使用一个机械手将加工完毕的刀具从主轴中拔出，与此同时，另一机械手将在刀库中待命的刀具从刀库拔出，然后两者交换位置，完成换刀过程。无机手换刀时，刀库中刀具存放方向与主轴平行，刀具放在主轴可到达位置。换刀时，主轴箱移到刀库换刀位置上方，利用主轴 Z 向运动将加工用毕的刀具插入刀库中要求的空位处，然后刀库中待换刀具转到待命位置，主轴 Z 向运动将待用刀具从刀库中取出，并将刀具插入主轴。有机手手的系统在刀库配置、与主轴的相对位置及刀具数量上都比较灵活，换刀时间短。无机手方式结构简单，只是换刀时间长。

(1) 加工中心刀库形式 刀库有多种形式，加工中心常用的有盘式、链式两种刀库。

盘式结构（见图1-5）中，刀具可以沿主轴轴向、径向、斜向安放，刀具轴向安装的结构最为紧凑，但为了换刀时刀具与主轴同向，有的刀库中的刀具需在换刀位置作 90° 翻转。在刀库容量较大时，为存取方便的同时保持结构紧凑，可采取弹仓式结构。目前大量的刀库安装在机床立柱的顶面或侧面，也有安装在单独的地基上，以隔离刀库转动造成的振动。

链式刀库的基本结构如图1-6所示，通常刀具容量比盘式的要大，结构也比较灵活。可以采用加长链带方式加大刀库的容量，也可采用链带折叠回绕的方式提高空间利用率，在要求刀具容量很大时，还可以采用多条链带结构。

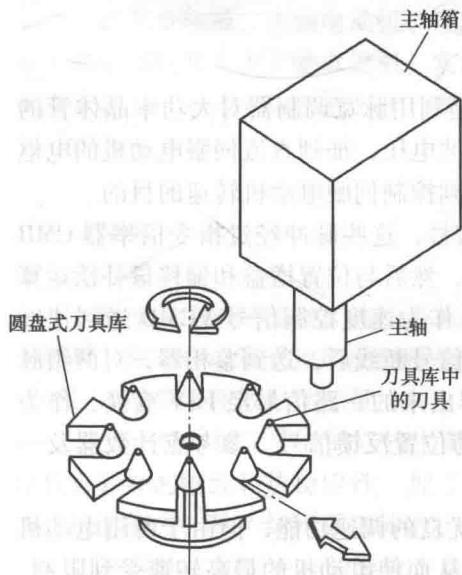


图 1-5 盘式结构示意图

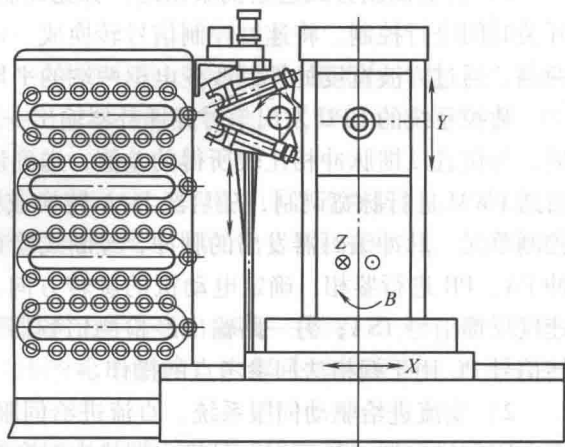


图 1-6 链式刀库

(2) 加工中心的自动换刀装置 自动换刀装置可分为五种基本形式，即转塔式、 180° 回转式、回转插入式、二轴转动式和主轴直接式。自动换刀的刀具可紧固在专用刀夹内，每次换刀时将刀夹直接装入主轴。

1) 转塔式换刀装置。用转塔实现换刀是最早的自动换刀方式。如图1-7所示，转塔是由若干与铣床动力头（主轴箱）相连接的主轴组成的。在运行程序之前，将刀具分别装入主轴，需要哪把刀具时，转塔就转到相应的位置。

这种装置的缺点是主轴的数量受到限制。要使用数量多于主轴数的刀具时, 操作者必须卸下已用过的刀具, 并装上后续程序所需要的刀具。转塔式换刀并不是拆卸刀具, 而是将刀具和刀夹一起换下, 所以这种换刀方式很快。目前数控钻床等还在使用转塔式刀具库。

2) 180° 回转式换刀装置。最简单的换刀装置是 180° 回转式换刀装置, 如图 1-8 所示。接到换刀指令后, 机床控制系统便将主轴控制到指定换刀位置; 与此同时, 刀具库运动到适当位置, 换刀装置回转并同时与主轴、刀具库的刀具相配合; 拉杆从主轴刀具上卸掉, 换刀装置将刀具从各自的位置上取下; 换刀装置回转 180° 并将主轴刀具与刀具库刀具带走; 换刀装置回转的同时, 刀具库重新调整其位置, 以接收从主轴取下的刀具; 接下来, 换刀装置将要换上的刀具与卸下的刀具分别装入主轴和刀具库; 最后, 换刀装置转回原“待命”位置。



图 1-7 转塔式换刀装置示意图

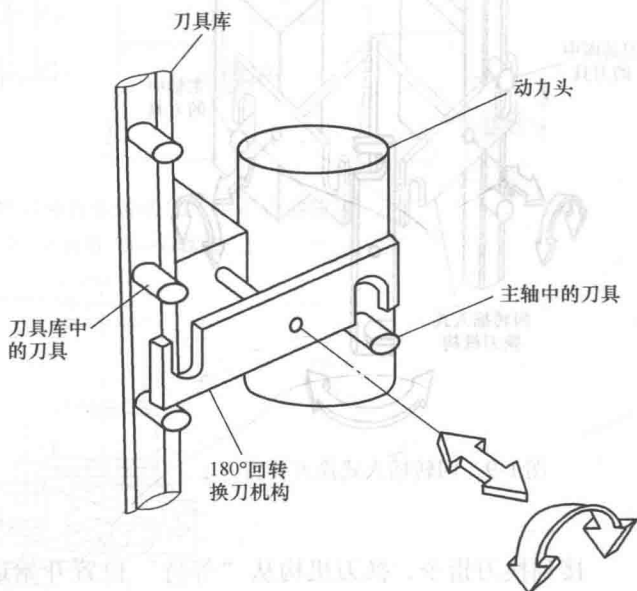


图 1-8 180° 回转式换刀装置示意图

至此, 换刀完成, 程序继续运行。这种换刀装置的主要优点是结构简单、涉及的运动少、换刀快; 主要缺点是刀具必须存放在与主轴平行的平面内, 与侧置和后置刀具库相比, 切屑及切削液易进入刀夹, 因此必须对刀具另加防护。刀夹锥面上有切屑会造成换刀误差, 甚至有损坏刀夹与主轴的可能。有些加工中心使用了传递杆, 并将刀具库侧置。当换刀指令被调用时, 传递杆将刀具库的刀具取下, 转到机床前方, 并定位于与换刀装置配合的位置。 180° 回转式换刀装置既可用于卧式机床, 也可用于立式机床。

3) 回转插入式换刀装置。它是最常用的形式之一, 是回转式换刀装置的改进形式。回转插入机构是换刀装置与传递杆的组合。图 1-9 所示为回转插入式换刀装置的工作原理, 其应用在卧式加工中心上。这种换刀装置的结构设计与 180° 回转式换刀装置基本相同。

当接到换刀指令时, 主轴移至换刀点, 刀具库转到适当位置, 使换刀装置从其槽内取出欲换上的刀具; 换刀装置转动并从位于机床一侧的刀具库中取出刀具, 换刀装置回转至机床的前方, 在该位置将主轴上的刀具取下, 回转 180° 将欲换上的刀具装入主轴; 与此同时, 刀具库移至适当位置以接收从主轴取下的刀具; 换刀装置转到机床的一侧, 并将从主轴取下的刀具放