

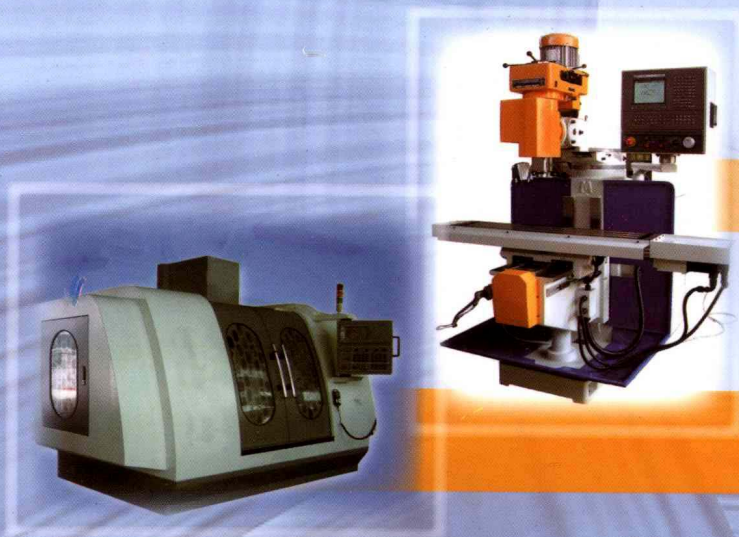


高职高专“十一五”规划教材

数控铣床及加工中心 编程与应用

耿国卿 主编

谭毅 朱志军 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

数控铣床及加工中心 编程与应用

耿国卿 主 编
谭毅 朱志军 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关职业技能鉴定规范编写的。本书共分 10 章,讲述了数控铣床与加工中心基本知识、数控加工工艺、数控编程基础、数控铣床及加工中心编程、宏程序、数控铣床及加工中心操作、数控铣削加工实训课题、知识技能考核模拟题,并且列举了大量典型实例。全书吸取了项目式教学法等先进经验,采用课题形式,将理论与实践充分结合起来,有利于培养学生的实际操作能力和应用能力。

本书可作为高等职业院校、中等职业学校、成人院校数控技术应用专业、机电专业、模具专业的教材,也可作为数控铣床及加工中心编程与操作培训教材,并可供机械制造业有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床及加工中心编程与应用/耿国卿主编. —北京:化学工业出版社, 2009.1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-04046-6

I. 数… II. 耿… III. ①数控机床: 铣床-程序设计-高等学校: 技术学院-教材②数控机床加工中心-程序设计-高等学校: 技术学院-教材 IV. TG547 TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 173725 号

责任编辑: 韩庆利

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 杨 北

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 3/4 字数 497 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

高职高专“十一五”规划教材

数控铣床及加工中心编程与应用

编写人员名单

主 编：耿国卿

副主编：谭 毅 朱志军

参 编：孙康岭 刘永海 钱 伟 孙 涛 王树文
张海鹏 米广杰 裴桂玲 耿 建 程春艳
李文峰 杨兆伟 崔豫军 唐 华 陈 凯

前 言

本书是根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关职业技能鉴定规范编写的。

随着机电一体化技术的迅猛发展，数控机床已日趋普及，我国现已成为世界上数控机床的消费大国和生产大国，国民经济各行各业需要大量的数控机床的开发人才和应用人才。为了适应我国高等职业技术教育发展以及应用型人才培养的需要，编者结合多年的教学经验和生产实践经验，并吸取了近年来先进教学方法，本着“实际、实用、实践”的原则，编写了本书。

本书选用了技术先进、占市场份额最大的 FANUC（法那科）、SIEMENS（西门子）以及国产华中（HNC-21/22M）系统的数控铣床与加工中心为背景，系统讲述了数控铣床与加工中心的基本知识、数控加工工艺、数控基本编程指令、宏程序、数控机床操作以及典型零件数控加工实训课题。本书尽可能使理论教学与实操同步，在教学顺序上相互衔接，配合大量例题，由浅入深，由易到难，力求使学生能够较好地学习和巩固编程与实操知识，提高编程技术和实操技能，使学习者达到中、高级数控专业技能型人才的水平。在编程实践和应用方面，采用课题形式，理论与实践相结合，把数控加工工艺知识融入编程中。课题中融合了典型零件加工编程、刀具的选择、切削用量的选择、有关理论计算、操作步骤及注意事项，力求前后知识融会贯通。最后配合数控加工知识和技能考核模拟题，使学生得到综合的训练。因此该教材既具有较强的理论性、实践性，又具有较强的综合性。教材力求把学习理论知识和培养实践能力有机结合起来，培养学生的实际操作和应用能力。

本书可作为高等职业院校、中等职业学校、成人院校数控技术应用专业、机电专业、模具专业的教材，也可作为数控铣床及加工中心编程与操作培训教材，并可供机械制造业有关工程技术人员参考。

本书不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2008 年 10 月

目 录

第一章 数控铣床与加工中心概述	1
第一节 数控铣床与加工中心的概念和分类	1
一、数控铣床	1
二、加工中心	1
三、数控铣床与加工中心分类	1
四、数控铣床与加工中心结构	3
第二节 加工中心刀库形式与自动换刀装置	4
一、加工中心的刀库形式	4
二、自动换刀装置 (ATC) 与换刀过程	5
三、刀具的选用与识别	6
第三节 数控系统简介	6
一、数控系统的功能	7
二、数控系统的工作过程	9
三、数控系统的分类	10
四、数控系统发展概况	11
复习思考题	12
第二章 数控加工工艺	13
第一节 数控铣床与加工中心加工对象	13
一、数控铣床与加工中心的加工范围	13
二、数控铣床的加工对象	13
三、加工中心的加工对象	15
第二节 数控铣床与加工中心刀具	17
一、加工中心的刀柄	17
二、常用刀具的装夹	18
三、数控刀具类型及工艺特点	18
第三节 数控加工常用工量具	25
一、数控铣床与加工中心常用工具	25
二、常用量具	26
第四节 工件的装夹和定位	29
一、工件的装夹方式	29
二、工件定位基本原理	30
三、定位基准的选择	33
第五节 数控机床夹具	37
一、机床夹具的分类	37
二、数控机床夹具特点	38

三、数控机床常用夹具及装夹方法	38
第六节 数控加工方法与切削用量选择	40
一、铣削加工	40
二、钻孔	45
三、铰孔	46
四、镗孔	48
五、螺纹加工	48
第七节 加工余量及工序尺寸的确定	49
一、加工余量与工序尺寸	49
二、工艺尺寸链	50
复习思考题	54
第三章 数控编程基础	55
第一节 数控编程的方法	55
一、手工编程	55
二、自动编程	56
第二节 数控机床的坐标系	57
一、标准坐标系	57
二、机床坐标系	58
三、工件坐标系	59
第三节 数控程序的结构	59
第四节 数控机床的基本功能指令	60
一、准备功能 (G 功能)	60
二、辅助功能 (M 功能)	62
三、刀具功能 (T 功能)	62
四、主轴功能 (S 功能)	63
五、进给功能 (F 功能)	63
第五节 数控编程的坐标尺寸指令	63
一、坐标平面选择指令 (G17/G18/G19)	63
二、绝对值指令 (G90) 与增量值指令 (G91)	64
三、自动返回参考点	65
第六节 坐标系设定	66
一、机床坐标系 (G53)	66
二、工件坐标系设定 (G92、G54~G59)	66
复习思考题	69
第四章 数控铣床及加工中心编程	70
第一节 插补功能指令	70
一、快速定位 G00	70
二、直线插补 G01	70
三、圆弧插补 G02、G03	73
四、螺旋插补 G02、G03	78
第二节 刀具补偿功能	80

一、刀具长度补偿 G43、G44、G49	80
二、刀具半径补偿 G40、G41、G42	85
第三节 固定循环指令	91
一、固定循环指令格式及说明	92
二、循环指令加工方式及应用	93
三、使用固定循环功能注意事项	105
第四节 子程序	108
第五节 镜像加工指令	111
第六节 坐标旋转指令	115
第七节 比例缩放指令	117
第八节 极坐标指令	119
第九节 四轴加工编程	122
复习思考题	125
第五章 宏程序	130
第一节 宏程序的概念及特点	130
一、宏程序的概念	130
二、宏程序的特点	130
第二节 FANUC 系统的宏变量	131
一、变量	131
二、运算指令	133
三、转移与循环指令	134
第三节 FANUC 系统的宏程序调用	136
一、宏程序调用指令	137
二、自变量赋值	138
第四节 华中 (HNC-21/22M) 系统的宏程序	139
一、宏变量及常量	139
二、运算符与表达式	139
三、赋值语句	140
四、条件判别语句 IF, ELSE, ENDIF	140
五、循环语句 WHILE, ENDW	140
第五节 宏程序的编制与应用	140
一、圆	141
二、椭圆	147
三、双曲线	150
四、抛物线	152
五、四轴宏程序编程实例	154
复习思考题	157
第六章 FANUC 0i-MB 系统数控铣床及加工中心操作	160
第一节 数控铣床与加工中心操作安全规程	160
一、数控机床安全操作规程	160
二、数控机床维护与保养	161

第二节 FANUC 0i Mate-MB 数控系统操作面板及功能	162
一、CRT 显示屏/MDI 面板各键的功用	162
二、机床控制面板各键的功用	164
第三节 数控机床基本操作	166
一、开机	166
二、关机	166
三、回参考点	166
四、手动方式	167
五、手轮方式	167
六、MDI 方式	167
七、编辑方式	168
八、自动方式	168
九、选择程序	168
十、删除一个程序	169
十一、删除全部程序	169
十二、手工装卸刀具	169
十三、自动换刀	169
第四节 数控铣床与加工中心的对刀	171
一、试切法对刀	171
二、寻边器对刀	173
三、Z 轴设定器对刀	173
四、百分表对刀	174
第五节 程序传输格式和 DNC 传输软件	174
一、串口线路的连接	175
二、程序传输格式	175
三、传输软件介绍及操作	176
复习思考题	179
第七章 华中 (HNC-21/22M) 系统数控铣床及加工中心操作	180
第一节 华中 (HNC-21/22M) 系统操作面板及各键功能	180
一、MDI 面板各键的功用	180
二、机床操作按键及功用	181
三、功能软键及功用	181
第二节 华中 (HNC-21/22M) 系统基本操作	182
一、开机	182
二、关机	182
三、回参考点	182
四、手动操作	183
五、手摇操作	183
六、手动换刀	183
七、MDI 操作	183
八、调用已有程序	183

九、编辑新程序	184
十、对刀	184
第三节 华中 (HNC-21/22M) 系统指令	184
一、华中 (HNC-21/22M) 系统程序的格式	184
二、华中 (HNC-21/22M) 系统辅助功能指令	185
三、华中 (HNC-21/22M) 系统准备功能指令	186
四、进给控制指令	188
五、回参考点指令	189
六、刀具补偿功能指令	190
七、简化编程指令	191
八、固定循环指令	192
复习思考题	194
第八章 SIEMENS 802D 系统数控铣床及加工中心编程与操作	195
第一节 SIEMENS 802D 系统功能	195
一、准备功能代码	195
二、固定循环功能代码	197
三、辅助功能代码	197
四、其他功能 F、S、T、D 代码	197
五、常用字符集和运算符号	198
第二节 SIEMENS 802D 系统基本编程指令	198
一、NC 编程基本结构	198
二、常用指令	199
第三节 刀具补偿功能指令	204
一、刀具选择指令 T	204
二、刀具补偿号指令 D	205
三、刀具半径补偿指令 G41、G42、G40	206
四、使用刀具半径补偿注意事项	206
五、刀具半径补偿的作用	207
第四节 固定循环功能指令	207
一、CYCLE82 编程格式	207
二、排孔 HOLES1 编程格式	208
三、圆周孔 HOLES2 编程格式	208
四、铣模式圆弧槽 SLOT1 编程格式	209
五、铣槽式圆周槽 SLOT2 编程格式	210
第五节 蓝图编程	211
一、蓝图编程简介	211
二、蓝图编程实例	212
第六节 子程序的调用	214
一、子程序概述	214
二、子程序的调用	215
三、调用加工循环	216

四、模态调用子程序·····	216
第七节 编程实例·····	216
第八节 SIEMENS 802D 数控铣床及加工中心操作 ·····	220
一、数控铣床、加工中心面板简介·····	220
二、数控铣床与加工中心基本操作·····	222
复习思考题·····	226
第九章 数控铣削加工实训课题·····	227
课题 1 平面铣削加工 ·····	229
课题 2 平面内轮廓铣削加工 ·····	232
课题 3 凸台零件的铣削加工 ·····	236
课题 4 槽形零件的铣削加工 ·····	242
课题 5 沟槽铣削加工 ·····	244
课题 6 钻孔加工 ·····	247
课题 7 孔系零件的加工 ·····	249
课题 8 铰孔加工 ·····	252
课题 9 孔的铣削加工 ·····	255
课题 10 镗孔加工 ·····	260
课题 11 攻内螺纹 ·····	263
课题 12 螺纹铣削加工 ·····	267
第十章 知识技能考核模拟题·····	272
知识技能考核模拟试题一·····	272
知识技能考核模拟试题二·····	279
知识技能考核模拟试题三·····	288
知识技能考核模拟试题四·····	295
参考文献·····	303

第一章 数控铣床与加工中心概述

第一节 数控铣床与加工中心的概念和分类

一、数控铣床

数控铣床是用计算机数字化信号控制的铣床。它通过数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制，实现要求的机械动作，自动完成加工任务。

数控铣床是一种用途广泛的机床，主要用于各类平面、曲面、沟槽、齿形、内孔等加工。

二、加工中心

一般把带刀库和自动换刀装置（Automatic Tool Changer，简称 ATC）的数控镗铣床称为加工中心。

第一台加工中心是 1958 年由美国卡尼-特雷克公司首先研制成功的。它在数控卧式镗铣床的基础上增加了自动换刀装置，从而实现了工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削和攻丝等多种工序的集中加工。工件经一次装夹后，数字控制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，依次完成工件几个面上多工序的加工。

加工中心由于工序的集中和自动换刀，减少了工件的装夹、测量和机床调整等时间，使机床的切削时间达到机床开动时间的 80% 左右（普通机床仅为 15%~20%）；同时也减少了工序之间的工件周转、搬运和存放时间，缩短了生产周期，具有明显的经济效果。加工中心适用于零件形状比较复杂、精度要求较高、产品更换频繁的中小批量生产。

三、数控铣床与加工中心分类

1. 按机床形态分类

按机床形态可分为立式、卧式和龙门数控铣床（加工中心）三大类。

主轴轴线与工作台垂直设置的称为立式数控铣床（加工中心），如图 1-1 所示。它适合加工高度方向相对较小板类、盘类、模具及小型壳体类复杂零件。

主轴轴线与工作台平行设置的称为卧式数控铣床（加工中心），如图 1-2 所示。它适合加工箱体类零件。

龙门式数控铣床（加工中心）用于加工特大型零件，如图 1-3 所示。

2. 按控制方式分类

按控制方式可分为开环控制、半闭环控制和闭环控制的数控铣床（加工中心）三大类。

（1）开环数控铣床（加工中心）指不带反馈的控制系统，系统内没有位置反馈元件，通常采用步进电动机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算，发出指令脉冲，通过环形分配器和驱动电路，使步进电动机转过一个步距角，再经过传动机构带动工作台移动一

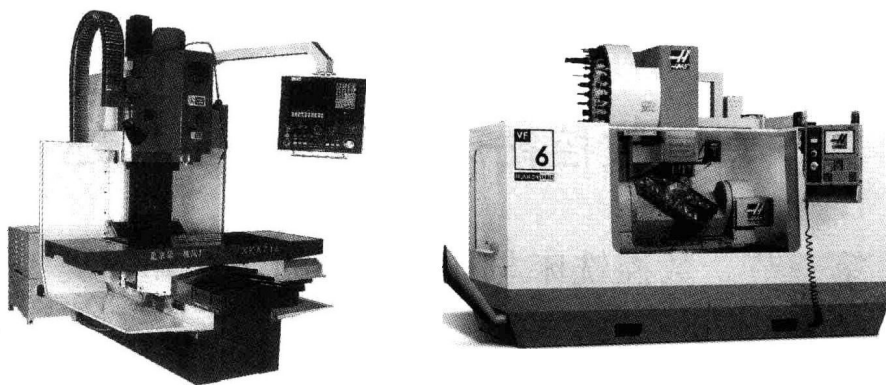


图 1-1 立式数控铣床与立式加工中心

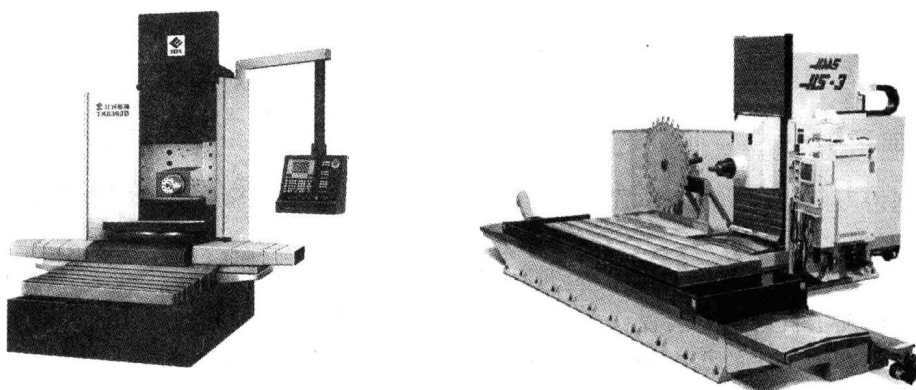


图 1-2 卧式数控铣床与卧式加工中心

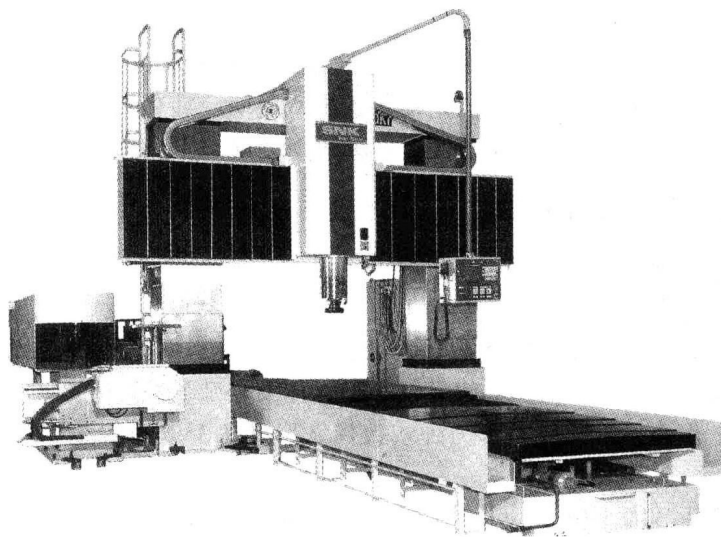


图 1-3 龙门式数控铣床

个脉冲当量的距离。移动部件的移动速度和位移由输入脉冲的频率和脉冲个数决定。开环伺服系统如图 1-4 所示。

(2) 半闭环数控铣床(加工中心) 在驱动电动机端部或在传动丝杠端部安装角位移检

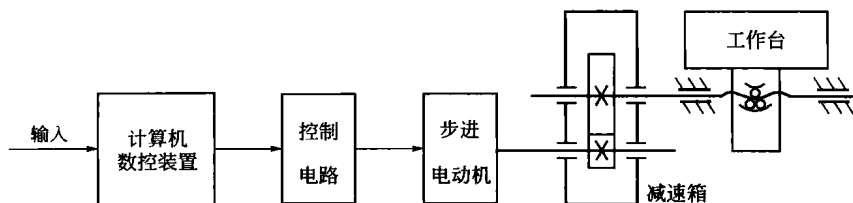


图 1-4 开环伺服系统

测装置（光电编码器或感应同步器），通过检测电动机或丝杠的转角间接测量执行部件的实际位置或位移，然后反馈到数控系统中。它能获得比开环系统更高的精度，但它的位移精度比闭环系统的要低，与闭环系统相比，易于实现系统的稳定性。现在大多数数控机床都广泛采用这种半闭环进给伺服系统。惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围内。半闭环伺服系统如图 1-5 所示。

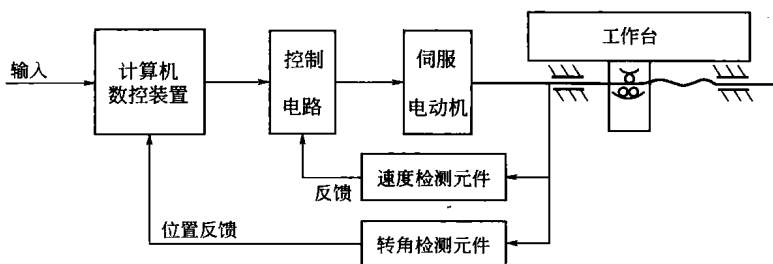


图 1-5 半闭环伺服系统

(3) 闭环数控铣床（加工中心）在机床移动部件上直接接有检测装置，将测得的结果直接反馈到数控系统中。实际上是将位移指令值与位置检测装置测得的实际位置反馈信号，实时进行比较，根据其差值进行控制，使移动部件按照实际的要求运动，最终实现精确定位。闭环伺服系统如图 1-6 所示。

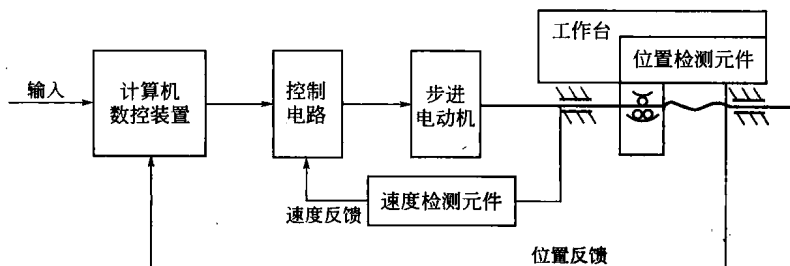


图 1-6 闭环伺服系统

3. 按坐标轴数和同时控制的坐标轴数分类

按坐标轴数和同时控制的坐标轴数可分为三轴二联动、三轴三联动、四轴三联动、五轴五联动等。三轴、四轴……是指机床的运动坐标轴数，联动是指控制系统可以同时控制运动的坐标数，从而实现刀具相对于工件的位置和速度控制。

其他的分类方式还有很多，例如按加工精度分类可以分为普通加工精度数控机床和高精度数控机床，按机床立柱的数量分类可以分为单柱式和双柱式数控机床，等等。

四、数控铣床与加工中心结构

数控铣床与数控加工中心一般由机床主体、控制部分、驱动部分、刀库及自动换刀装

置、辅助装置等组成。

1. 机床主体

它是数控机床的本体，包括床身、床鞍、工作台、立柱、主轴箱、进给机构等。

2. 控制部分

它是数控机床的控制核心，由各种数控系统完成对数控机床的控制。

3. 驱动部分

它是数控机床执行机构的驱动部件，包括主轴伺服电动机和进给伺服电动机等。

4. 刀库及自动换刀装置

加工中心带有刀库和自动换刀装置。刀库用于存放刀具，且可以按指令要求选刀并输送到换刀位置上。换刀装置从主轴上取出刀具送回刀库，然后从刀库中选取刀具装入主轴，完成自动换刀。

5. 辅助部分

它是数控机床的一些配套部件，包括液压装置、气动装置、冷却系统、润滑系统、排屑装置等。

第二节 加工中心刀库形式与自动换刀装置

一、加工中心的刀库形式

加工中心的刀库种类很多，常见的刀库的类型有斗笠式、圆盘式、链式以及篮式刀库等。

1. 斗笠式刀库

如图 1-7 所示。斗笠式刀库垂直向下布置，因呈斗笠状而得名。刀库存刀容量较小，一般为 12~24 把刀。斗笠式刀库结构简单，故障率低，常用在立式加工中心上。

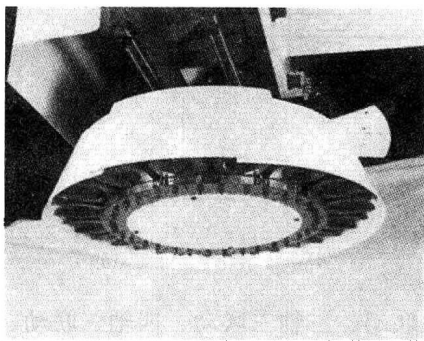


图 1-7 斗笠式刀库

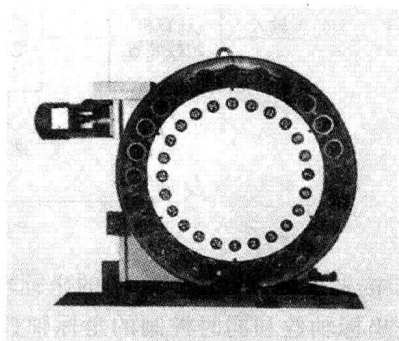


图 1-8 圆盘式刀库

2. 圆盘式刀库

如图 1-8 所示。圆盘式刀库是固定地址换刀刀库，即每个刀位上都有编号，一般从 1 编到 12、18、20、24 等，即为刀号地址。操作者把一把刀具安装进某一刀位后，不管该刀具更换多少次，总是在该刀位内。圆盘式刀库存刀量一般不超过 32 把。圆盘刀库采用机械手换刀，换刀速度快，但是故障率相对较高。

3. 链式刀库

如图 1-9 所示。这种刀库其刀座固定在链节上，可由链轮驱动其自动选刀。链式刀库的形式有单排链式和多排链式刀库几种，当存刀量多，链条太长时，可将链条折叠回绕，提高空间的利用率。因此链式刀库存刀量从 40 把至 160 把甚至更多。

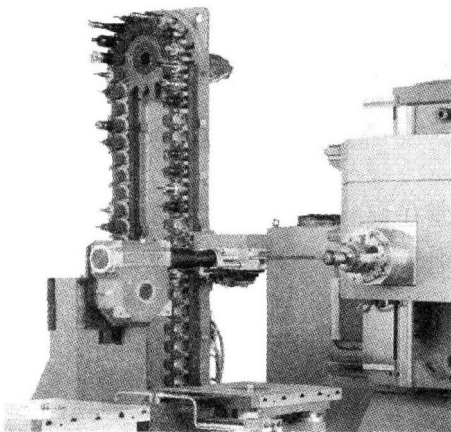


图 1-9 链式刀库

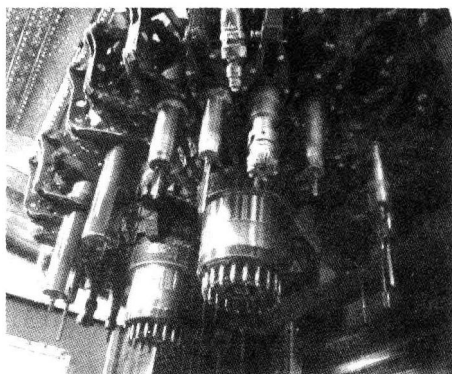


图 1-10 篮式刀库

4. 篮式刀库

如图 1-10 所示。篮式刀库是近几年才出现的一种新的刀库形式。德国巨浪（Chiron）公司的篮式刀库，能充分显示机床换刀快的特点。其换刀时间仅为 0.9s。

二、自动换刀装置（ATC）与换刀过程

换刀机构在机床主轴与刀库之间交换刀具，常见的为机械手；也有不带机械手而由主轴直接与刀库交换刀具的，称为无机械手换刀（或称无臂式换刀）装置。

1. 无机械手换刀

由刀库与机床主轴的相对运动实现换刀。换刀时，先使刀库接近主轴，将主轴上的刀具夹持，主轴 Z 向向上运动，于是刀具取下；然后刀库旋转至要换的刀位，主轴 Z 向向下运动，将刀具装入主轴，完成换刀。

斗笠式刀库一般采取这种换刀形式。刀库在主轴头附近，换刀时需要主轴方向的上下动作，换刀时间长，降低了工作效率。同时也影响主轴方向的工作行程范围。

2. 采用机械手换刀

刀具交换装置（机械手）的职能是将机床主轴上的刀具与刀库或刀具传送装置上的刀具进行交换，机械手换刀动作一般包括：刀库选刀—主轴定向—机械手抓刀—松刀拔出一机械手交换刀具—装刀夹紧—机械手复位。

机械手刀具交换装置有单臂单手机械手、回转式单臂双机械手、双臂机械手、多手机械手。特别是双臂机械手刀具交换装置具有换刀时间短、动作灵活可靠等优点，应用最为广泛。双臂机械手进行一次换刀循环的基本动作为：抓刀（手臂旋转或伸出，同时抓住主轴和刀库里的刀具）；拔刀（主轴松开，机械手同时将主轴和刀库中的刀具拔出）；换刀（手臂转 180°，新、旧刀交换）；插刀（同时将新刀插入主轴，旧刀插入刀库，然后主轴夹紧刀具）；缩回（手臂缩回到原始位置）。机械手的手爪，大都采用机械锁刀的方式，有些大型的

加工中心，也有采用机械加液压的锁刀方式，以保证大而重的刀具在换刀中不被甩出。

三、刀具的选用与识别

1. 顺序方式选刀

刀库中的刀具按照加工零件的加工顺序排列。加工时按顺序依次选用刀具。

这种选刀方法使刀库的控制与驱动装置简单，无需编码，也不需要刀具识别装置。但是加工零件改变时，刀具要按加工零件的加工顺序重新排列，增加了机床的准备时间。

2. 编码方式选刀

在加工中心刀库中，对每一把刀具都进行编码。加工时通过刀具的识别装置来识别和选择所需要的刀具。

这种随机选择刀具的方式使刀库中刀具的排列是任意的，与加工零件的加工顺序无关。当加工零件改变时，刀具在刀库中原有的排列顺序不变，减少刀具的调整时间。加工时可以重复使用同一把刀具，减少刀库中刀具的数量。

这种选刀方式更适合于多品种、少批量的生产类型。

编码方式选刀必须对刀具进行编码。加工中心要配置有刀具编码的识别装置，以控制机械装置选取所需要的刀具。

编码方法有两种，一是直接对刀具编码，另一种是将刀具安装在刀座上，然后对刀座进行编码。

3. 计算机记忆方式选刀

在安装有位置检测装置的刀库中，把刀具号和刀库上的存刀位置相对应地存储在计算机的存储器中，计算机始终跟踪着刀具在刀库中的实际位置。加工中刀具可以随机的取存。而且不必对刀具进行编码，也省去编码识别装置。现在大多数加工中心采用计算机记忆方式来选取加工所需的刀具，不但简化了控制系统，而且增加了可靠性。

自动换刀装置（ATC）的工作质量和刀库容量直接影响机床的使用性能、质量及价格。

刀库容量以满足一个复杂加工零件对刀具的需要为原则。应根据典型工件的工艺分析算出加工零件所需的全部刀具数，由此来选择刀库容量。当要求的数量太大时，可适当分解工序，将一个工件分解为两个、三个工序加工，以减小刀库容量。同时要关注最大刀具尺寸、最大刀具重量。

自动换刀装置（ATC）的选择主要考虑换刀时间与可靠性。换刀时间短可提高生产率，但换刀时间短，一般换刀装置结构复杂、故障率高、成本高，过分强调换刀时间会使价格大幅度提高并使故障率上升。据统计加工中心的故障中约有 50% 与 ATC 有关，因此在满足使用要求的前提下，尽量选用可靠性高的 ATC，以降低故障率和整机成本。

第三节 数控系统简介

计算机数控系统（Computer numerical control，简称 CNC）是用计算机控制加工功能，实现数值控制的系统。它是在硬件数控的基础上发展起来的，用一台计算机代替先前的数控装置所完成的功能。所以，它是一种包含有计算机在内的数字控制系统，根据计算机存储的控制程序执行部分或全部数控功能。依照 EIA 数控标准化委员会的定义，CNC 是用一个存储程序的计算机，按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的一部分