

中等职业学校机电类规划教材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



数控技术应用专业系列

数控铣床/加工中心 编程与操作

王庆海 主编

CNC TECHNOLOGY



- 根据岗位要求，构建知识体系
- 体现培训规律，满足考核要求
- 精选加工案例，注重知识应用



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中 等 职 业 学 校 机 电 类 规 划 教 材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



数控技术应用专业系列

数控铣床/加工中心 编程与操作

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床/加工中心编程与操作 / 王庆海主编. —
北京: 人民邮电出版社, 2010.5
中等职业学校机电类规划教材. 数控技术应用专业系
列

ISBN 978-7-115-22409-5

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床: 铣床—程序
设计—专业学校—教材②数控机床: 铣床—操作—专业学
校—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第042459号

内 容 提 要

本书分编程篇与操作篇两个部分, 共13章。其中, 编程篇包括数控铣床/加工中心概述、数控铣床/加工中心编程工艺基础、数控铣床/加工中心编程几何基础、基本编程指令及应用、简化编程的常用方法、CAXA制造工程师的CAD/CAM应用、典型零件的编程实例等; 操作篇包括数控铣床/加工中心的操作基础、宇龙仿真软件基本操作、数控铣床/加工中心加工前的准备、数控铣床/加工中心加工中的控制及后处理、DNC在线加工、典型零件加工实例等。本书从应用角度出发, 对比介绍HNC-21M/22M数控加工系统、FANUC 0i-M数控加工系统和SIEMENS 802D数控加工系统的数控铣床/加工中心的编程与操作技术。全书内容丰富, 体系新颖、重点突出、特色鲜明。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业“数控铣削技术”、“数控编程与操作”、“数控加工技术”等课程的教材, 也可供从事上述专业工作的工程技术人员参考。

中等职业学校机电类规划教材

数控技术应用专业系列

数控铣床/加工中心编程与操作

- ◆ 主 编 王庆海
责任编辑 刘盛平
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12
字数: 306千字 2010年5月第1版
印数: 1—3000册 2010年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22409-5

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

丛书前言

我国加入 WTO 以后,国内机械加工行业和电子技术行业得到快速发展。国内机电技术的革新和产业结构的调整成为一种发展趋势。因此,近年来企业对机电人才的需求量逐年上升,对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地,为满足机电行业对人才的需求,中等职业学校机电类专业的招生规模在不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

为了适应机电行业快速发展和中等职业学校机电专业教学改革对教材的需要,我们在全国家电行业和职业教育发展较好的地区进行了广泛调研;以培养技能型人才为出发点,以各地中职教育教研成果为参考,以中职教学需求和教学一线的骨干教师对教材建设的要求为标准,经过充分研讨与论证,精心规划了这套《中等职业学校机电类规划教材》,包括六个系统,分别为《专业基础课程与实训课程系列》、《数控技术应用专业系列》、《模具制造技术专业系列》、《机电技术应用专业系列》、《计算机辅助设计与制造系列》、《电子技术应用专业系列》。

本套教材力求体现国家倡导的“以就业为导向,以能力为本位”的精神,结合职业技能鉴定和中等职业学校双证书的需求,精简整合理论课程,注重实训教学,强化上岗前培训;教材内容统筹规划,合理安排知识点、技能点,避免重复;教学形式生动活泼,以符合中等职业学校学生的认知规律。

本套教材广泛参考了各地中等职业学校的教学计划,面向优秀教师征集编写大纲,并在国内机电行业较发达的地区邀请专家对大纲进行了多次评议及反复论证,尽可能使教材的知识结构和编写方式符合当前中等职业学校机电专业教学的要求。

在作者的选择上,充分考虑了教学和就业的实际需要,邀请活跃在各重点学校教学一线的“双师型”专业骨干教师作为主编。他们具有深厚的教学功底,同时具有实际生产操作的丰富经验,能够准确把握中等职业学校机电专业人才培养的客观需求;他们具有丰富的教材编写经验,能够将中职教学的规律和学生理解知识、掌握技能的特点充分体现在教材中。

为了方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供教学辅助光盘,光盘的内容为教材的习题答案、模拟试卷和电子教案(电子教案为教学提纲与书中重要的图表,以及不便在书中描述的技能要领与实训效果)等教学相关资料,部分教材还配有便于学生理解和操作演练的多媒体课件,以求尽量为教学中的各个环节提供便利。

我们衷心希望本套教材的出版能促进目前中等职业学校的教学工作,并希望能得到职业教育专家和广大师生的批评与指正,以期通过逐步调整、完善和补充,使之更符合中职教学实际。

欢迎广大读者来电来函。

电子函件地址:liushengping@ptpress.com.cn

读者服务热线:010-67143761, 67184065

前 言

随着数控加工技术的发展,职业学校的数控加工教学存在的主要问题是理论与实践不统一,数控系统单一,教学内容与生产实际差异较大,本书的编写尝试从应用角度出发,对比介绍当今主流数控系统;先编程再操作,先基础后提高,构建符合职业技能培训的课程体系。

本书是依据国家职业技能标准并参考了现代企业的生产技术文件而编写的。教材的内容主要包括数控铣床/加工中心编程和操作有关的相关知识,如加工工艺、数学计算、基本指令、简化编程、安全操作、加工前准备、质量控制等。通过本书的学习将使具备数控铣床/加工中心加工技术的基本技能,帮助学生了解数控加工领域的新知识、新技术、新工艺。

本书在编写体例上采用数控系统对比介绍,大量采用图表,文字表述力求简单通俗。注重理论和实践的结合,通过典型案例的详解,培养学生的技能。

本书的参考教学时数为104学时,建议采用理论实践一体化教学方法,编程知识与操作技能交叉同步进行,各章的参考教学课时分配如下。

章 节	课 程 内 容	课 时 分 配	
		理 论	实 践
第1章	数控铣床/加工中心概述	2	2
第2章	数控铣床/加工中心编程工艺基础	6	—
第3章	数控铣床/加工中心编程几何基础	4	—
第4章	基本编程指令及应用	4	—
第5章	简化编程的常用方法	14	6
第6章	CAXA 制造工程师的 CAD/CAM 应用	4	4
第7章	典型零件的编程实例	2	2
第8章	数控铣床/加工中心的操作基础	2	6
第9章	宇龙仿真软件基本操作	2	2
第10章	数控铣床/加工中心加工前的准备	4	12
第11章	数控铣床/加工中心加工中的控制及后处理	2	4
第12章	DNC 在线加工	2	6
第13章	典型零件加工实例	2	10
课 时 总 计		50	54

本书由河南机电学校王庆海主编。其中第4、6、8章由王庆海编写,第1、2、3、5章由郑州大学赵风霞编写,第7、9、11章由中州大学邬向伟编写,第10、12、13章由河南省轻工业学校金向杰编写。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年1月

目 录

第1章 数控铣床/加工中心概述	1
1.1 数控铣床/加工中心的组成	1
1.2 数控铣床/加工中心的工作原理	4
1.3 数控铣床/加工中心的分类	5
1.4 数控铣床/加工中心的主要功能	7
1.5 数控铣床/加工中心的加工工艺范围	8
本章小结	9
思考与练习	10
第2章 数控铣床/加工中心编程工艺	
基础	11
2.1 选择并确定数控铣削加工部位及工序内容	11
2.2 零件图样的工艺性分析	12
2.3 零件的加工路线	16
2.4 夹具及装夹方式的选用	18
2.5 数控铣削刀具的选用	20
2.6 数控铣削加工切削用量的选择	22
本章小结	24
思考与练习	24
第3章 数控铣床/加工中心编程几何	
基础	25
3.1 机床坐标系和工件坐标系	25
3.2 机床参考点和工件零点	28
3.3 绝对坐标和相对坐标	29
3.4 基点的计算	29
3.5 节点的计算	30
3.6 刀具轨迹的坐标值计算	31
本章小结	32
思考与练习	32
第4章 基本编程指令及应用	34
4.1 数控编程的一般步骤	34
4.2 数控程序结构	35
4.3 程序段格式	36
4.4 主轴转速、进给和刀具功能指令	37
4.5 常用辅助功能指令	38
4.6 基本准备功能指令	39
本章小结	46
思考与练习	46
第5章 简化编程的常用方法	48
5.1 刀具半径补偿功能	48
5.2 刀具长度补偿功能	55
5.3 固定循环功能	56
5.4 坐标系旋转功能	78
5.5 子程序调用	81
5.6 镜像功能	83
5.7 宏(参数)编程	87
本章小结	98
思考与练习	98
第6章 CAXA 制造工程师的	
CAD/CAM 应用	99
6.1 制造工程师操作基础	99
6.2 基本加工方法	102
6.3 鼠标的曲面造型与加工	106
本章小结	116
思考与练习	116
第7章 典型零件的编程实例	118
7.1 槽形零件程序编制	118
7.2 平面凸轮的数控铣削工艺分析及程序编制	120
7.3 利用宏编制固定循环程序	123
本章小结	124
思考与练习	125
第8章 数控铣床/加工中心的操作基础	127
8.1 数控机床的安全操作规程和日常维护保养	127

8.2 数控铣床的操作面板	129
8.3 数控铣床的手动操作	137
8.4 MDI 方式操作	137
8.5 程序建立、输入和编辑	138
8.6 自动加工	138
本章小结	139
思考与练习	139
第 9 章 宇龙仿真软件基本操作	140
9.1 软件启动	140
9.2 机床选择	141
9.3 项目文件	141
9.4 视图设置	142
9.5 工件的使用	144
9.6 刀具的选择	148
9.7 零件的测量	149
本章小结	151
思考与练习	151
第 10 章 数控铣床/加工中心加工前的准备	152
10.1 开机回零	152
10.2 工件安装	153
10.3 刀具安装	154
10.4 对刀	155
10.5 程序输入	157
本章小结	158
思考与练习	158

第 11 章 数控铣床/加工中心加工中的控制及后处理	159
11.1 工件质量控制	159
11.2 加工的中断控制及恢复	161
11.3 机床的清理	163
11.4 机床的日常维护	163
本章小结	165
思考与练习	165
第 12 章 DNC 在线加工	166
12.1 串口线路的连接	166
12.2 程序格式	167
12.3 传输软件介绍及传输操作	168
本章小结	171
思考与练习	171
第 13 章 典型零件加工实例	172
13.1 平面图形的加工	172
13.2 多边形零件的加工	176
本章小结	179
思考与练习	179
附录	181
一、数控机床故障处理思路	181
二、《数控机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码》 (JB 3208—1999)	184

第 1 章

数控铣床/加工中心概述

数控 (Numerical Control, NC) 技术是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。数控机床是按照事先编制好的加工程序, 自动地对被加工零件进行加工。数控加工中心是一种带有刀库并能自动更换刀具, 对工件能够在一定的范围内进行多种加工操作的数控机床。数控铣床/加工中心广泛应用于数控加工中。

知识目标



- 了解数控铣床/加工中心的组成
- 了解数控铣床/加工中心工作原理
- 了解数控铣床分类、特点、主要功能和工艺范围

1.1 数控铣床/加工中心的组成

数控铣床是在一般铣床的基础上发展起来的, 两者的加工工艺基本相同, 结构也有些相似, 但数控铣床是靠程序控制的自动加工机床, 所以其结构也与普通铣床有很大区别。

如图 1.1 所示, 数控铣床一般由主轴箱、进给伺服系统、控制系统、辅助装置、机床基础件

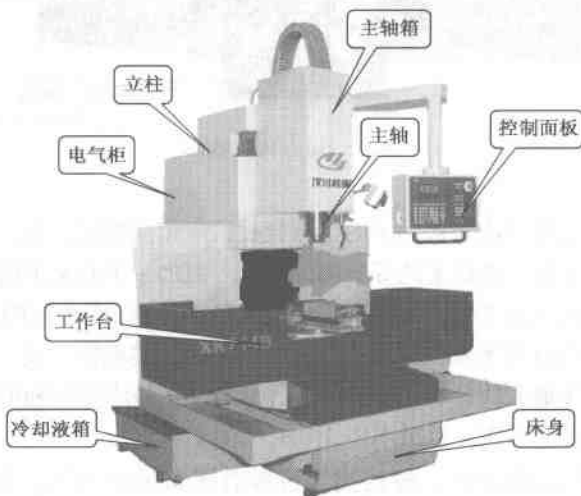


图 1.1 数控铣床的组成

等几大部分组成。

1. 主轴箱

主轴箱包括主轴箱体和主轴传动系统,用于装夹刀具并带动刀具旋转,主轴转速范围和输出扭矩对加工有直接的影响。

2. 进给伺服系统

进给伺服系统由进给电机和进给执行机构组成,按照程序设定的进给速度实现刀具和工件之间的相对运动,包括直线进给运动和旋转运动。

3. 控制系统

控制系统是数控铣床运动控制的中心,执行数控加工程序控制机床进行加工。

4. 辅助装置

辅助装置主要包括液压、气动、润滑、冷却系统和排屑、防护等装置。

5. 机床基础件

通常是指底座、立柱、横梁等,它是整个机床的基础和框架。

加工中心(Machining Center, MC)是由机械设备与数控系统组成的用于加工复杂形状工件的高效率自动化机床,如图 1.2 所示。

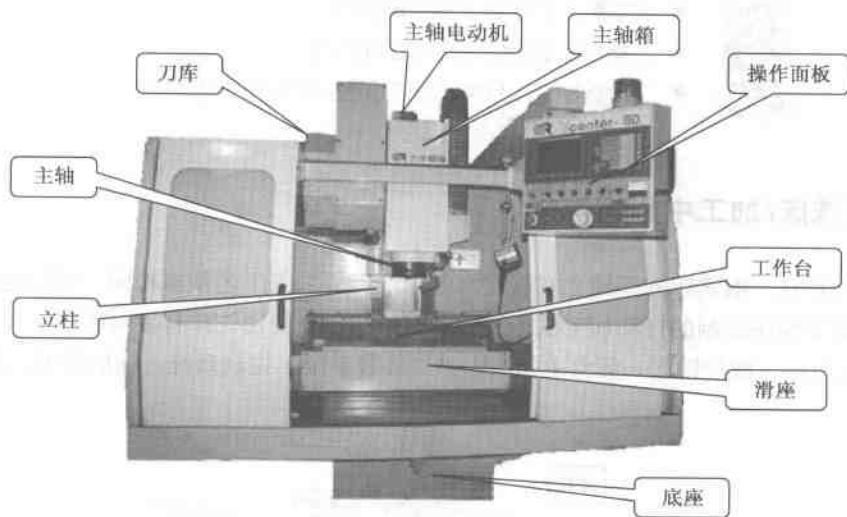


图 1.2 加工中心的组成

加工中心最初是从数控铣床发展而来的。与数控铣床相同的是,加工中心同样由计算机数控系统、伺服系统、机械本体、液压系统等各部分组成。但加工中心又不同于数控铣床,加工中心与数控铣床的最大区别在于加工中心具有自动交换刀具的功能,通过在刀库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,实现钻、镗、铰、攻丝、铣等多种加工功能。加工中心和铣床最大的区别在于有无刀库,其加工技术是相通的,如无必要,书中涉及的知识点将以讲解数控铣床为主,以后不再说明。

加工中心利用刀库实现换刀,按照换刀过程有无机械手参与,分成有机械手换刀和无机械手换刀两种情况。刀库加工中心常见的形式有盘式(见图 1.3)、链式(见图 1.4)两种

刀库。

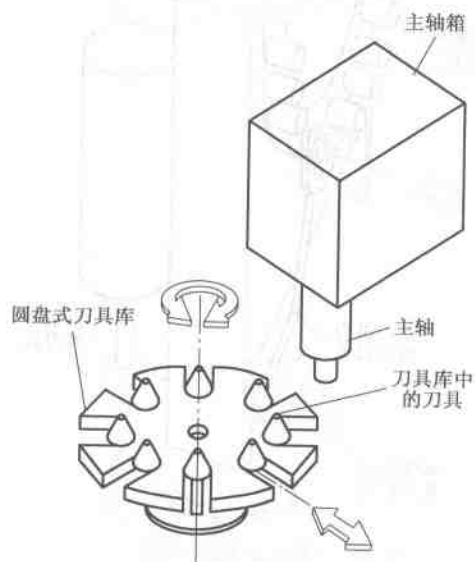


图 1.3 盘式刀库

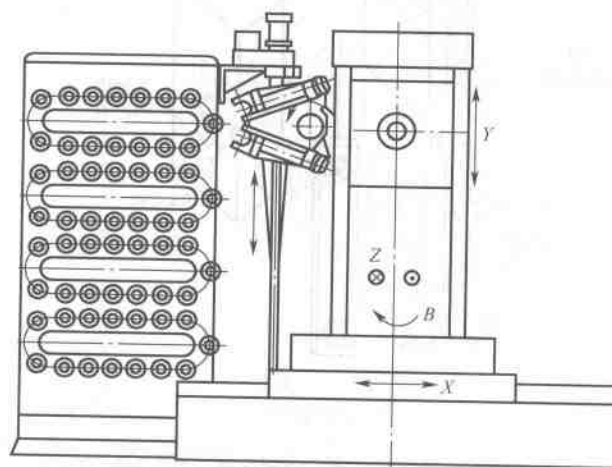


图 1.4 链式刀库

自动换刀装置可分为 5 种基本形式，即转塔式（见图 1.5）、 180° 回转式（见图 1.6）、回转插入式（见图 1.7）、二轴转动式（见图 1.8）和主轴直接式（见图 1.9）。自动换刀的刀具可靠固紧在专用刀夹内，每次换刀时将刀夹直接装入主轴。

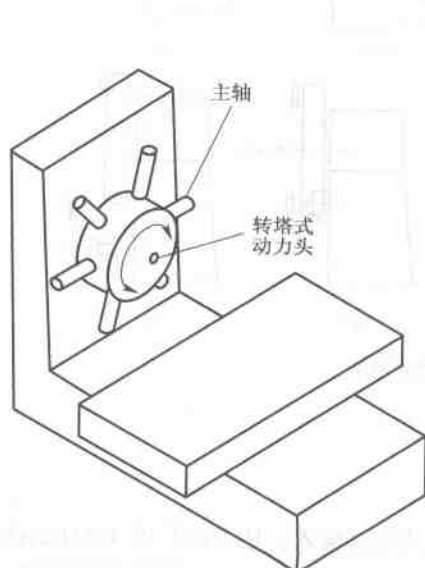


图 1.5 转塔式换刀装置

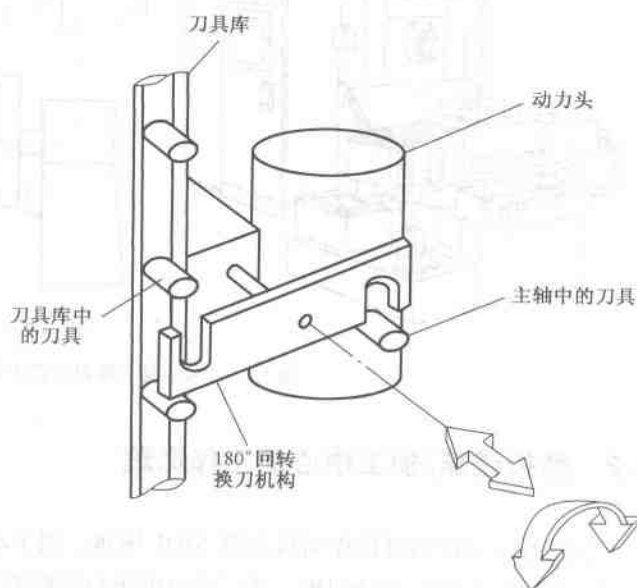


图 1.6 180° 回转式换刀装置

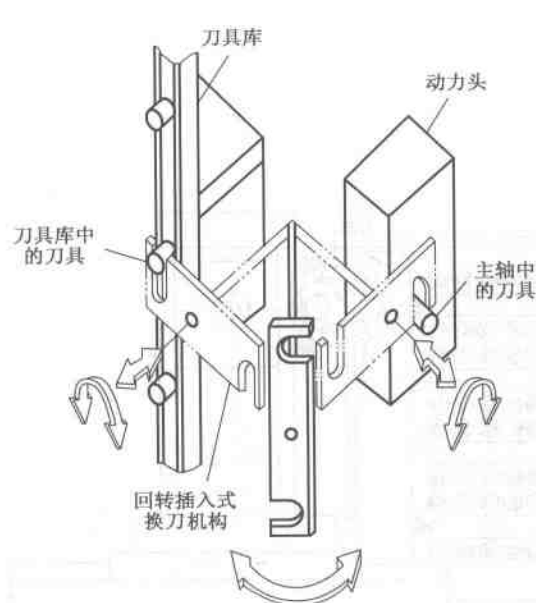


图 1.7 回转插入式换刀装置（最常用）

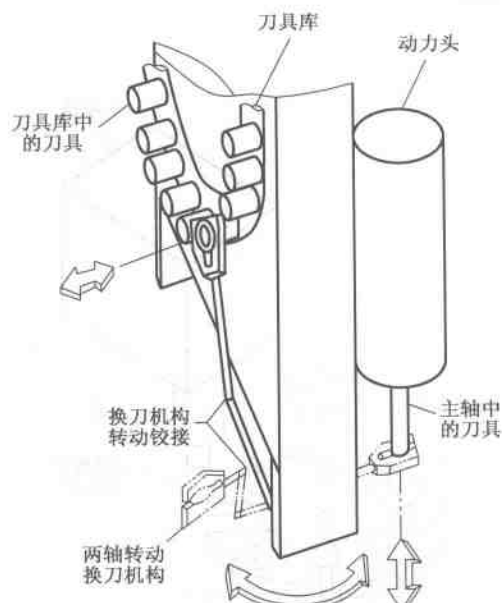


图 1.8 二轴转动式换刀装置

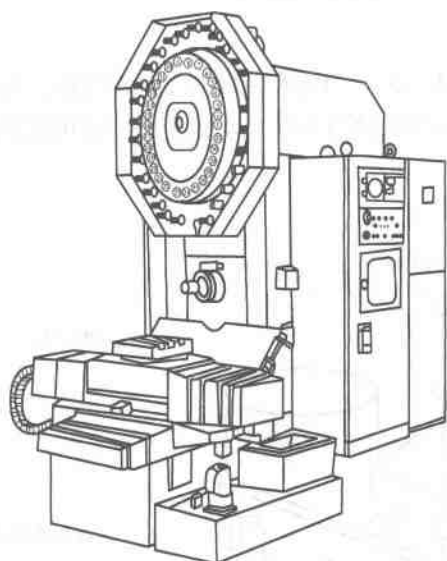


图 1.9 主轴直接式换刀装置及换刀动作顺序

1.2 数控铣床/加工中心的工作原理

数控程序可以通过操作面板上的 MDI 键盘，用手动方式直接输入，还可以利用 CAD/CAM 软件在计算机上进行自动编程，然后通过机床与计算机直接通信的方式将程序传送到数控装置，如图 1.10 所示。

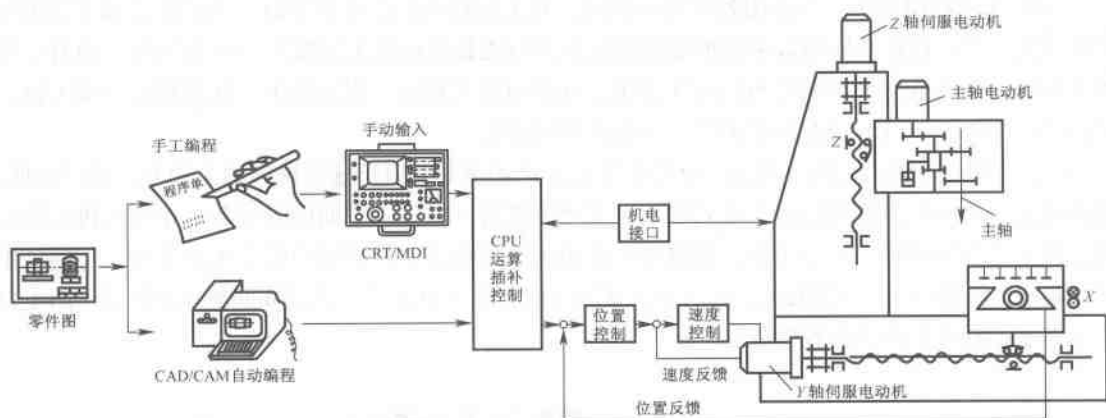


图 1.10 数控铣床工作原理

数控装置发出脉冲信号控制进给伺服电动机转动，纵向工作台、横向溜板安装在升降台上，通过纵向进给伺服电动机、横向进给伺服电动机和垂直升降进给伺服电动机的驱动，完成 X 、 Y 、 Z 坐标进给运动，同时数控装置控制主轴电动机旋转完成主切削运动。

1.3 数控铣床/加工中心的分类

数控铣床/加工中心可按主轴的位置和构造两种方式进行分类。

1. 按主轴的位置分类

(1) 立式数控铣床。主轴垂直布置，占据数控铣床的大多数，应用范围也最广。从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前3坐标数控立铣仍占大多数；一般可进行3坐标联动加工，但也有部分机床只能进行3个坐标中的任意两个坐标联动加工（常称为2.5坐标加工）。此外，还有机床主轴可以绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴中的其中一个或两个轴作数控摆角运动的4坐标和5坐标数控立铣。图1.11所示就是一种立式数控铣床。



图 1.11 立式数控铣床

(2) 卧式数控铣床。与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面。为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘来实现 4、5 坐标加工。这样，不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现在一次安装中，通过转盘改变工位，进行“四面加工”。图 1.12 所示就是一种卧式数控铣床。

(3) 立卧两用数控铣床。目前，这类数控铣床已不多见，由于这类铣床的主轴方向可以更换，能达到在一台机床上既可以进行立式加工，又可以进行卧式加工，而同时具备上述两类机床的功能，其使用范围更广，功能更全，选择加工对象的余地更大，且给用户带来不少方便。特别是生产批量小，品种较多，又需要立、卧两种方式加工时，用户只需买一台这样的机床就行了。图 1.13 所示就是一种立卧两用数控铣床。

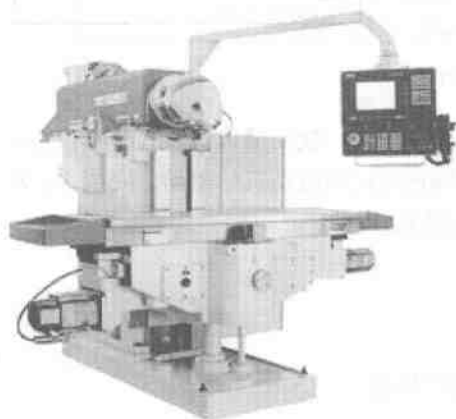


图 1.12 卧式数控铣床



图 1.13 立卧两用数控铣床

2. 数控铣床按构造上分类

(1) 工作台升降式数控铣床。工作台移动、升降，主轴不动。小型数控铣床一般采用此种方式。图 1.14 所示就是一种工作台升降式数控铣床。

(2) 主轴头升降式数控铣床。工作台纵向和横向移动，且主轴沿垂向溜板上下运动。主轴头升降式数控铣床在精度保持、承载重量、系统构成等方面具有很多优点，已成为数控铣床的主流。图 1.15 所示就是一种主轴头升降式数控铣床。



图 1.14 工作台升降式数控铣床



图 1.15 主轴头升降式数控铣床

(3) 龙门式数控铣床。主轴可以在龙门架的横向与垂向溜板上运动, 而龙门架则沿床身作纵向运动。大型数控铣床因要考虑到扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术上的问题, 往往采用龙门架移动式。图 1.16 所示就是一种龙门式数控铣床。

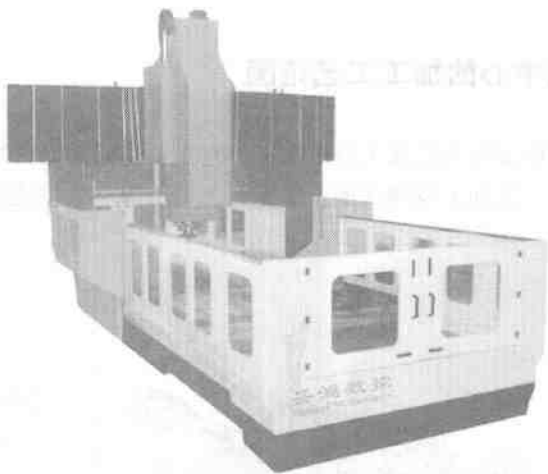


图 1.16 龙门式数控铣床

1.4 数控铣床/加工中心的主要功能

各种类型数控铣床所配置的数控系统虽然各有不同, 但各种数控系统的功能, 除一些特殊功能不尽相同外, 其主要功能基本相同。

1. 点位控制功能

此功能可以实现对相互位置精度要求很高的孔系加工。

2. 连续轮廓控制功能

此功能可以实现直线、圆弧的插补功能及非圆曲线的加工。

3. 刀具半径补偿功能

此功能可以根据零件图样的标注尺寸来编程, 而不必考虑所用刀具的实际半径尺寸, 从而减少编程时的复杂数值计算。

4. 刀具长度补偿功能

此功能可以自动补偿刀具的长短, 以适应加工中对刀具长度尺寸调整的要求。

5. 比例及镜像加工功能

比例功能可将编好的加工程序按指定比例改变坐标值来执行。镜像加工又称轴对称加工, 如果一个零件的形状关于坐标轴对称, 那么只要编出一个或两个象限的程序, 而其余象限的轮廓就可以通过镜像加工来实现。

6. 旋转功能

该功能可将编好的加工程序在加工平面内旋转任意角度来执行。

7. 子程序调用功能

有些零件需要在不同的位置上重复加工同样的轮廓形状, 将这一轮廓形状的加工程序作为子

程序,在需要的位置上重复调用,就可以完成对该零件的加工。

8. 宏程序功能

该功能可用一个总指令代表实现某一功能的一系列指令,并能对变量进行运算,使程序更具灵活性和方便性。

1.5 数控铣床/加工中心的加工工艺范围

铣削加工是机械加工中最常用的加工方法之一,它主要包括平面铣削和轮廓铣削,也可以对零件进行钻、扩、铰、镗、镗加工及螺纹加工(见图 1.17)等。数控铣削主要适合于下列几类零件的加工。

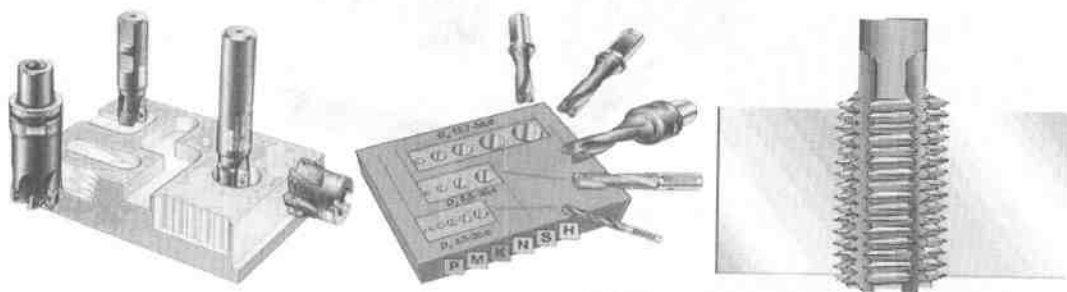


图 1.17 数控铣削常见加工方法

1. 平面类零件

平面类零件是指加工面平行或垂直于水平面,以及加工面与水平面的夹角为一定值的零件,这类加工面可展开为平面。

图 1.18 所示的 3 个零件均为平面类零件。其中,曲线轮廓面 M 垂直于水平面,可采用圆柱立铣刀加工。凸台侧面 N 与水平面成一定角度,这类加工面可以采用专用的角度成型铣刀来加工。对于斜面 P ,当工件尺寸不大时,可用斜板垫平后加工;当工件尺寸很大,斜面坡度又较小时,也常用行切加工法加工,这时会在加工面上留下进刀时的刀锋残留痕迹,要用钳修方法加以清除。

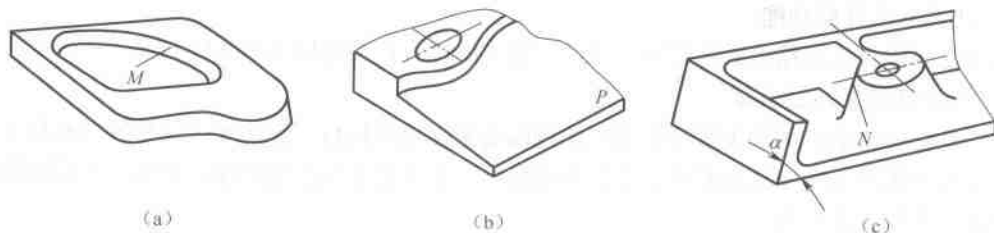


图 1.18 平面类零件

2. 直纹曲面类零件

直纹曲面类零件是指由直线依某种规律移动所产生的曲面类零件。如图 1.19 所示零件的加工

面就是一种直纹曲面,当直纹曲面从截面①至截面②变化时,其与水平面间的夹角从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化为 $2^{\circ}32'$,从截面②到截面③时,又均匀变化为 $1^{\circ}20'$,最后到截面④,斜角均匀变化为 0° 。直纹曲面类零件的加工面不能展开为平面。

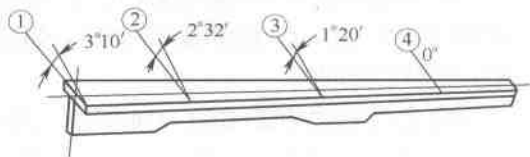


图 1.19 直纹曲面

当采用四坐标或五坐标数控铣床加工直纹曲面类零件时,加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。这类零件也可在三坐标数控铣床上采用行切加工法实现近似加工。

3. 立体曲面类零件

加工面为空间曲面的零件称为立体曲面类零件。这类零件的加工面不能展成平面,一般使用球头铣刀切削,加工面与铣刀始终为点接触,若采用其他刀具加工,易于产生干涉而铣伤邻近表面。加工立体曲面类零件一般使用三坐标数控铣床,采用以下两种加工方法。

(1) 行切加工法。采用三坐标数控铣床进行二轴半坐标控制加工,即行切加工法。如图 1.20 所示,球头铣刀沿 XY 平面的曲线进行直线插补加工,当一段曲线加工完后,沿 X 方向进给 ΔX 再加工相邻的另一曲线,如此依次用平面曲线来逼近整个曲面。相邻两曲线间的距离 ΔX 应根据表面粗糙度的要求及球头铣刀的半径选取。球头铣刀的球半径应尽可能选得大一些,以增加刀具刚度,提高散热性,降低表面粗糙度值。加工凹圆弧时的铣刀球头半径必须小于被加工曲面的最小曲率半径。

(2) 三坐标联动加工。采用三坐标数控铣床三轴联动加工,即进行空间直线插补。如半球形,可用行切加工法加工,也可用三坐标联动的方法加工。这时,数控铣床用 X 、 Y 、 Z 三坐标联动的空间直线插补,实现球面加工,如图 1.21 所示。

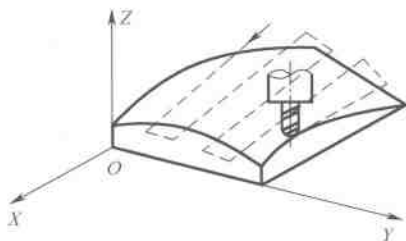


图 1.20 行切加工法

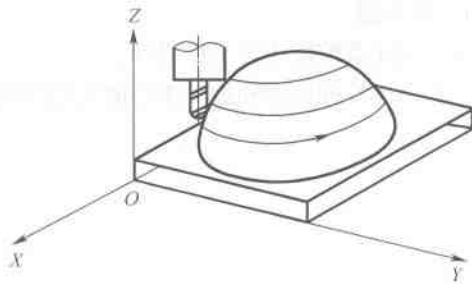


图 1.21 三坐标联动加工

本章小结



本章主要介绍了数控铣床/加工中心的组成、分类、原理和加工范围等。

- (1) 数控铣床一般由主轴箱、进给伺服系统、控制系统、辅助装置、机床基础件等几大部分组成。
- (2) 加工中心和铣床最大的区别在于有无刀库,其加工技术是相通的。
- (3) 数控铣床/加工中心按主轴的位置可分为立式数控铣床、卧式数控铣床以及立卧两用数控铣床;数控铣床按构造上分为工作台升降式数控铣床、主轴头升降式数控铣床及龙门式数控铣床。

(4) 数控铣床/加工中心的主要功能有：点位控制功能、连续轮廓控制功能、刀具半径补偿功能、刀具长度补偿功能、比例及镜像加工功能、旋转功能、子程序调用功能、宏程序功能。当然加工中心还有自动换刀的功能。

(5) 数控铣削主要适合加工平面类零件、直纹曲面类零件、立体曲面类零件等。

思考与练习



1. 判断题

- () (1) 数控铣床主要用于加工旋转类零件。
 () (2) 立式数控铣床的主轴垂直布置。
 () (3) 轮廓控制数控机床的功能包含了点位控制的功能。

2. 填空题

- (1) 数控铣床由_____, _____, _____, _____, _____组成。
 (2) 数控机床是引用了_____技术的机床, 即用_____控制机床的动作。

3. 选择题

- (1) 加工中心与数控铣床的显著区别是前者配有()。
 A. 刀库 B. 自动换刀装置
 C. 自动交换工件装置 D. 固定循环孔加工功能
 (2) 螺旋桨、飞机机翼曲面及其他复杂零件的加工需选用()进行加工。
 A. 普通数控铣床 B. 加工中心
 C. 多坐标数控机床 D. 特种加工机床

4. 简答题

- (1) 简述数控铣床的工作原理。
 (2) 简述数控铣床和加工中心的主要区别。