

SHUKONG JIAGONG ZHONGXIN YINGYONG ZHINAN

数控加工中心应用指南

应用指南数控加工中心应用指南

数控加工中心应用指南

应用指南数控加工中心应用指南

数控加工中心应用指南

应用指南数控加工中心应用指南

SHUKONG JIAGONG ZHONGXIN YINGYONG ZHINAN

数控加工中心应用指南

主编 / 罗永新



湖南科学技术出版社

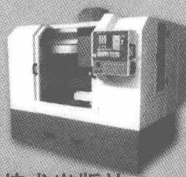
SHUKONG JIAGONG ZHONGXIN YINGYONG ZHINAN

数控加工中心

SHUKONG JIAGONG ZHONGXIN
YINGYONG

数控加工中心应用指南

主编 / 罗永新



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工中心应用指南/罗永新主编. —长沙: 湖南科学技术出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-5357-5267-3

I. 数… II. 罗… III. 数控机床加工中心—操作—指南
IV. TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039020 号

数控加工中心应用指南

主 编: 罗永新

责任编辑: 赵 龙

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-4375808

印 刷: 衡阳博艺印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编: 421008

出版日期: 2008 年 6 月第 1 版第 1 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 357000

书 号: ISBN 978-7-5357-5267-3

定 价: 25.00 元

(版权所有 翻印必究)

《数控加工中心应用指南》编委会名单

主 编：罗永新

副主编：申晓龙 陈年华 李平化 王雪红 程 利
龙 华 李 强

参 编：柴志斌 陈志坚 喻楠霖 毛建军 肖调生
吴东洋 陈治岸 易守华

主 审：皮智谋

前 言

加工中心是数控机床中功能较多、应用范围较广的一种数控机床，在加工工艺上具有高柔性、高精度、高效率的特点，是高度机电一体化、计算机集中控制的“高、精、尖”生产工具，因而其使用具有较为复杂的一面，对其操作者提出了较高的要求，特别是如何较好地发挥数控加工中心的潜能，是加工中心推广应用中亟待解决的问题。

加工中心的应用仍然是编程和操作两个方面。较为系统地掌握加工中心的工作原理，整理出一套行之有效的操作思路，是熟练运用加工中心必经的一个过程，是应对数控系统种类繁多，机床形式多样的基本方法。编程不仅是个方法，更是一个知识结构与应用能力的表征。编好加工中心的加工程序，是充分发挥加工中心生产潜能的关键，也是推广应用加工中心的关键。本书便是带着这样一些问题，试图找到一条出路，从而给读者一个有益的启发。

全书共六章，第一章对加工中心的基本结构做了一个提纲性的介绍，重点突出加工中心区别于其他数控机床的结构特点；第二章概要地介绍了加工中心应用的工艺方法，提出了一套加工中心应用的基本思路；第三章通过国内主流的 FANUC 和 SIEMANS 两种系统的操作对比，集中介绍了加工中心的一般操作思路与主要操作内容；第四、第五两章，分别介绍了 FANUC 和 SIEMANS 两大系统的编程方式，并结合实例，强调了加工中心编程的基本方法和特点；第六章简要地介绍了车铣加工中心，这是另一种类型的加工中心。

本书试图满足那些有一定数控机床操作经验，接受过数控加工系统培训，但对加工中心不够了解，或有待急切提高加工中心操作技能的读者，专业性较强。

本书由罗永新主编，皮智谋主审。参加编写的还有湖南工业职业技术学院的申晓龙、陈年华、李平化、王雪红、程利、龙华、李强、柴志斌、陈志坚、喻楠霖，湖南大学的毛建军，湖南科技职业技术学院的肖调生，湖南生物机电职业技术学院的吴东洋、陈治岸，湖南航天教育集团的易守华。本书在编写中得到了湖南工业职业技术学院数控中心其他老师的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

但由于作者水平有限，书中错误难以避免，恳请读者批评指正。

编者

2007 年 9 月

目 录

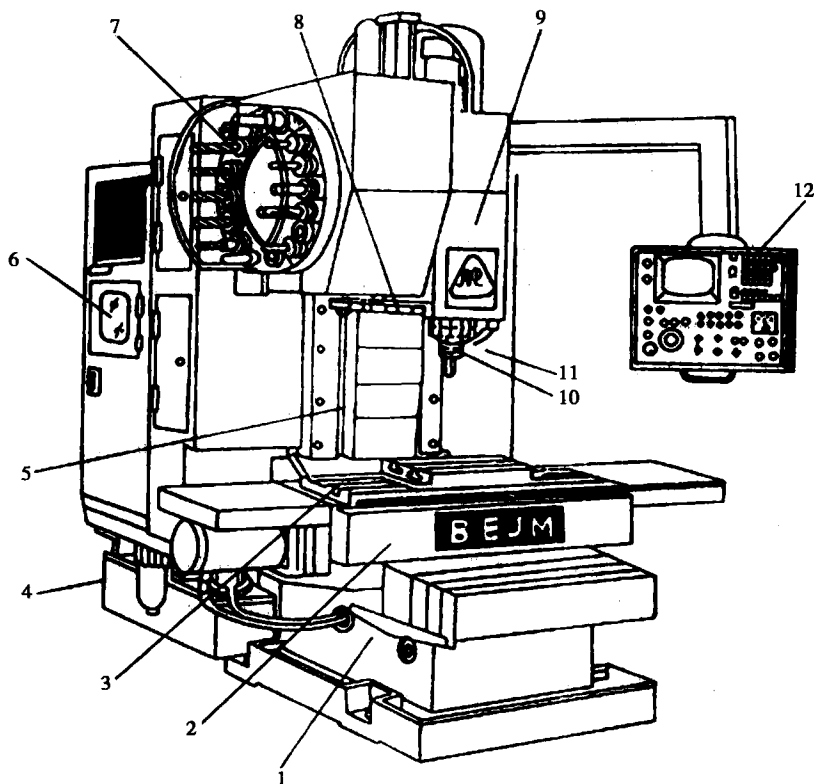
第一章 加工中心的结构	1
§ 1.1 加工中心的基本组成	1
§ 1.2 加工中心的类型	3
§ 1.3 加工中心的主传动	6
§ 1.4 加工中心的进给传动	10
§ 1.5 自动换刀装置与刀库	15
§ 1.6 加工中心的刀具类型	19
1.6.1 铣刀	19
1.6.2 孔加工刀具	23
1.6.3 高速铣削刀具	25
§ 1.7 加工中心的其他辅助装置	26
第二章 加工中心零件加工工艺	28
§ 2.1 加工零件的特点	28
§ 2.2 加工中心加工工艺的制订	30
第三章 加工中心的基本操作基础	36
§ 3.1 加工中心安全生产操作规程与日常维修	36
§ 3.2 常见的几种加工中心系统的操作面板	37
3.2.1 FANUC 系统的操作面板	37
3.2.2 SIEMENS 系统的操作面板	42
§ 3.3 加工中心基本操作方式与机床操作步骤	46
3.3.1 FANUC 系统的操作方式与操作步骤	46
3.3.2 SIEMENS 系统的操作方式与操作步骤	51
§ 3.4 加工中心操作报警信息与操作修正	55
§ 3.5 加工中心工件坐标原点设定（对刀）操作与常用的设定工具	61
§ 3.6 加工中心坐标偏置与刀具补偿参数设置	64
§ 3.7 加工中心的自动编程与程序传输	65
第四章 FANUC 0i 系统的镗铣类加工中心编程指南	74
§ 4.1 FANUC 0i 的基本指令	74
§ 4.2 FANUC 0i 编程简化的指令	87
4.2.1 数控铣削加工的子程序	87
4.2.2 镜像功能指令	88
4.2.3 旋转功能指令	90
4.2.4 缩放功能指令	93
4.2.5 极坐标功能指令	95
§ 4.3 箱体类零件的加工及编程	96

§ 4.4 泵体类零件的加工及编程	106
第五章 SINUMERIK 802D 系统的镗铣类加工中心编程指南	122
§ 5.1 SINUMERIK 802D 系统概述	122
§ 5.2 SINUMERIK 802D 编程基本指令	124
§ 5.3 典型零件的加工编程	149
第六章 数控车削加工中心 (FANUC 21i-TB) 操作编程指南	172
§ 6.1 数控系统与操作面板介绍	172
§ 6.2 对刀方式	183
§ 6.3 程序校检与试运行	186
§ 6.4 数控车削 (FANUC 21i-TB) 编程简介	187
6.4.1 基本指令	187
6.4.2 车削固定循环与子程序	192
6.4.3 刀具补偿应用	209
6.4.4 其他指令	212
§ 6.5 数控车削中心综合编程应用举例	213
参考文献	223

第一章 加工中心的结构

§ 1.1 加工中心的基本组成

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。与普通数控加工机床相比较，它的综合加工能力强，工件一次装夹后能完成的加工内容多，加工精度高。就中等加工难度的批量工件，其效率是普通设备的5~10倍，特别是它能完成许多普通设备不能完成的加工，适用于形状较复杂、精度要求高的单件加工或中小批量多品种生产。图1-1是一台立式加工中心。与普通数控机床相比，加工中心增加了自动换刀装置及刀库，功能强大的加工中心并扩展有自动分度回转工作台、可交换工作台或可交换的主轴箱及其他辅助功能设备，成为一个复杂的加工制造中心。



1. 床身 2. 滑座 3. 工作台 4. 润滑油箱 5. 立柱 6. 数控柜 7. 刀库 8. 机械手
9. 主轴箱 10. 主轴 11. 控制柜 12. 操作面板

图 1-1 立式加工中心

加工中心由数控系统与机床机械结构两大部分构成。通常将加工中心的机床机械结构看

成是机床的基本框架，叫机床本体。数控系统有硬件和软件两个部分。数控系统的软件是指管理、控制加工中心的程序，是数控系统的灵魂；数控系统的硬件主要有输入输出设备、CNC 装置（或称 CNC 单元）、伺服单元、驱动装置（或称执行机构）、可编程控制器（PLC）及电气控制装置、刀库与自动换刀装置。刀库和自动换刀装置是加工中心的一个标志性特征，在后面有专门的讲述。

一、机床本体

加工中心机床由于切削用量大、连续加工，机床热源多等因素对加工精度有一定影响，切削过程几乎全部自动控制，人工干预少，所以其机械设计要求比普通机床更加严格，制造更加精密，采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施。机床本体一般由床身、主轴箱、工作台、底座、立柱、横梁、进给机构、刀库、自动换刀装置、辅助系统（气液、润滑、冷却）、控制系统的机械构件等组成。

二、数控装置

数控装置（NC）是数控机床的核心。现代数控加工中心普遍采用计算机控制，所以也叫 CNC 控制装置。数控装置从内部存储器中取出 3~5 个数控加工程序段，进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其按加工工艺要求进行规定的有序运动和动作。

数控装置的核心任务是插补运算。数控机床的加工精度是通过直线或圆弧的细小拟合来实现的，每移动一细小的拟合线称为一个脉冲当量，加工中心的脉冲当量一般在 0.001mm 以下。机床刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动，但描述零件的加工程序只能是各种线型轨迹的特征点，如起点和终点、圆心点坐标值等数据，因此要进行轨迹插补运算，也就是在线型内进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，使之成为一系列细小的拟合线，并向相应坐标轴输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动的各执行元件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

三、输入/输出设备

键盘、磁盘机等是现代数控机床的典型输入设备。网络通信、串行通信的方式输入在加工中心上也十分广泛。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富，多数有图形显示功能，是加工中心的主要输出设备。系统还通过设置一些专门的指示灯、报警器等来输出机床的操作信息与警报功能。

四、伺服单元

伺服单元（Servo Unit）是 CNC 装置和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱信号（指令）放大成控制驱动装置的大功率信号，并驱动机床本体上相关机械做各种运动，是加工中心的执行机构。目前，加工中心的伺服单元主要是交流伺服单元。从某种意义上说，加工中心功能的强弱主要取决于 CNC 装置，而数控机床性能的高低决定于伺服驱动单元。按进给驱动轴数目的多少，可分为 3 轴、4 轴、5 轴、5 轴以上加工中心，5 轴及 5 轴以上加工中心为高性能加工中心。

五、可编程控制器

可编程控制器（PC：Programmable Controller），是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，是专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的是为了解决生产设备的逻辑及开关控制，故把它称为可编程逻辑控制器（PLC：Programmable Logic Controller）。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，也可称之为编程机床控制器（PMC：Pro-

grammable Machine Controller)。PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合,共同完成对数控机床的控制。用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制,而将 CNC 和 PLC 综合起来设计,称为内装型(或集成型) PLC,内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分;另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能,称为独立型(或外装型) PLC。

六、测量装置

测量装置也称反馈元件,通常安装在机床的工作台或丝杠上,相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛,它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生偏差信号,以控制机床向消除该偏差的方向移动。按测量装置的安装位置不同可分为闭环与半闭环数控系统。

§ 1.2 加工中心的类型

机床分类的方法有很多,从加工工艺的角度看,加工中心可分为立式加工中心、卧式加工中心、龙门式加工中心三种。图 1-2 是一台卧式加工中心,图 1-3 是一台龙门式加工中心。

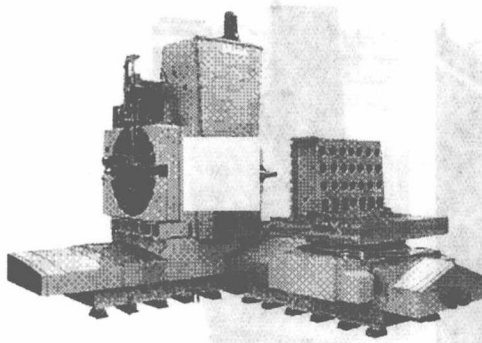


图 1-2 卧式加工中心

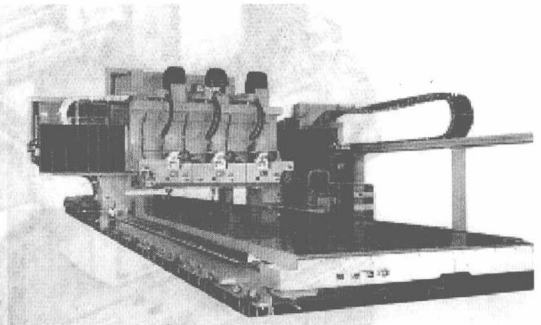


图 1-3 龙门式加工中心

一、立式加工中心

立式加工中心的主轴与工作台是垂直的,一般情况下主轴处于竖直状态的,如图 1-1 所示。普通的立式加工中心的机床本体结构形式多为固定立柱,工作台为长方形,无分度回转功能,适合加工盘、套、板类零件。对于 4 轴加工中心,一般在工作台上安装一个沿水平轴旋转的旋转轴,用以加工螺旋线类零件。普通立式加工中心工件装夹方便,便于操作,易于观察加工情况,调试程序容易,应用广泛。但受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。

5 轴立式加工中心是一种高性能的加工中心。在 5 轴方式加工中心上,工件一次安装后能完成除安装面以外的其余 5 个面的加工。常见的 5 轴方式加工中心有两种形式:第一种是主轴可以旋转 90° ,对工件进行立式和卧式加工;第二种是主轴不改变方向,而由工作台带着工件旋转 90° ,完成对工件 5 个表面的加工。第二种加工中心的工作台回转轴 [图 1-4 (a)] 安置在床身上,工作台可以环绕 X 轴回转,定义为 A 轴, A 轴一般工作范围为

$-120^{\circ}\sim+30^{\circ}$ 。工作台的中间还设有一个回转台，在图示的位置上环绕 Z 轴回转，定义为 C 轴， C 轴都是 360° 回转。这样通过 A 轴与 C 轴的组合，固定在工作台上的工件除了底面之外，其余的 5 个面都可以由立式主轴进行加工。 A 轴和 C 轴最小分度值一般为 0.001° ，这样，通过 A 、 C 联动，又可以把工件细分成任意角度，加工出倾斜面、倾斜孔等。 A 轴和 C 轴与 XYZ 三直线轴实现联动，就可加工出复杂的空间曲面，拥有这种功能的加工中心，数控系统、伺服系统以及软件的支持相当复杂。这种结构形式的 5 轴加工中心的优点是，主轴的结构比较简单，主轴刚性非常好，制造成本比较低。但一般工作台不能设计太大，承重也较小，特别是当 A 轴回转大于等于 90° 时，工件切削时会对工作台带来很大的承载力矩。第一种是依靠立式主轴头的回转 [图 1-4(b)]。主轴前端是一个回转头，能自行环绕 Z 轴 360° ，成为 C 轴，回转头上还带可环绕 X 轴旋转的 A 轴，一般可达 $\pm 90^{\circ}$ 以上，实现上述同样的功能。这种安置方式的优点是主轴加工非常灵活，工作台也可以设计得大一些，使得客机庞大的机身、巨大的发动机壳都可以在这类加工中心上加工。这种设计还有一大优点：主轴相对工件转过一个角度，使球面铣刀避开顶点切削，保证有一定的线速度，可提高表面加工质量。这种结构非常受模具高精度曲面加工的欢迎，这是工作台回转式加工中心难以做到的。为了达到回转的高精度，高档的回转轴还配置了圆光栅尺反馈，分度精度都在秒以内，当然这类主轴的回转结构比较复杂，制造成本也较高。

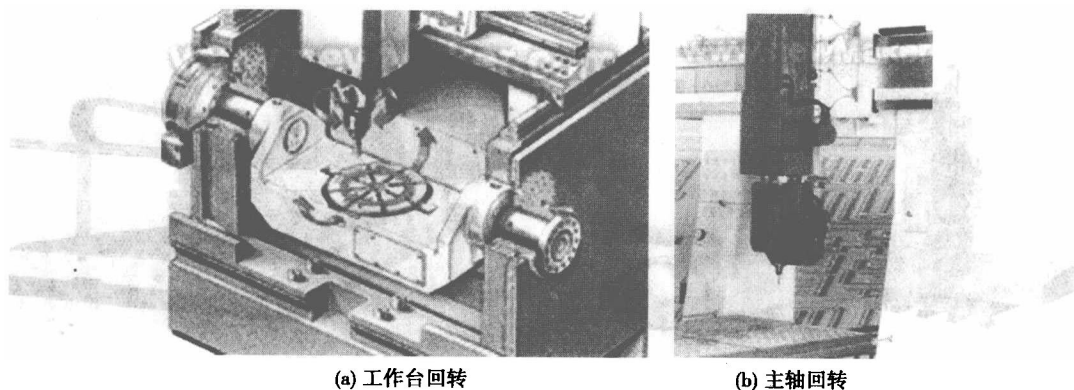


图 1-4 立式 5 轴加工中心

立式加工中心的主轴重力向下，轴承高速空运转的径向受力是均等的，回转特性很好，因此可提高转速，最高速可达 100000r/min 以上，实用的最高转速已达到 40000r/min 。主轴系统都配有循环冷却装置，循环冷却油带走高速回转产生的热量，通过制冷器降到合适的温度，再流回主轴系统。 X 、 Y 、 Z 三直线轴也可采用直线光栅尺反馈，双向定位精度在微米级以内。由于快速进给达到 $40\sim 60\text{m/min}$ 以上， X 、 Y 、 Z 轴的滚珠丝杠大多采用中心式冷却，同主轴系统一样，由经过制冷的循环油流过滚珠丝杠的中心，带走热量。

二、卧式加工中心

卧式加工中心的主轴与工作台平行，一般情况下主轴水平放置，如图 1-2 所示。一般的卧式加工中心的工作台通常都带有自动分度的功能，它一般具有 $4\sim 5$ 个运动坐标，常见的是三个直线运动坐标加一个回转运动坐标，即 X 、 Y 、 Z 、 A 4 轴。工件在一次装卡后，完成除安装面和顶面以外的其余 4 个表面的加工，它最适合加工箱体类零件。与立式加工中心相比较，卧式加工中心加工时排屑容易，对加工有利，一次装夹完成的加工面多，但结构

复杂，价格较高。

5 轴卧式加工中心与 5 轴立式加工中心一样，属于高档数控机床。此类加工中心的回转轴也有两种方式，一种是卧式主轴摆动作为一个回转轴，再加上工作台的一个回转轴，实现 5 轴联动加工。这种设置方式简便灵活，只需要主轴立、卧转换，工作台分度定位，即可简单地配置为立、卧转换的三轴加工中心。由主轴立、卧转换配合工作台分度，对工件实现 5 面体加工，制造成本降低，又非常实用。也可对工作台设置数控轴，最小分度值 0.001° ，但不作联动，成为立、卧转换的 4 轴加工中心，适应不同加工要求，价格非常具有竞争力。

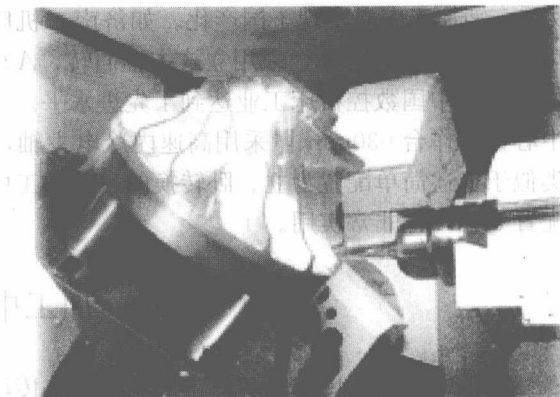


图 1-5 工作台回转的卧式 5 轴加工中心叶轮

另一种为传统的工作台回转轴（图 1-5），设置在床身上的工作台 A 轴一般工作范围为 $-100^\circ \sim +20^\circ$ 。工作台的中间也设有一个回转台 B 轴，B 轴可双向 360° 回转。这种卧式 5 轴加工中心的联动特性比第一种方式好，常用于加工大型叶轮的复杂曲面。回转轴也可配置圆光栅尺反馈，分度精度达到几秒，当然这种回转轴结构比较复杂，价格也昂贵。

目前卧式加工中心工作台可以做到大于 1.25m^2 ，对第一种 5 轴设置方式没有什么影响。但是第二种 5 轴设置方式就比较困难，因为 1.25m^2 的工作台做 A 轴的回转，还要与工作台中间的 B 轴回转台联动很困难。卧式加工中心的主轴转速也在 10000r/min 以上，由于卧式设置的主轴在径向有自重，轴承高速空运转时径向受力不均等，加上还要采用较大的 BT50 刀柄，一般最高可达 20000r/min 。卧式加工中心快速进给达到 $30 \sim 60\text{m/min}$ 以上，主轴电机功率为 $22 \sim 40\text{kW}$ 以上，刀库容量按需要可从 40 把增加到 160 把，加工能力远远超过一般立式加工中心，是重型机械加工的首选。

三、龙门式加工中心

龙门式加工中心是一种大型机床，如图 1-3 所示。龙门式加工中心主轴多为垂直设置，除自动换刀装置以外，还带有可更换的主轴头附件，数控装置的功能也较齐全，能够一机多用，尤其适用于大型工件和形状复杂的零件加工。

加工中心大多可设计成双工作台交换，当一个工作台在加工区内运行，另一工作台则在加工区外更换工件，为下一个工件的加工做准备，工作台交换的时间视工作台大小不同而有所差别，从几秒到几十秒即可完成。最新设计的加工中心考虑到结构上要适合组成模块式制造单元（FMC）和柔性生产线（FMS），模块式制造单元一般至少有两台加工中心和 4 个交换工作台组成，加工中心全部并排放置，交换工作台在机床前一字形排开，交换工作台多的可以排成两行、甚至双层设计。两边各有一个工位作为上下工件的位置，其余工位上的交换工作台安装着工件等待加工，有一辆小车会按照系统指令，把装着工件的交换工作台送进加工中心，或从加工中心上取出完成加工的交换工作台，送到下一个工位或直接送到下料工位，完成整个加工操作。柔性生产线除了小车、交换工作台之外，还有统一的刀具库，一般会有几百把刀具，在系统中存入刀具的身份编码信息，再通过刀具输送系统送进加工中心，并把用完的刀具取回，柔性生产线往往还需要一台 FMS 的控制器来指挥运行。

过去 5 轴加工中心多为德国、美国、日本、意大利制造,令人欣喜的是,经过几年努力,5 轴加工中心实现了国产化。如济南二机床集团公司展出的龙门式 5 轴联动加工中心,工作台长 6m,宽 2m,采用立式主轴回转,A 轴转角 $\pm 100^\circ$,C 轴转角 $\pm 200^\circ$,这个庞然大物标志着中国数控机床工业达到了先进水平。上海第三机床厂、第四机床厂制造的立卧加工中心,工作台 630mm²,采用高速内冷电主轴,主轴可立、卧转换,工作台可以 360°等分,类似于上述简单配置为立、卧转换的三轴加工中心,可对工件实现 5 面体加工,尽管还没有配置 5 轴,也非常实用。

§ 1.3 加工中心的主传动

加工中心的主传动系统由主电动机、主传动机械、主轴组件、主轴转速测量装置、主轴准停装置等部分组成,主传动系统的功能是为加工中心提供主运动,接受来自数控系统(CNC)的 S 代码速度指令及 M 代码辅助功能指令,驱动主轴进行切削加工。因此,核心是主轴驱动。主轴驱动是数控加工中心机床的大功率执行机构,数控加工中心对主轴有较高的控制要求,首先要求在大力矩、强过载能力的基础上实现宽范围无级变速。加工中心主轴转速从几十转(如 30r/min)到几千转甚至几万转的变速范围,调整范围很大。其次要求在自动换刀动作中实现定角度停止(即准停),这使加工中心主轴驱动系统区别于一般的变频调速系统或小功率交流伺服系统。加工中心的主传动系统以交流驱动为主,有交流变频和交流伺服两种控制方式,交流变频主轴能够无级变速但不能准停,需要另外装设主轴位置传感器,配合 CNC 系统 PMC(指数控系统内置 PLC)的逻辑程序来完成准停速度控制和定位停止;交流伺服主轴本身即具有准停功能,其自身的轴控 PLC 信号可直接连接至 CNC 系统的 PMC,配合简洁的 PMC 逻辑程序即可完成准停定位控制,且后者的控制精度远远高于前者。

一、交流伺服主轴驱动系统

交流伺服主轴驱动系统由主轴驱动单元、主轴电动机和检测主轴速度与位置的旋转编码器三部分组成,主要完成闭环速度控制,但当主轴准停时则完成闭环位置控制。由于数控机床的主轴驱动功率较大,所以主轴电动机采用鼠笼式感应电动机结构形式,旋转编码器可以在主轴外安装,也可以与主轴电动机做成一个整体,主轴驱动单元的闭环控制、矢量运算均由内部的高速信号处理器及控制系统实现,其原理框图如图 1-6 所示。图中 CNC 系统向主轴驱动单元发出速度指令,驱动单元将该指令与旋转编码器测出的实际速度相比较,经数字化的速度调节器和磁链函数发生器运算,得到转子当前的希望力矩与希望磁链矢量,再分别与实际力矩、磁链运算结果相比较,且经过力矩、磁链调节器运算得到等效直流电动机(两相旋转轴系)的转矩电流分量和励磁电流分量变换后进入两相静止轴系,最后经 2/3 矢量变换进入三相静止轴系,得到变频装置的三相定子电流希望值,通过控制 SPWM 驱动器及 IGBT 变频主回路使负载三相电流跟随希望值,就可以完成主轴的速度闭环控制。

三菱 SJ-PF 交流主轴驱动系统是一种比较优秀的加工中心主轴驱动系统。图 1-7 为该系系统主轴驱动系统的连接电路。MDS-A-SPJA 系列主轴驱动器上共有 9 个强电接线端子和 3 个信号电缆插座 CN1, CN2, CN3。9 个强电接线端子分别为:AC 220V 三相电源进线 R, S, T, 交-直-交变频主回路的直流侧能耗制动电阻接线端子 C, M, 向主轴电机供电的变频输出动力线端子 U, V, W 及屏蔽线接线端子 PE。信号电缆 CN3 用于连接 CNC 系统及 PC

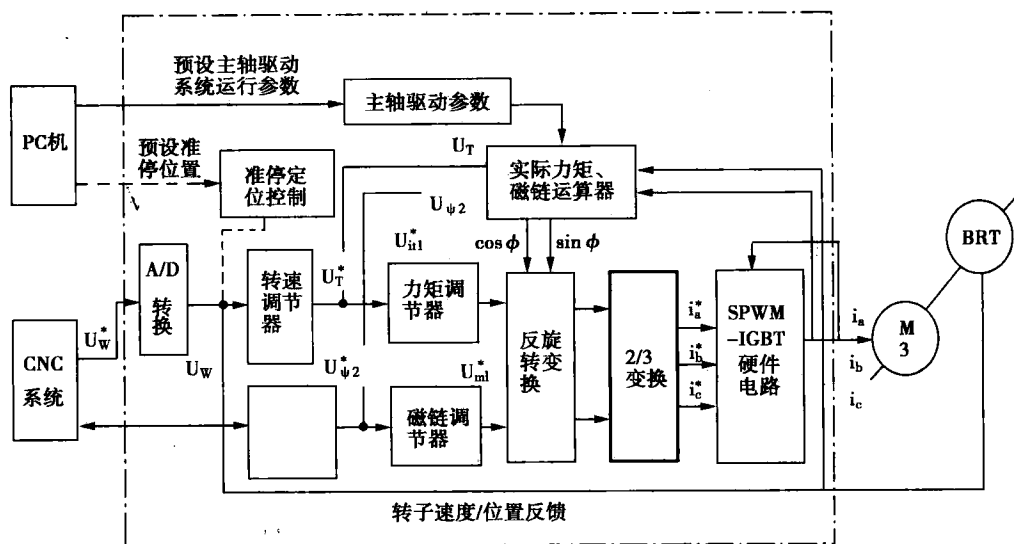


图 1-6 交流伺服主轴驱动单元的原理框图

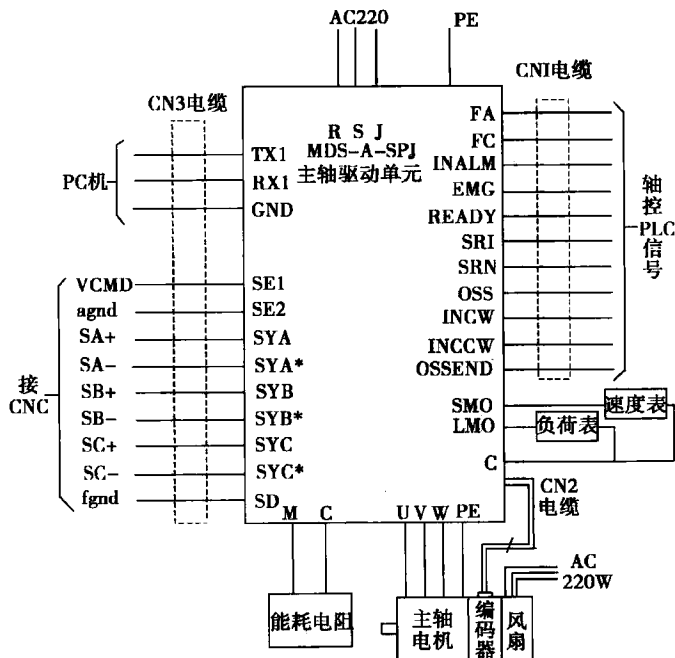


图 1-7 主轴驱动系统的连接电路

机，其中 SE1, SE2 用来接受数控系统的模拟电压指令（ $\pm 10V$ ），SYA, SYA*, SYB, SYB*, SYC 与 SYC* 是从主轴驱动单元送回 CNC 的当前速度反馈信号线（6 根分为 A, B 两相各 2 根，零脉冲 Z 相 2 根），TX1, RX1, GND 则分别为串行发送、接收信号线及地线，用于连接 PC 机的串行口，作主轴驱动单元的运行参数、准停参数预设及主轴状态监控，正常运行时不必连接。CN2 是三菱公司提供的标准电缆，用来传递主轴编码器对主轴驱动单元的速度/位置反馈信号。CN1 电缆有 40 线之多，主要作为主轴的轴控 PLC 信号，

被连接于数控系统 PMC 的 I/O 点，以完成 CNC 对主轴的状态监控及动作控制。CN1 中有代表性的信号为：FA，FC，OSSEND，INCW，INCCW，INALM 由主轴驱动器发向数控系统的 PMC，传递主轴驱动器的当前状态，即 FA 与 FC 接通表示主轴报警，OSSEND 指示主轴准停动作已经到位，INCW，INCCW，INALM 则指示主轴处于正转、反转还是报警中；REDAY，SRI，SRN，OSS，EMG 则由数控系统的 PMC 发向主轴驱动器，传递 CNC 对主轴的控制命令，即 REDAY 为就绪信号，SRI 为正转命令，SRN 为反转命令，OSS 为准停命令，EMG 为紧急停止命令。CN1 电缆上还有 2 根线 SM0 与 LM0，可分别与地线 G 间接接入主轴速度表和负载表，用于数控机床的面板显示。

二、主轴组件

主轴组件包括主轴、主轴支承、主轴的润滑、刀具自动夹紧机构以及准停装置等。很多加工中心将主轴与电动机做成一体，整个主轴箱就是一根电主轴，主轴箱体为电动机的定子，主轴成为电动机的转子，主轴箱在加工中心的主轴头里可以做 Z 轴、C 轴进给运动。图 1-8 是一加工中心的电主轴结构图。主轴前轴承为成组安装的高精度推力球轴承，后轴承为高精度圆柱滚子轴承。轴承润滑均为 L74 高级润滑脂润滑，机床大修时更换。采用这种滚动轴承、润滑脂润滑的主轴，其转速较低，一般在 5000r/min 以内，如果要进一步提高转速，必须改变轴承的润滑方式，使用非接触式轴承来支承，如静压轴承和磁悬浮轴承。

为了保证主轴的功率与转矩输出，一般将主轴转速分成高低两个调速区，在低速段调速采用恒转矩输出，以保证低速时小功率输出足够的力矩；在高速段调速采用恒功率输出。

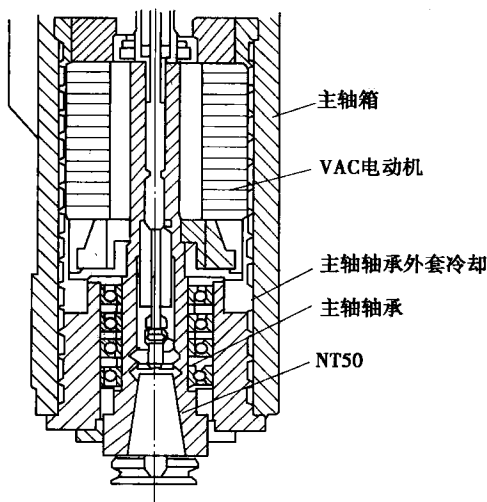


图 1-8 电主轴结构图

1. 主轴

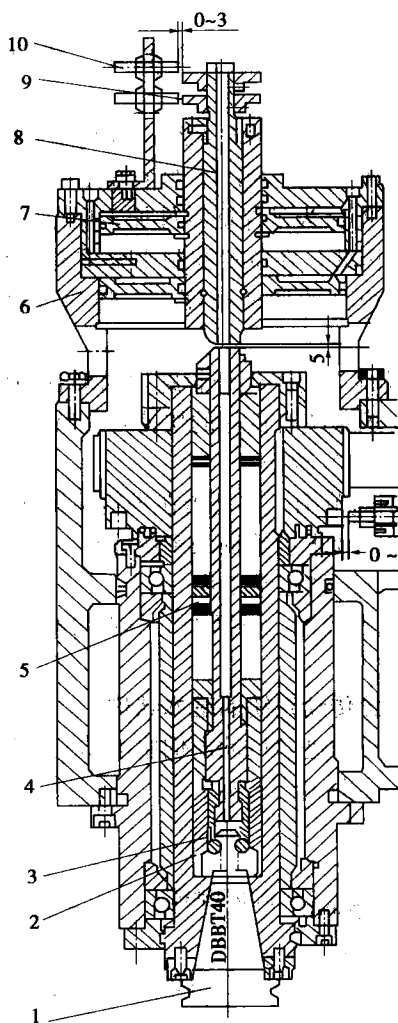
主轴在切削过程中带动刀具高速旋转，并提供主切削力，因而需要有很高的承载能力和回转精度，是主轴组件中最重要的零件。为了与刀具刀柄连接，在主轴前端有一锥孔，图 1-9 所示的主轴锥孔锥度为 7:24，用于装夹 BT40 刀柄或刀杆。主轴端面有两个端面键，既可通过它传递刀具的扭矩，又可用于刀具的周向定位。主轴的主要尺寸参数包括：主轴的直径、内孔直径、悬伸长度和支承跨距。评价和考虑主轴主要尺寸参数的依据是主轴的刚度、结构工艺性和主轴组件的工艺适用范围。主轴材料的选择主要根据刚度、载荷特点、耐磨性和热处理变形大小等因素确定。主轴材料常采用的有 45 钢、GCr15 等，需经渗氮和感

应加热淬火。

2. 刀具自动卡紧机构

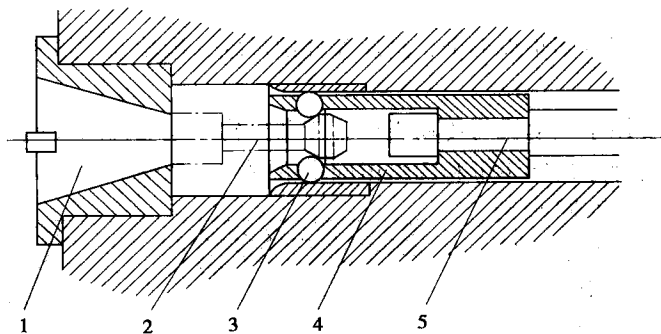
加工中心可以自动换刀，所以，主轴系统应具备自动松开和夹紧刀具的功能。刀具的自动夹紧机构安装在主轴的内部，图 1-9 所示为刀具的夹紧状态。刀柄 1 由主轴抓刀爪 2 夹持，碟形弹簧 5 通过拉杆 4、抓刀爪 2，在内套 3 的作用下将刀柄的拉钉拉紧，当换刀时，要求松开刀柄。此时将主轴上端气缸的上腔通压缩空气，活塞 7 带动压杆 8 及拉杆 4 向下移动。同时压缩碟形弹簧 5，当拉杆 4 下移到使抓刀爪 2 的下端移出内套 3 时，卡爪张开。同时拉杆 4 将刀柄顶松，刀具即可由机械手或刀库拔出。待新刀装入后，气缸 6 的下腔通压缩空气。在碟形弹簧的作用下，活塞带动抓刀爪上移。抓刀爪拉杆重新进内套 3，将刀柄拉紧。活塞 7 移动的两个极限位置分别设有行程开关 10，作为刀具夹紧和松开的信号。

刀杆尾部的拉紧机构，除上述的卡爪式外，常见的还有钢球拉紧机构，其内部结构如图 1-10 所示。



1. 刀柄 2. 刀爪 3. 内套 4. 拉杆 5. 弹簧 6. 气缸
7. 活塞 8. 压杆 9. 撞块 10. 行程开关

图 1-9 刀具自动卡紧机构



1. 刀柄 2. 拉钉 3. 钢球 4. 内套 5. 拉杆

图 1-10 钢球拉紧机构

§ 1.4 加工中心的进给传动

加工中心的进给传动系统也以交流伺服为主。为了满足加工中心的性能，对进给伺服系统的要求大致可概括为以下四个方面。

1. 高精度：为了保证零件加工质量和提高效率，必须首先保证数控机床的定位精度和加工精度。因此，在位置控制中要求有很高的定位精度，如 $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 等；而在速度控制中，要求有很高的调速精度、很强的抗负载扰动的能力，也即要求静态和动态速降尽可能小。

2. 快响应：为了保证轮廓切削形状精度和加工表面粗糙度，除了要求有很高的定位精度外，还要求系统有良好的快速响应特性，即要求跟踪指令信号的响应要快，位置跟踪误差（位置跟踪精度）要小。

3. 宽调速范围：它是指在进给系统输出速度的最高速度与最低速度之比。对于加工中心机床而言，要求进给伺服系统能在 $0\sim 24\text{m/min}$ 都能正常工作，性能高档的加工中心要求在 $0\sim 60\text{m/min}$ 能正常工作。

4. 低速大转矩：根据加工中心的特点，要求在低速时进行重切削，进给伺服系统有大的转矩输出。

一、进给传动系统的基本结构

加工中心的进给传动由伺服电动机、传动机构、执行机构、位置和速度检测装置、反馈系统组成，如图 1-11 所示。

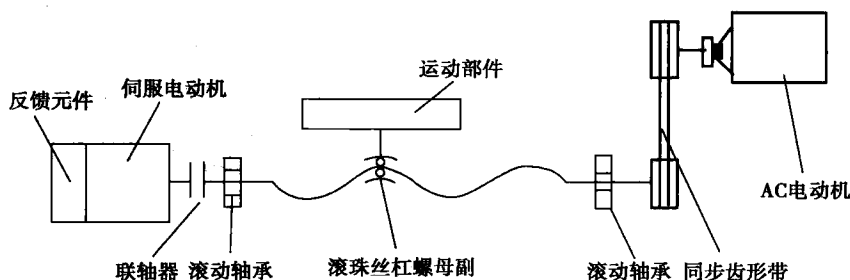


图 1-11 半闭环进给传动系统原理图

二、传动机构

进给传动机构主要有同步齿形带、滚珠丝杠螺母副、齿轮副、精密蜗杆副等。

1. 同步齿形带

同步齿形带主要用于电动机与传动机构、传动机构与速度检测装置的连接中。同步齿形带按齿形不同可分为梯形齿同步带和圆弧齿同步带两种，如图 1-12 所示。数控加工中心的同步齿形带多用圆弧齿同步带。同步带的最大优点是不会打滑，且无需很大的张紧力，因此大大减轻了轴的静态径向拉力，传动效率高达 $98\%\sim 99.5\%$ 。

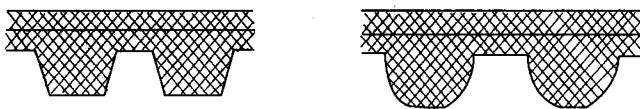


图 1-12 同步齿形带