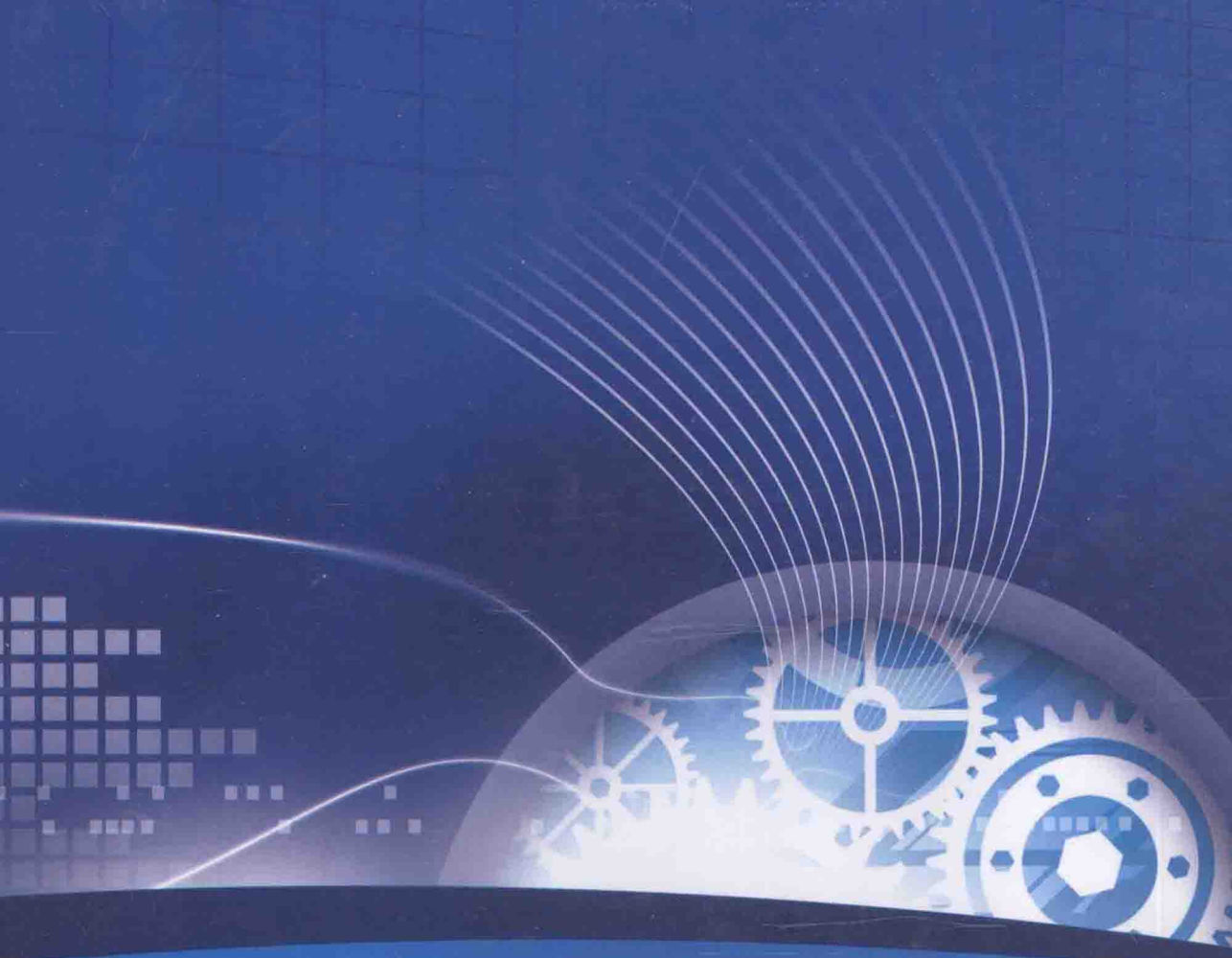




# 数控铣分册

(第2版)

Shukong Xi Fence

◎主 编 顾国洪



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 数控铣分册

(第2版)

|     |     |
|-----|-----|
| 顾国洪 | 主 编 |
| 李 松 | 副主编 |
| 陈海滨 | 主 审 |

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本手册主要面向高等院校在校学生,满足在校学习和今后工作中的使用要求,体现培养现代应用型人才课堂教学和实践环节的需求,提高一般性数控设计及加工工作的效率。本手册以能力训练为主线,加入典型加工案例,在编程时,尽量照顾到大部分种类的数控机床。

本手册共分为十章,以体现实践操作为主体,理论为支撑,按照基础理论、实践训练和拓展知识三大部分设计。

本手册可作为高等院校机电类专业的工具书,也可供数控技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

数控铣分册/顾国洪主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2014.6  
ISBN 978-7-5640-9316-7

I. ①数… II. ①顾… III. ①数控机床-铣床 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第121961号

---

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/天津紫阳印刷有限公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/13.5

字 数/272千字

版 次/2014年6月第2版第1次印刷

定 价/36.00元

责任校对/张沁萍

责任印制/边心超

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 前言

## Preface

数控技术是高等院校机电类专业一门重要的专业课，学生在校期间的课程设计、毕业设计是学习数控技术理论之后的一个重要环节，本手册体现培养现代应用人才必备的理论 and 实践环节需求，提高一般性数控设计及加工工作的效率，满足机电类专业学生在校学习期间及工作岗位的需要。

本手册以能力训练为主线，加入典型加工案例，在编程时，尽量照顾到大部分种类的数控机床。尽量采用图、表和案例，化繁为简，便于查阅，体现人性化设计，满足使用者的实际要求。

本手册共分十章，系统地介绍了数控铣床（加工中心）的结构与分类、常用刀具与夹具、加工工艺、编程技术、操作技术、维护与保养、常见故障判断与排除和发展趋势等。具体编写分工如下：唐明编写第一、第二章，成长城编写第三、第九章，庄金雨编写第四、第八章，瞿希、唐明编写第五章，李松编写第六、第七章，瞿希编写第十章。本书由顾国洪统稿，由陈海滨主审。

本手册的编者都是长期在数控技术教学和生产一线的教师，但由于编写水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳切希望广大读者给予指正。

编 者

# 目录

## Contents

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 第一章 数控铣床（加工中心）的结构与分类 .....      | (1)   |
| 第一节 数控铣床（加工中心）的一般结构 .....       | (1)   |
| 第二节 数控铣床（加工中心）的分类 .....         | (5)   |
| 第二章 典型数控铣床（加工中心）介绍 .....        | (9)   |
| 第一节 VDL600A 加工中心介绍 .....        | (9)   |
| 第二节 BV 系列数控铣床介绍 .....           | (19)  |
| 第三章 数控铣床（加工中心）常用刀具与夹具 .....     | (28)  |
| 第一节 数控铣床（加工中心）刀具系统 .....        | (28)  |
| 第二节 数控铣床（加工中心）夹具系统 .....        | (41)  |
| 第四章 数控铣（加工中心）加工工艺 .....         | (47)  |
| 第一节 数控加工工艺文件 .....              | (47)  |
| 第二节 手工编程中的数学处理 .....            | (49)  |
| 第三节 工序尺寸及其公差计算 .....            | (52)  |
| 第四节 数控加工切削用量的选择 .....           | (53)  |
| 第五节 典型镗铣类零件的工艺分析 .....          | (56)  |
| 第五章 数控铣（加工中心）编程技术 .....         | (63)  |
| 第一节 FANUC Oi 系统的编程介绍 .....      | (63)  |
| 第二节 SIEMENS 802S/c 铣床编程介绍 ..... | (83)  |
| 第三节 数控加工自动编程简介 .....            | (123) |
| 第六章 数控铣（加工中心）操作技术 .....         | (139) |
| 第一节 数控铣床 .....                  | (139) |
| 第二节 VMC600 加工中心 .....           | (152) |
| 第七章 数控铣床（加工中心）安装与调试 .....       | (169) |
| 第一节 机械部件的安装与调试 .....            | (169) |
| 第二节 电气部件的安装与调试 .....            | (174) |
| 第八章 数控铣床（加工中心）的维护与保养 .....      | (176) |
| 第一节 数控设备的 5S 管理标准 .....         | (176) |
| 第二节 数控设备的日常维护与保养 .....          | (179) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第九章 数控铣床（加工中心）常见故障判断与排除 ..... | (183) |
| 第一节 报警系统及识读 .....             | (183) |
| 第二节 常见故障诊断与排除案例 .....         | (198) |
| 第十章 数控技术的发展趋势 .....           | (202) |
| 参考文献 .....                    | (209) |

---

## 第一章

# 数控铣床（加工中心）的结构与分类

## 第一节 数控铣床（加工中心）的一般结构

### 一、概述

随着科学技术和社会的迅速发展，机械产品日趋复杂，社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。在航空航天、造船、军工和计算机等工业中，零件精度高、批量小、经常改动、加工困难、生产效率低、劳动强度大，质量难以保证。机械加工工艺过程的自动化和智能化是适应上述发展特点的最重要手段。

为解决上述问题，一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床应运而生。

### 二、数控机床的发展史

1948 年美国巴森兹（parsons）公司在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想。

1949 年巴森兹公司与麻省理工学院（MIT）合作，开始了三坐标铣床的数控化工作。

1952 年 3 月公开发布了世界上第一台数控机床的试制成功，可作直线插补。

经过 3 年的试用、改进与提高，1955 年数控机床进入实用化阶段，从此，其他一些国家如德国、英国、日本和苏联等国都开始研制数控机床，其中日本发展最快。

1959 年美国 Keaney 和 Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床，可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工，如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓加工等。至此，数控机床的新一代类型——加工中心（Machining Center）诞生了，并成为当今世界数控机床发展的主流。

当今世界著名的数控系统厂家有：日本的法那科（FANUC）公司、德国的西门子（SIEMENS）公司、美国的 A-B 公司、意大利的 A-BOSZA 公司。

### 三、数控技术的基本概念

数控又称数字控制（Numerical Control，NC），它是采用数字化信息实现加工自动

化的控制技术。用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床称为数控机床。

#### 四、机床的组成

数控机床一般由输入/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、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-1 是数控机床的组成框图。其中除机床本体之外的部分统称为计算机数控（CNC）系统。

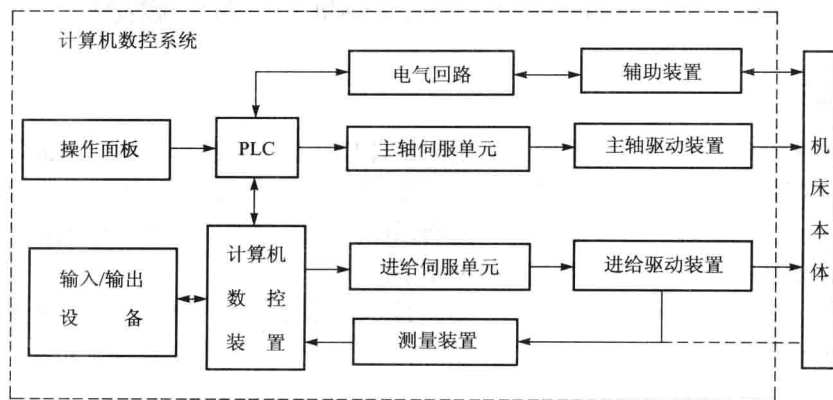


图 1-1 数控机床的组成框图

##### 1. 机床本体（图 1-2）

CNC 机床由于切削用量大、连续加工发热量大等因素对加工精度有一定影响，加之在加工中是自动控制，不像在普通机床上那样由人工进行调整、补偿，所以其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密，为此，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。

##### 2. CNC 装置

图 1-3 (a)、(b) 是 CNC 系统的核心，主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。数控机床的 CNC 系统完全由软件处理数字信息，因而具有真正的柔性化，可处理逻辑电路难以处理的复杂信息，使数字控制系统的性能大大提高。

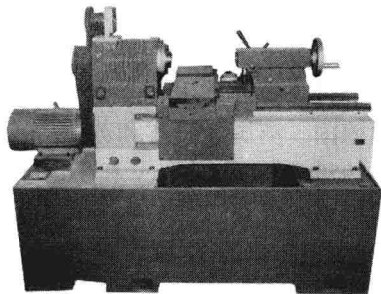


图 1-2 机床本体



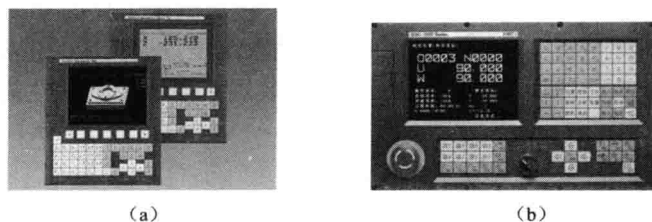


图 1-3 CNC 装置

### 3. 输入/输出设备

键盘、磁盘机、手轮（图 1-4）等是数控机床的典型输入设备。除上述以外，还可以用串行通信的方式输入。

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，并能显示图形。操作人员可通过显示器获得必要的信息。

### 4. 伺服单元

伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同，伺服单元有脉冲式和模拟式之分，而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元（图 1-5）。

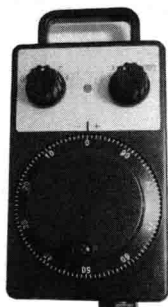


图 1-4 手轮

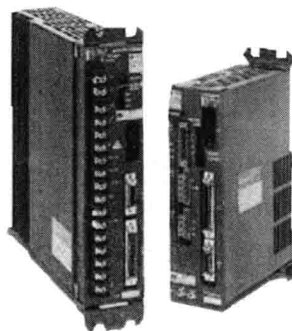


图 1-5 伺服单元

### 5. 驱动装置

驱动装置（图 1-6）把经放大的指令信号变为机械运动，通过简单的机械连接部件驱动机床，使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动，最后加工出图纸所要求的零件。和伺服单元相对应，驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置，CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施，所以，伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

## 6. 可编程控制器

可编程控制器 (Programmable Controller, PC) (图 1-7) 是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，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 (Programmable Logic Controller, PLC)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，也可称之为可编程机床控制器 (Programmable Machine Controller, PMC)。

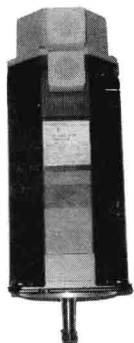


图 1-6 驱动装置

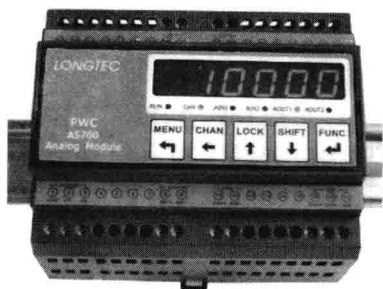


图 1-7 可编程控制器

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。

## 7. 测量装置

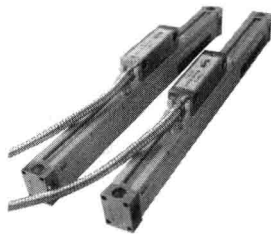


图 1-8 测量装置

测量装置也称反馈元件，如图 1-8 所示，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误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。按有无检测装置，CNC 系统可分为开环与闭环数控系统，而按测量装置的安装位置又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精

度，闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此，测量装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外，由测量装置和显示环节构成的数显装置，可以在线显示机床移动部件的坐标值，大大提高了工作效率和工件的加工精度。

## 第二节 数控铣床（加工中心）的分类

### 一、按控制系统的特点分类

#### 1. 点位控制数控机床

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床（图 1-9）、数控点焊机和数控折弯机等，其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

#### 2. 直线控制数控机床

这类机床主要有数控车床、数控磨床（图 1-10）和数控镗铣床等，其相应的数控装置称为直线控制装置。

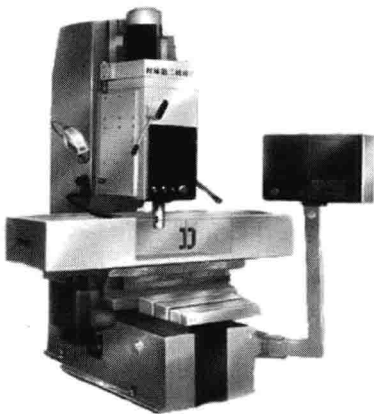


图 1-9 数控钻床



图 1-10 数控磨床

#### 3. 轮廓控制数控机床

属于这类机床的有数控车床、数控铣床、加工中心（图 1-11）等，其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓数控装置比点位、直线控制装置结构复杂得多，功能齐全得多。

### 二、按进给伺服系统的类型分类

#### 1. 开环进给伺服系统数控机床

开环进给伺服系统通常不带有位置检测元件，伺服驱动元件一般为步进电动机，其原理如图 1-12 所示。



图 1-11 加工中心

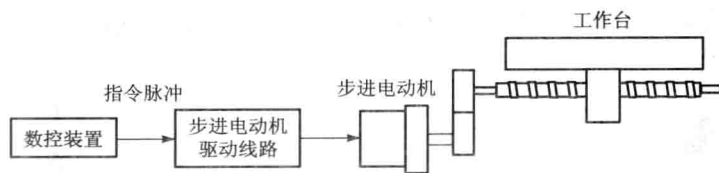


图 1-12 开环进给伺服系统原理图

## 2. 闭环进给伺服系统数控机床

闭环进给伺服系统带有位置检测元件，随时可以检测出工作台的实际位移，并反馈给数控装置，并与设定的指令值进行比较，利用其差值控制伺服电动机，直至差值为零为止。其原理如图 1-13 所示。

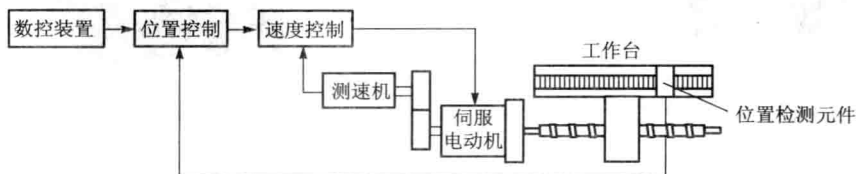


图 1-13 闭环进给伺服系统原理图

## 3. 半闭环进给伺服系统数控机床

半闭环进给伺服系统是将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部，不直接反馈机床的位移量，而是检测伺服机构的转角，将此信号反馈给数控装置进行指令值比较，用差值控制伺服电动机。其原理如图 1-14 所示。

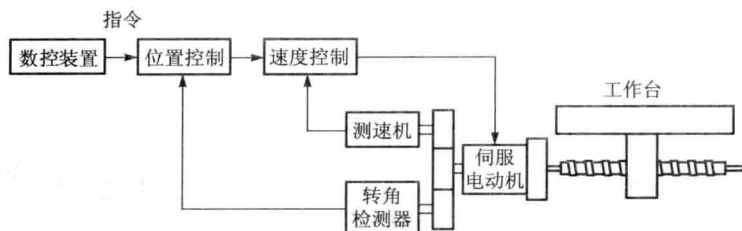


图 1-14 半闭环进给伺服系统原理图

### 三、按工艺用途分类

#### 1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床（图 1-15）、数控磨床、数控镗床以及加工中心。

#### 2. 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床包括数控折弯机（图 1-16）、数控组合冲床和数控回转头压力机等。这类机床起步晚，但目前发展很快。



图 1-15 数控铣床

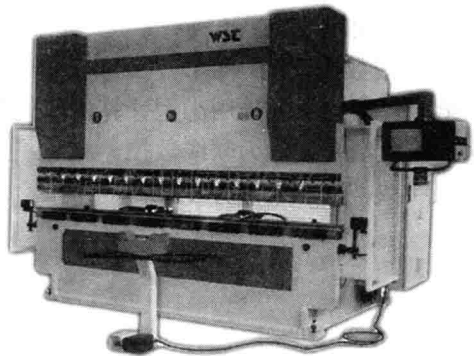


图 1-16 数控折弯机

#### 3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床，如数控线（电极）切割机床（图 1-17）、数控电火花加工机床、火焰切割机和数控激光切割机床等。

#### 4. 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床，如数控三坐标测量机（图 1-18）等。

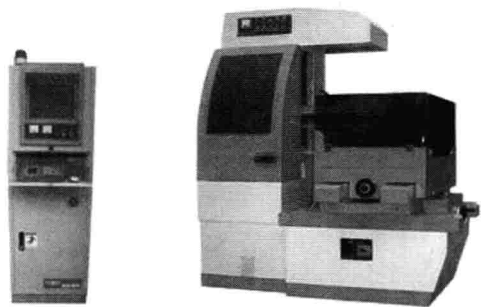


图 1-17 数控线切割机床



图 1-18 数控三坐标测量机

#### 四、按所用数控装置的构成方式分类

##### 1. 硬线数控系统

前三代数控系统是属于采用专用控制计算机的硬逻辑（硬线）数控系统，故这种数控系统又称为硬线数控。

##### 2. 软线数控系统

第四代数控系统采用小型计算机取代专用控制计算机，数控的许多功能由软件来实现，故这种数控系统又称为软线数控。

# 典型数控铣床（加工中心）介绍

## 第一节 VDL600A 加工中心介绍

### 一、机床概述

VDL600A 机床适用于小型板类、盘类等多品种零件的中、小批量加工。工作台尺寸为 800/900 mm × 420 mm，采用了日本 FANUC -0i 控制系统，操作简单、方便，可进行直线插补和圆弧插补操作。在工作台上一次装夹零件后可自动完成铣、镗、钻、扩孔、攻丝等多种工序加工。主轴标准转速为 8 000 r/min。X、Y、Z 三个直线坐标都采用直线滚动导轨，X、Y 坐标速度可达 30 m/min，Z 坐标速度可达 24 m/min。另外，在该机床上还可以选配数控回转工作台，增加第四回转轴，回转台在系统控制下，能够完成各种分度回转工作。回转工作台上可安装板、盘等其他形状复杂的被加工零件，也可以利用与之相配套的尾座安装棒、轴类的被加工零件，实现等分或不等分的孔、槽或者连续特殊曲面的加工，保证很高的加工精度。刀库配备了最新的斗笠式刀库，装刀量 16 把（或 20 把），换刀时间 6 s。该机床具有可靠性高、精度高、刚度高的特点。该机床外观如图 2-1 所示。

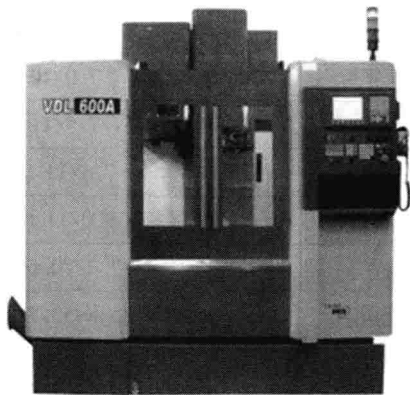


图 2-1 立式加工中心外观图

## 二、规格综述

### 1. 机床主要技术规格参数 (表 2-1)

表 2-1 机床主要技术规格参数

| 机床型号                                 |                     | VDL-600 A                        | VDL-800   |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------|
| 三轴行程                                 |                     | Metric                           |           |
| X 轴最大行程/mm                           |                     | 600                              | 800       |
| Y 轴最大行程/mm                           |                     | 420                              |           |
| Z 轴最大行程/mm                           |                     | 520                              |           |
| 主轴最前端面到工作面台距离/mm                     |                     | 150 ~ 670                        |           |
| 主轴中心线到立柱前面距离/mm                      |                     | 500                              |           |
| 工作台                                  |                     | Metric                           |           |
| T 形槽 (槽数 × 槽宽 × 槽距) / (mm × mm × mm) |                     | 3 × 18 × 125                     |           |
| 工作台最大承重/kg                           |                     | 500                              |           |
| 工作台尺寸 / (mm × mm)                    |                     | 800 × 420                        | 900 × 420 |
| 主轴                                   |                     | Metric                           |           |
| 主轴<br>电机<br>功率<br>/kW                | α 8/8000i (标准配置)    | 7.5/11 (FANUC 系统 8 000 r/min)    |           |
|                                      | β 8/8000i (选择配置)    | 7.5/11 (FANUC 系统 8 000 r/min)    |           |
|                                      | β 12/7000i (选择配置)   | 11/15 (FANUC 系统 7 000 r/min)     |           |
|                                      | GM7105-4SB61 (选择配置) | 7.5 (华中数控 8 000 r/min)           |           |
|                                      | 1PH7 105 (选择配置)     | 7.0/10 (SIEMENS 9 000 r/min)     |           |
|                                      | YSZ204M-4 (选择配置)    | 7.5/11 (大连数控 8 000 r/min)        |           |
|                                      | SJ-PF11-01 (选择配置)   | 7.5/11 (MITSUBISHI 6 000 r/min)  |           |
| 最大<br>标准<br>扭矩<br>/Nm                | αP18/8000i (选择配置)   | 9.0/11 (FANUC 系统 8 000 r/min)    |           |
|                                      | α8/8000i (标准配置)     | 47.7/70.5 (FANUC 系统 8 000 r/min) |           |
|                                      | β 8/8000i (选择配置)    | 35.8/53.7 (FANUC 系统 8 000 r/min) |           |
|                                      | β 12/7000i (选择配置)   | 52.5/79 (FANUC 系统 7 000 r/min)   |           |
|                                      | GM7105-4SB61 (选择配置) | 47.8 (华中数控 8 000 r/min)          |           |
|                                      | 1PH7105 (选择配置)      | 44.6 (SIEMENS 9 000 r/min)       |           |



续表

|                                        |                          |                                                        |       |
|----------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| 最大<br>标准<br>扭矩<br>/Nm                  | YSZ204M4（选择配置）           | 47.7（大连数控 8 000 r/min）                                 |       |
|                                        | SJ - PF11 - 01（选择配置）     | 47.8/70（MITSUBISHI 6 000 r/min）                        |       |
|                                        | $\alpha$ P18/8000i（选择配置） | 114.6/210（FANUC 系统 8 000 r/min）                        |       |
| 锥口类型                                   |                          | ISO 40#                                                |       |
| 主轴的最大转速/（r · min <sup>-1</sup> ）       |                          | 8 000（10 000 r/min 选配）                                 |       |
| 轴承润滑                                   |                          | 油脂润滑                                                   |       |
| 冷却                                     |                          | 有                                                      |       |
| 具备可选齿轮箱                                |                          | 无                                                      |       |
| 主轴驱动系统                                 |                          | 主轴电机经皮带轮传动                                             |       |
| 各坐标轴电机                                 |                          | Metric                                                 |       |
| X/Y/Z 轴最大功率/kW                         |                          | 3（标准配置）                                                |       |
| X/Y/Z 轴的最大进给率/（m · min <sup>-1</sup> ） |                          | 24/24/20（标配） 30/30/24（选配）                              |       |
| X/Y/Z 轴工作进给率/（mm · min <sup>-1</sup> ） |                          | 1 ~ 10 000                                             |       |
| 换刀装置                                   |                          | Metric                                                 |       |
| 刀具数量                                   |                          | 16（斗笠）                                                 |       |
| 刀具类型/锥柄                                |                          | BT40（JT40 可选）                                          |       |
| 最大刀具质量/kg                              |                          | 7                                                      |       |
| 最大刀具直径（邻空）/mm                          |                          | $\phi 100$ （ $\phi 130$ ）；刀臂式 $\phi 77$ （ $\phi 110$ ） |       |
| 换刀类型                                   |                          | 斗笠式（刀臂式）                                               |       |
| 精度（单轴）                                 |                          | Metric                                                 |       |
| 定位精度                                   |                          | X/Z: 0.020 Y: 0.016                                    |       |
| 重复定位精度                                 |                          | X/Z: 0.008 Y: 0.006                                    |       |
| 气压/MPa                                 |                          | 0.6                                                    |       |
| 电源功率/kVA                               |                          | 20 ~ 28                                                |       |
| 机床质量/kg                                |                          | 4 600                                                  | 5 000 |
| 外型尺寸/（mm × mm × mm）                    |                          | 2 436 × 2 290 × 2 317                                  |       |