



国产数控系统应用技术丛书



数控系统技术教程

——蓝天数控

SHUKONG XITONG JISHU JIAOCHENG
——LANTIAN SHUKONG

主 编 林 浒



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

国产数控系统应用技术丛书

数控系统技术教程

——蓝天数控

主 编 林 洵

副主编 吴文江 艾 斌 张 鹏

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书以使用蓝天数控系统的车床和铣床(加工中心)的编程与操作为核心内容,介绍了数控车床的编程与操作,刀具的使用及对刀操作,蓝天数控车床系统加工实例,数控铣床(加工中心)的编程与操作及对刀操作,蓝天数控铣床系统加工实例等。

本书列举的实例具有代表性,大都来自生产实际,既有利于提高学生的操作技能,又对数控技术人员有一定的参考价值;既可作为学校的教材,也可供数控技术人员培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控系统技术教程:蓝天数控/林浒主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.12

(国产数控系统应用技术丛书)

ISBN 978-7-5680-2420-4

I. ①数… II. ①林… III. ①数控机床-数字控制系统-程序设计-教材 ②数控机床-数字控制系统-操作-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 290639 号

数控系统技术教程——蓝天数控

林浒 主编

Shukong Xitong Jishu Jiaocheng——Lantian Shukong

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚 幸

封面设计:原色设计

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:17

字 数:357 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:38.00 元



华中科技大学出版社

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,高新技术企业以前所未有的速度迅猛发展。随着数控机床在机械加工设备中的占有率逐年提高,配备蓝天数控系统的数控机床在国内应用广泛。但是,我国现代制造业职工队伍的整体素质偏低,高级技工特别是数控操作工严重短缺,因此培养一大批能熟练掌握数控系统操作技术的人才就成了当务之急。

全书共 12 章。第 1 章介绍了蓝天数控系统如何选型;第 2 章讲述了机床加工的坐标理论;第 3 章为数控系统编程的基础知识;第 4 章讲述了加工程序的建立;第 5 章介绍了刀具的正确使用;第 6 章讲解了机床主轴运动方式和编程要求;第 7 章讲述了机床进给轴的运动控制方法;第 8 章讲述了加工坐标的几何设置;第 9 章列举了编程中 G 指令的实际应用方法;第 10 章讲述了固定加工循环功能的应用;第 11 章讲述了用户宏程序的编写;第 12 章介绍了蓝天数控系统的基本操作。

本书由沈阳高精数控智能技术股份有限公司的林浒、吴文江、艾斌、张鹏编写。具体编写分工为:林浒担任主编,吴文江、艾斌、张鹏担任副主编。书中部分章节参考了同行作者的有关文献,在此对所列主要参考文献的作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 5 月

目 录

第 1 章 数控机床概述与数控系统(车/铣)选型	(1)
1.1 数控机床简介	(1)
1.2 数控系统(车/铣)选型	(3)
第 2 章 几何原理与基础	(11)
2.1 数控机床的位置	(11)
2.2 工作平面	(18)
2.3 坐标系	(19)
第 3 章 数控编程基础	(22)
3.1 命名数控加工程序	(22)
3.2 数控加工程序的结构和内容	(22)
3.3 变量	(26)
3.4 程序控制指令	(33)
第 4 章 编制 NC 程序	(38)
4.1 基本步骤	(38)
4.2 可用字符	(39)
4.3 程序头	(40)
4.4 程序示例	(40)
第 5 章 换刀与刀具补偿的调用	(45)
5.1 换刀	(45)
5.2 刀具补偿的调用	(47)
第 6 章 主轴运动	(67)
6.1 主轴速度和主轴旋转方向	(67)
6.2 恒定切削速度	(68)
6.3 主轴与 Cs 轴切换	(69)
6.4 第二主轴	(72)
6.5 主轴同步控制	(74)
6.6 定位主轴	(75)
6.7 主轴定向	(76)
第 7 章 进给控制	(78)
7.1 进给率	(78)

7.2	切削进给下的速度控制	(79)
7.3	修调功能	(81)
第8章	几何设置	(82)
8.1	可设定的零点偏移	(82)
8.2	工件平面选择	(84)
8.3	尺寸说明	(85)
第9章	准备功能指令在程序中的实际应用	(92)
9.1	行程指令的常用信息	(92)
9.2	直角坐标系指令	(93)
9.3	极坐标指令	(94)
9.4	快速移动	(95)
9.5	直线插补	(97)
9.6	圆弧插补	(99)
9.7	螺纹加工	(106)
9.8	圆柱插补	(110)
9.9	极坐标插补	(111)
9.10	坐标转换	(113)
第10章	简化编程	(124)
10.1	多重循环	(124)
10.2	固定循环	(139)
10.3	固定切削循环取消	(165)
第11章	用户宏程序	(166)
11.1	宏程序应用概述	(166)
11.2	宏程序调用	(168)
第12章	数控装置操作	(205)
12.1	数控装置通/断电与开机后界面各部位的显示与用途	(205)
12.2	图形界面操作	(212)
12.3	设置刀具偏置	(214)
12.4	设置参考点	(217)
12.5	程序编辑	(221)
12.6	文件操作	(224)
12.7	报警信息	(225)
12.8	系统配置	(226)
12.9	系统运行操作功能	(244)
12.10	机床其他操作	(257)
参考文献		(263)

第 1 章 数控机床概述与数控系统(车/铣)选型

1.1 数控机床简介

目前,数控机床是计算机数字控制机床(computer numerical control machine tools)的简称,是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而控制机床加工零件。

美国 PARSONS 公司与麻省理工学院伺服机构研究所合作,在 1952 年研制成功第 1 台由专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。之后经过不断的改善,于 1955 年进入实用阶段。

随着科学技术的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求(对机床的要求越来越高),制造业的全球化竞争日趋激烈。

统计资料表明,在机械制造工业中单件小批量生产占机械加工总量的 80%左右。

数控机床(见图 1.1)特别适合加工批量小、零件形状比较复杂、精度要求高的产品。

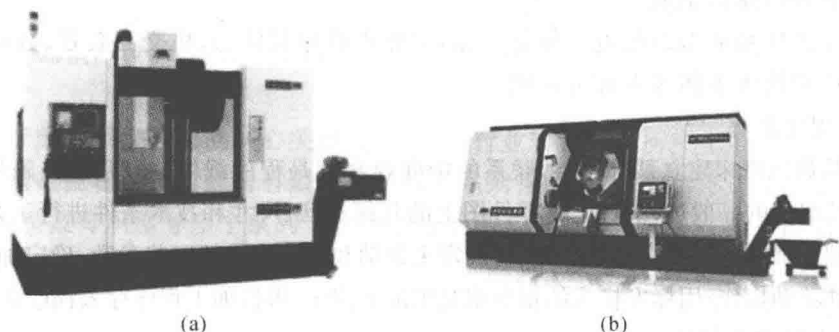


图 1.1 数控机床

(a) 立式加工中心 (b) 车铣复合加工中心

1. 数控机床的工作过程

1) 编制加工程序

根据被加工零件的图样进行工艺方案的分析与设计,进而编制数控加工程序(需要技术与经验,是最重要的一步)。

2) 加工程序的输入

可以用计算机和数控装置的接口直接通信,将编写零件的加工程序输入到数控装置中。

3) 预调刀具和夹具

根据零件的工艺方案中所确定的刀具和夹具,在加工之前,对其进行安装与调整。

4) 数控装置对加工程序进行译码和运算处理

加工程序处理后变成脉冲信号。

脉冲信号有的送至机床的伺服系统,经传动机构驱动机床的相关部件,完成对零件的切削加工。有的送到可编程控制器,按顺序控制机床的其他辅助部件,完成工件夹紧、松开、冷却液的开闭、刀具的自动更换等动作。

5) 加工过程的在线检测

数控装置需要随时检测机床的坐标位置、行程开关的状态等,并与加工程序的要求相比较,以决定下一步工作。

数控机床的工作过程如图 1.2 所示。

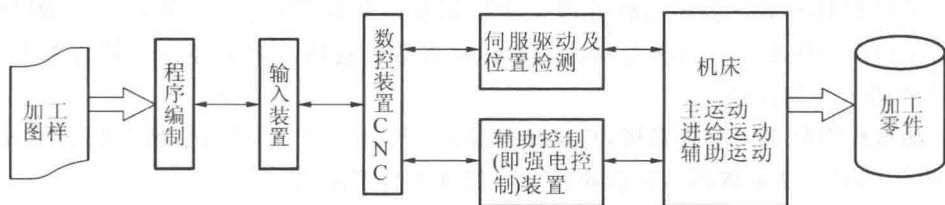


图 1.2 数控机床加工的工作流程

2. 数控机床的组成

数控机床是典型的机电一体化产品,主要由程序载体、人机交互装置、数控装置、伺服系统和机床本体等五部分组成。

1) 程序载体

人与数控机床建立某种联系,联系的中间媒介就是程序载体,如穿孔带、磁带、磁盘等。数控编程的一般过程:首先对零件图上的几何形状、尺寸和技术条件进行工艺分析,在此基础上确定加工顺序和进给路线;确定主运动和进给运动的工艺参数;确定加工过程中的各种辅助操作;用标准格式的指令编制出加工程序,再将加工程序存入程序载体。

2) 人机交互装置

要通过人机交互装置对数控系统进行操作和控制。键盘和显示器是数控系统中不可缺少的人机交互设备。

显示器显示机床的运行状态、机床参数及坐标位置等,高档的显示器还具备显示加工轨迹图形的功能。

3) 数控装置

数控装置是数控机床中最重要的组成部分,主要由输入/输出接口、控制器、运算

器和存储器等组成。

数控装置的功能是通过运算,将加工程序转换成控制数控机床运动的信号和指令,以控制机床的各部件完成加工程序中规定的动作。

4) 伺服系统

伺服系统是由伺服控制电路、功率放大器和伺服电动机组成的数控机床执行机构。其作用是接收数控装置发出的指令信息,经功率放大后,带动机床移动部件做精确定位或按规定轨迹和速度运动。

伺服系统的控制精度和动态响应特性对机床的工作性能、加工精度和加工效率有直接的影响。

5) 机床本体

机床本体是指数控机床用于完成各种切削加工的执行部件。与传统机床相比,数控机床具有传动结构简单、运动部件的运动精度高、结构刚度好、可靠性高、传动效率高等特点。

1.2 数控系统(车/铣)选型

1. 数控产品概述

近年来,基于制造技术与信息技术融合所产生的新需求,在“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项等课题的支持下,沈阳高精数控智能技术股份有限公司解决了开放式网络化体系结构、现场总线、多通道多轴联动、高速高精运动控制等新一代数控系统的核心关键技术,拥有 70 余项专利及软件著作权,主持制定了国内首部具有自主知识产权的《开放式数控系统总线接口与通信协议》国家标准,并获中国专利优秀奖。

基于数控系统研发的核心关键技术,围绕行业转型升级所产生的产品结构调整,沈阳高精数控智能技术股份有限公司研制了系列化的数控产品,形成了覆盖高档、中档、普及型及专用型等多个系列十余种型号的数控产品、机床用机器人控制器,以及面向数字化车间的网络化监控与管理系统等,如:总线式全数字高档数控装置 GJ400、高性能产品 GJ330、标准型产品 GJ301、普及型产品 GJ303、专用型产品 GJ301W、机床用机器人控制器 TRC200。系列化驱动类产品,如:通用伺服 GJS 系列 A 型(200V 级)、通用伺服 GJS 系列 B 型(400V 级)、总线伺服 GJS 系列 A 型(200V 级)、总线伺服 GJS 系列 B 型(400V 级)、高性能通用伺服 GJS200 系列 A 型(200V 级)、高性能总线伺服 GJS100 系列 A 型(200V 级)、通用变频器 GJF100 系列(400V 级)、刀架控制器 LTC 系列产品等。产品获国家级新产品、辽宁省科技进步一等奖、辽宁省优秀新产品一等奖等多项奖励,并在航空航天、汽车制造等行业得到了广泛应用。

2. 数控产品命名规则

沈阳高精数控智能技术股份有限公司数控产品命名规则如图 1.3 所示。

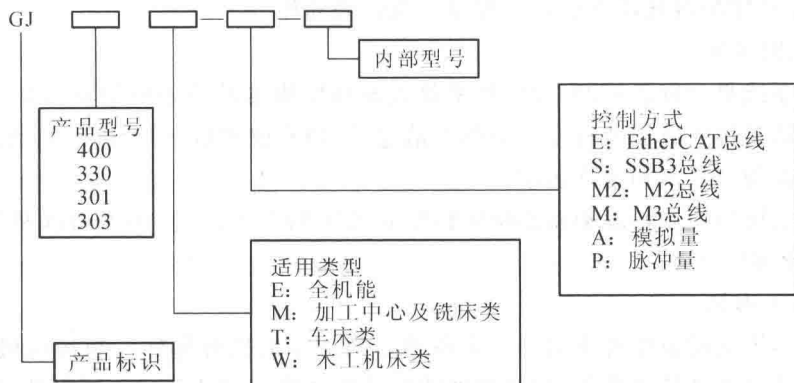


图 1.3 沈阳高精数控智能技术股份有限公司数控产品命名规则

3. GJ400 数控装置

1) 产品介绍

GJ400 系列高档数控装置(见图 1.4)是在国家科技重大专项支持下,采用多处理器结构研发的新一代总线式、开放式数控装置。GJ400 支持 8 通道,每通道 8 轴联动,最大 64 轴控制,最小控制分辨率为 1 nm,支持具有自主知识产权的 SSB3 及 M3、EtherCAT 等多种总线接口。GJ400 具有高速程序预处理、双轴同步控制、样条插补、多通道多轴联动控制、多通道及复合加工控制等功能,满足五轴联动高速加工中心、高速车铣、铣车复合加工中心等配套需求。

2) 产品特点

GJ400 系列高档数控装置由人机接口单元 HMU(human machine unit)和机床控制单元 MCU(machine control unit)组成,各单元通过高速现场总线互连,形成高性能分布式处理平台。凭借良好的 HMU 开放性设计,机床制造商和终端使用客户可按照自己的特殊需求与操作方式,

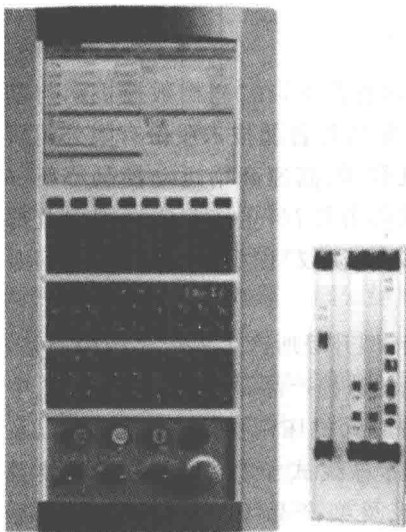


图 1.4 GJ400 数控装置

在 HMU 平台上进行人机界面、操作编程等方面的二次开发,各种图像处理、CAD/CAM 软件或工艺功能易于融入数控装置中。

机床控制单元 MCU 作为数控装置控制核心(NC 部分),采用基于 Linux 的多任务实时操作系统和高可靠性 PICMG 2.0 CompactPCI 箱式多插槽硬件结构,保证了装置的高可靠性;MCU 支持多种 CPU(X86、龙芯等),支持 SSB3、M3、EtherCAT 等

多种总线,具有多种传感器接口,其特点如下。

(1) 高速高精加工。

- 最小插补周期 0.125 ms。
- 2000 段的程序预读处理器。
- 7200 段/秒的高速程序预处理能力。
- 小线段高速平滑控制功能。
- 纳米插补功能。
- 柔性加速度与加速平滑控制功能。
- NURBS 插补等多种样条插补方式。

(2) 多通道复合加工控制功能。

- 8 通道及 64 轴和 8 主轴的控制能力,每通道支持 8 轴联动。
- 高精度 C 轴控制。
- 双主轴同步控制,第二主轴攻丝功能。
- 极坐标插补、圆柱面插补。
- 斜轴控制。

(3) 5 轴加工控制功能。

GJ400 系列高档数控装置的 5 轴加工控制功能可实现对精密模具、航空航天及船舶等行业的关键零部件的加工。

- 支持各种 5 轴机床的运动学转换库。
- 倾斜平面加工。
- RTCP 功能。
- 3D 刀具补偿功能。

(4) 总线式全数字通信接口。

支持自主知识产权的 SSB3、M3、EtherCAT 等多种现场总线,可实现与多种总线的驱动装置和 I/O 设备的连接。

- 总线传输速率 100 Mbs。
- 同步误差小于 $0.5\ \mu\text{s}$ 。

(5) 补偿功能。

GJ400 系列高档数控装置提供多种补偿功能。

- 双向螺距误差补偿。
- 空间几何误差补偿。
- 热变形温度补偿。
- 动态误差补偿。

(6) 网络化通信功能

GJ400 系列高档数控装置具有网络化接口,可支持生产设备的网络化控制,并实现在线数据交换、在线智能故障诊断、远程支持等功能,如图 1.5 所示。

3) 通信示意图(见图 1.5)

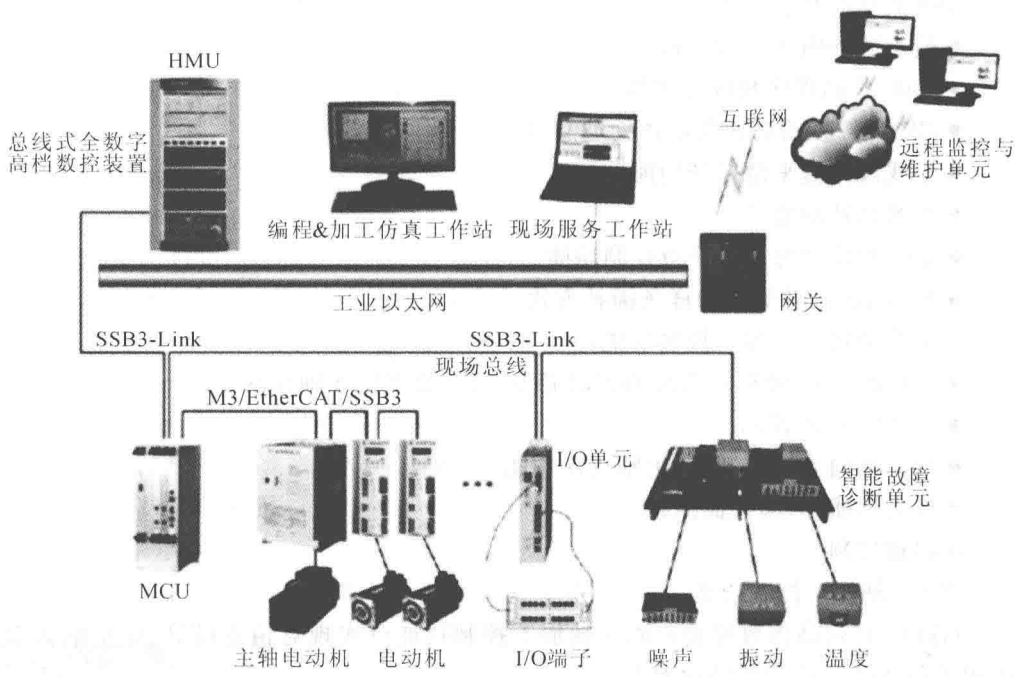


图 1.5 GJ400 网络化通信示意图

4. GJ330 数控装置

1) 产品介绍

GJ330 数控装置(见图 1.6)是针对高速、高精、高质量加工控制需求研制的高性能高可靠性数控装置,可连接 SSB3、M3、M2 总线伺服驱动器。GJ330 采用一体化结构,配置大尺寸彩色液晶显示屏和全功能机床操作面板,具有配置灵活、结构紧凑、易操作等特点,提供高性能机床所需的高轮廓精度以及高动态特性,适用于高精度车削中心、加工中心和复合机床的配套要求。

2) 产品特点

- 支持 5 轴联动。
- 12 英寸彩色液晶显示屏,支持中英文界面显示和故障诊断与报警、加工轨迹图形显示。

- SSB3/M3/M2 总线式及模拟量等多种控制方式直观

的操作界面,PC 键盘布局,操作快捷方便。

- 自动对刀仪接口,可自动对刀。
- 图形化的机床电气故障诊断功能。

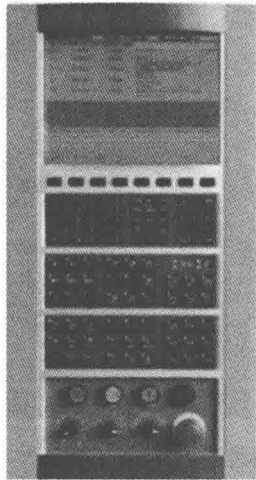


图 1.6 GJ330 数控装置

- 内嵌遵循 IEC 61131-3 标准的高速 PLC。
- 支持梯形图编程,梯形图可在线编辑和离线编辑。
- 具有双向螺距误差补偿、反向间隙补偿、自动零漂补偿、刀具长度及半径补偿功能。

- 采用直线和 S 曲线加减速控制,满足高速,高精加工。
- 多主轴、多通道控制。
- 同步主轴功能。
- 车铣复合加工功能、车铣混合编程。
- 丰富的 NC 与 PLC 数据诊断功能,方便系统调试。
- USB 一键系统升级、参数备份/恢复,远程文件传输及 U 盘程序在线加工。

5. GJ301M 数控装置

1) 产品介绍

GJ301M 数控装置(见图 1.7)是基于 PC 平台的高可靠性、高性价比的标准型数控装置,具有模拟、脉冲、总线三种控制方式。GJ301M 基本配置为 4 轴 3 联动,I/O 点数标准配置 48 输入/28 输出,最大可扩展至 208 输入/196 输出。内嵌 PLC 遵循 IEC 61131—3 标准,采用用户熟悉的梯形图编程,具有丰富的 NC-PLC 编程接口及强大的系统调试与监控功能。数控装置采用加减速控制算法、小线段加工控制算法及三次样条插补算法等,可满足高速、高精加工的控制需求。同时,开放式的体系结构为数控装置功能的扩展提供了便利。GJ301M 可广泛应用于各种铣床、加工中心等。

2) 产品特点

● 内嵌式工业 CPU 板卡,采用超大规模 FPGA 电路设计,功耗低,可靠性高。

● 机械结构紧凑、坚固,散热性好,便于安装维护。

- CNC 面板与操作站采用分体设计。
- SSB3/M3/M2 总线式及模拟量、脉冲等多种控制方式。
- 提供标准的铣床用操作面板。
- 8.4 英寸 TFT 液晶显示屏。
- 集成轴控制接口,本机 I/O 接口、外部 I/O 接口、网络接口和 USB 接口。
- 内嵌遵循 IEC61131—3 标准的高速 PLC。
- 支持梯形图编程,梯形图可在线编辑和离线编辑。

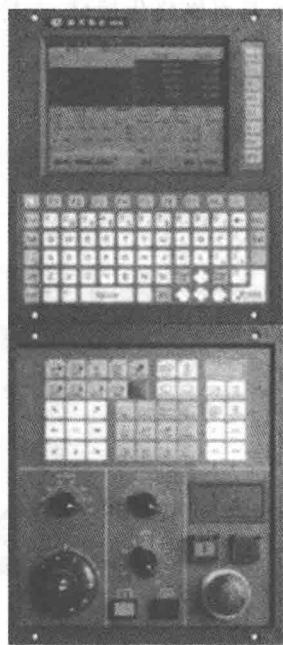


图 1.7 GJ301M 数控装置

- 直观的操作界面,PC 键盘布局,操作快捷方便。
- 具有双向螺距误差补偿、反向间隙补偿、自动零漂补偿、刀具长度及半径补偿功能。
- 采用直线和 S 曲线加减速控制,满足高速,高精加工。
- 提供多种固定循环功能,包括钻、镗、铰、铰孔及刚性攻丝。
- 支持小线段连续加工模式,提高了加工速度和工件表面质量。
- 支持工件程序后台编辑。
- 支持系统配置文件和 PLC 逻辑文件的本机备份或 USB 备份。
- 集成中英文界面显示。
- USB 一键系统升级功能。
- 具有网络化接口,支持远程控制。

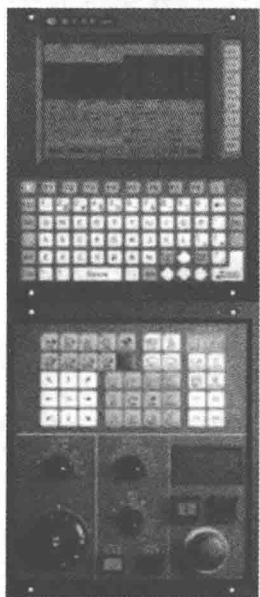


图 1.8 GJ301T 数控装置

6. GJ301T 数控装置

1) 产品介绍

GJ301T 数控装置(见图 1.8)是基于 PC 平台的高可靠性、高性价比的标准型数控装置,具有模拟、脉冲、总线三种控制方式。GJ301T 基本配置为 3 轴 2 联动,可选配第四轴;I/O 点数标准配置 48 输入/28 输出,最大可扩展至 208 输入/196 输出。内嵌 PLC 遵循 IEC61131—3 标准,采用用户熟悉的梯形图编程,具有丰富的 NC-PLC 编程接口及强大的系统调试与监控功能,同时开放式的体系结构为系统功能的扩展提供了便利。GJ301T 可广泛应用于各种车床、车削中心等。

2) 产品特点

- 内嵌式工业 CPU 板卡,采用超大规模 FPGA 电路设计,功耗低,可靠性高。
- 机械结构紧凑,坚固,散热性好,便于安装维护。
- CNC 面板与操作站采用分体设计。

- SSB3/M3/M2 总线式及模拟量、脉冲等多种控制方式。
- 提供标准的车床用操作面板。
- 8.4 英寸 TFT 液晶显示屏。
- 集成轴控制接口,本机 I/O 接口、外部 I/O 接口、网络接口和 USB 接口。
- 内嵌遵循 IEC61131—3 标准的高速 PLC。
- 支持梯形图编程,梯形图可在线编辑和离线编辑。
- 直观的操作界面,PC 键盘布局,操作快捷方便。
- 具有双向螺距误差补偿、反向间隙补偿、自动零漂补偿,刀具长度及半径补偿功能。

- 采用直线和 S 曲线加减速控制,满足高速,高精加工。
- 提供多种车削循环功能,包括粗、精车、螺纹加工等。
- 主轴换挡、定位、定向及 Cs 轴控制。
- 支持工件程序后台编辑。
- 支持系统配置文件和 PLC 逻辑文件的本机备份或 USB 备份。
- 集成中英文界面显示。
- USB 一键系统升级功能。
- 具有网络化接口,支持远程控制。

7. GJ303 数控装置

1) 产品介绍

GJ303 数控装置(见图 1.9)是基于 PC 平台的开放式普及型车床数控装置,集成一体化操作面板,内嵌全功能 PLC,具有模拟、脉冲、总线三种控制方式,基本配置为 3 轴 2 联动。GJ303 数控装置性价比高,可广泛应用于各种车床。

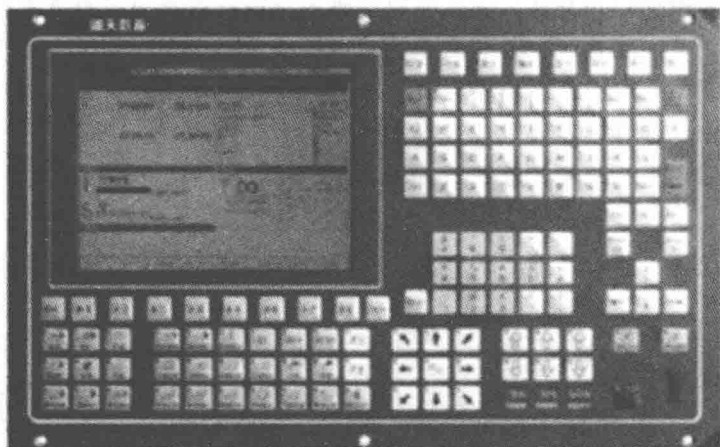
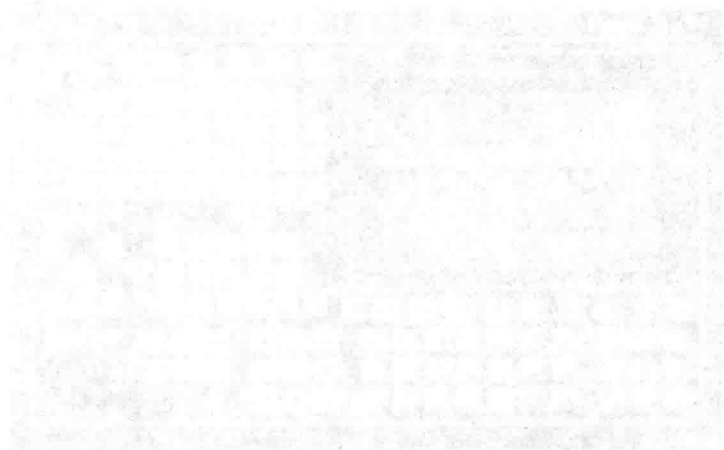


图 1.9 GJ303 数控装置

2) 产品特点

- 8.0 英寸 800×600 高清屏,二维刀具轨迹显示。
- 48 输入/28 输出,可扩展 208 输入/196 输出。
- 内嵌式高速软 PLC,梯形图在线/离线编程,PLC 实时监控。
- 直观的操作界面,PC 键盘布局,操作快捷方便。
- 集成一体化操作面板,48 个功能键。
- 采用直线和 S 曲线加减速控制,满足高速,高精加工。
- 提供多种车削循环功能,包括粗、精车、螺纹加工等。
- 具有双向螺距误差补偿、反向间隙补偿、自动零漂补偿、刀具长度及半径补偿功能。

- 主轴换挡、定位、定向及 Cs 轴控制。
- 用户原点手动对刀,对刀仪自动对刀,提供友好的图形化界面。
- 中英文界面显示。
- 一键式系统升级、参数备份/恢复,远程文件传输。
- 可选附加面板。



第 2 章 几何原理与基础

2.1 数控机床的位置

2.1.1 工件坐标系

为了使数控机床可以按照加工程序给定的位置加工,这些参数必须在一基准系统中给定,而该系统可以被传送给机床轴的运动方向。为此可以使用 X、Y 和 Z 为坐标轴的坐标系。根据 DIN66217 标准,机床中使用右旋、直角(笛卡儿)坐标系,如图 2.1 所示。

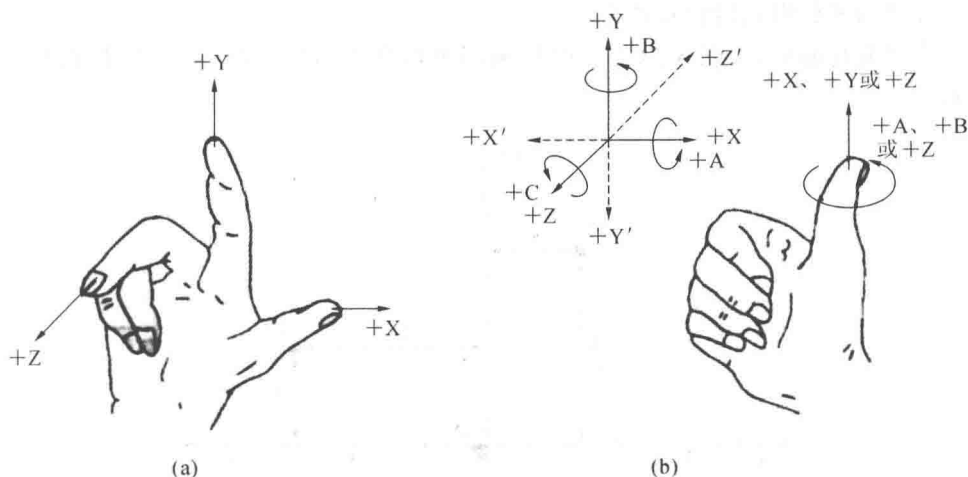


图 2.1 右手直角笛卡儿坐标系和右手螺旋定则

(a) X、Y、Z——右手直角笛卡儿坐标系 (b) A、B、C——右手螺旋定则

标准坐标系:直角坐标系 X、Y、Z

旋转坐标系 A、B、C

工件零点(W)是工件坐标系的起始点,如图 2.2、图 2.3 所示。

有些情况下必须使用反方向位置的参数。因此在零点左边的位置就具有负号

“—”。