

职业院校机电类专业课教材

# 数控机床 故障诊断及维护

主 编 黄云林 吴晓东

副主编 孙智俊

主 审 宋树恢

合肥工业大学出版社

### 内 容 简 介

本书共分九章。内容分别为数控机床概论,数控机床故障诊断与维护,数控机床机械结构、伺服系统和 PLC 的故障诊断与维护, SINUMERIK 810 和 FANUC 0 两种典型数控系统的故障诊断与维护,数控机床典型的故障诊断方法,常用的诊断仪器使用方法,等等。

本书浅显易懂、实例丰富、内容翔实,体现了实用性和可操作性的特点。

本书为职业院校机电类有关专业课教材,还可以作为其他形式的培训教材以及企业中数控机床操作与维护人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床故障诊断及维护/黄云林,吴晓东主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-81093-590-6

I. 数… II. ①黄… ②吴… III. ①数控机床—故障诊断—专业学校—教材 ②数控机床—维修—专业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 109034 号

### 数控机床故障诊断及维护

黄云林 吴晓东 主编

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2007 年 7 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2007 年 7 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787×1092 1/16
电 话	总编室:0551-2903038	印 张	14.5
	发行部:0551-2903198	字 数	340 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	安徽江淮印务有限责任公司
E-mail	press@hfutpress.com.cn	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-590-6

定价:23.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。



## 前 言

数控机床是一种新型的自动化机床,是机电一体化的产品。由于数控机床加工精度高、柔性好、效率高、可以加工形状非常复杂的工件,所以,得到了广泛应用。但是,由于数控机床技术先进、构成复杂,因此,比普通设备更容易出现问题,并且很多问题诊断、排除的难度都比较大。随着数控机床的普及,对数控机床有效利用率的要求越来越高,这一方面要求数控机床的可靠性要高,另一方面,在数控机床出现故障后要求尽快排除,所以,数控机床的维修人员不但要掌握理论知识,而且还要有快速发现问题、解决问题的能力和丰富的实践经验。基于此,编者根据自己多年的教学和维修实践经验,并结合全国众多数控机床用户反映的较为普遍的问题编写了本教材。

本教材共分九章。内容分别为:数控机床概论,数控机床故障诊断及维护,数控机床机械结构、伺服系统和 PLC 的故障诊断与维护, SINUMERIK 810 和 FANUC 0 两种典型数控系统的故障诊断与维护,数控机床典型的故障诊断方法,最后还介绍了常用的诊断仪器使用方法。

本教材编写的主要特点是:

(1)对不同类型的故障,通过列举大量的实例来阐述故障的原因及解决方法。

(2)将数控机床的故障大致分成四大模块:机械结构故障、伺服系统故障、输入/输出(I/O)故障、数控系统故障(对 SIEMENS 和 FANUC 分别研究)。

(3)为便于教学和学习,对每一模块均采用介绍基本知识→故障表现形式→故障诊断方法的叙述形式。

本书为职业院校机电类专业课教材,还可以作为其他形式的培训教材以及企业中数控机床操作与维护人员的参考用书。

使用本教材时,建议安排 120 学时(选学课时不在统计内)。课时分配如下(参考):



章节	内 容	课 时	备 注
第一章	数控机床概论	6	
第二章	数控机床故障诊断及维护	12	
第三章	数控机床机械结构故障诊断及维护	20	
第四章	伺服系统故障诊断	26	
第五章	数控机床 PLC 的故障诊断	18	
第六章	SINUMERIK 810 数控系统的故障诊断及维护	12	
第七章	FANUC 0 数控系统的故障诊断及维护	12	
第八章	数控机床典型故障诊断实例	14	
第九章	常用诊断仪器	(8)	(选学)

本教材由马鞍山工业学校数控培训中心黄云林、吴晓东任主编,孙智俊任副主编,参与编写的还有史广向、刘祥、张顺等。合肥工业大学工业培训中心高级工程师宋树恢同志在百忙之中对本教材进行了认真审读,并提出了许多宝贵意见,我们在此表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中的错误在所难免,望广大读者予以谅解,并批评指正。

编 者  
2007 年 7 月



# 目 录

第一章 数控机床概论.....	(1)
第一节 数控机床的构成.....	(1)
第二节 常用数控系统及数控机床的种类.....	(3)
第三节 数控机床的安装与调试 .....	(12)
第四节 数控机床的验收 .....	(17)
第二章 数控机床故障诊断及维护 .....	(24)
第一节 数控机床故障诊断及维护的概述 .....	(24)
第二节 数控机床故障分类及处理 .....	(29)
第三节 数控机床故障诊断的方法 .....	(38)
第四节 数控机床的维护 .....	(40)
第五节 数控机床的抗干扰 .....	(45)
第三章 数控机床机械结构故障诊断及维护 .....	(50)
第一节 数控机床机械故障诊断的方法 .....	(50)
第二节 主轴部件 .....	(58)
第三节 滚珠丝杠螺母副 .....	(61)
第四节 导轨副 .....	(63)
第五节 刀库及换刀装置 .....	(66)
第六节 液压与气压传动系统 .....	(67)
第四章 伺服系统故障诊断 .....	(72)
第一节 伺服系统的结构和工作原理 .....	(72)
第二节 数控系统现场维修要求 .....	(74)
第三节 主轴驱动系统 .....	(81)
第四节 进给伺服系统 .....	(94)
第五节 位置检测装置故障及诊断.....	(113)



第五章 数控机床 PLC 的故障诊断 .....	(122)
第一节 数控机床的 PLC .....	(122)
第二节 PLC 输入/输出元件 .....	(128)
第三节 PLC 编程基础 .....	(137)
第四节 数控机床 PLC 控制的故障诊断 .....	(143)
第六章 SINUMERIK 810 数控系统的故障诊断及维护 .....	(150)
第一节 系统组成及特点 .....	(150)
第二节 故障诊断及维护特点 .....	(155)
第七章 FANUC 0 数控系统的故障诊断及维护 .....	(160)
第一节 系统组成及特点 .....	(160)
第二节 故障诊断及维护特点 .....	(165)
第八章 数控机床典型故障诊断实例 .....	(179)
第一节 数控机床回参考点故障的处理 .....	(179)
第二节 数控系统断电死机的故障处理 .....	(185)
第三节 加工程序不执行的故障处理 .....	(191)
第九章 常用诊断仪器 .....	(202)
第一节 示波器 .....	(202)
第二节 逻辑测试笔 .....	(204)
第三节 逻辑分析仪 .....	(207)
第四节 集成电路测试仪 .....	(211)
第五节 特征代码分析仪 .....	(215)
第六节 存储器测试仪 .....	(217)
第七节 短路故障追踪仪 .....	(218)
第八节 激光干涉仪 .....	(221)
第九节 球杆仪 .....	(222)
第十节 其他诊断仪器 .....	(223)
参考文献 .....	(225)



# 第一章 数控机床概论

## 第一节 数控机床的构成

### 一、数控机床的概念

数控机床就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

数控技术是近几十年发展起来的自动控制技术,是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法,简称数控(NC; Numerical Control)。

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing)第五委员会对数控机床作了如下定义:

数控机床是一种装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

这里所说的程序控制系统,就是数控系统。

数控系统包括:数控装置、可编程控制器、进给驱动装置及主轴驱动装置等部分。

数控机床是一种高度机电一体化的产品。

### 二、数控机床的产生与发展

数控机床的研制最早是从美国开始的。世界上第一台数控机床是1952年制造出来的,于1955年进入实用阶段。随着电子、计算机、自动控制和精密测量等相关技术的发展,数控机床也在迅速发展和不断更新换代,先后经历了五个发展阶段。

第一阶段:1952~1959年,采用电子管元件构成的专用数控装置(NC)。

第二阶段:从1959年开始,采用晶体管电路的NC系统。

第三阶段:从1965年开始,采用小、中规模集成电路的NC系统。

第四阶段:从1970年开始,采用大规模集成电路的,小型通用电子计算机控制的系统(Computer Numerical Control)。

第五阶段:从1974年开始,采用微型电子计算机控制的系统(Microcomputer Numerical Control 简称MNC)。

前三个阶段的数控系统主要由电路的硬件和连线组成,称为接线逻辑(wired logic NC)或硬件数控系统,它的特点是具有很多硬件电路和连接结点,其电路复杂,可靠性差。第四、第五阶段的数控系统主要由计算机硬件和软件组成,称为CNC数控系统,它的突出特点是利用存储在存储器里的软件控制机床工作,这种系统柔性好,可靠性高。

目前,微机数控系统已经取代了普通的数控系统,形成了现代数控系统。这种系统采用微处理器、大规模及超大规模集成电路,具有很强的程序存储能力和控制功能。这些控制功能是由一系列控制程序(即存储在存储器中的系统管理程序)来实现的。这种数控系统的通用性很强,只需要改变软件或者设置不同的机床数据,就可以适应不同类型机床的控制要求,具有很强的柔性。随着超大规模集成电路的应用以及光电通讯技术的应用,数控系统的



体积日益减小,价格逐年下降,可靠性不断提高,功能也更加强大,数控装置的故障已不是数控机床的主要故障。

### 三、数控装置的构成

数控装置是数控机床的控制核心,它是由软件和硬件两大部分组成的。

软件又包括系统软件和用户软件两大部分。

数控装置的硬件由输入装置、控制器、运算器和输出装置四大部分组成,如图 1-1 所示。数控装置的作用是将输入装置输入的数据,通过内部的逻辑电路或者控制软件进行编译、运算和处理,并输出各种信息和指令,以控制机床的各个部分进行规定的动作。

输入装置接受从各种输入设备(包括纸带机、计算机、编程器、键盘等)输入的指令,经过识别与译码后,分别输入到相应的寄存器(即存储器)中,这些指令与数据将作为控制与运算的原始依据。

控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器与输出装置,以实现机床的各种操作(例如控制滑台沿某一轴运动、主轴调速和冷却液的开关等)以及控制数控机床的工作循环(例如控制运算器的插补运算、各轴的位置控制、输入装置通信的同步控制等)。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断向输出装置送出运算结果,使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂工件的轮廓控制系统,运算器的重要功能是进行插补运算,所谓插补就是将每个程序段输入的工件轮廓上的某起点和终点的坐标数据送入运算器,经过运算,在起点和终点之间进行“数据密化”,并按控制器的指令向输出装置送出运算结果。

输出装置根据控制器的指令,将运算器送来的计算结果输送到伺服系统,经过伺服控制器和伺服放大器驱动相应的坐标轴运动,实现刀具与工件的相对运动。

现代的数控机床均用计算机作为数控装置,计算机的中央处理器(CPU)是一种大规模集成电路,它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片上,输入、输出电路也采用大规模集成电路,即所谓的 I/O 接口。现在的数控装置拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器又分为只读存储器(ROM)和随机存储器(RAM),前者用于存储系统的控制程序,后者存储用户的工件加工程序和系统运行时的工作参数。

### 四、数控机床的构成

数控机床是机电液一体化产品,是集机床、计算机、电机及拖动、自动控制、检测等技术为一体的自动化机床。

数控机床的基本组成包括加工程序、输入输出装置、数控系统、可编程控制器、伺服系统、反馈系统、强电控制、辅助控制装置及机床主体等,如图 1-2 所示。

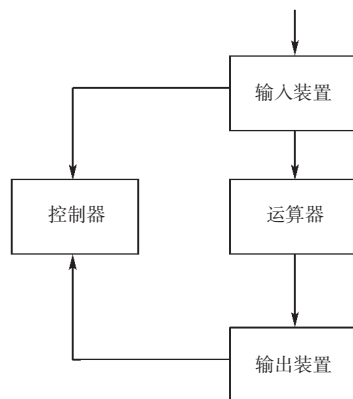


图 1-1 数控装置构成图

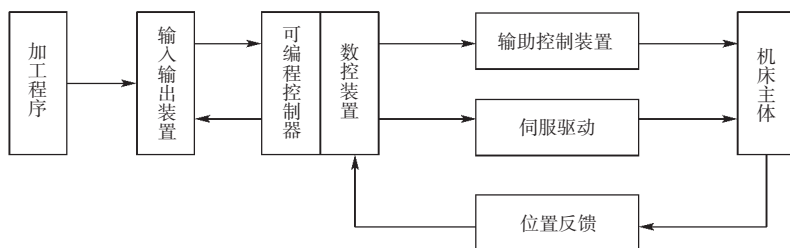


图 1-2 数控机床的组成框图

## 第二节 常用数控系统及数控机床的种类

### 一、常用数控系统

目前,在我国应用较多的数控系统主要有:日本发那科公司的 FANUC 系列数控系统、德国西门子公司的 SINUMERIK 系列数控系统、西班牙 FAGOR 公司的 FAGOR 系列数控系统、法国 NUM 公司的数控系统、德国 HEIDENHAIN 公司的 TNC 系列数控系统等。另外,国内也有多个生产厂家生产数控系统,其中,武汉华中数控系统有限公司的数控系统比较典型。

#### 1. 日本发那科公司 FANUC 系列数控系统

日本发那科公司是世界上最大的专业数控系统生产厂家。相继推出的数控系统主要有 FS3、FS6、FS0、FS10/11/12、FS15、FS16、FS18、FS21/210 等系列。

##### (1) FS6 系列数控系统

具有一般功能和部分高级功能的中档数控系统。其中,6M 适用于铣、镗床和加工中心;6T 适用于车床。系统使用了大容量磁泡存储器、专用大规模集成电路,还具有由用户自行制作变量型子程序的用户宏功能。

##### (2) FS10/11/12 系列数控系统

为多微处理器控制系统,其主 CPU 采用 68000,在图形控制、对话式自动编程控制、轴控制等方面也都有各自的 CPU。FS10/11/12 在硬件方面有了较大的改进,使用了专用大规模集成电路 4 种,厚膜电路 22 种,4MB 的磁泡存储器等,并用光导纤维进行数据传输,使数控装置与机床以及操作面板之间的连接电缆数量大大减少,提高了系统的抗干扰性和可靠性。它的 PLC 装置使用了独特的无触点、无极性输出和大电流、高电压输出电路,简化了强电控制部分。此外,PLC 的编程不仅可以使使用梯形图,还可以使用 PASCAL 语言,便于用户开发软件。FS10/11/12 系列数控系统还增加了专用的宏功能、自动计划功能、自动刀具补偿功能、刀具寿命管理、彩色图形显示等内容。

该系列数控系统有很多规格,可用于各种机床。它的规格型号有:M 型、T 型、TT 型和 F 型等。其中,M 型用于加工中心、铣床和镗床;T 型用于单主轴单刀架数控车床;TT 型用于单主轴双刀架或双主轴双刀架数控车床;F 型是对话型数控系统。

##### (3) 发那科 0 系列数控系统

它的主要特点是体积小,适用于机电一体化的小型数控机床。发那科 0 系列数控系统也采用多微处理器。0A 系列主 CPU 采用 80186;0B 系列主 CPU 采用 80286;0C 系列主



CPU 采用 80386。发那科 0 系列数控系统在具有 RS-232C 串行的接口之外,又增加了具有高速串行接口的远程缓冲器,以便实现 DNC 运行。发那科 0 系列数控系统采用了新型高速和高集成度微处理器,使用专用集成电路 6 种(其中 4 种为低功耗 CMOS 专用大规模集成电路),专用的厚膜电路 9 种。

发那科 0 系列数控系统的主要功能有:彩色图形显示、会话菜单式编程、宏功能、录返功能等,自推出以来,效果非常好,成为使用非常广泛的数控系统之一,应用至今。

发那科 0 系列数控系统有多种规格。其中,F0-MA/MB/MEA/MC/MF 用于加工中心、铣床和镗床;F0-TA/TB/TEA/TC/TF 用于车床;F0-TTA/TTB/TTEA/TTC 用于单主轴双刀架或双主轴双刀架的四轴控制车床;F0-GA/GB 用于磨床;F0-PB 用于回转头压力机。

北京发那科机电有限公司生产的发那科(BEIJING-FANUC)0 系列有 0C 和 0D 系列。D 为普及型,C 为全功能型,与之配套的有系列交流伺服电机和系列交流主轴电机。BEIJING-FANUC Power Mate 0 为发那科 0 系列的派生产品,与发那科 0 系列比较,功能简单,结构更为紧凑,并且价格便宜。

#### (4)FS15 系列数控系统

又称为 AI-CNC 系统(人工智能数控系统)。FS15 系列采用模块式多总线(FANUC BUS)结构,是多微处理器控制系统,主 CPU 为 68020,还有一个子 CPU(SUB CPU),在轴控制、图形控制和自动编程等功能中也有各自的 CPU。FS15 系列是按功能模块结构构成的,可根据不同的需要构成最小至最高系统,可控制 2~15 根轴,同时还有 PMC 的轴控制功能。FS15 系列使用了高速信号处理器(DSP),应用现代控制理论的各种控制算法,在系统中进行在线控制,同时,FS15 系列数控系统还采用了高速度、高精度、高效率的数字伺服单元及绝对位置检测脉冲编码器(每周 10 万个脉冲),能应用在 10000rpm 的高速运转系统中。

FS15 系列数控系统适用于大型数控机床、多轴控制和多系统控制。

#### (5)FS16 系列数控系统

该系列数控系统是在 FS15 系列之后开发的产品,其性能介于 FS0 系列和 FS15 系列之间。在作为控制用的 32 位复合指令集计算机 CISC(Complex Instruction Set Computer)上,又增加了 32 位精减指令集计算机 RISC(Reduced Instruction Set Computer),用于高速计算,执行指令速度可达到 20~30MIPS(Million Instruction Per Second,每秒 100 万条指令),处理一个程序段可缩短到 0.5ms,在连续 1mm 的移动指令下,能实现的最大进给速度可达 120mm/min。FS16 系列采用了三维安装技术,使电子元器件能够高密度安装,大大减小了系统的体积。FS16 系列采用了薄型 TET(薄膜晶体管)彩色液晶显示器等新技术。

#### (6)FS18 系列数控系统

FS18 系列数控系统是紧跟 FS16 系列推出的最新 32 位数控系统,在功能上也是介于 FS0 系列和 FS15 系列之间,但低于 FS16 系列。FS18 系列采用了高密度三维安装技术,与 FS0 系列相比,其安装密度提高了 3 倍。该系列采用 4 轴伺服控制、2 轴主轴控制。在操作性能、机床接口、编程等方面,FS18 系列与 FS16 系列之间具有互换性。

## 2. 德国西门子 SINUMERIK 系列数控系统

德国西门子公司是生产数控系统的著名厂家,系列产品有 SINUMERIK3、SINUMER-



IK8、SINUMERIK810/820、SINUMERIK805、SINUMERIK850/880、SINUMERIK840 和 SINUMERIK802 系统。

#### (1) SINUMERIK8 系列数控系统

该系列产品主要型号有 SINUMERIK8ME/8ME-C、Sprint8M/Sprint8ME/Sprint8ME-C。主要用于钻床、镗床和加工中心等机床。SINUMERIK8ME/8ME-C 主要用于大型镗铣床；SINUMERIK8T/Sprint8T 主要用于车床（Sprint 系列具有蓝图编程功能）。

SINUMERIK8 系列数控系统采用模块化结构，由主控制模块、电源模块、存储器模块、各种位置模块、测量接口模块、操作面板、译码电路模块、PLC 与 NC 接口模块（适用于外部 PLC）、PLC 和 CNC 信号传递模块（适用于集成 PLC）及系统软件模块等组成。

主要特点如下：

①采用多微处理器控制系统，主 CPU 使用 Intel8086，各种位置控制模块上用的 CPU 也是 Intel8086，另一个子 CPU 也是 Intel8086。

②最多可扩展到控制 12 个坐标轴，具有轮廓编程及快速处理功能，操作方便。

③位置控制单元从属于主控制板的控制和管理。可进行坐标轴的插补运算，位置检测、比较和控制等。

④有专门用于 FMS 中的 LSV-2 处理器，可保证数据迅速传到上级计算机去。

⑤PLC 有 256 个定时器和计数器，1024 路输入输出。可用 C 语言对 PLC 进行编程。可编程控制器不仅能完成刀具管理和刀具寿命监控，还能进行工件监控和工件输送设备控制。

#### (2) SINUMERIK3 系列数控系统

该系列数控系统是中档全功能数控系统，是西门子子公司销售量最大的系统。有 M 型、T 型、TT 型、G 型和 N 型等，适用于各种机床的控制。

SINUMERIK3 系列数控系统主要由中央处理单元、存储器模块、操作面板接口、外部连接接口、PLC 中央处理单元、PLC 存储模块、机外编程器接口、逻辑模块及各种输入/输出模块等组成。

其主要特点如下：

①主 CPU 采用 Intel8086，可进行轮廓轨迹控制，控制 4 轴，任意 3 轴联动。

②行程范围±99m，输入输出分辨率 0.001mm。具有很强的组合性，最多可组合 4 个 NC 单元和 2 个 PLC。

③PLC 采用 S5130W/B，输入输出最多可达各 512 路。用户程序最大为 16KB EPROM + 2.7KB RAM。可连接 15 个附加插板位置的控制装置，可内置或者外接第二个 PLC、第三个 PLC，具有 2 倍或者 3 倍用户程序存储容量。

#### (3) SINUMERIK810/820 系列数控系统

SINUMERIK810 与 SINUMERIK820 在体系结构和功能上相近。该系列产品分为 M、T、G 型等。M 型主要用于铣床、镗床和加工中心；T 型主要用于车床；G 型主要用于磨床。SINUMERIK810/820 系列数控系统一般适用于中小型机床。

SINUMERIK810/820 系列数控系统由 CPU 模块、测量模块、系统程序存储器模块、文字图形处理模块、接口模块、I/O 模块、CRT 显示器及操作面板组成。



其主要特点如下:

①CPU 模块上的主 CPU 为 80186,采用通道式结构,主通道、辅通道以同一方式工作,通道由 PLC 同步。

②可控制 2~4 个坐标轴,可实现任意两坐标直线、圆弧插补;任意三坐标螺旋线插补;三坐标直线插补,插补范围为 $\pm 99\text{m}$ 。

③具有屏幕对话功能和图形功能,通过 5 个软键和软键菜单操作编程,并可用图形模拟来调试程序。也可采用极坐标、圆弧半径、轮廓描述(蓝图)编程。

④在加工的同时,可以输入加工程序,以缩短停机时间。数据或程序可通过两个 RS-232C(V24)接口或 20mA 电流环(TTY)接口输入。

⑤PLC 最大为 128 路输入/64 路输出,用户程序 12KB,小型扩展机箱 EU 可安装 SINUMERIK I/O 模块,也可选 SIMATIC U 系列模块和 WF725/WE726 定位模块。

⑥具有丰富的诊断功能,有内部安全监控、主轴监控和接口诊断等功能。在屏幕上可以显示、修改机床数据,可以显示系统和机床(PLC)报警信息及 PLC 的输入输出和内部标志位的状态。

⑦编程和操作简便、运行可靠、维修方便。操作者可以利用软键调用软件菜单功能,输入加工程序,还可以快速模拟程序。

⑧有 RS-232C 接口可以进行数据传输。

#### (4) SINUMERIK850/880 系列数控系统

具有机器人功能,有 850T、880M、880T 等规格。850 和 880 在体系结构上相似,但在功能上有明显差别。SINUMERIK850/880 最多可控制 30 个主、辅坐标轴和 6 个主轴,可实现 16 个工位联动控制。

主要特点如下:

①SINUMERIK850/880 为紧凑型通道结构,多微处理器数控系统,其主 CPU 使用 80386,除了数控用 CPU 之外,还有伺服用 CPU、通信用 CPU 及 PLC 用 CPU。上述 CPU 除通信用 CPU 外,均可扩展至 2~4 个 CPU。该系统有很强的通信功能,可与计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacture System)进行通信。

②用户程序存储器 RAM 容量为 128KB,EPROM 容量也为 128KB,用户数据存储器 RAM 容量为 48KB。

③COM 部分负责零件程序、子程序共用数据的存储和管理。它有两个通道,一个用于零件程序的图形仿真,一个用于输入输出接口(4 个 V24 接口)。中央程序存储器 RAM 容量可达 1280KB。

④采用 SINEC HI 总线连接方式的计算机联网,在加工的同时,与柔性制造系统进行信息交换。SINEC 是在以太网的基础上开发的功能很强的通讯功能,可与 CIMS 通讯,能适应机床复杂化和多功能化的发展需要。

⑤输入分辨率可选择 0.0001mm、0.001mm、0.01mm,回转坐标轴为 0.001°;位置控制分辨率与输入分辨率无关,可选择 0.00005mm、0.0005mm、0.005mm,回转坐标轴为 0.0005°。

进给和快速移动与输入分辨率为:分辨率为 0.01mm 时,进给和快速移动 0.1m/min~980m/min;0.001mm 时,0.01m/min~98m/min;0.0001mm 时,0.001m/min~9.8m/min。



⑥ PLC 输入输出最大 1024 路, 延时器 256 个, 计数器 128 个。

#### (5) SINUMERIK840C 系列数控系统

该系列数控系统是超级全功能数控系统, 从功能上覆盖了 850/880 系统的功能, 最多控制 30 个轴(其中最多 6 个主轴), 具有 5 轴联动。该系列产品适用于全功能车床、铣床、加工中心及 FMS、CIMS 等。

主要特点如下:

① 4 个轴同时独立运行, 5 轴联动, 2 个手轮同时独立运行, 具有双溜板和双主轴结构。输入分辨率  $10\mu\text{m}\sim 0.001\mu\text{m}$ , 旋转坐标轴  $0.01^\circ\sim 0.001^\circ$ 。

② 采用 32 位 CPU, 配有计算机辅助功能, 使用标准的多任务操作系统。

③ PLC 用户程序存储器 32KB(RAM) 可扩展至 256MB, 用户数据存储器 8KB 可扩展至 48KB。数控系统存储器 1512KB, 硬盘可扩至 40MB。

④ 3964R 或 LSV2 接口共 4 个, 具有通用 RS-232C(V24) 和功能全面的文件管理模式。在加工时, 可以读入和输出程序及 PLC 报警。

#### (6) SINUMERIK840D 系列数控系统

该系列是全数字数控系统, 具有高度模块化及规范化的结构, 它将数控系统和驱动控制集成在一块板子上, 将闭环控制的全部硬件和软件集成在  $1\text{cm}^2$  的空间中, 便于操作、编程和监控。系统提供中文语言界面显示可供选择。840D 系统包括操作面板(OP)、机床控制面板(MCP)、NCU 模块、驱动模块(611D)和可编程控制器 S7-300。

① 操作面板(OP)分为 OP030、OP031、OP032, 它包括一个单显或彩显、字母数字键、功能键和人机通讯模块 MMC, MMC 又分为 MMC100、MMC101 和 MMC102。MMC 模块运行在 Windows 环境下, 包含一个标准用户接口。MMC100 模块包含串行接口 RS485、CNC 控制的多点接口(MPI)、VGA 接口以及为 CNC 提供的键盘接口。MMC101 和 MMC102 模块包括第二个串行通讯接口、连接打印机的并行接口、鼠标和键盘接口、软驱接口等。

② 机床控制面板 MCP 包括与操作面板 OP 的接口、电源接口、急停按钮、开关 S3、各种操作控制按键等。开关 S3 用于波特率设定、循环时间参考值设定、总线地址设定(包括 OP、PLC 总线)。

③ NCU 模块包含 CNC 的 CPU、PLC 的 CPU 以及完成通讯任务的微处理器, 还有至 OP 和 MCP 的多点接口(MPI)、到可编程控制的 I/O 接口、编程器接口、到驱动模块(611D)和电源供应器模块 I/R 模块的数字驱动总线、连接手轮及串行通讯的 I/O 接口。

④ 驱动模块 611D 包括电源供应器 I/R 模块、伺服轴模块 FDD 及伺服电机、主轴伺服模块 MSD 及主轴电机。

⑤ 可编程控制器使用 S7-300, 采用模块化结构设计, 其总线集成在每块模板上, 节省了专门的总线底板, I/O 配置灵活。S7-300 编程接口可兼作 MPI 接口, 可方便地构成网络。PLC 的存储量为 24KB, 最小的循环时间为  $0.3\text{ms}/\text{KB}$ , 最大的输入输出点可扩展至 496 点。它包括电源模块(PS)、中央处理单元(CPU)、信号模块(SM)、功能模块(FM)、通讯处理器(CP)。

840D 是先进的全功能数字式数控系统, 整个数控系统(包括 PLC)缩小为单个模块, 并集成于驱动系统中, 中英文操作显示, 最多控制 31 个轴(最多 31 个主轴), 能完成多轴非线性插补, 适合于卧式加工中心、龙门镗铣床、磨床等数字化机床及其他专用机床。



### (7) SINUMERIK810D 系列数控系统

该系统是在 840D 系统的基础上开发的新型数控系统,有功能强大的软件。主要特点如下:

① SINUMERIK810D 的数控系统与驱动之间没有接口。810D 将数控系统和驱动控制集成在一块板子上,所以, SINUMERIK810D 系统没有驱动接口。

② 软件方面提供了新的使用功能,极大地提高了 810D 的应用范围。例如,提前预测功能、坐标变换功能、固定点停止、刀具管理、样条(A、B、C 样条)插补功能、压缩功能、温度补偿功能等。

③ SINUMERIK810D 集成多种功能和选件,它不仅仅局限于数控机床配套,在木材加工、石材处理和包装等行业也有广阔的应用前景。

### (8) SINUMERIK802 系列数控系统

802S 和 802C 是经济型数控系统,可带三个进给轴。802S 采用带脉冲及方向信号的步进驱动接口,可配接 STEPDRIVE C/C+ 步进驱动器和五相步进电动机或 FMSTEP-DRIVE611 驱动装置。802S/802C 除三个进给轴外,还有一个  $-10V \sim +10V$  的接口,用于连接主轴驱动。SINUMERIK802/802C 包括操作面板、机床控制面板、NC 单元、PLC 模块,NC 单元及 PLC 模块可安装在通用的安装导轨上。

SINUMERIK802D 是数字式的数控系统,可控制最多 4 个数字进给轴和一个主轴。数控系统通过 PROFIBUS 总线与 I/O 模块和数控驱动模块(SIMODRIVE611 universal E)相连接,主轴通过模拟接口控制。

SINUMERIK802/802C/802D 数控系统的 PLC 采用 SIMATIC S7-200PLC 指令编程。

## 3. 日本三菱电机公司的数控系统

日本三菱电机公司的数控系统商标为“MELDAS”,是英文“Mitsubishi Electric Digital Automation System(三菱电子数字自动系统)”的缩写。该公司不但自己生产数控系统,而且允许机床制造商采用 MELDAS 的硬件和基本软件,与机床制造商一起开发适合机床特殊要求的数控系统,并可以采用机床制造商的商标,如日本山崎铁工所(MRZUK)的 MAZATROL 系列数控系统、日本大阪机工(OKK)的 OKK 系列 CNC、德国的特虏伯公司(TRAUB)的 TX-S 系列数控系统,都是在三菱产品的软硬平台上,针对各自机床的特点,开发出了适合各自机床特点的独特功能,从而使机床的整机性能大为提高,各具特色。

### (1) MELDAS-M3/L3 系列数控系统

该系列数控系统是采用高速 32 位机的多 CPU 系统,具有如下特点:

① 在 PC 与 NC 之间用 DDB(直接数据总线)进行高速数据连接。

② NC 与伺服、主轴之间用总线连接,提高了系统可靠性。

③ 加工效率高。具体措施有:采用高速进给率控制,当控制单位选择为  $0.001\text{mm}$  时,可达  $60\text{m}/\text{min}$ 。当在  $1\text{mm}$  连续加工指令时,可达  $4.2\text{m}/\text{min}$  的高速度;集成式 PLC 高速化,比以前的产品速度增快两倍;快移指令 G0 具有斜直达功能,可缩短定位时间;直线进给移动指令 G01 具有插补前加/减速功能。由于采用固定加速的常加速度,从而缩短了加工时间;具有双系统同时加工功能,可利用此功能实现螺纹切削。

④ 具有高精度控制功能。具体措施有:前馈式进给,采用主动的前馈式伺服控制,使实



实际轨迹形状近似于指令轨迹；向量精插补，使插补的间距更细，从而在圆弧选择加工时避免误差，显得更圆滑。最佳转角减速，运用插补前最适当的直线加减速，并由程序路径向量判定倒角减速，避免因转角停留而形成尖锐边缘，从而可切削出精确的倒角。采用相对位置误差补偿，在机械位置，求得适当的补偿时机。

⑤与以往产品比，体积缩小一半。

⑥具有强大的自诊断功能，能对加工程序格式错误进行显示，能对操作错误进行报警，可以显示自动运行停止的原因，能显示急停发生的原因，可以对 PLC 出错原因进行显示，一次最多可以显示 4 条出错信息，每条信息最长 32 个字符。具有伺服监控显示功能，当伺服系统发生位置环跟踪误差、电机旋转速度或其他误差时，将在显示器上显示各轴的情况。

⑦具有适合各种应用及目的的最佳开放功能，可利用 BASIC 语言和通用宏指令语言（类似 C 语言，但又较 C 语言简单）开发出用户专用画面。

⑧完善的用户软件开发环境，利用在线的 RAM 卡开发 PLC，另外，可利用 EPROM 写入器，将 RAM 上已调试好的 PLC 用户程序写入 EPROM，以备长期使用。

### (2) MELDAS—520A 系列数控系统

该系列是 32 位的数控系统，具有如下特点：

①安装面积小，与 300 系列系统相比，减少一半。采用的技术：高密度电子器件及在主回路线上使用大电流汇流条，从而实现了高度集成化；采用转换器和其他技术，使数控和驱动装置实现一体化。

②重量轻、体积小，采用了超薄彩色液晶显示器，使显示器的厚度为 356mm(14in)，是彩色显示器的 1/4，重量是其 1/6。另外，由于采用了小型化的检测装置，缩短了伺服电机的长度。

③使用视窗功能显示器，可同时观看多个信息画面。

④开发式系统，可以利用通用计算机和 workstation 开发大型的软件和梯形图。而且可用 C 语言进行 PLC 的开发。

⑤采用平滑高增益(SHG)伺服系统，有优良的位置环响应，满足复杂、高速、高精度加工的要求。在速度环中加入了自适应衰减控制，自动抑制机床共振，提高增益。

⑥具有高速主轴直接定位功能，减少了定位时间。

⑦具有快速移动时的瞬时定位功能，降低了加工时间。

### (3) MELDAS—50 系列数控系统

该系列是 32 位数控系统，其中 50D 用于钻削中心；50M 用于铣床和加工中心，50L 用于车床；50G 用于磨床。特点如下：

①采用模块化结构，使体积大为减少，数控装置及伺服、主轴模块高度仅为 168mm。可以方便地增减伺服轴数、输入输出接口以及通信装置等扩展功能。

②通过高速串行连接，实现 I/O 装置与 NC 的分离配置，最大限度地利用了空间。

③能与计算机通信，所以不需要专用开发工具，在计算机上就能实现程序及参数的输入和梯形图的开发。

④可靠性更高。这是通过进一步降低发热，减少器件个数，简化配线来实现的。具体措施为：在伺服驱动系统中，采用低损耗的智能动力器件；采用简化配线的小型高速分离 I/O。

⑤利用先进的伺服技术，实现高速平滑的运转。在位置环上，采用平滑高增益(SHG)



控制。利用响应特性良好,且稳定的位置环的控制方式实现高增益;平稳的加减速特性减少了机械振动,即使在紧急停机或停电时,也可以进行平稳的减速控制;利用高速定位功能,缩短了循环时间。由于采用了上述措施,实现了高速进刀、高速定位和高速加工。

## 二、数控机床的分类

数控机床品种繁多,结构、功能各不相同。

### 1. 按工艺用途分类

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

(2)金属成型类数控机床 包括数控冲床、数控剪板机、数控折弯机和数控压力机等。

(3)数控特种加工机床 包括数控线切割机、数控淬火机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

(4)其他类型数控机床 包括三坐标测量机、数控对刀仪、数控绘图仪等。

### 2. 按照运动轨迹分类

#### (1)点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是只控制移动部件从一个位置运动到另一位置的准确定位,而它们运动过程的轨迹没有严格要求,在移动和定位过程中不进行任何加工。因此,为了尽可能地减少移动部件的运动时间和定位时间,两相关点之间的移动先是快速移动到接近目标的位置,然后进行连续减速,使之慢速接近定位点,以保证定位精度。如图 1-3 所示,在 A 处铣孔后,不要求路径,可以走任意轨迹,无论直线、折线还是曲线,只要达到 B 点准确定位,然后在 B 点铣孔。

这类机床主要有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控点焊机、数控折弯机等,其相应的数控装置称为点位控制装置。

#### (2)直线控制数控机床

直线控制数控机床也称平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路径(即轨迹),但其路径只是与机床坐标轴平行的直线,也就是说,同时控制的坐标轴只有一个(即数控装置可以不具备插补运算功能),在移动的过程中,刀具能以指定的进给速度进行切削,一般只能加工矩形、台阶形工件。如图 1-4 所示,Z 轴滑台带动工件到达磨削位置,然后 X 轴滑台带动砂轮快速接近工件,接近工件后,开始磨削工件的外圆,两个轴不同时运动。

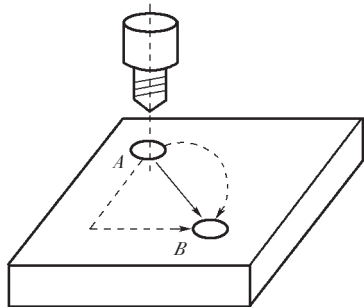


图 1-3 点位控制示意图

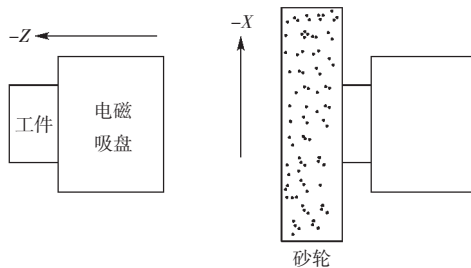


图 1-4 直线控制示意图



这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控镗铣床、数控磨床等。

### (3) 轮廓控制数控机床

轮廓数控机床也称连续控制数控机床,其特点是能同时控制两个或两个以上的坐标轴进行联动,也就是对坐标轴进行插补控制,现在大多数数控机床都具有轮廓控制功能。它不仅控制坐标轴的终点位置,还要控制加工过程中每一点的位置和速度,加工出任意形状的曲线或曲面。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算的功能,即根据加工程序编制的轨迹(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学运算,把直线或曲线的形状描述出来,并一边运算,一边根据计算结果向各坐标轴伺服运动控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求的轮廓相符。在运动过程中,刀具对工件表面进行连续切削,可以进行各种斜线、圆弧、曲线的加工。图 1-5 是轮廓控制的示意图。

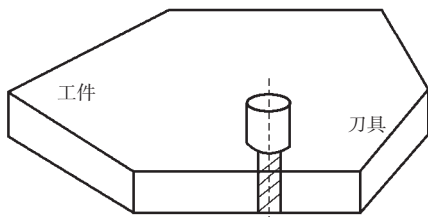


图 1-5 轮廓控制示意图

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控磨床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓数控装置,现在绝大多数数控装置都具有轮廓控制功能。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控磨床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓数控装置,现在绝大多数数控装置都具有轮廓控制功能。

## 3. 按位置控制方式分类

### (1) 开环位置控制系统

这类机床的位置控制系统是开环的,即没有位置检测反馈。通常,进给驱动电机采用步进电机,该类电机的主要特征是控制电路通过发出的脉冲数,控制步进电机旋转的步距角来控制进给量。由于没有位置反馈,进给传动链的误差不能进行校正补偿,所以控制精度较低。但开环系统结构简单,运行平稳,成本低、使用维修方便,可应用在精度要求不高的经济型数控机床上。

### (2) 半闭环位置控制系统

半闭环位置控制系统是指位置反馈元件(如旋转编码器)安装在伺服电机轴上或者安装在滚珠丝杠轴端上,通过测量滚珠丝杠的旋转角度,间接测量坐标轴的直线位移,然后反馈至数控装置,由数控装置与指令值比较,用比较后的差值进行控制,使坐标轴继续运动,直到差值消除为止,这种间接得到位置反馈的控制系统称为半闭环位置控制系统。由于半闭环位置控制系统没有将坐标轴的传动丝杠螺母结构包括在位置闭环之内,所以,传动丝杠螺母机构的误差仍然影响坐标轴的位移精度。

半闭环位置控制系统调试方便,稳定性好,目前应用比较广泛,大部分数控机床采用的是半闭环位置控制系统。

### (3) 全闭环位置控制系统

全闭环位置控制系统是在机床移动机构(如坐标轴滑台)上直接装有直线位置检测装置(如直线光栅尺),将检测到的坐标轴实际位置反馈给数控装置,数控装置将反馈信号与指令信号相比较,用比较后的差值进行控制,使坐标轴继续运动,直到差值消除为止,这种直接得到位置反馈的控制系统称为全闭环位置控制系统。

由于全闭环位置控制系统的位置检测包含了进给传动链的全部误差,如滚珠丝杠螺母副、导轨副的间隙等,因而可达到很高的精度。但是,由于位置检测反馈过程中包括的不稳定因素较