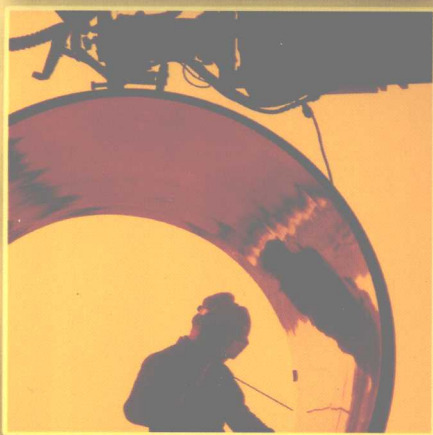




浙江省高等教育重点建设教材
职业教育数控技术应用专业规划教材

数控原理与系统

吴晓苏 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等学校工程力学专业教学指导委员会
机械类专业教学指导委员会推荐教材

数控原理与系统

熊维成 主编



中国机械工业出版社

浙江省高等教育重点建设教材
职业教育数控技术应用专业规划教材

数控原理与系统

吴晓苏 姚建飞 潘建峰 编著
吴功才 张米雅 姜晓强
范超毅 主审



机械工业出版社

本书为浙江省高等教育重点建设教材之一。全书共8章,有数控系统概述、数控加工程序的输入与预处理、数控插补算法原理、开环进给驱动系统、闭环进给伺服驱动系统、主轴驱动系统、可编程序机床控制器、典型数控系统等内容。

本书的编写,融合了编著者的教学、科研和生产实践经验。其内容丰富,深入浅出,结构严谨、清晰,突出教与学的可操作性。从单片机的工作原理方法着手深入数控原理与系统的研究,回避制造类专业学生较难掌握计算机控制技术的软肋,从而使学生掌握数控机床的原理与内部系统。

本书可作为高职高专院校数控技术、机电一体化技术及相关专业的教学用书,也可作为从事数控技术、机电一体化技术专业的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与系统/吴晓苏等编著. —北京:机械工业出版社,2008.8
浙江省高等教育重点建设教材. 职业教育数控技术应用专业规划教材
ISBN 978-7-111-24504-9

I. 数… II. 吴… III. 数控系统—高等学校:技术学校—教材
IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第096002号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:崔占军 版式设计:霍永明 责任校对:陈立辉

封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2008年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·368千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24504-9

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379201

封面无防伪标均为盗版

前言

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,其技术范围覆盖机械制造技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术、软件技术等。数控技术的应用给传统制造业带来了革命性的变化。

高等职业教育必须走“首岗适应、多岗迁移、可持续发展”的道路。对于制造类专业的学生,首先必须有多岗的职业技能,同时更需有可持续发展的能力。本书的编写,注重教与学的可操作性,从单片机的工作原理方法着手去深入数控原理与系统的研究,回避制造类专业学生较难掌握计算机控制技术的软肋,从而使学生掌握数控机床的原理与内部系统。这样的教学思路,经实践证明是行之有效的。本思路的提出得到浙江省教育厅的高度重视与支持,本书为浙江省 2006 年高等教育重点建设教材(浙教计[2006]151 号文件)。

本书的编著者有杭州职业技术学院吴晓苏(第 3、4、7 章);浙江交通职业技术学院姚建飞、张米雅(第 5、6 章);杭州职业技术学院潘建峰、吴功才,浙江机电职业技术学院姜晓强(第 1、2、8 章)。全书由吴晓苏、潘建峰统稿。江汉大学范超毅教授任主审。本书在编写过程中得到许多同行的支持与帮助,特别是友嘉实业集团合作开发课程在此深表感谢。

由于编写时间仓促,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

前言	3.1 插补算法概述	51
第1章 数控系统概述	3.2 逐点比较法(SSV法)插补算法	54
1.1 数控系统的基本概念	3.2.1 逐点比较法直线插补算法	54
1.2 数控系统的组成及工作过程	3.2.2 逐点比较法圆弧插补算法	64
1.3 数控系统的分类	3.3 数字积分法(DDA法)插补算法	72
1.4 数控装置的硬件结构	3.3.1 直线插补原理	72
1.4.1 单微处理机与多微处理机结构	3.3.2 圆弧插补原理	74
1.4.2 大板式结构与功能模块式结构	3.4 数据采样法(扩展DDA法)插补算法	79
1.5 数控系统的软件结构	3.4.1 插补周期与位置控制周期	79
1.6 数控系统的发展趋势	3.4.2 数据采样法直线插补	80
思考与练习题	3.4.3 数据采样法圆弧插补	83
第2章 数控加工程序的输入与预处理	思考与练习题	85
2.1 数控加工程序的输入	第4章 开环进给驱动系统	86
2.1.1 键盘输入	4.1 开环进给驱动系统概述	86
2.1.2 网络通信方式输入	4.2 步进电动机	87
2.1.3 数控加工程序的输入过程	4.2.1 步进电动机原理	87
2.1.4 数控加工程序的存储	4.2.2 步进电动机的性能指标	90
2.2 数控加工程序的译码与诊断	4.2.3 步进电动机的选用	92
2.2.1 数控加工程序的译码	4.2.4 步进电动机的脉冲驱动电源	98
2.2.2 数控加工程序的诊断	4.2.5 步进电动机的微步距控制技术	104
2.2.3 软件实现	4.2.6 步进电动机与微机的接口技术	110
2.3 刀具的补偿	4.3 开环数控系统软件设计	112
2.3.1 刀具半径补偿	4.3.1 开环数控系统软件的内容	112
2.3.2 刀具长度补偿	4.3.2 步进电动机的环行分配	113
2.4 其他预处理	4.3.3 开环数控系统软件的速度控制	118
2.4.1 辅助功能处理	4.3.4 提高开环进给伺服系统精度的措施	124
2.4.2 速度处理	4.4 插补算法程序设计	126
思考与练习题		
第3章 数控插补算法原理		

4.4.1 逐点比较法直线插补算法程序设计	126	6.3 主轴分段无级变速及控制	190
4.4.2 逐点比较法圆弧插补算法程序设计	130	6.4 主轴的进给功能与准停控制	192
4.4.3 数字积分法直线插补算法程序设计	134	思考与练习题	197
4.4.4 数字积分法圆弧插补算法程序设计	137	第7章 可编程序机床控制器	198
思考与练习题	140	7.1 可编程序控制器概述	198
第5章 闭环进给伺服驱动系统	141	7.2 FANUC-0IB 系统内置式 PMC 的工作原理	200
5.1 闭环伺服驱动系统概述	141	7.3 PMC 编程指令	204
5.1.1 数控机床伺服系统的组成	141	思考与练习题	207
5.1.2 数控机床对伺服系统的要求	142	第8章 典型数控系统	208
5.1.3 数控机床的位置控制与速度控制	142	8.1 经济型数控系统	208
5.2 闭环直流伺服驱动系统	147	8.1.1 经济型数控系统的特点	208
5.2.1 直流伺服电动机	147	8.1.2 经济型数控系统的技术参数	209
5.2.2 晶闸管直流伺服驱动装置	149	8.1.3 经济型数控系统的一般结构	210
5.2.3 直流脉宽调制伺服驱动装置	154	8.1.4 经济型数控系统举例	212
5.3 闭环交流伺服驱动系统	163	8.2 典型数控系统简介	214
5.3.1 交流伺服电动机	163	8.2.1 FANUC 数控系统	214
5.3.2 交流异步电动机伺服驱动装置	164	8.2.2 SIEMENS 数控系统	219
5.3.3 交流同步电动机伺服驱动装置	180	8.2.3 华中数控系统	223
思考与练习题	184	8.3 开放式数控系统	227
第6章 主轴驱动系统	185	8.3.1 开放式数控系统的前景	227
6.1 主轴驱动系统概述	185	8.3.2 开放式数控系统的特点	228
6.2 主轴驱动系统的工作原理	186	8.3.3 基于 PMAC 的开放式数控系统	229
		8.3.4 基于 RT-Linux 的数控系统简介	235
		思考与练习题	238
		参考文献	239

数控系统概述

本章重点介绍数控系统的概念，数控系统的组成及工作过程，数控系统的分类，数控系统的硬、软件结构，数控系统的发展趋势。通过学习，掌握数控系统的概念，对数控系统的组成及各部分的作用有一个较完整的认识；掌握点位、直线和轮廓控制系统以及开环、半闭环和闭环控制系统的组成与特点；了解数控系统的硬软件结构；对数控系统的发展趋势有一个较全面的了解。

1.1 数控系统的概念

数字控制（NC，Numerical Control）简称数控，是指利用数字化的代码构成的程序对控制对象的工作过程实现自动控制的一种方法。数控系统（NCS，Numerical Control System）是指利用数字控制技术实现的自动控制系统。数控系统中的控制信息是数字量（0，1），它与模拟控制相比具有许多优点，如可用不同的字长表示不同精度的信息，可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作，特别是可用软件来改变信息处理的方式或过程，具有很强的“柔性”。

数控设备则是采用数控系统实现控制的机械设备，其操作命令是用数字或数字代码的形式来描述，工作过程是按照指定的程序自动地进行。装备了数控系统的机床称之为数控机床。数控机床是数控设备的典型代表，是具有高附加值的技术密集型产品，实现了高度的机电一体化。它集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术于一体。其本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化操作。其他数控设备包括数控雕刻机、数控火焰切割机、数控测量机、数控绘图机、数控插件机、电脑绣花机、工业机器人等。

数控系统的硬件基础是数字逻辑电路。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的，因而被称之为硬件数控系统。随着微型计算机的发展，硬件数控系统已逐渐被淘汰，取而代之的是当前广泛使用的计算机数控系统（CNC，Computer Numerical Control）。CNC系统是由计算机承担数控中的命令发生器和控制器的数控系统，它采用存储程序的方式实现

部分或全部基本数控功能，从而具有真正的“柔性”，并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息，使数控系统的性能大大提高。

CNC 系统具有如下优点：

1) 柔性强。对于 CNC 系统，若需改变其控制功能，只要改变其相应的控制程序即可。因此，CNC 系统具有很强的灵活性（柔性）。

2) 可靠性高。在 CNC 系统中，加工程序通常是一次性输入存储器，许多功能均由软件实现，硬件采用模块结构，平均无故障率很高，如 FANUC 公司的数控系统平均无故障时间已达到 23000h。

3) 易于实现多功能复杂程序控制。计算机具有丰富的指令系统，能进行复杂的运算处理，实现多功能、复杂程序控制。

4) 具有较强的网络通信功能。随着数控技术的发展，实现不同或相同类型数控设备的集中控制，CNC 系统必须具有较强的网络通信功能，便于实现 DNC、FMS、CIMS 等。

5) 具有自诊断功能。较先进的 CNC 系统自身具备故障诊断程序，具有自诊断功能，能及时发现故障，便于设备功能修复，大大提高了生产效率。

1.2 数控系统的组成及工作过程

1. 数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出设备、数控装置、可编程序控制器、伺服驱动单元四部分组成。图 1-1 所示为数控系统的组成框图。

(1) 输入/输出设备 输入装置是将控制介质（信息载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同，输入装置可以是磁带机、键盘或软盘驱动器等。数控加工程序、数控系统参数、PMC 程序不仅可以

通过键盘用手工方式直接输入数控系统，还可以由远端计算机通过串口通信或网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是边读入边加工；另一种是一次性将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从存储器中逐行调出进行加工。

各种类型的数控机床中最直观的输出装置是显示器。根据系统所处的状态和操作命令的不同，显示的信息是正在编辑的程序或是机床的加工信息。较简单的显示器只有若干个数码管，显示的信息也很有限；较高级的系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富；低档的显示器只能显示字符，中高档的显示系统能显示图形。

(2) 数控装置 数控装置就是通常所说的计算机数控系统。它由专用或通用计算机硬件加上系统软件和应用软件组成，完成数控加工程序译码、插补运算和速度预处理，产生位置和速度指令以及辅助控制功能信息等。数控装置是数控装备功能实现和性能保证的核

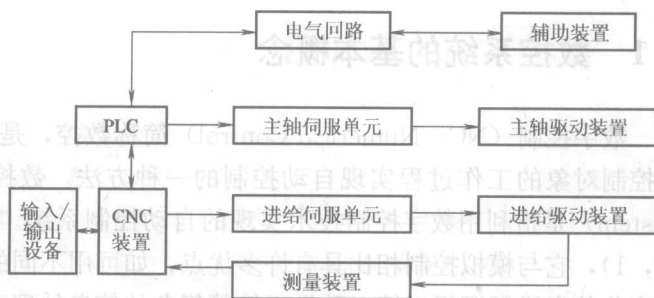


图 1-1 数控系统的组成框图

心组成部分,是整个数控体系的中枢。

数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、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,使其进行规定的有序运动和动作。这些信号中最基本的信号是经插补运算决定的各坐标轴(即做进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和位移量指令(送到伺服驱动系统以驱动执行部件做进给运动)。其他信号还包括主轴的变速、换向和起停信号,选择和交换刀具的刀具指令信号,控制切削液、润滑油起停、工件和机床部件松开和夹紧、分度工作台转位的辅助指令信号等。

数控装置主要由中央处理单元(CPU)和总线、存储器(ROM、RAM)、内置 PLC、输入/输出(I/O)接口电路、CNC 系统与其他组成部分联系的接口等组成。

(3) 可编程序控制器 通过 CNC 和 PLC 的协调配合来共同完成数控机床的控制,其中 CNC 主要完成与数字运算和管理等有关的功能,如程序的编辑、插补运算、译码、位置伺服控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作,而不涉及轨迹上的要求。PLC 处理 CNC 送来的辅助功能代码(M 代码)、主轴转速指令(S 代码)、刀具指令(T 代码)等顺序动作信息,对顺序动作信息进行译码,转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作,如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等一些辅助动作。PLC 还可以与机床侧的输入/输出信号进行交互,接收机床控制面板的指令,一方面直接控制机床的动作,另一方面将一部分指令送往数控装置,用于加工过程的控制。

用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是内装式,将 CNC 和 PLC 综合起来设计,也就是说,PLC 是 CNC 装置的一部分;另一类是独立型 PLC。

(4) 伺服驱动单元 伺服驱动装置包括主轴伺服驱动装置和进给伺服驱动装置两部分。伺服驱动装置由驱动电路和伺服电动机组成,并与机床上的机械传动部件组成数控机床的主传动系统和进给传动系统。主轴伺服驱动装置接收来自 PLC 的转向和转速指令,经过功率放大后驱动主轴电动机转动。进给伺服驱动装置在每个插补周期内接受数控装置的位移指令,经过功率放大后驱动进给电动机转动,同时完成速度控制和反馈控制功能。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、零件表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动放大器和执行机构两个主要部分,其任务实质是实现一系列数模或模数之间的信号转化,表现形式就是位置控制和速度控制。执行机构包括步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机。相应的驱动系统分别为步进驱动、直流伺服驱动、交流伺服驱动。

检测装置是伺服系统的一个重要组成部分。检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制运动部件按指令设定值运动。

2. 数控系统的主要工作过程

数控系统的主要任务是进行刀具和工件之间相对运动的控制,图 1-2 初步描绘了数控系统的主要工作过程。

接通电源后,数控装置和可编程序控制器都将对数控系统各组成部分的工作状态进行检查和诊断,并设置初态。

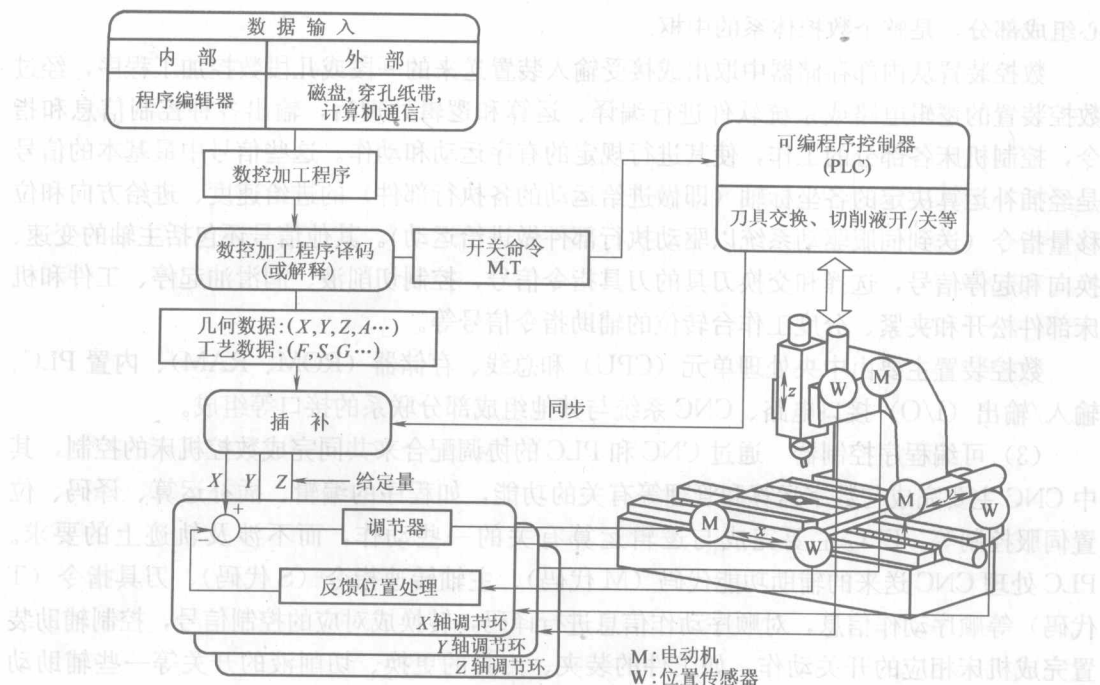


图 1-2 数控系统的主要工作过程

对第一次使用的数控装置,还需要进行机床参数设置。例如,指定系统控制的坐标轴;指定坐标计量单位和分辨率;指定系统中配置可编程序控制器的状态(有/无配置,是独立型还是内装型);指定系统中检测器件的配置(有/无检测器件,检测器件的类型和有关参数);工作台各轴行程的正负向极限的设置等。机床参数的设置,使数控装置适应具体数控机床的硬件构成环境。

当数控系统具备了正常工作的条件时,开始进行加工控制信息的输入。

工件在数控机床上的加工过程由数控加工程序来描述。按管理形式不同,编程工作可以在专门的编程场所进行,也可在机床前进行。对前一种情况,数控加工程序在加工准备阶段利用专门的编程系统产生,保存到控制介质上,再输入数控装置,或者采用通信方式直接传输到数控装置,操作员可按需要,通过数控面板对读入的数控加工程序进行修改;对后一种情况,操作员直接利用数控装置本身的编辑器进行数控加工程序的编写和修改。

输入给数控装置的加工程序必须适应实际的工件和刀具位置,因此在加工前还要输入实际使用刀具的刀具参数,及实际工件原点相对机床原点的坐标位置。

输入加工控制信息后,可选择一种加工方式(手动方式或自动方式的单段方式和连续方式)。此时,数控装置在系统控制程序的作用下,对输入的加工控制信息进行预处理,即进行译码和预计算(刀补计算、坐标变换等)。

系统进行数控加工程序译码时,将其区分成几何的、工艺的数据和开关功能。几何数据是刀具相对工件的运动路径数据,如有关 G 功能和坐标指定等,利用这些数据可加工出要求的工件几何形状;工艺数据是主轴转速和进给速度等功能,即 F、S 功能和部分 G 功能;开关功能是对机床电器的开关命令,例如主轴起/停、刀具选择和交换、切削液的起/停等辅助 M 功能指令等。

由于在编写数控加工程序时,一般不考虑刀具的实际几何数据,所以数控装置根据工件几何数据和在加工前输入的实际刀具参数,要进行相应的刀具补偿计算,简称刀补计算,即刀架相关点相对实际刀具的切削点进行平移,具体的刀补计算有刀具长度补偿和刀具半径补偿等。在数控系统中存在着多种坐标系,根据输入的实际工件原点,加工程序所采用的各种坐标系等几何信息,数控装置还要进行相应的坐标变换。

数控装置对加工控制信息预处理完毕后,开始逐段运行数控加工程序。

要产生的运动轨迹在几何数据中由各曲线段起、终点及其连接方式(如直线和圆弧等)等主要几何数据给出,数控装置中的插补器能根据已知的几何数据进行插补处理。所谓插补(Interpolation)一般是指已知曲线上的某些数据,按照某种算法计算已知点之间的中间点的方法,又称数据密化计算的方法。在数控系统中,插补具体指根据曲线段已知的几何数据,以及相应工艺数据中的速度信息,计算出曲线段起点和终点之间的一系列中间点,分别向各个坐标轴发出方向、大小和速度都确定的协调的运动序列命令,通过各个轴运动的合成,产生数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。按插补算法不同,有多种不同复杂程度的插补处理。一般按照插补结果,插补算法被分为脉冲增量插补法和数字采样插补法两大类。前者的插补结果是分配给各个轴的进给脉冲序列;后者的插补结果是分配给各个轴的插补数据序列。

由插补器向各个轴发出的运动序列命令为各个轴位置调节器的命令值,位置调节器将其与机床上位置检测元件测得的实际位置相比较,经过调节,输出相应的位置和速度控制信号,控制各轴伺服系统驱动机床各个轴运动,使刀具相对工件正确运动,加工出要求的工件轮廓。

由数控装置发出的开关命令在系统程序的控制下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,适时输出给机床控制器。在机床控制器中,开关命令和由机床反馈的回答信号一起被处理和转换为对机床开关设备的控制命令。在现代的数控系统中,多数机床控制器都由可编程序控制器(PLC)取而代之,使大多数机床控制电路都用 PLC 中可靠的开关实现,从而避免相互矛盾的、对机床和操作人员有危险的现象(如主轴还没有旋转之前的“进给允许”)的出现。

在机床的运行过程中,数控系统要随时监视数控机床的工作状态,通过显示部件及时向操作人员提供系统工作状态和故障情况。此外,数控系统还要对机床操作面板进行监控,因为机床操作面板的开关状态可以影响加工的状态,需及时处理有关信号。

1.3 数控系统的分类

数控系统的分类方法有很多种,下面对常见的分类方法作一介绍。

1. 按被控机床运动轨迹分类

(1) 点位控制数控系统 这类数控系统控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点,在移动过程中不进行加工,因此对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以先沿一个坐标轴移动完毕,再沿另一个坐标轴移动,也可以多个坐标轴同时移动。但是为了提高加工效率,保证定位精度,常常要求运动部件的移动速度是“先快后慢”,即先以快速移动接近目标点,再以低速趋近并准确定位。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐

标镗床和数控冲床等。

(2) 直线控制数控系统 这类数控系统不仅要控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点,还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹,其轨迹一般为与某一坐标轴相平行的直线,也可以为与坐标轴成 45° 夹角的斜线(但不能为任意斜率的直线),且可一边移动一边切削加工。因此,其辅助功能要求也比点位控制数控系统多,如它可能被要求具有主轴转速控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控系统 这类数控系统能够同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使其合成的平面或空间的运动轨迹符合被加工工件形状的要求。这类数控系统的辅助功能亦比前两类都多。相应的数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等。

2. 按伺服系统分类

按照伺服系统的控制方式,可以把数控系统分为以下几类:

(1) 开环控制数控系统 这种控制方式不带位置测量元件。数控装置根据信息载体上的指令信号,经控制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副,使执行机构(如工作台)移动或转动。图 1-3 为开环控制系统框图。这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号,对执行机构的动作情况不进行检查,指令流向为单向,因此被称为开环控制系统。

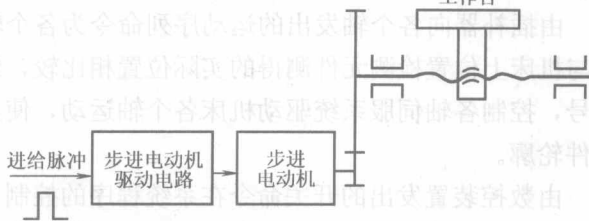


图 1-3 开环控制系统框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统。这种控制系统的特点是系统简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前这种控制系统在国内多用于经济型数控机床以及对旧机床的改造。

(2) 闭环控制数控系统 闭环控制数控系统是一种自动控制系统,其中包含功率放大和反馈,使输出变量的值响应输入变量的值。数控装置发出指令脉冲后,当指令值送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有位置反馈信号,指令值使伺服电动机转动,经过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床工作台上的位置测量元件,测出工作台的实际位移量后,反馈到数控装置的比较器中与指令信号进行比较,并用比较

后的差值进行控制。若两者存在差值,经放大器放大后,再控制伺服电动机转动,直至差值为零时,工作台才停止移动。这种系统称为闭环伺服系统。图 1-4 为闭环控制系统框图。闭环伺服系统

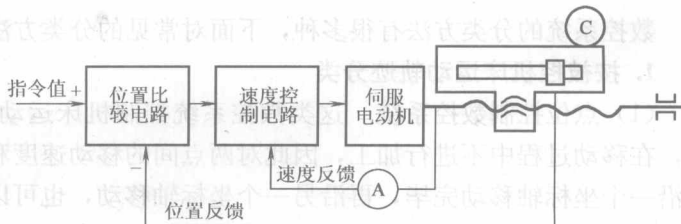


图 1-4 闭环控制系统框图

的优点是精度高、速度快,主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

(3) 半闭环伺服系统 这种控制系统不是直接测量工作台的位移量,而是通过旋转变压器、光电编码盘或分解器等角位移测量元件,测量伺服机构中电动机或丝杠的转角,来间接测量工作台的位移。这种系统中滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外,其传动误差等仍会影响工作台的位置精度,故称为半闭环控制系统。图 1-5 为半闭环控制系统框图。

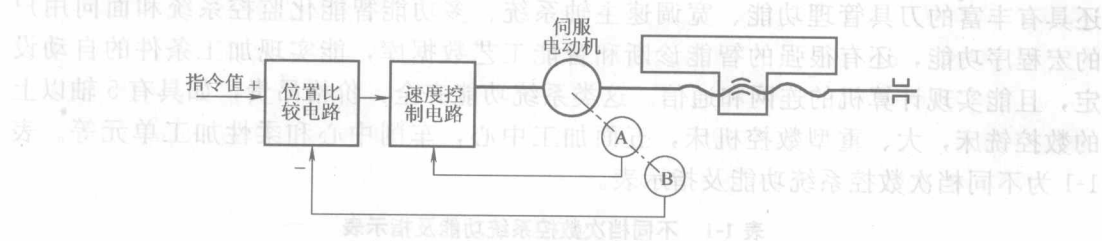


图 1-5 半闭环控制系统框图

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间,由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单,因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件,使用起来十分方便。半闭环伺服系统的加工精度虽然没有闭环系统高,但是由于采用了高分辨率的测量元件,这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。系统调试比闭环系统方便,稳定性好,成本也比闭环系统低。目前,大多数数控机床采用半闭环伺服系统。

3. 按功能水平分类

按照数控系统的功能水平,数控系统可以分为经济型(低档型)、普及型(中档型)和高档型三种。这种分类方法没有明确的定义和确切的分类界线,且不同时期、不同国家的类似分类含义也不同。下面的叙述可作为按数控系统功能水平分类的参考条件。

(1) 经济型又称简易数控系统 这一档次的数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工。它能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件,采用的微机系统为单片机系统,具有数码显示, CRT 字符显示功能,机床进给由步进电动机实现开环驱动,控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下,进给分辨率为 $10\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\text{m}/\text{min}$ 。这类机床结构一般都比较简单,精度中等,价格也比较低廉,一般不具有通信功能,如经济型数控线切割机床,数控钻床,数控车床,数控铣床及数控磨床等。

(2) 普及型通常称之为全功能数控系统 这类数控系统功能较多,但不追求过多,以实用为准,除了具有一般数控系统的功能以外,还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等,采用的微机系统为 16 位或 32 位微处理器,具有 RS-232C 通信接口,机床的进给多用交流或直流伺服驱动,一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制,进给分辨率为 $1\mu\text{m}$,快速进给速度为 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$,其输入输出的控制一般可由可编程控制器来完成,从而大大增强了系统的可靠性和控制的灵活性。这类数控机床的品种极多,几乎

覆盖了各种机床类别，且其价格适中，目前它总的趋势是趋向于简单、实用、不追求过多的功能，从而使机床的价格适当降低。

(3) 高档型数控系统 指加工复杂形状工件的多轴控制数控机床。其工序集中、自动化程度高、功能强、具有高度柔性。采用的微机系统为 32 位以上微处理机系统，机床的进给大多采用交流伺服驱动。除了具有一般数控系统的功能以外，应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制，最小进给分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，最大快速移动速度能达到 $100\text{m}/\text{min}$ 或更高，具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面，同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能，还有很强的智能诊断和智能工艺数据库，能实现加工条件的自动设定，且能实现计算机的连网和通信。这类系统功能齐全，价格昂贵，如具有 5 轴以上的数控铣床，大、重型数控机床，五面加工中心，车削中心和柔性加工单元等。表 1-1 为不同档次数控系统功能及指示表。

表 1-1 不同档次数控系统功能及指示表

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率和进给速度	$10\mu\text{m}$ 、 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$	$1\mu\text{m}$ 、 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$	$0.1\mu\text{m}$ 、 $24\sim 100\text{m}/\text{min}$
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服系统	闭环及直、交流伺服系统
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT：图形、人机对话	CRT：三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8bitCPU	16 或 32bitCPU	32 或 64bitCPU

1.4 数控装置的硬件结构

1.4.1 单微处理机与多微处理机结构

1. 单微处理机结构

这种结构只有 1 个微处理机，采用集中控制、分时处理的方法执行数控的各个任务。有的 CNC 装置虽有 2 个以上的微处理机，但其中只有 1 个微处理机能够控制系统总线，占有总线资源，而其他微处理机成为专用的智能部件，不能控制系统总线，不能访问主存储器，它们组成主从结构（如 FANUC-6 系统）。这类结构也属于单微机结构。

在这种单微机结构中，所有的数控功能和管理功能都由 1 个微机来完成，因此 CNC 装置的功能将受到微处理器的字长、数据宽度、寻址能力和运算速度等因素的影响和限制。

2. 多微处理机结构

有些多微处理机结构中，有 2 个或 2 个以上的微处理机构成处理部件，处理部件之间

采用紧耦合，有集中的操作系统，并共享资源。有些多微处理结构则有 2 个或 2 个以上的微处理机构成的功能模块，功能模块之间采用松耦合，有多重操作系统，能有效地实现并行处理。这种结构中的各处理机分别承担一定的任务，通过公共存储器或公用总线进行协调，实现各微机间的互连和通信。

(1) 多微处理机的结构特点

1) 性能价格比高。多微机结构中的每个微机完成系统中指定的一部分功能，独立执行程序。它比单微机提高了计算的处理速度，适于多轴控制、高进给速度、高精度、高效率的数控要求。由于系统采用共享资源，而单个微处理机的价格又比较便宜，使 CNC 装置的性能价格比大为提高。

2) 采用模块化结构，有良好的适应性和扩展性。多微机的 CNC 装置大都采用模块化结构，可将微处理器、存储器、I/O 控制组成独立微机级的硬件模块，相应的软件也采用模块结构，固化在硬件模块中。软硬件模块形成特定的功能单元，称为功能模块。功能模块间有明确定义的接口，接口是固定的，符合工厂标准或工业标准，彼此可以进行信息交换。这样可以积木式地组成 CNC 装置，使 CNC 装置设计简单、适应性和扩展性好、试制周期短、调整维护方便、结构紧凑、效率高。

3) 硬件易于组织规模生产。由于硬件是通用的，容易配置，只要开发新的软件就可构成不同的 CNC 装置，因此多微处理机结构便于组织规模生产，且保证质量。

4) 有很高的可靠性。多微处理机 CNC 装置的每个微分管各自的业务，形成若干模块。如果某个模块出了故障，其他模块仍照常工作，而不像单微机那样，一旦出故障就造成整个系统瘫痪。而且插件模块更换方便，可使故障对系统的影响减到最小。另外，由于多微机的 CNC 装置可进行资源共享，省去了一些重复机构，不但降低了造价，也提高了系统的可靠性。

(2) 多微处理机 CNC 装置的结构分类

1) 共享存储器结构。如美国麦克唐纳·道格拉斯公司 (MDC) 生产的 Actrion III 系统 (图 1-6) 包括 4 个微处理机，分别承担 I/O、插补、伺服功能、零件程序编辑和 CRT 显示功能，适于 2 坐标车床，3、4、5 坐标加工中心。该系统主要包括 4 个子系统和 1 个公共数据存储器，每个子系统按照各自存储器所存储的程序执行相应的控制功能 (如插补、轴控制、I/O 等)，各微机的型号相同，字长为 16bit。这种分布式处理机系统的子系统之间不能直接进行相互通信，而都要同公共数据存储器通信。在公共数据存储器板上有优先级编码器，规定伺服功能微机级别最高，其次是插补微机，再次是 I/O 微机。当 2 个以上的微机同时请求时，优先级编码器决定优先接受的请求，对该请求发出承认信号。相应的微机接到承认信号后，便把数据存到公共数据存储器的规定地址 (即共享存储器) 中，其他子系统则从该地址取出数据。

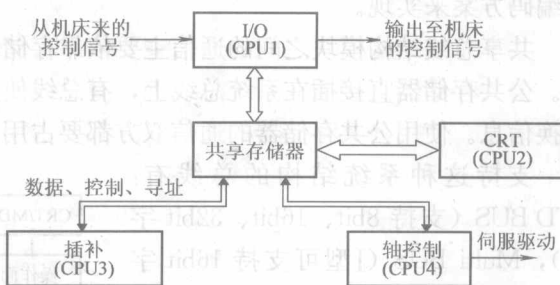


图 1-6 多微处理机共享存储器结构 (Actrion III 系统框图)

上述共享存储器的多微处理机结构，采用多端口存储器来实现各微处理机之间的连接和通信。图 1-7 为双端口存储器结构图。通过多端口控制逻辑电路解决访问冲突问题，由内部硬件裁决其中 1 个端口进行优先访问。由于同一时刻只能有 1 个微处理机对多端口存储器进行读或写，因此当功能复杂而要求微机数增多时，会因争用共享造成信息传输阻塞，从而降低系统的效率，所以这种多微处理机结构扩展功能很困难。

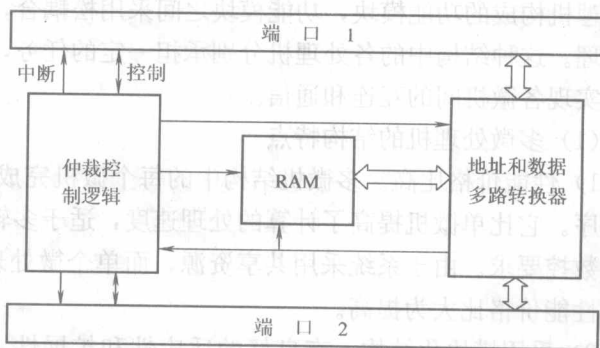


图 1-7 双端口存储器的结构

2) 共享总线结构。以系统总线为中心的多微处理机 CNC 装置中的各功能模块，分为带有 CPU 的主模块和不带 CPU 的各种 RAM/ROM 或 I/O 从模块两大类。所有主、从模块都插在配有总线插座的机柜内，共享标准系统总线。系统总线的作用是把各个模块有效地连接在一起，按要求交换数据和控制信息，构成一个完整的系统，实现各种预定的功能。只有主模块有权控制使用系统总线。由于某一时刻只能由 1 个主模块占有主线，因此必须有仲裁电路来裁决多个主模块同时请求使用系统总线的竞争。仲裁的目的是判别出各模块优先权的高低，而每个主模块的优先级别已按其担负任务的重要性被预先安排好。支持多微机系统的总线都有总线仲裁机构，通常有两种裁决方式，即串行方式和并行方式。

串行总线裁决方式中，优先权的排列是按链接位置决定的，某个主模块只有在前面优先权更高的主模块不占用总线时，才可使用总线，同时通知它后面优先权较低的主模块不得使用总线。

并行总线裁决方式中，要配置专用逻辑电路来解决主模块的判优问题，通常采用优先权编码方案来实现。

共享总线结构模块之间的通信主要依靠存储器来实现，大部分系统采用公共存储器方式。公共存储器直接插在系统总线上，有总线使用权的主模块都能访问，可供任意两模块交换信息。使用公共存储器的通信双方都要占用系统总线。

支持这种系统结构的总线有：

STD BUS（支持 8bit、16bit、32bit 字长），Multi BUS（I 型可支持 16bit 字长，II 型可支持 32bit 字长），S-100BUS（可支持 16bit 字长），VERSA BUS（可支持 32bit 字长）以及 VME BUS（可支持 32bit 字长）等。制造厂为这类总线提供各种型号规格的外围（初始设备制造）产品（包括主模块和从模块），由用户任意选配。

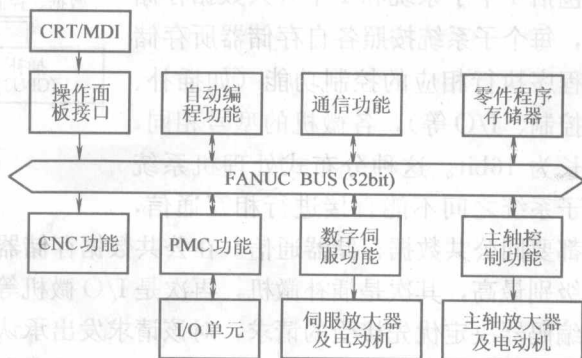


图 1-8 是多微处理机共享总线结

图 1-8 多微机共享总线结构（FS15 系列框图）