

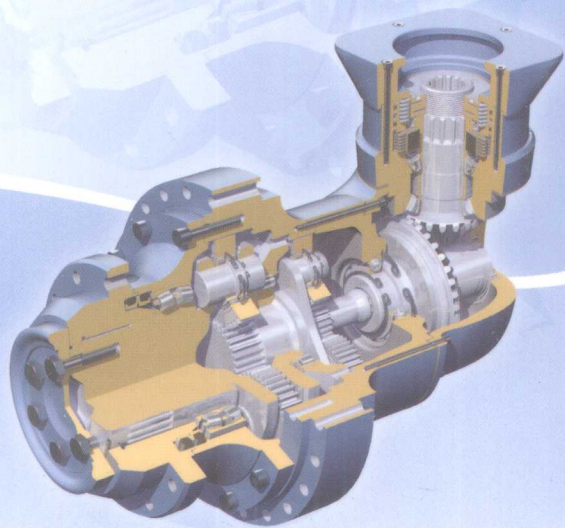


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术专业系列

典型数控系统及应用

邹 晔 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

典型数控系统及应用

邹 晔 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书围绕数控系统在数控机床上的应用,较全面地介绍了数控系统的基础知识、插补原理及数据处理、进给运动的控制、主轴驱动及控制、数控系统的可编程控制器与接口信号、数控系统的应用、典型数控系统与应用和开放式数控系统等内容。本书在内容选择上突出实用性、先进性;在编写方式上强调由浅入深,并力求全面、系统和重点突出。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人员的业务参考书,及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

典型数控系统及应用 / 邹晔主编. —北京:高等教育出版社,2009.8

ISBN 978 - 7 - 04 - 027282 - 6

I. 典… II. 邹… III. 数控机床 - 数控系统
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 107814 号

策划编辑	徐 进	责任编辑	薛立华	封面设计	张志奇	责任绘图	杜晓丹
版式设计	王艳红	责任校对	杨雪莲	责任印制	宋克学		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京凌奇印刷有限责任公司		http://www.landracom.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009 年 8 月第 1 版
印 张	13.25	印 次	2009 年 8 月第 1 次印刷
字 数	320 000	定 价	17.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27282-00

前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书围绕数控机床的核心技术——数控系统，全面、系统地讲述了数控系统的基本组成、各部分的主要功能和特点、工作原理等。重点在数控系统应用上，着重介绍了 SIEMENS、FANUC 和华中数控等典型数控系统的功能、特点及应用。此外，还介绍了开放式数控系统的概念与研究状况。

本书由无锡职业技术学院邹晔任主编，并编写了第 1、3、5、6 章、第 7 章的 7.1~7.3 节和附录，无锡职业技术学院徐安林编写了第 2 章和第 7 章的 7.2 节，无锡职业技术学院张铮编写了第 4、8 章。全书由邹晔统稿。

南京数控培训中心主任周明虎高级工程师审阅了本书，并提出了许多宝贵的意见和建议，编者在此表示衷心的感谢。本书编写过程中参考了近年来数控技术方面的诸多论著和教材，编者为参考文献中的各位作者深表谢意。在本书编写的过程中，还得到了西门子（中国）有限公司、北京发那科机电有限公司、武汉华中数控股份有限公司、南通科技投资集团股份有限公司、南京德西数控新技术有限公司和海德汉（天津）光学电子有限公司上海办事处的支持和帮助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之数控技术发展迅速，本书难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者
2009 年 6 月

目录

第 1 章 数控系统概述	1
1.1 基本概念	1
1.2 数控系统的分类	5
1.3 现代数控系统的特点与发展	10
思考题与习题	14
第 2 章 插补原理及数据处理	15
2.1 插补算法概述	15
2.2 数据处理	17
思考题与习题	26
第 3 章 进给运动的控制	27
3.1 进给伺服系统概述	27
3.2 开环进给控制与步进驱动	29
3.3 位置检测装置	34
3.4 闭环进给控制与交流伺服 系统	47
思考题与习题	57
第 4 章 主轴驱动及控制	58
4.1 概述	58
4.2 主轴驱动装置	60
4.3 主轴的分段无级调速及 控制	64
4.4 主轴准停控制	67
4.5 电主轴	72
思考题与习题	75
第 5 章 数控系统的可编程控制器 与接口信号	76
5.1 数控机床的 PLC	76
5.2 PLC 开关量输入/输出接口	80
5.3 PLC 程序在数控机床中的 典型应用	86
思考题与习题	94
第 6 章 数控系统的应用	95
6.1 数控系统的主要应用功能	95
6.2 数控机床的操作面板	103
6.3 系统的硬件与软件及系统 参数	106
6.4 数控系统报警	113
6.5 手轮输入与通信接口	115
思考题与习题	117
第 7 章 典型数控系统与应用	118
7.1 西门子 SINUMERIK 数控 系统与应用	118
7.2 FANUC 数控系统与应用	137
7.3 华中数控系统与应用	166
7.4 典型数控系统的数据保护	184
思考题与习题	188
第 8 章 开放式数控系统	189
8.1 开放式数控系统产生的 背景	189
8.2 开放式数控系统的基本 特征	191
8.3 开放式数控系统的发展动向	192
8.4 开放式数控系统的关键 技术	200
附录 数控技术常用术语	201
参考文献	204

第 1 章 数控系统概述

本书所介绍的数控系统是现代机械制造系统的基础设备之一——数控机床的控制系统，本章对数控系统的基本概念、组成、主要工作过程、分类方法和发展状况进行介绍，并着重介绍数控系统的主要工作过程和全功能数控系统的特点。

1.1 基本概念

1.1.1 数控系统的基本概念

数控是数字控制(numerical control, NC)的简称。数控系统是用数字控制技术实现的自动控制系统，其被控对象可以是各种生产过程。

任何生产都有一定的过程，采用数字控制技术，生产过程被用某种语言编写的程序来描述，并以数字形式送入计算机或专用计算装置。利用计算机的高速数据处理能力，识别出该程序所描述的生产过程，通过计算和处理将此程序分解为一系列的动作指令，输出并控制生产过程中相应的执行对象，从而可使生产过程能在人不干预或少干预的情况下自动进行，实现生产过程的自动化。

根据不同的被控对象，有各种不同的数控系统，其中最早产生、目前应用最为广泛的是机械加工行业中的各种机床的数控系统，即以加工机床，如数控车床、数控铣床、数控线切割机和加工中心等为被控对象的数字控制系统。本书主要以机床数控系统为对象，讨论数控系统的工作原理，因此本书中的数控系统具体指机床的数控系统。

数控系统与被控机床本体的结合体称为数控机床。数控机床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为一体，使传统的机械加工工艺发生了质的变化。这个变化的本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化操作。

1.1.2 数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、驱动控制装置、机床电器逻

辑控制装置四部分组成，机床本体为被控对象，如图 1-1 所示。

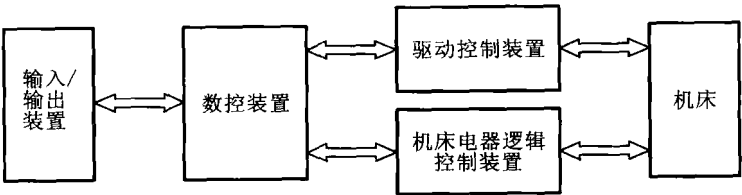


图 1-1 数控系统组成的一般形式

数控系统是严格按照外部输入的程序对工件进行自动加工的。从外部输入、描述机床加工过程的程序称为数控加工程序，是用字母、数字和其他符号的编码指令规定的程序。数控加工程序按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息，有零件加工的轨迹信息(如几何形状和几何尺寸等)、工艺信息(如进给速度和主轴转速等)及开关命令(如换刀、冷却液开/关和工件装/卸等)。加工程序常常记录在各种信息载体上。信息载体又称为控制载体，其形式一般是磁带、磁盘等可以记载二进制信息的媒体。通过各种输入装置，信息载体上的数控加工程序将被数控装置所接收。

输入装置将数控加工程序等各种信息输入数控装置，输入内容及数控系统的工作状态可以通过输出装置观察。常用的输入/输出装置有磁盘驱动器、CRT 显示器及各种显示器件和计算机通信接口等。

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是正确识别和解释数控加工程序，对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，完成各种输入、输出任务。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置或计算机数控装置。前者称为硬件数控装置或 NC 装置，其数控功能由硬件逻辑电路实现；后者称为 CNC 装置，其数控功能由硬件和软件共同完成。数控装置将数控加工程序信息按两类控制量分别输出：一类是连续控制量，送往驱动控制装置；另一类是离散的开关控制量，送往机床电器逻辑控制装置。数控系统通过控制机床各组成部分实现各种数控功能。

驱动控制装置位于数控装置和机床之间，包括进给轴伺服驱动装置和主轴驱动装置。进给轴伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等部分组成，它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床受控部件(如机床移动部件和主轴头等)。主轴驱动装置主要由速度控制单元控制。电动机可以是各种步进电机、直流电动机或交流电动机。

机床电器逻辑控制装置也位于数控装置和机床之间，接收数控装置发出的开关命令，主要完成机床主轴选速、起停和方向控制功能，换刀功能，工件装夹功能，冷却、液压、气动、润滑系统控制功能及其他机床辅助功能。其形式可以是继电器控制线路或可编程控制器控制线路。

根据不同的加工方式，机床本体可以是车床、铣床、钻床、镗床、磨床、加工中心及电加工机床等。与传统的通用机床相比，数控机床本体的外部造型、整体布局、传动系统、刀具系统及操作机构等方面都应该符合数控系统的要求。

数控机床配有各种辅助装置，其作用是配合机床完成对零件的加工，如切削液或油液处理系统中的冷却或过滤装置、油液分离装置、吸尘吸雾装置、润滑装置及辅助主机实现传动和控制的气动、液动装置等。除上述通用辅助装置外，从目前数控机床技术现状看，至少还有五类辅助装置是数控机床应配备的，即对刀仪、自动编程机、自动排屑器、物料储运与上下料装置和交流稳压电源。

当数控系统的一般组成形式中的数控装置采用计算机数控装置(CNC装置)时，该数控系统就称为计算机数控系统。目前，在市场上以 NC 装置为核心的硬件数控系统已日益减少，取而代之的是以 CNC 装置为核心的计算机数控系统，且绝大多数 CNC 装置都采用微型计算机装置。

计算机数控系统由硬件和软件共同完成数控任务，因此其组成形式更加灵活，其基本组成可以图 1-2 中所示的系统为例。该系统具有数控系统一般组成形式的各个部分。此外，现代数控装置不仅能通过读取信息载体方式，还可以通过其他方式获得数控加工程序。如通过通信方式输入其他计算机程序编辑器、自动编程器、CAD/CAM 系统或上位机采用键盘输入的相应信息，数控装置本身就能自动生成数控加工程序。

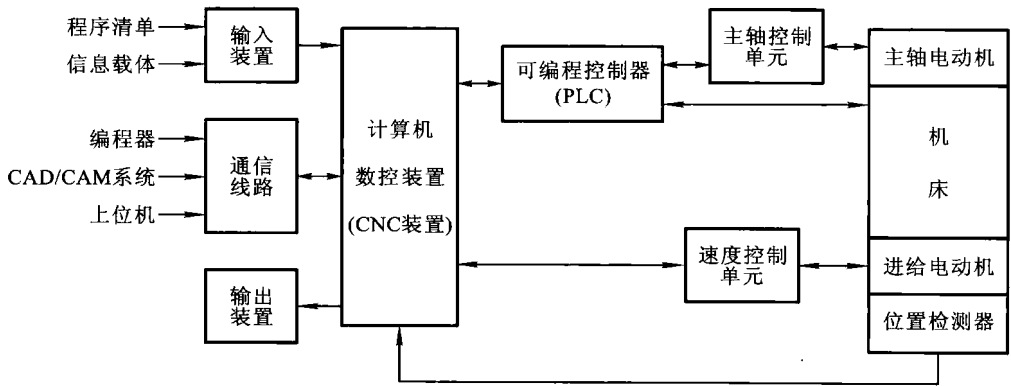


图 1-2 计算机数控系统的组成

计算机数控装置在软件的作用下，可以实现各种硬件数控装置所不能完成的功能，如图形显示、系统诊断、各种复杂轨迹的控制算法和补偿算法的实现、智能控制的实现、通信及联网功能等。

现代数控系统采用可编程控制器(PLC)取代了传统的机床电器逻辑控制装置(继电器控制线路)，用 PLC 控制程序实现数控机床的各种继电器控制逻辑。PLC 可位于数控装置之外，称为独立型 PLC；也可以与数控装置合为一体，称为内装型 PLC。

1.1.3 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 1-3 初步描述了数控系统的主要工作过程。

在接通电源后，计算机数控装置和可编程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。

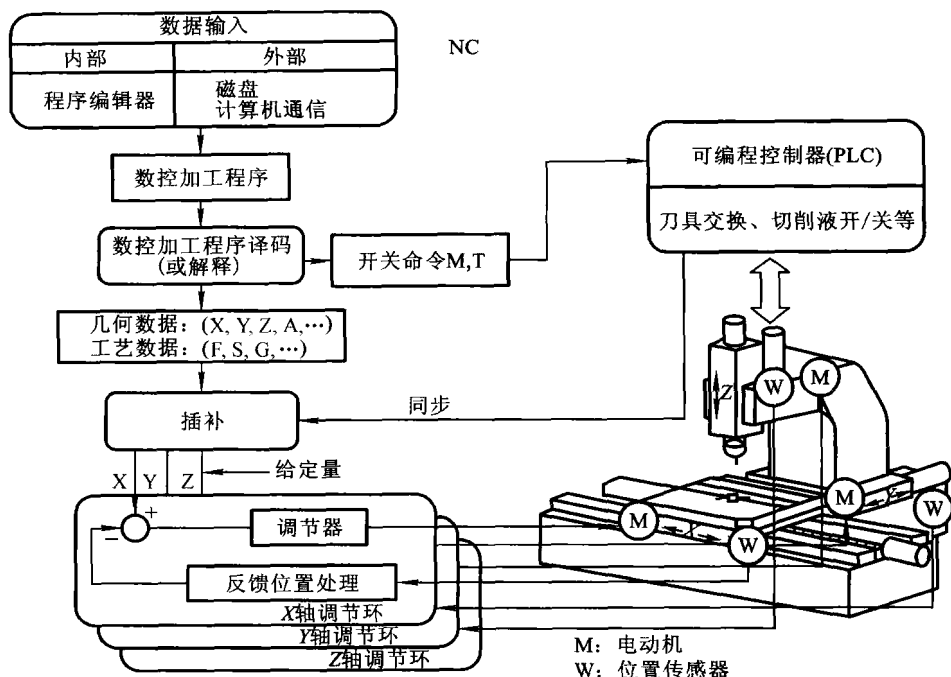


图 1-3 数控系统的主要工作过程

对第一次使用的数控装置,还需要进行机床参数设置。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。通过机床参数的设置,使数控装置适应具体数控机床的硬件构成环境。

当数控系统具备正常工作条件时,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(如磁带或磁盘)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中,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。对于后一种情况,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。

加工控制信息输入后,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),起动系统。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(或解释)时,将其区分成几何数据、工艺数据和开关功能。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，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、冷却液的起/停、润滑油的开/关等辅助 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，即使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。如前所述，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和加工程序所采用的坐标系等几何信息，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。

根据所要产生的运动轨迹，将各曲线段的起点和终点及其连接方式（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，一般是指将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，计算出曲线段的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。按不同的插补算法，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，经调节后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，开关命令和反馈的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控制器（PLC）取而代之，使大多数机床控制电路都用 PLC 中的开关实现，从而避免相互矛盾、对机床和操作者都有危险的现象（如在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者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。

1.2 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。

1.2.1 按被控机床的运动轨迹分类

1. 点位控制数控系统

这类控制系统只控制工具相对工件从某一加工点移到另一个加工点之间的精确坐标位置，

而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制，且移动过程中不作任何加工(图 1-4)。通常采用这一类系统的设备有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

2. 直线控制数控系统

这类控制系统不仅要控制点与点的精确位置，还要控制两点之间的工具移动轨迹是一条直线，且在移动中工具能以给定的进给速度进行加工，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。采用此类控制方式的设备主要有简易数控车床、镗床和铣床等。

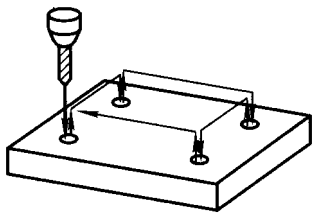


图 1-4 数控机床的
点位运动轨迹

3. 轮廓控制数控系统

这类控制系统能够对两个或两个以上的坐标方向进行严格控制，即不仅控制每个坐标的行程位置，同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合，精确地协调起来连续进行加工，以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面。这类数控系统的辅助功能亦比前两类都多。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等，其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数不同，又可以分为下面几种形式：

(1) 二轴联动

主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面，如图 1-5 所示。

(2) 二轴半联动

主要用于三轴以上机床的控制，其中二根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。图 1-6 所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

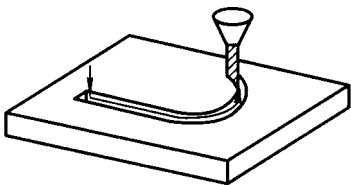


图 1-5 数控铣床的轮廓加工轨迹

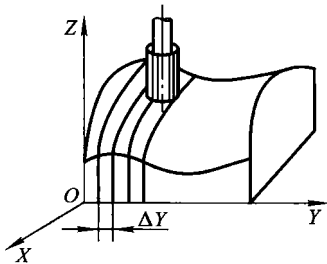


图 1-6 二轴半联动的曲面加工

(3) 三轴联动

一般分为两类。一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，多用于数控铣床、加工中心等，图 1-7 所示为用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中的两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 四轴联动

同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图 1-8 所示为同时控制 X 、

Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

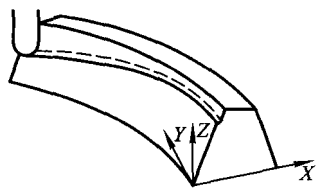


图 1-7 三轴联动的曲面加工

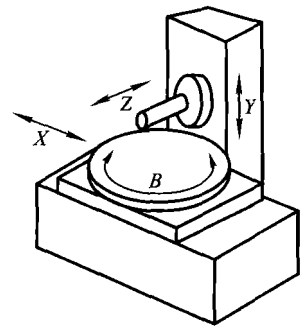


图 1-8 四轴联动的数控机床

(5) 五轴联动

除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-9 所示。例如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上始终保持在被加工的轮廓曲面的法线方向，以保证被加工曲面的光滑性，提高其加工精度和加工效率，减小被加工表面的粗糙度值。

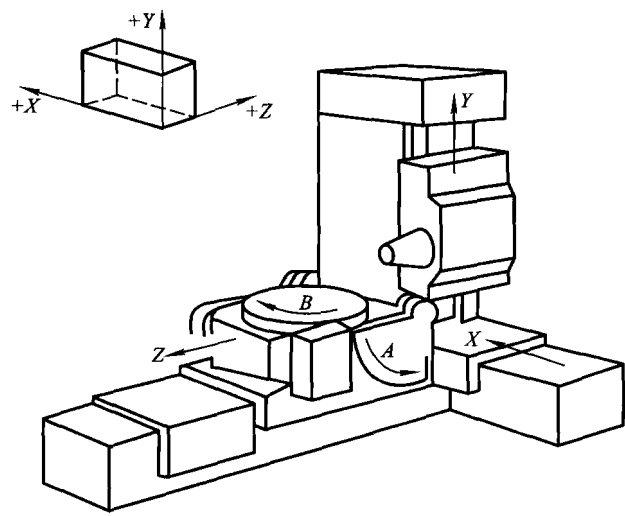


图 1-9 五轴联动的加工中心

1.2.2 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

这类数控系统不带检测装置，也无反馈电路，以步进电机为驱动元件，如图 1-10 所示。CNC 装置输出的指令进给脉冲经驱动电路进行功率放大，转换为控制步进电机各定子绕组依

此通电/断电的电流脉冲信号，驱动步进电机转动，再经机床传动机构（齿轮箱、丝杠等）带动工作台移动。这种方式控制简单，价格比较低廉，被广泛应用于经济型数控系统中。

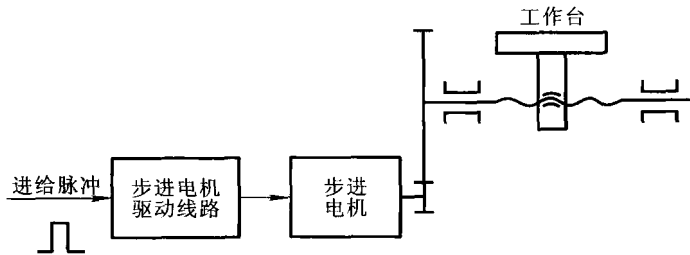


图 1-10 开环控制数控机床的工作原理

2. 闭环控制数控系统

这类数控系统带有位置检测反馈装置，以直流或交流电动机为驱动元件。按照位置检测装置安装位置的不同，闭环控制数控系统又可以进一步分为半闭环控制和全闭环控制和混合控制数控系统三类。

(1) 半闭环控制数控系统

位置检测元件被安装在电动机轴端或丝杠轴端，通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际运行位置（直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（或位移）相比较，用差值进行控制，其控制框图如图 1-11 所示。由于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及机床工作台这些大惯性环节，所以由这些环节造成的误差不能由环路所矫正，其控制精度不如闭环控制数控系统，但其调试方便，可以获得比较稳定的控制特性，因此被广泛采用。

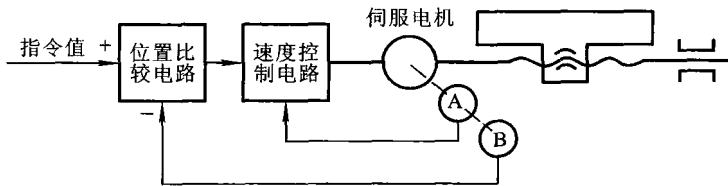


图 1-11 半闭环控制数控系统框图

(2) 全闭环控制数控系统

位置检测装置安装在机床工作台上，用以检测机床工作台的实际运行位置（直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（或位移）相比较，用差值进行控制，其控制框图如图 1-12 所示。这类控制方式的位置控制精度很高，但由于它将丝杠、螺母副及机床工作台这些大惯性环节放在闭环内，调试时其系统很难达到稳定状态。

(3) 混合控制数控系统

这类系统混合应用了开环、全闭环和半闭环的控制方式，互相取长补短。常见的有如下两种：

1) 开环补偿型控制数控系统 其控制框图如图 1-13 所示，它在开环控制的基础上，附加一补偿（校正）环节。这样既保留了开环控制的优点，又较好地解决了步进电机丢步和过冲的问题，使开环控制的控制精度得以提高。

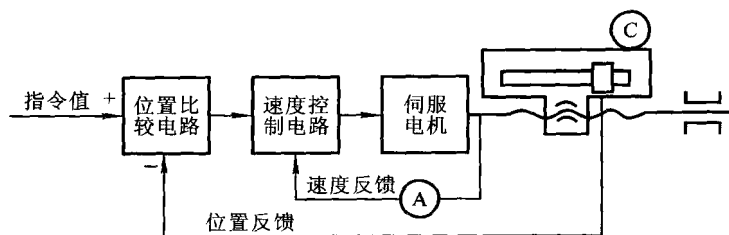


图 1-12 全闭环控制数控系统框图

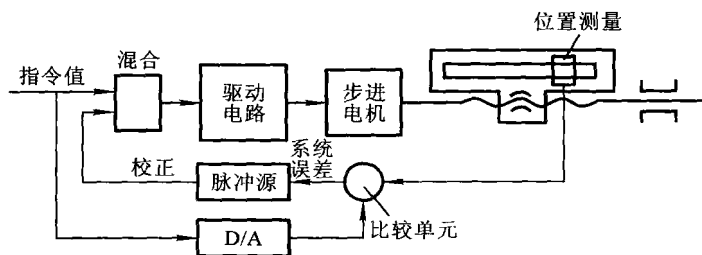


图 1-13 开环补偿型控制数控系统框图

2) 半闭环补偿型控制数控系统 其控制框图如图 1-14 所示，它采用半闭环进行基本驱动，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环，用半闭环和全闭环的差值进行控制，因而这种系统既可以快速进入稳定状态，又可以获得高精度。这种控制方式多为既要求具有较高的进给速度和返回速度，又要求具有高精度的大型数控机床所采用。

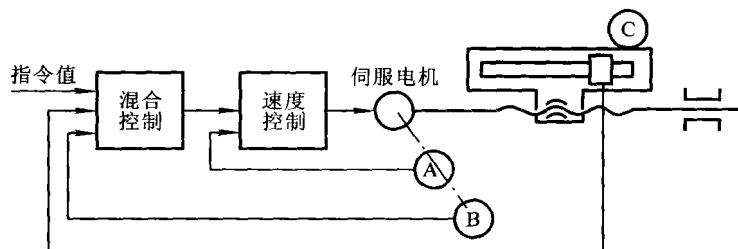


图 1-14 半闭环补偿型控制数控系统框图

1.2.3 按数控系统功能水平分类

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）和高档型数控系统三种。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. 经济型数控系统

经济型数控系统又称简易数控系统。这一档次的数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工，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板机或单片机系统，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 $10\ \text{m/min}$ 。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. 普及型数控系统

普及型数控系统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 位微处理机，具有 RS232C 通信接口，机床的进给多用交流伺服驱动，一般能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制，进给分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，快速进给速度为 $20\sim 30\text{ m/min}$ ，其输入输出的控制一般由可编程控制器来完成，从而大大提高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

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的控制系统，其工序集中、自动化程度高、功能强、具有高度柔性。它采用的微机系统为 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 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，最大快速移动速度能达到 100 m/min 或更高，具有三维动画图形显示功能和良好的图形用户界面，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，且能实现计算机的联网和通信，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、中型数控机床，五面加工中心，车削中心和柔性加工单元等。

1.3 现代数控系统的特点与发展

1.3.1 全功能数控系统的特点

随着微机技术的发展，采用通用微机技术开发数控系统可以得到强有力的硬件和软件支持。这些软件和硬件技术是开放式的，此时的通用微机除了具备通用的功能外，还具备了全功能数控系统的所有功能，这是发展数控技术的一条途径。当前全功能数控系统的特点有：

1. 选用高速微处理器

微处理器是现代数控系统的核心部件，担负着运算、存储和控制等多重任务，其位数和运行速度直接关系到加工效率和加工精度。高速 32 位微处理器的采用，使得数控系统的输入、译码、计算和输出等环节都在高速下进行，同时提高了多轴联动、进给速度和分辨率等指标。现代数控系统控制的轴数为 $3\sim 15$ 轴，有的多达 $20\sim 24$ 轴，同时控制的轴数（联动）为 $3\sim 6$ 轴。快速进给速度及切削进给速度已达到 100 m/min （分辨率 $1\text{ }\mu\text{m}$ ）和 24 m/min （分辨率 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ）。

2. 配置高速、功能强大的可编程控制器 (PLC)

数控系统除了对位置进行信息控制外，还要对 I/O 状态量进行控制。数控系统中高速和功能强大的可编程控制器能满足数控机床这方面的需要。同时，PLC 输入/输出点数和 PLC 容量

的增加可满足直接数字控制系统(DNC)和柔性制造单元(FMC)的控制要求。

3. CRT 显示器图形显示、人机对话功能及自诊断功能

大多数现代数控系统采用 CRT 显示器与手动键盘配合,实现程序的输入、编辑、修改和删除等功能,具有前台操作、后台编辑的功能及用户宏程序等;可以实现二维图形轨迹显示,有的还可实现三维彩色动态图形的显示。由于采用菜单选择操作方式,操作简单明了。系统具有硬件、软件及机床故障的自诊断功能,提高了可维修性。

4. 具有多种监控、检测及补偿功能

为了提高数控机床的效率及加工精度,有些数控机床配置了各种测量装置,如刀具磨损的检测、机床精度及热变形的检测等,与之相适应,数控系统则具有刀具寿命管理、刀具参数补偿、反向间隙及丝杠螺距误差补偿、热变形补偿等功能。

5. CNC 的智能化

在现代数控系统中,引进了自适应控制技术。数控系统能检测对机床本身有影响的信息,并自动连续地调整有关参数,以达到系统运行的最优化,如测量工件状态、调整刀具切削用量、进行尺寸控制,以满足加工精度及表面粗糙度的要求等。在有的 CNC 系统中,还建立了切削率的数据库及切削用量的专家系统等。大多数现代数控系统都具有学习及示范教学功能。

6. 通信功能

一般数控系统都有简单的通信功能,如采用 RS232C 串行接口与编程机、微机 etc 外设通信。现代数控系统还要与其他数控系统或者上级计算机通信,所以除了 RS232C 接口外,还有 RS422 和 DNC(直接数控)等多种通信接口。

数控系统要单机进入柔性制造系统(FMS)进而形成计算机集成制造系统(CIMS),就要求数控系统具有更高的通信功能,为此有的数控系统开发了符合 ISO 开放系统互联七层网络模型的通信协议,如 MAP(制造自动化协议),为自动化技术的发展创造了条件。

7. 标准化、通用化和模块化

现代数控系统的性能越来越完善,功能越来越多样,促使数控系统的硬件和软件结构实现标准化、通用化和模块化。选择不同的标准化模块可组成各种不同数控机床控制系统,能方便地移植计算机行业或自动化领域的成果,也便于现有的数控系统进一步扩展及升级。

8. 开放性

基于 PC 的开放式数控系统已成为数控技术发展的重要方向,通过制订必要的技术规范,在通用 PC 机的基础上一方面使硬件的体系结构和功能模块具有兼容性,另一方面使软件、接口等技术规范化和标准化,为机床制造厂或用户提供一个良好的开发环境。

9. 高可靠性

这是一项硬指标,现代数控系统的平均无故障时间(MIBF)已达到 30 000 h 以上。数控系统与微机只是专用机和通用机及生产批量大小的区别,其制造过程,包括元器件筛选、印制电路板、焊接和贴附、生产过程及最终产品的检测和出厂前整机的考机等措施保证了数控系统有很高的可靠性。

1.3.2 数控伺服系统的发展

伺服系统是数控系统的重要组成部分。伺服系统的静态和动态性能直接影响数控机床的定

位精度、加工精度和位移速度。当前伺服系统的发展趋势是：

1. 全数字式控制系统

伺服系统传统的位置控制是将位置控制信号反馈至数控系统，与位置指令比较后将速度控制模拟信号输出至伺服驱动装置，而全数字式数控系统的位置比较是在伺服驱动装置中完成的，数控系统仅将位置指令的数字信号输出至伺服驱动装置。

另外，直流伺服系统也逐渐被交流数字伺服系统所代替。在全数字式控制系统中，位置环、速度环和电流环等参数均实现了数字化，实现了几乎不受负载变化影响的高速响应的伺服系统。

2. 采用高分辨率的位置检测装置

现代数控机床的位置检测大多采用高分辨率的光栅尺和脉冲编码器，必要时采用细分电路，进一步提高分辨率。

3. 软件补偿

现代数控机床利用数控系统的补偿功能，通过参数设置对伺服系统进行多种补偿，如位置环增益、轴向运动误差补偿、反向间隙补偿及丝杠螺距累积误差补偿等。

4. 前馈控制

传统的伺服系统是将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令，经伺服驱动装置拖动伺服电机。这种方式总是存在着位置跟踪滞后误差，使得在加工拐角及圆弧时加工情况恶化。通过前馈控制，可使跟踪滞后误差大为减小。

5. 机械静、动摩擦的非线性控制技术

机床的静、动摩擦的非线性会导致爬行现象。除采取降低静摩擦的措施外，新型的伺服系统还具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性的控制功能。

1.3.3 数控系统的发展趋势

从1952年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统，到现在已走过了50多年的历程。数控系统由当初的电子管式起步，经历了以下几个发展阶段：

分立式晶体管式→小规模集成电路式→大规模集成电路式(小型计算机式)→超大规模集成电路(微机式)。到20世纪80年代，总体发展趋势是：数控装置由NC向CNC发展；广泛采用32位CPU组成多微处理器系统；提高系统的集成度，缩小体积，采用模块化结构，便于裁剪、扩展和功能升级，可满足不同类型数控机床的需要；驱动装置向交流、数字化方向发展；CNC装置向人工智能化方向发展；采用新型的自动编程系统；增强通信功能；数控系统可靠性不断提高。总之，数控机床技术在不断发展，功能越来越完善，使用越来越方便，可靠性越来越高，性价比也越来越高。智能化、开放式、网络化成为当代数控系统发展的主要趋势。

1. 智能化

数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展，数控系统引入了自适应控制、模糊控制和神经网络控制，不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、自学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能，而且人机界面极为友好，并具有故障诊断专家系统，从而使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺