

高职高专数控技术应用专业规划教材

计算机 数控系统

陈继振 主编

高职高专数控技术应用专业规划教材

计算机数控系统

主 编 陈继振
副主编 马靖然
参 编 牛志斌 蒋从根
主 审 周敏森



机械工业出版社

本书重点介绍了数字控制的基本概念与机床数控系统的组成原理,详细介绍数控系统的连接调试、机床数控改造的设计及计算。全书共分八章,主要内容包括数字控制的基本概念、计算机数控(CNC)系统的硬件软件、位置检测装置、CNC的进给及主轴伺服驱动系统、数控系统的通信及可编程序控制器、典型数控系统的连接、数控系统的安装调试与故障诊断和机床数控改造等内容。各章前有内容提示,章后有小结及思考题。

本书是高等职业院校数控技术应用专业教材,可作为机电技术应用、机械制造专业的教材,也可作为中高级职业资格与就业培训用书,以及供有关专业的师生和从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机数控系统/陈继振主编. —北京:机械工业出版社, 2005.10

高职高专数控技术应用专业规划教材

ISBN 7-111-17736-3

I. 计… II. 陈… III. 数控机床-控制系统-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第125367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:汪光灿 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新

封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·15.75印张·388千字

0 001—4 000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部最新制定的高等职业教育培养目标的有关精神及有关课程教学改革的基本要求,为适应高等职业教育的发展需要,由机械行业教学指导委员会和机械工业出版社共同组织编写的,是21世纪数控技术应用课程规划教材及职业教育教改系列教材之一。

本书以突出职业教育为特色,从增强实用性和加强能力与素质培养为指导,根据工程实际的要求,对传统的课程体系和教学内容进行了重新组合调整,淡化了复杂的理论分析和公式推导,淡化了如纸带输入机等现有数控系统早已淘汰的技术,取而代之是那些被工程广泛应用的新技术、新结构、新系统。本书以计算机数控系统为主线,主要介绍数字控制的基本概念、计算机数控(CNC)系统的硬件软件结构及原理、位置检测装置、数控机床的进给和主轴伺服驱动系统、数控系统的通信和可编程序控制器、数控系统的连接、数控系统的安装调试与故障诊断、机床的数控改造等内容。各章后均附有小结及思考题。

本书由陈继振主编并统稿,马靖然任副主编,周敏森主审,牛志斌、蒋从根参加编写。其中第二章、第八章由陈继振编写,第一章、第三章、第四章、第六章第四节由马靖然编写,并参与了全书的统稿,第五章、第六章第一至第三节由牛志斌编写,第七章由蒋从根编写。

本书在编写的过程中,得到了廊坊职业技术学院、山西机电职业技术学院、北京仪器仪表工业学校、北京第一机床厂等领导及教师的大力支持。赵志成对本书的编写提供了宝贵的意见与帮助,在此深表感谢。

由于编者水平有限,编写时间紧迫,书中难免出现缺点和错误,敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 数控技术的基本概念	1
第二节 数控系统的基本组成及工作原理	2
第三节 数控系统的分类及特点	4
第四节 开放式 CNC 系统的结构与特点	7
第五节 数控技术的发展	9
本章小结	12
思考练习题	13
第二章 计算机数控系统	14
第一节 概述	14
第二节 CNC 系统的硬件结构	18
第三节 CNC 系统的软件结构	27
第四节 CNC 系统的信息处理过程	30
第五节 经济型数控系统	42
本章小结	44
思考练习题	45
第三章 检测装置	46
第一节 编码器	46
第二节 光栅	50
第三节 旋转变压器和感应同步器	53
第四节 磁栅	57
第五节 位置检测装置在数控系统中的应用	59
本章小结	61
思考练习题	62
第四章 CNC 伺服驱动系统	63
第一节 位置控制原理	63
第二节 步进电动机伺服驱动系统	67
第三节 交流伺服驱动系统	77
第四节 直流伺服驱动系统	92
第五节 主轴驱动	96
本章小结	101

思考练习题	102
-------	-----

第五章 通信及可编程序控制器	103
第一节 通信接口与网络	103
第二节 数控系统中的 PLC	116
第三节 PLC 在数控机床中的应用	122
本章小结	126
思考练习题	126
第六章 数控系统的连接	127
第一节 概述	127
第二节 数控车床的 SIEMENS 802Se 系统	134
第三节 加工中心的 SIEMENS 840D 系统	145
第四节 华中数控系统	156
本章小结	160
思考练习题	161
第七章 数控系统的安装调试与故障诊断	162
第一节 数控机床及系统的安装	162
第二节 数控系统的调试	164
第三节 数控系统的故障诊断	178
本章小结	193
思考练习题	193
第八章 机床的数控改造	194
第一节 概述	194
第二节 机床数控改造总体方案设计	197
第三节 机床进给系统的改造设计	206
第四节 机床数控改造中常用部件	221
第五节 数控系统的选型	229
第六节 机床数控改造的安装及调试	235
本章小结	245
思考练习题	246
参考文献	247

第一章 绪 论

本章摘要：本章主要介绍数控技术的基本概念、数控系统的基本组成和工作原理、数控系统的分类和特点、开放式数控系统的结构和特点以及数控技术的产生与发展现状。

第一节 数控技术的基本概念

机械制造技术经过操作机械、动力机械、电动机与自动控制三个阶段的发展，已经开始进入智能化阶段。20 世纪中叶，机械自动化是通过机械、电气和液压等方式实现的，如用凸轮机构或挡块等控制的专用机床、靠模仿形机床、各种组合专用机床及在此基础上连成的自动生产线等。这类机械加工自动化称为“刚性自动化”。它主要完成大批量简单零件的机械加工。

随着科学技术的飞速发展，特别是微电子技术 in 机械制造领域的广泛应用，机械自动化开始向“柔性自动化”发展。数字控制技术集电子技术、计算机技术、自动控制与精密测量技术等技术为一体，应用于机械加工制造，于是数控机床应运而生。它通过编制程序进行工件的加工，具有广泛的适应性，使传统机械制造的概念发生了根本的转变，实现了真正的“柔性”。它解决了多品种、中小批量机械加工自动化的问题。

数字控制（Numerical Control，简称 NC）技术简称为数控技术，是一种自动控制技术。它采用数字代码形式的信息，按给定的工作程序、运动速度和轨迹，对被控对象进行自动控制，也就是说，用数字化信号对机床运动及其加工过程进行自动控制。它的控制对象是数字量，而不是模拟量。

采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用通用计算机硬件结构，利用控制软件来实现数控功能的数控系统，称为计算机数控（Computer Numerical Control，简称 CNC）系统。NC 系统以具体的硬件电路来实现各种控制功能；CNC 系统则是利用相应的系统程序去实现各种控制功能。CNC 系统的特点为：

- 1) 可用不同的字长表示不同精度的信息，表达信息准确。
- 2) 可进行逻辑运算、数字运算和复杂的信息处理。
- 3) 由于有逻辑处理功能，可根据不同的指令进行不同方式的信息处理，从而可用软件来改变信息处理的方式或过程，而不用改动电路或机械的机构，使机械设备具有“柔性”。

数控技术广泛应用于机床的控制，将数控系统与机床本体有机结合在一起，即数控机床，如数控车床、数控铣床、加工中心等。数控系统对机床的控制包括两个方面，即顺序控制和数字控制。顺序控制是指对开关量的控制，如主轴调速、换刀、切削液的开与关、工作台的极限位置等。数字控制是指对数字量的控制，如机床的进给运动、工作台的位移、速度等。

第二节 数控系统的基本组成及工作原理

随着计算机技术的发展,数控系统在经历了电子管、晶体管、集成电路和小型计算机等四个发展阶段后,最终进入第五代数控系统——CNC系统,从而完成质的飞跃。

一、数控系统的基本组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置、位置检测装置和辅助控制装置等五部分组成,其控制对象是机床本体,如图1-1所示。

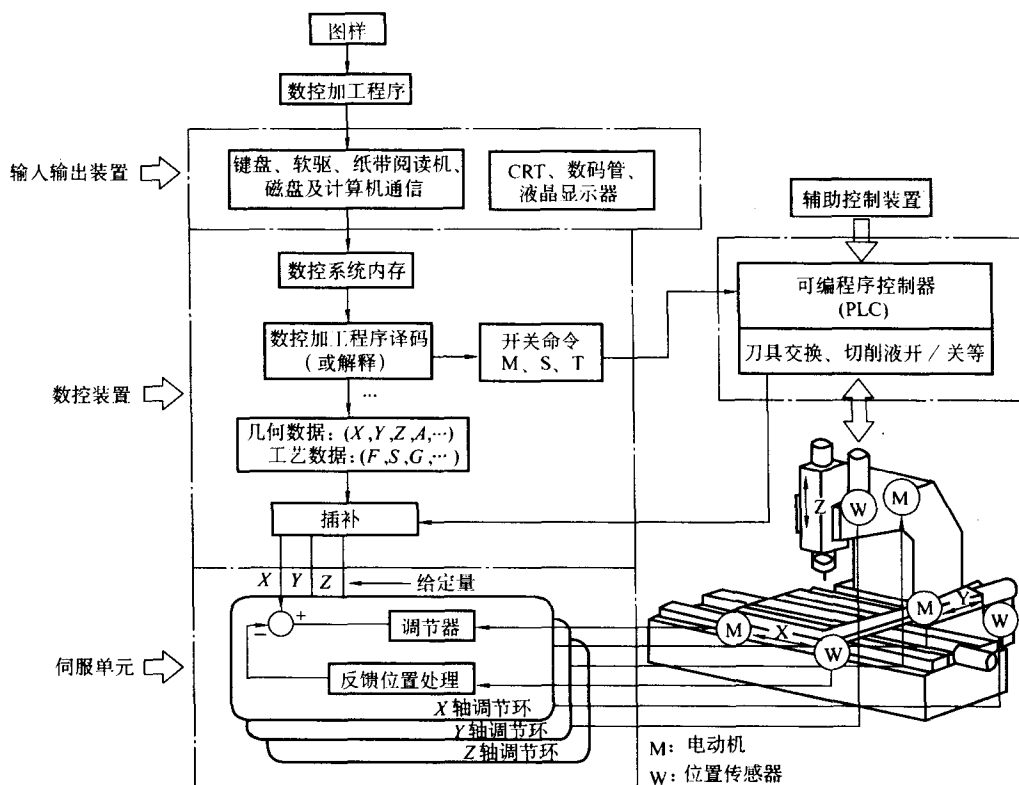


图 1-1 数控系统组成及工作过程

1. 输入/输出装置

输入装置是把数控加工所需的各种信息输入数控装置,作为控制的依据;而输出装置则是将数控装置的各种信息进行显示或打印。数控系统通常配置的输入装置有光电阅读机、键盘、软盘驱动器、磁盘、通信接口等设备;输出装置有显示器、各种信号指示灯、报警蜂鸣器等设备。

数控加工程序在输入数控装置时,需要通过某种程序载体来完成。现在采用的方法有MDI (Manual Data Input, 即手动数据输入)、磁盘或连接上位计算机的DNC (Direct Numerical Control, 直接数控)接口输入。

MDI 是操作人员通过键盘和显示器进行程序的输入、修改和调试。操作人员根据显示器提供的信息,判断数控系统的状态,通过键盘完成对数控机床的各种操作。键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备。

随着计算机技术的飞速发展,在数控系统中不断引入相关技术,如用磁盘取代纸带、提高存取速度、简化存取方式。由于 CAD/CAM (计算机辅助设计/制造)、FMS (柔性制造系统)、CIMS (计算机集成制造系统) 等技术的广泛应用,数控系统与计算机之间的串行通信也日益普遍。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心。它的主要作用是根据输入的加工程序和数据,完成数据值计算、逻辑判断、轨迹插补等任务,并输出相应的指令脉冲信号,以控制机床的运动。

数控装置一般由专用(或通用)计算机、输入/输出接口板及机床控制器等部分组成,其中机床控制器主要完成数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

3. 伺服控制装置

伺服驱动装置介于数控装置和机床之间,是数控系统的执行部分。它的主要作用是根据数控装置送来的速度及位置指令驱动机床的进给运动部件,完成指令规定的运动。

伺服驱动装置一般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进给系统。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服驱动装置。伺服驱动装置有开环、半闭环和闭环之分。伺服电动机的驱动控制装置一般仅完成电动机的速度控制,而伺服电动机的角位移控制则由数控装置来完成。

4. 位置检测装置

位置检测装置分为电动机的转角位移检测和数控机床执行机构(工作台)的直线位移检测两种。运动部分通过传感器将上述角位移或直线位移转换成电信号,反馈给数控系统,与指令位置进行比较,再由数控系统发出指令,对角位移或直线位移进行控制。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压、气动等部件之间的控制装置。它的主要作用是接收数控系统输出的主运动换向、变速、启停、换刀及辅助动作等指令信号,经过运算、判别和功率放大后直接驱动相应执行部件,带动机床机械部件、液压、气动等辅助装置完成指令规定的动作。可编程序控制器可直接用于数控机床的辅助控制。

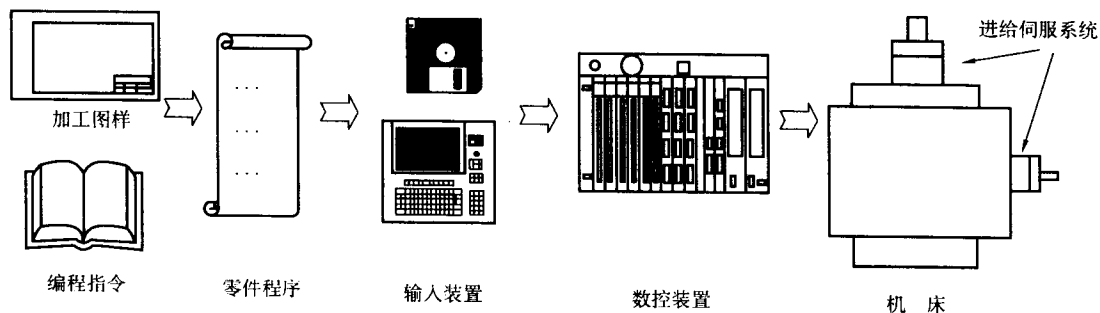


图 1-2 数控系统的工作原理

二、数控系统的工作原理

数控机床在加工零件时,首先编制零件的数控程序(数控机床的工作指令),然后将数控程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停、进给运动方向、速度和位移的大小、刀具选择交换、工件夹紧松开、路程和参数等进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件,如图 1-2 所示。

第三节 数控系统的分类及特点

为满足不同用途的需要,数控系统有不同的类型。根据控制运动方式的不同,可分为点位控制数控系统、点位/直线控制数控系统和连续控制数控系统。根据数控装置的不同,可分为硬件数控系统和计算机数控系统。根据伺服系统反馈信息的不同,可分为开环数控系统、闭环数控系统和半闭环数控系统。根据功能水平的不同,可分为多功能型数控系统和经济型数控系统。在数控系统发展的基础上,又出现了先进的自适应数控系统和直接数控系统等。

一、数控系统的分类

1. 根据控制运动方式的不同

(1) 点位控制数控系统 这类系统只要求精确地控制刀具相对于工件从一个坐标点移动到另一个坐标点的定位精度,而与运动轨迹无关,如图 1-3 所示。在移动过程中,机床不进行任何加工。点位控制的特点是严格控制用最小位移量(即脉冲当量)表示两点间的距离。为了精确定位和提高生产率,首先让刀具(或工作台)高速运行,然后进行 1~3 级减速,使之慢速趋近定位点,从而减小定位偏差。这类系统主要应用于数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床和数控测量机等。此外,有些系统还有刀具选择、刀具长度和刀具半径补偿等功能。

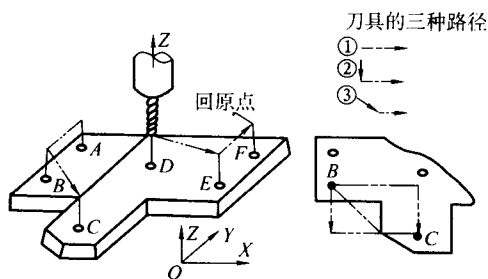


图 1-3 点位控制数控系统工作示意图

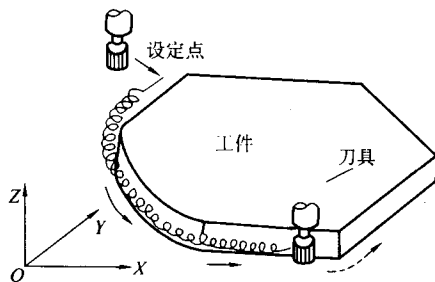


图 1-4 两坐标轮廓控制系统的工作原理图

(2) 点位/直线控制数控系统 这类数控系统不仅要求具有准确的定位功能,而且要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工,其运动轨迹一般是与各坐标轴相平行或成 45° 角的直线段。数控系统可以对运动速度进行控制,并且对于不同的刀具和工件,还可以选择不同的切削用量。这类系统主要应用于数控车床、数控镗铣床、加工中心等。

(3) 连续控制数控系统 这类数控系统能对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续的相关控制,使合成的平面或空间运动轨迹满足加工的要求,如图 1-4 所示。由于需要精确地同时控制两个或更多的坐标运动,数据处理的速度比点位控制系统可能高出上千倍,所以数控系统的计算机要求具有较高速度的数学运算和信息处理能力。由于连续控制功能通过插补运算软件可以非常方便地实现,因此,现代的数控机床基本上都具有连续控制功能。这类系统主要应用于加工曲面的数控车床、两坐标或两坐标以上的数控铣床及加工中心等。

2. 根据数控装置的不同

(1) 硬件数控系统 硬件数控系统 (NC) 又称普通数控系统。它的信息输入、插补运算、速度处理等功能都由固定的数字逻辑电路实现。不同的数控系统具有不同的硬件控制电路,其通用性和灵活性较差,而成本较高。这类数控系统在 20 世纪 70 年代初应用较为广泛。

(2) 计算机数控系统 这类数控系统以硬件数控系统为基础,其硬件电路是小型机或微型机配备通用或专用大规模集成电路,而控制功能基本上由软件系统来实现。软件系统不同,数控系统的功能也就不同。它是在 20 世纪 70 年代中期随着计算机技术的飞速发展而出现的,现在已成为主流数控系统。它与 NC 系统相比具有如下特点:

- 1) 采用软件控制程序,系统灵活可变,易于功能的变化和扩展。
- 2) 硬件采用模块化结构,系统的通用性更强。
- 3) 采用大规模集成电路,系统的可靠性更高。
- 4) 有丰富的指令系统和高速运算能力,易于实现复杂程序的控制。
- 5) 有自诊断功能,系统的使用与维护更加方便。

3. 根据伺服系统反馈信息的不同

(1) 开环数控系统 开环数控系统通常不带位置检测元件,而是使用功率步进电动机作为执行元件。数控系统每发出一个指令脉冲,经驱动电路功率放大后,就驱动步进电动机旋转一个角度,再由传动机构带动工作台移动。图 1-5 是一个典型的开环数控系统。

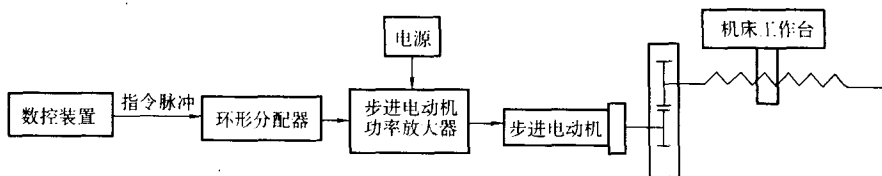


图 1-5 开环数控系统

采用开环数控系统的数控机床受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难于实现高精度加工。但是由于系统结构简单、成本较低、技术容易掌握,所以使用仍较为广泛。普通机床的数控化改造大多采用开环数控系统。

(2) 闭环数控系统 闭环数控系统是按闭环控制原理工作的,如图 1-6 所示。数控装置将位移指令与位置检测元件测得的工作台实际位置反馈信号随时进行比较,根据其差值及指令进给速度的要求,按一定的规律进行转换后,得到伺服系统的进给速度指令。此外,还利用与伺服电动机同轴刚性连接的测速元器件,随时检测伺服电动机的转速,得到速度反馈信

号, 将它与速度指令信号相比较, 得到速度偏差信号, 对驱动电动机的转速随时进行校正。利用上述的位置控制和速度控制的两个回路, 可以获得比开环数控系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的特性指标。从图 1-6 中可以看到, 闭环数控系统的位置检测元件安装在机床工作台上, 用以检测机床工作台的位置或位移量。

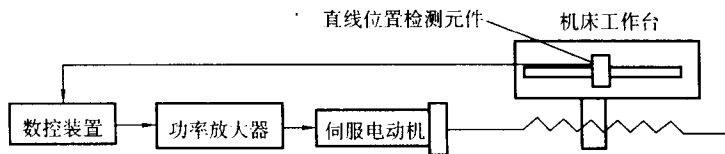


图 1-6 闭环数控系统

(3) 半闭环数控系统 如果将位置检测元件安装在伺服电动机的端部, 或安装在传动丝杠端部, 间接测量执行部件的实际位置或位移量, 即为半闭环数控系统。图 1-7 为一个半闭环数控系统, 它可以获得比开环数控系统更高的精度, 但它的位移精度比闭环数控系统要低。由于位置检测元件安装方便、调试容易, 现在大多数数控机床都采用半闭环数控系统。

4. 根据数控系统功能水平的不同

(1) 多功能型数控系统 多功能型数控系统的功能比较齐全, 适用于功率较大、动作较多、运动较复杂、定位精度较高的大、中型数控机床。由于这种数控系统价格昂贵, 我国一般的中、小型企业无法购置。

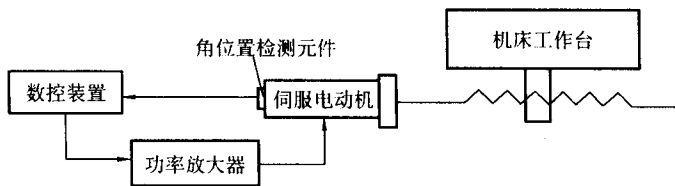


图 1-7 半闭环数控系统

(2) 经济型数控系统 经济型数控系统是指由单板机或单片机与步进电动机组成的功能相对简单、价格偏低的系统配置。近年来, 我国成功地应用经济型数控系统配置车床、铣床、线切割机床、冲剪床及普通机床。由于经济型数控机床具有结构简单、运行稳定、调试方便、价格低的优点, 必将随着其性能的不断改善而得到更快的发展和更广泛的应用。

二、计算机数控系统的特点

1. 柔性好

计算机数控 (CNC) 系统是在传统硬件数控 (NC) 系统的基础上发展起来的。NC 系统的功能靠硬件电路来实现, 一旦完成非经重新布线而不能改变。CNC 系统通过执行计算机存储器中的系统程序来实现数控机床的逻辑控制, 不同的控制功能决定于其系统软件的变化。随着数控技术的发展, 可以不断开发新的系统软件来扩充 CNC 系统的功能, 以满足控制的需要, 这就使 CNC 系统具有很大的柔性——灵活性, 这是 CNC 系统最显著的特点。

2. 通用性强

现代 CNC 系统中, 硬件系统采用模块化结构, 通过软件变化来满足各种控制要求。标

准化的接口电路极大地方便了数控机床生产厂家和用户。使用一种 CNC 系统就能满足大部分数控机床（数控车床、数控铣床、加工中心、数控钻床等）的要求，同时也给数控人员培训、设备的使用和维修带来了很大的方便。

3. 可靠性高

可靠性是衡量控制系统的一个重要性能指标。由于 CNC 系统采用 MDI、磁盘、串行口等方式进行信息的输入，使输入操作简单、快捷，避免了采用纸带输入所存在的各种问题。许多控制功能由系统软件来实现，硬件系统采用大规模或超大规模集成电路，从而使整个数控系统的可靠性大为改善。这一切都使得 CNC 系统的平均无故障运行时间大幅增加。

4. 控制功能强

CNC 系统具有计算机的强大运算能力，从而可以实现各种复杂的控制功能，如加工过程的图形模拟、加工轨迹的坐标显示、在线自动编程、复杂的抛物线插补、螺旋线插补、故障诊断、机械手控制以及利用联网通信功能将数控机床纳入柔性制造系统（FMS）或计算机集成制造系统（CIMS）中。

5. 操作、维修方便

CNC 系统都有零件程序编辑功能，使加工程序的编辑、修改、调试与模拟加工都很方便。高性能的数控系统还有对话程编、蓝图程编，使得编程人员无需具备很高的专业水平。CNC 系统一般都配备自诊断功能，在系统运行过程中可及时查找故障，并提示给操作人员，以便维修。

6. 易于实现机电一体化

由于 CNC 系统硬件采用模块化结构，只要采用数块模块即可构成一个完整的控制系统，结构紧凑，易于与机床结构联为一体。CNC 系统具有很强的通信能力，便于与直接数字控制（DNC）、FMS、CIMS 等系统进行通信联络，这在一定程度上促进了机电一体化的实现。

第四节 开放式 CNC 系统的结构与特点

数控技术经过 40 多年的发展日益成熟。由专用计算机组成的数控系统，虽然可以获得很高的性能，但是由于各种原因，不同厂家、不同系列的数控系统都有着各自的硬件和软件结构，并且互不通用，在模块化结构、编程语言、人机界面、操作系统、接口等各方面都存在着很大的差异。这不仅给用户带来了使用上的复杂性，也给机床的改造和二次开发带来相当大的困难。因此，西方各发达国家相继提出了向规范化、标准化的方向发展，设计开放式体系结构的 CNC 系统。

一、开放式 CNC 系统的定义

所谓开放式 CNC 系统，就是 CNC 系统的开发可以在统一的运行平台上，面向机床厂家和最终用户，通过改变、增加或删减数控功能，形成系列化，并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中，快速实现不同品种、不同档次的开放式 CNC 系统。目前，开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是研究的核心。一个开放性 CNC 系统应该具有以下特点：

1) 遵循分布式控制的原则，采用可移植的、透明的层次性和模块结构。

- 2) 根据需要可实现动态重构、编辑, 以便实现一个系统多种用途。
- 3) 组成开放性系统的模块具有独立性, 模块要有标准的接口以实现通用性。
- 4) 采用标准化和公用的接口与协议, 并具有良好的人机界面。

开放性既包括了系统组成部分之间的开放性, 也包括了系统组成内部的开放性。前者是指组成系统的 CNC 装置、伺服系统、主轴驱动等主要部分之间的接口的标准化; 而后者是指 CNC 内部的硬件和软件的标准化和公开化。

二、开放式 CNC 系统的构成

目前比较流行的开放式 CNC 系统主要有两种结构, 即 CNC + PC 主板和 PC + 专业运动控制卡。CNC + PC 主板是把一块 PC 主板插入传统的 CNC 机器中, PC 板主要运行非实时控制, CNC 主要运行以坐标轴为主的实时控制; PC + 专业运动控制卡是把运动控制卡插入计算机标准插槽中用作实时控制, 而 PC 机主要用作处理非实时控制。后者能充分发挥计算机处理速度快、人机接口友好的特点, 越来越受到机床制造商的欢迎, 成为近年来国内开放式数控发展的主流。下面以四川步进机电公司自主研制开发的 MPC01 运动控制卡为例, 介绍“PC + 专业运动控制卡”这种结构模式的开放式数控系统。

1. 开放式 CNC 系统的硬件系统

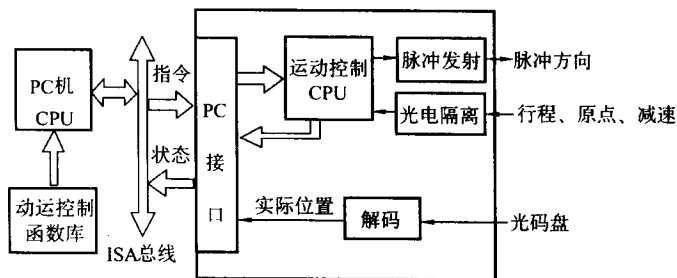


图 1-8 开放式 CNC 系统的硬件框图

控制系统以基于工业 PC 的 MPC01 为核心, 采用松下数字交流伺服系统构成一个开放式的数控系统, 如图 1-8 所示。利用 MPC01 的多轴运动控制功能,

将交流伺服系统与 DMC 的脉冲输出通道相连, 实现电动机的转速信号的输出, 同时也可接受光电编码器的反馈信号的采样, 以实现全闭环控制。另外, 通过 DMC 的 DB15 接口, 可以接收机床上一些与运动控制有关的 I/O 量的输入, 如检测机床参考点、限位等开关信号。

运动控制卡必须与 PC 机进行通信才能完成机床的控制任务, 通过 PC 机的外设可实现加工程序的输入、编辑、参数的设置、机床运行的实时状态等等。另外借助 PC 的图形数据处理的强大功能, 可以很容易地实现系统的 DNC 功能。

2. 开放式 CNC 系统的软件系统

开放式 CNC 系统的软件系统的结构如图 1-9 所示。本系统充分发挥了 PC 机软件资源丰富和处理数据速度快的优点, 吸收了 CAD/CAM 的特点, 在利用造型软件生成零件图后, 将图形的 DXF 格式文件转化为加工 G 代码, 然后将 G 代码解释为板卡的运动控制函数, 最后通过调用 MPC01 运动函数库内的插补运动函数, 达到实现机床控制的目的。

“PC + 运动控制卡”式数控系统将是开放式数控

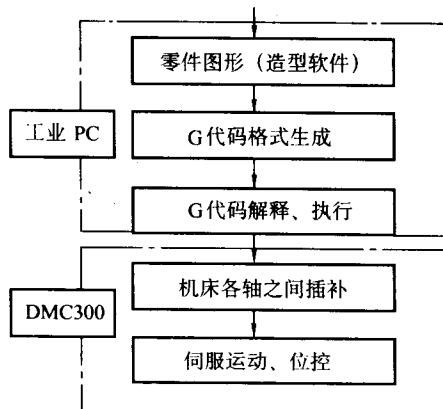


图 1-9 开放式 CNC 系统软件框图

系统的一个里程碑。这种系统支持运动控制策略的用户定制,体现了一种核心级的开放思想。从这种系统开始,数控系统将进入“完全开放”时代。

三、开放式 CNC 的特点

与以往的专用数控系统相比,开放式数控系统一般具有如下特点:

1. 价格较低,性能价格比极高

由于开放式数控系统具有较强的可移植性,使其开发费用大大下降,维修更简易,质量更可靠,性能更加完善,增强了开放式数控系统的市场竞争能力。以往一套专用超精密数控加工系统动辄上百万,而一套开放式超精密加工数控系统成本则低得多。

2. 模块化的设计

开放式数控系统中的各模块相互独立,可让用户在较大范围内根据需求配置系统,如机床轴数、I/O 点数等,而当系统硬件改变时,只需简单修改数控系统软件,即可满足需求。这使 CNC 系统具有更大的灵活性,更能适应市场的动态变化。

3. 丰富友好的人机界面

机床制造商或用户可在开放式环境下用不同的编程语言随心所欲地开发最适合自己的用途的人机界面,完善自己的数控系统,如某些特殊机床的专用控制功能,而不必过多地考虑数控系统控制器的核心部分。

4. 优良的开放性能

开放式数控系统能方便地挂上第三方的应用软件,如各种 CAD/CAM 软件、测试软件或管理软件来满足自己的需求。开放式数控系统可集众家之长,其优势是不言而喻的。

5. 支持多种操作平台

开放式结构的数控系统比以往的专用数控系统能更好地支持各种不同的操作平台,如 Windows、WindowsNT、Unix、OS2 等。

四、开放式数控系统的发展

目前,各发达国家都在竞相发展自己的开放式体系结构的数控系统,如美国的“下一代工作站/机床控制器体系结构”NGC (The Next Generation Work-station/Machine Control)、欧洲的“自动化系统中开放式体系结构”OSACA (Open System Architecture for Control Within Automation Systems)、日本的 OSEC (Open System Environment for Controller) 等。近年来,国内对开放式 CNC 系统的研究也在不断深入,为数众多的高校科研院所开发了自己的开放式 CNC 系统,比较典型的有华中科技大学的华中 I 型 CNC 系统、北京航空航天大学的中华 I 型 CNC 系统、中国科学院沈阳计算技术研究所的蓝天系列高档 CNC 系统、西安交通大学五轴五联动 CNC 系统等。国家已经制定并实施了相关的标准,相信将有越来越多的具有自己知识产权的高性能数控系统在我国国民经济建设中作出贡献。

第五节 数控技术的发展

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透形成的机电一体化产品,其技术范围覆盖很多领域:①机械制造技术;②信息处理、加工、传输技术;③自动控

制技术；④伺服驱动技术；⑤传感器技术；⑥软件技术等。计算机对传统机械制造产业的渗透，完全改变了制造业。制造业不但成为工业化的象征，而且由于信息技术的渗透，使制造业犹如朝阳产业具有广阔的发展天地。

一、数控技术的产生和发展

纵观数控技术的发展历史，不难看出数控技术的发展是逐步跟踪计算机技术的发展而不断发展的。从1952年至今，大致经历了如下五个发展阶段：电子管数控、晶体管数控、中规模IC数控、小型计算机数控、微处理器数控。

最早采用数控技术进行机械加工的思想，是在20世纪40年代初提出的。当时，美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕尔森兹公司（Parsons Corporation）在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用的样板时，利用全数字计算机对叶片轮廓的加工轨迹进行了数据处理，并考虑了刀具直径对加工路径的影响，达到了很高的加工精度。

1952年，美国麻省理工学院成功地研制出一套三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统，并把它装在一台立式铣床上，当时用的电子元器件是电子管。这是世界上第一台数控机床，从此数控机床进入制造业。

1959年，晶体管元器件出现并应用于数控系统，从而跨入第二代。1959年3月，由美国克耐·杜列克公司（Kearney&Trecker Corp）发明了带有自动换刀装置的数控机床，称为“加工中心”。

从1960年开始，德国、日本等发达工业国家陆续开发、生产并使用了数控机床。

1965年，体积小、功耗低的小规模集成电路出现，使数控系统的可靠性得以进一步提高，数控系统进入第三代。

以上三代属于硬件逻辑数控系统（NC），即普通数控系统。它存在着以下局限性：

- 1) 不能自由地从信息网上选取信息。
- 2) 体系结构不开放，用户接口不完善，机械厂家和用户不能自主地根据需要对数控系统进行裁剪，用户不能方便地融入自身的技术诀窍来创造出自己的名牌产品。
- 3) 不能充分地利用已有的通用软件资源。
- 4) 不能自由地获取外部的工况信息。
- 5) 体系结构繁多，不利于批量生产、提高可靠性和降低成本，削弱了市场供应能力和竞争能力，同时限制了数控技术的发展。

1967年，英国首先把几台数控机床联接成具有柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统（Flexible Manufacturing System，即FMS）。在此之后，美、欧、日也相继进行开发和使用。

随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降。数控系统的硬件开始采用小型计算机，数控功能便由系统软件来实现，这样的数控系统称为计算机数控系统（CNC）。1970年，在美国芝加哥国际展览会上首次展出了这种系统。数控系统由此进入第四代。

随着微处理器的开发与应用，1974年，美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统。时至今日，微处理器数控系统得到了广泛的发展与应用，这就是第五代数控系统（MNC）。

20世纪80年代初，国际上又出现了柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell，即FMC）。

FMC 和 FMS 被公认为是实现计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, 即 CIMS) 的必经阶段和基础。

二、我国数控机床的发展现状

我国数控机床的研制开始于 1958 年。

1965 年,我国开始研制晶体管数控系统,到 20 世纪 70 年代初期,相继开发出 X53K-1G 数控铣床、CJK-18 数控系统和数控非圆齿轮插齿机。

从 20 世纪 70 年代初期开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工和电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京相继研制成功。但由于电子元器件的质量和制造工艺水平低,致使数控系统的可靠性、稳定性等问题没有得到解决,因此未能推广使用。这一时期,数控切割机床由于结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到了广泛应用。

20 世纪 80 年代,我国曾花巨资引进德国西门子和日本法那科数控技术,并进行了商品化生产,来发展自己的数控技术,使我国的数控机床在性能和质量上产生了一个质的飞跃。

20 世纪 90 年代,我国数控机床的品种不断增多,许多技术复杂的大型数控机床、重型数控机床相继研制成功。在这个时期,我国在引进、消化国外技术的基础上,进行了大量开发工作,并制造出较高档次的数控系统。

现在,我国已建立了以中、低档数控机床为主的产业体系。

三、数控系统的发展趋势

1. 高速化和高精度化

要提高机械加工的生产率,其中最主要的方法是提高速度,但是这样做会降低加工精度。现代数控机床在提高加工速度的同时,也在进行高精度化。目前,已可以在最小设定单元为 $0.1\mu\text{m}$ 时,使进给速度达到 24m/min 。这就对数控系统提出了更高的要求。现代数控系统已普遍采用 32 位 CPU,总线频率达到 42MHz,并有向 64 位 CPU 发展的趋势。有的系统还采用了插补器的专用芯片,以提高插补速度;有的采用多 CPU 系统,以进一步提高控制速度。

为实现高速化和高精度化,伺服系统广泛采用如下技术:

1) 伺服电动机的位置环、速度环的控制实现数字化,以达到对电动机的高速、高精度控制。

2) 采用现代控制理论,减少滞后量,提高跟随精度。

3) 采用高分辨率的码盘。现代高分辨率码盘绝对位置的测量可达 163840 脉冲/转。

4) 实现多种补偿功能,提高数控机床的加工精度和动态特性。

2. 提高系统的可靠性

现代数控机床已大量使用高集成度和高质量的硬件,大大降低了数控机床的故障率。此外,现代数控系统还具有人工智能功能的故障诊断系统,对潜在的和发生的故障发出警报并提示解决方法。

3. 编程自动化

自动编程就是由计算机完成数控机床程序编制工作。按输入方式的不同,自动编程系统

分为语言输入方式和图形输入方式。图形输入方式用图形输入设备及图形菜单将零件图信息直接输入计算机并在屏幕上显示出来,再做进一步处理,最终得到加工程序。图形输入方式操作简单、直观,是数控编程的发展方向。现代数控系统一般是多 CPU 的,这样,在加工上一种零件的同时,可并行地编制下一种零件的加工程序。

4. 基于 PC 平台的开放型数控系统

数控系统的发展一直落后于计算机的发展,人们一直在致力于缩短两者在发展中的差距。针对封闭型专用数控系统所带来的不同的编程语言,五花八门的人机界面,多种操作系统,无标准接口等,人们提出了向标准化、规范化的方向发展,设计开放型数控系统的问题。例如,美国的 NGC 和 ONAC 计划,欧共体的 OSACA 计划和日本的 OSEC 计划等,其核心是制定开放型体系结构规范,发展开放型数控系统。进入 20 世纪 90 年代之后,随着通用 PC 机的发展和普及,特别是开放型计算机的发展,数控系统发生了历史性的变化,其将嵌入式和开放型结合在一起,比较好地解决了数控系统的设计问题。人们在 PC 机体系结构的基础上又设计了新一代嵌入式的数控系统,使 PC 机既有通用 PC 机的通用性,又有数控产品所要求的专用性。

利用通用 PC 机设计新一代开放型数控系统,基本上有两典型的结构:一种为 PC + NC,另一种为 PC-based。采用 PC + NC 结构的有美国 Autocon、CINCINNATIMILACRON 的 2100;德国 Siemens 的 840D;意大利 Fidia;我国航天数控集团的航天 I 型 CASNUC911TC/MC、中国科学院沈阳计算技术研究所的 8540 和北航海尔软件公司的 CAXA 等。它们将通用 PC 机与 NC 连接在一起构成前后台结构,形成多机、多过程数控系统。采用 PC-based 结构的有美国 Fadal、德国 IBH、日本朋立、我国航天数控集团、珠峰公司、华中科技大学和南京航空航天大学等,它们将数控专用模板插到通用 PC 机中构成数控系统。这些不同结构的开放型数控系统,是在一套数控专用模板的基础上,通过充分利用通用 PC 机的软硬件资源实现的。

本章小结

本章主要介绍了数控技术的基本概念、数控系统的基本组成和工作原理、数控系统的分类和特点、开放式数控系统的结构和特点,以及数控技术的产生与发展现状。

1. 数控技术,是一种自动控制技术,用数字化信号对机床运动及其加工过程进行自动控制。采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用通用计算机硬件结构,利用控制软件来实现数控功能的数控系统,称为计算机数控。

2. 数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置、位置检测装置和辅助控制装置等五部分组成,其控制对象是机床本体。数控装置是数控系统的核心。数控机床在加工零件时,将编制的零件加工程序输入到数控装置中,控制机床的主运动、进给运动及辅助功能,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

3. 数控系统有多种分类方式。根据控制运动方式的不同,可分为点位控制数控系统、点位/直线控制数控系统和连续控制数控系统。根据数控装置的不同,可分为硬件数控系统和计算机数控系统。根据伺服系统反馈信息的不同,可分为开环数控系统、闭环数控系统和半闭环数控系统。根据功能水平的不同,可分为多功能型数控系统和经济型数控系统。在数