

计算机数控系统

原理、编程与操作

叶伯生 等编著



华中理工大学出版社

TG659

Y36

计算机数控系统 原理、编程与操作

叶伯生 朱志红 熊清平 编著

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机数控系统原理、编程与操作 / 叶伯生 朱志红 熊清平 编著
武汉: 华中理工大学出版社, 1999.5

ISBN 7-5609-1932-4

I. 计…

II. ①叶… ②朱… ③熊…

III. 计算机数控系统-基本理论-高等学校-教材

IV. TP27

JS190/10

计算机数控系统原理、编程与操作 叶伯生 朱志红 熊清平 编著

责任编辑: 周芬娜

封面设计: 俞纘丽

责任校对: 张欣

监印: 张正林

出版发行者: 华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87542624

经销者: 新华书店湖北发行所

录排者: 洪山区兰琪科技打印社

印刷者: 武汉大学出版社印刷总厂

开本: 787×1092 1/16

印张: 13.75

字数: 333 000

版次: 1999年5月第1版

印次: 1999年5月第1次印刷

印数: 1-4 000

ISBN 7-5609-1932-4/TP·331

定价: 18.00 元

(本书若有印装质量问题, 请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书以计算机数控(CNC)系统为主要对象,讨论了 CNC 系统的基本概念、基本构成和分类、主要技术指标以及数控机床的有关规定,介绍了 CNC 系统的位置测量、输入、译码、刀具补偿、速度处理、插补、位置控制、误差补偿等基本工作原理,并以华中 I 型数控系统为例,详细介绍了基于个人计算机和 DOS 平台的 CNC 系统的硬件结构及软件结构,同时还讲述了数控系统的编程和操作等内容。

本书理论联系实际,内容丰富翔实,有较高的实用价值。

本书可用作高等工科院校机电一体化专业,以及各类成人教育学院、中专院校、技校相关专业的教材,也适合作各类数控系统应用培训班的教材,还可作为从事数控技术研究、开发的工程技术人员的参考书。

前 言

数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础。它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化。数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低和拥有量多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志。专家们预言,机械制造的竞争,其实质是数控技术的竞争。

随着我国国民经济的高速发展,数控机床的应用急剧增加。最近,国家经济贸易委员会在确定工业产品结构调整方案时,确定的10种重点工业产品中,数控机床位列第五。华中理工大学数控技术研究所根据国家有关部门的支持下,以通用工控机和DOS操作系统为软硬件平台研制开发的华中I型数控系统,由于采用了新颖先进的技术路线和可靠的质量保证,成为既具有国际先进水平又具有我国技术特色的数控产品。自1995年以来我们已为国内外厂矿企业和大中专院校提供了300余套数控系统。为适应大中专院校、职校、技校学生学习现代数控技术的需要,并供数控系统用户培训和学习之用,同时为数控技术研究开发人员提供一本较好的参考书,我们编写了《计算机数控系统原理、编程与操作》一书。在编写过程中,力求反映数控技术的基本知识和最新技术成就,并强调理论与实际的联系。

本书第一至第三章由叶伯生编著,第四、五章由朱志红、叶伯生、熊清平、陈吉红、周云飞编著,第六、七章由叶伯生、朱志红、陈吉红、甘锡英编著。全书由林奕鸿审定,叶伯生统稿。本书的出版得到了武汉华中数控系统有限公司的资助,在本书的编写过程中,得到了华中理工大学杨克冲教授、陆云祥高工的关心和帮助,此外,西北工业大学的卢光贤教授、华中理工大学的李斌副教授、马莉敏工程师也给作者提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。还要感谢华中理工大学数控技术研究所及华中数控系统有限公司的全体开发人员,书中的许多成果是他们辛勤劳动的结晶。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵的意见以便进一步修改。

编著者

1998年10月于武汉

目 录

第一章 计算机数控系统的基本概念.....	(1)
1.1 引 言.....	(1)
1.2 数控机床的组成.....	(1)
1.2.1 机床数字控制技术.....	(1)
1.2.2 数控机床的组成.....	(2)
1.3 数控系统的分类.....	(6)
1.4 实现机床数控的有关规定.....	(8)
1.4.1 机床坐标轴.....	(8)
1.4.2 机床坐标系与工件坐标系.....	(9)
1.4.3 绝对坐标与相对坐标.....	(10)
1.5 数控系统的主要技术指标.....	(10)
1.5.1 CNC 系统的特点.....	(10)
1.5.2 主要技术指标.....	(11)
第二章 计算机数控系统的位置测量装置.....	(15)
2.1 概述.....	(15)
2.1.1 位置测量装置的要求.....	(15)
2.1.2 位置测量装置的分类.....	(15)
2.2 光栅.....	(16)
2.2.1 光栅的结构.....	(16)
2.2.2 莫尔条纹的形成.....	(17)
2.2.3 光栅测量系统.....	(18)
2.3 码盘.....	(21)
2.3.1 接触式码盘.....	(21)
2.3.2 光电式码盘.....	(23)
2.4 旋转变压器和感应同步器.....	(24)
2.4.1 旋转变压器.....	(24)
2.4.2 感应同步器的结构和工作原理.....	(27)
2.4.3 感应同步器的测量系统.....	(29)
2.5 磁栅.....	(31)
2.5.1 磁栅结构.....	(31)
2.5.2 磁栅工作原理.....	(32)
2.5.3 磁栅检测电路.....	(33)
第三章 计算机数控系统的基本原理.....	(35)
3.1 概述.....	(35)
3.2 零件程序的输入.....	(36)

3.3 处理用缓冲区.....	(37)
3.3.1 处理过程中的信息交换.....	(37)
3.3.2 C 刀补的原理.....	(37)
3.3.3 缓冲区介绍.....	(39)
3.4 译码.....	(42)
3.4.1 处理准则.....	(42)
3.4.2 译码.....	(43)
3.5 刀具半径补偿.....	(46)
3.5.1 刀具半径补偿的概念.....	(46)
3.5.2 刀补轨迹和转接类型.....	(47)
3.5.3 刀具半径补偿过渡计算.....	(47)
3.5.4 刀具半径补偿的执行过程.....	(50)
3.6 刀具长度补偿.....	(51)
3.6.1 铣刀长度补偿.....	(51)
3.6.2 车刀长度补偿.....	(52)
3.7 速度计算.....	(53)
3.7.1 开环系统的速度计算.....	(53)
3.7.2 半闭环和闭环系统的速度处理.....	(54)
3.7.3 车床的速度计算.....	(56)
3.8 插补计算.....	(57)
3.8.1 插补原理.....	(57)
3.8.2 输出寄存区.....	(58)
3.8.3 直线插补.....	(59)
3.8.4 圆弧插补.....	(60)
3.8.5 螺旋线插补和正旋线插补.....	(62)
3.8.6 插补的圆整处理.....	(63)
3.9 位置控制原理.....	(63)
3.9.1 位置进给驱动装置.....	(63)
3.9.2 位置环.....	(68)
3.9.3 跟随误差的计算.....	(69)
3.9.4 进给速度的计算.....	(70)
3.9.5 前馈控制在 CNC 系统中的应用.....	(71)
3.9.6 倍率处理.....	(75)
3.9.7 进给速度监控.....	(76)
3.10 误差补偿原理.....	(76)
3.10.1 齿隙补偿.....	(76)
3.10.2 螺距误差补偿.....	(76)
3.11 加减速控制.....	(78)
3.11.1 加减速控制的目的.....	(78)

3.11.2 插补后加减速.....	(79)
3.11.3 插补前加减速.....	(81)
第四章 计算机数控系统硬件.....	(84)
4.1 CNC 装置的硬件构成.....	(84)
4.2 CNC 装置的体系结构.....	(86)
4.2.1 专用计算机组成的数控体系结构.....	(86)
4.2.2 开放式数控体系结构.....	(89)
4.2.3 通用 PC 机组成的数控体系结构.....	(92)
4.3 华中 I 型数控系统的硬件介绍.....	(95)
4.3.1 基于 PC 的开放式体系结构.....	(95)
4.3.2 几种典型实现方法.....	(96)
4.3.3 硬件板卡介绍.....	(98)
4.4 华中 I 型数控系统的连接.....	(107)
4.4.1 总体概要.....	(107)
4.4.2 操作单元与 CNC 单元的互连.....	(108)
4.4.3 CNC 及 PLC 与伺服单元的连接.....	(108)
4.4.4 PLC 与主轴单元的连接.....	(109)
4.4.5 电气控制单元的连接.....	(110)
4.4.6 华中 I 型数控单元外部连接详图.....	(110)
第五章 计算机数控系统的软件介绍.....	(111)
5.1 CNC 系统软硬件的界面.....	(111)
5.2 CNC 控制软件的特点.....	(111)
5.2.1 多任务并行处理.....	(111)
5.2.2 实时中断处理.....	(114)
5.3 CNC 系统的软件结构.....	(114)
5.3.1 软件结构的类型.....	(114)
5.3.2 华中 I 型数控系统的软件结构.....	(115)
5.4 华中 I 型数控系统主要软件介绍.....	(118)
5.4.1 实时多任务控制.....	(118)
5.4.2 曲面直接插补(SDI)算法.....	(122)
第六章 数控机床的程序编制.....	(128)
6.1 数控编程概述.....	(128)
6.2 数控加工工艺基础.....	(129)
6.2.1 CNC 机床的选择.....	(129)
6.2.2 加工工序的划分.....	(130)
6.2.3 工件的装卡方式.....	(130)
6.2.4 对刀点与换刀点的确定.....	(130)
6.2.5 选择走刀路线.....	(131)

6.2.6 加工刀具选择.....	(133)
6.2.7 切削用量的确定.....	(134)
6.2.8 程序编制中的误差控制.....	(134)
6.3 数控编程的数学处理.....	(135)
6.3.1 二维轮廓的刀位计算.....	(135)
6.3.2 空间曲面的刀位计算.....	(140)
6.4 数控铣床的编程.....	(145)
6.4.1 程序结构和指令字一览表.....	(145)
6.4.2 辅助机能, 主轴机能, 刀具机能, 进给速度.....	(146)
6.4.3 G 指令一览表.....	(148)
6.4.4 G 指令详解.....	(150)
6.4.5 宏指令编程.....	(170)
6.5 数控车床的编程特点.....	(175)
6.6 自动编程简介.....	(182)
6.6.1 自动编程的基本概念.....	(182)
6.6.2 APT 语言简介.....	(184)
6.6.3 自动编程的发展.....	(186)
第七章 数控机床的操作简介.....	(187)
7.1 NC 键盘与操作面板.....	(187)
7.2 系统的菜单结构.....	(191)
7.3 NC 单元的操作.....	(193)
7.3.1 程序编辑及管理.....	(193)
7.3.2 程序自动运行.....	(195)
7.3.3 MDI 手动数据输入.....	(199)
7.3.4 参数设置.....	(201)
7.3.5 PLC 状态显示.....	(205)
7.3.6 故障显示.....	(207)
附录 1 铣削加工编程实验.....	(208)
附录 2 车削加工编程实验.....	(210)
参考文献.....	(212)

第一章 计算机数控系统的基本概念

1.1 引言

在市场竞争激烈的情况下,高质量、高效益和多品种小批量柔性生产方式已是现代企业生存与发展的必要条件。传统的加工设备和制造方法已难以适应市场竞争的要求。因此,自1952年第1台数控机床问世到如今的40多年中,以电子信息技术为基础,集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体的数控技术得到迅速发展和广泛应用,使得普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械所代替,从而形成了巨大的生产力,导致制造业发生了根本性的变化。特别是相继出现的加工中心(MC, Machining Center)、直接数字控制(DNC, Direct Numerical Control)系统、柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)、计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)、智能制造系统(IMS, Intelligent Manufacturing System)等,进一步说明,数控技术已成为现代制造技术的基础,其水平高低和拥有量多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志。

数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用,是因为它有效地解决了复杂、精密、小批多变的零件加工问题,能适应各种机械产品迅速更新换代的需要,经济效益显著,具体表现在以下几个方面:

- 生产效益一般比普通机床提高3~5倍,多的可达8~10倍;
- 减少刀具和夹具的存储和花费,减少零件的库存和搬运次数;
- 减少工装,减少人为误差,提高加工精度,零件重复精度高,互换性好;
- 缩短新产品的试制和生产周期(当零件设计改变时,只需改变零件程序即可),易于组织多品种生产,使企业能对市场需要迅速做出响应;
- 能加工传统方法不能加工的大型复杂零件;
- 有利于产品质量的控制,生产便于管理;
- 减轻了劳动强度,改善了劳动条件,节省人力,降低了劳动花费。

1.2 数控机床的组成

1.2.1 机床数字控制技术

数字控制(NC, Numerical Control)是相对于模拟控制而言的。数字控制系统中的信息是数字量,而模拟控制系统中的信息是模拟量。

数字控制系统有如下特点:

- 可用不同的字长表示不同精度的信息;
- 可进行算术运算,也可进行复杂的信息处理;

- 可进行逻辑运算,可根据不同的指令进行不同方式的信息处理,从而用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改变电路或机械机构,因而具有柔性。

由于数字控制系统具有上述优点,故被广泛应用于机械运动的轨迹控制。轨迹控制是机床数控系统和工业机器人的主要控制内容。

最初的数字控制系统是由数字逻辑电路构成的,因而称之为硬件数控系统,随着计算机技术的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控(CNC, Computer Numerical Control)系统。CNC 系统完全由软件处理数字信息,因而具有真正的柔性,并可处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

机床数控技术顾名思义就是以数字化的信息实现机床控制的一门技术。采用数字形式信息控制的机床称为数字控制机床,简称数控机床。具体地说,凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹的信息记录在程序介质上,然后送入数控系统经过译码、运算,控制机床的刀具与工件的相对运动,加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

随着社会生产和科学技术的进步,数控技术不仅应用于机床的控制,还用于控制其他的设备,产生了诸如数控线切割机、数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机等数控设备,仅数控机床就有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控加工中心和数控车削中心等。

在机床控制中,“数字控制”和“顺序控制”是两个不同的概念。对于“顺序控制”而言,控制计算机只能控制各种自动加工动作的先后顺序,而对运动部件的位移量不能进行控制,位移量是靠预先调整好尺寸的档块等方式实现的。“数字控制”过程是一个自动化过程,使数控设备进行自动控制的那些指令是以数字和文字编码的方式记录在控制介质(或叫输入介质,通常有手动数据输入、磁带、磁盘、穿孔带或半导体存储器等)上,经过控制计算机的处理后,对各种动作的顺序、位移量以及速度实现自动控制。这比其他自动化设备所采用的凸轮、靠模、调整限位开关等要简便得多。

1.2.2 数控机床的组成

CNC 机床一般由输入输出设备、CNC 装置(或称 CNC 单元)、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器 PLC 及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-1 是 CNC 机床的组成框图。其中除机床本体之外的部分统称为计算机数控(CNC)系统。

下面分别介绍其中的主要组成部分。

1. 输入/输出设备

CNC 机床在进行加工前,必须接收由操纵人员输入的零件加工程序,然后才能根据输入的加工程序进行加工控制,从而加工出所需的零件。在加工过程中,操作人员要向机床数控装置输入操作命令,数控装置要为操作人员显示必要的信息,如坐标值、报警信号等。此外,输入的程序并非全部正确,有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员进行信息交流的过程,要进行信息交流,CNC 系统中必须具备必要的交互设备,即输入/输出设备。

键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备,操作人员可通过键盘及显示器输入程序、编辑修改程序和发送操作命令,即进行手动数据输入(MDI, Manual Data Input),

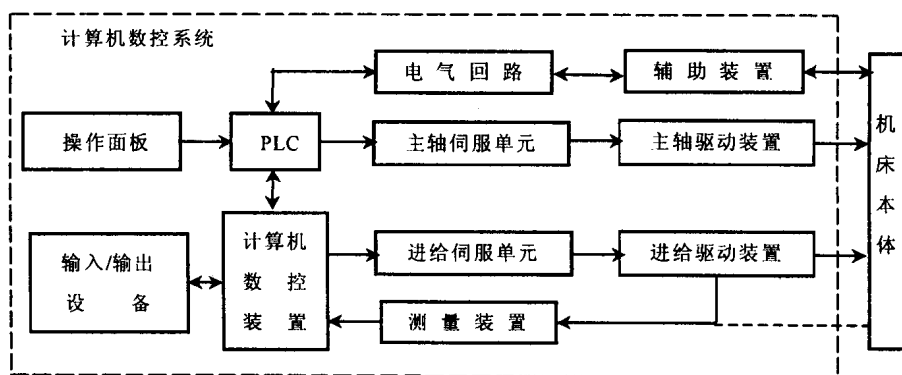


图 1-1 CNC 机床的组成

因而键盘是 MDI 中最主要的输入设备。数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息，根据系统所处的状态和操作命令的不同，显示的信息可以是正在编辑的程序，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。低档的显示器或液晶显示器只能显示字符，高档的显示系统能显示图形。

数控加工程序编制好后一般存放于便于输入到数控装置的一种控制介质上，传统的方式是将编制好的程序记录在穿孔纸带或磁带上，然后由纸带阅读机或磁带机输入数控系统，因此纸带阅读机和磁带机是数控机床的典型输入设备。

随着计算机技术的发展，一些计算机中的通用技术也融入数控系统，如磁盘也作为存储零件的介质引入数控系统。与纸带相比，磁盘存储密度大，存取速度快，存取方便，所以应用越来越广泛。

数控机床程序输入的方法除上述的键盘、磁盘、磁带和穿孔纸带外，还可以用串行通信的方式输入。随着 CAD/CAM、CIMS 技术的发展，机床数控系统和计算机的通信显得越来越重要。

2. CNC 装置

CNC 装置是 CNC 系统的核心，这一部分主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统其他组成部分联系的接口等。其本质是根据输入的数据段插补出理想的运动轨迹，然后输出到执行部件(伺服单元、驱动装置和机床)，加工出需要的零件。因此，输入、轨迹插补、位置控制是 CNC 装置的 3 个基本部分(即一般计算机的输入—决策—输出 3 个方面)。而所有这些工作是由 CNC 装置内的系统程序(亦称控制程序)进行合理的组织，使整个系统有条不紊地进行工作。CNC 装置的原理将在本书后继章节中详细介绍。

3. 伺服单元

伺服单元接收来自 CNC 装置的进给指令，经变换和放大后通过驱动装置转变成机床工作台的位移和速度。因此伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同伺服单元有脉冲式和模拟式之分，而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

4. 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床工作台,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。

和伺服单元相对应,驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等几种。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置,CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,所以,伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

进给伺服驱动系统是用于数控机床工作台或刀架各坐标方向的控制系统,控制机床坐标轴的切削进给运动,提供切削过程所需的转矩。数控技术的不断发展,对进给伺服驱动系统提出了很高的要求:一般要求定位精度为 $0.01\sim 0.001\text{mm}$,高档设备要求达到 $0.1\mu\text{m}$;为保证系统的跟踪精度,要求动态过程在 200ms 甚至几十 ms 以内,同时要求超调要小;为保证加工精度,一般要求进给速度在 $0\sim 24\text{m/min}$ 能正常工作,高档设备要求在 $0\sim 240\text{m/min}$ 连续可调,此外要求在低速进给时输出较大的转矩。

机床的主轴驱动系统和进给伺服驱动系统有很大的差别。机床的主传动主要是旋转运动,因此早期的数控机床一般采用三相感应同步电动机配上多级变速箱作为主轴驱动的主要方式。现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求,这包括要求有很高的主轴转速(液体冷却主轴电机可在 20000r/min 的高速下连续运行)和很宽的无级调速范围,如能在 $1:100\sim 1:1000$ 内进行恒转矩调速和 $1:10\sim 1:30$ 内进行恒功率调速;主传动电机应有 $2.2\sim 250\text{kW}$ 的功率,既要能输出大的功率,又要求主轴结构简单,同时数控机床的主驱动系统要能在主轴的两个转向中的任一方向都可以进行传动和加减速。此外,为使数控车床具有螺纹车削功能,要求主轴和进给驱动实现同步控制;在加工中心上为了自动换刀还要求主轴能进行高精度的准停控制;为了保证端面加工的表面质量,要求主轴具有表面恒线速切削功能;有的数控机床还要求具有角度分度控制功能。现代数控机床主轴绝大部分采用交流主轴驱动系统。

5. 可编程控制器

可编程控制器(PC, Programmable Controller)是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置,专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的,是为了解决生产设备的逻辑及开关量控制,故也把它称为可编程逻辑控制器(PLC, Programmable Logic Controller)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时,也可称为可编程机床控制器(PMC, Programmable Machine Controller)。本书采用 PLC 标识可编程控制器,而用 PC 标识个人计算机(Personal Computer)。

PLC 采用可编程序的存储器,在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、计数和算术运算等操作指令,并通过数字式、模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器都应按易于构成一个工业控制系统,易于扩展其功能的原则设计。

在 PLC 出现之前,机床的顺序控制是以机床当前运行状态为依据,使机床按预先规

定好的动作依次地工作，这种控制方式的实现，是由传统的继电器逻辑电路 (RLC, Relay Logic Circuit)完成的。这种电路是将继电器、接触器、开关、按钮等机电分立元件用导线连接而成的控制回路，由于它存在体积大、耗电多、寿命短、可靠性差、动作迟缓、柔性低、不易扩展等许多缺点，逐渐被 PLC 组成的顺序控制系统所代替。现在 PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。

CNC 和 PLC 协调配合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，如零件程序的编辑、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，没有轨迹上的具体要求，它接受 CNC 的控制代码 M(辅助功能)、S(主轴转速)、T(选刀、换刀)等顺序动作信息，对其进行译码，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、冷却液的开关等一些辅助动作；它还接受机床操作面板的指令，一方面直接控制机床的动作，另一方面将一部分指令送往 CNC 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 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制，而将 CNC 和 PLC 综合起来设计，称为内装型(或集成型)PLC，内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能，称为独立型(或外装型)PLC。

内装型 PLC 与 CNC 间的信息传送在 CNC 内部实现，PLC 与机床侧(MT, Machine Tool)间信息传送则通过 CNC 的输入/输出接口电路实现。一般这种类型的 PLC 不能独立工作，它只是 CNC 向 PLC 功能的扩展，两者是不能分离的。在硬件上，内装型 PLC 可与 CNC 共用一个 CPU，如西门子的 SINUMERIK810、820 等数控系统，也可以单独使用一个 CPU，如 FANUC 的 0 系统和 15 系统，美国 A-B 公司的 8400、8600 等。由于 CNC 功能和 PLC 功能在设计时就一同考虑，因而这种类型的系统在硬件和软件整体结构上合理、实用，性能价格比高，适用于类型变化不大的数控机床。由于 PLC 和 CNC 间没有多余的连线，且 PLC 上的信息能通过 CNC 显示器显示，PLC 的编程更为方便，而且故障诊断功能和系统的可靠性也有提高。

于 CNC 装置相对独立的独立型 PLC，可采用不同厂家的产品，这使用户有选择的余地，选择自己熟悉的产品。而且功能易于扩展和变更，当用户在向 FMS、CIMS 发展时，不至于使原系统做很大的变动。独立型 PLC 与 CNC 之间是通过输入输出接口连接的。

目前国内引进应用的国外 PLC 产品有数百种之多，较有名的有德国西门子公司的 SIMATIC 系列，日本立石公司的 OMRON-SYS-MAC 系列，以及日本 FANUC 公司的 PMC 系列。

6. 机床本体

CNC 机床中的机床，在开始阶段使用普通机床，只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面作些改变。实验证明，CNC 机床除了由于切削用量大、连续加工发热多等影响加工精度外，并且由于是自动控制，在加工中不像在普通机床上那样能由人工进行补偿，所以其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密。因而后来在 CNC 机床设计时，采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施。

7. 测量装置

测量装置也称反馈元件,通常安装在机床的工作台或丝杠上,相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛,它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号以控制机床向消除该误差的方向移动。

按有无检测装置,CNC 系统可分为开环与闭环数控系统,而按测量装置的安装位置又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度,闭环数控系统的精度取决于测量装置的精度。因此,测量装置是高性能数控机床的重要组成部分。

此外,由测量装置和显示环节构成的数显装置,可以在线显示机床坐标值,可以提高工作效率和工件的加工精度。

1.3 数控系统的分类

机床数控系统可按以下几种方式来分类。

1. 按系统特点分类

(1) 点位控制数控系统

在点位控制数控系统中,工件相对于刀具运动,直到到达零件程序规定的位置后停止,在运动过程中不进行任何加工。刀具在坐标值固定条件下执行切削任务。点位控制数控系统只准确控制坐标运动的最终位置,而对轨迹不作控制要求。为了精确定位和提高生产率,系统首先高速运行,然后进行减速,使之缓慢趋近定位点以减少定位误差。点位控制数控系统常用于数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机。

(2) 轮廓控制数控系统

在轮廓控制(连续轨迹)数控系统中,数控系统控制几个坐标轴同时协调运动(坐标联动),使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动,在运动过程中进行连续切削加工。数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床都必须装备轮廓控制数控系统。

按同时控制的轴数(即联动轴数)分,轮廓控制数控系统可分为 2 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控系统。例如 4 轴 3 联动是指任一时刻只能控制任意 3 轴联动。

2. 按控制装置类型分类

(1) 硬件数控系统

早期的数控系统是由数字逻辑电路来处理数字信息的,称为硬件数控(NC)系统,于 60 年代投入使用。硬件数控系统由于功能少、线路复杂、可靠性低等缺点,早已被淘汰,因而这种分类现已失去意义。

(2) 计算机数控系统

计算机数控(CNC)系统是由计算机来处理数字信息的,于 70 年代初期投入使用。随

着微电子技术的发展,微处理器的功能越来越强,价格越来越低,所以现代数控系统一般都采用微机进行控制,因而有人称这类数控系统为微机数控系统(MNC)。现代数控系统的主流是微机数控系统。

微机数控系统根据系统中微处理器(CPU)的多少可分为单微处理器数控系统和多微处理器数控系统。

3. 按有无测量装置分类

数控系统按有无测量装置可分为开环数控系统和闭环数控系统,在闭环数控系统中根据测量装置的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

(1) 开环数控系统

开环数控系统结构简单,没有测量反馈装置,数控装置发出的指令信号流是单向的,所以不存在系统稳定性问题。因为无位置反馈,所以精度不高,其精度主要取决于伺服驱动系统的性能。

开环数控系统是这样工作的:将控制机床工作台或刀架运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入 CNC 装置,CNC 装置根据这些参量指令计算出进给脉冲序列(脉冲个数对应位移量、脉冲频率对应位移速度、脉冲方向对应位移方向、脉冲输出的次序对应位移轨迹),然后经伺服单元进行功率放大,形成驱动装置的控制信号,最后由驱动装置驱动机床工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动,在控制工作台或刀架运动的同时,CNC 装置根据控制介质上零件程序规定的机床主运动的变速、启停以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等动作要求,协调完成机床的主轴功能、辅助功能和刀具功能,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

开环数控系统一般以功率步进电机作为伺服驱动元件。当插补结果需要某一坐标轴运动一个单位长度时,向该轴伺服电路输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电机转动一步,通过丝杠传动使机床运动部件移动一个单位长度。这个单位长度通常称为脉冲当量。

开环数控系统具有工作稳定、反应迅速、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。在我国,经济型数控机床一般都采用开环数控系统。

(2) 闭环数控系统

与开环数控系统不同的是,闭环数控系统在输入位移指令的同时,反馈检测机床工作台的实际位移量,反馈量与输入量在 CNC 装置中进行比较,若有差值,则 CNC 控制机床向着消除误差的方向运动。

- 半闭环数控系统。半闭环数控系统的位置采样点如图 1-1 的实线所示,是从驱动装置(常用伺服电机)或丝杠引出,通过采样旋转角度而不是采样运动部件的实际位置进行检测。因此,由丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的误差难以消除。半闭环数控系统闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此可获得稳定的控制性能,而机械传动环节带来的误差可用误差补偿的方法消除,因而仍可获得满意的精度。半闭环数控系统加补偿亦称为混合系统,这种系统结构简单、调试方便、精度也较

高,因而在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

- 全闭环数控系统。全闭环数控系统的位置采样点如图 1-1 的虚线所示,是从机床运动部件上直接引出,通过采样运动部件的实际位置进行检测,可以消除整个放大和传动环节的误差、间隙和失动,因而具有很高的位置控制精度。但是由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,故很容易造成系统的不稳定,使闭环系统的设计、安装和调试都相当困难。全闭环数控系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

4. 按功能水平分类

按功能水平可以把数控系统分为高级型、普及型、经济型 3 档。这种分类没有明确的定义和确切的界限。通常可用下述指标作为评价数控系统档次的参考条件:主 CPU 档次;分辨率和进给速度;联动轴数;伺服水平;通信功能;人机界面等。

(1) 高级型数控系统

高级型数控系统一般采用 32 位或更高性能的 CPU;联动轴数在 5 轴以上;分辨率 $\leq 0.1\mu$;进给速度 $\geq 24\text{m/min}$ (1μ 时)或 $\geq 10\text{m/min}$ (0.1μ 时);采用数字化交流伺服驱动;具有 MAP(Manufacturing Automation Protocol)等高性能通信接口,有联网功能;具有三维动态图形显示功能。

(2) 普及型数控系统

普及型数控系统一般采用 16 位或更高性能的 CPU;联动轴数在 5 轴以下;分辨率为 1μ ;进给速度 $\leq 24\text{m/min}$;采用交、直流伺服驱动;具有 RS232 或 DNC 通信接口;有 CRT 字符显示和图形显示。

(3) 经济型数控系统

经济型数控系统一般采用 8 位 CPU 或单片机;联动轴数在 3 轴以下;分辨率为 0.01mm ;进给速度在 $6\sim 8\text{m/min}$;采用步进电机驱动;具有简单的 RS232 通信功能;用数码管或简单的 CRT 字符显示。我国现阶段所谓的经济型数控系统大多是指开环数控系统。

1.4 实现机床数控的有关规定

1.4.1 机床坐标轴

为了简化编制程序的方法和保证程序的通用性,对数控机床的坐标和方向的命名制订了统一的标准,规定直线进给运动的坐标轴用 X、Y、Z 表示,常称基本坐标轴。X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定,如图 1-2 所示,图中大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指指向为 Y 轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。

围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示,根据右手螺旋定则,如图 1-2 所示,以大拇指指向+X、+Y、+Z 方向,则食指、中指等的指向是圆周进给运动的+A、+B、+C 方向。