



中等职业学校电子信息类教材 机电技术专业

数控机床及应用

古文生 主编
张颖熙 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(机电技术专业)

数控机床及应用

古文生 主编

张颖熙 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统、全面地介绍了计算机数字控制(CNC)机床的工作原理、组成结构、主要技术性能指标;数控系统的硬件、软件构成及其特点;数控插补原理的一些计算方法;数控系统的主要功能及最新发展趋势;数控加工工艺分析及编程基础;数控机床应用中的手工编程方法、注意事项及数控机床的调整方法;数控机床机械方面的特殊要求和结构特点;交、直流伺服电机驱动技术、检测反馈原理。

本书是中专职业学校机械制造与控制专业的教材,亦可作为各类学校机电应用专业及其他机械类专业的教材,对工程技术人员及数控机床的操作、维护人员也有较大的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及应用/古文生主编. —北京:电子工业出版社,2002.4

中等职业学校电子信息类教材(机电技术专业)

ISBN 7-5053-7272-6

I. 数… II. 古… III. 数控机床—专业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013190 号

责任编辑:刘文杰 张云怡

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:358 千字

版 次:2002 年 4 月第 1 版 2003 年 6 月第 2 次印刷

印 数:5 000 册 定价:18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本教材是为落实教育部《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的实施职业教育课程改革和教材建设规划的要求,根据机械制造与控制专业“数控机床及应用”课程教学大纲组织编写的。

本教材根据中等职业学校培养有较强动手能力的中等技术应用型专门人才的特点,在编写过程中,以数控机床为对象,阐述计算机数控机床的基本原理、结构及数控机床加工程序的编制,力求做到理论联系实际,使学生具备高素质和中初级专门人才所必须的数控机床及应用的基本知识和技能。

本教材参考学时为 80 学时,共有 8 章内容。第 1 章介绍了数控机床的产生和发展过程,数控机床的组成、工作原理和特点,数控机床的分类和发展趋势;第 2 章介绍了计算机数控(CNC)系统的特点,CNC 系统的软硬件组成特点及可编程控制器(PLC);第 3 章介绍了插补原理及计算方法;第 4 章介绍了数控加工工艺分析及编程基础知识;第 5 章介绍了数控车床的编程方法;第 6 章介绍了数控铣床的编程方法;第 7 章介绍了数控机床的一些典型机械结构;第 8 章介绍了伺服驱动系统及位置检测装置。

本教材由天津电子信息职业技术学院古文生主编,天津轻工职业技术学院张颖熙主审。参加编写的有天津电子信息职业技术学院的陈志刚、王伟、冯丰、高燕;天津工业大学李北雁;天津工程职业技术学院杨贵田;天津宁河职业中专学校王海东;河北省机电学校陈文杰。

本教材在编写过程中得到了全国中专教材机电技术编委会及天津电子信息职业技术学院的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2001 年 6 月

目 录

第 1 章 数控机床	(1)
1.1 数控机床的产生和发展过程	(1)
1.1.1 数控机床的产生	(1)
1.1.2 数控机床的发展过程	(2)
1.2 数控机床的组成、工作原理及特点	(6)
1.2.1 数控机床的组成	(6)
1.2.2 数控机床的工作原理	(9)
1.2.3 数控机床的特点	(9)
1.3 数控机床的分类	(10)
1.3.1 按控制运动方式分类	(10)
1.3.2 按伺服系统的控制方式分类	(11)
1.3.3 按功能水平分类	(12)
1.4 数控机床的发展趋势	(12)
1.4.1 适应超高速、高效、超精密加工的发展	(12)
1.4.2 进一步提高数控系统的自动化水平	(13)
习题 1	(14)
第 2 章 计算机数控 (CNC) 系统	(15)
2.1 CNC 系统的定义及组成	(15)
2.1.1 CNC 系统的定义	(15)
2.1.2 CNC 系统的组成	(15)
2.2 CNC 系统的特点	(17)
2.3 CNC 系统的软件	(18)
2.3.1 CNC 系统的软件组成	(18)
2.3.2 中断型软件结构	(18)
2.3.3 前后台型软件结构	(21)
2.4 单片机 CNC 系统硬件的组成	(21)
2.4.1 MCS-51 单片机简介	(22)
2.4.2 存储器扩展电路	(24)
2.4.3 面板操作键和方式选择开关	(28)
2.4.4 与强电的接口	(31)
2.5 全功能型 CNC 系统硬件的特点	(32)
2.5.1 采用具有高精度、高速度运算能力的微处理器	(32)
2.5.2 采用单/多微处理器的模块化结构	(33)
2.5.3 采用资源共享结构	(35)

2.6 可编程控制器 (PLC)	(38)
2.6.1 可编程控制器定义	(38)
2.6.2 可编程控制器 (PLC) 种类	(38)
2.6.3 可编程控制器 (PLC) 的性能特点	(38)
2.6.4 可编程控制器 (PLC) 的结构和工作原理	(42)
2.6.5 可编程控制器 (PLC) 的硬件结构	(43)
2.6.6 PLC 的指令系统	(44)
习题 2	(45)
第 3 章 插补原理与计算	(46)
3.1 插补的基本知识	(46)
3.1.1 脉冲增量插补	(46)
3.1.2 数字增量插补	(46)
3.2 逐点比较法	(47)
3.2.1 圆弧插补	(47)
3.2.2 直线插补	(50)
3.2.3 四象限的逐点比较法插补原理	(53)
3.3 数字积分插补法	(54)
3.3.1 插补原理	(54)
3.3.2 直线插补	(54)
3.3.3 圆弧插补	(57)
3.4 数字增量插补法	(59)
3.4.1 直线插补的算法	(60)
3.4.2 圆弧插补的算法	(61)
习题 3	(63)
第 4 章 数控加工工艺分析及编程基础	(65)
4.1 数控机床的坐标系	(65)
4.1.1 坐标系建立的原则	(65)
4.1.2 机床坐标轴的确定方法	(66)
4.1.3 机床坐标系与工件坐标系	(67)
4.1.4 绝对坐标系与相对 (增量) 坐标系	(68)
4.2 零件装夹方法及对刀点的确定	(69)
4.2.1 零件的装夹方法	(69)
4.2.2 对刀点的确定	(70)
4.3 工序的划分和走刀路线的确定	(71)
4.3.1 工序划分原则	(71)
4.3.2 走刀路线的确定	(72)
4.4 刀具和切削用量的选择	(74)
4.4.1 刀具的选择	(74)
4.4.2 切削用量的选择	(77)
4.5 常用编程指令的应用及手工编程	(77)

4.5.1	编程基础知识	(77)
4.5.2	常用编程指令的应用	(79)
4.5.3	手工编程	(81)
4.6	数值计算	(82)
4.6.1	基点的计算	(82)
4.6.2	非圆曲线节点的计算	(83)
4.6.3	列表曲线的数学处理	(86)
4.6.4	曲面的处理	(87)
4.7	自动编程简介	(88)
4.7.1	自动编程概述	(88)
4.7.2	CAXA 软件自动编程	(90)
4.8	工艺文件的编制	(91)
4.8.1	工序卡	(91)
4.8.2	刀具调整单	(91)
4.8.3	机床调整单	(92)
4.8.4	加工程序单	(92)
习题 4		(92)
第 5 章	数控车床编程	(94)
5.1	数控车床编程特点和基础	(94)
5.1.1	数控车床编程特点	(94)
5.1.2	数控车床编程基础	(94)
5.2	数控车床编程方法	(97)
5.2.1	工件坐标系设定 (G50)	(97)
5.2.2	圆弧插补 (G02,G03)	(98)
5.2.3	米制输入与英制输入 (G21,G20)	(100)
5.2.4	参考点指令 (G27,G28,G29)	(100)
5.2.5	螺纹切削 (G32,G33,G34,G92)	(101)
5.2.6	单一固定循环 (G90,G94)	(106)
5.2.7	多重复合切削循环 (G70~G76)	(108)
5.2.8	刀具补偿功能	(114)
5.2.9	子程序	(117)
5.3	数控车床编程实例	(118)
习题 5		(123)
第 6 章	数控铣床编程	(129)
6.1	数控铣床编程特点和基础	(129)
6.1.1	数控铣床编程特点	(129)
6.1.2	数控铣床编程基础	(129)
6.2	数控铣床编程方法	(132)
6.2.1	设定工件坐标系 (G92)	(132)
6.2.2	绝对值输入 G90 指令和增量值输入 G91 指令	(132)

6.2.3	平面选择 (G17,G18,G19)	(133)
6.2.4	圆弧插补 (G02,G03)	(133)
6.2.5	刀具长度补偿 A (G43,G44,G49)	(134)
6.2.6	刀具半径补偿 C (G41,G42,G40)	(135)
6.2.7	机械坐标系选择 (G53)	(139)
6.2.8	加工坐标系选择 (G54~G59)	(139)
6.2.9	局部坐标系 (G52)	(141)
6.2.10	单一方向定位 (G60)	(142)
6.2.11	准确停止 (G09)	(142)
6.2.12	准确停止方式 (G61)	(142)
6.2.13	切削方式 (G64)	(142)
6.2.14	参考点指令 (G27~G30)	(143)
6.2.15	固定循环指令 (G73~G89)	(144)
6.2.16	用户宏程序 A	(148)
6.3	数控铣床编程实例	(151)
习题 6		(155)
第 7 章	数控机床的机械结构	(159)
7.1	数控机床的结构特点	(159)
7.1.1	数控车床的结构特点	(159)
7.1.2	数控铣床的结构特点	(161)
7.1.3	加工中心的结构特点	(163)
7.2	数控机床主传动系统特点及结构	(165)
7.2.1	数控机床主传动系统特点	(165)
7.2.2	数控机床主传动的结构	(166)
7.3	数控机床进给传动系统特点及传动结构	(168)
7.3.1	数控机床进给传动系统特点	(168)
7.3.2	数控机床进给传动系统的传动结构	(169)
7.3.3	进给系统机械结构的关键元件	(170)
7.4	加工中心的自动换刀系统及工作台	(175)
7.4.1	加工中心的自动换刀系统	(175)
7.4.2	加工中心的工作台	(179)
习题 7		(182)
第 8 章	伺服驱动系统及位置检测装置	(183)
8.1	伺服驱动系统的组成和工作原理	(183)
8.1.1	伺服驱动系统的组成	(183)
8.1.2	数控机床对伺服系统的要求	(183)
8.1.3	伺服系统的工作原理	(184)
8.2	步进电机及伺服特性	(185)
8.2.1	步进电机种类	(185)
8.2.2	三相反应式步进电机工作原理	(186)

8.2.3	步进电机的主要特性	(187)
8.2.4	步进电机的驱动电路	(188)
8.3	直流电动机及伺服系统	(191)
8.3.1	直流伺服电机的结构	(191)
8.3.2	直流伺服电机的调速方式	(193)
8.3.3	直流伺服电机的机械特性	(194)
8.3.4	直流伺服电机的应用	(196)
8.4	交流电动机及伺服系统	(197)
8.4.1	交流伺服电机的基本结构	(197)
8.4.2	交流伺服电机的工作原理	(198)
8.4.3	交流伺服电机的控制方法与机械特性	(199)
8.4.4	交流伺服电机的应用	(201)
8.5	伺服驱动系统的位置检测装置	(201)
8.5.1	脉冲编码器	(201)
8.5.2	旋转变压器	(202)
8.5.3	感应同步器	(203)
8.5.4	光栅	(205)
8.5.5	磁尺	(206)
习题 8		(207)
参考文献		(208)

第1章 数控机床

1.1 数控机床的产生和发展过程

1.1.1 数控机床的产生

在机械制造业中，按年生产产品数量的多少，可分为单件小批生产、中批生产和大批生产，三种生产方式要相应采用不同的设备，以求获得良好的经济效益。

对于大批大量的机械制造产品，如汽车、拖拉机、自行车、摩托车等，常采用组合机床及自动线，实行多刀、多工位、多面的同时加工，以达到高生产率。当产品需要更新设计时，组合机床必须重新设计、制造和调整，这样，企业耗资巨大，且产品换代周期很长，远远满足不了社会的需要。在传统的机械加工方式中，一些设备常采用行程挡块或凸轮来控制刀具的动作，凸轮的设计、制造及调整都需要较长的时间才能完成，一旦更换产品，凸轮必须重新设计、制造及调整，同样面临产品更新换代周期长的问题。

在机械制造业中，约有 75%~80%属于单件小批生产，一般多采用普通机床加工。这对一般工人的技术水平要求较高，且手工操作机床，生产率难以提高。特别是对一些精密复杂的零件，在普通机床加工时，困难较多，有的甚至难以实现。为了解决对复杂零件加工的自动化问题，过去人们采用带靠模的仿形机床进行加工，但模具的制造、安装、调整都要付出大量的手工劳动，而且加工零件的精度要直接受到模具自身精度的影响。

实际上，数控机床的产生与计算机的诞生密切相关。1946 年，世界上第一台电子计算机诞生了，人们开始设想能否用电子计算机来协助人类解决复杂零件的加工问题。1948 年，美国帕森斯公司（Parsons Co.）在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时，提出了用电子计算机控制机床来加工样板曲线的设想。后来，受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所（Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology）合作进行研制工作。1952 年试制成功了世界上第一台由电子计算机控制的三坐标立式铣床。后来，经过改进并开展自动编程技术研究，于 1955 年进入实用阶段，投产了 100 台类似产品，这对于加工复杂曲线、曲面和促进美国飞机工业的发展起了重要的作用。

人们把用电子计算机以数字指令方式控制机床动作的技术称为数字控制技术，简称数控 NC（Numerical Control），采用数控技术的机床，称为数控机床。

国际信息联盟第五技术委员会对数控机床做了如下定义：

数控机床是一个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。定义中的控制系统就是数控系统。

我国自 1958 年由清华大学和北京机床研究所联合研制了国内第一台 101 数控机床以来，数控技术发展较快。特别是改革开放以来，由于引进国外的数控系统和伺服系统，使我国数控机床在品种、数量和质量方面都得到迅速发展。1986 年，我国数控机床开始进入国

际市场。从 20 世纪 90 年代起，我国已向高档数控机床方向发展。

1.1.2 数控机床的发展过程

1. 数控系统硬件电路随电子工业的发展过程

数控机床的发展，与电子技术特别是计算机技术的发展紧密相关。数控系统已先后经历了两个阶段共六代的发展过程。这六代是：电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控 PC 机的通用 CNC 系统。其中，前三代为第一阶段，称做硬件连接系统，简称 NC 系统；后三代为第二阶段，称做计算机软件数控，也称 CNC 系统，见表 1-1。

表 1-1 数控系统发展的六代历史

数控系统发展的历史	世界产生年代	中国产生年代
第一代电子管数控系统	1952 年	1958 年
第二代晶体管数控系统	1961 年	1964 年
第三代集成电路数控系统	1965 年	1972 年
第四代小型计算机数控系统	1968 年	1978 年
第五代微处理器数控系统	1974 年	1981 年
第六代基于工控 PC 机的通用 CNC 系统	1990 年	1992 年

2. 微处理器的诞生和发展推动了数控技术的发展

在早先的 NC 硬接线数控系统中，逻辑电路全部由电子管元件或三极管元件连接而成，再由各逻辑电路组成运算器、控制器和存储器。因而计算机体积较大，运算速度慢，电子器件容易损坏。20 世纪 70 年代，大规模集成电路的出现，将运算器、控制器和寄存器集成到一块芯片上，称做微处理器，也称 CPU。后来 CPU 内部又扩展了并行接口、串行接口、定时/计数器、只读存储器 ROM、随机存取存储器 RAM 等，使得 CPU 运算、通信、控制功能大为增强，从而推动了数控技术的发展。总之，包含微处理器的数控装置，使得性能/价格比有大幅度提高。如集成电路芯片的工艺成熟，使微机成本下降，导致数控系统价格随之下降；芯片内器件的高度集成，使微机运算的速度和可靠性大为提高；由于 CPU 器件智能化的提高，实现了人机对话的自动编程系统，且故障的诊断、维修方便。

3. 数控系统功能的发展过程

在世界第一台数控机床问世以来的半个世纪里，数控系统的功能不断增强，其发展过程如表 1-2 所示。

现将表中内容作一简单介绍。

(1) NC：早期的 NC 为专用控制计算机的硬接线系统，一般称为普通数控系统。

(2) MC (Machining Center)：加工中心，即带有刀库及换刀机构的数控机床。

(3) DNC (Direct Numerical Control)：计算机直接数控，即由一台中央计算机进行编程，直接控制多台数控机床的操作。

(4) AC (Adaptive Control)：适应控制，即加工过程中自动校正随机变化的参数（如刀具的磨损、温度变化及刚度不足引起的工艺系统的变形等），以达到最佳工作状态。

表 1-2 数控机床的发展进程

时间	1952 年	1958 年	1961 年	1965 年	1973 年
名称	NC 硬接线数控	MC 加工中心	DNC 计算机直接数控	AC 适应控制	CNC 计算机数控
时间	1974 年		1979 年		1980 年
名称	CAD/CAM 计算机辅助设计与制造		FMS (FMC) 柔性制造系统 (柔性制造单元)		FA (CIMS) 工厂自动化 (计算机集成制造系统)

(5) CNC (Computer Numerical Control): 计算机数控系统。与 NC 系统的主要区别是该系统采用微处理器 CPU 作为数控装置的核心, 由于 CPU 的出现, 使数控系统的软件功能大幅度提高。

(6) CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacture): 计算机辅助设计与制造。使产品设计、制造一体化, 即对产品可进行三维几何造型、性能分析与仿真、自动制图、编制各种文件、自动编程等。

(7) FMC (Flexible Manufacturing Cell): 柔性制造单元, 即带有多个交换工作台的加工中心机床。

(8) FMS (Flexible Manufacturing System): 柔性制造系统。通常认为应具备以下特点:

- ① 采用 DNC 方式控制两台及两台以上的加工中心;
- ② 利用交换工作台及工业机器人等装置实现零件的自动上下料;
- ③ 机床间有工件的自动输送系统;
- ④ 配有管理信息系统 MIS (Management Information System);
- ⑤ 能进行最佳化调度。

(9) FA (Automated Factory): 工厂自动化或称无人车间。

(10) CIMS (Computer Integrated Manufacturing System): 计算机集成制造系统。CIMS 的核心是一个公用的数据库, 对信息资源进行存储管理, 各微机间进行通信。在此基础上, 需有三个计算机系统:

- ① CAD/CAM 系统: 计算机辅助设计与制造系统, FMS 是这个系统的主体。
- ② CAP/CAC 系统: 计算机辅助生产计划与控制系统。
- ③ 工厂自动化系统: 实现产品的自动装配与测试, 材料的自动运输与处理等。

在上述三个计算机系统的外围, 还需利用计算机进行市场预测, 编制产品发展规划, 分析财政状况, 进行生产管理与人员管理等。

目前世界市场急剧变化, 企业在竞争环境中, 已不再采用传统的生产模式, 都在寻求新的方式, 以实现高效率、高质量、高柔性和低成本的生产。机械制造业及其技术的发展过程就是一个不断提高和完善自动化水平的过程。机械制造业正在经历着 “CNC→FMS→CIMS” 这 “三部曲”。

截至 2000 年, 我国 “九五” 目标中, 第一, 技术发展目标: 数控机床品种发展到 1000 种, 其中 100 种要达到 20 世纪 90 年代初的国际水平; 不仅能为国内市场批量提供质量可靠的数控机床, 还能对一些重点成套项目提供柔性制造单元及柔性制造系统; 力争为生产 100 个主要产品的企业贯彻 ISO9000 国际质量标准, 进行主要产品的质量体系认证工作; 数控机床及数控系统的平均无故障时间 (t_{MTTF}) 达 10 000 小时。第二, 结构调整目标: 国产数控机床国内市场占有率由 1992 年的 40% 提高到 2000 年的 60%; 国产数控机床普及型和经

济型的档次构成比由 1995 年的 1:1 提高到 2000 年的 2:1; 数控机床企业的生产集中度从 1995 年的 20% 提高到 2000 年的 30%; 数控系统的产品从 1995 年的 15 000 套提高到 2000 年的 25 000 套 (其中 5000 套用于旧机床的改造); 数控机床配套产品的国内配套从 1995 年的 50%~60%, 提高到 2000 年的 70%~80%。第三, 总量目标: 到 2000 年, 我国数控机床产量翻一番, 产值数控化率超过 40%, 拥有量达到 1995 年的 3 倍。

从 1996 年开始, 我国数控机床的远景目标是: 经过三个五年计划, 到 2010 年, 产品可靠性指标达到国际先进水平, 在我国建立起以品种齐全的普及型数控机床为主体, 能提供高级型的柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS) 的数控机床生产体系; 数控机床及相关配套产品在满足国内需求的同时有一定数量的出口; 数控系统及相关产品生产体系逐步完善, 建立起包括研究开发、生产经营、维修服务、质量检测、人才培养等环节的数控机床产业化体系。

近年来, 我国数控机床的研制工作有了突飞猛进的发展, 部分典型的产品及企业的情况如表 1-3 所示。

表 1-3 国内部分典型数控产品介绍

企业名称	主要产品
大河机床厂	ASV 系列立式加工中心: ASV-810D, ASV-810A, ASV-1050D, ASV-1050A, ASV-1320D, ASV-1320A
桂林机床股份有限公司	MCV 系列立式加工中心: MCV-1050P, MCV-1300P, MCV-1050P/I, MCV-1300P/I XK 系列数控铣床: XK5646, XK5750A, XK776, XK778, XK2316, XK2316/3, XK7710A XKF 系列数控铣床: XKF776, XKF778, XKF2316, XKF2316/3, XKF7710A
青海第一机床厂	XH756, XH758 系列卧式加工中心: XH765B, XH756/BMB, XH756B/I, XH756/IMB XH758, XH758MB XH715 系列立式加工中心: XH715, XH715M, XH716, XH716M, XH718, XH718M W2.140 系列卧式加工中心: W2.140, W2.140MB VMC-40, 50 立式加工中心: VMC-40 (50), VMC-40 (50) M, VMC40 (50) 强, VMC-40 (50) 快 VMC-63 系列数控立式铣床: VMC-63, VMC-63M, VMC-63 强, VMC-63 快 VMC-80 系列数控立式铣床: VMC-80, VMC-80M, VMC-80 强, VMC-80 快 XH7910 系列立、卧式加工中心: XH7910, XH7910B, XH7910/I, XH7910/IMB XK764 数控卧式立柱移动床身铣床: XK764 XK5025 系列数控立式铣床: XK5025, XK5030 XH768 系列卧式加工中心: XH768B, XH768BMB, XH768B/I, XH768B/IMB XH7610 系列卧式加工中心: XH7610, XH7610/MB, XH7610/I, XH7610/MB XK8132 系列数控工具铣床: XK8132, XK8132 国, XK8140, XK8140 国 QH1-FMC001 柔性制造单元 XK734 系列立式加工中心 XK715 系列数控立式铣床: XK715, XK715M, XK716, XK716M, XK718, XK718M
太原第一机床厂	CNC40, CNC40A 数控车床
东风汽车公司设备制造厂	CK533 数控单轴立式车床
小巨人机床有限公司	QUICK TURN 200 全功能数控车床 VTC 系列全自动立柱式加工中心

续表

企 业 名 称	主 要 产 品
中国科学院沈阳计算技术研究所高档数控国家工程研究中心	蓝天系列 LT, CMOS 化的 SS 系列 (高档 SS-10, 中档 SS-20, 高中档 SS-40/50, 低档 SS-9501T) 数控系统

特别需要说明的是,小巨人机床有限公司走在 21 世纪前面,于 2000 年 6 月建成投产了中国首家智能网络化工厂。该公司通过网络将 CNC 机床与 PC 机(个人计算机)连接在一起。为提高 CNC 机床的生产效率,在 PC 机上配置了以下四套软件,其总称为“智能化生产中心”。这四套软件的功能是:

① CAMWARE 可以和 CAD 连接,通过设计数据编制加工程序,将程序及时地传输给 CNC 设备或 FMS。

② MAZATRL FUSION 640 可以实现将自身情况通过 LAN 或因特网向外部发信,同时也可以接受外部信息。

③ 编制工厂内各加工设备的生产计划;④ 对工厂内的刀具数据进行跟踪管理。此外,我国的 CIMS 工程近十年发展非常迅速,国内已有近十家 CIMS 工程。其中,清华大学的 CIMS 实验工程研究中心,于 1994 年荣获国际著名权威学术机构——美国制造工程师学会(SME)颁发的“大学领先奖”;1995 年北京第一机床厂获 SME 的“工业领先奖”。

4. 伺服系统执行机构的发展

半个世纪以来,伺服系统的执行机构已有其自身的发展过程。最早的数控机床采用电液脉冲马达驱动数控机床。这种动力源由伺服型步进电机与液压扭矩放大器串接而成,但由于液压扭矩放大器为柱塞泵,体积庞大,转速和使用寿命较低,再加上液压系统漏油在所难免,故被功率步进电机所取代。因开环数控系统日趋减少,功率步进电机的应用受到了限制,如今主要用于精度不高的经济型数控机床上。

到了 20 世纪 60 年代,欧美一些国家采用了液压伺服系统。该系统与伺服电机相比,响应时间短,外形尺寸小,但液压系统易发热,效率低,易漏油且不易维修,又很快被小惯量直流伺服电机取代。这种伺服电机的机械、电气时间常数完全可以与液压伺服系统匹敌。但是,这种小惯量直流伺服电机热容量小,过载时间短,更主要的是这种电机转速较高,需配接专门的减速器才能驱动机床,而这种减速器价格贵,齿轮易磨损,影响了传动精度。

20 世纪 70 年代,美国的盖梯茨公司(GETTYS)研究成功了大惯量直流伺服电机。这种电机的峰值扭矩为额定扭矩的 10~15 倍,有与小惯量直流伺服电机相同的快速响应特性。该电机调速范围为 0.1 r/min ~2000 r/min,可以与丝杠直连。而且该电机热容量大,工作可靠。但由于直流电机中电刷的存在,容易氧化损坏,经常需要维修。

20 世纪 80 年代初终于由美国通用电气公司(General Electric)研制成功了鼠笼式异步交流伺服电机的交流伺服系统,并投入市场。交流电机的优点是没有电刷,工作更为可靠,且该电机也可与丝杠直连,调速范围与宽调速直流伺服系统相近。

20 世纪 90 年代,交流电机调速传动占主导地位的时代已经到来,直流电机调速传动退居次要地位。西门子公司曾统计,交流电机调速传动系统的销售额 1985 年所占比重为 24%,1990 年为 40%,当时预测 1995 年为 57%,2000 年为 65%。从这组数字来看,进入 90 年代,交流电机调速传动从量上超过直流调速传动的时代已经到来,而且至今还以较快的速度向前

发展着。

1.2 数控机床的组成、工作原理及特点

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由控制介质、程序输入设备、数控装置、伺服系统、机床本体及辅助装置组成，如图 1-1 所示。

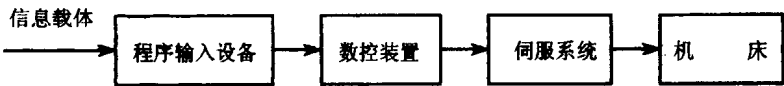


图 1-1 数控机床组成

1. 控制介质

控制介质又称信息载体，是人与机床之间建立起联系的中间媒介物，上面记载了人指令机床对零件加工整个过程的各种信息，如加工速度、进给方向和大小、吃刀深度、冷却液的开闭及夹紧机构的夹紧与放松等。信息载体有穿孔纸带、磁带或磁盘等。穿孔纸带一般为八单位标准黑色穿孔纸带，它的尺寸如图 1-2 所示。穿孔纸带每行共有 9 个孔，其中 $\phi(1.17 \pm 0.05)$ mm 的小孔是同步孔， $\phi(1.33 \pm 0.05)$ mm 的孔为信息孔。

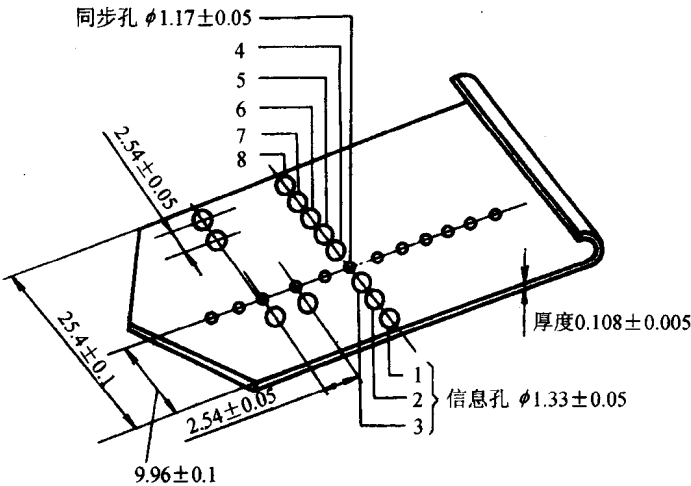


图 1-2 八单位标准穿孔纸带

使用穿孔纸带做信息载体时，将加工信息采用代码形式按规定格式存储在穿孔纸带上，这些代码是由一些信息孔按标准排列的一行二进制图案，每一行代码分别表示一个十进制数或一个英文字母或一个符号。国际上通用 EIA 代码和 ISO 代码，如表 1-4 所示，我国规定 ISO 代码为标准代码。

表 1-4 EIA 和 ISO 代码表

ISO 代码								EIA 代码								数字 代码	意 义
8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1		
																0	数字 0
																1	数字 1
																2	数字 2
																3	数字 3
																4	数字 4
																5	数字 5
																6	数字 6
																7	数字 7
																8	数字 8
																9	数字 9
																A	绕着 X 坐标的角度
																B	绕着 Z 坐标的角度
																C	绕着 Y 坐标的角度
																D	第二进给速度功能
																E	第三进给速度功能
																F	进给速度功能
																G	准备功能
																H	ISO 永不指定 (可作特殊用途): EIA 输入 (或引入)
																I	ISO 沿 X 坐标圆弧起点对圆心值: EIA 不用
																J	ISO 沿 Y 坐标圆弧起点对圆心值: EIA 未指定
																K	ISO 沿 Z 坐标圆弧起点对圆心值: EIA 未指定
																L	ISO 永不指定: EIA 不用
																M	辅助功能
																N	序号
																O	不用
																P	平行于 X 坐标的第三坐标
																Q	平行于 Y 坐标的第三坐标
																R	平行于 Z 坐标的第三坐标
																S	主轴转速功能
																T	刀具功能
																U	平行于 X 坐标的第二坐标
																V	平行于 Y 坐标的第二坐标
																W	平行于 Z 坐标的第二坐标
																X	X 坐标方向的主运动
																Y	Y 坐标方向的主运动
																Z	Z 坐标方向的主运动
																.	小数点
																+	加、正
																-	减、负
																*	乘/星号
																/	省略/除
																,	逗号
																=	等号
																(	左圆括号/控制暂停
																)	右圆括号/控制暂停
																\$	单元符号
																:	选择 (或计划) 倒带停止/对准功能
																LF 或 CR	程序段结束
																Tab 或 HT	制表 (或分隔符号)
																%/stop	ISO 程序开始/EIA 纸带倒带停止
																Delete	注销
																Space	空格
																NUL	空白纸带
																BS	反绕 (退格)
																EM	载体终了

程序单中的地址、数字及有关符号都按规定在纸带上穿制出孔，有孔为“1”，无孔为“0”。每行孔的不同组合便可表示字母、数字和符号，即组成一个传递信息的字符，称为代码。穿孔纸带经光电阅读机阅读后，将信息输入数控装置。同步孔用来产生同步信号，控制每行代码准确读入。

EIA 编码每行为奇数孔，其第 5 列为补奇列。例如数字 3 在第 1 列与第 2 列有孔，但孔数为偶数，故在第 5 列上补一孔成奇数。若已为奇数，则第 5 列不再补孔；而 ISO 编码则为偶数孔，其第 8 列为补偶列。补奇列或补偶列是用来检验的（检验孔有否漏穿、堵塞、断裂及阅读装置是否完好），并不构成信息代码的组成部分。

2. 程序输入设备

信息载体上记载的加工信息要经程序输入设备输送给数控装置。常用的程序输入设备有光电阅读机、磁盘驱动器和磁带机等。对于微机控制的机床，可用操作面板上的键盘直接输入加工程序或采用 DNC 直接数控输入方式，即把零件保存在上级计算机中，CNC 系统一边加工一边接收来自上级计算机的后续程序段。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢。现在绝大部分数控机床采用微型计算机控制，如图 1-3 中的虚线框内部分。数控装置包括输入装置、CPU（包括运算器、控制器、存储器及寄存器等）和输出装置。它的功能是将输入的各种信息，经 CPU 的计算处理后再经输出装置向伺服系统发出相应的控制信号，由伺服系统带动机床按预定轨迹、速度及方向运动。

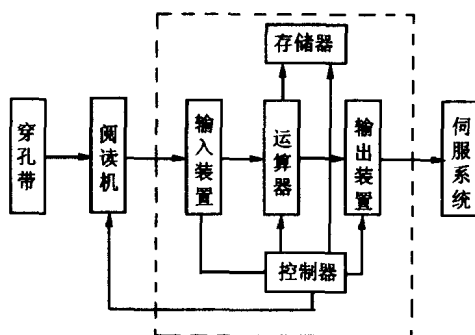


图 1-3 数控装置结构简图

4. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分，主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置、速度检测反馈装置组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置、速度反馈信号相比较后作为位移、速度指令，再经驱动控制系统功率放大后，驱动电动机运转，从而通过机械传动装置拖动机床执行器件（主轴、工作台、刀架等）运动。

5. 辅助装置

辅助装置主要包括刀具自动交换机构 ATC、工件自动交换机构 APC、工件夹紧机构、润滑装置、冷却液装置、过载与限位保护功能装置等部分。