

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

SHUKONG YUANLI YU XITONG

SHUKONG YUANLI YU XITONG

数控原理与系统

教育部机械职业教育教学指导委员会

■ 中国机械工业教育协会

郑晓峰 主编

组编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

8.3 简述 SIEMENS 数控系统的功能与特点

8.4 简述 SIEMENS 数控系统的基本配置

1 高职高专“十一五”机电类专业规划教材

具有已取得的成就，而进入新世纪以来，数控技术已渗透到制造业的各个领域，成为现代制造业的核心技术。

的中和将导致，用更加重视加工精度和效率，位置控制装置，位置控制装置，位置控制装置，位置控制装置。

数控原理与系统

数控技术是制造业的核心技术，是衡量一个国家制造业水平的重要标志。

同，数控技术的应用范围不断扩大，从传统的机械加工扩展到模具制造、航空航天、汽车制造等领域。

等人员从事数控技术专业工作。

教育部机械职业教育教学指导委员会

组编

中国机械工业协会

主 编 郑晓峰

副主编 关雄飞 陈继振

参 编 马靖然

主 审 张光跃

机械工业出版社“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-51201-5

本书可作为高等院校机械类专业及相关专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

定价：18.00元

中国标准书号：15504·5007第080189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：王瑞峰 责任校对：张双国

封面设计：吕静 印刷：李 颖

北京印刷集团有限责任公司印刷

2007年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.2印张·384千字

0001—4000册

标准书号：ISBN 978-7-111-51201-5

定价：18.00元

凡购书者，均可向本社索取样书，不取分文。

电话：(010) 88379639 88379641 88379643

电话：(010) 88379639 88379641 88379643

电话：(010) 88379639 88379641 88379643

机械工业出版社



本书是高职高专“十一五”机电类专业规划教材。本书详细介绍了数控原理与系统的基础知识,数控系统程序输入与通信,插补原理与刀具补偿原理,CNC装置,位置检测装置的工作原理及应用,数控机床中的PLC控制,数控系统的连接等。本书力求体现高等职业教育的特色,以较大篇幅介绍了数控系统及各组成部分应用的实例,讲练结合,内容浅显、易懂、实用,以突出培养学生动手能力为主线。

本书主要作为高职院校数控技术、机电一体化等相关专业的教材,同时可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与系统/郑晓峰主编. —北京:机械工业出版社, 2007.6

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-21591-2

I. 数… II. 郑… 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(2007)第080189号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:张双国

责任校对:申春香 封面设计:马精明

责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.5印张·284千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21591-2

定价:18.00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)68354423

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是根据机电类高等职业技术教育专业教学计划及教材编写工作会议的要求编写的，是数控技术及应用专业主干课程之一。

本书结合多年的实践和教学经验以及数控系统发展的最新成果，按照数控技术及应用专业的教改思想而编写，教材力求取材新颖，通过大量实例介绍，以培养学生动手能力为主线，达到理论浅显、通俗易懂、实用性强的目的。

本书共分八章。第一章介绍了数控系统的组成与分类以及数控系统的产生、类型及发展方向；第二章介绍了数控系统程序的输入与通信；第三章介绍了插补原理与刀具补偿原理；第四章介绍了CNC装置的硬件、软件的结构及其功能；第五章介绍了伺服系统的基本原理以及各组成部分之间的连接；第六章介绍了常用检测装置的种类、工作原理、应用场合以及信号处理等；第七章介绍了数控系统中的PLC控制，通过实例详细介绍了M、S、T功能的实现；第八章介绍了国内常见的三种典型数控系统的硬件连接方式，通过讲练结合的教学方式，使学生对数控系统有更进一步的理解。

本书由安徽机电职业技术学院郑晓峰担任主编，并编写了第一章、第四章、第五章、第七章、第二章的第一、二节和第八章的第二节；西安理工大学高等技术学院关雄飞担任副主编，编写了第三章和第六章；廊坊职业技术学院陈继振担任副主编，参与了本书的编写策划并指导第二章和第八章的编写工作；廊坊职业技术学院马靖然担任第二章的第三~六节，第八章的第一、三、四节的编写工作。

本书由重庆工业职业技术学院张光跃担任主审。

本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献，在此谨致谢意。

由于编者水平有限，经验不足，书中定有不少错误与不当之处，恳请读者予以批评指正。

编者

常用术语

1. NC(Numerical Control) 数字控制
2. NCS(Numerical Control System) 数控系统
3. CNC(Computer Numerical Control) 计算机数控系统
4. MDI(Manual Data Input) 手动数据输入
5. PLC(Programmable Logical Control) 可编程序控制器
6. MAP(Manufacturing Automation Protocol) 制造自动化协议
7. SIEMENS 西门子
8. FANUC 法那科
9. RISC(Reduced Instruction Set Computer) 精简指令计算机
10. AC(Adaptive Control) 自适应控制系统
11. DNC(Direct Numerical Control) 计算机直接数控
12. FMC(Flexible Manufacturing Cell) 柔性制造单元
13. FMS(Flexible Manufacturing System) 柔性制造系统
14. CIMS(Computer Integrated Manufacturing System) 计算机集成制造系统
15. DTE(Data Terminal Equipment) 数据终端设备
16. DCE(Data Communication Equipment) 数据通信设备
17. FPGA(Field Programming Gate Array) 现场可编程逻辑门阵列
18. DDA(Digital Differential Analyzer) 数字积分法
19. NGC(Next Generation Work-station/Machine Controller) 下一代工作站/机床控制器
20. OMAC(Open Modular Architecture Controller) 开放式调节结构控制器
21. OSACA(Open System Architecture for Control within Automation System) 自动化系统中开放式体系结构
22. OSEC(Open System Environment for Controller) 开放式环境系统控制器
23. SOSAS(Specification for an Open System Architecture Standard) 开放式系统体系结构标准规范

录 目

24. API(Application Program Interface)	应用程序界面
25. AO(Architecture Object)	应用模块
26. MMC(Man-Machine Control)	人机控制
27. MC(Motion Control)	运动控制
28. AC(Axis Control)	轴控制
29. PC(Process Control)	过程控制
30. PCU(Panel Control Unit)	面板控制单元
31. MCP(Machine Control Panel)	机床控制面板
32. PC(Personal Computer)	个人计算机
33. PMC(Programmable Machine Control)	可编程机器控制器
34. MMC(Man-Machine Controller)	人机控制器

1	应用程序界面	第一章
1	应用模块	第二章
2	人机控制	第三章
4	运动控制	第四章
8	轴控制	第五章
13	过程控制	第六章
14	面板控制单元	第七章
14	机床控制面板	第八章
20	个人计算机	第九章
22	可编程机器控制器	第十章
22	人机控制器	第十一章
22	人机控制器	第十二章
22	人机控制器	第十三章
22	人机控制器	第十四章
22	人机控制器	第十五章
22	人机控制器	第十六章
22	人机控制器	第十七章
22	人机控制器	第十八章
22	人机控制器	第十九章
22	人机控制器	第二十章
22	人机控制器	第二十一章
22	人机控制器	第二十二章
22	人机控制器	第二十三章
22	人机控制器	第二十四章
22	人机控制器	第二十五章
22	人机控制器	第二十六章
22	人机控制器	第二十七章
22	人机控制器	第二十八章
22	人机控制器	第二十九章
22	人机控制器	第三十章
22	人机控制器	第三十一章
22	人机控制器	第三十二章
22	人机控制器	第三十三章
22	人机控制器	第三十四章
22	人机控制器	第三十五章
22	人机控制器	第三十六章
22	人机控制器	第三十七章
22	人机控制器	第三十八章
22	人机控制器	第三十九章
22	人机控制器	第四十章
22	人机控制器	第四十一章
22	人机控制器	第四十二章
22	人机控制器	第四十三章
22	人机控制器	第四十四章
22	人机控制器	第四十五章
22	人机控制器	第四十六章
22	人机控制器	第四十七章
22	人机控制器	第四十八章
22	人机控制器	第四十九章
22	人机控制器	第五十章
22	人机控制器	第五十一章
22	人机控制器	第五十二章
22	人机控制器	第五十三章
22	人机控制器	第五十四章
22	人机控制器	第五十五章
22	人机控制器	第五十六章
22	人机控制器	第五十七章
22	人机控制器	第五十八章
22	人机控制器	第五十九章
22	人机控制器	第六十章
22	人机控制器	第六十一章
22	人机控制器	第六十二章
22	人机控制器	第六十三章
22	人机控制器	第六十四章
22	人机控制器	第六十五章
22	人机控制器	第六十六章
22	人机控制器	第六十七章
22	人机控制器	第六十八章
22	人机控制器	第六十九章
22	人机控制器	第七十章
22	人机控制器	第七十一章
22	人机控制器	第七十二章
22	人机控制器	第七十三章
22	人机控制器	第七十四章
22	人机控制器	第七十五章
22	人机控制器	第七十六章
22	人机控制器	第七十七章
22	人机控制器	第七十八章
22	人机控制器	第七十九章
22	人机控制器	第八十章
22	人机控制器	第八十一章
22	人机控制器	第八十二章
22	人机控制器	第八十三章
22	人机控制器	第八十四章
22	人机控制器	第八十五章
22	人机控制器	第八十六章
22	人机控制器	第八十七章
22	人机控制器	第八十八章
22	人机控制器	第八十九章
22	人机控制器	第九十章
22	人机控制器	第九十一章
22	人机控制器	第九十二章
22	人机控制器	第九十三章
22	人机控制器	第九十四章
22	人机控制器	第九十五章
22	人机控制器	第九十六章
22	人机控制器	第九十七章
22	人机控制器	第九十八章
22	人机控制器	第九十九章
22	人机控制器	第一百章

目 录

前言

常用术语

第一章 绪论	1
第一节 数控系统的基本概念	1
第二节 数控系统的组成及工作过程	2
第三节 数控系统的分类	4
第四节 数控系统的产生、类型及发展方向	8
习 题	13
第二章 数控系统程序输入与通信	14
第一节 数控编程的基础知识	14
第二节 数控机床的坐标系统	20
第三节 数控系统的信息及信息流程	22
第四节 数控加工程序的输入	23
第五节 数控加工程序的预处理	25
第六节 数控系统的通信接口与网络	29
习 题	35
第三章 插补原理与刀具补偿原理	36
第一节 概述	36
第二节 逐点比较法	38
第三节 数字积分法	48
第四节 数据采样插补法	51
第五节 刀具补偿原理	54
习 题	59
第四章 CNC 装置	60
第一节 概述	60
第二节 CNC 装置的硬件结构	64
第三节 CNC 装置软件的组成	78

习 题	86
第五章 伺服系统	87
第一节 概述	87
第二节 步进电动机及驱动电路	89
第三节 交流电动机伺服系统	97
第四节 直流伺服电动机	106
习 题	109
第六章 位置检测装置	110
第一节 概述	110
第二节 光电编码器	111
第三节 光 栅	116
第四节 感应同步器	123
习 题	127
第七章 数控系统中的 PLC 控制	128
第一节 概述	128
第二节 数控系统中的 PLC	129
第三节 数控系统中 PLC 的信息交换	134
第四节 数控系统中的 PLC 控制功能的实现	136
第五节 数控系统中的 PLC 应用实例	141
习 题	154
第八章 数控系统的连接	155
第一节 FANUC 数控系统	155
第二节 SIEMENS 数控系统	161
第三节 华中数控系统	169
第四节 数控系统的抗干扰	174
习 题	176
参考文献	178

第一章 绪 论

本章着重介绍了数控系统的基本概念及其特点；数控系统的组成及工作过程；数控系统的分类；开放式数控系统的特点；数控系统的发展趋势。通过学习，掌握数控系统的基本概念，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。

第一节 数控系统的基本概念

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的。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，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已达到23000h。

3. 易于实现多功能复杂程序控制

由于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, 便于实现直接数控(DNC, Direct Numerical Control)、柔性制造单元(FMC, Flexible Manufacturing Cell)、计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)等。

5. 具有自诊断功能

较先进的数控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。

第二节 数控系统的组成及工作过程

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置和辅助控制装置四部分组成, 有些数控系统还配有位置检测装置, 如图 1-1 所示。

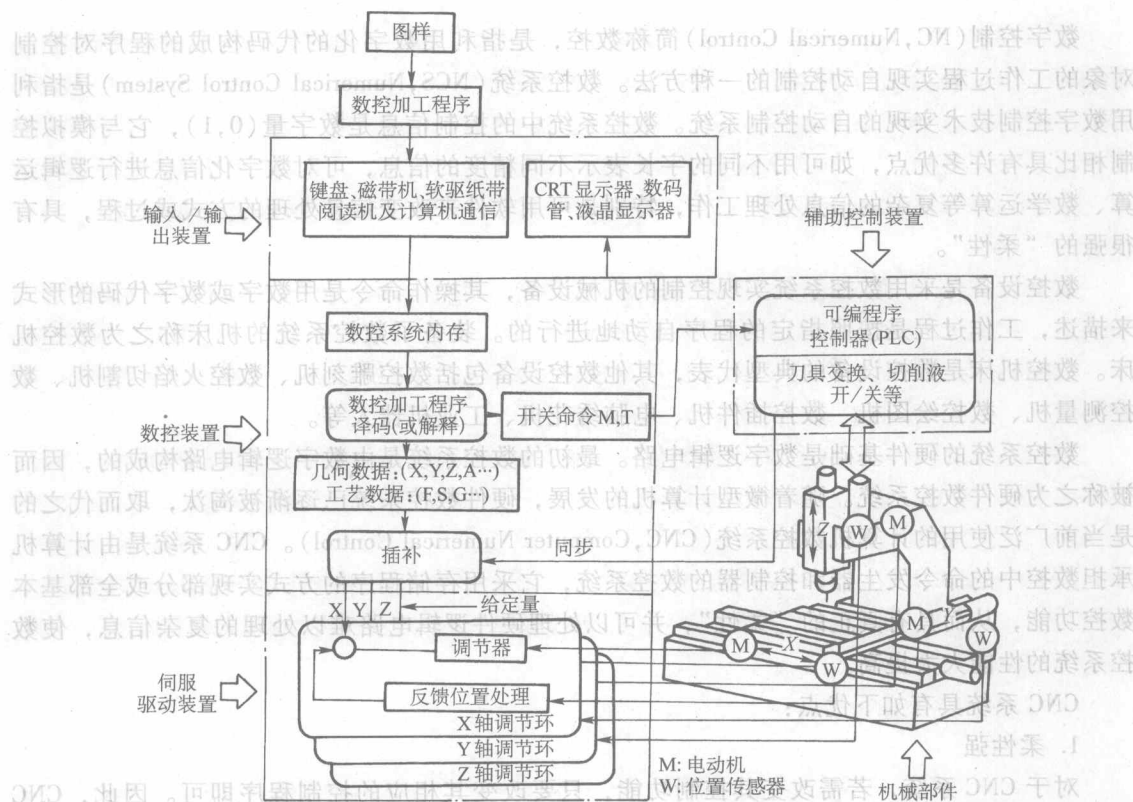


图 1-1 数控系统组成及工作过程

1. 输入/输出装置

CNC 机床在进行加工前, 必须接受由操作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, 数控系统中必须具备必要的交互设备, 即

输入/输出装置。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和显示器输入程序、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)，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，中高档的显示系统能显示图形。

数控加工程序编制好后，一般存放在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，因此纸带机和磁带机是早期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。现在采用的可移动磁盘存取容量更大，速度更快。数控机床程序输入的方法除上述的键盘、可移动磁盘、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. 数控装置

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是将输入装置传送的数控加工程序，经数控装置系统软件进行译码、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。系统进行数控加工程序译码时，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于工件运动路径的数据，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的数据；开关功能是对机床电器的开关命令，如主轴起/停、刀具选择和交换、切削液的开/关、润滑油的起/停等。数控装置的插补器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、终点之间的一系列中间点，分别向机床各个坐标轴发出速度和位移信号，通过各个轴运动的合成，形成符合数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。

由数控装置发出的开关命令在系统程序的控制下，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并转换为对机床开关设备的控制命令。现代数控系统中，绝大多数机床控制器都采用可编程序控制器(PLC, Programmable Logical Control)实现开关控制。

数控装置控制机床的动作可概括为：

1) 机床主运动，包括主轴的起/停、转向和速度选择。

2) 机床的进给运动，如点位、直线、圆弧、循环进给的选择，坐标方向和进给速度的选择等。

3) 刀具的选择和刀具的长度、半径补偿。

4) 其他辅助运动，如各种辅助操作、工作台的锁紧和松开、工作台的旋转与分度、工件的夹紧与松开以及冷却液的开/关等。

3. 伺服驱动装置

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。根据所选电动机的不同,伺服驱动装置的控制对象可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机。伺服驱动装置有开环、半闭环和闭环之分。

4. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置,通过可编程控制器(PLC, Programmable Logical Control)来实现。PLC 和数控装置配合共同完成数控机床的控制,数控装置主要完成与数字运算和程序管理等有关的功能,如零件程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的动作。如零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息,译码后转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床的相应开关动作,如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等一些辅助功能;它接受机床操作面板和来自数控装置的指令,一方面通过接口电路直接控制机床的动作,另一方面通过伺服驱动装置控制主轴电动机的转动。

5. 位置检测装置

位置检测装置与伺服驱动装置配套组成半闭环和闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量将执行部件的实际进给位移量检测出来,反馈到数控装置并与指令(理论)位移量进行比较,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动,以提高系统精度。

第三节 数控系统的分类

数控系统的品种规格繁多,它是由输入/输出装置、数控装置、辅助控制装置、伺服驱动装置等组成,其中数控装置是核心。无论哪种数控系统,虽然各自的控制对象可能各不相同,但其控制原理基本相同。按照数控系统的基本原理可分为:

一、按运动轨迹分类

按照运动轨迹,数控系统可分为点位、直线和轮廓控制系统。

1. 点位控制系统 这类数控系统仅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,对运动部件的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可先沿机床一个坐标轴移动完毕,再沿另一个坐标轴移动,为了提高加工效率,保证定位精度,系统常要求运动部件沿机床坐标轴快速移动接近目标点,再以低速趋近并准确定位。采用这类系统的机床有数控钻床(见图 1-2)、数控镗床、数控冲床、数控测量机等。

2. 直线控制系统

这类数控系统除了控制机床运动部件从一点到另一点的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和运动轨迹。在移动的过程中,刀具只能以指定的进给速度切削。其运动轨迹平行于机床坐标,一般只能加工矩形、台阶形零件。采用这类系统的机床有数控车床(见图 1-3)、数控铣床等。

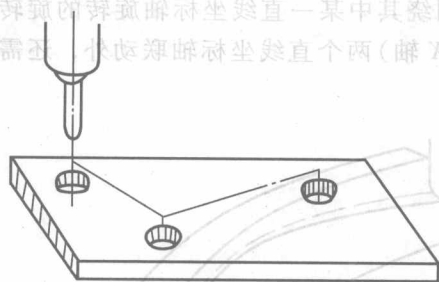


图 1-2 数控钻床的点位控制

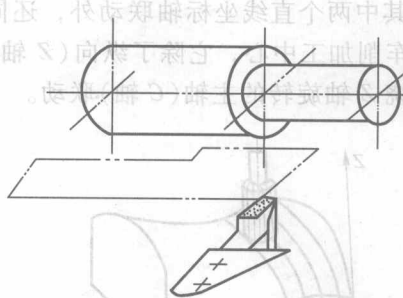


图 1-3 数控车床直线控制

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统也称为连续控制系统。这类数控系统能够对两个以上机床坐标轴的移动速度和运动轨迹同时进行连续相关的控制。这类数控系统要求数控装置具有插补运算功能，并根据插补结果向坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴联动，进行各种斜线、圆弧、曲线的加工，实现连续控制。采用这类系统的机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床（见图 1-4）、数控加工中心等。

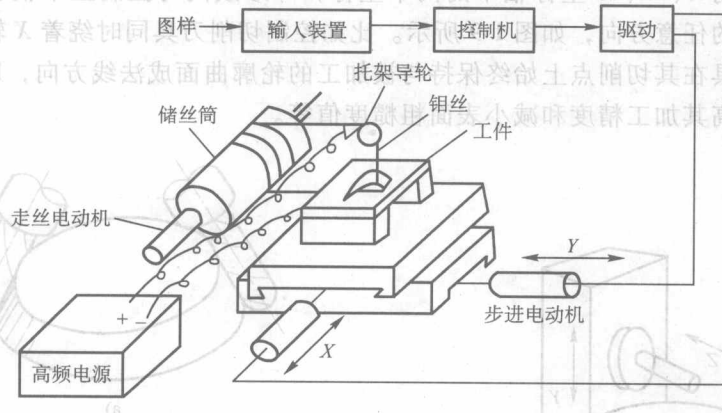


图 1-4 数控线切割机床加工示意图

轮廓控制系统按所控制的联动轴数不同，可以分为下面几种主要形式：

(1) 两轴联动 主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床加工曲线柱面（见图 1-5）。

(2) 二轴半联动 主要用于控制三轴以上的机床，其中二个轴互为联动，而另一个轴作周期进给，如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面（见图 1-6）。

(3) 三轴联动 一般分为两类，一类就是 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床、加工中心等，如用球头铣刀铣切三维空间曲面（如图 1-7 所示）。另一类是除了同时控制

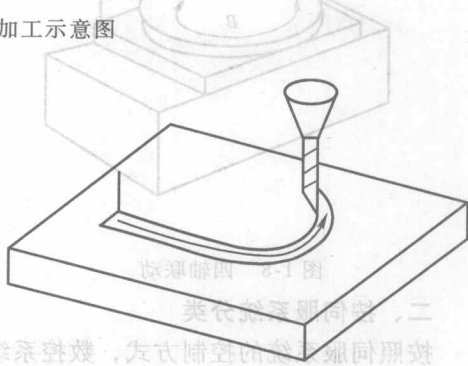


图 1-5 两轴联动

X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标轴联动外，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。

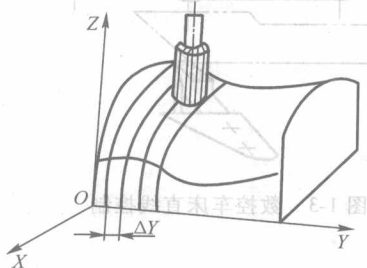


图 1-6 二轴半联动

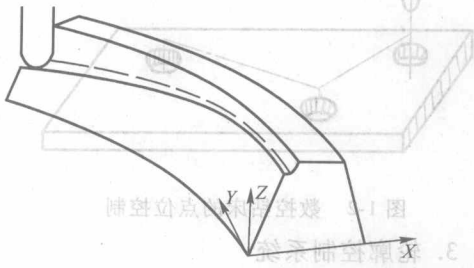


图 1-7 三轴联动

(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。

(5) 五轴联动 除了同时控制 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，即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。比如控制切削刀具同时绕着 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与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的圆滑性，提高其加工精度和减小表面粗糙度值等。

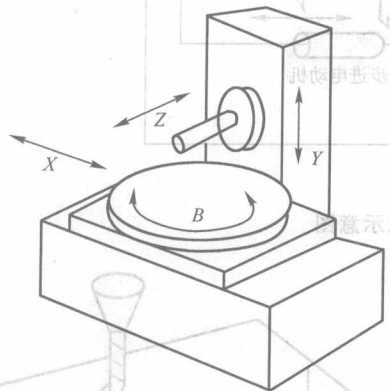
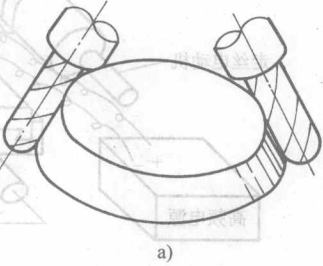


图 1-8 四轴联动



a)



b)

图 1-9 五轴联动

二、按伺服系统分类

按照伺服系统的控制方式，数控系统可分为开环、半闭环和闭环控制系统。

1. 开环控制系统

这类数控系统没有任何检测反馈装置，CNC 装置发出的指令信号经驱动电路进行功率放大后，通过步进电动机带动机床工作台移动，信号的传输是单方向的，如图 1-10 所示。机床工作台的位移量、速度和运动方向取决于进给脉冲的个数、频率和通电方式。因此，这

类系统结构简单,价格低廉,便于维护控制方便,被广泛应用。

2. 半闭环控制系统

这类数控系统采用角位移检测装置,该装置直接安装在伺服电动机轴或滚珠丝杠端部,用来检测伺服电动机或丝杠的转角,推算出工作台的实际位移量,反馈到 CNC 装置的比较器中,与程序指令值进行比较,用差值进行控制,直到差值为零,如图 1-11 所示。这类系统没有将工作台和丝杠螺母副的误差包括在内,因此,由这些装置造成的误差无法消除,会影响移动部件的位移精度,但其控制精度比开环控制系统高,成本较低,稳定性好,测试维修也较容易,应用较广泛。

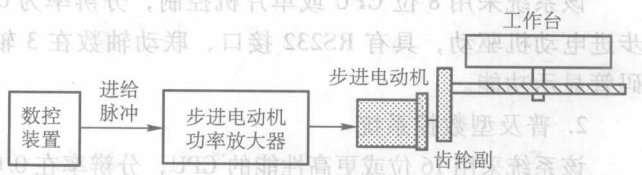


图 1-10 开环数控系统的示意图

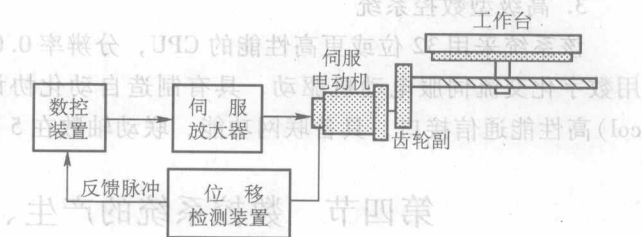


图 1-11 半闭环数控系统的示意图

3. 闭环控制系统

这类数控系统采用直线位移检测装置,该装置安装在机床运动部件或工作台上,将检测到的实际位移反馈到 CNC 装置的比较器中,与程序指令值进行比较,用差值进行控制,直到差值为零,如图 1-12 所示。这类系统可以将工作台和机床的机械传动链造成的误差消除,因此,其控制精度比开环、半闭环控制系统高,但其成本较高,结构复杂,调试、维修较困难,主要用于精度要求高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

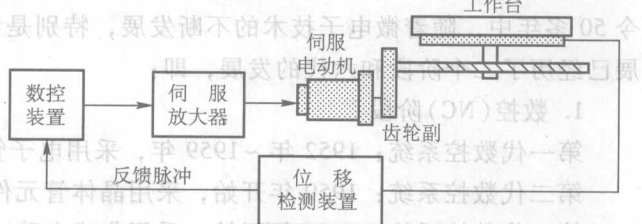


图 1-12 闭环数控系统的示意图

三、按制造方式分类

1. 通用型数控系统

这类数控系统通常以 PC 作为 CNC 装置的支撑平台,各数控机床制造厂家根据用户需求,有针对性地研制开发数控软件和控制卡等,构成相应的 CNC 装置。其通用性强,使用灵活,便于升级,且抗干扰能力强,如华中 I、II 型数控系统。

2. 专用型数控系统

这类数控系统技术成熟,它是由各制造厂家专门研制、开发制造的,专用性强,结构合理,硬件通用性差,但其控制功能齐全,稳定性好,如德国 SIEMENS 系统、日本 FANUC 系统等。

四、按功能水平分类

数控系统按功能水平可分为经济型、普及型和高级型三种。这种分类没有严格的界限,其参考指标包括:CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、联动轴数等。

1. 经济型数控系统

该系统采用 8 位 CPU 或单片机控制, 分辨率为 0.01mm, 进给速度在 6~8m/min, 采用步进电动机驱动, 具有 RS232 接口, 联动轴数在 3 轴以下, 具有简单的 CRT 字符显示或数码管显示功能。

2. 普及型数控系统

该系统采用 16 位或更高性能的 CPU, 分辨率在 0.001mm 以内, 进给速度可达到 100m/min, 采用交流或直流伺服电动机驱动, 具有 RS232 或 DNC 接口, 联动轴数在 5 轴以下, 具有 CRT 字符显示和平面线性图形显示功能。

3. 高级型数控系统

该系统采用 32 位或更高性能的 CPU, 分辨率 0.0001mm, 进给速度可达到 24m/min, 采用数字化交流伺服电动机驱动, 具有制造自动化协议 (MAP, Manufacturing Automation Protocol) 高性能通信接口, 具备联网功能, 联动轴数在 5 轴以上, 有三维动态图形显示功能。

第四节 数控系统的产生、类型及发展方向

一、数控系统的产生

20 世纪 40 年代末, 美国帕森斯公司 (Parsons Co) 和麻省理工学院 (MIT) 共同合作, 于 1952 年研制出第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。从第一台数控铣床问世至今 50 多年中, 随着微电子技术的不断发展, 特别是计算机技术的迅速发展, 数控系统的发展已经历了二个阶段和六代的发展, 即:

1. 数控 (NC) 阶段

第一代数控系统: 1952 年~1959 年, 采用电子管、继电器元件。

第二代数控系统: 1959 年开始, 采用晶体管元件。

第三代数控系统: 1965 年开始, 采用集成电路。

2. 计算机数控 (CNC) 阶段

第四代数控系统: 1970 年开始, 采用大规模集成电路及小型计算机。

第五代数控系统: 1974 年开始, 采用微型计算机。

第六代数控系统: 1990 年开始, 基于 PC 机。

随着数控系统的发展, 其功能不断增多, 柔性不断增强, 性能价格比不断提高, 与此同时, 伺服系统和检测元件的性能不断改善, 其控制精度也不断提高。

近 10 年来, 由于国外很多知名公司的潜心研究和大力开发, 各种不同层次的数控系统快速产生并迅速发展, 数控系统正在发生着日新月异的变化。

二、现代数控系统类型

1. 普及型数控系统

(1) 多 CPU 数控系统 普及型数控系统大多采用高性能的多 CPU 结构, 各 CPU 分工合作以提高系统的计算速度、插补速度及对现场输入/输出设备、各种控制信息等的管理、处理速度, 以提高数控系统的整体性能。由于数控系统的高性能, 数控设备也变得更加灵活和精巧。

(2) 模块化数控系统 近几年来, 普及型数控系统大多采用模块化的结构, 通过大规模和超大规模集成电路, 使模块的体积尽可能的减小, 并逐步使模块的结构进一步标准化和

通用化。这将给用户对数控设备进行选择、重组提供非常大的方便。

(3) 智能化数据系统 出现在大多数数控系统都具有智能化功能,而且还在向各个方向不断延伸。如现在的数控机床不但能自动编程,还能自行分析加工现场状况,从而自动生成工艺参数并进行三维刀具补偿、运动参数动态补偿等,以获取高的加工速度或加工精度;同时还具有自诊断功能、专家系统,使自诊断和故障监控功能更趋完善;智能化的主轴交流驱动和进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数;有的数控系统还具有自适应控制功能。

2. PC 嵌入 NC 结构式数控系统 这种系统是基于传统数控系统的半开放式数控系统,如 FANUC18i、16i、SIEMENS840D、NUM1060、AB9/360 数控系统等。这一类数控系统是在不改变原系统基本结构的基础上,借助了 PC 机丰富的软硬件资源和多媒体部件,把 PC 和 CNC 联系在一起,使数控系统的功能更加完美,大大提高了人机界面的功能。江苏多棱数控机床股份有限公司生产的卧式加工中心、定梁龙门加工中心,既可以配置 FANUC18i 系统,也可以配置 SIEMENS840D 系统,这可以由用户在购买时做出选择。这一类数控系统的核心仍然是传统的 CNC,是封闭的,所以还不能算是开放型数控系统。

3. NC 嵌入 PC 结构式数控系统 这种数控系统由开放式的运动控制卡和 PC 机构成。所谓的开放式运动控制卡,就是一个可以单独使用的数控系统,通常选用高速 DSP 作为 CPU,具有很强的运动控制和 PLC 控制能力。它还具有开放的函数库供用户进行自主开发,以构造用户自己所需要的数控系统。这类数控系统具有可靠性高、功能强、性能好、操作简单方便、开发周期短、成本低等优点,而且适合各种类型数控系统的开发,因而这种数控系统目前被广泛应用于制造业自动化控制各个领域。如美国 DELTA TAU 公司的 PMAC—NC 数控系统、810 系列控制器,日本 MAZAK 公司的 MAZATROL 640 CNC 等都是这种开放式数控系统。

4. 开放式数控系统 类似 PMAC 这样的开放式数控系统虽然具有了一定柔性和通用性,但它的核心部分运动控制和伺服控制仍是封闭的,这就使得用户仍然要依赖于专用运动控制卡。

20 世纪 90 年代以来,为解决传统数控系统的封闭性和数控应用软件的产业化生产所面临的问题,国际上许多数控系统生产厂家纷纷开发、研制开放式数控系统,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)、欧共体的“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)、中国的“开放数控系统”ONCS(Open Numerical Control System)等。一个开放的数控系统应具备以下几点:①好的适应性。在保持系统功能的前提下,不需任何变化就可以应用到不同的平台。②好的兼容性。不同的系统不仅可以在一个平台上运行而不冲突,而且可以相互协同、相互交换数据。③良好的伸缩性。

5. 网络化数控系统

网络化数控装备是近两年国际著名机床展览会的一个新亮点。随着计算机技术、网络技术的普遍运用,数控机床正在向网络化、集成化的方向发展。FANUC 和 SIEMENS 公司纷纷推出了具有网络功能的数控系统。在这些系统中,除了传统的 RS232 接口外,还备有以太

网接口,为数控机床联网提供了基本条件。如 SIEMENS 公司展出的“Open Manufacturing Environment”(开放制造环境,简称 OME)、日本 MAZAK 公司展出的“Cyber Production Center”(智能生产控制中心,简称 CPC)、日本大隈(Okuma)机床公司展出“IT plaza”(信息技术广场,简称 IT 广场)等。

三、数控系统的发展方向

1. 高速、高精度 数控系统的高速度表现为在相同的最小移动量的情况下可以获得较高的移动速度。高速主要取决于数控装置数据处理的速度,采用高速 CPU 是提高数控装置速度的最有效手段。日本 FANUC 公司所有最新型号的 CNC 系统已从 32 位微处理器发展到 64 位微处理器,主机频率由 30MHz 提高到 2.8G。该公司的 FS15 数控系统采用 32 机,最小位移单位 $0.1\mu\text{m}$ 的情况下最大进给速度达到了 $100\text{m}/\text{min}$ 。FS16 和 FS18 数控系统还采用了简化与减少控制基本指令的精减指令计算机(RISC, Reduced Instruction Set Computer),它能进行高速度的数据处理,指令速度可达到 100 万条指令/s。一个程序段的处理时间可以达到 0.5ms ,在连续 1mm 的移动指令下能实现的最大进给速度可达 $120\text{m}/\text{min}$ 。在数控设备高速化中,提高主轴转速占有重要地位,主轴高速化的手段是直接将电动机与主轴联接成一体,从而将主轴转速提高到 $40000 \sim 50000\text{r}/\text{min}$,最高转速可达 $100000 \sim 120000\text{r}/\text{min}$,使得切削时间缩短了 80%。

2. 伺服系统方面

(1) 采用数字伺服系统 使伺服电动机的位置环、速度环的控制都实现了数字化。FANUC L5 系列开发出专用的数字信号处理器,位置指令输入后,它与从脉冲编码器来的位置信息以及检出的电动机电流信息一起,在专用的微处理器芯片内进行控制位置、速度和电动机电流的运算,最后向功率放大器发出指令,以达到对电动机的高速、高精度控制。

(2) 采用现代控制理论提高跟随精度 当数控系统发出位置指令后,由于机械部分不能很快响应而产生滞后现象,影响了加工精度。现代控制理论中有各种算法能够实现高速和高精度的伺服控制,但是由于它们的计算方法太复杂,以往的计算机运算速度不够,很难实现。现在计算机的运算速度和存储容量都加大了很多,有时还可采用专用芯片的办法使复杂的计算能够在线实现,使得滞后量减少很多,提高了跟随精度。

(3) 采用高分辨率的位置编码器 一般交流伺服电动机轴上装有回转编码器(脉冲发生器),用来检测电动机的角位移。显然,编码器的分辨率越高,电动机转动角位移就越精确。现代高分辨率位置编码器绝对位置的测量可达 163840 脉冲/r。

3. 实现多种补偿功能

数控系统能实现多种补偿功能,提高数控机床的加工精度和动态特性。数控系统的补偿功能主要用来补偿机械系统带来的误差。(例如:

(1) 直线度的补偿 随着某一轴的运动,对另一轴加以补偿,提高机床工作台运动的直线度。

(2) 采用新的丝杠导程误差补偿 用几条近似线表示导程误差,仅对其中几个点进行补偿。此法可减少补偿数据的设定点数,使补偿方法大为简化。

(3) 丝杠、齿轮间隙补偿

(4) 热变形误差补偿 这种补偿方法用来补偿由于机床热变形而产生的机床几何位置变化所引起的加工误差。