



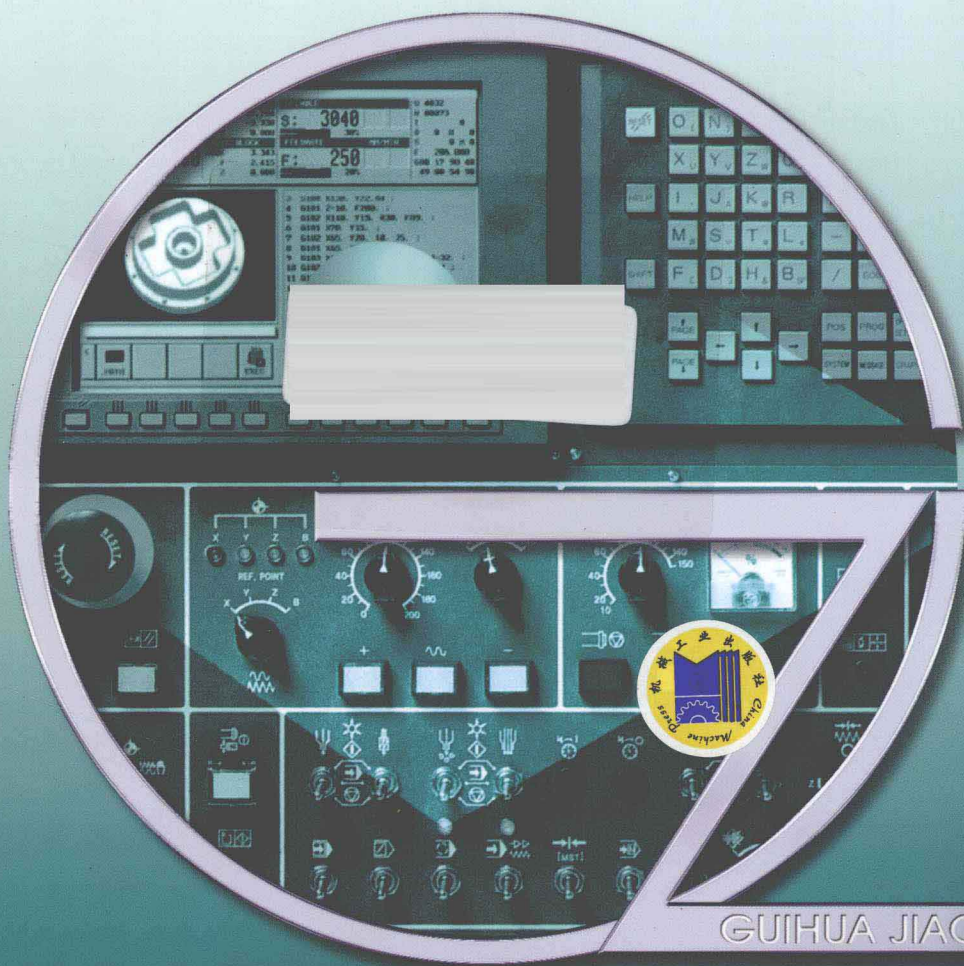
教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育数控技术应用专业教学用书

数控原理与系统

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

郑晓峰 主编

第2版



GUIHUA JIAOCAI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

gz

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育数控技术应用专业教学用书

数 控 原 理 与 系 统

第 2 版

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 组编

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

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是在 2005 年出版第 1 版的基础上修订而成的。书中详细介绍了数控原理与系统的基础知识,数控加工程序的输入与数据处理,常用的插补方法,CNC 装置的硬件、软件的结构及典型数控系统的组成,步进驱动装置、交直流伺服驱动装置的基本原理及各部分之间的连接,常用检测装置的工作原理及应用,数控机床中的 PLC,典型数控系统的硬件连接等。本书力求体现职业教育的特色,以较大篇幅介绍了数控系统及各组成部分应用的实例,做到了内容浅显、易懂、实用,以培养学生能力为主线。

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. —2 版. —北京:
机械工业出版社, 2012. 5

教育部职业教育与成人教育司推荐教材 高等职业
教育数控技术应用专业教学用书

ISBN 978-7-111-37775-7

I. ①数… II. ①郑… III. ①数控系统—高等职业
教育—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 048506 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:汪光灿 责任编辑:汪光灿 王莉娜

版式设计:石 冉 责任校对:纪 敬

封面设计:姚 毅 责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.75 印张·285 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37775-7

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销 售 一 部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问	郝广发			
组长	杨黎明			
成员	刘亚琴	李超群	惠新才	王世刚
	姜立增	李向东	刘大康	鲍风雨
	储克森	薛 涛		

数控技术应用专业教材编审委员会

司徒渝	李向东	李登万	王明耀	王茂元
郭士义	周晓宏	裴炳文	马进中	郑晓峰
林 彬	张光跃	晏初宏	刘力群	许 菁
刘振兴	凌爱林	吴兆祥	赵国增	李世杰
夏 暎	赵居礼	汪光灿		

第2版前言

本书的第1版是根据高等职业技术教育机电类专业教学计划及教材编写工作会议的要求编写的，是数控技术应用专业主干课程教材之一。

本书自第1版出版以来，数控技术及职业教育均发生了新的变化。本书吸收了上版教材使用中的反馈意见，结合新的数控应用技术和专业教学要求，在原来的基础上进行了修订。修订时保留了上版“取材新颖，通过实例学习知识，以培养学生能力为主线，达到理论浅显、通俗易懂、实用性强的目的”的特点，并对部分内容进行了更新。

本书由安徽机电职业技术学院郑晓峰担任主编，西安理工大学高等技术学院关雄飞、廊坊职业技术学院陈继振担任副主编，廊坊职业技术学院马靖然参加编写。编写分工如下：郑晓峰编写第一章，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；关雄飞编写第三章和第六章；陈继振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；马靖然编写第二章的第三至六节及第八章的第一、三、四节。

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，书中一定还存在错漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

本书是根据高等职业技术教育机电类专业教学计划及教材编写工作会议的要求，于 2003 年 11 月制订通过的编写大纲编写的，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，教材力求取材新颖，通过大量实例介绍，以培养学生能力为主线，理论浅显、通俗易懂、实用性强。

本书共分八章，每章均有主要内容与学习重点、复习思考题。第一章介绍了数控系统的组成与分类以及数控系统的发展趋势；第二章介绍了数控加工程序的输入、数据处理与通信；第三章介绍了直线和圆弧常用的插补方法以及轮廓加工的补偿方法；第四章介绍了 CNC 装置的硬件、软件的结构及其功能以及典型数控系统的组成；第五章介绍了步进驱动装置、交直流伺服驱动装置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；第七章介绍了数控机床中的 PLC 控制功能，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。

本教材由安徽机电职业技术学院郑晓峰担任主编，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了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第三~六节，第八章第一、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

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 数控系统概述	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 数控系统的发展趋势	8
习题	12
第二章 数控系统程序输入与通信	13
第一节 数控编程的基础知识	13
第二节 数控机床的坐标系统	19
第三节 数控系统的信息及信息流程	21
第四节 数控加工程序的输入	22
第五节 数控加工程序的预处理	24
第六节 数控系统的通信接口与网络	28
习题	34
第三章 插补原理与刀具补偿原理	35
第一节 概述	35
第二节 逐点比较法	37
第三节 数字积分法	47
第四节 数据采样插补法	50
第五节 刀具补偿原理	53
习题	58
第四章 计算机数控装置	59
第一节 概述	59
第二节 CNC 装置的硬件结构	63
第三节 CNC 装置软件组成	77
习题	85

第五章 伺服系统	86
第一节 概述	86
第二节 步进电动机及驱动电路	88
第三节 交流电动机伺服系统	96
第四节 直流伺服电动机	105
习题	108
第六章 位置检测装置	109
第一节 概述	109
第二节 光电编码器	110
第三节 光 栅	115
第四节 感应同步器	122
习题	126
第七章 数控系统中的 PLC 控制	127
第一节 概述	127
第二节 数控系统中的 PLC	128
第三节 数控系统中 PLC 的信息交换	133
第四节 数控系统中的 PLC 控制功能实现	135
第五节 数控系统中的 PLC 应用实例	140
习题	153
第八章 数控系统的连接	154
第一节 FANUC 数控系统	154
第二节 SIEMENS 数控系统	160
第三节 华中数控系统	168
第四节 数控系统的抗干扰	173
习题	176
附录 常用术语	177
参考文献	179

第一章 数控系统概述

本章着重介绍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”。

数控设备则是采用数控系统实现控制的机械设备，其操作命令用数字或数字代码的形式来描述，工作过程按照指定的程序自动地进行，装备了数控系统的机床称为数控机床。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、电脑绣花机和工业机器人等。

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23 000h。

3. 易于实现多功能复杂程序的控制

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、复杂程序的控制。

4. 具有较强的网络通信功能

随着数控技术的发展,为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 CNC 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。

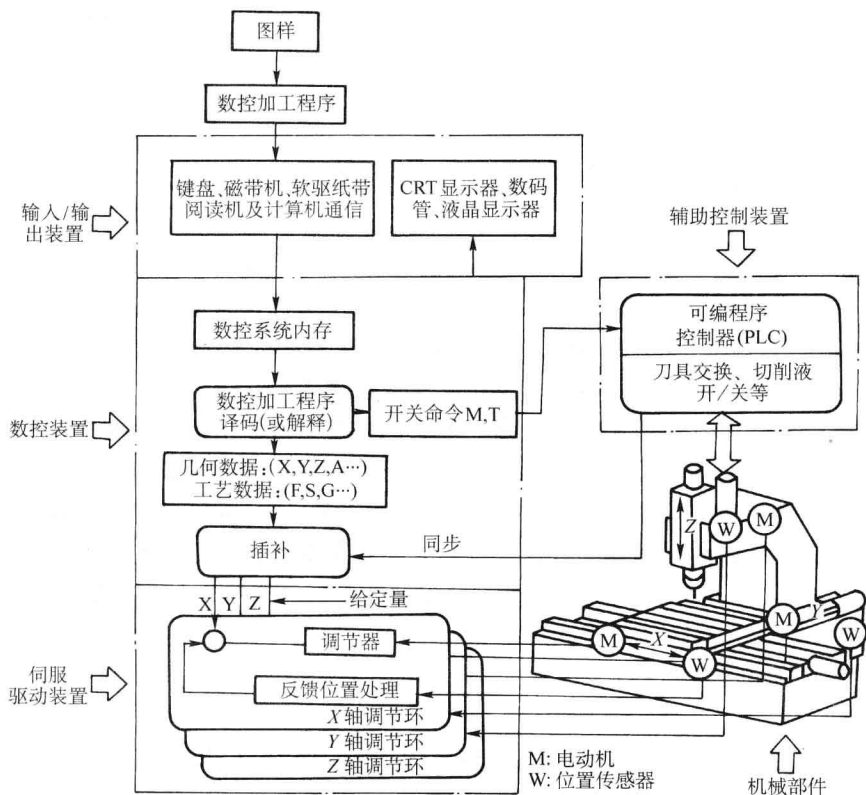


图 1-1 数控系统组成及工作过程

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,CNC 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。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 S 和进给速度 F 等功能的数据；开关功能是对机床电器进行控制的开关命令，如主轴起/停、刀具选择和交换、切削液的开/关、润滑液的起/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,通过可编程序控制器(PLC, Programmable Logic 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,数控系统可分为如下种类。

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、数控冲床和数控测量机等。

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轴,一般只能加工矩形和台阶形零件。采用这类系统的机床有数控车床(见图 1-3)和数控铣床等。

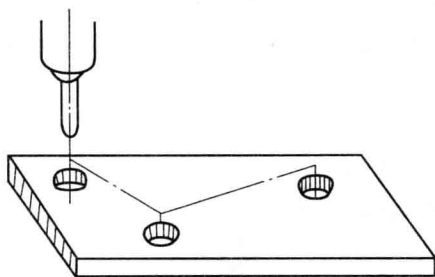


图 1-2 数控钻床的点位控制

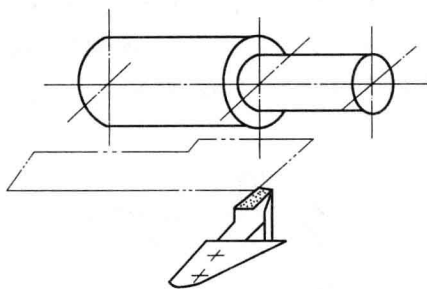


图 1-3 数控车床直线控制

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）和数控加工中心等。

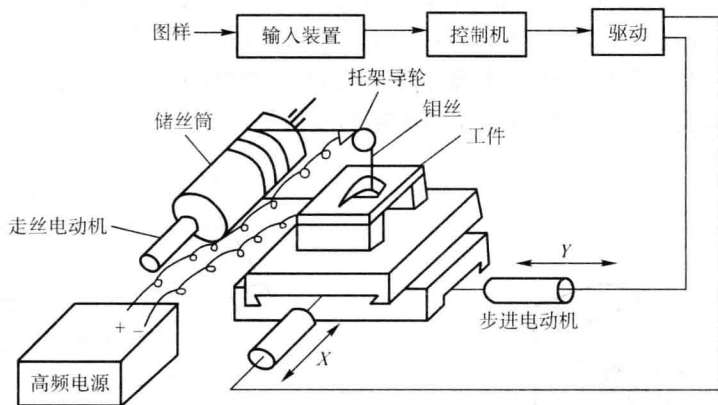


图 1-4 数控线切割机床加工示意图

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（见图 1-7）；另一类是除了同时控制 X 、

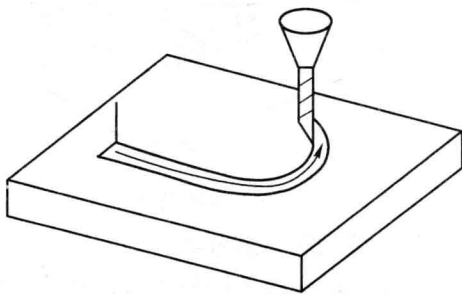


图 1-5 两轴联动

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。

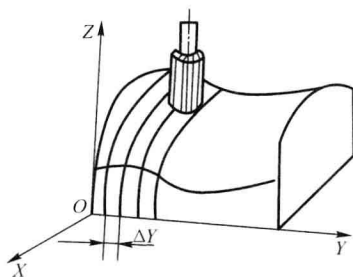


图 1-6 二轴半联动

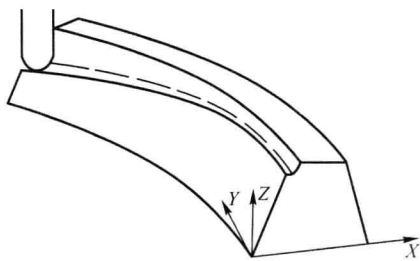


图 1-7 三轴联动

(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轴, 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。

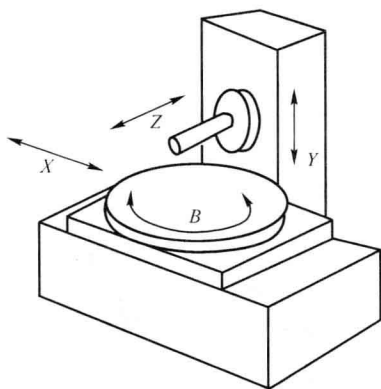


图 1-8 四轴联动

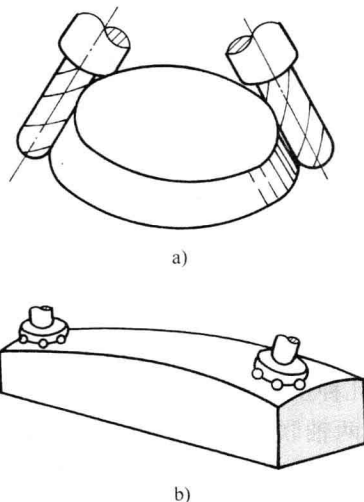


图 1-9 五轴联动

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, 其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。

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和数控精密磨床等。

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，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、通信功能和联动轴数等。

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

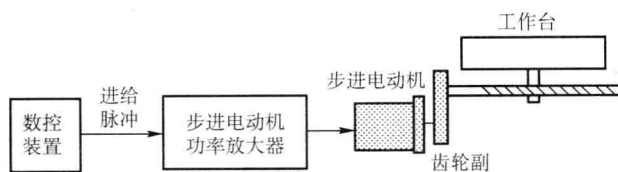


图 1-10 开环数控系统的示意图

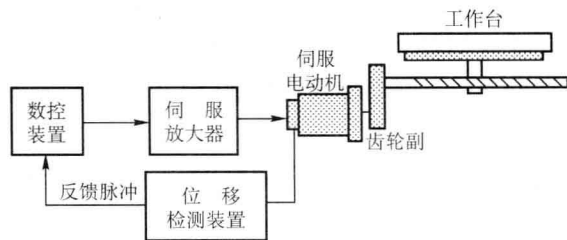


图 1-11 半闭环数控系统的示意图

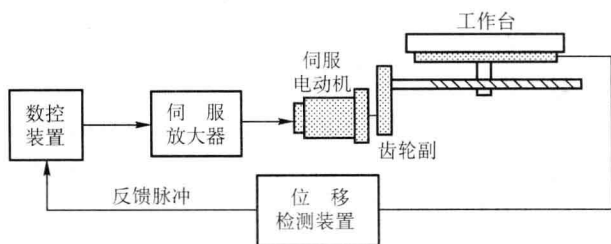


图 1-12 闭环数控系统的示意图

步进电动机驱动, 具有 RS-232 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 100m/min, 采用交流或直流伺服电动机驱动, 具有 RS-232 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 24m/min, 采用数字化交流伺服电动机驱动, 具有 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 数控系统的发展趋势

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 60 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两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。

当前数控系统正朝着高速高精度、多功能、智能化、高可靠性及开放性方向发展。

一、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。高速度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 μ m 的情况下最大进给速度达到了 100m/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 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 120m/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连接成一体, 从而将主轴转速提高到 $40\,000 \sim 50\,000 \text{ r/min}$, 最高转速可达 $100\,000 \sim 120\,000 \text{ r/min}$, 使得切削时间缩短了 80%。

提高数控机床的加工精度一般是通过减少数控系统的误差和采取误差补偿技术来实现。在减少 CNC 系统控制误差方面, 通常采用提高数控系统的分辨率、以微小程序段实现连续进给、提高位置检测精度以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法; 在采用补偿技术方面, 除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿等传统补偿方法外, 还采用了热变形补偿。电动机、回转主轴和传动丝杠副的发热变形会产生加工误差, 为减少变形, 一方面采用流动油液对内装主轴电动机和主轴轴承进行冷却, 另一方面采取热补偿技术。

二、智能化

数控系统的智能化主要体现在以下几个方面:

1. 应用自适应控制技术

通常数控系统是按照事先编好的程序工作的。由于加工过程中的不确定因素, 如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具磨损等难以预测, 编程中一般采用比较保守的切削用量, 从而降低了加工效率。自适应控制系统(AC, Adaptive Control)可以在加工过程中随时对主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损参数进行自动检测, 并根据测量结果, 及时调整切削参数, 使加工过程始终处于最佳状态。

2. 自动编程技术

为了提高编程效率和质量, 降低对操作人员技术水平要求, 现代数控系统附加人机对话编程自动编程软件, 实现自动编程。

3. 具有故障诊断功能

数控系统出现了故障, 控制系统应能够自动诊断, 并自动采取排除故障的措施, 以适应长时间无人操作的要求。

4. 应用模式识别技术

应用图像识别声控技术, 使机器能够根据零件的图像信息, 按图样自动加工或按照自然语言指令进行加工。

三、高可靠性

CNC 系统的可靠性是用户最为关注的问题, 提高可靠性可通过下列措施实现。

1. 提高线路的集成度

采用大规模或超大规模集成电路、专用芯片及混合式集成电路, 以减少元器件的数量, 精简外部连线 and 降低功耗。

2. 建立由设计、试制到生产的完整质量保证体系

为了保证高可靠性必须采取光电隔离, 防电源干扰; 使数控系统模块化、通用化及标准化, 便于组织批量生产及维修; 在安装制造时注意严格筛选元器件; 对系统可靠性进行全面检查考核等。

3. 增强故障自诊断功能和保护功能

由于元器件失效、编程及人为操作失误等原因, 数控系统可能会出现故障。数控系统一般具有故障诊断和故障排除功能。此外, 应注意增强监控与保护功能, 如有的系统设有行程范围保护、刀具破损检测和断电保护等功能。若注意增强监控与保护, 可以避免损坏机床或工件报废的现象发生。由于采取了各种有效的措施, 现代数控系统的平均无故障时间可达到

MTBF = 10 000 ~ 36 000h。

四、具有内装式可编程序控制器(PLC)

数控系统中有内装式 PLC, 可用其指令来编制 PLC 程序, 绘制梯形图。利用 PLC 的高速处理功能, 使 CNC 与 PLC 之间有机地结合起来, 而且可以利用梯形图的监控功能, 使机床的故障诊断维修更为方便。

五、基于网络的数控系统

为了适应 FMC、FMS 及 CIMS 的要求, 一般数控系统都具有 RS-232C 和 RS-422 串行接口, 按照用户级的要求, 与上一级计算机进行数据交换。高档的数控系统应具有 DNC 接口, 可以实现几台数控机床之间的数据通信与控制。数控机床作为车间的基本设备, 其通信范围是:

- 1) 数控系统内部的 CNC 装置与数字伺服间的通信主要通过 SERCOS 链式网络传送数字伺服控制信息。
- 2) 数控系统与上级主计算机间的通信。
- 3) 与车间现场设备及 I/O 装置的通信主要通过现场总线如 PROFIBUS 等进行。
- 4) 通过因特网与服务中心通信, 传递维修数据。
- 5) 通过因特网实现工厂间数据的交换。

六、具有开放性

传统的数控系统是一种专用封闭式系统, 各厂家的产品之间以及与通用计算机之间不兼容, 难以满足市场对数控系统的要求。所以, 国内外数控系统生产厂家正在大力研发开放式数控系统。

1. 开放式数控系统的组成

开放式数控系统具有透明性、独立性、可再生性、可扩展性和可维护性, 具体表现为:

- 1) 按分布式控制的原则, 采用系统、子系统和模块分级式的控制结构, 其构造应是可移植的和透明的。
- 2) 有明确的系统模块接口协议, 各模块相互独立, 可较容易地将一些专用功能和个性模块加入其中。开发设计时, 允许模块独立进行开发, 控制程序设计按系统、子系统和模块三个层次进行。
- 3) 根据需要可方便实现重构、编辑, 实现一个系统多种用途, 可实现 CNC、PLC、RC (Robot Control) 和 CC (Cell Control) 等在内的控制功能。
- 4) 具有一种较好的接口协议, 以便各独立的功能模块实现信息交换, 满足系统控制要求。

2. 开放式数控系统的特点

数控系统的结构开放, 可广泛吸收计算机技术中的丰富资源, 及时吸收新技术和新工艺成果, 根据不同应用对象要求, 迅速、灵活地更换软硬件, 使得数控技术发展步伐加快, 开发周期缩短。其特点为:

- 1) 向未来技术开放。由于软硬件遵循公认的标准协议, 重新设计工作量少, 新一代的通用软硬件很容易被现有系统吸收和兼容, 延长了系统使用寿命, 降低了开发费用。
- 2) 向用户特殊要求开放, 提供可选的软硬件产品, 融入用户自身的技术诀窍, 满足特殊要求, 形成特色品牌。