



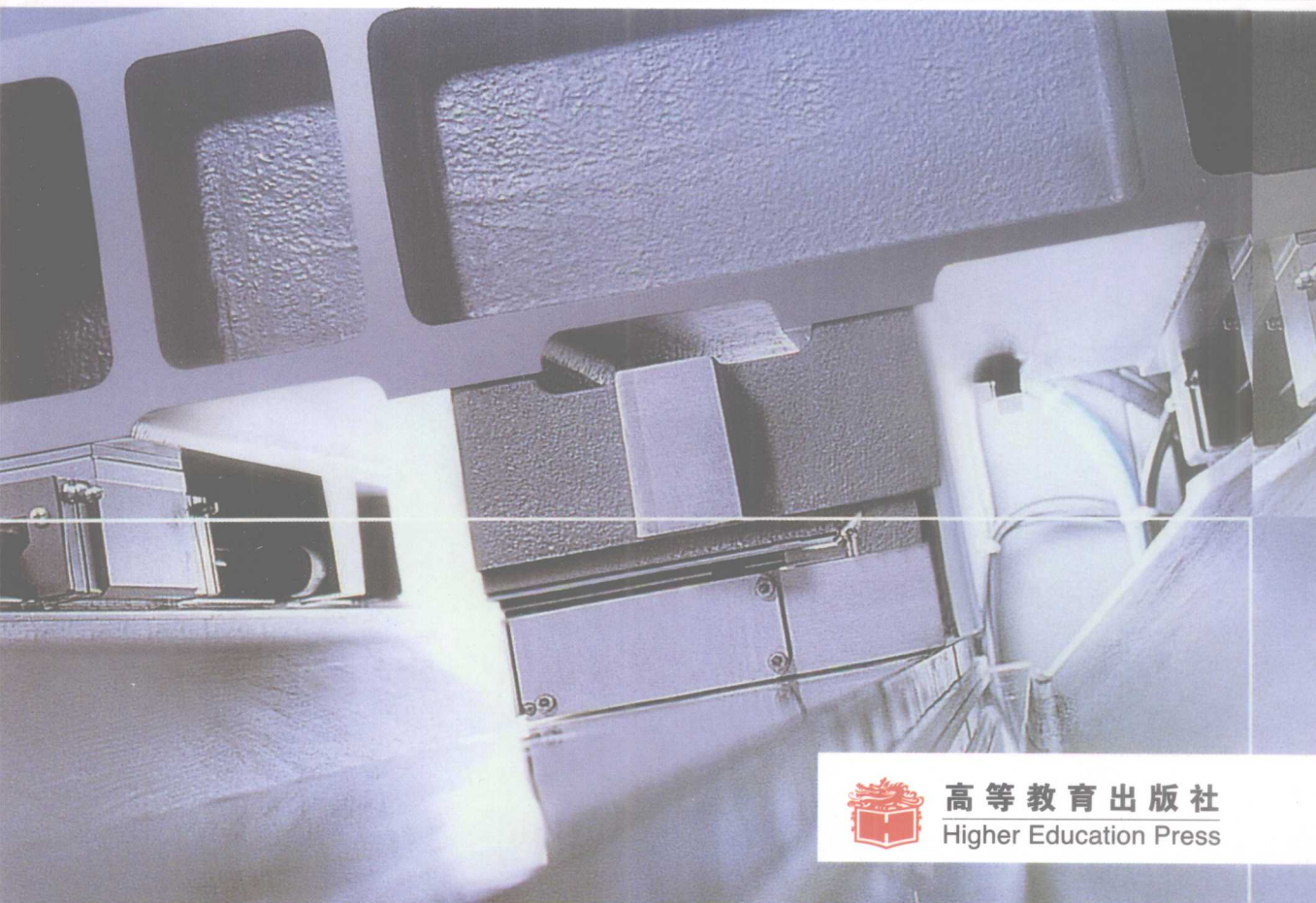
中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控系统

(数控技术应用专业)

第2版

主编 吴文龙 王 猛



高等教育出版社
Higher Education Press

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数 控 系 统

(数控技术应用专业)

第2版

主编 吴文龙 王 猛

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是中等职业教育国家规划教材,是在第1版的基础上广泛征求意见,根据最新教学需求修订而成的。

本书的主要内容包括数控系统概述、数控系统的基本结构、检测装置、伺服系统、数控系统的使用和数控系统的调试、维护与故障诊断,各章中均附有相关的实验。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控系统/吴文龙,王猛主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2009.7

数控技术应用专业

ISBN 978-7-04-026017-5

I. 数… II. ①吴…②王… III. 数控机床-数控系统-专业学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090042 号

策划编辑 张春英 责任编辑 薛立华 封面设计 于 涛 责任绘图 尹 莉
版式设计 张 岚 责任校对 杨凤玲 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 河北省财政厅票证文印中心

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 11.25
字 数 270 000

版 次 2003 年 7 月第 1 版
2009 年 7 月第 2 版
印 次 2009 年 7 月第 1 次印刷
定 价 15.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 26017-00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

第2版前言

本书是中等职业教育国家规划教材,是在第1版的基础上根据最新教学需求修订而成的。

本次修订基本保持了第1版的基本框架结构,在内容的选择上做了适当的调整和变动,主要的改动之处有:

1. 结合中等职业学校技能型人才的培养目标和学校实践条件不断改善的特点,对第1版中所有实验做了调整。统一采用 HED-21S 数控系统综合实验台为载体,增强实验的可操作性和适用性;各章的实验内容均做了更换,如第五章实验三改为“数控系统的连接”、第六章实验二改为“数控系统的参数设置与调整”等,使其更有针对性,利于数控技术应用专业学生综合职业能力的培养。

2. 结合我国经济型数控系统的发展,将第1版第五章第三节的内容实施替换,突出介绍华中“世纪星”数控系统的硬件连接、软件结构和接口技术。

3. 结合数控技术的发展,适度增加了新知识、新技术,如第四章增加了直线伺服系统的知识;适度调整了相关内容,如第一章中数控技术的发展。

4. 结合我国中等职业学校基本学制和学生的特点,适度降低难度,删除了第1版第七章的内容;去除了部分公式的推导,如第三章检测装置中的部分公式。

本书由王猛修订,由葛金印审阅。

本书采用出版物短信防伪系统,同时配套学习资源。用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作。

编 者
2009年3月

第 1 版前言

本书是根据 2001 年 1 月教育部颁发的中等职业学校重点建设专业主干课程“数控系统教学基本要求”，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的，是中等职业教育国家规划教材。

“数控系统”是中等职业学校数控技术应用专业的一门主干专业课，其主要任务是使学生掌握数控系统的基本知识，具备数控系统实际应用和维护的初步能力，并为进一步学习打下基础。本课程的主要内容有：数控系统概述、数控系统的基本结构（数控系统的硬件、软件、信息处理）、检测装置（旋转变压器、感应同步器、光栅、磁栅、编码器、数显装置的使用）、伺服系统（步进电动机及驱动电路、直流伺服电动机、交流伺服电动机及控制器）、数控系统的使用（数控系统中的 PLC、通信接口与网络、经济型数控系统、数控系统的干扰）、数控系统的调试与维护（调试、维护、故障诊断）、PLC 及其应用、数字式仪表及其选用、工业控制计算机及有关的实验。其中 PLC 及其应用、数字式仪表及其选用和工业控制计算机为选学内容，供 4 年制数控技术应用及相关专业学生学习，也可以供不同地区、不同学校、不同专业人员学习。

由于本课程是一门专业技术应用性课程，因此涉及的专业基础知识面广，综合应用性强，且难度较大。考虑到中等职业学校学生的特点，本教材起点低，内容简洁，安排有序，图文并茂，体现了基础性与实用性相结合、通用性与针对性相结合，突出职业技能教育，注意与职业技能鉴定内容相接轨，将专业特点与职业特点紧密结合，为学生的终身学习打下良好的基础。

本书指导性教学时数为 64 学时，其中理论教学为 45 学时（含机动 6 学时），实验教学为 19 学时。具体学时分配见下表：

章 次	学 时 数			章 次	学 时 数		
	合计	讲授	实验		合计	讲授	实验
一	2	2		六	8	2	6
二	5	4	1	七	8	6	2
三	12	10	2	机动	6	6	
四	10	8	2	实验专用	1 周		
五	13	7	6	合计	64	45	19

本书由常州刘国钧职教中心吴文龙、王猛任主编，其中王猛编写第一章、第二章、第五章第二和四节、第六章、第七章第三节；吴文龙编写第三章、第五章第三节、第七章第二节；常州刘国钧职教中心汪建义、吴文龙编写第四章、第五章第一节、第七章第一节。高等教育出版社聘请北京市机械局职工大学孙建东主审、庄严参审。

本书由全国中等职业教育教材审定委员会审定通过,天津大学张世昌教授任责任主审,朱梦周教授、王刚副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,对此,表示衷心感谢。

在此谨向所有为本书的编写、出版给予支持和帮助的同志表示深深的谢意。

由于编者水平有限及时间仓促,书中难免存有错漏与不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

目 录

第一章 数控系统概述	1	控制器	90
第一节 数控的基本概念	1	实验 步进驱动系统的连接及	
第二节 数控系统的分类	4	步进电动机特性的检测	96
第三节 数控技术的发展	7	本章小结	99
本章小结	9	复习思考题	100
复习思考题	10	第五章 数控系统的使用	102
第二章 数控系统的基本结构	11	第一节 数控系统中的 PLC	102
第一节 数控系统的硬件结构	11	第二节 通信接口与网络	110
第二节 数控系统的软件结构	22	第三节 经济型数控系统	122
第三节 数控系统的信息处理	27	第四节 数控系统的抗干扰	133
实验 数控系统的认识	34	实验一 PLC 编程与调试	139
本章小结	37	实验二 经济型数控系统的接口	
复习思考题	38	电路	142
第三章 检测装置	39	实验三 数控系统的连接	145
第一节 旋转变压器	39	本章小结	146
第二节 感应同步器	41	复习思考题	147
第三节 光栅	46	第六章 数控系统的调试、维护与故障	
第四节 磁栅	53	诊断	149
第五节 编码器	56	第一节 数控系统的调试	149
第六节 数显装置的使用	61	第二节 数控系统的维护	153
实验 编码器及其应用	66	第三节 数控系统的故障诊断	156
本章小结	68	实验一 数控系统的调试与维护	165
复习思考题	68	实验二 数控系统的参数设置与	
第四章 伺服系统	70	调整	167
第一节 概述	70	实验三 数控系统的报警与故障	
第二节 步进电动机及驱动控制		诊断	169
电路	73	本章小结	169
第三节 直流伺服电动机	87	复习思考题	170
第四节 交流伺服电动机及		参考文献	171

第一章 数控系统概述

本书讲述的数控系统即数控机床的控制系统,是现代数字控制技术的典型产品,是现代机械制造系统的基础设备之一。本章介绍数控技术的基本概念,数控系统的基本组成、作用、分类方法及发展和应用状况,并着重介绍数控系统各组成部分的作用及简单的工作原理。

第一节 数控的基本概念

随着现代微电子技术的飞速发展,微电子器件集成度和信息处理功能不断提高,而价格不断降低,使微电子技术,特别是微型计算机在机械制造领域得以广泛的应用。近年来,由于市场竞争日趋激烈,传统的普通加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求,难以适应市场竞争的高效率、高质量的要求,而以微电子技术为基础,将传统的机械制造技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术以及网络通信技术有机地结合在一起,构成高度信息化、高度柔性、高度自动化的制造系统,正好满足当今市场竞争和工艺发展的需要。可以说,微机的数字控制技术的应用是机械制造行业现代化的标志,它在很大程度上决定了企业在市场竞争中的成败。

一、数字控制技术

数字控制(numerical control, NC)技术,简称数控技术(NC技术),是近代发展起来的一种自动控制技术。数字控制技术是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行自动控制的一种方法,因此它的控制信息是数字量,而非模拟量。

数控技术不仅用于机床的控制,而且还用于控制其他设备,产生了诸如数控绘图机、数控测量机等数控设备,但其中最早产生的、目前应用最广泛的是机械加工行业中的各种机床。因此数控技术一般是指机床的数控技术,它由机床、数控系统及外围技术(如编程技术、管理技术等)三部分组成。

数控系统是用数字控制技术实现自动控制的系统,即能阅读输入载体上事先给定的数字值,并将其译码,从而使机床自动加工零件的一种控制系统。它有如下特点:

(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、数学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”。

由于数控系统具有上述优点,故被广泛应用于机械运动的轨迹控制。机床本体和数控系统有机的结合体称为数控机床,例如数控车床、数控铣床、数控加工中心等。本书中的数控系统具体指的是机床的数控系统。

数控系统对机床的控制包括顺序控制和数字控制两个方面。顺序控制是指对刀具交换、主轴调速、冷却液开关、工作台的极限位置等一类开关量的控制。数字控制是指机床进给运动的控

制,用于实现对工作台或刀架的位移、速度这一类数字量的控制。

二、数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动控制装置、机床电器逻辑控制装置四部分组成,机床本体为被控对象,如图 1-1 所示。

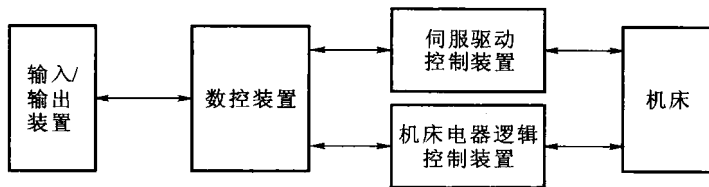


图 1-1 数控系统组成的一般形式

1. 输入/输出装置

输入/输出装置的主要作用是输入程序和数据、打印和显示。数控系统是严格按照外部输入的加工程序控制机床的加工过程,对工件进行自动加工的。数控加工程序是用字母、数字和其他符号的编码指令表示的程序,按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息。它包括零件加工的轨迹信息(如几何形状、几何尺寸等)、工艺信息(如进给速度、主轴转速等)及开关命令(如自动换刀、冷却液开或关等)。加工程序常常记录在各种信息载体上,这些载体可以是穿孔纸带、磁带、磁盘等。

输入装置是将程序载体上的数控代码转换成相应的电脉冲信息,传送并存入数控装置内。输出装置是用以显示输入的内容及数控工作状态等信息,监控数控系统的运行。常用的输入/输出装置有光电阅读机、磁带录放机、磁盘驱动器、键盘和 CRT(阴极射线管)显示器等。

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程序和数据,完成数值计算、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。数控装置一般由输入/输出接口、存储器、控制器和运算器等部分组成。

3. 伺服驱动控制装置

伺服驱动控制装置介于数控装置和机床之间。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。伺服驱动控制装置一般由执行元件(如步进电动机、交/直流电动机等)、伺服控制电路、功率放大电路、检测装置等部分组成。伺服驱动控制装置一般是以轴为单位的独立体,用以控制各个轴的运动,它的性能是决定数控机床加工精度的主要因素。

4. 机床电器逻辑控制装置

机床电器逻辑控制装置介于数控装置和机床机械、液压部件之间。它的作用是接收数控装置输出的开关命令,进行机床操作面板及机床各种机电控制/监测机构的逻辑处理和监控,并为数控装置提供机床的状态和有关应答信号。主要完成机床主轴的变速、变向,刀具的选择交换,工件的装夹、冷却、液压、气动、润滑系统的控制功能和其他辅助功能。

当数控系统的一般组成形式中的数控装置采用存储程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能时,该数控系统称为计算机数控(computerized numerical control)系统,简称 CNC

系统。

计算机数控系统由硬件和软件共同完成数控任务,因此其组织形式更加灵活,工作可靠性更高,正得到越来越广泛的应用。其基本组成如图 1-2 所示。

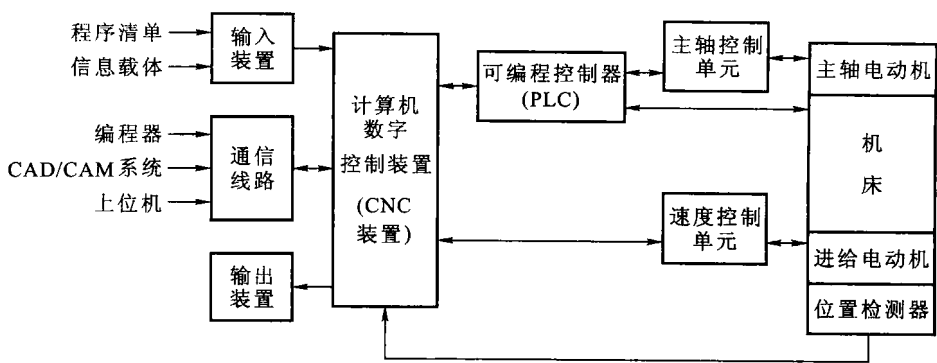


图 1-2 计算机数控系统的组成

由图 1-2 可知,计算机数控系统具有数控系统的一般组成形式的各部分,但其数控装置获取信息的方式更多,可以通过通信方式输入,如人机对话的编程操作键盘、自动编程器、CAD/CAM 系统或上位机所提供的数控加工程序。另外,计算机数控系统中的电器逻辑控制装置采用了可编程控制器(PLC),实现机床的辅助功能(M 功能)、主轴选速功能(S 功能)和换刀功能(T 功能)。

三、数控系统的工作原理

在数控机床上加工一个零件,一般工作过程如图 1-3 所示。

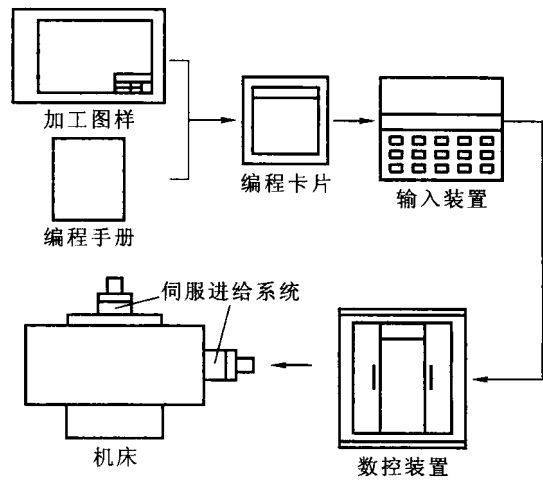


图 1-3 数控机床的工作过程

- (1) 根据零件图样确定的工艺方案和编程手册,用规定的代码和程序格式来编写加工程序。
- (2) 将编程卡片上的加工程序,采用手工键盘数据输入方式(MDI 方式)输入数控装置,也可以采用自动编程输入方式直接将生成的程序送入数控装置。

(3) 数控装置对程序代码进行译码、寄存、运算,然后为伺服进给系统提供控制信号,实现对刀具与零件相对运动的控制。

(4) 数控装置提供的信号还可以实现对机床各运动部件的控制与操作,包括主轴变速、工件松夹、刀具交换以及冷却液开、关等。

上述步骤中,数控装置的译码和寄存是在数控系统控制程序的作用下进行的信息预处理工作。数控系统进行数控加工程序的译码时,将其区分成几何数据(刀具相对于工件的运动路径数据)、工艺数据(主轴转速和进给速度)和开关量(机床电器的开关命令),并以一定的数据格式存放在指定的内存区间。

经过预处理后的加工控制信息(如工件的几何数据、工艺数据和加工前输入的实际刀具参数)还须在数控系统的插补器完成插补处理后,才能形成符合零件加工要求的刀具轨迹。在数控系统中,插补是指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,分别向各坐标轴发出方向、大小和速度都协调的运动序列命令,通过各轴合成,产生数控加工程序要求的、符合工件轮廓的刀具轨迹。

第二节 数控系统的分类

数控机床的品种很多,根据其控制原理、功能和组成,可以从几个不同的角度对数控系统进行分类。

一、按被控制机床运动的轨迹分类

1. 点位控制数控系统

这类数控系统只要求精确地控制机床运动部件由一个坐标点移动到另一个坐标点的位置精度,而不考虑机床运动部件在这两点间按照什么轨迹运动。在移动过程中机床不进行任何加工。为了精确定位和提高效率,系统先高速运行后减速,使运动部件慢速趋近定位点,减少误差。图 1-4 是点位控制示意图。点位控制数控系统一般应用于数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

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之间按直线运动进行切削加工,其运动轨迹一般是与某一坐标轴平行的直线,也可以是与坐标轴成 45° 的斜线,在运动过程中的速度是可以控制的。图 1-5 是点位直线控制示意图。点位直线控制数控系统一般应用于数控车床、数控镗铣床及加工中心等。

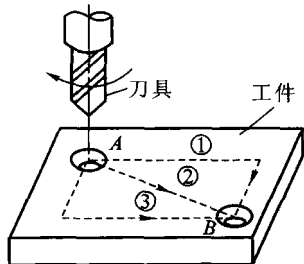


图 1-4 点位控制示意图

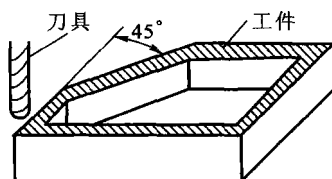


图 1-5 点位直线控制示意图

3. 轮廓控制数控系统

这类数控系统能同时控制两个或两个以上的坐标轴,它不仅具有插补功能,对位移和速度进行严格的不断断的控制,而且具有轮廓控制功能,即可以加工曲线或者曲面零件。图 1-6 是轮廓控制示意图。轮廓控制数控系统常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和加工中心等。

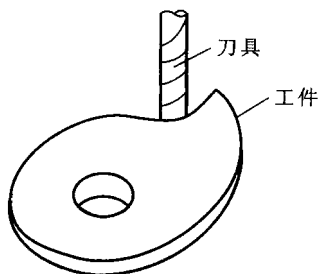


图 1-6 轮廓控制示意图

二、按数控装置分类

1. 硬线数控系统

硬线数控(NC)又称普通数控。这类数控系统的输入、插补运算控制等功能均由专用的固定数字逻辑电路来实现。一般来说,不同的数控机床其控制电路也不同,因此系统的通用性和灵活性较差,而且成本较高。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

计算机数控(CNC)系统是在硬线数控系统的基础上发展起来的。它的硬件电路由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路制成,因此又称为微机数控(MNC),其部分或全部控制功能由系统软件来实现,所以不同功能的机床其系统软件也就不同,而修改或增减系统功能时,不需变动硬件电路,只需改变系统软件。

这类数控系统在 20 世纪 70 年代中期,随着微电子技术的发展和微型计算机的出现以及集成电路的集成度的不断提高才得到迅速发展,并逐渐成为主流。它与 NC 系统相比具有如下特点:

- (1) 采用了软件控制程序,系统灵活可变,易于变化和扩展。
- (2) 硬件采用了模块化结构,系统的通用性强。
- (3) 采用了大规模集成电路,系统的可靠性高。
- (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) 有自诊断程序,系统使用维护方便。

三、按伺服驱动系统控制方式分类

1. 开环数控系统

这类系统没有检测反馈装置(图 1-7),伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式步进电动机。数控系统每发出一个进给脉冲指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,通过丝杠转动使机床运动一个距离(该单位长度为脉冲当量)。这类系统的信息流程是

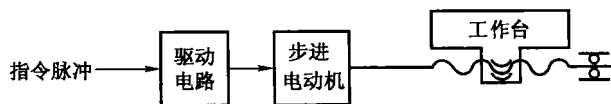


图 1-7 开环数控系统框图

单向的,对机床移动部件的实际位移不作检验和反馈,机床的加工精度不高,所以称为开环数控系统。机床的加工精度取决于伺服系统的性能及机床本身的精度。

开环数控系统的特点是结构简单,成本较低,技术容易掌握。一般适用于中、小型的经济型数控机床,特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环数控系统

这类系统装有检测反馈装置,伺服驱动部件通常用直流伺服电动机或交流伺服电动机,在加工中随时检测移动部件的实际位置,使之和数控装置所要求的位置相符合,以期达到很高的加工精度。

图 1-8 是闭环数控系统框图。图中 A 为速度测量元件,C 为位置测量元件。当数控系统发出的指令值到位置比较电路时,此时若工作台没有移动,则无反馈量。指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回位置比较电路。在位置比较电路中与指令值进行比较,用其差值进行控制,直到差值消除为止,最终实现精确定位。这类系统将机床工作台纳入控制环节,故称为闭环数控系统。

闭环数控系统的特点是精度高、速度快,但调试维修较困难、系统复杂、成本高,一般适用于精度较高的数控设备,如数控精密镗铣床。

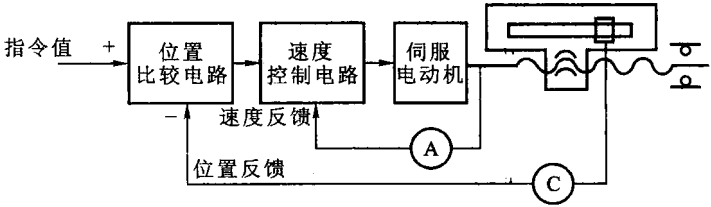


图 1-8 闭环数控系统框图

3. 半闭环数控系统

这类数控系统与闭环数控系统的区别是将检测元件安装在伺服电动机的轴端或丝杠端,通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际位置。这类数控系统的伺服驱动元件通常是宽调速直流伺服电动机。

图 1-9 是半闭环数控系统框图,图中 A 为测速发电机,B 为光电编码盘或旋转变压器。从图 1-9 可以看出,反馈到位置比较电路和速度控制电路中的信号是由 A、B 测出的转角推算出的工作台实际位移量,用此值与指令值进行比较,用其差值实现控制。由于工作台等的机械传动环节没有包括在控制回路中,故这类系统称之为半闭环数控系统。

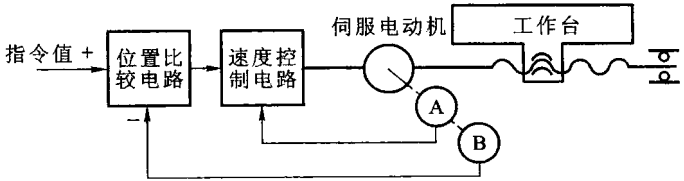


图 1-9 半闭环数控系统框图

半闭环数控系统的特点是结构简单,系统不易受机械传动装置干扰,工作稳定性好,精度虽没有闭环数控系统高,调试却比闭环方便。故中等精度以上的数控机床大多数采用半闭环数控系统,如加工中心。

四、按数控系统的功能水平分类

这种分类方法只是在人们谈论数控机床水平时使用,实际上并没有一个明确的定义和确切的界限,且不同时期、不同国家的分类含义也不同。数控系统的水平是按主要技术参数、功能指标、关键部件的功能水平来确定的,通常可以分为高档、中档、低档三类。通常用以下几个方面作为评价档次的参考指标(表 1-1)。

表 1-1 不同档次数控功能及指标表

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μm	1 μm	0.1 μm
进给速度	8 ~ 15 m/min	15 ~ 24 m/min	24 ~ 100 m/min
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服电动机系统	闭环及直、交流伺服电动机系统
联动轴数	2 ~ 3 轴	2 ~ 4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	接口:RS232C 或 DNC	接口:RS232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

第三节 数控技术的发展

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是在 20 世纪 40 年代提出的。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,利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理,并考虑了刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到较高程度。随着科学技术的发展,数控技术经历了数代的变化,当前又出现了一些新的发展动向。

一、数控技术的产生和数控机床的发展

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,当时用的电子器件是电子管,这就是第一代数控系统,也是世界上第一台数控机床。

1959 年,计算机行业研制出晶体管器件,因而数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板,从而跨入第二代。1959 年 3 月,由克耐·杜列克公司(Keaney&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,其他一些工业国家,如德国、日本都陆续开发、生产及使用了数控机床。

1965 年,出现了小规模集成电路。由于它的体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代都属于普通数控机床(简称 NC 机床),它们均采用专用控制计算机的硬逻辑数控系统。

1967 年,英国首先把几台数控机床的硬逻辑连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, FMS)。之后,美、欧、日也相继进行开发和应用。

随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现。这样组成的数控系统称为计算机数控系统(CNC)。1970 年,在美国芝加哥国际机床展览会上首次展出了这种系统,称为第四代数控系统。

1970 年后,美国英特尔(Intel)公司开发和使用微处理器。1974 年,美国、日本等国家首先研制出以微处理器为核心的数控系统。30 多年来,微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用,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, FMC)。

FMC 和 FMS 被认为是实现计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)的必经阶段和基础。

进入 20 世纪 90 年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动机床数控技术更快的更新换代,许多数控系统生产厂家利用个人计算机(PC 机)丰富的软、硬件资源开发出开放式体系结构的新一代数控系统,如美国科学制造中心(NCMS)与空军共同领导的下一代工作站/机床控制器体系结构(NGC)、欧共体的自动化系统中开放式体系结构(OSACA)等。

二、我国数控机床发展情况

我国从 1958 年开始研究数控技术,一直到 20 世纪 60 年代中期处于研制、开发阶段。

1965 年,我国开始研制晶体管数控系统,并在 20 世纪 60 年代末至 70 年代初研制成功 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、稳定性问题没有得到解决,因此未能广泛推广。这一时期,数控线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推广。

20 世纪 80 年代我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置和伺服系统技术。在引进、消化吸收的基础上,跟踪国外先进技术的发展,开发出了一些高档的数控系统,如多轴联动数控系统、分辨力为 $0.02\ \mu\text{m}$ 的高精度数控系统、灵敏数字仿形系统、为柔性单元配套的数控系统等。

目前,我国在常规数控机床领域,如数控车床、立式加工中心、数控铣床、数控镗床、数控磨床、电加工机床和数控成形机床等一大批产品,已经拥有自主知识产权,具有较强的市场竞争力。在高档数控机床研发方面有了新突破,已基本掌握了多(五)坐标联动的关键技术,复合加工技术的研究也取得很大成绩。在 2007 年中国国际机床展览会上,展出的国产五轴联动数控机床有 40 多台,展出的车铣复合、车磨复合、双主轴车削中心等多功能复合数控机床有 10 多台。

三、数控技术的发展趋势

随着计算机技术、测试技术、微电子技术、材料和机械结构各个方面的高速发展,国内外数控技术的研究不断取得成果,并出现了新的发展趋势:

(1) 高速度、高精度、高效化。速度、精度和效率是机械制造技术的关键性能指标。由于采用了高速 CPU 芯片、RISC 芯片、多 CPU 控制系统以及带高分辨率绝对式检测元件的交流数字伺服系统,同时采取了改善机床动态、静态特性等有效措施,高精度、高速度的内涵也不断变化。目前正在向着精度和速度的极限发展,其中进给速度已达到每分钟几十米乃至数百米,主轴转速已达 60 000 r/min,超精密加工精度已开始进入纳米级(0.01 μm)。

(2) 工艺复合性和多轴化。以减少工序、辅助时间为主要目的的复合加工,正朝着多轴、多系列控制功能方向发展。数控机床的工艺复合化是指工件在一台机床上一次装夹后,通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施,完成多工序、多表面的复合加工。

(3) 实时智能化。在数控技术领域,通过自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等实时智能控制技术,可大大提高数控系统的控制性能,从而达到最佳控制的目的。

(4) 用户界面图形化。用户界面是数控系统与使用者之间的对话接口,图形化可极大地方便非专业用户的使用。人们可以通过窗口和菜单的操作,方便地实现蓝图编程和快速编程、三维彩色立体动态图形显示、图形模拟、图形动态跟踪和仿真、不同方向的视图和局部显示比例缩放等功能。

(5) 数控装置的集成化。采用高度集成化 CPU、RISC 芯片和大规模可编程集成电路 FPGA、EPLD、CPLD 以及专用集成电路 ASIC 芯片,可提高数控系统的集成度和软、硬件运行速度;应用 FPD 平板显示技术,可提高显示器性能;应用先进封装和互连技术,将半导体和表面安装技术融为一体。通过提高集成电路密度、减少互连长度和数量来降低产品价格,改进性能,减小组件尺寸,提高系统的可靠性。

(6) 通信功能的网络化。数控系统的网络化一方面便于远距离操作和监控,便于远程诊断故障和进行调整;另一方面也利于数控系统生产厂对其产品的监控和维修,适于大规模现代化生产的无人化车间,实行网络管理;此外还适于在操作人员不宜到现场的环境(如对环境要求很高的超精密加工和对人体有害的环境)中工作。

(7) 体系结构的模块化和开放化。采用通用计算机组成总线式、模块化、开放式、嵌入式体系结构,便于裁剪、扩展和升级,可根据不同的功能需求,组成不同档次、不同类型、不同集成程度的数控系统,易于将计算机实时智能技术、网络技术、多媒体技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,构成严密的制造过程闭环控制体系,从而实现集成化、智能化、网络化。

本章小结

本章介绍了数控技术的一些基本概念,并着重介绍了数控系统的基本组成和作用、数控系统的分类和应用的特点以及数控系统的简单工作原理,同时也概述了数控技术的产生和发展状况。