

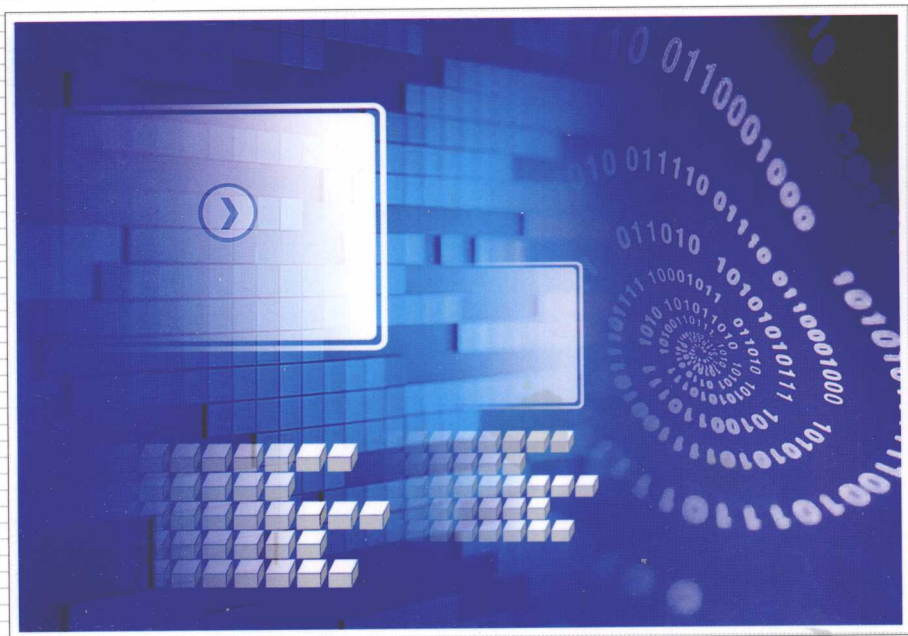


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

数控系统

shukong xitong

■ 主编 吴 凯 符兴承



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本教材力求取材新颖,安排有序,由浅入深,图文并茂,形象生动,并着重于实际应用。为了打造数控技术应用人才的市场需要,理论部分的讲解突出了简明性、系统性、实用性和先进性,反映机与电的结合,减少繁杂的数学推导。可作为高等职业技术学院、中专、电大等数控专业的教材和参考书,也可作为企业数控加工职业技能的培训教程,同时可供其他对数控技术感兴趣的读者参考。

本书结合当前数控系统的实际发展水平,主要介绍有关机械加工领域中的数控系统及原理,包括:数控系统概述、CNC 数控系统的基本结构、检测装置、数控伺服系统、数控系统中的 PLC 控制、数控系统的连接和典型的数控系统。全书共有七个章节,每章后面附有小锦囊,以提高学习的兴趣,拓宽视野。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控系统/吴凯,符兴承主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009.8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2733 - 9

I. 数… II. ①吴…②符… 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 150286 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10.75

字 数 / 275 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 19.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中高职教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



本教材力求取材新颖，安排有序，由浅入深，图文并茂，形象生动，并着重于实际应用。为了打造数控技术应用人才的市场需要，理论部分的讲解突出了简明性、系统性、实用性和先进性，反映机与电的结合，减少繁杂的数学推导。可作为高等职业技术学院、中专、电大等数控专业的教材和参考书，也可作为企业数控加工职业技能的培训教程，同时可供其他对数控技术感兴趣的读者参考。

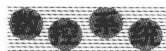
本书结合当前数控系统的实际发展水平，主要介绍有关机械加工领域中的数控系统及原理，包括：数控系统概述、CNC 数控系统的基本结构、检测装置、数控伺服系统、数控系统中的 PLC 控制、数控系统的连接和典型的数控系统。全书共有七个章节，每章后面附有小锦囊，以提高学习的兴趣，拓宽视野。

在本书编写过程中，参阅了有关资料和文献，在此表示衷心的感谢。由于编者的水平有限，加上时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请读者批评、指正。

编者

目 录

第一章 数控系统的概述.....	1
第一节 数控技术的基本概念.....	1
第二节 数控系统的分类.....	4
第三节 数控系统的产生和发展.....	7
第二章 CNC 数控系统的基本结构	13
第一节 概 述	13
第二节 CNC 系统的硬件结构	19
第三节 CNC 系统的软件结构	28
第三章 位置检测装置	39
第一节 概 述	39
第二节 光电编码器	41
第三节 光 栅	43
第四节 感应同步器	50
第四章 伺服系统	56
第一节 概 述	56
第二节 开环步进式伺服系统	59
第三节 交流电动机伺服系统	69
第四节 直流伺服电动机	79



第五章 数控系统中的 PLC 控制	83
第一节 数控系统中的 PLC	83
第二节 数控系统中 PLC 的信息交换和控制功能的实现	91
第三节 数控系统中的 PLC 应用实例	97
第六章 数控系统的连接	115
第一节 通信接口与网络	115
第二节 数控系统的抗干扰	129
第七章 典型数控系统	136
第一节 经济型数控系统	136
第二节 FANUC 数控系统	142
第三节 SIEMENS 802D 型数控系统	155

数控系统的概述



本章概述

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，同时也概述了数控系统的产生和发展状况。



教学目标

1. 明确数控技术的内涵，掌握数控系统的组成，了解其工作原理。
2. 掌握数控系统按多种方式的分类。
3. 了解数控系统的产生和发展方向，知道几种典型数控系统结构。

* * * * *

第一节 数控技术的基本概念

制造业是国民经济的支柱产业，没有制造业的发展，就没有今天人类的现代物质文明；没有制造能力的民族是没有竞争力的民族，是不能抵御外来侵略而任人宰割的民族；制造业的兴衰关系到国家的国际竞争力和国家安全。而制造业的兴衰和发展很大程度上取决于制造装备的技术水平和现代化程度，设备技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度，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，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志。实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

一、数字控制技术

数字控制（Numerical Control）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:

- 可用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确;
- 可进行逻辑运算、数学运算和复杂的信息处理;
- 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、数控机床的组成及工作原理

数控机床通常由以下几部分组成,其原理框图如图 1-1 所示。

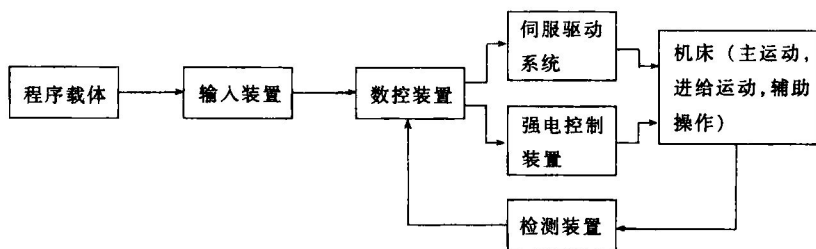
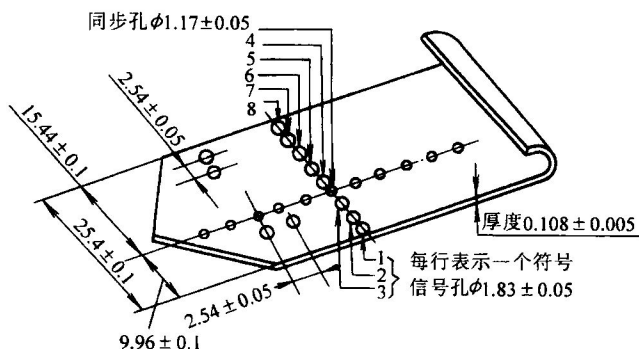


图 1-1 数控机床的组成

1. 程序载体

对数控机床进行控制,首先必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物称为程序载体(或称控制介质)。程序载体上存储着工件所需要的全部几何信息和工艺信息。这些信息是在对工件进行工艺分析的基础上确定的,它包括工件在机床坐标系内的相对位置、刀具与工件相对运动参数、工件加工的工艺路线和顺序、主运动和进给运动的工艺参数以及各种辅助操作。用标准代码(由字母、数字和符号构成)将这些信息按规定的格式编制成工件的加工程序单,再按程序单制作穿孔纸带、磁带等多种程序载体,也常用手工直接输入方式将程序输入到数控系统中。编程工作可以由人工进行,也可以由计算机辅助编程系统完成。

最早使用的程序载体是穿孔纸带,常用的是单位标准穿孔带,它可以由各种颜色的纸带、塑料带或金属带制成。穿孔带的尺寸和孔的排列如图 1-2 所示。每行共有 9 个孔,其中直径 $\phi 1.17\text{mm}$ 的小孔为同步孔。信息以代码的形式按规定的格式存储在穿孔带上。实际上,代码就是由一些小孔按一定规律排列的二进制图案,每一行代码分别表示一个十进制的数字、字母或符号。国际上通用 EIA 代码和 ISO 代码,目前我国统一使用 ISO 代码。



2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号传送到数控装置的内存存储器。输入装置最早使用光电阅读机,以后大量使用磁记录原理的磁带机和软盘驱动器。还可以通过数控装置控制面板上的输入键,按工件的程序清单用手工方式直接输入内存存储器(MDI方式),也可以用通信方式由计算机直接传送给数控装置。

光电阅读机（如图 1-3 所示）曾经在程序输入中发挥过重要作用，它用红外光敏元件识别穿孔带上每排孔的代码，将孔的排列图案转换为电信号送入数控装置。它具有较高的阅读速度和抗干扰性。

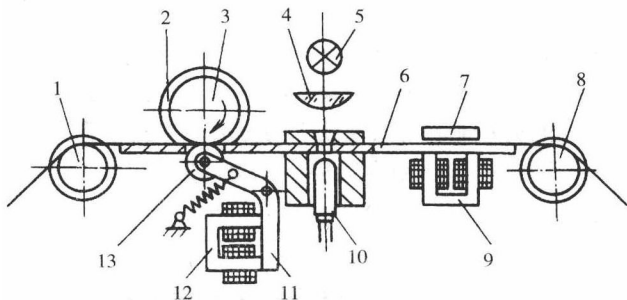


图 1-3 光电阅读机结构示意图

1, 8—导向轮; 2—电动机; 3—主动轮; 4—透镜; 5—光源; 6—穿孔带;
7, 11—衔铁; 9, 12—电磁铁; 10—光敏元件; 13—压轮

数控机床在加工工件之前将穿孔纸带送入光电阅读机,启动数控装置后,便发出指令启动光电阅读机。主动轮3在电动机2的驱动下,始终以一定的转速旋转,电磁铁12吸合衔铁11,使压轮13把穿孔带压向主动轮3,穿孔带被带动从光源5、透镜4和9只光敏元件10之间通过,穿孔带上的代码被转换成相应的电脉冲信号,经放大与整形,输入数控装置译码和寄存。当穿孔带上出现程序段的结束代码(通常用NL或LF)时,制动电磁铁9将衔铁7吸合(启动电磁铁12复位),将穿孔带夹住并停止送带。

3. 数控系统

数控系统是数控机床的关键环节。输入装置送来的电脉冲信号，通过数控系统的逻辑电路或计算机数控系统软件进行译码和寄存。这些指令和数据将作为控制与运算的原始依据。

数控系统的控制器接收相应的指令对有关数据进行运算和处理,输出各种信息和指令,控制机床各部分按程序要求实现某一操作。这些电信号中最基本的是将与各坐标轴位移量相对应的电脉冲数,经驱动电路送至伺服控制系统,使各坐标轴完成刀具相对工件的进给运动。

4. 强电控制装置

强电控制装置的主要功能是接收数控装置控制的内置式可编程控制器(PLC)输出的主轴变速、换向、启动或停止,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松开,切削液的开或关等辅助操作的信号,经功率放大直接驱动相应的执行元件,诸如接触器、电磁阀等,从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

5. 伺服控制系统

伺服控制系统接收来自数控系统的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确的定位运动。由于伺服控制系统是数控机床的最后控制环节,它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度以及表面加工质量。

目前,常用的伺服驱动器件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。由于交流伺服电动机具有良好的性能价格比,正逐渐成为首选的伺服驱动器件。除了三大类电动机以外,伺服控制系统还必须包括相应的驱动电路。

6. 检测装置

在半闭环和闭环伺服控制装置中,使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移,并与指令位移进行比较,按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。常用的位移检测元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅及磁栅等。

7. 机床

数控机床是高精度、高生产率的自动化加工机床。与传统的普通机床相比,数控机床在整体布局、外部造型、主传动系统、进给传动系统、刀具系统、支承系统和排屑系统等方面有很大的差异。这些差异能更好地满足数控技术的要求,并充分适应数控加工的特点。通常对机床的精度、静刚度、动刚度和热刚度等提出了更高的要求,而传动链则要求尽可能的简单。

第 2 节 数控系统的分类

数控机床的品种很多,可以从几个不同的角度对数控系统进行分类。

一、按被控制机床的运动方式分类

1. 点位控制数控系统

如图 1-4 所示,点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位,然后进行定点加工,而点与点之间的路径不需控制。采用这类控制的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

2. 点位直线控制数控系统

如图 1-5 所示,点位直线控制是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削。采用这类控制的有数控铣床、数控车床和数控磨床等。

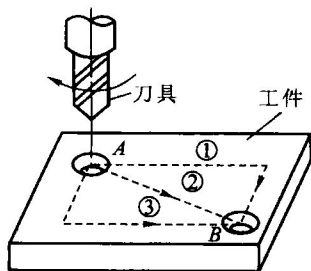


图 1-4 点位控制示意图

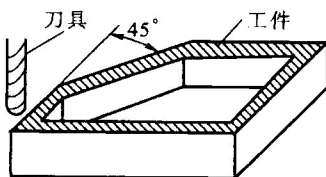


图 1-5 点位直线控制示意图

3. 轮廓控制数控系统

亦称连续轨迹控制，如图 1-6 所示，能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。为了使刀具按规定的轨迹加工工件的曲线轮廓，数控装置具有插补运算的功能，使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线，并协调各坐标方向的运动速度，以便在切削过程中始终保持规定的进给速度。采用这类控制的有数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

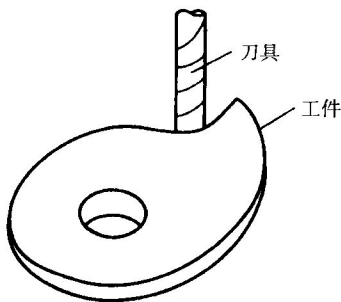


图 1-6 轮廓控制示意图

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的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。它的硬件电路是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。

这类系统在 20 世纪 70 年代中期，随着微电子技术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：

- 采用了软件控制程序，系统灵活可变，易于变化和扩展；

- 硬件采用了模块化结构，系统的通用性强；
- 采用了大规模集成电路，系统的可靠性高；
- 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；
- 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

开环数控系统是指不带反馈装置的控制系统，由步进电机驱动线路和步进电机组成，如图 1-7 所示。数控装置经过控制运算发出脉冲信号，每一脉冲信号使步进电机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。



图 1-7 开环数控系统框图

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

如图 1-8 所示，闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置，将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中，与输入的原指令位移值进行比较，用比较后的差值控制移动部件作补充位移，直到差值消除时才停止移动，达到精确定位的控制系统。

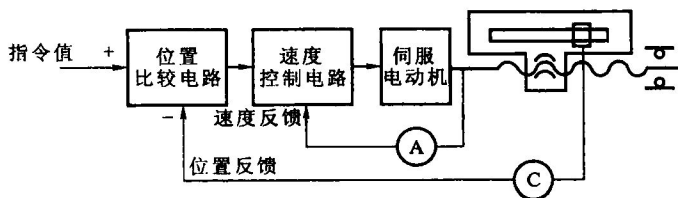


图 1-8 闭环数控系统框图

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。

3. 半闭环数控系统

如图 1-9 所示，半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置，通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控装置的比较器中，与输入原指令位移值进行比较，用比较后的差值进行控制，使移动部件补充位移，直到差值消除为止的控制系统。

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。

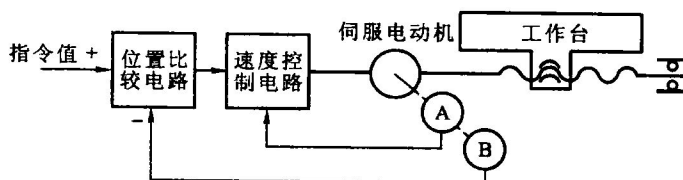


图 1-9 半闭环数控系统框图

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。我们通常用以下几个方面作为评价档次的参考指标，见表 1-1 所示。

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：RS-232C 或 DNC	接口：RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人一机对话	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 3 节 数控系统的产生和发展

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—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、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 30 MHz 提高到 2.8 GHz。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 m/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简指令计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC)，它能进行高速度的数据处理，指令速度可达到 100 万条指令每秒。一个程序段的处理时间可以达到 0.5 ms，在连续 1 mm 的移动指令下能实现的最大进给速度可达 120 m/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 ~ 50 000 r/min，最高转速可达 100 000 ~ 120 000 r/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会产生滞后现象，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 163 840 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：

- 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;

• 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;

• 丝杠、齿轮间隙补偿;

• 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;

• 刀具长度、半径补偿;

• 存储型补偿。这种补偿方法可根据机床使用中的实际情况(如机床零件的磨损情况等)适时地修订补偿值。

4. 网络化伺服驱动

在网络化伺服驱动器研究方面,美国、德国和日本在技术上处于领先行列。我国的交流伺服研究起步比较晚,到目前为止,网络化交流伺服控制系统刚刚问世,国内的一些运动控制研究所对网络化全数字交流伺服驱动系统进行了研究,研制了基于 CAN 总线的网络化交流伺服控制系统并已投入实际应用。

5. 提高数控系统的可靠性

提高数控系统的可靠性可大大降低数控机床的故障率。新型数控系统大量使用大规模和超大规模集成电路,还采用专用芯片提高集成度以及使用表面封装技术等方法,减少了器件数量和它们之间的连线和焊点数目,从而大幅度降低了系统的故障率。当前国外数控装置的 MTBF 值(平均无故障时间)已达 6 000 h 以上,驱动装置达 30 000 h 以上。此外,现代数控系统还具有人工智能(AI)功能的故障诊断系统,可用它来诊断数控系统及机床的故障。把专家们所掌握的对于各种故障原因及其处理方法作为知识库储存到计算机的存储器中,以知识库为依据来开发软件,分析查找故障原因。只要通过回答显示器提出的简单问题,就能和专家一样诊断出机床的故障原因以及提出排除故障的方法。

6. CNC 系统的智能化

随着人工智能技术的不断发展,为满足制造业生产柔性化、制造自动化发展需求,数控技术智能化程度不断提高,体现在自适应控制、自动编程、自动检测、软件精度补偿、应用模式识别、故障自动诊断、动态加工图像显示等方面。

7. 具有更高的通信功能

越来越多的工厂希望将多台数控机床组成各种类型的生产线或者 DNC(Direct Numerical Control, DNC)系统,这就要求 CNC 系统提高联网能力。一般 CNC 系统都具有 RS-232 和 RS-422 远距离串行接口,可以按照用户的格式要求,与同一级计算机进行多种数据交换。为了满足不同厂家、不同类型数控机床联网功能的要求,现代数控系统大都具有 MAP(制造自动化协议)接口(现在已实现了 MAP6.0 版本),并采用光缆通信以提高数据传送速度和可靠性。

三、几种典型数控系统结构

1. 计算机直接数控(Direct Numerical Control, DNC)

DNC 系统也称为计算机群控系统,是以一台计算机直接控制和管理一群数控设备的系统。产品加工程序由一台计算机储存和管理,根据加工需要分时地将加工程序传递给各台数控设备。计算机还可对数控设备的工作情况进行管理与统计以及加工程序的编辑、修改等。

DNC 系统可分为直接型、间接型和分布式三类。

2. 柔性制造单元 (FMC) 和柔性制造系统 (FMS)

柔性制造单元 (FMC) (Flexible Manufacturing Cell) 是由中心控制计算机、加工中心与自动交换工作装置组成的, 如图 1-10 所示。

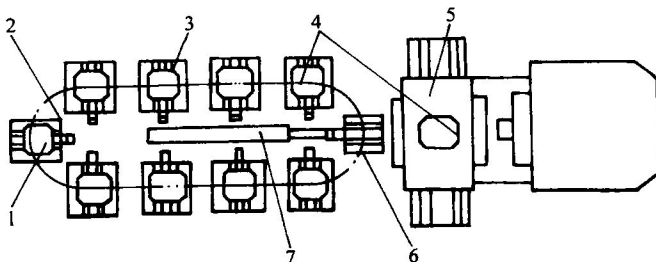


图 1-10 FMC 柔性制造单元

1—装卸工位; 2—环行工作台; 3—托盘座; 4—托盘;
5—加工中心机床; 6—交换工位; 7—托盘交换装置

中心控制计算机负责作业调试、自动检测与工况自动监控等功能; 工件装在自动交换工作装置上并由中心计算机控制传送到加工中心; 加工中心进行数控加工。柔性制造单元的使用使得加工的柔性、加工精度和生产效率更高。

柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS) 是将一群数控设备与工件、工具与切屑的自动传输线相配合, 并由计算机统一管理与控制所组成的计算机群控自动线, 如图 1-11 所示。整个系统具有高加工效率和较强的柔性。

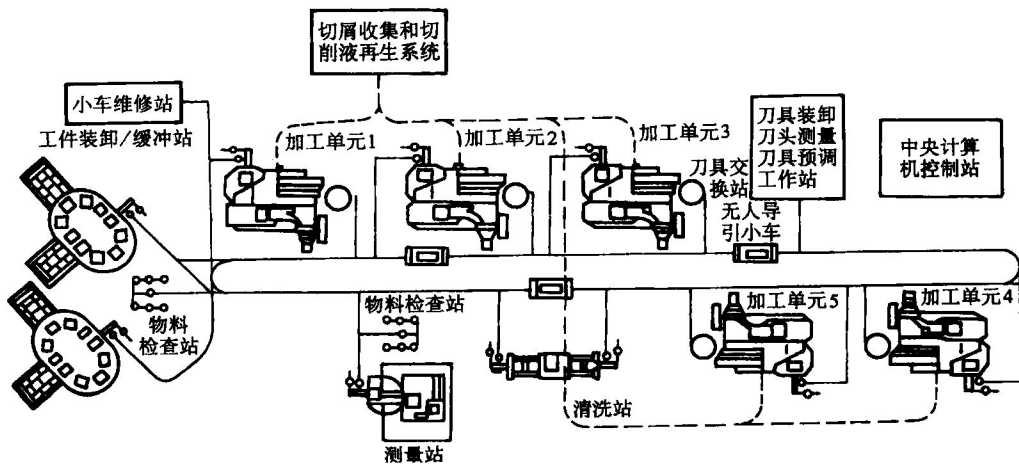


图 1-11 FMC 柔性制造系统

FMS 不仅实现了生产过程中信息流的自动化, 还实现了传递各种物质流的自动化。

3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是采用现代计算机技术将制造工厂全部活动 (设计、制造、装配、市场调查与决策、销售、管理等) 所需的各种分散的自动化系统的有机集成, 如图 1-12 所示。它的基础是计算机辅助设计