


◎ 职业技能培训教材

数控机床 调试维修与实践

SHUKONG JICHUANG TIAOSHI WEIXIU YU SHIJIAN

■ 申晓东 白一凡 主编

 中国劳动社会保障出版社

职业技能培训教材

数控机床调试维修与实践

申晓东 白一凡 主编

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床调试维修与实践/申晓东,白一凡主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,
2007

职业技能培训教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 6399 - 6

I. 数… II. ①申…②白… III. ①数控机床-调试②数控机床-维修 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 095326 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 342 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

定价: 25.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64954652

前 言

《中华人民共和国劳动法》规定：“从事技术工种的劳动者，上岗前必须经过培训。”国家对相应的职业制定《职业技能标准》，实行职业技能培训。

职业技能培训是提高劳动者知识与技能水平、增强劳动者就业能力的有效措施。在社会主义市场经济条件下，劳动者竞争上岗、以贡献定报酬，这种新型的劳动、分配制度，正成为千千万万劳动者努力提高职业技能的动力。

实施职业技能培训，教材建设是重要的一环。为适应职业技能培训的迫切需要，推动职业培训教学改革，提高培训质量，中国劳动社会保障出版社会同劳动和社会保障部有关司局，组织有关专家、技术人员和职业培训教学人员编写了《职业技能培训教材》系列丛书。

《职业技能培训教材》以相应工种、专业的《职业技能标准》为依据，贯彻“求知重能”的原则，在保证知识连贯性的基础上，着眼于技能操作，力求内容浓缩、精练，突出教材的针对性、典型性、实用性。

《职业技能培训教材》供各级培训机构的学员参加培训、考核使用，亦可作为就业培训、再就业培训、劳动预备制培训用书，对于各类职业技术学校师生、相关行业技术人员也有较高的参考价值。

百年大计，质量第一。编写《职业技能培训教材》是一项艰巨的探索性工作，不足之处在所难免，恳切欢迎各使用单位和读者提出宝贵意见和建议。

劳动和社会保障部教材办公室

内 容 简 介

数控设备是机电一体化的高端产品，其技术先进、结构复杂。本书坚持“以市场为导向，以技能为核心，以满足就业为根本落脚点”的职业教育方针，对数控维修人员应了解和掌握的知识进行了合理的分类与编排，主要包括数控机床的基本认识、数控机床维修基础、计算机数控系统、数控机床典型机械结构、位置检测装置、驱动电动机、驱动装置等，最后通过对 FANUC Oi Mate - MB 和 SIEMENS 802D 典型数控系统的全面分析和综合实践，使读者对数控机床维修的内容和方法有一个较为全面的认识。

本书可作为中等职业技术学校或高等职业技术学院数控设备维修相关专业教材，也可作为大中专院校机电一体化专业师生以及从事数控设备维修工作的工程技术人员的参考用书。

本书由申晓东、白一凡主编，南逢玉主审。

编者的话

随着科学技术和社会生产的迅速发展,整个社会对机械产品的质量及其生产效率提出了越来越高的要求。数控机床、数控加工技术在机械制造业中得到了广泛的应用和迅猛发展。

数控系统是一种综合性的控制系统,涉及自动化的各个领域。随着计算机技术、控制技术、电动机技术和电力电子技术的发展,代表数控机床技术水平的数控系统和伺服系统也得到了很大的发展。要维护好这些设备,使其正常服务于工业生产,充分发挥数控机床的经济效益,企业需要一批既具有较高专业理论水平又具有较高实践动手能力的维护、调试和维修人员。目前接受过专业培训,能自主解决现场常见问题,并可以与专家进行沟通的一线技术人员还十分缺乏。本书作者结合近年来一体化教学的实践,对数控维修维护人员应了解和掌握的知识进行了合理的分类与编排,实践范围全面、内容典型,有很强的可操作性。

本书在编写过程中,参考了数控技术方面的诸多论著、教材和数控机床维修手册,作者对参考文献中各书的作者深表谢意。本书在编写过程中得到南京工程学院王坤、曹锦江老师的多次指正,同时也得到西安航空技师学院谢龙爱、苏成、刘振福、岳亚茹等同志的大力支持,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免存在错误,恳请同行及读者批评指正。

编者

2007年7月

目 录

第一章 数控机床的基本认识	(1)
第一节 数控机床及其组成.....	(1)
第二节 数控机床的分类.....	(4)
第三节 现代数控技术及其发展.....	(7)
第四节 数控机床的有关规定.....	(10)
第五节 数控功能的基本术语.....	(14)
第二章 数控机床维修基础	(17)
第一节 数控机床故障的认识.....	(17)
第二节 数控机床的维护保养.....	(20)
第三节 数控机床故障诊断的一般方法.....	(22)
第四节 对数控机床维修人员及技术资料的要求.....	(26)
第三章 计算机数控系统	(31)
第一节 数控装置.....	(31)
第二节 数控系统的硬件.....	(32)
第三节 数控系统的软件.....	(33)
第四节 可编程控制器.....	(35)
第五节 数控装置与可编程控制器的维修.....	(37)
第四章 数控机床典型机械结构	(40)
第一节 主轴部件.....	(40)
第二节 进给传动部件.....	(44)
第三节 回转工作台及自动换刀装置.....	(47)
第四节 液压与气压传动系统.....	(56)
第五节 数控机床机械故障诊断方法.....	(58)
第五章 数控机床位置检测装置	(64)
第一节 旋转编码器.....	(64)
第二节 光栅尺.....	(70)
第三节 旋转变压器和感应同步器.....	(74)

第四节	磁栅	(79)
第六章	数控机床驱动电动机	(82)
第一节	步进电动机	(82)
第二节	伺服电动机	(85)
第三节	主轴电动机	(89)
第七章	数控机床驱动装置	(91)
第一节	步进驱动装置	(92)
第二节	晶体管直流脉宽调制驱动装置	(96)
第三节	交流异步电动机驱动装置	(101)
第四节	交流伺服电动机驱动装置	(105)
第八章	FANUC 数控系统实习与综合实践	(110)
第一节	FANUC 数控系统简介	(110)
第二节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统控制器硬件结构	(113)
第三节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统与外围设备的连接	(115)
第四节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统 CNC 与 PMC 接口	(130)
第五节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统 PMC 与机床信号接口	(138)
第六节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统 PMC 编程	(139)
第七节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统参数设置和调试	(148)
第八节	FANUC 0i Mate - MB 数控系统调试实习	(156)
第九章	SIEMENS 数控系统实习与综合实践	(162)
第一节	SIEMENS 数控系统简介	(162)
第二节	SIEMENS 802 系列数控系统的背景与特点	(167)
第三节	SIEMENS 802D 数控系统的硬件接口	(169)
第四节	SIEMENS 802D 数控系统的参数设置	(174)
第五节	SIEMENS 802 数控系统的 PLC	(181)
第六节	SIEMENS 802D 数控系统调试实习	(186)
附录一	FANUC 系统 CNC 与 PMC 之间的接口信号表	(196)
附录二	SIEMENS 802D 系统 NC-PMC 接口信号说明	(211)
参考文献		(224)

第一章 数控机床的基本认识

第一节 数控机床及其组成

一、数控机床的定义和应用

数控即数字控制 (NC: Numerical Control), 是相对于模拟控制而言的, 它以数字化的信息实现控制, 是近年发展起来的一种自动控制技术。数控技术不仅用于机床的控制, 还用来控制其他设备, 如数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机等数控设备。数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是指采用数字形式信息控制的机床。具体地说, 凡是用数字化的代码将零件加工过程中所需的各种操作和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量等记录在程序介质上, 送入计算机或数控系统, 经过译码、运算及处理, 控制机床的刀具与工件的相对运动, 加工出所需要的工件的一类机床即为数控机床。

国际信息处理联盟 (IFIP: International Federation of Information Processing) 第五技术委员会对数控机床作了如下的定义: 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。

由上述可知, 数控机床就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

在机床控制中, 数字控制和顺序控制是两个不同的概念。对于顺序控制来说, 控制计算机只能控制各种自动加工动作的先后顺序, 而对运动部件的位移量不能进行控制。它的位移量是靠预先调整好位置的挡块等方式来实现的。数字控制的过程是一个自动化过程, 使数控设备进行控制的指令以数字和文字编码的方式记载在控制介质上, 经过控制计算机处理和计算后, 对各种动作的顺序、位移量以至速度等实现自动控制。这样, 比起其他自动化设备所采用的凸轮、靠模、调整限位开关要简便得多。

数控机床较好地解决了复杂、精密零件的加工问题, 是一种灵活的、高效能的自动化机床, 尤其对于约占机械加工总量 80% 的单件、小批量零件的加工, 更显示出其特有的灵活性。概括起来, 采用数控机床有以下几方面的好处:

1. 提高加工精度, 尤其提高了同批零件加工的一致性, 使产品质量稳定。
2. 提高生产效率, 与普通机床相比, 一般约提高效率 3~5 倍, 使用数控加工中心则可提高生产效率 5~10 倍。
3. 可加工普通机床不能加工的形状复杂的零件。
4. 减轻了劳动强度, 改善了劳动条件。
5. 有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。

然而，数控机床毕竟是一种高度自动化的机床，技术复杂，成本较高。在实际采用时，要充分考虑其技术经济效果。目前，选用数控机床时主要考虑以下3种因素：即单件、中小批量的生产；形状比较复杂、精度要求高的加工；产品更新频繁、生产周期要求短的加工。凡是符合这3种因素之一的情况，采用数控加工，对于改进产品质量、减轻工人劳动强度，提高经济效益等，都会获得显著的效果。

二、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出装置、CNC装置、伺服单元、驱动装置（或称执行机构）、可编程控制器（PLC）及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。除机床本体之外的部分统称为计算机数控系统。数控机床的组成如图1—1所示。

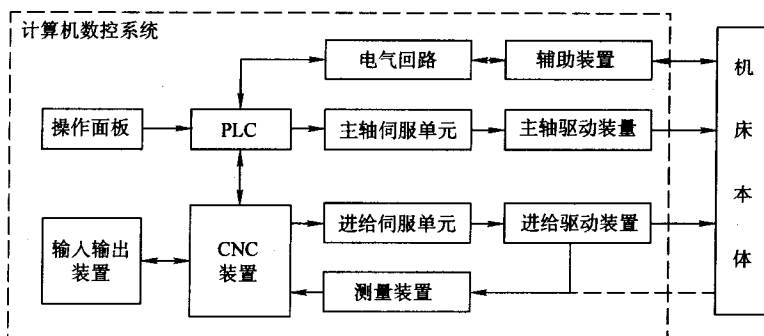


图 1—1 数控机床的组成

1. 输入和输出装置

输入和输出装置是机床数控系统和操作人员进行信息交流、实现人机对话的交互设备。输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号，传送并存入数控装置内。目前，数控机床的输入装置有键盘、磁盘驱动器、光电阅读机等，其相应的程序载体为磁盘、穿孔纸带。输出装置是显示器，有CRT（阴极射线管）显示器或彩色液晶显示器两种。输出装置的作用是：数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值以及报警信号等。

2. 数控装置（或称计算机数控装置，CNC装置）

数控装置是计算机数控系统的核心，是由硬件和软件两部分组成的。它接受的是输入装置送来的脉冲信号，信号经过数控装置的系统软件或逻辑电路编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令，控制机床的各个部分，使其进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是各坐标轴（即做进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和位移量指令（送到伺服驱动系统驱动执行部件做进给运动）；主轴的变速、换向和启停信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制切削液、润滑油启停，工件和机床部件松开、夹紧、分度工作和转位的辅助指令信号等。

数控装置主要包括微处理器（CPU）、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与CNC系统其他组成部分联系的接口等。

3. 可编程控制器（PLC或称PMC）

在 FANUC 系统中专门用于控制机床的 PLC，记作 PMC (Programmable Machine Controller)，称为可编程机床控制器。数控机床通过 CNC 装置和 PMC 的共同作用来完成控制功能，其中 CNC 装置主要完成与数字运算和管理等有关的功能，如零件程序的编辑、插补运算、译码、刀具运动的位置伺服控制等。而 PMC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作，它接收 CNC 装置的控制代码 M (辅助功能)、S (主轴转速)、T (选刀、换刀) 等开关量动作信息，对开关量动作信息进行译码，转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床相应的开关动作，如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等。它还接收机床操作面板的指令，一方面直接控制机床的动作 (如手动操作机床)，另一方面将一部分指令送往数控装置，用于加工过程的控制。

4. 伺服单元

伺服单元接收来自数控装置的速度和位移指令。这些指令经伺服单元变换和放大后，通过驱动装置转变成机床进给运动的速度、方向和位移。因此，伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节，它把来自于数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。伺服单元分为主轴单元和进给单元等，伺服单元就其系统而言又有开环系统、半闭环系统和闭环系统之分。

5. 驱动装置

驱动装置把经过伺服单元放大的指令信号变为机械运动，通过机械连接部件驱动机床工作台，使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动，加工出形状、尺寸、精度符合要求的零件。目前常用的驱动装置有直流伺服电动机和交流伺服电动机，且交流伺服电动机正逐渐取代直流伺服电动机。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置，计算机数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施，伺服驱动装置包括主轴驱动单元 (主要控制主轴的速度)、进给驱动单元 (主要控制进给系统的速度和位置)。伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床的功能主要取决于数控装置，而数控机床的性能主要取决于伺服驱动系统。

6. 测量反馈装置

测量反馈装置可以包括在伺服系统中，它由检测元件和相应的电路组成，其作用是检测速度和位移，并将信息反馈回来，构成闭环控制。没有检测反馈装置的系统称为开环系统。常用的测量元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

7. 机床本体

机床本体即数控机床的机械部件，包括主运动部件、进给运动执行部件 (工作台、溜板及其传动部件) 和支撑部件 (床身、立柱等)。加工中心类的数控机床还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但由于数控机床具有高速度、高精度、大切削用量和连续加工的特点，要求其机械部件在精度、刚度、抗振性等方面的性能更高。

此外，为保证数控机床功能的充分发挥，还有一些辅助系统，如冷却、润滑、液压 (或气动)、排屑、防护系统等。

第二节 数控机床的分类

目前,数控机床的品种、规格繁多,据不完全统计已有400多个品种规格。数控机床可以按照多种原则进行分类。但常见的是以下4种分类方法。

一、按工艺用途分类

按工艺用途可将数控机床分为一般数控机床、数控加工中心、多坐标数控机床。

1. 一般数控机床

这类机床和传统的通用机床种类一样,有数控的车床、铣床、镗床、钻床、磨床等,而且每一种又可细分为很多品种,例如,数控铣床中就有立式铣床、卧式铣床、工具铣床、龙门铣床等。这类机床的工艺和通用机床相似,所不同的是它能加工形状更复杂的零件。

2. 数控加工中心

这类机床是在一般数控机床的基础上发展起来的。它是在一般数控机床上加装一个刀库(可容纳10~100把刀具)和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床(又称多工序数控机床和镗铣类加工中心,习惯上简称为加工中心——Machining Center),这类数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

数控加工中心和一般数控机床的区别是:工件经一次装夹后,数控装置能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面自动地完成铣(车)、镗、钻、铰及攻螺纹等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主,主要用于加工箱体零件。数控加工中心和一般的数控机床相比具有如下优点:

(1) 减少机床台数,便于管理,对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工,并可以减少半成品的库存量。

(2) 由于工件只要一次装夹,因此减小了由于多次装夹造成的定位误差,可以依靠机床精度来保证加工质量。

(3) 工序集中,减少了辅助时间,提高了生产率。

(4) 由于零件在一台机床上一次装夹就能完成多道工序加工,所以大大减小了专用工夹具的数量,进一步缩短了生产装备时间。

由于数控加工中心的优点很多,因此,在数控机床生产中占有很重要的地位。

另外,还有一类加工中心是在车床基础上发展起来的,以轴类零件为主要加工对象。除可进行车削、镗削外,还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻螺纹加工。这类加工中心也设有刀库,可安装4~12把刀具,习惯上称此类机床为车削中心(TC: Turning Center)。

3. 多坐标数控机床

对于有些形状复杂的零件,用三坐标的数控机床无法加工,如螺旋桨、飞机曲面零件的加工等,需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床,其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求。现在常用的是4、5、6坐标的数控机床。如图1—2所示为五轴联动的数控加工, x 、 y 、 z 3个坐标与回转台的回转、刀具的摆动可以同时联动,以加工机翼等复杂

形状的零件。

二、按数控机床的运动轨迹分类

按能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹，可将数控机床分为点位控制数控机床、点位直线控制数控机床、轮廓控制数控机床。

1. 点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置（点）精确地移动到另一个位置（点），即仅控制行程终点的坐标值，在移动过程中不进行任何切削加工，至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上获得尽可能高的生产率，两相关点之间的移动先是以快速移动到就近新的位置，然后降速1~3级，使之慢速趋近位置点，以保证其定位精度。

这类机床主要有数控镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等，其相应的数控装置称之为点位控制装置。

2. 点位直线控制数控机床

这类机床工作时，不仅要控制两相关点之间的位置（即距离），还要控制两相关点之间的移动速度和路线（即轨迹）。其路线一般都由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于：当机床的移动部件移动时，可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工（一般也可以沿45°斜线进行切削，但不能沿任意斜率的直线切削），而且其辅助功能比点位控制的数控机床多，例如，增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等。相应的数控装置称之为点位直线数控装置。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床的数控装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制，加工时不仅要控制起点和终点，还要控制整个加工过程中每一点的速度和位置，使机床加工出符合图样要求的、形状复杂的零件。它的辅助功能比较齐全。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置（或连续控制装置）。

三、按伺服系统的控制方式分类

数控机床按照对被控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置又可以将其分为全闭环和半闭环两种。在开环系统的基础上，还发展了一种开环补偿型数控系统。

1. 开环控制数控机床

在开环控制中，机床没有检测反馈装置。开环控制系统的组成如图1—3所示。其工作过程是：输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲，通过伺服机构（伺服元件常为步进电动机）使被控工作台移动。数控装置发出信号的流程是单向的，所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程，它对机床移动部件的实际位置不作检验，所以机床加工精度不高，其精度主要取决于伺服系统的性能。

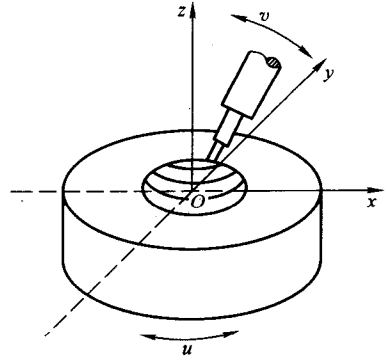


图1—2 五轴联动的数控加工

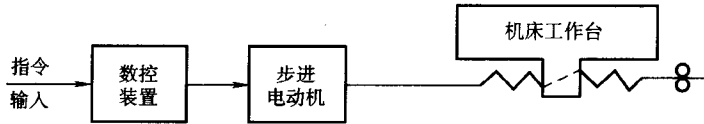


图 1—3 开环控制系统的组成

这种机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单，但其控制精度受到限制。它适用于一般要求的中、小型数控机床。

2. 闭环控制数控机床

由于开环控制的精度达不到精密机床和大型机床的要求，为此，在开环控制数控机床上增加检测反馈装置，在加工中实时检测机床移动部件的位置，使之和数控装置所要求的位置相符合，以达到较高的加工精度。

闭环控制系统的组成如图 1—4 所示。图中 A 为速度测量元件，C 为位置测量元件。当指令值发送到位置比较电路时，此时若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使伺服电动机转动，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去，在位置比较电路中指令值进行比较，用比较的差值进行控制，直至差值消除为止，最终实现工作台的精确定位。

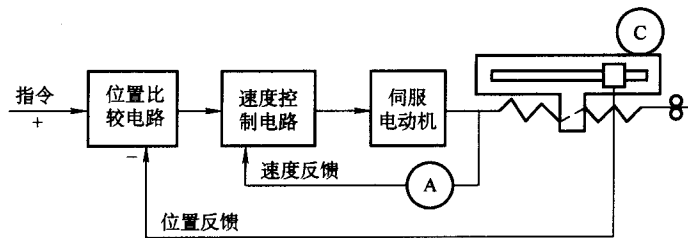


图 1—4 闭环控制系统的组成

这类机床的优点是精度高、速度快，但是调试和维修比较复杂。要保证该机床正常工作关键是系统的稳定性，所以在设计时必须对闭环控制系统的稳定性给予足够的重视。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统的组成如图 1—5 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量，而是通过与伺服电动机有联系的测量元件，如测速发电机 A 和光电编码盘 B（或旋转变压器）等间接检测出伺服电动机的转角，推算出工作台的实际位移量，用此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。从图 1—5 中可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路

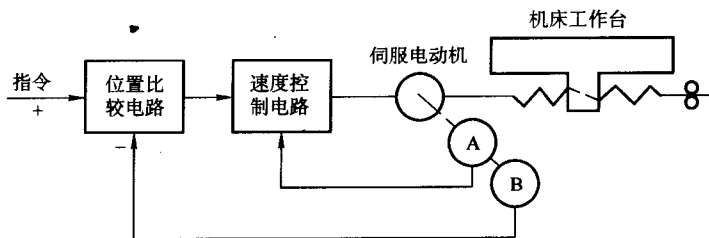


图 1—5 半闭环控制系统的组成

内，因而称为半闭环控制。这种控制方式介于开环控制方式与闭环控制方式之间，精度没有闭环高，调试却比闭环方便。

4. 开环补偿型数控机床

采用大型数控机床加工时，需要更高的进给速度和返回速度，又需要达到相当高的加工精度，如果只采用全闭环的控制，机床传动链和工作台全部置于控制环节中，要考虑的因素十分繁杂，安装调试非常复杂。为了避开这些矛盾，可以采用混合控制方式。具体又可分为两种形式：一是开环补偿型；二是半闭环补偿型。这里仅对开环补偿型数控机床加以介绍。

开环补偿型控制系统的组成如图 1—6 所示。它的特点是：基本控制选用步进电动机的开环控制伺服机构，附加一个校正伺服电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号来校正机械系统的误差。

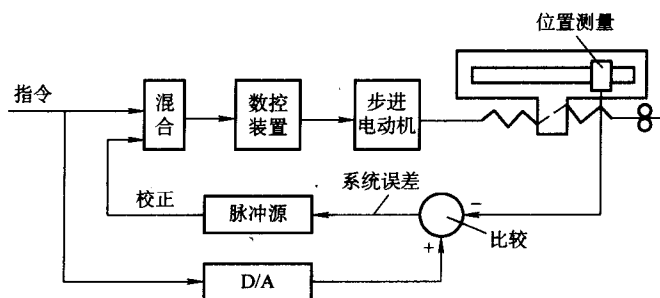


图 1—6 开环补偿型控制系统的组成

四、按数控装置的种类分类

数控机床按其实现数控逻辑功能控制的数控装置来分，有硬线（件）数控和软线（件）数控两种。

1. 硬线数控（又称普通数控，即 NC）

这类数控系统的输入、插补运算、控制等功能均由集成电路或分立元件等器件实现。一般来说，数控机床不同，其控制电路也不同，因此其通用性较差，因其全部由硬件组成，所以功能和灵活性也比较差。这类系统已逐渐被淘汰。

2. 软线数控（又称计算机数控或微机数控，即 CNC 或 MNC）

这类数控系统的硬件由中、大规模及超大规模集成电路组成，或由微机与专用集成芯片组成，其主要数控功能几乎全由软件来实现，对于不同的数控机床，只需编制不同的软件就可以实现，而硬件几乎可以通用，因而灵活性和适应性强，也便于批量生产。模块化的软、硬件，提高了系统的质量和可靠性。现代数控机床广泛采用 CNC 装置。

第三节 现代数控技术及其发展

一、从 NC 到 CNC

数控系统实质上是一台专门用于机床信息处理的计算机。20 世纪 50 年代、60 年代的通用计算机在处理速度和结构上不能满足机床加工的要求，不得不用电子元件来构成专门的逻辑部件，组成专用计算机来实现机床加工的要求，故称之为硬线连接数控，一般简称为

NC。到 20 世纪 60 年代后期，小型计算机走向成熟并被引入数控，从此 NC 进化为 CNC，NC 部分功能开始改由软件来实现。到 20 世纪 70 年代初，由于微电子技术的发展，由大规模集成电路构成的微处理器被引入数控并取代了小型计算机。但由于当时 CPU 的位数少、速度低（4 位、8 位，到 20 世纪 70 年代末才有 16 位，其时钟频率也只有 4.77MHz），数控系统一些实时性很强的功能，如插补运算、位置控制等不得不仍旧依靠硬件来实现，因而当时硬件品质的高低，就决定了 CNC 品质的高低。20 世纪 80 年代中期以后，由于微电子技术的飞速发展，数控系统在高速化、多功能化、智能化、高精度化和高可靠性等方面得到了提高。现在所说的 CNC 系统实际上就是微机数控系统（MNC）。从价格、功能、使用等综合性指标考虑，CNC 系统有标准型数控系统和经济型数控系统。标准型数控系统也称全能数控系统，其功能齐全，控制精度和运行精度都比较高，基本上都是闭环或半闭环控制系统；经济型数控系统功能比较简单，在我国，经济型数控系统通常和步进驱动系统组成开环控制系统。

下面详细介绍一下全功能数控系统的特点：

1. 选用高速微处理器

微处理器是现代数控系统的核心部件，担负着运算、存储和控制等多重任务。其位数和运行速度直接关系到加工效率和加工精度。高速 32 位微处理器的采用，使数控系统的输入、译码、计算和输出等环节都高速进行，同时提高了多轴联动、进给速度和分辨力等指标。现代数控系统控制轴数为 3~15 轴，有的多达 20~24 轴，同时控制轴数（联动）为 3~6 轴。快速进给速度及切削进给速度已达到 100 m/min（1 μ m 分辨力）和 24 m/min（0.1 μ m 分辨力）。

2. 配置高速、功能强的可编程控制器

数控系统除了对位置进行信息处理外，还要对输入/输出状态量进行控制。数控系统中高速和强功能的可编程控制器能满足数控机床这方面的需要。同时，PLC 输入/输出点数和 PLC 容量的增加可满足直接数字控制系统（DNC）和柔性制造单元（FMC）的控制要求。

3. CRT 图形显示、人机对话功能及自诊断功能

大多数现代数控系统采用 CRT 与手动键盘配合，实现程序的输入、编辑、修改和删除等功能，具有前台操作、后台编辑的功能及用户宏程序等；可以有二维图形轨迹显示，有的还可以实现三维彩色动态图形的显示。由于采用菜单操作方式，操作简单明了。此外，系统具有硬件、软件及机床故障的自诊断功能，提高了可维修性。

4. 具有多种监控、检测及补偿功能

为了提高数控机床的效率及加工精度，有些数控机床配置了各种测量装置，如刀具磨损的检测、机床精度及热变形的检测等，与之相适应，数控系统则具有刀具使用寿命管理、刀具参数补偿、反向间隙及丝杠螺距误差补偿、热变形补偿等功能。

5. CNC 系统的智能化

在现代数控系统中，引进了自适应控制技术。数控系统能检测对机床本身有影响的信息，并自动连续调整有关参数，以达到系统运行的最优化。比如测量工件状态、调整刀具切削用量、进行尺寸控制，以满足加工精度及表面粗糙度的要求。在有些 CNC 系统中，还建立了切削率的数据库及切削用量的专家系统。大多数现代数控系统都有学习及示教功能。

6. 通信功能

一般数控系统都有简单的通信功能,如采用 RS-232C 串行接口与编程机、微机等外围设备通信。现代数控系统还要与其他数控系统或者上行计算机通信,所以除了 RS-232C 外,还设有 RS-422 和 DNC (直接数控)等多种通信接口。

数控系统要实现单机柔性制造系统 (FMS) 进而形成计算机集成制造系统 (CIMS),就要求数控系统具有更高的信息功能。为此,有的数控系统开发了符合 ISO 开放系统互联七层网络模型和通信规约,如 MAP (制造自动化协议),为自动化技术发展创造了条件。

7. 标准化、通用化和模块化

现代数控系统的性能越来越完善,功能越来越丰富,促使数控系统的硬件和软件结构实现标准化、通用化和模块化。选择不同的标准化模块可以组成各种不同数控机床控制系统,能方便地移植计算机行业或自动化领域的成果,也便于现有的数控系统进一步扩展及升级。

8. 开放性

基于 PC 的开放式数控系统已成为数控技术发展的主要方向,通过制定必要的技术规范,在通用 PC 机的基础上一方面使硬件的体系结构和功能模块具有兼容性;另一方面使软件、接口等技术规范化和标准化,为机床制造厂或用户提供一个良好的开发环境。

9. 高可靠性

可靠性是一项硬指标,现代数控系统的平均无故障时间 (MIBF) 已达到 30 000 h 以上。数控系统与微机只是专用机和通用机及生产批量大小的区别,其制造过程,包括元器件筛选、印制电路板、焊接和贴附、生产过程及最终产品的检测和出厂前整机的烤机等措施保证了数控系统有很高的可靠性。

二、数控伺服系统的发展

伺服系统是数控系统的重要组成部分。伺服系统的静态和动态性能直接影响数控机床的定位精度、加工精度和位移速度。当前伺服系统的发展趋势是:

1. 全数字式控制系统

伺服系统传统的位置控制是将位置信号反馈至数控系统,与位置指令比较后输出速度控制模拟信号至伺服驱动装置,而全数字式数控系统的位置比较是在伺服驱动装置中完成的,数控系统仅输出位置指令的数字信号至伺服驱动装置。

另一方面,直流伺服系统逐渐被交流数字伺服系统所代替。在全数字式控制系统中,位置环、速度环和电流环等参数均实现了数字化,实现了几乎不受负载变化影响的高速响应的伺服系统。

2. 采用高分辨力的位置检测装置

现代数控机床的位置检测大多采用高分辨力的光栅尺和脉冲编码器,必要时采用细分电路,进一步提升分辨力。

3. 软件补偿

现代数控机床利用数控系统的补偿功能,通过参数设置对伺服系统进行多种补偿,如位置环增益、轴向运动误差补偿、反向间隙补偿及丝杠螺距累积误差补偿等。

4. 前馈控制

传统的伺服系统是将指令位置和实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令,经伺服驱动装置驱动伺服电动机,这种方式总是存在着位置跟踪滞后误差,使得在加工拐角及圆弧时加工情况恶化。通过前馈控制,可以使跟踪滞后误差大为减少。