

中等职业技术教育规划教材

数控机床编程与操作

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 编
机电专业委员会

主编 冯小平

机械工业出版社

本书是为中等职业教育切削加工和数控加工专业编写的理论课教材,主要内容为:数控机床基本组成及其工作原理、数控机床的结构、数控机床坐标系、数控编程基础、数控车削加工工艺与编程、数控镗铣削及加工中心加工工艺与编程、计算机辅助编程。

本书力求简明实用,对数控技术基础理论本着够用、实用的原则仅做一般性介绍,而对数控工艺编程及加工操作的内容,则做了大量的阐述,并以典型加工实例进行详细分析,每章末附有复习题。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作 韩小平主编 北京:机械工业出版社, 2006.12

中等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-18700-3

I 数控... II 韩... III 数控机床—程序设计—专业学校—教材 IV 自动化

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第187003号

机械工业出版社(北京市百万庄大街28号 邮政编码100037)

策划编辑:荆宏智

责任编辑:崔世荣 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2006年12月第1版·第1次印刷

开本:185mm×260mm 印张:10.5 字数:200千字

定价: 12.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68995196 网络订购: www.cmpbook.com

封面无防伪标均为盗版

“中等职业技术教育规划教材” 编审委员会名单

主 任 郝广发
副 主 任 周学奎 刘亚琴 李超群 何阳春 林爱平
李长江 付捷 单渭水 王兆山 张仲民
委 员 (按姓氏笔画排序)
于平 王珂 王军 王洪琳 付元胜
付志达 刘大力(常务) 刘家保 许炳鑫
孙国庆 李木杰 李稳贤 李鸿仁 李涛
何月秋 杨柳青(常务) 杨耀双 杨君伟
张跃英 林青 周建惠 赵杰士(常务)
郝晶卉 荆宏智(常务) 贾恒旦 黄国雄
董桂桥(常务) 曾立星 甄国令
本书主编 冯小平
参 编 李长江 黄春平
本书主审 刘克成

前 言

为贯彻落实“全国职业教育工作会议”精神，克服原有的教材专业设置落后，缺乏新的专业和复合专业，技术内容比较陈旧，理论课内容偏深、偏难的弊端，更好地满足中等职业技术教育教学改革的需要，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织编写了这套适合新形势的中等职业技术教育规划教材。首批所选五个专业为机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修。本套教材的编写指导思想是：贯彻党的教育方针，依据《劳动法》、《职业教育法》的规定和《国家职业标准》的要求，更新教学内容，突出技能训练，强化创新能力的培养，以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才，使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场的需要。其宗旨是：促职业教育改革，助技能人才培养。

为实现这一宗旨，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织了 猿多所高、中级技工学校参加了首批五个专业教学计划、教学大纲的制定和教材的编审工作。各学校对新教材的专业选择、课程设置、学时安排、教学计划和教学大纲的制定、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》相关工种中级工的要求和各校实际，经过三次会议进行了广泛的讨论和充分论证，首先完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作。在教材的编写过程中，贯彻了“简明、实用、够用”的原则，反映了新知识、新技术、新工艺和新方法，体现了科学性、实用性、代表性和先进性，正确处理了理论知识与技能的关系。同时通过对原有教材进行评价，针对其不足在编写过程中进行了改进，以充分反映学校的实际需要。新教材的价值在于兼顾了学生学习真本领与达到职业技能鉴定考试两种要求。综上所述，本套教材具有以下特色：

员 职业性 专业设置参照有关专业目录，并根据职业发展变化和社会实际需求确定。

圆 科学性 教学内容与现代科学技术发展和先进技术装备、技术水平相适应，体现了科学性和先进性。

猿 实践性 重视实践性教学环节，加强了技能训练和生产实习教学，努力实现产教结合。

源 衔接性 与企业培训和其他类型教育相沟通，与国家职业资格证书体系相衔接。

缘 实用性 教学内容符合职业标准及企业生产实际需要，有利于培养实用型人才。

与本教材配套的还有相应教材的习题集。

本套教材的编写工作得到了各学校领导的重视和支持，参加教材编审的人员均为各校的教学骨干，保证了本套教材能够按计划有序地进行，并为编好教材提供了良好的技术保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

本书的具体编写分工如下：第一、三章由冯小平编写，第二章由李长江编写，第四章至

第七章由黄春平编写，全书由刘克成主审。

由于时间和编者水平有限，书中难免存在某些缺点或错误，敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

目 录

前 言		第三节 数控编程指令	缘
第一章 数控机床的基本组成和 工作原理	员	第四节 子程序	缘
第一节 数控技术概述	员	复习题	缘
第二节 机床数控系统	愿	第五章 数控车削加工工艺与 编程	苑
第三节 数控系统操作面板及其 操作	员	第一节 数控车削加工工艺概述	苑
第四节 数控机床的电气驱动系统	愿	第二节 数控车削加工固定循环 功能	苑
第五节 数控机床的检测装置	愿	第三节 典型工件的数控车削 加工工艺	愿
复习题	愿	复习题	愿
第二章 数控机床的结构	愿	第六章 数控镗铣削及加工中心 加工工艺与编程	愿
第一节 典型数控机床	愿	第一节 数控镗铣削及加工中心 加工工艺概述	愿
第二节 数控机床的典型结构	愿	第二节 数控镗铣削及加工中心 编程指令	愿
复习题	愿	第三节 典型工件的镗铣削 加工工艺	愿
第三章 数控机床坐标系	愿	复习题	愿
第一节 数控机床的坐标系和 坐标轴	愿	第七章 计算机辅助编程	愿
第二节 机床坐标系与工件坐标系	愿	第一节 计算机辅助编程简介	愿
第三节 绝对坐标系与相对坐标系	愿	第二节 计算机辅助编程常用软件 及应用实例	愿
复习题	愿	复习题	愿
第四章 数控编程基础	愿		
第一节 程序编制中的工艺分析	愿		
第二节 编程规则	愿		

第一章 数控机床的基本组成和工作原理

第一节 数控技术概述

随着科学技术的迅速发展，机械制造技术发生了深刻的变化，传统的机械加工设备已很难适应市场对产品多样化、高质量的要求。而数控技术及其数控机床的应用，则成功地解决了一些几何形状复杂、一致性要求较高的中小批量零件自动化加工问题，大大提高了加工效率和加工精度，而且还减轻了工人的劳动强度，缩短了生产周期，提高了企业的竞争能力。

一、数控技术的基本概念

数控 数控，即数字控制（~~是计算机控制~~ 简称 ~~数控~~），简称数控，就是用数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。简单地说，数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理、发出相应指令，对机床的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

由于早期数控系统功能全靠数字电路实现，因此称为 ~~数控系统~~（硬件数控系统）。这种数控系统电路复杂，元器件数量较多，功能扩充难以实现，可靠性低，维修困难。现代数控系统都采用小型计算机或微型计算机系统实现，称为计算机数控系统（即 ~~是计算机控制~~ 简称 ~~数控~~）。计算机数控系统在控制功能、精度、可靠性等方面与硬件数控系统比较有很大的改善，而且其体积大大缩小。所以，在本书中所出现的“数控”或“数控系统”都是指计算机数控系统。

数控机床 所谓数控机床，就是装备有计算机数控系统的自动化机床。数控机床、数显机床和程控机床是完全不同的三种机床。数显机床，只能显示机床工作台的位置坐标，而机床动作不是自动控制的。程控机床，即可编程控制器控制的机床，这种机床只能按照某种特定的工艺要求编制出控制程序，来控制机床的各个动作，而不能对其位置进行精确控制，一旦这种控制程序确定下来以后，机床的整个加工过程也就相应确定了。数控机床可根据加工工件图样的不同随时改变工件加工程序。因此，数控机床加工具有很好的灵活性，即所谓“柔性好”。

数控加工 数控加工，是指在数控机床上进行工件的切削加工的一种工艺方法，即根据工件图样和工艺要求等原始条件，编制工件数控加工程序（简称为数控加工程序）并输入数控系统

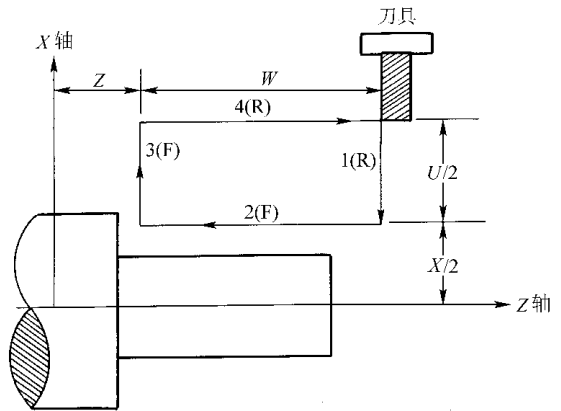


图 1-1 台阶轴的车削加工

碰—快速移动，云—切削进给

以控制机床的刀具与工件的相对运动，从而实现工件的加工。例如，加工图 1-1 所示的台阶轴，若在卧式车床上加工，刀具从起始位置快速接近工件、对加工表面进行切削、快速退回等一系列的开车、停车、进给、主轴变速等操作，都是由人工手动完成的。

在仿形机床上或其他自动机床上加工时，上述的操作和运动参数是通过凸轮、靠模、挡块等装置确定的。它们虽然能加工比较复杂的工件，有一定的灵活性和通用性，但是工件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，工序准备时间也较长，而且当工件的几何形状较为复杂时，这类机床可能无法加工。

在数控车床上加工，如前所述，首先根据工件图样，按规定的代码，将加工内容、尺寸和加工操作步骤等编制成工件加工程序清单，然后将其输入机床数控装置中，数控机床即可自动地加工出工件来。由此可见，数控加工就是以计算机及其执行机构代替人的大脑和双手，并且能控制全部的加工过程。

二、数控机床的组成及工作原理

数控机床作为一种典型的机电一体化设备，其组成主要包括机床控制系统和机床本体两大部分。从机械的角度讲，其基本布局和普通机床相似。因此，数控机床和普通机床相比，主要特征是后者具有功能强大的、智能化的电气控制系统，即计算机数控系统。一般的标准型数控机床组成如图 1-1 所示。现将其各组成部分的功能和工作原理简述如下。

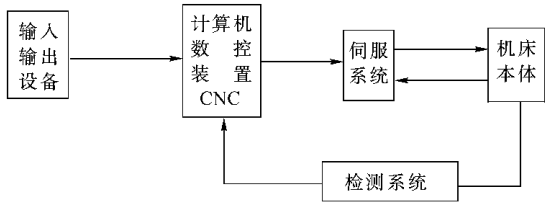


图 1-1 数控机床的基本组成

1. 输入、输出设备 输入设备的主要功能，是将工件加工程序、机床参数及刀补、间隙值等数据输入到机床计算机数控装置。具体地说，数控机床上的输入设备，主要有键盘、光电阅读机、磁盘及磁带接口、通信接口等。输出设备主要是将工件加工过程和机床运行状态等打印或显示输出，以便于工作人员操作。一般的数控机床输出设备，主要有CRT显示器、LED显示器、LCD显示器以及各种信号指示灯、报警蜂鸣器等。RS-232C接口是一种标准的串行输入、输出接口，可实现工件加工程序的打印、数控机床之间或机床和计算机之间的数据通信等。

2. 计算机数控装置 计算机数控装置，简称数控装置或CNC装置。它是数控机床的控制核心，其作用类似人的大脑，主要功能是接收输入设备输入的加工信息，完成数据的存储、计算、逻辑判断、输入输出控制等，并向机床各驱动机构发出运动指令，指挥机床各部件协调、准确地执行工件加工程序。

3. 伺服系统 伺服系统是指数控机床的电气驱动部分，它接收计算机数控装置发来的各种动作命令，并精确地驱动机床进给轴或主轴运动。伺服系统的性能是影响数控机床加工精度和生产效率的主要因素之一。

4. 机床本体 机床本体是数控机床的主体，是用来完成各种切削加工的机械部分。数控机床的机械结构，除了主运动系统、进给系统以及辅助部分，如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外，还有些特殊部件，如刀库、自动换刀装置（ATC）、自动托盘交换装置等。

5. 位置检测装置 在数控机床中，检测装置的作用主要是对机床的转速及进给实际位

置进行检测并反馈回计算机数控装置，进行补偿处理。运动部分通过传感器，将角位移或直线位移转换成电信号，输送给计算机数控装置，与给定位置进行比较，并由计算机数控装置通过计算，继续向伺服机构发出运动指令，对产生的误差进行补偿，使机床工作台精确地移动到要求的位置。

综上所述，数控机床的基本工作过程为：操作人员首先根据工件加工图样的要求，确定工件加工的工艺过程、工艺参数和刀具位移数据，再按编程手册的有关规定编写工件加工程序，然后通过键盘、穿孔纸带、通信或 配词(配词造词) (即手动数据输入) 等方式，将加工工件程序输入到计算机数控装置中。当加工程序输入到数控装置后，在数控系统内部的控制软件支持下，经过处理与计算后，发出相应的运动指令，通过伺服系统驱动机床工作台按预定的轨迹运动，以进行工件的自动切削加工。

三、数控机床的分类

数控机床经过几十年的发展，其品种越来越多，结构和功能也各具特色，加之从不同的技术和经济指标出发，可以对数控机床进行不同的分类。因此，数千种数控机床如何分类，目前国内外尚无统一规定。这里，仅从应用的角度出发，按工艺用途对数控机床进行分类如下。

1. 普通数控机床 这类数控机床和通用机床一样，主要有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。如图 猿猿 图 猿原分别为 悦云磨型数控车床和 载运型数控铣床。

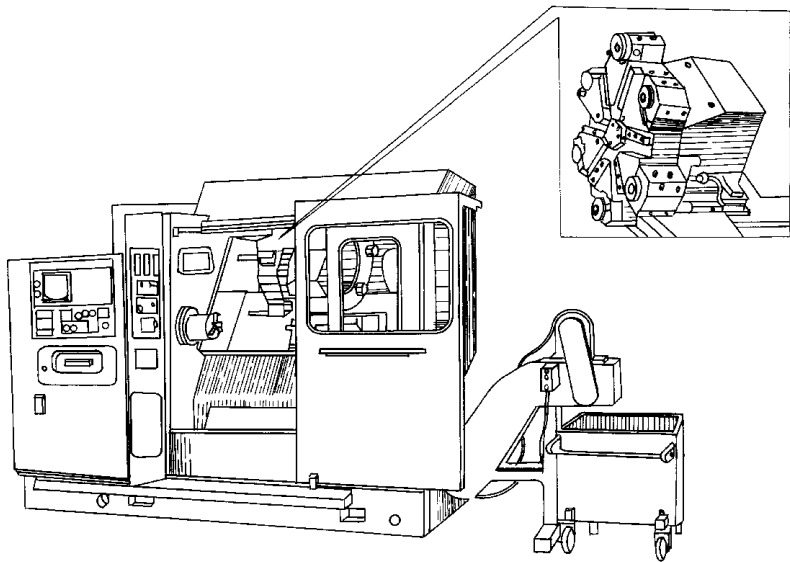


图 猿猿 悦云磨型数控车床

2. 加工中心 数控加工中心机床，简称加工中心 (配词造词) 简称 配词，它是功能较全并具有多种工艺手段的全功能型数控机床。最常用的数控加工中心有数控镗铣加工中心和数控车削加工中心。由于习惯的原因，在实际使用中通常我们提到的加工中心都指镗铣加工中心。

图 猿缘为典型的立式镗铣加工中心，图 猿远为卧式镗铣加工中心。

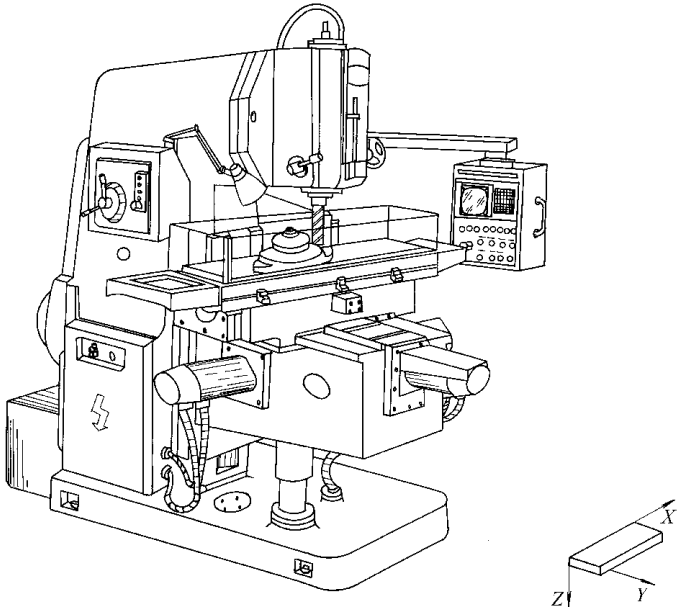


图 15-1 垂直转塔型数控铣床

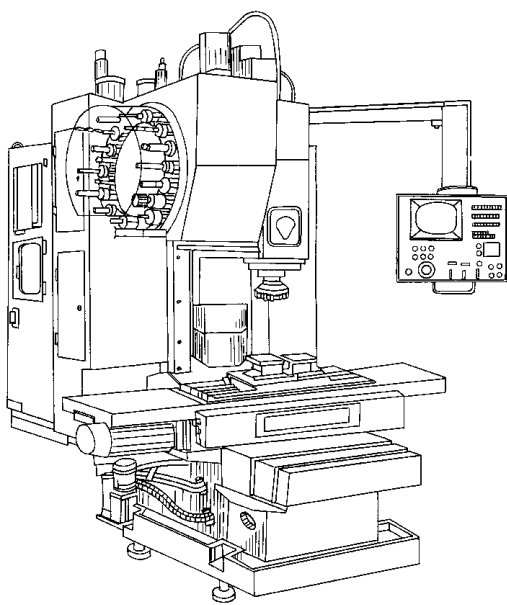


图 15-2 垂直转塔式镗铣加工中心

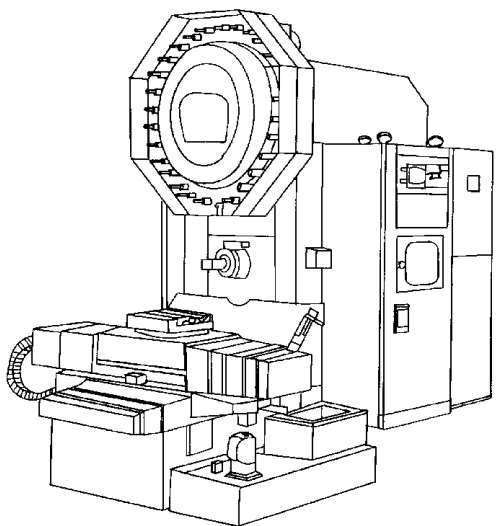


图 15-3 卧式转塔式镗铣加工中心

加工中心区别于普通数控机床的主要特征是：加工中心设置有刀库和相应的自动换刀机构（如换刀机械手）。其刀库中可存放几把、几十把甚至几百把不同类型的刀具或检测工具，这些刀具或检测工具在加工过程中通过加工程序可自动进行选用及更换。

加工中心的主要特点是，工件经一次装夹后，能自动进行多工序的连续加工（如钻、铰、镗、铣及攻螺纹等），可省去较多的专用工装。可用其加工的典型零件以复杂、精密的

箱体类居多。加工中心一般以镗铣加工中心和车削中心居多，当然也有钻削加工中心、磨削加工中心等。镗铣加工中心还可分为多种类别，除常见的卧式、立式、双柱（龙门式）加工中心外，还有单工作台、多工作台及复合（五面）加工中心等。

特种数控机床 特种数控机床是配置有专用的计算机数控系统并自动进行特种加工的机床。其特种加工的含义，主要是指加工手段特殊，工件的加工部位特殊，加工的工艺性能要求特殊等。例如，数控电火花机床（图 5-10），数控线切割机床（图 5-11），数控激光切割、打孔、焊接机床，数控火焰切割机床，数控弯管机床，数控冲床，数控剪板机床等。



图 5-10 数控电火花机床



图 5-11 数控线切割机床

四、数控机床的特点

加工精度高 数控机床是高度综合的机电一体化设备。它由精密机械和自动化控制系统组成，机床的传动系统与机床的结构都有很高的刚度和热稳定性。在设计传动结构时，采取了减误差的措施，并由计算机数控装置进行补偿，所以数控机床有较高的加工精度。此外，数控机床加工不受工件复杂程度的限制，这一点是普通机床无法与之相比的。

加工生产率高 数控机床具有良好的刚性，可以进行强力切削，而且空行程可采用快速进给，大大减少了空行程的时间；数控机床进给量和主轴转速范围都较大，可以选择最合理的切削用量；对工夹具要求低，机床不需要进行复杂的调整；数控机床有较高的重复定位精度，大大地缩短了生产准备周期，节省了测量和检测时间。

产品质量稳定 由于数控机床是按所编程序自动进行加工的，消除了操作者的人为误差，提高了同批工件加工尺寸的一致性，工件质量稳定，产品合格率高。

减轻工人的劳动强度和改善劳动条件 利用数控机床进行加工，操作人员要做的工作主要有程序的编制和调试，监视加工过程并装卸工件。除此而外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻。

良好的经济效益 在数控机床上改变加工对象时，只需要重新编写加工程序，不需要制造更换许多工夹具和模具，可节省大量工艺装备费用；又由于工件加工精度高、质量稳定、降低了废品率，还可使生产成本大大下降。

便于管理 采用数控机床加工，能准确地计算工件的加工工时，并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作，易于构成柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统

(悦)。

虽然数控机床有上述许多优点，但其初期投资大，维修费用高，要求管理及操作人员的技术素质也较高。因此，应合理地选择及使用数控机床，以提高企业经济效益和竞争力。

五、数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的许多优点，所以数控机床的应用范围在不断扩大。但数控机床是一种高度机电一体化的高技术含量、高成本的设备，使用和维修都有一定难度。所以，从最经济的角度出发，数控机床适用于加工以下工件：

- 员 多品种小批量的工件。
- 圆 结构较复杂，精度要求较高的工件。
- 猿 需要频繁改型的工件。
- 源 价格昂贵，不允许报废的关键工件。
- 缘 需要最小生产周期的急需工件。

例如图 员缘 所示工件比较适合于数控机床加工。

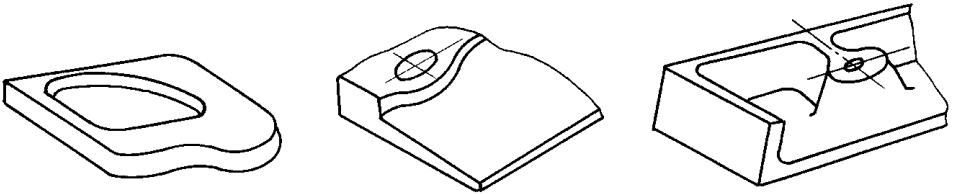


图 员缘 适合数控加工的工件

六、数控机床的产生与发展

员缘 数控机床的产生 员缘 年美国麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床，其数控系统采用电子管电路组成；员缘 年猿月，克耐·社列克公司开发出第一台加工中心。这是一种具有自动换刀装置的数控机床，它能实现一次装夹，进行多工序的加工，从而揭开了加工中心的序幕。从 员缘 年开始，德国、日本等一些工业发达国家都陆续地开发、生产及使用了数控机床。

员缘 年微处理器开始直接用于数控机床，进一步促进了数控机床的普及应用和飞速发展。圆世纪 缘 年代初，国际上又出现了以员(或圆·猿)台加工中心或车削中心为主体，再配上工件自动装卸和监控检验装置的柔性制造单元(云)简称云)。由于微电子和计算机技术的不断发展，数控机床的数控系统也随着不断更新，发展异常迅速，几乎每圆·猿年时间就更新换代一次。

圆 我国数控机床的发展简述 我国从 员缘 年开始研究数控技术，几十年来，经过了发展、停滞、引进技术等几个阶段。员缘 年开始，全国有上百个高等学校、研究机构和工厂开展数控机床研究和试制，由于国产元器件不配套，加之工艺和技术还不够成熟，数控研究工作纷纷下马。从圆世纪 缘 年代开始，随着改革和开放的不断深入，国内一些单位大胆从日本、德国、美国等国家引进了较先进的数控技术，在消化国外技术的基础上，对高档的数控系统进行了大量的开发工作，例如五轴联动的数控系统、分辨为圆的高精度车床用数控系统、数字仿型的数控系统、为柔性制造单元配套的数控系统等陆续开发出来，并制

造出了样机，有些已投入了批量生产。

七、数控机床的发展趋势

随着微电子技术、计算机技术、精密制造技术以及检测技术的发展，数控机床性能日臻完善，数控系统应用领域日益扩大。科学技术的发展使得各生产部门的对工艺要求的不断提高，这又从另一方面促进了数控机床的发展，当今数控机床正在不断采用最新技术成就，朝着高速化、高精度化、多功能化、智能化、复合化、系统化与高可靠性等方向发展。

高速化、高精度化 速度和精度是数控系统的两个重要技术指标，它直接关系到加工效率和产品质量。对于数控系统，高速化首先是要求计算机数控系统在读入加工指令数据后，能高速地处理并计算出伺服电动机的位移量，并要求伺服电动机高速地作出反应。此外，要实现生产系统的高速化，还必须谋求主轴、进给、刀具交换、托板交换等各种关键部分实现高速化。现代数控机床主轴转速在 10000 r/min 以上的已较为普及，高速加工中心的主轴转速高达 20000 r/min 。快速进给速度一般机床都在每分钟几十米以上，有的机床高达 100 m/min 。加工高精度比加工速度更为重要，微米级精度的数控设备正在普及，一些高精度机床的加工精度都在 $0.1 \mu\text{m}$ 以下。

高可靠性 新型的数控系统大量采用大规模或超大规模的集成电路，采用专用芯片及混合式集成电路，使线路的集成度提高，元器件数量减少，功耗降低，为提高可靠性提供了保证。

现代数控机床都装备有计算机数控系统（即 **PLC** 系统），只要改变软件控制程序，就可以适应各类机床的不同要求，实现数控系统的模块化、标准化和通用化。数控控制软件的功能更加丰富，具有自诊断及保护功能。为了防止超程，可以在系统内预先设定工作范围（即软极限），避免由于限位开关的不可靠而造成轴端超程。数控系统还具有自动返回功能，即断点保护功能。

多功能 大多数数控机床都具有图形显示功能，可以进行二维图形的加工轨迹动态模拟显示，有的还可以显示三维彩色动态图形（如图 **1-10** 所示）；具有丰富的人机对话功能，“友好”的人机界面；可以实现程序的输入、编辑、修改、删除等功能。现代数控系统，除了能与编程机、绘图机、打印机等外设通信外，还应能与其他 **PLC** 系统通信，或与上级计算机通信，以实现 **联网** 的连接要求。

智能化 数控系统应用高技术的重要目标是智能化，如引进自适应控制技术、人机会话自动编程、自动诊断并排除故障等智能化功能。

复合化 复合化是近几年数控机床发展的模式，它将多种动力头集中在一台数控机床上，在一次的装夹

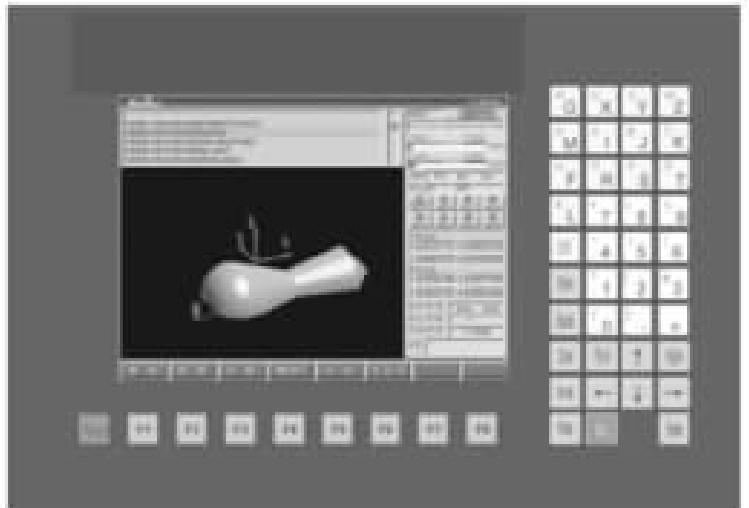


图 1-10 加工轨迹动态模拟显示

愿

中完成多种工序的加工。如立卧转换加工中心、车铣万能加工中心及四轴联动（载再在悦）的车削加工中心等（图 1-10）。

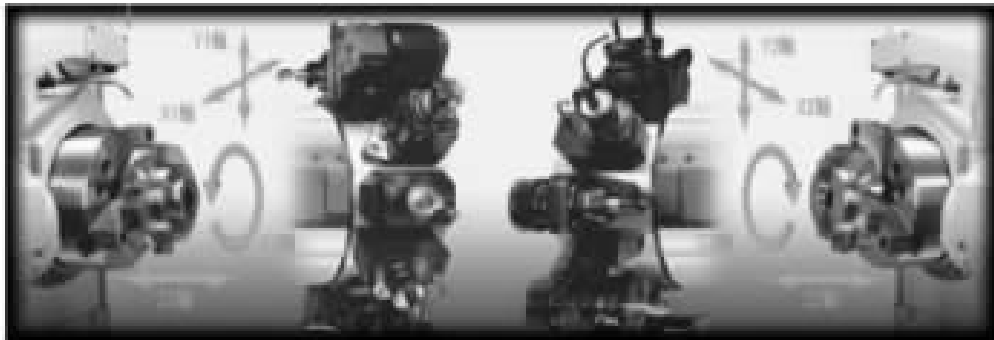


图 1-10 四轴联动车削加工中心

第二节 机床数控系统

数控机床主要是由机床本体和控制系统（即计算机数控系统）两大部分组成的。数控机床所有工作，都是在其数控系统的控制、管理和监督下进行的。因此，计算机数控系统的性能，决定着数控机床整机的性能和档次。

一、计算机数控系统工作原理及分类

计算机数控系统的组成 机床数控系统，由输入输出设备、计算机数控装置、主轴驱动装置、进给驱动装置、位置检测系统和可程序控制器（PLC）等模块组成。其组成框图如图 1-11 所示。

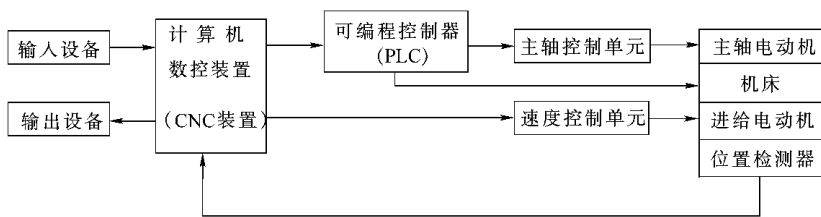


图 1-11 计算机数控系统工作原理

计算机数控装置是整个数控系统的控制核心，它通常由一台带有专门控制软件的工业计算机构成，数控装置采用数字信号形式指令控制机床运动部件的速度和轨迹，以实现工件给定形状的加工。数控装置和通用计算机系统一样，由硬件和软件系统组成。

数控系统的控制软件，一般由初始化模块、输入数据处理模块、插补运算处理模块、速度控制模块、系统管理模块和诊断模块等组成。当然不同档次的数控系统的控制软件有些差别，但其基本模块都有。

在这里有必要区分一下数控系统和数控装置的概念。数控系统是指整个数控机床的控制系统，而数控装置仅仅指计算机部分，数控装置是数控系统的一个最主要的组成部分，是数

控机床的核心装置。

㉒ 机床数控系统的分类 由于计算机技术、微电子技术和数控技术的高速度发展，每隔二三年，甚至一年左右，就有更新换代的新系统面世，故对数控系统的类别，至今也无严格的界限。对使用者而言，按其结构、功能及价格，大致可分为经济型、标准型和高档型等三大类数控系统。

(员) 经济型数控系统 一般是指结构简单、具备基本功能、针对性强、精度适中、价格低廉的数控系统。这种数控系统特别适合于老设备技术改造和老产品的更新。由于经济型数控系统适合我国当前国情，因此得到了广泛应用。

不同驱动装置的经济型数控系统，由于采用不同种类的驱动执行元件，因此其精度和功能上也有差异。经济型数控系统中最常用的驱动电动机为功率步进电动机，且为开环控制。早期的经济型数控系统还采用电液脉冲马达作为驱动电动机。在一些高档的经济型数控系统中，有的还采用了闭环控制，这种系统具有良好的调速性能、过载能力及效率高等优点，其中以直流伺服电动机驱动的居多，国产的经济型数控系统大多属于这一种。

㉓ 世纪 80 年代，出现了一些新型经济型数控系统，这类数控系统是指在其经济性指标基本保持不上升或略为上浮的前提下，进一步扩充某些功能的系统。如 20 世纪 80 年代后期西门子公司推出 802D 和 802C 系统、北京发那科公司推出的 FANUC 和 8020 系统及功能较弱的一些国产系统。

(圆) 标准型数控系统 又称为普及型数控系统。国产的这类数控系统绝大部分是引进国外技术，国内组装生产的。这类系统的技术较为成熟，功能也比较丰富，如全闭环或半闭环控制、恒线速切削、全屏幕菜单式编程、彩色 3D 或 2D 实时动态图形显示及用户宏程序功能等。标准型数控系统多用于普及型数控机床，部分用于加工中心。其代表性的标准型数控系统，主要有日本 FANUC 系列系统、德国 SIEMENS 系统及西班牙 SIEMENS 系统等。这类数控系统早期一般采用直流伺服驱动系统，现在都采用全数字化交流伺服驱动系统。

(猿) 高档型数控系统 主要应用于全功能数控机床。这类数控系统功能分别有：

员 多轴联动，包括各个主轴和多个进给坐标轴，现已达 10 轴以上。

圆 曲面直接插补。

猿 彩色显示，包括三维立体曲面的仿真、动态跟踪图形显示，以及在任意二维平面上进行离线（指生产线，即正在加工的过程）的进给轨迹显示。

源 蓝图（几何图形）编程。

缘 高级语言编程。

代表性的数控系统有日本 FANUC 和 SIEMENS 等。

二、插补原理

数控机床之所以能够加工一些几何形状复杂的工件，就是因为数控机床的坐标轴能够联动。要使机床坐标轴联动，就必须要求数控系统能够产生一系列控制坐标轴的运动指令。因此，机床数字控制的中心问题，是计算机数控装置如何按照输入的数控程序，通过运算处理，来控制刀具的运动轨迹。这些计算处理过程，就是由数控系统软件的插补功能模块来实现的。

插补就是在已知曲线的起终点之间，确定一些中间点坐标值的一种计算方法。机械零件

的几何轮廓大部分由直线和圆弧组成，因此大多数 数控装置一般都具有直线和圆弧插补功能。只有在某些较高档次或有特殊要求的 数控装置中才具有抛物线、螺旋线插补等功能。

工件程序中提供了直线的起点和终点坐标，圆弧的起始点坐标以及圆弧走向（顺时针走向或逆时针走向）和圆心相对于起点的偏移量或圆弧半径。除了上述几何信息外，工件程序中还有所要求的轮廓进给速度和刀具参数等工艺信息。插补的任务，就是根据程序进给速度的要求，完成从轮廓起点到终点的中间点坐标值的计算。

插补是实时性很高的工作，每个中间点坐标的计算时间直接影响系统的控制速度，中间点坐标的计算精度又影响到整个 数控系统的精度，因此，插补算法对整个 数控系统的性能指标至关重要，是 数控系统控制软件的核心。寻求一种简便有效的插补算法一直是人们努力的目标。就目前应用的插补算法而言，可以分为两大类：脉冲增量插补和数字采样插补。下面就脉冲增量插补法中的逐步比较法进行简要介绍。

逐步比较插补法的工作节拍；逐步比较插补法的工作节拍流程如图 5-1 所示。

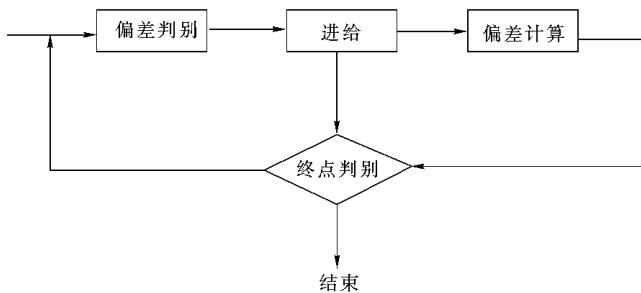


图 5-1 逐步比较插补法的工作节拍

① 偏差判别，是指判别刀具当前位置相对于给定曲线轮廓的偏离情况，以此决定刀具的进给方向。在刀具进给的过程中，因为刀尖（刀位点）位移的实际轨迹点一般不会落到理想轨迹上，所以，通过偏差判别（根据图 5-2 中的四个工作节拍，计算机按其轨迹方程分析动点位置）后，即可知道加工点是否偏离了理想轨迹，以及偏离的情况如何。这一节拍非常重要，因为通过这一节拍进行准确判别后，将直接决定其下一步该向哪个方向进给。

② 根据偏差判别的结果，控制刀具向靠近其理想轨迹的方向进给一步，即向给定的轮廓靠拢，以减少偏差。这一步既可以是主运动坐标轴方向的，也可以是从运动坐标轴方向的，仍通过计算机分析和确定，也可以两者同时进给。

③ 当刀具在其偏差判别节拍之后进给了一步，从而到达一个新的插补点位置时，这个新的插补点是否在其理想轨迹上或是否距离理想轨迹距离小于一个脉冲，则需要进行偏差判别。如不是，则需要确定其偏离的位置及方向，以便继续进行插补工作。

④ 在插补过程中，插补点每位移一

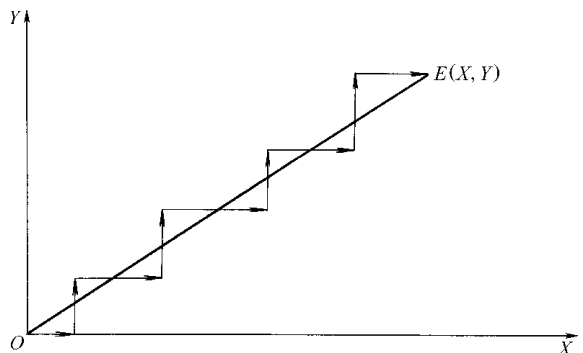


图 5-2 逐步比较法插补轨迹

步，就要判别一次该点是否到达终点。当通过偏差计算之后确认插补点尚未到达终点时，计算机就自动重复进行前述三个工作节拍，这样一直循环下去，直至被确认到达终点，数控装置就会向伺服系统发出停止进给命令，该加工程序段的插补过程也就结束了。

由上述可以看出，当刀具不再轮廓曲线上时，插补总是使刀具向靠近工件轮廓的方向移动，从而减少了插补误差；当工件正好处于工件轮廓上时，插补使得刀具离开工件轮廓。每插补一次，刀具就沿每个坐标轴的方向走一步，所以逐点比较法的插补误差总是被控制在一个脉冲当量之内的。图 1-10 所示为逐步比较法的直线插补轨迹。

逐点比较法插补是根据刀具与被加工轮廓曲线之间的相对位置来确定刀具运动方向的，所以在两坐标轴的数控机床中得到了普遍应用，不易实现两坐标以上的插补。大于两坐标的插补运算，一般是采用更高级的插补算法，如数据采样插补法。

第三节 数控系统操作面板及其操作

数控机床的操作过程为：开机、回零、编辑程序、对刀、输入零偏及刀补参数、程序校验、首件加工。

一、数控机床控制面板及其操作

图 1-11 所示为采用云鼻说一园阅系统的控制面板（悦味翻河面板），其各键的名称及其功能如下：

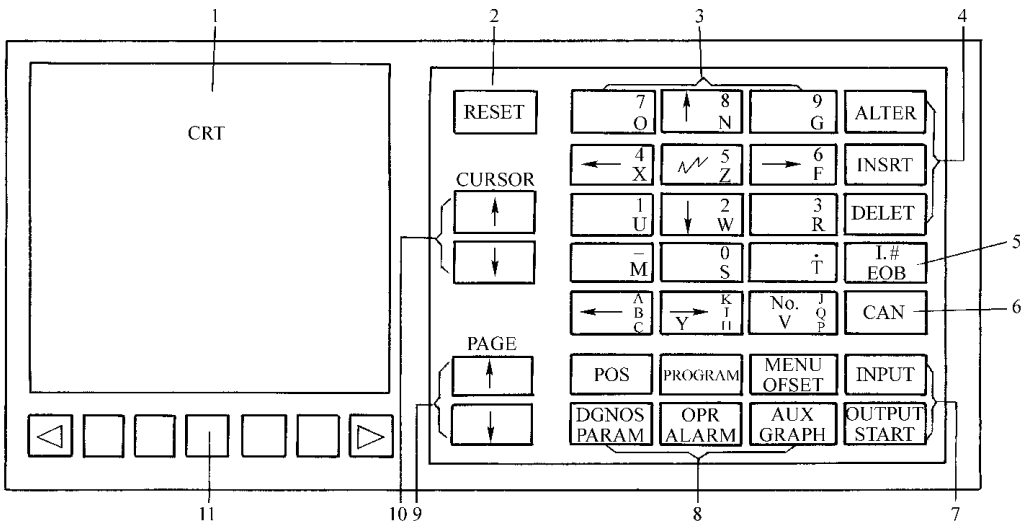


图 1-11 采用云鼻说一园阅系统的数控车床控制面板（悦味翻河面板）

1—监视器 2—复位键 3—地址数字键 4—程序编辑键 5—程序结束键 6—取消键
7—输入、输出键 8—主功能键 9—翻页键 10—光标键 11—软键

(1) 悦味监视器 显示各种参数和功能，如显示机床参考点坐标、刀具起始点坐标、输入数控系统的指令数据、刀具补偿量数据、报警信号、滑板移动速度、加工轮廓、主轴转速及图像功能等。

(2) 复位键（硬复位） 机床自动运行时，按下此键，则机床的所有操作都停下，若恢