

高职高专规划教材

(数控技术应用专业)

数控技术与数控编程

东南大学 黄卫 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专规划教材

数控技术与数控编程

主 编 黄 卫 (东南大学)
参 编 缪德建 (南京工程学院)
 顾雪艳 (南京工程学院)
 刘 江 (常州机电职业技术学院)
主 审 许 超 (东南大学)



机械工业出版社

本书介绍了数字化制造技术中的数控加工技术及数控编程技术。全书共分八章,主要介绍了数字化制造技术的概况,数控加工技术及数控机床的应用与发展,讲述了数控加工控制原理和计算机数控系统(CNC)的工作原理,详细介绍了数控加工工艺、数控编程基础知识,以及数控车床、数控铣床和加工中心的零件数控加工程序的编制方法,并结合CAM实用软件详细讲述了数控自动编程的原理和方法。书中附有实例和习题,可方便读者阅读本书,并较快掌握数控编程技术。

本书可作为高职高专数控专业的教材或有关数控技术职业培训的教材,也可作为本科相关专业的教材和教学参考书,并可供数控工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术与数控编程/黄卫主编. —北京:机械工业出版社, 2004.3
(高职高专规划教材)

ISBN 7-111-14174-1

I. 数… II. 黄… III. 数控机床—高等学校:技术学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第019286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:于奇慧 版式设计:张世琴
责任校对:张晓蓉 封面设计:陈沛 责任印制:施红
北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年6月第1版·第1次印刷
1000mm×1400mm B5·7印张·270千字
定价:19.00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)68993821、88379646
封面防伪标均为盗版

前 言

电子计算机技术和信息技术是人类最伟大的成就之一，伴随着这个伟大成就，计算机、通信、电子、检测、控制等相关技术也得到了不断发展，应用领域不断扩展。在计算机辅助设计与制造（CAD/CAM/CAPP）技术、计算机数控（CNC）技术、自动控制理论和伺服驱动技术、精密检测和传感技术、网络和通信技术的支持下，机械制造业这个传统的工业领域发生了彻底的改变，迈上了新的台阶，形成了以数字的方式存储、管理和传递机械制造过程中所有信息的“数字化制造”模式。利用分布式数控系统（DNC）对CAD/CAM/CAPP以及CNC的程序进行传送和分级管理，把制造厂家联系在一起，构成虚拟制造网络。将制造信息从计算机“下载”到生产线，在生产的过程中利用这些信息控制机床，使它生产出合格产品，这个全过程就是“数字制造”。

在数字化制造技术中，计算机数控技术和数控编程技术是最重要的技术之一，它直接面对加工对象和操作者，数控及其编程技术的熟悉和掌握程度也直接影响到制造系统的成效。目前以数控机床和加工中心为重要组成部分的柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）已越来越多，数控机床的应用已渗透到机械制造业的各个领域。为适应机械制造业数字化的趋势，大专院校、中等职业学校均设立了相关的专业，培养了各级专门人才。本书旨在为本科、高职高专、中职学生及从事数控编程加工的工程技术人员提供教材、教学参考书和技术参考书。

本书内容涉及计算机数控技术和数控编程技术，介绍了数控加工控制原理和计算机数控工作原理，详细叙述了数控加工工艺、数控编程基础、手工及自动编程方法，结合实例介绍了数控车床和铣削加工中心的数控编程，同时每章附有习题供读者练习。

本书由东南大学黄卫担任主编，参加本书编写的还有南京工程学院缪德建和顾雪艳、常州机电职业技术学院刘江。其中黄卫编写第一章、第二章和第三章，缪德建编写第四章和第八章，顾雪艳编写第五章和第七章，刘江编写第六章。全书由黄卫统稿。东南大学许超教授担任本书主审。

许超教授在审稿中对本书内容、章节设置提出了许多宝贵的修改和补充意见，杨宁女士制作校对了第一章至第三章全部插图及第四章至第七章部分插图，在此谨致谢意。并对本书所列参考文献的作者们表示感谢，您们的工作不仅推动了数控技术的发展，也使本书作者受益匪浅。

由于作者水平所限，书中难免有欠妥和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 数字化制造技术概述	1
第一节 机械制造自动化与数字控制技术	1
第二节 数控机床	9
第三节 数控技术的发展	19
第四节 现代机械制造系统与数控技术	23
习题	27
第二章 数控加工控制原理	28
第一节 数控加工轨迹控制	28
第二节 刀具补偿控制	37
第三节 进给运动控制	44
习题	48
第三章 计算机数控系统 (CNC)	49
第一节 CNC 系统的组成与功能	49
第二节 CNC 系统的硬件结构	54
第三节 CNC 系统的软件结构	58
第四节 开放式 CNC 系统	62
习题	66
第四章 数控加工工艺分析	67
第一节 机械加工工艺基础	67
第二节 数控加工工艺特点与内容	76
第三节 数控加工路线设计	80
第四节 数控加工的工序设计	84
习题	93



第五章 数控编程基础	94
第一节 数控编程步骤	94
第二节 数控程序的指令集	96
第三节 数控程序结构与格式	98
第四节 数控编程中的坐标系统	100
第五节 常用功能指令	103
第六节 数控编程中的数值计算	112
习题	116
第六章 数控车床编程方法	117
第一节 数控车床概述	117
第二节 数控车床编程基础	118
第三节 螺纹车削加工	132
第四节 参数编程	136
第五节 车削固定循环	141
习题	147
第七章 数控铣床与铣削中心编程方法	149
第一节 数控铣床与铣削中心编程特点	149
第二节 数控铣床与铣削中心编程方法	150
第三节 编程实例	175
习题	176
第八章 数控自动编程	178
第一节 自动编程概述	178
第二节 Mastercam 软件介绍与应用	189
习题	214
参考文献	217

第一章 数字化制造技术概述

第一节 机械制造自动化与数字控制技术

机械制造业是一个国家国民经济的支柱，是所有工业部门的基础。从蒸汽机动力产生起，200多年来，机械加工技术经历了用机器代替手工，从作坊形成工厂，从单件生产方式发展到大量生产方式和制造的柔性化、系统化、智能化等三个阶段的大跨越发展，为社会生产各部门提供了先进的技术装备和精良的工艺，并且超前的高新技术开发应用为传统的机械制造业注入了新的动力。

一、机械制造自动化

从19世纪70年代第一台自动机床问世以来，随着科学技术的不断发展，特别是电子计算机技术和信息技术的迅猛发展，使机械制造自动化水平连续迈上新的台阶。

通过机械、电气和液压方式实现的自动机床、靠模仿形机床、组合专用机床，以及在各种机械式、电气式、液压式、自动化专用机床的基础上连成的自动生产线，一般称之为“刚性自动化”，尽管需要很大的初始投资和较长的生产准备时间，但它可以使大批量、单一品种产品缩短生产周期，降低成本，提高生产效率，保证产品质量，因此，在许多企业（例如汽车、摩托车、家用电器等生产企业）中已广泛应用。

随着科学技术和社会生产的不断发展，对产品品种和性能多样性的要求越来越高，尤其在个性化方面要求日益明显，产品品种的日益增多和其生命周期越来越短已成为不可逆转之势，因此，使多品种少批量生产方式占有较大比重。据国际生产与研究工程协会（CIRP）对欧美等工业国家的调查统计表明：在机械制造业中，就产品的产量而言，单件生产（约30件以下）占35%左右，小批量生产（约50~1000件以下）占50%左右，大批大量生产（约1000件或5000件以上）只占10%或5%左右。而在造船、航空、航天、机床、重型机械以及国防等部门的产品零件，则往往是精密复杂，加工批量小，改型频繁，采用专用化程度很高的自动机床加工这类零件显然不合适，因为在生产加工过程中需要经常改装和调整设备，对自动生产线来说，这样的改装和调整是很难甚至是不可能实现的。而借助划线和样板手工操作及靠模仿形机床进行加工，则加工精度和生产效



率受到很大限制，对于空间复杂曲线曲面，在普通机床上根本无法加工。

为了解决上述问题，也为了能在日趋激烈的市场竞争中求得生存与发展，在科技进步的支持下，一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的“柔性自动化”机床出现了，其典型代表是数控机床。它通过编制程序，用数字信息自动控制机床的各种加工动作，进行自动切削和成形加工，为多品种、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。在机械制造自动化由“刚性自动化”向“柔性自动化”方向的发展中，电子技术、信息技术和计算机技术的突飞猛进，以及计算机在设计、制造、管理和控制等方面的成功应用（计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM 及计算机集成制造系统 CIMS），对机械制造自动化进入柔性制造自动化和智能化的崭新时代起了很大的促进作用。

机械制造自动化过程总是由单机自动化向多机的系统自动化发展，而系统的自动化又促进了单机自动化功能的完善和标准化。表 1-1 简述了国际和国内机械制造自动化的发展历程，表 1-2 描述了机械制造自动化模式和技术特征。

表 1-1 国际和国内机械制造自动化的发展历程

年 代	国际自动化进展标志项目	国内自动化进展标志项目
19 世纪 70 年代	自动制螺丝机（美国）	
19 世纪 90 年代	多轴车床（美国）	
20 世纪 20 年代	机械加工自动线（前苏联）	
20 世纪 40 年代	成组加工工艺（前苏联） 底特律机械加工自动线（美国）	
20 世纪 50 年代	汽车活塞自动工厂（前苏联） 数控铣床（NC——硬接线数控）（美国） 加工中心（有自动换刀刀库、多工序加工功能的数控机床）（美国） Unimate 极坐标式工业机器人（美国）	汽车发动机气缸体端面孔加工组合机床自动线 数控立式铣床（NC） 加工轴承内、外环自动线（环套类加工自动线）
20 世纪 60 年代	自适应控制数控机床（美国） 碳电阻制造的计算机控制自动化（美国） 圆柱坐标式 Verstram 工业机器人（美国） 计算机辅助设计（CAD）绘图（美国） 计算机数控（CNC——软接线数控）（美国） 分布式数控（DNC——一台计算机控制多台数控设备）系统相继出现（英、美、日等国）	电机转子轴承自动线（加工轴类零件自动线）



(续)

年 代	国际自动化进展标志项目	国内自动化进展标志项目
20 世纪 70 年代	<p>工业机器人操作的焊接自动线 (美国)</p> <p>柔性制造单元 (FMC) 出现, 并产生由此组成的柔性制造系统 (FMS) (美国等)</p> <p>哈林顿 (Harrington): 计算机集成制造 CIM 概念</p>	<p>为第二汽车制造厂提供了 57 条自动线和 8000 多台自动化设备, 研制工业机器人</p> <p>研制计算机数控 (CNC)</p> <p>引进 CNC-7 系统 (由日本 FANUC、德国 Siemens、美国 GE 公司联合设计)</p>
20 世纪 80 年代	<p>多品种小批量生产的无人化机械制造工厂——富士工厂 (除装配外, 从毛坯外购件入库、搬运、加工、成品入库等完全自动化) (日本)</p> <p>已投入运行和 FMS 约有 400 个 (各国)</p>	<p>自动更换主轴箱的组合机床自动线出现, 标志着刚性自动线向柔性方向发展</p> <p>研制加工中心</p> <p>第一汽车制造厂在 1985 年建立了厂的计算机辅助生产管理 (CAPM) 系统, 单就减少在制品储备一项, 可减少占用资金达 13.6%</p> <p>计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程 (CAE——工程计算与规划)、计算机辅助工艺规程 (CAPP) 和自动数控程序编制 (NCP) 的开发与应用</p> <p>研制成功柔性制造单元 (FMC)</p> <p>第一个柔性制造系统 (FMS) 投入运行 (用于加工直流伺服电动机零件)</p> <p>引进 4 个柔性制造系统</p>
20 世纪 90 年代	<p>智能制造系统 IMS 项目研究 (日、美、欧盟)</p>	<p>建立机器人工程示范基地, 研制成涂装、焊接、搬运的工业机器人</p> <p>开展计算机集成制造系统 (CIMS) 研究, 并在全国四个机械制造厂首先试点应用, 今后将有重点地逐步推广应用</p>

表 1-2 机械制造自动化模式与技术特征

名称	自动化模式	特征	引入的新技术	适用生产类型
传统机械 制造自动化	专用自动机 专用自动线	基本上刚性	继电器逻辑控制 (RC) 可编程逻辑控制 (PLC) 组合机床	单一品种 大批量生产
现代机械 制造自动化	数控机床 (单工序) 加工中心 (多工序复合)	柔性单机自动化 柔性多工序 集中自动化	微电子技术/数字电路 在线检测技术 计算机控制技术 自动编程技术	单件或数件 多品种生产



(续)

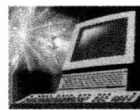
名称	自动化模式	特征	引入的新技术	适用生产类型
现代机械 制造自动化	柔性制造单元 (FMC) 柔性制造系统 (FMS)	柔性与效率 的合理结合	成组技术 (GT) 计算机辅助设计 (CAD) 计算机辅助工艺规程 (CAPP) 物料储运自动控制技术 网络通信与群控 (DNC) 计算机生产管理与质量 保证技术	多品种中、小 批量生产
	柔性生产线 (FML)		物料需求计划 (MRP) 与制造资源计划 (MRPII)	数个品种 批量生产
	计算机集成 制造系统 (CIMS)	工程设计、制造、 经营管理全厂的自 动控制,追求综合最 佳效益	AD/CAPP/NCP 或 CAD/ CAM 集成信息技术 质量保证技术 产品数据管理(PDM) 柔性自动控制加工系统 仿真技术与车间动态调度 数据库技术 计算机通信网络技术	多品种 批量生产

二、数字控制技术

数字控制 (Numerical Control——NC) 简称数控, 是一种用数字化信号对控制对象进行自动控制的技术。相对于模拟控制而言, 数字控制系统中的控制信息是数字量而不是模拟量, 因此可采用不同的字长表示不同精度的信息, 可对数字化信息进行数学运算和逻辑运算等复杂的信息处理, 可在不改变机械结构和电路系统的情况下应用软件技术改变信息处理的方法或过程, 使机械设备具有很大的“柔性”。实现数字控制技术的设备称为数控系统 (Numerical Control System)。

数控技术最先应用于机床控制, 包括用几何信息控制刀具和工件间的相对运动 (即运动轨迹行程量控制), 以及机床完成加工运动所必需的辅助工艺信息控制 (即机床运动开关量逻辑控制), 如主轴转速、主轴转向、刀具选择和切削液开闭等。装备了数控系统的机床称为数控机床 (Numerical Control Machine)。

数控加工的基本方法是由编程人员将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理, 即将加工过程编成数控加工程序并记录在载体上。数控系统首先读入载体上的加工程序, 由数控装置将其翻译成机器能够理解的控制指令, 再由伺服系统将其变换和放大后驱动机床上的主轴电动机和进给伺服电动机, 实现加工过程。其中数控系统将刀具与工件的相对运动在坐标系中分割成一些最小位移量 (即



最小设定单位),以数字形式给出相应的脉冲指令(脉冲当量,每一个脉冲当量对应一个最小位移量),并在允差范围内用各坐标轴最小设定单位的运动合成来代替任何几何运动,这就是数控插补控制。数控加工的一般过程如图 1-1 所示。



图 1-1 数控加工过程

三、数控加工涉及的基本技术

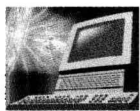
数控加工技术的发展已有 50 年历史,它是在多种技术交叉的基础上发展起来的。其核心技术是微电子技术向精密机械技术渗透所形成的机电一体化技术。

1. 精密机械技术

精密机械技术是数控加工技术的基础。对一台数控机床来说,机械结构和传动占了很大比重,因此其精度、刚度、体积、质量和寿命对数控机床有着举足轻重的影响。在制造过程所使用的机电一体化系统中,虽然传统的机械理论与加工工艺借助于计算机辅助技术(CAD、CAM、计算机辅助工艺设计 CAPP)、人工智能和专家系统,形成了新一代的机械制造技术,但传统的以知识和技能形式存在的机械技术是任何其他技术所无法取代的。先进的机械设计理论、精良的机械加工技术以及新材料新工艺的采用,使数控机床具有高精度、高速度、高可靠性、体积小、质量小、维修方便、价格低廉的优点。

2. 电子元件技术

数控加工技术的发展与电子元件技术的发展是密切相关的,20 世纪 50 年代初世界上第一台数控系统是由电子管组成的,系统占空间体积大、运算速度慢。1947 年美国贝尔实验室诞生了晶体管,1958 年美国德克萨斯仪器公司发明了集成电路,从此微电子技术突飞猛进。根据摩尔定律,微处理器性能(按芯片上的晶体管数量定义)每 18 个月翻一番。由于电子元件技术的发展,对数控技术起着极大的推动作用。日本 FANUC 公司在 1956 年开始采用电子管生产数控系统,1959 年就在数控系统上采用锗晶体管,1963 年采用硅晶体管研制出 FS22、FS240 等系统。1969 年又采用中、小规模集成电路更新了 FS22、FS240 系统。20 世纪 70 年代开始采用大规模集成电路推出了 FS5、FS7、FS3、FS9、FS0、FS18、FS16、FS20、FS21、FS15 等一系列计算机数控系统。从 4 位的位片机(FS7)到 16 位的 8086 (FS6),32 位的 80486 (FS0)。1996 年,FANUC 采用最新专用芯片 352Pin 的微电子工艺 BGA (Ball Grid Array) 封装及采用 MCM (Multi-Chip Module) 工艺生产的微处理器推出小型化高性能的 i 系列数控系统。



大小只有原有系统的 1/4, 大大减少了占有的空间, 提高了系统的可靠性, 也提高了性能。电子元件技术的发展使计算机能高速、准确地指挥和管理数控系统的有序运行。

3. 软件技术与自动编程

数控系统软件完成管理和控制两种工作。管理工作包括输入、I/O 处理、通信、显示和诊断等。控制工作包括译码、刀具补偿、速度处理、插补、位置控制等。采用存储器存储零件加工程序还可以代替打孔的零件纸带程序进行加工, 这种程序容易显示、检查、修改和编辑。因而减少系统的硬件配置, 提高系统的可靠性。另外, 采用软件控制大大增加了系统的柔性, 降低了系统的制造成本。目前数控系统的软件还外延到 CAD/CAM, 通过 CAD/CAM 生成的加工程序直接送到数控系统控制机床的运动。

数控系统的控制装置按照预先编好的程序进行工作。所谓编程, 就是把零件的图形尺寸、工艺过程、工艺参数、机床的运动以及刀具位移等按照数控系统的程序段格式和规定的语言记录在程序上的全过程。编程的方法有两种: 手工编程和自动编程。采用手工编程, 一个零件的编程时间与机床加工时间之比, 平均约为 30:1, 这样低的效率已远远不能满足要求。采用计算机或程编机代替手工进行自动编程, 可从根本上解决问题。20 世纪 70 年代开始出现的图像数控编程技术有效地解决了几何造型与零件几何形状的显示、交互设计、修改及刀具轨迹生成、进给过程的仿真显示、验证等, 从而推动了 CAD 和 CAM 向一体化方向发展。图像数控编程系统实质上就是一个集成化的 CAD/CAM 系统。随着 CAD/CAM 技术的不断发展, 加上与计算机数控技术的一体化也推动了计算机集成制造系统技术的形成。

4. 数控标准

随着数控系统成为机械自动化加工的重要设备, 在管理和操作之间, 都需要有统一的术语、技术要求、符号和图形。也即需有统一的标准, 以便于世界性的技术交流和贸易。数控技术的发展, 形成了多个国际通用的标准: 即 ISO (国际标准化组织标准)、IEC (国际电工委员会标准) 和 EIA (美国电子工业协会标准)。最早制订的标准有数控机床的坐标轴和运动方向, 数控机床的编码字符、数控机床的程序段格式、准备功能和辅助功能、数控纸带的尺寸、数控的名词术语等。我国在发展数控产业化的同时也采用了这些标准。由于这些标准的建立, 对数控技术的发展起了规范和推动的作用。而数控技术的发展也要求数控标准不断更新, 标准的变化, 说明技术的内涵发生了变化。随着新技术的发展, 新的标准也不断出现。由于数字伺服装置越来越广泛地得到应用, 不同的制造厂家生产出的数字伺服装置很难互相兼容, 这就需要有统一的标准接口。1995 年 11 月 IEC 颁布了 CEI/IEC1491 “工业机械电气装置控制器和传动装置间实时通信的串



行数据链”（简称 SERCOS 标准），它使设计有统一标准接口的数控装置与数字伺服装置成为可能。最近，ISO 基于用户的需要和对未来信息技术的预测，又在酝酿推出新标准“CNC（计算机数控）控制器的数据结构”。它把 AMT（先进制造技术）的内容集中在两个主要的级别和它们间的连接上：第一级 CAM，为车间和它的生产机械；第二级是上一级，为数据生成系统，由 CAD、CAE 和数控编程系统及相关的数据库组成。

5. 自动控制理论和伺服驱动技术

自动控制理论和伺服驱动技术对数控机床的功能、动态特性和控制品质具有决定性的影响。在对一个具体的控制装置或系统的设计、仿真和现场调试中，自动控制理论具有重要的理论指导作用。在伺服速度环控制中采用前馈控制，使传统的位置环偏差控制的跟踪滞后现象得到很大改善，而且增加了系统的稳定性和伺服精度。为了适应不同类型数控机床复杂的控制算法，伺服系统的位置环和速度环都采用软件控制。伺服驱动技术已经历了好几代的发展，目前交流伺服电动机驱动技术已逐步取代其他的伺服驱动，而且向智能化的数字伺服技术发展。

6. 精密检测和传感技术

精密检测和传感技术一直是闭环和半闭环控制系统中的关键技术，检测和传感装置则是实现自动控制的关键环节之一。一台数控系统与机械联结在一起时，它能控制的几何精度除了受机械的因素影响外，还主要取决于闭环系统采用的传感器，特别是位置和速度传感器。世界上第一台数控铣床的工作台由液压驱动，它的位置测量元件采用旋转变压器，系统的脉冲当量为 0.0125mm 。传感器技术随着数控技术的发展也在不断发展，如可测量直线位移和旋转角度的直线感应同步器和圆感应同步器，直线和圆光栅，磁尺，利用磁阻的传感器等。这些传感器由光学、精密机械、电子部件组成，一般分辨率为 $0.01 \sim 0.001\text{mm}$ ，测量精度为 $\pm (0.002 \sim 0.02)\text{mm/m}$ 。随着对机床精度要求的不断提高，也对传感器的分辨率和精度提出了更高的要求，于是出现了具有“细分”电路高分辨率的传感器，例如，FANUC 公司研制的编码器通过细分可做到分辨率为 $1/64 \times 10^6\text{mm}$ 。利用它可以构成高精度数控系统，这就为超精控制及加工创造了条件。除此以外，少数高精度机床也应用了激光传感器。

7. 网络和通信技术

计算机网络和通信技术的广泛应用，对数控机床和以数控机床为基础的柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）及计算机集成制造系统（CIMS）产生了重大而深远的影响。通过网络仿真使加工零件从概念到在数控机床上完成加工的全部过程已在发达国家成功实现。信息资源的共享为数控加工带来明显的效益。通过网络进行无纸化的远程管理和监控，可以方便地进行产品的异地加工、装配和调试。



8. 可编程控制技术

在 20 世纪 70 年代以前，数控系统与机床强电顺序控制主要靠继电器进行。1969 年美国 DEC 公司研制出世界第一台可编程序控制器 PLC，1987 年 IEC 把它定义为：“可编程序控制器是一种数字运算电子系统，专为在工业环境下运用而设计”。它采用可编程序的存储器，用于存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等特定功能的用户指令，并通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各类机械或生产过程。PLC 可以方便地实现程序的显示、编辑、诊断、存储和传送。PLC 没有继电器电路接触不良、触点熔焊、磨损、线圈烧断等缺点，很快在数控机床上得到应用。使用 PLC，可大大减少系统的占有空间，提高了系统的快速性和可靠性。

9. 开放技术

1987 年美国空军在其 NGC (Next Generation Controller) 计划中提出了“开放系统体系结构标准规格 (SOSAS)”，“开放式数控系统”的概念由此提出。其目的是建立一个体系模型，并定义模型中各模块的控制功能和接口，确定它们的内部关系规则，提出采用新的描述语言，通过原型样机使它有效。开放的体系结构定义为在竞争的环境中允许多个制造商销售可相互交换和相互操作的模块。开放技术不但产生了新的体系结构的计算机数控系统，同时由于采用计算机控制，计算机的应用软件也大大丰富了数控系统人机接口的功能。FANUC 公司在自己专有的数控系统内增加 IBM PC 的模块，这样既保证了系统的可靠性，又使系统具有良好的开放性。

四、CNC、DNC 系统与数字制造

数控装置根据输入的指令，进行译码、处理、计算和控制，实现其数控功能。在早期的数控系统中，这些数控功能是由数字逻辑电路实现的，称为硬件数控（简称 NC）。现代数控技术中，数控装置的大部分工作都是由计算机系统来完成的，这种以计算机系统为主构成的数控系统称为计算机数控（Computer Numerical Control——CNC）系统。CNC 系统是数控系统的一种，是在硬件数控的基础上发展起来的，其数字信息处理功能主要由软件完成，所以只需改变相应控制程序，即可改变控制功能，无需改变硬件电路。因而十分灵活，具有很好的通用性和“柔性”。

DNC 系统的含义有两种提法，20 世纪 80 年代颁布的 ISO 2806 将 DNC 定义为“Direct Numerical Control（直接数控）”，其概念为：“此系统使一群数控机床与公用零件程序或加工程序存储器发生联系，一旦提出请求，它立即把数据分配给有关机床”。这种技术在 20 世纪 70 年代到 80 年代开始研制并应用，由于系统复杂，可靠性差，因此得不到发展。在 20 世纪 90 年代颁布的 ISO 2806 将 DNC



定义为“Distributed Numerical Control (分布式数控)”，其意义为“在生产管理计算机和多个数控系统之间分配数据的分组系统”。DNC 概念从“直接数控”到“分布式数控”，其本质也发生了变化，“分布式数控”表明可用一台计算机控制多台数控机床。这样，机械加工从单机自动化的模式可扩展到柔性生产线及计算机集成制造系统。从通信而言，可以在 CNC 系统增加 DNC 接口，形成制造通信网络。网络的最大特点是资源共享，通过 DNC 功能形成网络可以实现：零件程序的上传或下载；读、写 CNC 的数据；PLC 数据的传送；存储器操作控制；系统状态采集和远程控制等。更高档次的 DNC 还可以对 CAD/CAM/CAPP 以及 CNC 的程序进行传送和分级管理。DNC 技术使 CNC 与通信网络联系在一起可以传递维修数据，使用户与 NC 生产厂直接通信，大大提高了服务质量和效率。

1995 年 12 月，美国 SME 主席 G·Olling 提出了“数字制造”（Digital Manufacture）的概念。所谓“数字制造”，就是用数字的方式来存储、管理和传递制造过程中的所有信息。计算机的世界里，可以产生各种各样的信息把物理过程虚拟化，DNC 还可以对 CAD/CAM/CAPP 以及 CNC 的程序进行传送和分级管理。进而把制造厂家联系在一起、构成虚拟制造网络。现在的挑战是如何把这些信息从计算机“下载”到生产线，在生产的过程中利用这些信息控制机器，使它生产出合格产品，这个全过程就是“数字制造”。在这个过程中，CNC 是生产的核心，它把各种专门技术集聚在一起，并与生产过程的信息相联系，成为生产系统的主导。从广义上说，数字制造是一个开放的制造系统。

第二节 数控机床

一、数控机床的定义

国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing——IFIP）第五技术委员会对数控机床所作的定义是：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。

二、数控机床的组成

数控机床通常由信息载体、输入输出装置、数控系统、强电控制装置、伺服驱动系统、位置反馈系统、机床等部分组成，其基本结构框图如图 1-2 所示。

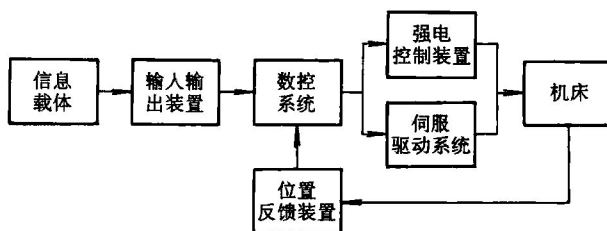


图 1-2 数控机床的组成结构



1. 信息载体

数控机床按照给定的零件加工程序运行，在零件加工程序中记录了加工该零件所必需的各种信息，包括零件加工的几何信息、工艺参数（进给量、主轴转速等）和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码存储在信息载体上，通过输入装置将信息输入到数控系统中。常用的信息载体有穿孔带、磁带和磁盘等。数控机床也可以采用操作面板上的按钮和键盘将加工信息直接输入，或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。高级的数控系统还可能包括一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 输入输出装置

输入装置的作用是将信息载体中的数控加工信息读入数控系统的内存储器。根据信息载体的不同，相应有不同的输入装置。早期使用光电阅读机对穿孔带进行阅读，以后大量使用磁带机和软盘驱动器。采用手动输入（MDI）方式，利用数控装置控制面板上的输入键直接将零件加工程序输入数控系统的内存储器。采用直接通信方式将 CAD/CAM 系统生成的数控加工程序输入数控系统，或利用 DNC 系统输入接口远程输入数控加工程序。

输出装置的作用是为操作人员提供必要的信息，如程序代码、切削用量、刀具位置、各种故障信息和操作提示等。常用的输出装置有显示器和打印机等，可对输出信息进行显示或打印。高档数控系统还可以用图形方式直观地显示输出信息。

3. 数控系统

数控系统是数控机床实现自动加工的核心，由硬件和软件组成。现代数控系统普遍采用通用计算机作为其主要硬件部分，包括 CPU、存储器、系统总线和输入输出接口等。软件部分主要是主控制系统软件，其控制方式为数据运算处理控制（机床运动行程量控制）和时序逻辑控制（机床运动开关量控制）两大类，主控制器内的插补运算模块根据读入的零件加工程序，通过译码、编译等信息处理后，进行相应的轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统位置、速度反馈信号比较，从而控制机床各个坐标轴的移动。而时序逻辑控制主要由可编程控制器 PLC 完成，它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判断，从而控制机床有条不紊地按序工作。

4. 强电控制装置

强电控制装置的主要功能是接受可编程控制器 PLC 输出的主轴变速、换向、启动或停止，刀具选择和更换，分度工作台的转位和锁紧，工件夹紧或松夹，切削液的开启或关闭等辅助操作信号，经功率放大直接驱动相应的执行元件，完成数控加工自动操作。



5. 伺服驱动系统

伺服驱动系统是数控系统与机床之间的电传动联系环节。它接受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定位运动，是数控机床最后的控制环节，因此，其伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度和表面加工质量。伺服驱动系统包括主轴伺服和进给伺服两个单元。主轴伺服单元接受来自 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。进给伺服单元在每个插补周期内接受数控系统的位移指令，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。伺服驱动系统的执行元件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

6. 位置反馈系统

位置反馈系统通过传感器检测伺服电动机的转角位移或数控机床工作台的直线位移，并转换成电信号传送到数控系统中，与指令位置进行比较后，由数控系统向伺服驱动系统发出指令，纠正所产生的误差。

7. 机床

机床指的是数控机床的机械结构。为了适应数控加工的特点，数控机床在整体布局、外观造型、主传动系统、进给传动系统、刀具系统及操作机构等方面都与普通机床有着很大的变化，其主要特点有：

- 1) 采用高效、高性能传动部件，如滚动丝杠副、直线滚动导轨副等。传动链短，结构简单，传动精度高。
- 2) 机床精度、静刚度、动刚度、热刚度高，能满足大余量切削和精密加工切削。
- 3) 有完善的刀具自动交换和管理系统。工件一次装夹后能完成多道加工工序。
- 4) 具有传动副传动间隙消除措施，保证了传动机构的传动精度和动态性能。
- 5) 采用移门结构的全封闭外罩壳，保证了加工操作的安全性。

三、数控机床的工作过程

数控机床的主要任务是利用数控系统进行刀具和工件之间相对运动的控制，完成零件的数控加工。图 1-3 显示了数控机床的主要工作过程。

1. 工作前准备

数控机床接通电源后，数控系统将对各组成部分的工作状况进行检查和诊断，并设置为初始状态。

2. 零件加工程序编制与输入

零件加工程序的编制可以是脱机编程，也可以是联机编程。前者利用计算机进行手工编程或自动编程，生成的数控程序记录在信息载体上通过系统输入装置