

国家骨干高职院校建设

机械制造与自动化专业系列教材

数控技术

■ 刘玲 主编
■ 胡笛川 主审

SHUKONG JISHU



化学工业出版社

国家骨干高职院校建设
机械制造与自动化专业系列教材

数 控 技 术

	刘 玲	主 编
姜明磊	雷 彪	副主编
刘 璐	任文柱	
	胡笛川	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书围绕数控系统在数控机床上的应用,比较全面地介绍了数控系统的基础知识、插补原理及数据处理、进给运动的控制、主轴驱动及控制、数控系统的可编程控制器与接口信号、数控系统的应用、典型数控系统与应用系统等内容。本书在内容选择上突出实用性、先进性;在编写方式上强调由浅入深,并力求全面、系统和重点突出。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控技术/刘玲主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 5
国家骨干高职院校建设机械制造与自动化专业系列教材
ISBN 978-7-122-19941-6

I. ①数… II. ①刘… III. ①数控技术-高等职业
教育-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 039593 号

责任编辑: 韩庆利	文字编辑: 谢蓉蓉
责任校对: 宋 玮	装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 7¼ 字数 171 千字 2014 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 20.00 元	版权所有 违者必究
--------------	-----------

前 言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、精密测量及现代机械制造等多种先进技术的机电一体化产品，是现代制造技术中不可缺少的生产工具。数控系统是数控机床的核心部件，各方面功能越来越完善，发展的速度也很快。目前，随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批数控应用型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育发展及数控应用型技术人才培养的需要，编写了本书。

本书围绕数控机床的核心技术——数控系统，全面、系统地讲述了数控系统的基本组成、各部分的主要功能和特点、工作原理等。重点在数控系统应用上，着重介绍了华中数控有限公司等典型数控系统的功能、特点及应用。

本书可作为高职高专、成人高校及本科举办的二级职业技术学院机械制造类专业教材，也可供从事数控技术应用的技术人员参考。

本书由刘玲任主编，由姜明磊、雷彪、刘璐、任文柱任副主编。王京、武艳慧、苏月、睢力芬参编。

本书由胡笛川教授审稿，提出了许多宝贵的意见和建议，编者对此表示衷心的感谢。

全书在编写过程中参考了近年来数控技术方面的诸多论著和教材，在此本书编者对参考文献中的各位作者深表谢意。

在本书的编写过程中，得到了武汉华中数控有限公司的支持和帮助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之数控技术发展迅速，本书难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编者

目 录

第一篇 任务开篇	1
任务一 数控技术的认知	1
分任务一 数控技术概况的了解	1
一、数控技术的背景与发展	1
二、以数控机床为基础的自动化生产系统	2
三、数控伺服系统的发展	3
四、数控技术的基本概念	4
分任务二 对常见数控系统的认知	13
一、FANUC 数控系统	13
二、SINUMERIK 数控系统	14
三、华中数控系统	14
思考题	15
第二篇 任务实施	16
任务二 数控装置工作过程的剖析	16
分任务一 数控加工程序的输入	16
一、程序编制的概念	16
二、数控代码（指令）和编程方法	16
分任务二 数控加工程序的数据处理	17
一、数控加工程序的译码	17
二、G 代码的译码分析	18
三、刀具补偿的计算	20
四、刀具半径补偿的实现方法	22
五、辅助信息处理	24
分任务三 数控技术插补原理及数据的处理	28
一、插补技术	28
二、插补算法	29
思考题	29
任务三 数控机床机械结构安装及调试	30
分任务一 主轴的驱动与控制	30
一、数控机床对主轴控制的要求	30
二、主轴驱动装置的特点	30

三、主轴电动机特性曲线	31
分任务二 主轴驱动装置的认知	32
一、通用变频器	32
二、伺服驱动主轴	32
三、主轴的分段无级调速及控制	36
四、自动换挡控制	37
五、自动换挡的实现方法	37
分任务三 主轴的准停控制	38
一、机械准停控制	39
二、电气准停控制	39
思考题	43
任务四 进给运动的控制	44
分任务一 进给伺服系统的认知	44
一、进给伺服系统的运动要求	44
二、伺服驱动系统的分类	44
分任务二 开环进给系统的控制与步进驱动	45
一、开环系统控制原理的认知	45
二、步进电动机的主要特性	47
三、步进电动机的驱动电源	48
四、步进电动机的选择	50
分任务三 位置检测装置的控制	50
一、位置检测元件的分类	50
二、旋转编码器	51
三、光栅尺	55
四、其他检测装置	60
五、位置反馈输入	61
分任务四 闭环进给系统与交流伺服系统的控制	62
一、闭环进给控制概述	62
二、交流伺服系统	64
三、全数字式伺服系统	68
四、直线电机	69
思考题	70
任务五 数控系统可编程控制器与接口信号的调试与应用	71
分任务一 数控机床 PLC 的认知	71
一、数控机床 PLC 的控制对象	71
二、PLC 的信号处理	71
三、数控机床 PLC 的形式	73
分任务二 PLC 开关量输入/输出接口的认知	75
一、输入/输出接口	75
二、输入/输出接口的应用	77

分任务三 PLC 程序在数控机床中的典型应用	79
一、主轴定向控制	80
二、主轴正反转及齿轮换挡控制	80
三、刀库自动选刀控制	82
四、润滑系统自动控制	85
思考题	88
任务六 华中数控系统的应用	89
一、华中数控系统概况	89
二、系统连接	90
三、系统的应用	106
思考题	106
参考文献	107

第一篇 任务开篇

任务一 数控技术的认知

任务描述

数控系统是现代机械制造系统的基础设备之一——数控机床的控制系统。本任务对数控系统的基本概念、基本组成、主要工作过程、分类方法和发展状况进行了介绍，并着重介绍了数控系统的主要工作过程和全功能数控系统的特点。

能力目标

1. 了解数控技术的发展概况。
2. 认识常见的数控机床的结构及分类。

分任务一 数控技术概况的了解

一、数控技术的背景与发展

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机，6 年后，即在 1952 年，计算机技术应用到了机床上，在美国诞生了第一台数控机床。从此，传统机床产生了质的变化。

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出计算机控制机床的设想。1949 年，该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，开始数控机床研究，并于 1952 年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床，不久即开始正式生产，于 1957 年正式投入使用。这是制造技术发展过程中的一个重大突破，标志着制造领域中数控加工时代的开始。

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统，到现在已走过了 62 年历程。数控系统由当初的电子管式起步，经历了以下几个发展阶段。

分立式晶体管式—小规模集成电路式—大规模集成电路式—小型计算机式—超大规模集成电路—微机式的数控系统。到 20 世纪 80 年代，总体发展趋势是：数控装置由 NC 向 CNC 发展；广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统；提高系统的集成度，缩小体积，采用模块化结构，便于裁剪、扩展和功能升级，满足不同类型数控机床的需要；驱动装置向交流、数字化方向发展；CNC 装置向人工智能化方向发展；采用新型的自动编程系统；增强通信功能；数控系统可靠性不断提高。总之，数控机床技术不断发展，功能越来越完善，使用越来越方便，可靠性越来越高，性能价格比也越来越高。智能化、开放式、网络化成为当

代数控系统发展的主要趋势。

（一）智能化

数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展，数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理，不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能，而且人机界面极为友好，并具有故障诊断专家系统使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置，能自动识别负载并自动优化调整参数。直线电机驱动系统已实用化。

（二）开放式

进入 20 世纪 90 年代以来，由于计算机技术的飞速发展，推动数控机床技术更快地更新换代。世界上许多数控系统生产厂家利用 PC 机丰富的软硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性，并向智能化、网络化方向大大发展。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上，面向机床厂家和最终用户，通过改变、增加或剪裁结构对象（数控功能）形成系列化，并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中，快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统，形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术，如多媒体技术，实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。数控系统继续向高集成度方向发展，每个芯片上可以集成更多个晶体管，使系统体积更小，更加小型化、微型化，可靠性大大提高。利用多 CPU 的优势，实现故障自动排除；增强通信功能，提高进线、联网能力。开放式体系结构的新一代数控系统，其硬件、软件和总线规范都是对外开放的，由于有充足的软、硬件资源可供利用，不仅使数控系统制造商和用户进行的系统集成得到有力的支持，而且也为用户的二次开发带来极大方便，促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用，既可通过升档或剪裁构成各种档次的数控系统，又可通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统，开发生产周期大大缩短。这种数控系统可随 CPU 升级而升级，结构上不必变动。

（三）网络化

网络化数控装备是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求，也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机，反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

总之，新一代数控系统技术水平大大提高，促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展，使柔性自动化加工技术水平不断提高。

二、以数控机床为基础的自动化生产系统

加工中心、网络控制技术、信息技术的发展，为单机数控向计算机控制的多机控制系统发展创造了必要的条件。已经出现的计算机直接数控系统（DNC）、柔性制造系统（FMS）及计算机集成制造系统（CIMS），就是以数控机床为基础的自动化生产系统。

（一）计算机直接数控系统（DNC）

计算机直接数控系统就是用一台通用计算机直接控制和管理一群数控设备进行零件加工

或装配的系统,因此,也称它为计算机群控系统。

在 DNC 系统中,各台数控机床都各自有独立的数控系统,并与中央计算机组成计算机网络,实现分级控制管理。中央计算机不仅用于编制零件的程序以控制数控机床的加工过程,而且能控制工件与刀具的输送,同时还具有生产管理、工况监控及刀具寿命管理等能力,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线。

(二) 柔性制造单元 (FMC) 和柔性制造系统 (FMS)

柔性制造单元是由加工中心 (MC) 与工件自动交换装置 (APC) 组成,同时数控系统还增加了自动检测与工况自动监控等功能,如工件尺寸测量补偿、刀具损坏和寿命监控等。柔性制造单元可作为组成柔性制造系统的基础,也可用作独立的自动化加工设备。

柔性制造系统是在 DNC 基础上发展起来的一种高度自动化加工生产线,由数控机床、物料和工具自动搬运设备、产品零件自动传输设备、自动检测和试验设备等组成。这些设备及控制分别组成了加工系统、物流系统和中央管理系统。

柔性制造系统是当前机械制造技术发展的方向,能解决机械加工中高度自动化和高度柔性化的矛盾,使两者有机地结合于一体。

(三) 计算机集成制造系统 (CIMS)

CIMS 的核心是一个公用的数据库,对信息资源进行存储与管理,并与各个计算机系统进行通信。在此基础上,需要三个计算机系统,一是进行产品设计与工艺设计的计算机辅助设计与计算机辅助制造系统,即 CAD/CAM;二是计算机辅助生产计划与计算机生产控制系统,即 CAP/CAC,此系统对加工过程进行计划、调度与控制,FMS 是这个系统的主体;三是计算机工厂自动系统,它可以实现产品的自动装配与测试,以及材料的自动运输与处理等。在上述三个计算机系统外围,还需要利用计算机进行市场预测,编制产品发展规划,分析财政状况和进行生产管理与人员管理。虽然 CIMS 涉及的领域相当广泛,但数控机床仍然是 CIMS 不可缺少的基本工作单元。

数控加工是现代制造技术的基础,这一发明对于制造行业而言,具有划时代的意义和深远的影响。世界上主要工业发达国家都十分重视数控加工技术的研究和发展。经过几十年的发展,目前的数控机床已实现了计算机控制并在工业界得到广泛应用,在模具制造行业的应用尤为普及。针对车削、铣削、磨削、钻削和刨削等金属切削加工工艺及电加工、激光加工等特种加工工艺的需求,开发了各种门类的数控加工机床。数控机床种类繁多,一般将数控机床分为以下 15 大类:数控车床(含有铣削功能的车削中心),数控铣床(含铣削中心),数控镗床(以铣镗削为主的加工中心),数控磨床(含磨削中心),数控钻床(含钻削中心),数控拉床,数控刨床,数控切断机床,数控齿轮加工机床,数控激光加工机床,数控电火花线切割机床,数控电火花成型机床(含电加工中心),数控板材成型加工机床,数控管料成型加工机床,其他数控机床。

三、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如下。

(一) 全数字式控制系统

伺服系统传统的位置控制是将位置控制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。

(二) 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。

(三) 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。

(四) 前馈控制

传统的伺服系统是将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令,经伺服驱动装置拖动伺服电动机,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,使跟踪滞后误差大为减小。

(五) 机械静、动摩擦的非线性控制技术

机床的动、静摩擦的非线性会导致爬行现象。除采取降低静摩擦的措施外,新型的伺服系统还具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性的控制功能。

四、数控技术的基本概念

(一) 数控系统的基本概念

数控是数字控制(numerical control, NC)的简称。数控系统是用数字控制技术实现的自动控制系统,其被控对象可以是各种生产过程。

任何生产都有一定的过程,采用数字控制技术,生产过程被用某种语言编写的程序来描述,以数字形式送入计算机或专用计算装置,利用计算机的高速数据处理能力,识别出该程序所描述的生产过程,通过计算和处理,将此程序分解为一系列的动作指令,输出并控制生产过程中相应的执行对象,从而可使生产过程能在人不干预或少干预的情况下自动进行,实现生产过程的自动化。

根据不同的被控对象,有各种数控系统存在,其中,最早产生的、目前应用最为广泛的是机械加工行业中的各种机床数控系统,即以加工机床为被控对象的数字控制系统,例如数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控加工中心等。本书主要以机床数控系统为对象,讨论数控系统的工作原理,因此,书中的数控系统具体是指机床数控系统。

数控系统与被控机床本体的结合体称为数控机床。数控机床是具有高附加值的技术密集型产品,实现了高度的机电一体化。它集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术为一体,使传统的机械加工工艺发生了质的变化。这个变化的本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化操作。

(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、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。

数控系统是严格按照外部输入的程序对工件进行自动加工的,将从外部输入的、描述机床加工过程的程序称为数控加工程序,它是用字母、数字和其他符号的编码指令规定的程序。数控加工程序按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息,有零件加工的轨迹信息

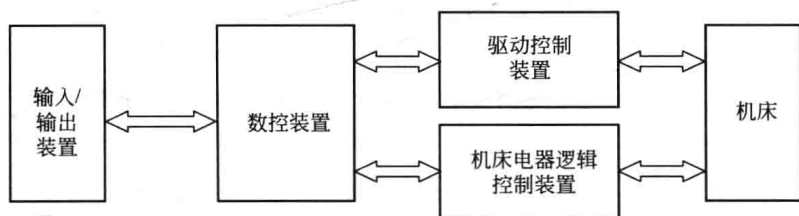


图 1-1 数控系统组成的一般形式

（如几何形状和几何尺寸等）、工艺信息（如进给速度和主轴转速等）及开关命令（如换刀、冷却液开/关和工件装/卸等）。加工程序常常记录在各种信息载体上。信息载体又称为控制载体，其形式一般是：磁带、磁盘等可以记载二进制信息的媒体。通过各种输入装置，信息载体上的数控加工程序将被数控装置所接收。

输入装置将数控加工程序等各种信息输入数控装置，输入内容及数控系统的工作状态可以通过输出装置观察。常用的输入/输出装置有磁盘驱动器、CRT 及各种显示器件、计算机通信接口等。

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是：正确识别和解释数控加工程序，对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，完成各种输入、输出任务。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置或计算机数控装置。前者称为硬件数控装置或 NC 装置，其数控功能由硬件逻辑电路实现；后者称为 CNC 装置，其数控功能由硬件和软件共同完成。数控装置将数控加工程序信息按两类控制量分别输出：一类是连续控制量，送往驱动控制装置；另一类是离散的开关控制量，送往机床电器逻辑控制装置。控制机床各组成部分实现各种数控功能。

驱动控制装置位于数控装置和机床之间，包括进给轴伺服驱动装置和主轴驱动装置，进给轴伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等部分组成，它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床受控部件（如机床移动部件和主轴头等）。主轴驱动装置主要由速度控制单元控制。电动机可以是各种步进电动机、直流电动机或交流电动机。

机床电器逻辑控制装置也位于数控装置和机床之间，接受数控装置发出的开关命令，主要完成机床主轴选速、启停和方向控制功能、换刀功能、工件装夹功能，冷却、液压、气动、润滑系统控制功能及其他机床辅助功能。其形式可以是继电器控制线路或可编程序控制器。

根据不同的加工方式，机床本体可以是车床、铣床、钻床、镗床、磨床、加工中心及电加工机床等。与传统的通用机床相比，数控机床本体的外部造型、整体布局、传动系统、刀具系统及操作机构等方面都应该符合数控的要求。

数控机床配有各种辅助装置，其作用是配合机床完成对零件的加工。如切削液或油液处理系统中的冷却或过滤装置、油液分离装置、吸尘吸雾装置、润滑装置及辅助主机实现传动和控制的气动或液动装置等。除上述通用辅助装置外，从目前数控机床技术现状看，至少还有五类辅助装置是数控机床应配备的：对刀仪，自动编程机，自动排屑器，物料储运及上下料装置及交流稳压电源。

当数控系统的一般组成形式中的数控装置采用计算机数控装置（CNC 装置）时，该数控系统就称为计算机数控系统。目前，在市场上以 NC 装置为核心的硬件数控系统已日益减

少，取而代之的是以 CNC 装置为核心的计算机数控系统，且绝大多数 CNC 装置都采用微型计算机装置。

计算机数控系统由硬件和软件共同完成数控任务，因此，其组成形式更加灵活，其基本组成可以图 1-2 所示的系统为例。

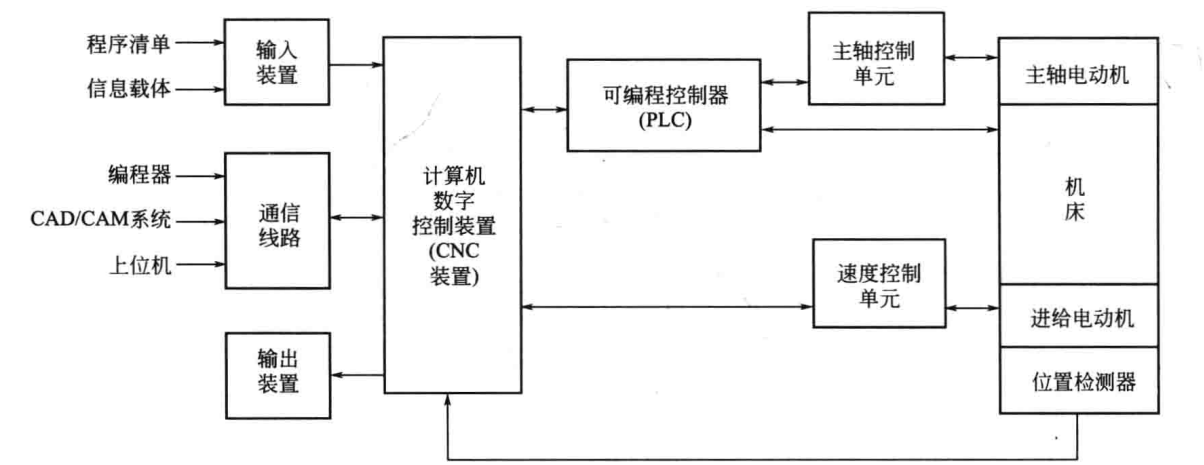


图 1-2 计算机数控系统的组成

它具有数控系统一般组成形式的各个部分，此外，现代数控装置不仅能通过读取信息载体方式，还可以通过其他方式获得数控加工程序。如通过通信方式输入其他计算机程序编辑器、自动编程器、CAD/CAM 系统或上位机所采用键盘输入相应的信息，数控装置本身就能自动生成数控加工程序。

微机数控装置在软件作用下，可以实现各种硬件数控装置所不能完成的功能，如图形显示、系统诊断、各种复杂的轨迹控制算法和补偿算法的实现、智能控制的实现、通信及联网功能等。

现代数控系统采用可编程控制器（PLC）取代了传统的机床电器逻辑控制装置，即继电器控制线路。用 PLC 控制程序实现数控机床的各种继电器控制逻辑。PLC 可位于数控装置之外，称为独立型 PLC；也可以与数控装置合为一体，称为内装型 PLC。

（三）数控系统的主要工作过程

数控系统的主要任务是进行刀具和工件之间相对运动的控制，图 1-3 初步描绘了数控系统的主要工作过程。

在接通电源后，微机数控装置和可编程序控制器都将对数控系统各组成部分的工作状态进行检查和诊断，并设置初态。

对第一次使用的数控装置，还需要进行机床参数设置。如指定系统控制的坐标轴；指定坐标计量单位和分辨率；指定系统中配置可编程序控制器的状态（有/无配置，是独立型还是内装型）；指定系统中检测器件的配置（有/无检测器件，检测器件的类型和有关参数）；工作台各轴行程的正负向极限的设置等。通过机床参数的设置，使数控装置适应具体数控机床的硬件构成环境。

当数控系统具备了正常工作的条件时，开始进行加工控制信息的输入。

工件在数控机床上的加工过程由数控加工程序来描述。按管理形式不同，编程工作可以在专门的编程场所进行，也可在机床前进行。对前一种情况，数控加工程序在加工准备阶段利用专门的编程系统产生，保存到控制介质（如纸带、磁带或磁盘）上，再输入数控装置，

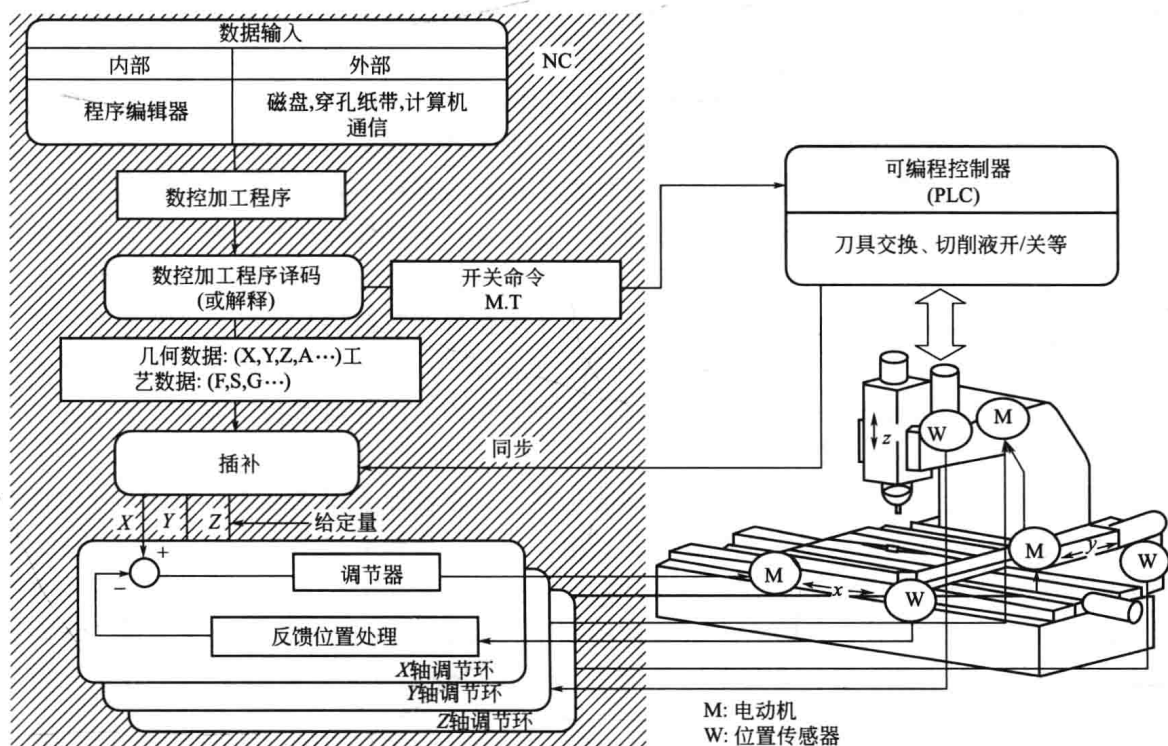


图 1-3 数控系统的主要工作过程

或者采用通信方式直接传输到数控装置，操作员可按需要，通过数控面板对读入的数控加工程序进行修改；对后一种情况，操作员直接利用数控装置本身的编辑器进行数控加工程序的编写和修改。

输入给数控装置的加工程序必须适应实际的工件和刀具位置，因此在加工前还要输入实际使用刀具的刀具参数，及实际工件原点相对机床原点的坐标位置。

加工控制信息输入后，可选择一种加工方式（手动方式或自动方式的单段方式和连续方式）启动加工运行，此时，数控装置在系统控制程序的作用下，对输入的加工控制信息进行预处理，即进行译码和预计算（刀补计算、坐标变换等）。

系统进行数控加工程序译码（或解释）时，将其区分成几何的、工艺的数据和开关功能。几何数据是刀具相对工件的运动路径数据，如有关 C 功能和坐标指定等，利用这些数据可加工出要求的工件几何形状；工艺数据是主轴转速和进给速度等功能，即 F、S 功能和部分 G 功能；开关功能是对机床电器的开关命令，例如主轴启/停、刀具选择和交换、冷却液的启/停、润滑液的启/停等辅助 M 功能指令等。

由于在编写数控加工程序时，一般不考虑刀具的实际几何数据，所以，数控装置根据工件几何数据和在加工前输入的实际刀具参数，要进行相应的刀具补偿计算，简称刀补计算，即使刀架相关点相对实际刀具的切削点进行平移，具体的刀补计算有刀具长度补偿和刀具半径补偿等。如前所述，在数控系统中存在着多种坐标系，根据输入的实际工件原点，加工程序所采用的各种坐标系等几何信息，数控装置还要进行相应的坐标变换。

数控装置对加工控制信息预处理完毕后，开始逐段运行数控加工程序。

根据所要产生的运动轨迹，将各曲线段起点、终点及其连接方式（如直线和圆弧等）等主要几何数据给出，数控装置中的插补器能根据已知的几何数据进行插补处理。所谓插补一

般是指已知曲线上的某些数据,按照某种算法计算已知点之间的中间点的方法,又称“数据密化”计算的方法。在数控系统中,插补具体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,计算出曲线段起点、终点之间的一系列中间点,分别向各个坐标轴发出方向、大小和速度都确定的协调的运动序列命令,通过各个轴运动的合成,产生数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。按插补算法不同,有多种不同复杂程度的插补处理。一般按照插补结果,插补算法被分为脉冲增量插补法和数字采样插补法两大类。前者的插补结果是分配给各个轴的进给脉冲序列;后者的插补结果是分配给各个轴的插补数据序列。

由插补器向各个轴发出的运动序列命令为各个轴位置调节器的命令值,位置调节器将其与机床上位置检测元件测得的实际位置相比较,经过调节,输出相应的位置和速度控制信号,控制各轴伺服系统驱动机床各个轴运动,使刀具相对工件正确运动,加工出要求的工件轮廓。

由数控装置发出的开关命令在系统程序的控制下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,适时输出给机床控制器。在机床控制器中,开关命令和由机床反馈的回答信号一起被处理和转换为对机床开关设备的控制命令。在现代的数控系统中,多数机床控制器都由可编程控制器(PLC)取而代之,使大多数机床控制电路都用 PLC 中可靠的开关实现,从而避免相互矛盾的、对机床和操作人员有危险的现象(如主轴还没有旋转之前的“进给允许”)的出现。

在机床的运行过程中,数控系统要随时监视数控机床的工作状态,通过显示部件及时向操作人员提供系统工作状态和故障情况。此外,数控系统还要对机床操作面板进行监控,因为机床操作面板的开关状态可以影响加工的状态,需及时处理有关信号。

(四) 数控系统的分类

数控系统的分类方法有很多种,下面对常见的分类方法做一介绍。

1. 按被控机床运动轨迹分类

(1) 点位控制数控系统 这类控制系统只控制工具相对工件从某一加工点移到另一个加工点之间的精确坐标位置,而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制,且移动过程中不作任何加工(见图 1-4)。通常采用这一类系统的设备有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

(2) 直线控制数控系统 这类系统不仅要控制点与点的精确位置,还要控制两点之间的工具移动轨迹是一条直线,且在移动中工具能以给定的进给速度进行加工,其辅助功能要求也比点位控制数控系统多,如它可能被要求具有主轴转数控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。采用此类控制方式的设备主要有简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控系统 这类系统能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制,即不仅控制每个坐标的行程位置,同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合,精确地协调起来连续进行加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面。这类数控系统的辅助功能亦比前两类都多。采用此类控制方式的设备有数控车床、铣床、加工中心、电加工机床和特种加工机床等。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数不同,又可以分为下面几种形式。

① 二轴联动 主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面。如图 1-5 所示。

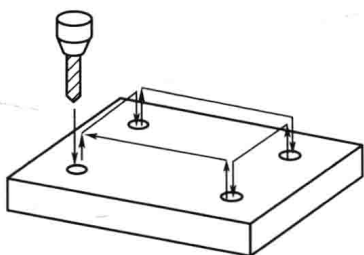


图 1-4 数控机床的点位运动轨迹

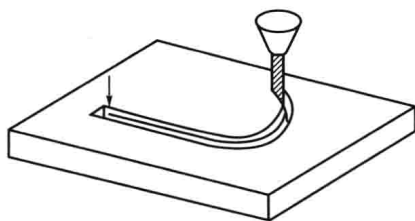


图 1-5 数控铣床的轮廓加工轨迹

② 二轴半联动 主要用于三轴以上机床的控制，其中两根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图 1-6 所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

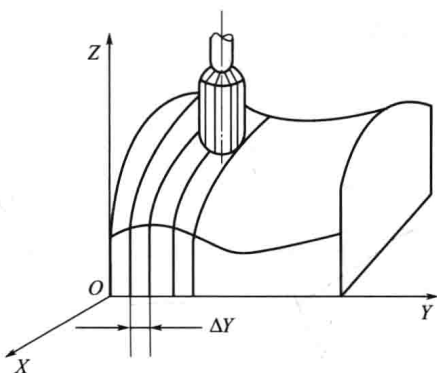


图 1-6 二轴半联动的曲面加工

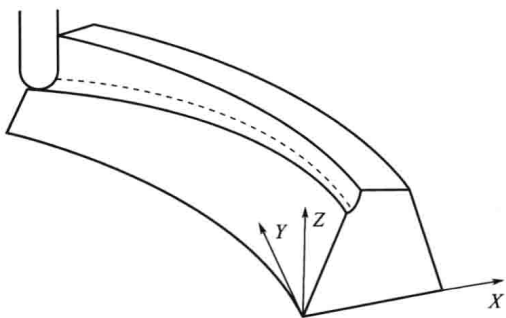


图 1-7 三轴联动的曲面加工

③ 三轴联动 一般分为两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，比较多的用于数控铣床、加工中心等，如图 1-7 所示用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向（ Z 轴）、横向（ X 轴）两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴（ C 轴）联动。

④ 四轴联动 同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图 1-8 为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

⑤ 五轴联动 除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-9 所示。例如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的光滑性，提高其加工精度和加工效率，减小被加工表面的粗糙度。

2. 按伺服系统分类

按照伺服系统的控制方式，可以把数控系统分为以下几类。

(1) 开环控制数控系统 这类数控系统不带检测装置，也无反馈电路，以步进电动机为驱动元件，如图 1-10 所示。CNC 装置输出的指令进给脉冲经驱动电路进行功率放大，转换为控制步进电动机各定子绕组依此通电/断电的电流脉冲信号，驱动步进电动机转动，再经机床传动机构（齿轮箱、丝杠等）带动工作台移动。这种方式控制简单，价格比较低廉，被广泛应用于经济型数控系统中。

(2) 闭环控制数控系统 这类数控系统带有位置检测反馈装置，以直流或交流电动机为

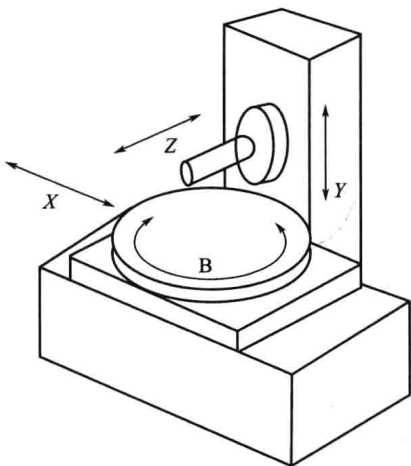


图 1-8 四轴联动的数控机床

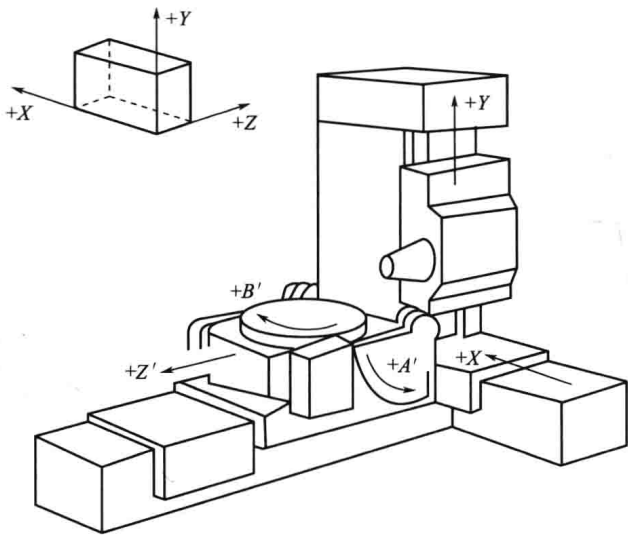


图 1-9 五轴联动的加工中心

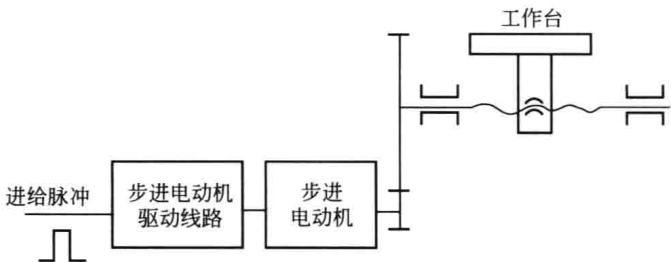


图 1-10 开环控制数控机床的工作原理

驱动元件。按照位置检测装置安装位置的不同，闭环控制数控系统又可以进一步分为半闭环控制、全闭环控制和混合控制数控系统三类。

① 半闭环控制数控系统 位置检测元件被安装在电动机轴端或丝杠轴端，通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际运行位置（直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（或位移）相比较，用差值进行控制，其控制框图如图 1-11 所示。由于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及机床工作台这些大惯性环节，由这些环节造成的误差不能由环路所矫正，其控制精度不如闭环控制数控系统，但其调试方便，可以获得比较稳定的控制特性，因此在实际应用中，这种方式被广泛采用。

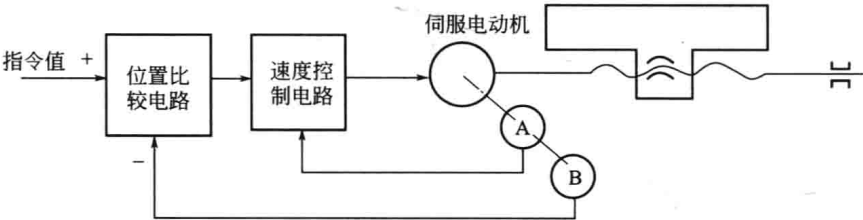


图 1-11 半闭环控制数控系统框图

② 全闭环控制数控系统 位置检测装置安装在机床工作台上，用以检测机床工作台的实际运行位置（直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（或位移）相比较，用差值进行控制，其控制框图如图 1-12 所示。这类控制方式的位置控制精度很高，但由于它