



主 编 郭艳玲 王海滨 徐达丽
主 审 王振龙

机床数控系统



东北林业大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

机床数控系统 / 郭艳玲, 王海滨, 徐达丽主编. --
哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2011. 2
ISBN 978 - 7 - 81131 - 781 - 7

I. ①机… II. ①郭… ②王… ③徐 III. ①数控机
床—数控系统 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 025605 号

责任编辑: 卜彩虹

封面设计: 彭 宇



NEFUP

机床数控系统

Jichuang Shukong Xitong

主编 郭艳玲 王海滨 徐达丽

主审 王振龙

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东 北 林 业 大 学 印 刷 厂 印 装

开本 787 × 960 1/16 印张 15.25 字数 268 千字

2011 年 2 月 第 1 版 2011 年 2 月 第 1 次 印 刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978 - 7 - 81131 - 781 - 7

定价: 31.00 元

前 言

机械制造业是国民经济的基础产业,先进制造技术是传统制造业的技术支撑和发展趋势,是创造社会财富的主要手段,谁掌握先进制造技术,谁就能够占领市场。而数控技术是先进制造技术的基础技术和共性技术,已成为一个国家制造业水平的重要标志之一。

近年来,随着机电一体化的不断发展,数控机床的应用日趋普及,机械制造业越来越多地采用数控技术改善产品的生产加工方式,社会对相应的技术人才的需求也越来越多。工厂、企业急需大批既熟悉数控加工工艺,又通晓数控编程技术的人才,特别是具备综合基础、能够解决数控技术工程实际的人才更为紧缺。为此,本书以数控加工工艺和编程指令为重点,以数控技术为主线,逐步展开,阐述数控加工工艺、数控编程加工指令、插补控制原理、机床控制系统、伺服驱动系统等内容。

各章具体内容如下:第1章介绍数控机床产生的背景、发展现状和发展趋势,数控机床的定义和组成、分类及特点;第2章介绍数控加工工艺分析,数控加工工艺路线设计等;第3章介绍了数控编程命令,并辅以大量实例;第4章主要阐述数控代码后置处理的工作流程,译码和程序转换的原理,数控系统刀具补偿的作用、原理和过程;第5章介绍了数控系统程序编制中的数值计算,包括轮廓基点的计算、非圆线节点计算、刀位轨迹计算等内容;第6章主要介绍数控系统的插补原理,结合实例介绍了逐点比较法、数字积分法、直线函数法和扩展 DDA 法的插补原理、插补流程;第7章介绍数控机床控制系统,主要包括 CNC 控制系统的硬件结构和软件结构以及 CNC 系统中的可编程控制器;第8章介绍了数控机床的伺服驱动系统,阐述各种驱动电机的结构分类、工作原理和工作特性,并介绍了几种控制伺服系统的控制原理;第9章结合具体实例,简单介绍开放式数控系统的发展现状、系统分类和体系结构。

本书在编写的过程中,力求叙述简洁、清晰、易于理解,并辅以表格、图片,图文并茂,同时安排大量案例教学,使广大读者易于理解,容易接受。本书的特点是:①全书以数控技术为主线,各章内容既相互联系,又相对独立;②结构合理,层次清晰,重点突出,通俗易懂。本书既可作为高等工科院校机械类研究生的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成

2 机床数控系统

人院校数控专业的教材，还可作为工程技术人员的参考书籍。

本书由东北林业大学的郭艳玲、王海滨、徐达丽主编。具体分工如下：第1、4章由郭艳玲编写，第3章由王海滨编写，第2、5章由徐达丽编写，第6、9章由东北林业大学的应杉编写，第7章由黑龙江民族职业学院的祝虹媛编写，第8章由黑龙江省东方学院的朱里贵编写，全书由郭艳玲统稿。哈尔滨工业大学的王振龙教授审阅了全书，并提出了宝贵意见。在本书编写的过程中，党辉、周吉、赵小强、赵石磊、李芝茹、时本钢等人参与了部分资料的整理工作，在此谨致谢意！

本书在编写过程中参阅了大量的相关文献及参考资料，在此向有关作者表示感谢！我们还查阅了一些网络文献，有些没能在参考文献中标注，在此深表歉意。由于作者水平所限，书中的错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2010年10月

目 录

1 数控系统概述	(1)
1.1 数控机床的产生与发展	(1)
1.2 数控机床的组成和工作原理	(5)
1.3 数控机床的分类及特点	(9)
1.4 数控机床的发展趋势	(16)
思考题与习题	(19)
2 数控编程工艺基础	(20)
2.1 基本概念	(20)
2.2 数控加工工艺分析	(22)
2.3 数控加工工艺路线设计	(23)
2.4 数控加工工序的设计	(31)
2.5 对刀点与换刀点的选择	(44)
2.6 数控加工工艺文件的填写	(48)
思考题与习题	(54)
3 数控系统加工程序编制	(55)
3.1 数控编程基础知识	(55)
3.2 数控程序结构与规则	(66)
3.3 常用准备功能指令分类介绍	(76)
3.4 数控加工编程举例	(100)
思考题与习题	(115)
4 数控代码的处理	(116)
4.1 译码和程序转换	(116)
4.2 刀具补偿	(122)
思考题与习题	(133)
5 程序编制中的数值计算	(134)
5.1 数值计算的主要内容	(134)
5.2 直线和圆弧组成零件轮廓基点的计算	(137)
5.3 非圆曲线节点计算	(138)
5.4 刀位轨迹的计算	(146)

2 机床数控系统

思考题与习题	(148)
6 数控系统插补原理	(149)
6.1 插补方法概述	(149)
6.2 脉冲增量插补法	(151)
6.3 数据采样插补法	(163)
思考题与习题	(170)
7 机床控制系统	(171)
7.1 概述	(171)
7.2 CNC 硬件结构	(178)
7.3 CNC 软件结构	(182)
7.4 CNC 系统中的可编程控制器	(187)
思考题与习题	(194)
8 伺服驱动系统	(196)
8.1 概述	(196)
8.2 伺服系统驱动元件	(200)
8.3 步进式伺服控制系统	(213)
8.4 脉冲比较伺服控制系统	(216)
8.5 幅值比较伺服控制系统	(218)
8.6 相位比较伺服控制系统	(219)
8.7 全数字控制伺服系统	(223)
思考题与习题	(224)
9 开放式数控系统	(225)
9.1 开放式数控系统的基本特征	(225)
9.2 开放式数控系统的类型	(226)
9.3 开放式数控系统实例	(228)
思考题与习题	(234)
参考文献	(235)

1 数控系统概述

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产力的迅速发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求,机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求的重要措施之一。这不仅关系到提高产品质量,提高生产率,降低生产成本,还关系到改善生产者的劳动条件。

许多企业广泛采用了自动机床、组合机床和以专用机床为主体的自动生产线,用多刀、多工位和多面同时加工,形成了大批量生产方式,实现了单一零件产品的高效率和高度自动化的生产。尽管这种生产方式需要巨大的初始投资和很长的生产准备周期,但在大批量的生产条件下,由于分摊在每一个加工零件上的加工费用很少,经济效益仍然是十分显著的,即所谓的规模效益。但是,在机械制造工业中并不是所有的产品都具有很大的批量,单件与小批生产的零件仍然占机械加工总量的80%左右。尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械和军工等产品,不仅加工批量小,而且加工的零件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍采用专业化程度很高的自动生产线来加工这类产品的零件,就显得很不合理。因此,为了提高企业产品的市场份额,即便是大量生产的企业也必须改变产品长期一成不变的传统做法,以适应用户的个性化需要。这样,“刚性”的自动化生产方式在批量生产中日益暴露出其不适应性。

多年来已经使用的各类仿形加工机床部分地解决了中小批量复杂零件的自动加工,但在更换零件时必须制造靠模和调整机床。这不但耗费了大量的手工劳动,增加了生产准备周期,而且靠模误差的影响使加工零件的精度很难达到较高的要求。

20世纪40年代世界上诞生了第一台电子计算机,为数控技术的出现奠定了基础。1948年美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样

板的新概念，并受美国空军的委托与麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所进行合作研制，于1952年研制成功了世界上第一台采用专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果，以后又经过改进，于1955年实现了产业化，并批量投放市场。从此这种用计算机以数字指令方式控制的机床便应运而生，而且以惊人的速度向前发展，成为一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁改型的“柔性”数字控制机床，后来又发展为计算机数控（Computer Numerical Control, CNC）机床。

1.1.2 数控系统的发展

数控机床的核心是数控系统。随着微电子技术和计算机技术的快速进步和发展，在短短几十年的时间内，数控系统经历了以下几代发展变化。

（1）第一代数控系统，即电子管数控系统。随着电子技术的发展，1946年世界上第一台电子计算机问世，由此掀开了信息自动化的新篇章。1948年美国的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司（Parsons Co.）在制造直升飞机叶片轮廓检验样板的机床时，提出了采用电子计算机对加工轨迹进行控制和数据处理的设想，后来得到美国空军的支持，并与美国麻省理工学院（MIT）合作，于1952年研制出第一台三坐标数控铣床。帕森斯的设想本身就考虑到刀具直径对加工路径的影响，使得加工精度达到 $\pm 0.0015\text{in}$ （这在当时，水平是相当高的），因而帕森斯获得了发明专利。1954年底，美国本迪克斯公司（Bendix Co.）在帕森斯专利的基础上生产出了第一台工业用的数控机床。这时数控机床的控制系统（专用电子计算机）采用的是电子管，其体积庞大，功耗高，仅在一些军事部门中承担普通机床难以加工的复杂形状零件，这是第一代数控系统。

（2）第二代数控系统，即晶体管数控系统。1959年晶体管出现，电子计算机应用晶体管元件和印刷电路板，体积大大缩小。1959年克耐·杜列克公司（Keaney & Trecker Co.，简称K&T公司）在数控机床床上设置刀库，并在刀库中装有丝锥、钻头、铰刀等刀具，根据穿孔带的指令自动选择刀具，并通过机械手将刀具装在主轴上，以缩短刀具的装卸时间和减少零件的定位装夹时间。人们把这种带自动交换刀具的数控机床称为加工中心（Machining Center，简称MC）。加工中心的出现，把数控机床的应用推上了一个更高的层次，它一般都集铣、钻、镗于一身，为以后立式和卧式加工中心、车削中心、磨削中心、五面体加工中心、板材加工中心等的发展打下了基础。目前，美、日、德等工业发达国家的加工中心产量几乎占数控机床产量

的 25% 以上,今天加工中心已成为市场非常畅销的一个数控机床品种。

(3) 第三代数控系统,即集成电路数控系统。20 世纪 60 年代,出现了集成电路,使得数控系统发展到第三代。以上三代数控系统,都属于硬逻辑数控系统(称为 NC)。由于点位控制的数控系统比轮廓控制的数控系统要简单得多,在该阶段,点位控制的数控机床得到大发展,有资料统计,到 1966 年,实际使用的 6 000 台数控机床中,85% 是点位控制的数控机床。1967 年英国 Mollin Co. 将 7 台机床用计算机集中控制,组成 Moilin24 系统。该系统首开柔性制造系统(FMS)的先河,能执行生产调度程序和数控程序,具有工件储存、传送和检验自动化的功能,能加工小于 300 mm × 300 mm 的工件,适合于几件到 100 件的小规模生产。

(4) 第四代数控系统,即小型计算机数控系统。随着计算机技术的发展,小型计算机应用于数控系统机床中,由此组成的数控系统称为计算机数控(CNC)系统,数控系统进入第四代。

(5) 第五代数控系统,即微型计算机数控系统(MNC)。20 世纪 70 年代初,微处理机出现,美、日、德等国都迅速推出了以微处理机为核心的数控系统,这些数控系统统称为第五代数控系统(MNC,通称为 CNC)。自此,开始了数控机床大发展的时代。

进入 20 世纪 80 年代,微处理机升档更加迅速,极大地促进了数控机床向柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell,即 FMC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,即 FMS)方向发展。并奠定了向规模更大、层次更高的生产自动化系统,如计算机集成制造系统(CIMS)、自动化工厂(FA)方向发展的坚实基础。

(6) 第六代数控系统,即基于 PC 机的开放式 CNC 系统。开放式数控系统具有可扩展、可控制的特点,其数控系统的设计可采用全新设计和扩展设计两种途径。全新设计指从系统体系结构设计着手,独立提出系统设计的技术规范,并依据独立技术规范进行硬件系统和软件系统的设计。美国的 NGC、OMAC 计划及欧盟的 OSACA 计划,都采用了全新设计的方案。开放式数控系统是对封闭式数控系统的巨大挑战,但从它提出后十多年里,虽然西方各工业发达国家投入了大量的人力和物力,但由于研究开发计划庞大、所涉及的关系复杂、技术难度大等原因,至今仍没有在市场上占据重要份额。

在全新设计开放式控制系统进展缓慢时,通用 PC 的技术性能却在迅速提升,硬件、软件资源日益丰富,工业 PC 的可靠性也在不断增强,而价格则持续下降;PC 体系结构已成为事实上的微型计算机标准,应用面越来越

广。由于 PC 为插卡式结构,为构造开放式体系结构数控系统搭建了理想的平台,因此,人们很快就将开放式数控系统的着眼点转移到 PC 扩展设计方面,即以工业 PC 硬件体系结构和通用实时操作系统为基础,扩展相应的板卡和数控应用软件构成基于 PC 的开放式数控系统。20 世纪 90 年代初,Ampro computer 公司策略发展部行政副总裁 Pick Lehrbaum 首先提出“利用 PC 体系结构,设计新一代的嵌入式应用”。不久,Software Development system 的 James S. challenger 又提出“windows 和嵌入式计算机技术的融合”,主张利用现有 PC 的软硬件规范设计新一代数控系统。德国、美国、日本等也都相继开发了基于 PC 的数控系统。基于 PC 扩展设计开放式数控系统思路的提出,极大地推动了开放式数控系统的进步和发展,基于 PC 体系结构和软、硬件规范设计新一代开放式数控系统成为数控系统开放的重要途径,也是迄今为止的最佳选择。

1.1.3 我国数控技术的发展历史与现状

中国关于数控技术的研究始于 1958 年。由于国产元、器件不配套,加之工艺和技术不够成熟,直到 20 世纪 60 年代末都处于研制开发阶段。20 世纪 60 年代末我国研制成功晶体管数控系统并用于生产,如数控线切割机、非圆齿轮插齿机、数控铣床等。但我国研制的数控机床的品种和数量都很少,数控系统的稳定性及可靠性尚不过关,没有在生产中广泛应用。

20 世纪 70 年代至 80 年代初,国内数控技术的发展总体步入徘徊期。1973~1976 年,我国先后召开了三次全国性的数控攻关会议,全国有 200 多个单位参加技术攻关,但由于同时开发相似产品,造成严重的重复投资和浪费。1976 年在北京展览馆展出了三年数控攻关的成果,共有 30 多种 40 多台数控机床和多种配套件,但真正能在生产中应用的几乎没有。1979 年国家进入调整时期,数控机床的科研和生产几乎处于停顿状态,只有少数几家单位坚持开展研究工作。其中,数控线切割机由于模具加工的迫切需要,以及具有价格低廉、结构简单、易于操作、使用方便等特点,得到推广应用,年产量达到 600~700 台,占国内数控机床产品总产量的 86%。

20 世纪 80 年代初,中国先后从日本、美国等国家引进一些数控系统和伺服技术,陆续发展了一批具有世界 20 世纪 70 年代末或 80 年代初期水平的数控系统,结束了国内数控系统徘徊不前的局面。到 1985 年,中国的数控机床新品种累计达 80 多种,包括加工中心、数控车床、数控铣床、数控磨床等,使得数控技术的发展总体进入实用阶段。

从 20 世纪 90 年代开始,中国在数控技术发展上制定并贯彻了“集中优

势，突破关键，以我为主，发展产业”的方针，逐步形成了以航天数控集团、华中数控和蓝天数控等以生产普及型数控系统为主的国有企业，以及北京-法那科、西门子数控（南京）有限公司等合资企业的基础力量，建成了批量生产各种数控机床的若干产业化基地。同时，国内数控系统在技术上也趋于成熟，在高速主轴制造、快速进给、快速换刀、柔性制造、快速成型等技术上都取得了突破，一些重大关键技术（包括核心技术）已达到国际先进水平。这个时期，国内的数控技术获得了飞速发展，奠定了中国数控机床产业和现代数控技术的坚实基础。

中国数控技术的发展主要经历了“六五”、“七五”期间引进、消化、吸收，“八五”期间科技攻关、开发自主知识产权数控系统和“九五”期间产业化三个重要发展阶段，目前已经掌握一些关键技术：曾长期困扰我国，并受西方国家封锁的多坐标联动技术目前已不再是难题； $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 当量的超精密数控系统、数控仿形系统、非圆齿轮加工数控系统、高速进给数控系统等高档数控机床已经具有自主知识产权；基于工业PC的开放式数控系统，可实施多轴控制，并具备联网等功能，既可作为独立数控系统使用，又是新一代开放式数控系统开发平台，为数控机床制造商和软件开发商二次开发创造了条件。特别值得一提的是，在技术进步和产业发展的同时，中国数控系统的可靠性已有很大的提高，平均无故障工作时间（MTBF）可以达到30 000 h以上。

1.2 数控机床的组成和工作原理

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是指采用数字形式信息控制的机床。也就是说，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。

我们可用图1-1来描述数控机床的一般工作过程。图中，A为被加工物的图纸，图纸上的数据大致分为两类：几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据（简称“指令”）。B为控制介质（或程序介质、输入介质），通常用纸带、磁带、磁盘等作为记载指令的控制介质。C为数据处理和控制的印刷电路板，通常是一台控制计算机。原始数据经过它处理后，变成伺服机构能够接受的位置指令和速度指令。D为伺服机构（或伺服系统），我们可以把“控制计算机（C）”比拟为人的“大脑”，则

“伺服机构 (D)” 相当于人的“手”和“足”，我们要求伺服机构无条件地执行“大脑”的意志。E 为数控设备。F 为加工后的工件。

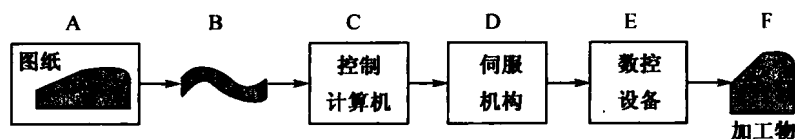


图 1-1 数控机床的一般工作过程

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题，是一种灵活、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：

第一，提高了加工精度，尤其提高了同批零件加工的一致性，使产品质量更加稳定；

第二，提高了生产效率，一般提高效率 3 ~ 5 倍，使用数控加工中心机床则可提高生产率 5 ~ 10 倍；

第三，可加工形状复杂的零件，且加工精度不受零件复杂程度的影响；

第四，减轻了劳动强度，改善了劳动条件；

第五，有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成。图 1-2 的实线所示为开环控制的数控机床框图。

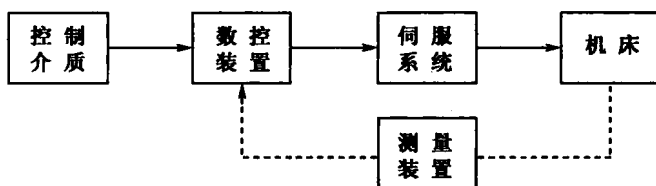


图 1-2 数控机床的组成

为了提高机床的加工精度，在上述系统中再加入一个测量装置（图 1-2 中的虚线部分），这样就构成了闭环控制的数控机床框图。开环控制系统的工作过程如下：将控制机床工作台运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置，数控装置根据这些

参量指令计算得出进给脉冲序列, 然后经伺服系统转换放大, 最后控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统, 则在输入指令值的同时, 反馈检测机床工作台的实际位移量, 反馈量与输入量在数控装置中进行比较, 若有差值, 则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动。现将数控系统各组成部分做简单说明。

(1) 控制介质。数控机床工作时, 不需要工人去摇手柄操作机床, 但要求机床自动地执行人们的意图, 这就必须在人和数控机床之间建立某种联系, 这种联系的媒介物就称为控制介质 (或称程序介质、输入介质、信息载体)。

过去常用的控制介质是 8 单位的标准穿孔带, 且常用的穿孔带是纸质的, 所以又称纸带。用每行 8 个孔有无的排列组合来表示不同的代码。把穿孔带输入到数控装置的读带机, 再由读带机把穿孔带上的代码转换为数控装置可以识别和处理的电信号, 并传送到数控装置中去, 便完成了指令信息的输入工作。

现在的数控机床可以采用磁盘驱动器、USB 接口及通过网络传输等形式将信息输入到数控装置, 这时的控制介质就是磁盘、U 盘、硬盘和网络硬盘。

(2) 数控装置。数控装置是数控机床的中枢, 在普通数控机床中一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息, 并将其代码加以识别、储存、运算, 输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统, 进而控制机床动作。在计算机数控机床中, 由于计算机本身即含有运算器、控制器等上述单元, 因此其数控装置的作用可由一台计算机来完成。

(3) 伺服系统。伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动, 使工作台 (或溜板) 精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动, 最后加工出符合图纸要求的零件。

伺服系统中包括电机驱动元件, 如功率放大装置。在数控机床的伺服系统中, 常用的电机有步进电机、电液脉冲马达、直流伺服电机和交流伺服电机等。

(4) 机床本体。数控机床中的机床本体, 在开始阶段使用通用机床, 只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面有些改变。实践证明, 数控机床除由于切削用量大、连续加工发热多等影响工件精度外, 并且由于是自动控制, 在加工中不能像在通用机床上那样可以随时由人工进行干预, 所以其设计要求比通用机床更严格, 制造要求更精密。因此, 后来的数控机床设计, 采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施, 使得数控机床的外部造型、整体布局、传动系统以及刀具系统等方面都

发生了很大的变化。

1.2.2 数控机床的工作原理和工作过程

金属切削机床加工零件的过程是指操作者依据工程图样的要求，不断改变刀具与工件之间相对运动的参数（位置、速度等），使刀具对工件进行切削加工，最终得到所需要的合格零件。

数控机床是如何工作的呢？简言之，就是用数字信息来控制机床的运动。机床的所有运动包括主运动、进给运动及各种辅助运动，这些运动都是用输入数控装置的数字信号来控制的。具体而言，数控机床的工作过程，即加工零件的过程，如图 1-3 所示。其主要步骤如下。

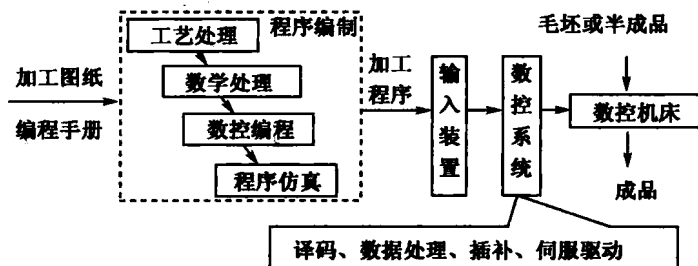


图 1-3 数控机床的工作过程

(1) 零件图纸工艺分析。拿到零件加工图纸后，应根据图纸，对工件的形状、尺寸、位置关系、技术要求进行分析，然后确定合理的加工方案、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数、对刀点、换刀点，同时还要考虑所用数控机床的指令功能。

(2) 数学处理。在工艺处理后，应根据加工路线和图纸上的几何尺寸，计算刀具中心运动轨迹，获得刀位数据。如果数控系统有刀具补偿功能，则需要计算出轮廓轨迹上的坐标值。

(3) 数控编程。根据加工路线、工艺参数、刀位数据及数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，编写数控加工程序。程序编完后，存放在控制介质上。

(4) 程序输入。数控加工程序通过输入装置输入到数控系统。目前采用的输入方法主要有软驱、USB 接口、RS232C 接口、MDI 手动输入、分布式数字控制（Direct Numerical Control，DNC）接口、网络接口等。数控系统一般有两种不同的输入工作方式：一种是边输入边加工，DNC 即属于此类工作方式；另一种是一次将零件数控加工程序输入到计算机内部的存储

器,加工时再由存储器一段一段地往外读出,软驱、USB 接口即属于此类工作方式。

(5) 译码。输入的程序中含有零件的轮廓信息(如直线的起点和终点坐标;圆弧的起点、终点、圆心坐标;孔的中心坐标、孔的深度等)、切削用量(进给速度、主轴转速等)、辅助信息(换刀、冷却液开与关、主轴顺转与逆转等)。数控系统以一个程序段为单位,按照一定的语法规则把数控程序解释、翻译成计算机内部能识别的数据格式,并以一定的数据格式存放在指定的内存区内。在译码的同时还要完成对程序段的语法检查,一旦有错,立即给出报警信息。

(6) 数据处理。数据处理程序一般包括刀具补偿、速度计算以及辅助功能的处理程序。刀具补偿分为刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹。刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算是根据程序中所给的合成进给速度计算出各坐标轴运动方向的分速度。辅助功能的处理主要是完成指令的识别、存储、设置标志,这些指令大都是开关量信号,现代数控机床可由 PLC 控制。

(7) 插补。数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具从起点沿直线或圆弧运动轨迹走向终点的过程则要通过数控系统的插补软件来控制。插补的任务就是通过插补计算程序,根据程序规定的进给速度要求,完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算,即数据点的密化工作。

(8) 伺服控制与加工。伺服系统接受插补运算后的脉冲指令信号或插补周期内的位置增量信号,经放大后驱动伺服电机,带动机床的执行部件运动,从而加工出零件。

1.3 数控机床的分类及特点

1.3.1 数控机床的分类

目前,数控机床品种齐全,规格繁多,据不完全统计,已有 400 多个品种规格,可以按照多种原则来进行分类。归纳起来,可从控制方式、伺服系统类型、功能水平、工艺方法等几个方面进行分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的分类

分类方法	数控机床类型
运动轨迹	点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床
伺服系统类型	开环数控机床、半闭环数控机床、闭环数控机床
功能水平	经济型数控机床、中档型数控机床、高档型数控机床
工艺用途	金属切削数控机床、金属成形数控机床、特种加工数控机床
数控装置	硬线数控机床、软线数控机床

1.3.1.1 按运动轨迹分类

按照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、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等。如图 1-4 所示。

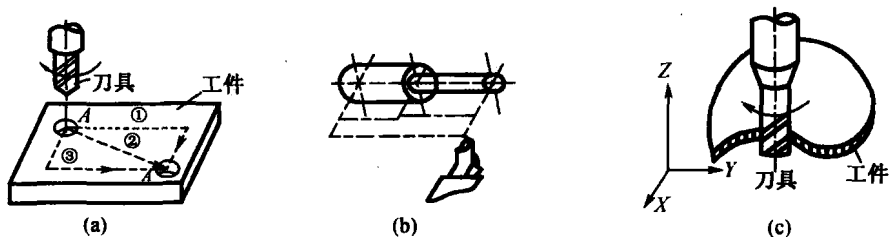


图 1-4 数控系统的运动控制方式

(a) 点位控制方式; (b) 直线控制方式; (c) 轮廓控制方式

(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有尽可能高的生产率, 所以两相关点之间的移动先是以快速移动到接近新的位置, 然后降速 1~3 级, 使之慢速趋近定位点, 以保证其定位精度。

这类机床主要有数控坐标镗床、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) 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)。其路线一般都由和各轴线平行的直线段及成 45°斜线段组成。直线控制机床和点位控制机床的区别在于: 当机床的移动部件移动时, 要进行切削加工, 而且其辅助功能比点位控制的数控机床多, 例如, 增加主轴转速控制、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直线控制装置。

(3) 轮廓控制数控机床。对一些数控机床，如数控铣床、加工中心等，要求能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制，使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓要求。具有这种运动控制的机床称为轮廓控制数控机床。该类机床在加工过程中，每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断的控制。

对于轮廓控制数控机床，根据同时控制坐标轴的数目可分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴和五轴、六轴联动。两轴联动同时控制两个坐标轴实现二维直线、圆弧、曲线的轨迹控制。两轴半联动除了控制两个坐标轴联动外，还同时控制第三坐标轴作周期性进给运动，可以实现简单曲面的轨迹控制。三轴联动同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，实现曲面的轨迹控制。四轴、五轴或六轴联动除了控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴外，还能同时控制 1~3 个回转坐标轴，如工作台的旋转、刀具的摆动等，从而实现复杂曲面的轨迹控制。图 1-5 所示为 2~5 坐标联动加工示意图。

由于加工中心同时具有点位和轮廓控制功能，直线控制的数控机床又很少，因此按上述运动控制方式的分类方法在目前的数控机床之间很难给出明确的界限。

1.3.1.2 按伺服系统类型分类

根据数控机床伺服驱动控制方式的不同，可将数控机床分成开环数控机床、闭环数控机床和半闭环数控机床三种类型。（具体结构示意图见第 8 章）

(1) 开环控制数控机床。没有位移检测反馈装置的数控机床称为开环控制数控机床。数控装置发出的控制指令直接通过驱动装置控制步进电机的运转，然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移。开环控制数控机床结构简单，制造成本较低，价格便宜，在我国有广泛的应用。但是，由于这种控制系统没有检测反馈，无法自动进行误差检测和校正，因此位移精度一般不高。

(2) 闭环控制数控机床。闭环控制数控机床带有位置检测装置，检测装置安装在机床刀架或工作台等执行部件上，可以随时检测这些执行部件的实际位置。插补得到的指令位置值与反馈的实际位置值相比较，根据差值控制电机的转速，进行误差修正，直到位置误差消除为止。这种闭环控制方式可以消除由于机械传动部件误差给加工精度带来的影响，因此可得到很高的加工精度，但由于它将丝杠螺母副及工作台导轨副这些大惯量环节放在闭环之内，系统稳定性受到影响，调试困难，且结构复杂、价格昂贵。