

数控技术丛书

SHUKONG JISHU CONGSHU

数控原理

全国数控培训网络天津分中心 编



机械工业出版社

数 控 技 术 丛 书

数 控 原 理

全国数控培训网络天津分中心 编



机 械 工 业 出 版 社

《数控原理》一书共分八章。第一章绪论,讲述数字控制的基本概念、数控系统的基本构成和分类、数控机床的有关规定以及数控技术的发展。第二章传感器与输入通道,讲述数控机床常用的位置测量和转速测量的传感器、测量电路及其与数控系统的信号联系。第三章数控机床的伺服系统,讲述开环伺服系统,直流、交流调速系统,锁相伺服系统以及闭环位置控制系统。第四章数控系统的插补原理和数据处理,讲述数控系统常用轨迹控制方法、用户程序译码、刀具补偿计算方法。第五章人机接口与通信接口,讲述数控系统常用的人机接口(如键盘、LED 数码管显示器、CRT 显示器、纸带阅读机)的工作原理、数控系统常用的通信接口(如 RS232C、电流环、MAP 等)的原理。第六章数控机床的可编程控制器,讲述数控机床上常用的可编程控制器的基本原理、程序编制和控制实例。第七章经济型数控系统,讲述开环数控系统的设计方法和实例。第八章标准型数控系统,介绍常见标准型 CNC 系统的总体结构、硬件结构和软件结构。

本书深入浅出,内容丰富,详简得当。既注重先进性又照顾到实用性,既有理论又有实例,既有系统介绍以统览全局又深入细节以利应用,是一本实用性强、适应面宽的教材。

本书为初、中级数控技术人员的数控技术培训用书,可作为数控技术应用专业、数控机床加工专业、机械制造专业、机电一体化专业的大、中专、技校教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理/全国数控培训网络天津分中心编. —北京:机械工业出版社, 1997. 3

(数控技术丛书)

ISBN 7-111-05449-0

I. 数… II. 全… III. 数控机床-数控系统-理论 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 23951 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民

封面设计:郭景云 责任印制:路琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997 年 3 月第 1 版 第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·12.5 印张·1 插页·306 千字

0 001—6 000 册

定价:17.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

数控技术丛书编委会

主任委员：范广才

副主任委员：何文利 周永华 张殿尧 刘树镛

王玉杰 郎名华 殷育平（常务）

委 员：魏宝仲 刘炳庄 贡克勤 郭文成

李占军 赵云霞 娄 锐 刘英杰

数控技术丛书作者名单

《数控原理》作者：郭文成 胡峥嵘 刘英杰 刘文芳

《数控编程》作者：赵云霞 李占军 庞俊玺

《数控机床》作者：殷育平 娄 锐 赵学东

前 言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物，是典型的机电一体化产品。它的出现及所带来的巨大效益，引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。发展数控机床是当前我国机械制造业技术改造的必由之路，是未来工厂自动化的基础。

随着数控机床的大量使用，急需培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的人员和工程技术人员。为了适应初、中级数控技术人员培训和学习的需要，并供大中专、职校、技校学生学习现代加工技术之用，全国数控培训网络天津分中心组织编写了“数控技术丛书”，由数控原理、数控编程及数控机床三册组成。各册内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，所采用的实例翔实可靠。

在组织编写过程中，得到天津市人事局、天津市机电一体化办公室、天津市机电工业总公司的大力支持和帮助，天津大学杜君文教授、赵忠堂教授、邓广敏教授及天津理工学院刘树琪教授、吴建华教授等为丛书提出了宝贵的意见并提供了资料，天津分中心陈卫平、刘淑丽、王丽、魏颖、徐士军、回健永等同志对丛书的文稿、图稿进行了打印和绘制，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，加之资料不全，书中难免存在错误疏漏之处，希读者给予指正。

数控技术丛书编委会

1996年8月

目 录

前言		
第一章 绪论	1	
第一节 机床数字控制的基本概念	1	
第二节 数控系统的分类	3	
第三节 数控机床的有关功能规定	5	
第四节 机床数控技术的发展	8	
第二章 传感器及输入通道	12	
第一节 概述	12	
第二节 码盘工作原理	14	
第三节 光栅测量装置	17	
第四节 旋转变压器和感应同步器	22	
第五节 磁栅	29	
第六节 测速发电机	32	
第三章 数控机床的伺服系统	34	
第一节 概述	34	
第二节 步进电动机伺服系统	35	
第三节 直流电动机速度控制	42	
第四节 交流电动机速度控制	51	
第五节 位置控制系统	62	
第四章 数控系统插补原理和数据		
处理	72	
第一节 概述	72	
第二节 逐点比较插补法	73	
第三节 数字积分插补法	91	
第四节 数据采样插补法	103	
第五节 数据处理	110	
第五章 人机接口与通信接口	117	
第一节 概述	117	
第二节 键盘与显示器	117	
第三节 纸带阅读机接口	126	
第四节 通信接口	128	
第六章 数控机床的可编程控制器	133	
第一节 概述	133	
第二节 典型 PC 的指令系统	138	
第三节 PC 在数控机床中的应用	147	
第七章 经济型数控系统	154	
第一节 概述	154	
第二节 开环数控系统的设计	154	
第三节 开环数控系统设计举例	163	
第八章 标准型数控系统	172	
第一节 标准型数控系统的总体结构	172	
第二节 标准型数控系统的硬件结构	173	
第三节 标准型计算机数控系统的软件		
结构	184	
参考文献	194	

第一章 绪 论

随着现代微电子技术的飞速发展，微电子器件集成度和信息处理功能不断提高，而价格不断降低，使微电子技术、特别是微型计算机在机械制造领域得以广泛应用。微机的信息处理功能与机械装置的动力学功能相结合而构成的机电一体化系统，正在使机械制造产业发生一场革命。微机控制的数控机床的应用与日俱增，柔性加工中心、柔性制造单元及柔性制造系统不断投入使用，生产面貌发生了根本的变化。

近年来，由于市场竞争日趋激烈，为在竞争中求得生存与发展，各生产企业不仅要提高产品质量，而且必须频繁地改型，缩短生产周期，以满足市场上不断变化的需要。微机控制的数控机床、数控加工中心的高精度、高度柔性化及适合加工复杂零件的性能，正好满足当今市场竞争和工艺发展的需要。可以说，微机数字控制技术的应用是机械制造业现代化的标志，在很大程度上决定了企业在市场竞争中的成败。

第一节 机床数字控制的基本概念

一、数字控制技术

数字控制 (Numerical Control)，简称 NC，是近代发展起来的一种自动控制技术。数字控制是相对于模拟控制而言的。数字控制系统中的控制信息是数字量，而模拟控制系统中的控制信息是模拟量。

数字控制系统有如下特点：

- 1) 可用不同的字长表示不同的精度的信息，表达信息准确。
- 2) 可进行逻辑运算、算数运算，也可进行复杂的信息处理。
- 3) 由于有逻辑处理功能，可根据不同的指令进行不同方式的信息处理，从而可用软件来改变信息处理的方式或过程，而不用改动电路或机械机构，因而具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述优点，故被广泛应用于机械运动的轨迹控制。轨迹控制是机床数控系统和工业机器人的主要控制内容。此外，数字控制系统的逻辑处理功能可方便地用于机械系统的开关量控制。

数字控制系统的硬件基础是数字逻辑电路。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的，因而被称之为硬件数控系统。随着微型计算机的发展，硬件数控系统已逐渐被淘汰，取而代之的是计算机数控系统 (Computer Numerical control)，简称 CNC。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程，从而具有真正的“柔性”，并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息，使数字控制系统的性能大大提高。当前微机技术发展很快，性能提高，价格降低，所以微机在数字控制系统中得到广泛应用。

简而言之，用数字化信息进行控制的自动控制技术称为数字控制技术；采用数控技术控制的机床，或者说装备了数控系统的机床，称之为数控机床。

二、数控机床的组成和加工特点

数控机床进行加工,首先必须将工件的几何信息和工艺信息数字化,按规定的代码和格式编制数控加工程序,并用适当的方式将此加工程序的信息输入数控系统。数控系统根据输入的加工程序信息进行信息处理,计算出理想轨迹和运动速度(计算轨迹的过程称为插补),然后将处理的结果输出到机床的执行部件,控制机床运动部件按预定的轨迹和速度运动。

数控机床加工的过程如图 1-1 所示。其中信息输入、信息处理和伺服执行是数控系统工作的三个基本过程。

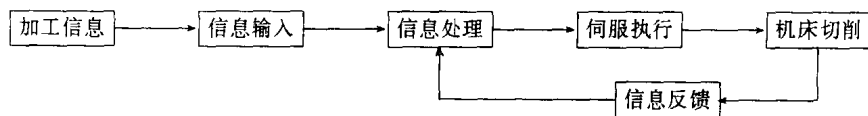


图 1-1 数控机床加工过程

加工一个零件所需的数据及操作命令构成零件加工程序。加工程序可以用符号或数字形式记录在输入介质上,输入数控系统。也可以通过键盘或通信接口输入数控系统。输入介质(有形的信息载体)一般是穿孔纸带、磁带、磁盘等。输入介质上的数据以程序段形式编排。每一程序段都包含有加工零件某一部分所需的全部信息:加工段长度、形状、切削速度、进给速度以及进给量等。零件加工程序编程时所需的尺寸信息(长度、宽度及圆弧半径)和外形(圆弧、直线或其他)取自工程图,尺寸按每一个运动轴,如 X 、 Y 等,分别给出。切削速度、进给速度及切削液通断、主轴回转方向、齿轮变速等其他辅助功能,均按表面粗糙度和公差要求加以编程。这样,在加工过程中,每执行一个程序段,刀具便完成一部分切削。

信息处理是数控的核心任务,由计算机来完成。它的作用是识别输入介质中每个程序段的加工数据和操作命令,并对其进行换算和插补计算。所谓插补,即根据程序信息计算出运动轨迹上许多中间点的坐标。这些中间点坐标以前一中间点到后一中间点的位移量形式输出,经接口电路向各坐标轴执行元件送出操作信号,控制机床按规定的速度和方向移动,以完成零件的成形加工。

伺服执行部分的作用是将插补输出的位移(或位置)信息转换成机床的进给运动。数控系统要求伺服执行部分准确、快速地跟随插补输出信息执行机械运动。它应是一个不折不扣的忠实执行者,这样,数控机床才能加工出高精度的工件。数控机床的伺服执行部分中,常用的伺服驱动元件有功率步进电动机、宽调速直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

从上面可以看出,与传统的机床相比,数控系统取代了操作人员的手工操作。传统的机加工中,操作者通过操纵手轮使切削刀具沿着工件移动进行零件加工,加工精度完全由操作者的视力及熟练程度决定,加工精度难以保证。对于外形简单且精度要求较低的零件可用手工操作方式完成,若是二维轮廓或三维轮廓加工,手工操作的普通机床就无能为力了。采用了数控机床后,原来操作者劳神费力干的工作都包含在零件程序中了,所以他们只需编制简单的程序,监视机床工作,并作通常的零件更换即可,不必是技术熟练的操作工人。

总之,与其他加工方法相比,数控机床有以下优点:

- 1) 具有充分的柔性,只需编制零件程序就能加工新零件。
- 2) 在切削速度和进给的全范围内均可保持精度,一致性好。
- 3) 生产周期较短。
- 4) 可以加工复杂形状的零件。
- 5) 易于调整机床,与其他制造方法(如自动机床、自动生产线)相比,所需调整时间较

少。

6) 操作者有空闲时间, 空闲时可照料其它加工操作。

另一方面, 数控机床也有以下缺点:

- 1) 造价相对高。
- 2) 维护比较复杂, 需要专门的维护人员。
- 3) 需要高度熟练和经过培训的零件编程人员。

第二节 数控系统的分类

机床数控系统的分类可按以下几种方式来划分:

- 1) 按机床类型来划分, 有点位控制、直线控制与轮廓切削 (连续轨迹) 控制。
- 2) 按控制器的结构来划分, 有硬件数控和计算机数控; 计算机数控 (当前主要是微机数控), 可分为单微机系统和多微机系统。
- 3) 按伺服系统控制环路来划分, 可分为开环、闭环和半闭环系统。
- 4) 按功能水平来划分, 可分为高、中、低 (经济型) 三类。

一、点位、直线与轮廓切削控制

(一) 点位控制系统

点位 (PTP) 控制系统中工件相对于刀具运动, 直到加工程序规定的位置后停止运动, 运动过程中不进行任何加工。刀具在坐标值固定条件下执行切削任务。点位数控系统只准确控制坐标运动的最终位置, 而运动轨迹不作控制要求。为了精确定位和提高生产率, 系统首先高速运行, 然后进行减速, 使之慢速趋近定位点以减少定位误差。点位控制系统常用于数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机等机床中。

(二) 直线控制系统

这类数控系统可以控制若干个轴, 但每个轴单独控制, 不联动, 不仅控制其定位精度, 而且控制其运动速度。这类数控机床只能沿平行于坐标轴直线进行切削加工。

(三) 轮廓切削控制系统

在轮廓切削 (连续轨迹) 系统中, 数控系统控制几个坐标同时协调运动 (称之为坐标联动), 使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动, 在运动过程中进行连续切削加工。数控车床、数控铣床和加工中心等用于加工曲线和曲面的机床都必须装备轮廓切削控制系统。

按同时控制的轴数 (即联动轴数) 分, 可分为 2 轴联动、3 轴两联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控机床。3 轴两联动是指三个坐标轴 (X, Y, Z) 中任一时刻只能控制任意 2 轴联动, 另一轴则是点位或直线控制。轮廓控制系统一般都有点位和直线控制功能。

二、硬件数控和计算机数控

早期的数控系统是由数字逻辑电路来处理数字信息的, 也就是硬件数控, 习惯上称之为 NC 系统, 于 60 年代投入使用。计算机数控系统是由计算机来处理数字信息的, 通常称之为 CNC, 于 70 年代初期引入。随着微电子技术的发展, 微处理器的功能越来越强, 价格越来越低, 所以现代数控系统一般都用微机进行控制, 因而有人称这类数控系统为微机数控系统 (MNC)。

硬件数控因其功能少, 线路复杂, 可靠性低等缺点, 早已被淘汰。在一些特别老的设备

上,可能还能见到硬件数控系统。用小型计算机控制的数控系统也已经过时,在我国很少能见到。现代数控系统的主流是微机数控系统。

随着机械制造技术的发展,对数控系统提出了复杂功能、高进给速度和高加工精度等要求。随着微处理器的价格降低,多个微处理器在一个数控系统中可以并行完成单微处理器难以完成的复杂功能,而且速度快,有较高的性能价格比。基于功能、价格等因素权衡,多微处理器的数控系统得到了迅速发展。微机数控系统根据一个系统中微处理器的多少,可分为单微机系统和多微机系统。

三、开环数控系统和闭环数控系统

(一) 开环数控系统

这类数控系统的伺服系统是开环的,没有检测反馈装置,数控装置发出的指令信号流是单向的,所以不存在稳定性问题。因为无位置反馈,所以精度不高。这种系统一般用功率步进电动机做伺服驱动元件。当插补结果需要某个轴运动一个单位长度时,向该轴伺服电路输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电动机转动一步,通过丝杠转动使机床运动部件运动一个单位长度。这个单位长度通常称之为脉冲当量。开环数控系统结构如图 1-2 所示。

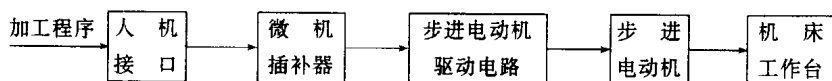


图 1-2 开环数控系统结构

开环数控系统具有工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。在我国,经济型数控机床一般都采用开环数控系统。

(二) 闭环数控系统

闭环数控系统结构如图 1-3 所示。闭环数控系统装有检测反馈装置,在加工中随时检测移动部件的实际位置。插补得出的指令位置值与反馈的实际位置相比较,根据其差值控制电动机的转速,进行误差修正,直到位置误差消除为止。采用闭环系统可以消除由于机械传动部件的精度误差给加工精度带来的影响,所以可以得到很高的精度。但是,由于许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,它们包含位置环内,故很容易造成系统的不稳定,使闭环系统设计和调整都相当困难。这种全闭环系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

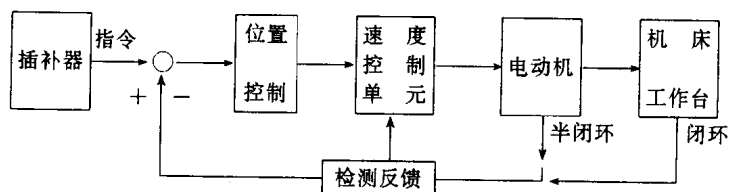


图 1-3 闭环数控系统结构

(三) 半闭环数控系统

为了排除机械传动环节的非线性对系统稳定性的影响,大多数数控机床采用半闭环系统。

半闭环数控系统的检测元件安装在伺服电动机或丝杠的端部,也就是说反馈信号取自电动机轴而不是机床的最终运动部件。半闭环数控系统的框图如图 1-3 所示。这种系统闭环环路内不包括机械传动环节,因此可获得稳定的控制特性。而机械传动环节带来的误差,可用补偿的办法消除,因此仍可获得满意的精度。

四、按功能水平分类

按功能水平可以把数控系统分为高、中、低三档。这种分法没有明确的定义和确切的界限。数控系统(或数控机床)的水平高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定。通常可用以下几方面作为评价数控系统档次的参考条件。

(一) 分辨力和进给速度

分辨力为 $10\mu\text{m}$, 进给速度为 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$ 为低档; 分辨力为 $1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ 为中档; 分辨力为 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ 为高档。

(二) 坐标联动功能

低档最多 2~3 轴联动; 中、高档联动轴为 3~5 轴以上。

(三) 显示功能

低档一般只有数码管显示或简单的 CRT 字符显示; 中档的 CRT 显示有图形功能; 高档的一般有三维动态图形显示功能。

(四) 通信功能

低档数控系统一般无通信功能; 中档系统有 RS232 或 DNC (直接数控) 通信接口; 高档系统有 MAP (制造自动化协议) 等高性能通信接口, 具有联网功能。

(五) 主 CPU 档次

低档数控系统一般采用 8 位 CPU; 中、高档系统采用 16 位以上的微处理器为主 CPU。此外, 进给伺服系统水平也是衡量数控系统档次的条件之一。

经济型数控系统是相对于标准型数控系统而言的, 不同时期、不同国家含义是不一样的。根据实际使用要求, 合理简化系统降低成本, 即为经济。我国现阶段所谓的经济型数控系统, 大多指开环数控系统而言。区别于经济型数控, 把功能较齐全的数控系统称为全功能数控系统, 或称标准型数控系统。

第三节 数控机床的有关功能规定

数控机床的核心是数控系统。而数控系统的核心是执行信息处理功能的计算机(通常是微机), 它是指挥机床进行自动加工的司令部。反过来, 数控系统的控制功能又是为机床加工过程服务的。研究数控系统, 首先应该清楚系统的控制要求是什么。也就是要清楚系统要实现什么功能。这就必须弄清数控机床的有关规定。

一、数控机床程序编制的有关规定

数控机床进行切削加工, 其根据是数控加工程序。人们根据零件图样, 编制出正确的零件加工程序输入数控系统, 数控系统才能控制机床加工出符合图样要求的零件。零件加工程序正确性有两个方面: 一是语法正确, 即数控系统能识别; 二是语义正确, 即根据程序所表达的信息, 数控机床能加工出符合图样要求的零件来。

(一) 程序信息载体和代码

数控机床的程序输入可分为手动和自动输入两种方式。手动输入一般是通过键盘输入。自动输入可用纸带、磁带、磁盘等信息载体输入，也可以用通信方式输入。当前纸带输入方式用得较多。随着微机及 CAD/CAM 技术的发展，越来越多地使用通信输入方式。

一篇文章由若干句子组成，句子由单词组成，单词又由字组成。零件加工程序就是一篇用数控语言描述零件加工过程的文章，它由若干个程序段（句子）组成，程序段由若干指令代码（单词）组成，指令代码又是由字母和数字组成，这些字母和数字相当于文章中的字。即字母和数字组成指令代码，指令代码组成程序段，程序段组成程序。一般程序段的格式为

N G X Y Z F S T M

程序号 准备功能 坐标值 进给速度 主轴 刀具 辅助功能

数控机床常用的功能指令代码可以分为两大类。一类是准备功能代码，即 G 代码；另一类是辅助功能代码，即 M 代码。G 代码和 M 代码是数控加工程序中描述零件加工工艺过程的各种操作和运行特征的基本单元，是程序的基础。

国际上广泛采用的 ISO—1056—1975E 标准规定了 G 代码和 M 代码。我国机械工业部根据 ISO 标准制定了 JB3208—83《数控机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 代码和辅助功能 M 代码》标准。如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 G 功能代码

代 码 (1)	模态代码组别 (2)	功 能 (3)	代 码 (1)	模态代码组别 (2)	功 能 (3)
G00	a	点定位	G41	d	刀具左补偿
G01	a	直线插补	G42	d	刀具右补偿
G02	a	顺时针圆弧插补	G43	(d)	刀具正偏置
G03	a	逆时针圆弧插补	G44	(d)	刀具负偏置
G04		暂停	G45	(d)	刀具偏置 +/+
G05		不指定	G46	(d)	刀具偏置 +/-
G06	a	抛物线插补	G47	(d)	刀具偏置 -/-
G07		不指定	G48	(d)	刀具偏置 -/+
G08		加速	G49	(d)	刀具偏置 0/+
G09		减速	G50	(d)	刀具偏置 0/-
G10~G16		不指定	G51	(d)	刀具偏置 +/0
G17	c	XY 平面选择	G52	(d)	刀具偏置 -/0
G18	c	ZX 平面选择	G53	f	直线偏移，注销
G19	c	YZ 平面选择	G54	f	直线偏移 X
G20~G32		不指定	G55	f	直线偏移 Y
G33	a	螺纹切削，等螺距	G56	f	直线偏移 Z
G34	a	螺纹切削，增螺距	G57	f	直线偏移 XY
G35	a	螺纹切削，减螺距	G58	f	直线偏移 XZ
G36~G39		永不指定	G59	f	直线偏移 YZ
G40	d	刀具补偿/偏置注销	G60	h	准确定位 1 (精)

(续)

代 码 (1)	模态代码组别 (2)	功 能 (3)	代 码 (1)	模态代码组别 (2)	功 能 (3)
G61	h	准确定位 2 (中)	G90	j	绝对尺寸
G62	h	快速定位 (粗)	G91	j	增量尺寸
G63		攻螺纹	G92		预置寄存
G64~67		不指定	G93	k	时间倒数, 进给率
G68	(d)	刀具偏移, 内角	G94	k	每分钟进给
G69	(d)	刀具偏移, 外角	G95	k	主轴每转进给
G70~G79		不指定	G96	i	恒线速度
G80	e	固定循环注销	G97	i	每分钟转数 (主轴)
G81~G89	e	固定循环	G98~G99		不指定

表 1-2 M 功能代码

代码 (1)	功能与 程序段 运动同时 开始 (2)	功能在 程序段 运动完后 开始 (3)	功 能 (4)	代码 (1)	功能与 程序段 运动同时 开始 (2)	功能在 程序段 运动完后 开始 (3)	功 能 (4)
M00		#	程序停止	M32~M35	#	#	不指定
M01		#	计划停止	M36	#		进给范围 1
M02		#	程序结束	M37	#		进给范围 2
M03	#		主轴顺时针方向	M38	#		主轴速度范围 1
M04	#		主轴逆时针方向	M39	#		主轴速度范围 2
M05		#	主轴停止	M40~M45	#	#	不指定或齿轮换挡
M06	#	#	换刀	M46~M47	#	#	不指定
M07	#		2 号切削液开	M48		#	注销 M49
M08	#		1 号切削液开	M49	#		进给率修正旁路
M09		#	切削液关	M50	#		3 号切削液开
M10	#	#	夹紧	M51	#		4 号切削液开
M11	#	#	松开	M52~M54	#	#	不指定
M12	#	#	不指定	M55	#		刀具直线位移, 位置 1
M13	#		主轴顺时针方向切削液开	M56	#		刀具直线位移, 位置 2
M14	#		主轴逆时针方向切削液开	M57~M59	#	#	不指定
M15	#		正运动	M60		#	更换工件
M16	#		负运动	M61	#		工件直线位移, 位置 1
M17~M18	#	#	不指定	M62	#		工件直线位移, 位置 1
M19		#	主轴定向停止	M63~M70	#	#	不指定
M20~M29	#	#	永不指定	M71	#		工件角度位移位置 1
M30		#	纸带结束	M72	#		工件角度位移位置 1
M31	#	#	互锁旁路	M73~M89	#	#	不指定
				M90~M99	#	#	永不指定

G 代码是使数控机床准备好某种运动方式的指令。如快速定位、直线插补、圆弧插补、刀具补偿、固定循环等。G 代码由地址 G 及其后的两位数字所组成,从 G00 到 G99 共 100 种。G 代码分模态代码和非模态代码。表中序号 (2) 中的 a、c、d、e、h、k、i 各字母所对应的为模态代码。它表示在程序中一经被应用 (如 a 组的 G01),直到出现同组 (a 组) 的任一 G 代码 (如 G02) 时才失效。否则该指令继续有效。模态代码可以在其后的程序段中省略不写。非模态代码只在本程序段中有效。表中“不指定”代码,在未指定新的定义之前,由数控系统设计者根据需要定义新的功能。

M 代码主要用于数控机床的开关量控制。如主轴的正、反转,切削液开、关,工件的夹紧、松开、程序结束等。M 代码从 M00 到 M99 共 100 种。

指令代码中的字母和数字在程序载体上和计算机中用二进制编码表示。纸带上有孔的地方表示“1”,没孔的地方表示“0”,一排孔表示一个字母或数字。ISO 代码的二进制编码方式与美国标准信息交换码 (ASCII 码) 编码方式一致。

二、数控机床的坐标系和运动方向的规定

在数控机床中,机床直线运动的坐标轴 X、Y、Z 按照 ISO 和我国的 JB3051—82 标准,规定为右手笛卡尔坐标系。三个回转运动 A、B、C 相应地表示其轴线平行于 X、Y、Z 的旋转运动,如图 1-4 所示。X、Y、Z 的正方向是使工件尺寸增加的方向,即增大工件和刀具距离的方向。通常以平行于主轴的轴线为 Z 轴 (即 Z 坐标运动由传递切削动力的主轴所规定),而 X 轴是水平的,并平行于工件的装夹面,最后 Y 坐标就可按右手笛卡尔坐标系来确定。旋转运动 A、B、C 的正向,相应地为在 X、Y、Z 坐标正方向上按右螺纹前进的方向。上述规定是工件固定、刀具移动的情况。反之若工件移动,则其正方向分别用 X'、Y'、Z' 表示 (如图 1-4 中虚线所示)。通常以刀具移动时的正方向作为编程的正方向。

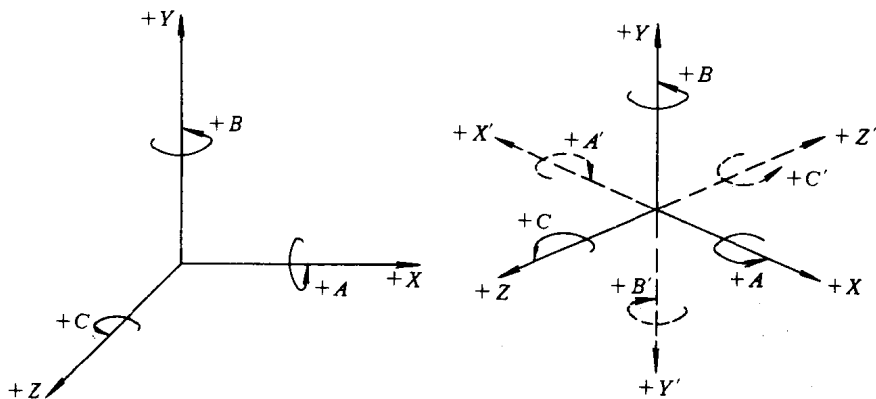


图 1-4 数控机床坐标系

第四节 机床数控技术的发展

一、数控机床的产生和数控技术的发展过程

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是 40 年代初提出的。当时,美国北密执安的一个小型飞机承包商派尔逊斯公司 (Parsons Corporation) 在制造飞机框架和直升飞机的机

翼叶片时,利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理,并考虑了刀具半径对加工路径的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0381\text{mm}$ (± 0.0015 英寸)。在当时的水平来看,是相当高的。

1952年,美国麻省理工学院成功地研制出一台三坐标联动的试验型数控铣床,这是公认的第一台数控机床。当时的电子元件是电子管。

1959年,开始采用晶体管元件和印制线路板,出现了带自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

从1960年开始,其它一些工业国家,如德国、日本也陆续开发生产出了数控机床。

1965年,数控装置开始采用小规模集成电路,使数控装置的体积减小,功耗降低,可靠性提高。但仍然是硬件逻辑数控系统(NC)。

1967年,英国首先把几台数控机床联接成具有柔性的加工系统,这就是最初FMS(Flexible Manufacturing System 柔性制造系统)。

1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了用小型计算机控制的数控机床。这是第一台计算机控制的数控机床(CNC)。

1974年,微处理器直接用于数控系统,促进了数控机床的普及应用和数控技术的发展。

80年代初,国际上出现了以加工中心为主体,再配上工件自动装卸和监控检验装置的FMC(Flexible Manufacturing Cell 柔性制造单元)。FMC和FMS被认为是实现计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)的必经阶段和基础。

二、我国数控机床发展情况

我国从1958年开始研究数控技术,一直到60年代中期处于研制、开发阶段。

1965年,国内开始研制晶体管数控系统。60年代末至70年代初研制成功X53K-1G数控铣床、CJK-18数控系统和数控非圆齿轮插齿机。

从70年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功。但由于电子元器件的质量和制造工艺水平低,致使数控系统的可靠性、稳定性问题没有得到解决,因此未能广泛推广。这一时期,数控线切割机床由于结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到了推广。

80年代我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置和伺服系统技术,并于1981年在我国开始批量生产。

在此期间,我国在引进、消化吸收的基础上,跟踪国外先进技术的发展,开发出了一些高档的数控系统,如多轴联动数控系统、分辨力为 $0.02\mu\text{m}$ 的高精度数控系统、数字仿形系统、为柔性单元配套的数控系统等。为了适应机械工业生产不同层次的需要,我国开发出了多种经济型数控系统,并得到了广泛应用。现在,我国已经建立了中、低档数控机床为主的产业体系,90年代主要发展高档数控机床。

三、机床数控技术的发展趋势

(一) 数控装置

数控技术的关键因素是数控装置,即数控系统信息处理部分的功能、速度和可靠性。当前,微机数控装置占绝对优势,数控装置随微机技术和相应软件技术的发展,也得到了很快发展。

1. 数控系统中的微机的发展

目前,数控系统大多采用多个 CPU 组成微型计算机,作为数控系统的核心。因此,高性能的计算机数控系统可以同时控制几个轴,甚至几十个轴(包括坐标轴、主轴与辅助轴),并且前台的加工控制和后台的程序编辑可以同时进行。有的数控系统采用交互图形编程,可利用数控系统的人机对话功能,直接将零件图上的几何参数输入数控系统,而不需用功能代码进行编程。有的系统还有三维图形模拟和加工轨迹图形跟踪功能,可使操作者及早发现错误。

数控系统中微处理器的字长不断提高,由最早的 8 位机,经 16 位机,到目前广泛采用的 32 位机,换代很快。现在有向 64 位机发展的趋势。

就数控系统的微机来说,有采用专用微机和通用微机两种发展趋势。前者是采用生产厂家自行开发的专用微机、专用芯片,这是生产厂家保持其数控技术的优势所采取的策略。因为是专有技术,其硬件和软件基础技术为厂家所专有,这些技术经多年来积累和发展,别的厂家很难掌握和超越,即使是其子公司或合资厂,也必须受其专有技术的制约。后者采用通用微机和通用芯片,这是数控系统生产厂家中后起之秀所采用的策略。微机技术发展很快,用通用微机技术开发数控系统可以得到强有力的硬件和软件的支持,而这些软件、硬件技术是通用的、可得到的,这样可以避开专有技术的制约,在较短时间内达到较高水平。这是一条发展数控技术的捷径,国外已有不少成功的范例,这也是我国发展数控技术应采取的策略。

为了适应 FMC(柔性制造单元)、FMS(柔性制造系统)以及进一步联网组成 CIMS(计算机集成制造系统)的通信要求,现代数控系统的微机都具备有 RS232 和 RS422 串行通信接口。高档数控系统具有 DNC 或 MAP 接口,可以实现上级计算机对多台数控系统的直接控制。

为了适应工厂自动化规模越来越大的要求,为了满足不同厂家不同系统的联网需要,数控系统的各生产厂家纷纷采用 MAP 工业控制网络,为数控系统进入 FMS 及 CIMS 创造条件。

2. 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,直流伺服系统将被交流数字伺服系统所代替。伺服系统的速度环、位置环及电流环都已实现了数字化,并采用了新的控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应系统。其技术发展如下:

(1) 前馈控制技术

过去的伺服系统将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令,去控制电动机的速度。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。所谓前馈控制,就是在原来的控制系统上加上速度指令的控制,这样使跟踪滞后误差大大减小。

(2) 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。除采取措施降低静摩擦外,新型的数控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。

(3) 伺服系统的速度环和位置环均采用软件控制

采用软件控制,更具有柔性,能适应不同类型的机床,并能实现复杂的控制算法,以适应高性能控制的要求。

(4) 采用高分辨力的位置检测装置

如采用高分辨力的脉冲编码器,内装微处理器组成的细分电路,使得分辨率大大提高。

(5) 补偿技术得到发展和广泛应用

现代数控机床利用 CNC 数控系统的补偿功能,对伺服系统进行了多种补偿,如轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿轮间隙补偿、热补偿和空间误差补偿等。

3. 程序编制方面的发展

编程方面的发展有以下几个特点:

1) 脱机编程发展到在线编程。传统的编程是脱机进行的。可以用手工编程,也可用计算机辅助编程或自动编程,编制完的程序再输入给数控系统。现代的数控系统一般是多 CPU 的,它将自动编程、程序编辑修改、图形模拟等一系列的编程功能置入数控系统,由数控系统中的一个 CPU 来处理。这样,可以做到前台加工、后台编程同时进行。

2) 具有机械加工技术中的特殊工艺方法和组合工艺方法的程序编制功能。除了具有圆弧切削、固定循环和仿形循环外,还有宏程序设计功能、会话式自动编程、蓝图编程和实物编程等。

3) 可以同时处理几何信息和工艺信息。新型的 CNC 数控系统中装有小型的工艺数据库,使得在线编程的过程中,可以自动选择最佳刀具和切削用量。

4. 数控机床的检测和监督

数控机床加工过程中进行检测和监督越来越普遍。如采用红外、超声、激光检测装置,对刀具和工件进行在线检测。若发现工件超差、刀具磨损、破损可及时报警。

5. 自适应控制的应用

自适应控制的目的是要求在随机变化的加工过程中,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。自适应控制的数控机床,能随着加工过程中的条件变化,自动调节工作参数,如伺服系统的参数、切削用量等,使加工过程达到或接近最佳状态。