



高职机械类
精品教材

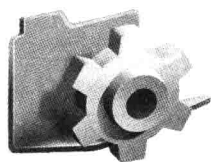
数控编程与 加工仿真

第3版

主编 史新逸 徐剑锋

SHUKONG BIANCHENG YU
JIAGONG FANGZHEN

中国科学技术大学出版社



高职机械类
精品教材

数控编程与 加工仿真

SHUKONG BIANCHENG YU
JIAGONG FANGZHEN

第3版

主 编	史新逸	徐剑锋
副主编	张海涛	黄 斌
	刘桂玉	黄芬娜

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

数控技术是综合应用计算机、光学、电学、精密机械和自动控制等高新技术的产物。本书在讲解编程指令和方法的基础上,较详细地介绍了具体数控机床的操作和加工仿真。

本书主要包括:数控技术概述、数控加工编程有关的基本原理、数控加工编程基础、数控铣床及铣削加工中心编程、数控车床及车削加工中心编程和数控加工仿真。

本书适合作为高职高专学生的教材,也可作为数控机床编程与操作的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工仿真/史新逸,徐剑锋主编.—3版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-312-02867-0

I. 数… II. ①史… ②徐… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材
②数控机床—加工—高等职业教育—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148840 号

出版发行 中国科学技术大学出版社

地址:安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026

网址:<http://press.ustc.edu.cn>

印 刷 安徽省瑞隆印务有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 24

字 数 614 千

版 次 2006 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 3 版

印 次 2011 年 8 月第 4 次印刷

定 价 36.00 元

前 言

目前,机械制造领域随着数控技术的应用和普及正在发生根本性的变化。数控技术是综合应用计算机、光学、电学、精密机械和自动控制等高新技术的产物,它已成为衡量一个加工制造企业技术水平乃至一个国家工业化水平的重要标志。随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床加工编程、操作和维护的技能型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育发展及数控技术技能型技术人才培养的需要,我们编写了本书。

数控机床加工程序的编制是实现数控加工的前提,数控编程与具体机床的操作和加工密切相联。数控编程是一门实践性很强的课程,由于不同数控系统和不同数控机床的编程指令不尽相同,操作界面和操作方法差异较大,数控编程的学习更显麻烦。本书在讲解编程指令和编程方法的基础上,较详细地介绍了具体数控机床的操作与加工仿真,正是为了解决理论编程与实际机床不完全统一的矛盾。

本书从培养学生的应用能力和实践能力出发,指令讲解详细,编程举例丰富。书中采用了工学结合的实际加工案例,并附有各种类型的习题,宜作为高职高专学生的教材,也可作为数控机床加工编程与操作的培训教材。

本书由史新逸、徐剑锋担任主编;由张海涛、黄斌、刘桂玉、黄芬娜担任副主编。史新逸对全书进行了统稿。

本书2006年8月首次出版,2008年和2011年进行了两次改版。在两次改版中,增加了数控加工中心第四坐标(旋转坐标)手工编程的例题,增加了用户宏指令编程的章节,增加了华中数控系统的编程指令和加工仿真,使数控加工编程的举例更加丰富、数控加工编程的方法更加系统和完整。

限于编者水平,书中难免出现疏漏,恳请读者批评指正。

编 者
2011年5月

目 录

前言	(i)
第 1 章 数控加工编程概述	(1)
1.1 数控加工的基本工作原理	(1)
1.2 数控机床的分类	(5)
1.3 数控技术发展趋势	(8)
习题 1	(16)
第 2 章 数控加工编程有关的基本原理	(18)
2.1 数控手工编程中的数值计算	(18)
2.2 数控加工的插补原理	(26)
2.3 刀具半径补偿原理	(33)
习题 2	(41)
第 3 章 数控加工编程基础	(43)
3.1 数控编程概述	(43)
3.2 数控加工程序的格式	(45)
3.3 数控编程的基本概念	(50)
3.4 编程的常用准备功能指令和辅助功能指令	(59)
3.5 数控加工编程中的工艺处理	(82)
习题 3	(96)
第 4 章 数控铣床及铣削加工中心编程	(101)
4.1 数控铣床及其加工中心编程特点	(101)
4.2 刀具半径自动补偿功能	(102)
4.3 刀具长度自动补偿功能	(111)
4.4 孔加工固定循环指令和其他简化编程指令	(115)
4.5 数控铣切编程举例	(132)
习题 4	(139)
第 5 章 数控车床及车削加工中心编程	(145)
5.1 数控车床编程特点	(145)
5.2 数控车床的编程指令及用法	(147)
5.3 数控车床固定循环指令	(160)

5.4 数控车削编程举例	(175)
习题 5	(183)
第 6 章 用户宏程序编程	(187)
6.1 用户宏程序基本知识	(187)
6.2 数控铣钻加工的宏程序举例	(194)
6.3 数控车削加工的宏程序举例	(200)
习题 6	(205)
第 7 章 数控加工仿真	(209)
7.1 软件基本功能介绍	(209)
7.2 FANUC 数控系统加工仿真	(232)
7.3 SIEMENS 数控系统加工仿真	(284)
7.4 华中数控系统加工仿真	(311)
习题 7	(362)
附录	(364)
参考文献	(378)

第 1 章 数控加工编程概述

1.1 数控加工的基本工作原理

1.1.1 数控技术基本概念

1. 数控技术的产生

20 世纪 40 年代,美国 Parsons 公司与空军签订了发展一种柔性控制系统的合同,希望在这种系统控制下的机床既适合中、小批量零件的生产,又能在规定精度条件下获得最高的生产效率。1949 年作为主要承包商的 Parsons 公司在美国麻省理工学院(MIT)的协助下,历经 3 年时间研究,于 1952 年研制成功了三坐标数控系统,并在 Cincinnati 铣床上装备了这种系统。由于当时控制系统采用电子管式,体积庞大、功耗大,除了军事部门使用外,其他行业几乎没有使用这一新技术。

数控技术是指用字符、数字发出指令并实现自动控制的技术。科学技术和社会生产飞速发展,制造技术发生了重大变化,社会对产品的质量、性能、品种、生产效率提出了更高要求。机械制造业 80%的零件属于单件、小批量生产,传统的普通加工技术,因其生产效率低、劳动强度大、难以保证加工质量等众多缺点,已不能很好适应生产的需要。工业发达国家十分重视发展先进制造技术,将计算机、微电子、自动控制、自动检测、精密机械等技术有机结合在一起,应用于加工设备之中,来适应现代化生产的需要。

数控技术是制造工业现代化的重要基础,它直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。因此,世界各国均采取重大措施发展数控技术。我国发展数控技术起步于 1958 年,受电子技术发展水平的制约,长期未打开局面。到 20 世纪 70 年代末共生产了 4 108 台数控机床,其中 86%是数控线切割机床。改革开放后,在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,目前我国已初步建成了以中、低档为主的数控机床的产业体系。特别是近十年来,我国开发并生产了数控铣床、车床、磨床、加工中心等 40 多个新品种,一些较高档次的五轴联动数控系统已经开发出来。引进和自行开发建成 FMS(柔性制造系统)生产线及 CIMS(计算机集成制造系统)。

2. NC、CNC 数控机床和加工中心

NC(Numerical Control)是一种用数字化信息对某一工作过程进行可编程控制,实现加工自动化的控制技术。早期数控机床的 NC 装置是由各种逻辑、记忆元件组成的专用电路,由硬件实现数控功能,称为硬件数控,用这种技术实现的数控机床一般称作 NC 机床。

现代数控机床一般采用小型计算机、微型计算机作为 NC 装置。由存放在存储器中的系统软件来实现逻辑控制,通过接口与外围设备进行联系,称为软件数控,用这种技术实现的数控机床一般称作 CNC 机床。

数控机床是装有程序控制系统的机床,能逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。它是计算机技术与机床相结合的产物,因此在实际使用中不同的场合具有多种含义。既可以在广义上代表一种控制技术,又可在狭义上作为数控技术的代名词。

加工中心(CNC)是带有刀库和自动刀具交换装置的数控机床。它通过刀具的自动交换,可以一次装夹完成多道工序的加工,减少零件安装定位次数、换刀时间,从而缩短了辅助加工时间,提高了机床加工精度和效率。目前加工中心是应用最广、产量最大的数控机床。

1.1.2 数控机床组成及其工作原理

用数控机床加工零件时,首先应根据图样编制加工程序。然后将加工程序送入数控装置,由数控装置控制机床运动,使刀具和工件产生相对位移,严格按照程序中规定的参数有条不紊地工作,从而加工出符合图样要求的零件。

数控机床的种类很多,通常由存储介质、输入输出设备、计算机数控装置、伺服系统、检测反馈系统和机床本体组成,如图 1.1 所示。

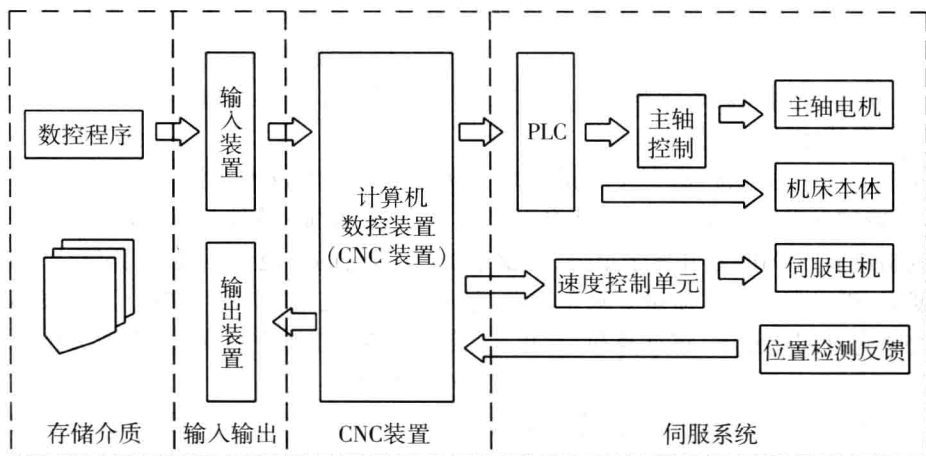


图 1.1 数控机床的组成

1. 存储介质

数控机床工作时,不需要工人直接操作,但又必须执行人的意图。所以,在人和机床间要求建立某种联系,这种联系的媒介称为存储介质。

数控机床是按照输入的工件加工程序运行的,数控程序中包含有刀具与工件相对运动轨迹、工艺参数(如进给量、主轴参数等)和辅助运动等指令。存储介质可以是穿孔带、磁带、磁盘等,采用哪种存储介质取决于数控装置的类型。随着微型计算机的广泛使用,磁盘正成为最主要的控制介质。

2. 输入、输出装置

输入装置的作用是将存储介质内的加工信息读入数控装置内。根据存储介质不同,输

入装置相应地有光电阅读机、磁带机、磁盘驱动器、USB 接口、RS232 串行接口,还可用键盘进行 MDI 手动输入加工程序;加工程序和加工的图形可以通过输出装置中的 CRT 或液晶显示屏显示。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,它的作用是接受输入装置送入的数字化信息,经过逻辑电路和控制软件译码、运算和逻辑处理后,输出指令脉冲信号到伺服系统,以控制机床按照程序中规定的动作执行加工过程。它控制各坐标的进给速度、方向和位移量;刀具的选择与交换;冷却液的启停;主轴的启停、变速、换向等。

4. 伺服系统

伺服系统是数控装置与机床的连接环节。它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。相对于每一个脉冲信号,机床移动部件的位移量称作脉冲当量。常用的脉冲当量为 0.01 mm/脉冲 、 0.005 mm/脉冲 及 0.001 mm/脉冲 。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件主要有直流伺服电机、交流伺服电机、直流电动机等。伺服系统的性能直接影响机床的加工精度、零件的表面质量和生产率的高低。一般来说,要求伺服系统具有良好的快速响应性能、进给速度范围要大、灵敏而准确地跟踪指令功能和转速,在较大范围内有良好的工作稳定性。

5. 检测反馈系统

检测反馈系统的作用是检测机床的运动方向、速率、距离等参数,并将物理量转变为电信号送入数控装置,使数控装置对工作的实际位置是否与指令设定值一致,并由数控装置向伺服系统发出指令脉冲,纠正产生的误差。

常用的检测装置有光栅、磁栅、旋转变压器、编码器、感应同步器等。其主要应用于闭环和半闭环控制的数控机床之中。

6. 机床

机床是数控机床的主体,是用于执行各种切削加工的机械部分。主要包括主运动部件(如主轴),进给运动部件(如工作台、刀架)和支承部件(如床身等),还有冷却、润滑、换刀机械手等辅助装置。与普通机床相比,数控机床的外观、操作机构、整体布局都发生了很大变化,尤其是传动系统更为简单,主运动、进给运动都是由单独的伺服电机驱动,传动链尽可能的缩短。为了保证机床的快速响应性,数控机床普遍使用滚珠丝杠和直线导轨副等。

1.1.3 数控机床加工零件的全过程

数控机床进行零件加工前应图样要求确定加工工艺,进行数值计算、编写加工程序、校验,后将程序送入数控系统处理,由数控机床依据程序进行切削加工,如图 1.2 所示。

1. 数控机床上加工零件全过程

1) 熟悉图样

通过仔细阅读图样,了解零件材料、工件几何形状、尺寸及精度要求。

2) 工艺处理

图样加工所需设备、工装夹具、刀具、加工路线、加工余量和切削用量等。

3) 数值计算

借助计算器或计算机进行必要的数值计算、精度计算等。

4) 数控编程

根据机床编程手册,由前面所确定的加工路线、基点、节点坐标进行数控程序编制。

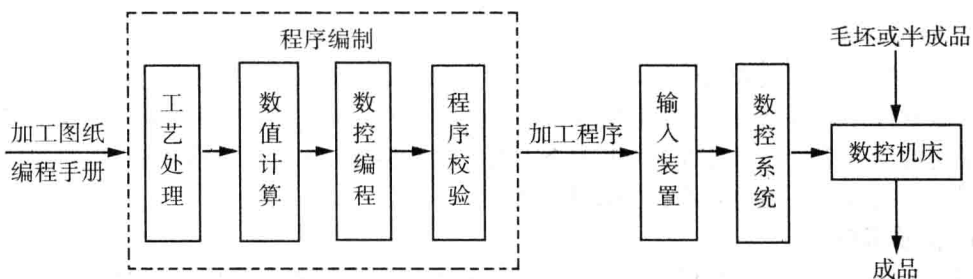


图 1.2 数控机床上加工零件全过程

5) 校验程序

借助相应的软件对编制的程序进行加工模拟。

6) 译码、数据处理、插补

数控系统以程序段为单位将程序翻译成计算机内部能识别的数据格式,对编程轮廓进行刀具半径补偿,计算出刀具中心轨迹。依据程序中指定刀具运动的起点、终点和运动轨迹,完成起点与终点间中间点的计算。

7) 加工

由数控机床依据程序把毛坯或半成品加工成合格的成品。

2. 数控机床加工零件举例

编制如图 1.3 所示铣槽零件的加工程序。

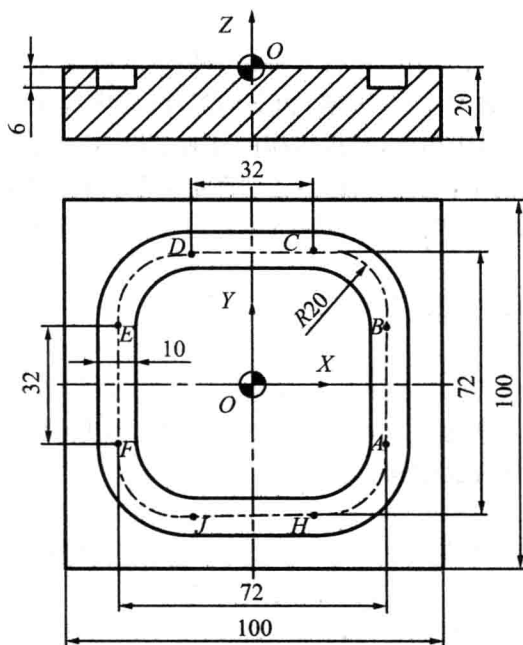


图 1.3 铣槽零件的编程

(1) 选择刀具、机床

选 $\varnothing 10$ 直柄立铣刀, 刀号为 T01。

采用数控铣床或数控立式加工中心对零件进行加工, 型号可根据企业现有设备选取。

(2) 确定加工工艺

用 $\varnothing 10$ 直柄立铣刀按试切法对刀, 设置工件坐标系 $O-XYZ$ 如图 1.3 所示。

(3) 编制加工程序

N10 T01 M06; 换上 $\varnothing 10$ 直柄立铣刀

N20 G00 G90 G54 X0 Y0 Z100 M03 S900; 刀具定位到原点上方 100 mm 处, 主轴正转, 转速为 900 r/min

N30 X36 Y-16; 刀具对准 A 点

N40 Z5; 快速落刀至工件上表面 5 mm 处

N50 G01 Z-6 F30; 刀具慢速落刀, 进给速度为 30 mm/min

N60 Y16 F100; 工速直线切削至 B 点, 进给速度为 100 mm/min

N70 G03 X16 Y36 R20; 工速圆弧切削至 C 点

N80 G01 X-16; 直线切削至 D 点

N90 G03 X-36 Y16 R20; 圆弧切削至 E 点

N100 G01 Y-16; 直线切削至 F 点

N110 G03 X-16 Y-36 R20; 圆弧切削至 J 点

N120 G01 X16; 直线切削至 H 点

N130 G03 X36 Y-16 R20; 圆弧切削至 A 点

N140 G00 Z100; 快速抬刀

N150 X0 Y0 M05; 对准原点并主轴停止转动

N160 M02; 程序结束

1.2 数控机床的分类

数控机床的种类繁多, 通常有以下 4 种分类方式。

1.2.1 按控制刀具与工件相对运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是数控装置仅控制机床的移动部件从一个点到另外一点的准确定位, 对两点之间的移动轨迹不作要求, 在移动过程中, 刀具不进行切削加工。如图 1.4 所示, 为了实现快速准确定位, 移动部件先快速移动, 接近终点时慢速移动, 准确定位在终点位置。

这类机床主要有数控镗床、数控钻床、数控冲床等。

2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床的特点是数控装置不仅要求机床的移动部件从一点到另外一点

的准确定位,还要求移动轨迹平行于坐标轴或两轴同时移动构成 45° 的斜线,在移动过程中,刀具进行切削加工。如图 1.5 所示。

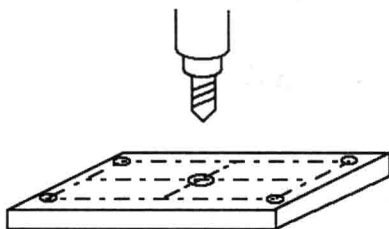


图 1.4 点位控制数控机床

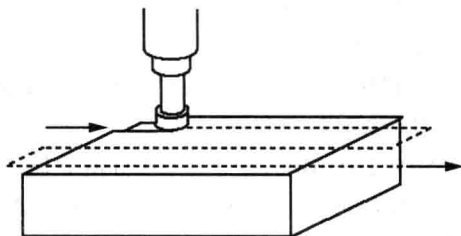


图 1.5 点位直线控制数控机床

这类机床主要有简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

3. 轮廓控制数控机床

如图 1.6 所示,轮廓控制数控机床的特点是数控装置能够对两个或两个以上坐标轴同时进行控制,不仅控制机床移动部件的终点坐标,而且控制整个移动轨迹每一点的速度和位移,使机床加工出符合设计要求的各种外形复杂的零件。

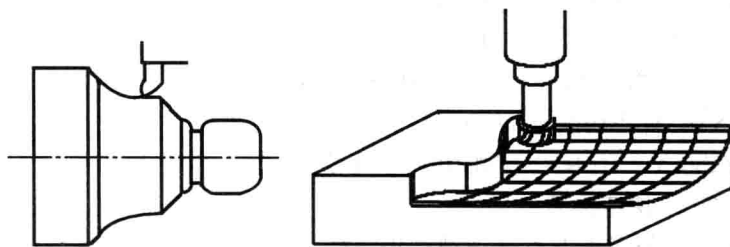


图 1.6 轮廓控制数控机床

这类机床主要有数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.2 按加工方式分类

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床指采用车、铣、刨、磨、钻、镗等各种切削加工方式去除多余金属材料的数控机床。

此类机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

2. 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床指采用挤、压、冲、拉等成型方式进行加工的数控机床。

此类机床有数控弯管机、数控折弯机、数控压力机等。

3. 特种加工类数控机床

主要有数控电火花加工机床、数控线切割加工机床、数控激光切割机床等。

4. 其他类型的数控机床

主要有三坐标测量机、数控对刀仪、数控绘图仪等。

1.2.3 按控制轴数及联动轴数分类

一般数控系统可以控制基本坐标 X 、 Y 、 Z 和绕 X 、 Y 、 Z 轴回转的 A 、 B 、 C 轴。联动轴数是指数控系统控制同时运动的坐标轴数。按联动轴数分为以下几种形式。

1. 两轴联动

主要用于数控铣床加工轮廓曲面或数控车床加工旋转曲面。

2. 两轴半联动

这种机床是指在加工中可两轴联动,另一轴作周期性进给的三坐标数控机床。

3. 三轴联动

此类机床比较多的使用于数控铣床、加工中心等数控机床。

4. 四轴联动

此类机床同时控制 X 、 Y 、 Z 三个移动坐标轴及另一旋转坐标轴,即可同时控制 X 、 Y 、 Z 、 A 轴的运动。

5. 五轴联动

除同时控制 X 、 Y 、 Z 移动坐标轴外还控制另外两个旋转坐标轴,此时刀具可以指向空间的任意方向,刀具在切削点上保持与被加工轮廓曲面成法线方向,提高曲面的加工精度。

1.2.4 按驱动系统控制方式分类

1. 开环控制数控机床

如图 1.7 所示,开环控制中,机床使用功率步进电机作为动力装置,没有检测和反馈装置,数控系统发出的信号是单向的,故此类机床加工精度低。因结构简单、成本低,所以常用于经济型数控机床。

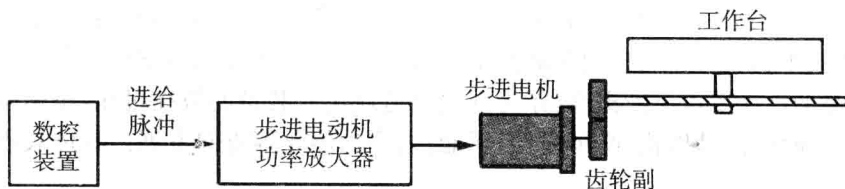


图 1.7 开环控制数控机床

2. 闭环控制数控机床

如图 1.8 所示,在闭环控制中,使用直流或交流伺服电机作为动力装置,机床的移动部件上装有位置检测装置。在加工过程中,时刻检测机床移动部件的位置,与设定值进行比较,使移动部件按需要的位移量运动,直至最终精确定位,因其加工精度高,主要用于精度要求较高的超精车床和加工中心等。

3. 半闭环控制数控机床

如图 1.9 所示,位置检测元件安装在伺服电机相关联的元件上,间接测量伺服电机的转角,推算出运动部件的实际位移量,用位移实际值与设定值的差值对机床进行控制。因其精

度比闭环控制低,故常用于中档数控机床之中。

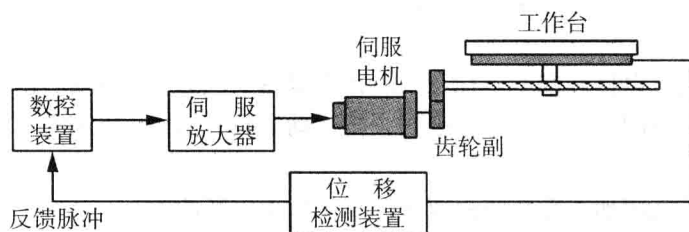


图 1.8 闭环控制数控机床

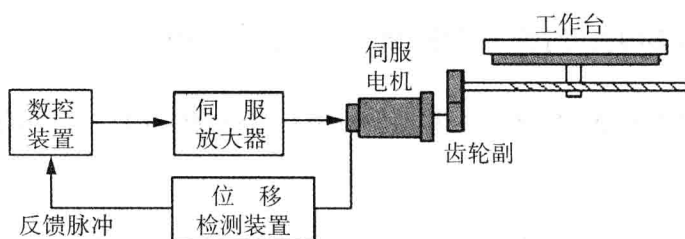


图 1.9 半闭环控制数控机床

1.3 数控技术发展趋势

1.3.1 数控机床发展趋势

尽管数控机床的发展历史仅有短短的 50 年历史,但现代数控机床的技术领域已经覆盖了包括电子技术、数字技术、自动控制技术、机械制造技术等多门类学科。随着生产技术的发展,对产品的性能要求不断提高,作为现代制造业主要装备的数控机床,不断采用新技术成就,朝着高速化、高精度化、高可靠性、智能化、多功能化等方向发展。具体表现在以下几个方面:

1. 高速化与高精度化

要提高生产效率,最有效的方法是提高速度和精度。但这两项又相互制约,提高速度,定位精度会降低,从而影响加工精度。现代数控机床分辨率可达 $0.01\ \mu\text{m}$,进给速度达到 $60\ \text{m/min}$ 。为实现更高速、更高精度的目标,就对机床、数控系统、伺服系统提出了更高要求。

1) 机床方面

高速加工主轴转速达到 10 万转/分钟,传统齿轮变速、主传动系统已不能适应需求。当前采用内装式电动机主轴,以适应主轴高速运转的要求。另外在数控伺服系统采用自动补偿,机械系统静、动摩擦非线性的控制功能避免机床在加工过程中出现爬行。

2) 数控系统方面

新一代数控系统采用开放式体系结构,大量采用通用微机的先进技术。采用多 CPU 结构,来提高插补运算速度和精度。

3) 伺服系统方面

采用现代控制理论,通过计算机软件实现最优控制,提高跟随精度。采用数字伺服系统使电机位置环和速度环的控制实现数字化,采用专用微处理器芯片,以达到对电动机的高速、高精度控制。

2. 高可靠性

可靠性是选择数控机床的主要指标。新型数控系统通过采用专用芯片的方法提高集成度,使用表面封装技术等提高系统硬件质量。通过增强故障自诊断、自恢复、保持功能等措施提高数控机床的可靠性。

衡量可靠性重要的指标是平均无故障时间(MTBF),一些先进的数控系统 MTBF 已达到 80 000 小时以上,伺服系统的 MTBF 值达到 50 000 小时以上。

3. 智能化

应用进化计算、模糊系统和神经网络控制机理,具有加工过程的自适应控制,负载自动识别,工艺参数自动生成,运动参数动态补偿,智能诊断,智能监控等功能;应用图像识别和声控技术,由 CNC 系统自动决定工件加工部分,按自然语言进行编程,工人只要将加工工件尺寸参数输入数控系统,系统就能自动生成加工程序。

4. 多功能化

数控机床采用一机多能,以最大限度提高机床的利用率。用户界面是数控系统与操作者对话的接口。采用图形用户界面极大地方便了非专业用户的使用。

数控系统方面采用内装高性能 PLC 控制模块,可直接用梯形图或高级语言编程,具有直观的在线调试和在线帮助功能。

1.3.2 数控加工自适应控制

1. 自适应控制机床的产生及其基本原理

在机床-刀具-工件组成的系统上进行切削加工是一个动态过程,有许多因素和参数(如工件毛坯裕量不均、材料硬度不一、刀具磨损、刀刃积屑瘤、受力变形、切削振动和热变形等)将使切削过程不能处于最佳状态,从而影响切削过程的生产效率、加工质量和经济效益,甚至还会影响切削过程的正常进行。

数控机床的零件加工程序,给定了零件与刀具相对运动的指令信息,还直接给定了切削速度、进给速度和间接给定了切削加工裕量等工艺参数。但是在零件的加工程序中预先给定的工艺参数,一般都是经验数据或在特定条件下试验确定的数据。这些参数往往不是最优的,而且一旦确定就不能随着切削过程条件的变化而变化,因此,使切削过程无法达到最佳状态。如果在切削过程中,能根据随时变化的实际切削条件及时修正切削用量,就有可能获得最好的加工效果。机床的自适应控制就是为了解决这一问题而在 20 世纪 60 年代出现的一种机床的控制技术。自适应控制出现在数控技术之后,它与数控技术相结合,是机床自动控制技术的一个重大突破,它对机床的自动控制将产生深远影响。

机床的自适应控制以机床-刀具-工件系统所完成的切削过程作为调节控制对象。一个切削过程可以用一些表现它特性的状态参数(如切削力、扭矩、功率、主轴变位、振动、热变形等)来实施,这些状态参数因机床的输入参数(如进给速度、切削速度和切削裕量)而产生并受输入参数的影响。在切削过程中,根据预定的评价指标(又称评价函数,如最大生产率、最低加工成本、最好加工质量等)或约束条件(如恒切削力、恒切削速度、恒切削功率等),及时自动修正输入参数,使切削过程达到最佳状态,以获得最优的切削效果,这就是机床自适应控制的基本定义和原理。

如图 1.10 所示机床自适应控制系统的基本原理框图。它除了一般数控机床的位置和速度反馈回路外,还增加了自适应控制反馈回路。当系统受到各种随机因素的干扰后,切削过程的状态参数的数值即发生变化,用传感元件随时检测到这些参数的数值并经转换,在自适应控制单元中与给定的评价指标或约束条件进行判别比较,然后经机床的数控装置输出校正信号,对系统的输入参数进行修正,从而使切削过程向预定的指标和条件转变,以达到最佳状态。由上所述,机床的自适应控制需要经过判别(检测)、决策(比较)、校正(调节)这 3 个过程。

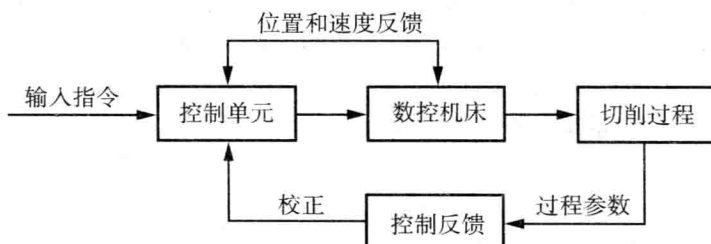


图 1.10 自适应控制系统的基本原理框图

自适应控制机床的优点主要表现在以下几个方面:

(1) 提高切削效率,充分发挥机床效能。

(2) 能根据评价指标或约束条件的要求,使切削过程在最佳状态下进行,可以达到加工成本最低、加工质量最高的目的。可使机床约束在容许负载下工作,从而保护了机床。

(3) 由于自适应控制机床能在预定的目标下自动调节校正切削用量,因此,诸如快速进给和工作进给的转换,分配切削裕量的走刀数等指令,不必在零件加工程序中预先规定,只需按工件的最后形状编制程序,这样就简化了程序和缩短了编程时间。

自 20 世纪 60 年代以来,简单的自适应控制机床或附在数控机床上的自适应控制装置已进入了实用化阶段。而复杂的自适应控制机床,如以最低成本和最好加工质量作为评价指标的机床,由于种种状态参数联机检测传感器尚未达到实用化的程度,所以还停留在实验研究阶段。

2. 自适应控制机床的类型

一般分为约束自适应控制(ACC)和最佳自适应控制两种类型。

如图 1.11 为一种约束自适应控制的机床。

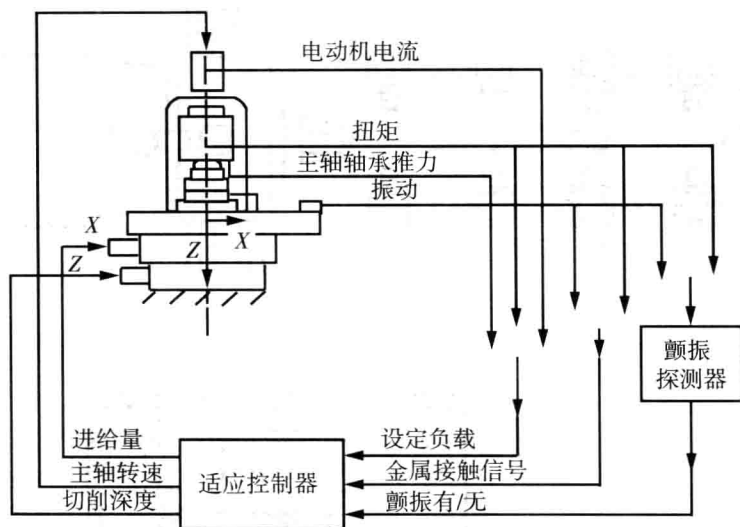


图 1.11 约束自适应控制机床

1.3.3 柔性制造单元与柔性制造系统

1. 柔性制造单元(FMC)

FMC 是一种在人的参与减小到最小时,能连续地对同一加工点内不同的零件进行自动加工的最小加工单元。它由加工中心与自动交换装置组成,同时数控系统还增加了自动检测与工况自动监控等功能。根据不同的加工对象,FMC 中的 CNC 机床的类型、数量以及工件更换与存储方式的不同,有多种形式,但主要有托盘搬运式和机器人搬运式两大类型。

1) 托盘搬运式

如图 1.12 所示 FMC-1 型柔性制造单元采用了托盘搬运式的结构形式。托盘是固定工件的,其上可装夹几个不同的零件,也可以是几个相同的零件,在加工过程中它与工件一起移动。该柔性制造单元由卧式加工中心、托盘以及托盘交换、环形交换工作台装置组成。环形工作台是一个独立的通用部件,托盘座在环形导轨上由内侧的环链带动回转,用于工件的输送与中间存储。每个托盘座上有地址编码,当一个工件加工完毕后,托盘交换装置将加工完成的工件连同托盘一起拖回至环形工作台的空位,然后按指令将下一个待加工的托盘与工件转到交换位置,由托盘交换装置将它送到机床工作台并定位以待加工。与此同时已加工完成的工件连同托盘回转至工件的装卸工位,由机器或工人卸下并装上待加工工件。

托盘搬运方式多用于箱体类零件或大型零件的加工。

2) 机器人搬运式

对于车削中心等机床,可以使用机器人搬运式的结构进行工件的更换。如图 1.13 所示的 FMC,它由一台车削中心、一台加工中心、两个回转工作台、一个机器人组成。每台机床各有一交换工作台作为输送缓冲存储,机器人在机床间移动为两台机床服务。

因为机器人抓取工件的质量和尺寸受到限制,机器人搬运式多用于回转类零件和小型零件的加工。