



21世纪 高等职业教育通用教材

数控加工编程

SHUKONG JIAGONG BIANCHENG

黄康美 \ 主编 曹甜冬 杜红文 \ 副主编

上海交通大学出版社

21 世纪高等职业教育通用教材

数 控 加 工 编 程

主 编 黄康美
副主编 曹甜冬
杜红文

上 海 交 通 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书以 FANUC 系统为例,介绍了各类常用数控机床的加工程序编制方法。全书共分七章,第 1 章为数控编程基础知识,第 2 章为数控加工工艺处理,第 3 章为数控车床加工编程,第 4 章为数控铣床加工编程,第 5 章为加工中心的加工编程,第 6 章为线切割机床加工编程,第 7 章为自动编程系统。

本书适用于高职数控、机电或机制类专业教材,也可作为从事数控加工编程的工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工编程 / 黄康美主编. —上海: 上海交通大学出版社, 2004
21 世纪高等职业教育通用教材
ISBN 7-313-03843-7

I . 数... II . 黄... III . 数控机床—程序设计—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 082870 号

数控加工编程

黄康美 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13 字数: 313 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1 — 3 050

ISBN 7-313-03843-7/TG · 053 定价: 20.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业教育通用教材

编 审 委 员 会

主 任 名 单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

叶春生 詹平华

编审委员会名誉主任

李 进 李宗尧

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

孔宪思	王俊堂	王继东	白玉江
冯拾松	匡亦珍	朱懿心	吴惠荣
李 光	李坚利	陈 礼	赵祥大
洪申我	饶文涛	秦士嘉	黄 斌
董 刚	薛志信		

序

发展高等职业教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年轻的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲职业工学院、上海交通高等职业技术学院、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

前 言

数控技术是现代制造业的核心技术。随着我国正逐步成为世界制造基地,企业对数控技术应用方面的人才需求日益迫切。教育部正将数控专业列为技能型紧缺人才培养项目。为适应高职数控专业教育的需求,本书以工程应用为目的,以培养数控编程技能为主线,介绍了零件加工工艺的处理方法,数控加工程序的编程方法。内容上力求体现实用性,采用大量实际加工编程实例,讲练结合,注重实效。每章都附有习题供学生和读者巩固复习时用。

本书由黄康美担任主编,曹甜冬、杜红文担任副主编。其中,第1章由江苏信息职业技术学院副教授黄康美编写,第2章由江阴职业技术学院赵勇彪编写,第3章、第6章由荆门职业技术学院曹甜东编写,第4章、第5章由浙江机电职业技术学院杜红文编写,第7章由泰兴职业技术学院张亚萍编写。全书由黄康美负责统稿和定稿。

编者

2004年4月

目 录

第 1 章 数控编程基础知识	1
1.1 数控机床概述	1
1.2 程序编制的内容与方法	9
1.3 数控机床的坐标系	11
1.4 程序结构与格式	13
1.5 数控编程中的数值计算	21
第 2 章 数控加工工艺处理	24
2.1 概述	24
2.2 数控加工工艺处理方法	25
2.3 数控车床加工工艺基础	31
2.4 数控铣床加工工艺基础	42
2.5 加工中心加工工艺基础	51
第 3 章 数控车床加工编程	64
3.1 数控车床编程基础	64
3.2 基本编程指令	69
3.3 刀具补偿功能	73
3.4 车削固定循环指令	77
3.5 子程序编程	85
3.6 螺纹加工指令	89
3.7 数控车床加工编程实例	94
第 4 章 数控铣床加工编程	100
4.1 数控铣床编程基础	100
4.2 基本编程指令	106
4.3 刀具尺寸补偿指令	113
4.4 孔加工固定循环	120
4.5 用户宏功能	128
4.6 数控铣削加工编程实例	137
第 5 章 加工中心的编程	142
5.1 加工中心的编程基础	142

5.2 加工中心的编程方法	147
第 6 章 线切割机床编程	151
6.1 线切割机床概述	151
6.2 数控线切割机床的编程方法	154
6.3 线切割加工工艺	163
6.4 线切割加工编程举例	170
第 7 章 自动编程系统	174
7.1 自动编程系统概述	174
7.2 MasterCAM 概述	175
7.3 其他常用 CAD/CAM 软件介绍	195
参考文献	198

第 1 章 数控编程基础知识

1.1 数控机床概述

数控机床是指装备了数控系统的机床。数控系统是一种采用数字控制技术的控制系统，它能够自动识别并处理使用规定的数字和文字编码的程序，从而控制机床完成预定的加工。

1.1.1 数控机床的基本工作过程与组成

1.1.1.1 数控机床加工零件的过程

- (1) 根据零件图样和加工工艺，用规定的指令和程序格式进行程序编制；
- (2) 通过键盘或其他输入装置将加工程序以及加工参数输入数控装置；
- (3) 完成工件安装和刀具调整；
- (4) 数控机床自动完成零件加工。一方面，通过数控装置进行插补运算，控制伺服系统驱动机床各坐标轴运动，从而使刀具与工件按照要求的轨迹进行相对运动，并通过位置检测反馈装置保证位移精度。另一方面，按照加工要求，通过 PLC 控制主轴及其他辅助装置协调工作。

数控机床通过程序调试、试切削后，进入正常批量加工时，操作者只需进行工件装卸，再按下程序自动循环按钮，机床就能自动完成整个加工过程。

1.1.1.2 数控机床的基本组成

数控机床由数控系统和机床本体两部分组成，而数控系统又由输入装置、数控装置、伺服系统和辅助控制装置等部分组成，如图 1-1 所示。

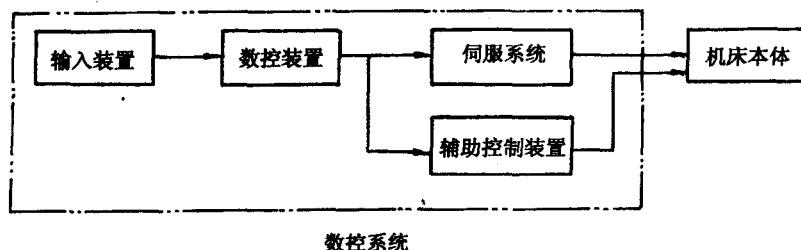


图 1-1 数控机床的组成

1. 输入装置

输入装置的作用主要是输入加工程序和加工数据。对应于不同的输入方法,有不同的输入装置。

控制介质是用于记载零件加工过程中所需的各种加工信息的信息载体,是实现操作者与设备之间的联系の媒介物。常用的控制介质的形式有穿孔纸带、磁带和磁盘等。与之相应的输入装置有光电阅读机、录音机、软盘驱动器等。

现代数控机床可用操作面板上的键盘直接将程序和数据输入。随着 CAD/CAM 技术的发展,有些数控机床可利用 CAD/CAM 软件在通用计算机上编程,然后通过计算机与数控机床之间的通信,将程序与数据直接传送给数控装置。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现在的数控机床一般都采用微型计算机作为数控装置,这种数控装置称为计算机数控(CNC)装置。

数控装置的功能是接受外部输入的加工程序和各种控制命令,识别这些程序和命令并进行运算处理,处理结果输出控制命令,其中除送给伺服系统的速度和位移指令外,还有送给辅助控制装置的机床辅助动作指令。

数控装置由硬件和软件两部分组成。硬件包括通用 I/O 接口、CPU、存储器以及数字通信接口等。软件包括管理软件和控制软件。管理软件用来管理零件程序的输入、输出,显示零件程序、刀具位置、系统参数以及报警,诊断数控装置是否正常并检查故障原因。控制软件则完成译码、刀具补偿、插补运算、位置控制等。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分,用于接受数控装置输出的指令信息,并经功率放大后,带动机床移动部件按照规定的轨迹和速度运动,使机床完成零件的加工。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两部分。一般数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为执行机构,这些电动机均带有光电编码器等位置测量装置和测速电动机等速度测量元件。主要由伺服电动机、驱动控制系统以及位置检测反馈装置等组成。数控装置发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,再经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机运转,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

每一坐标方向的进给运动部件配备一套进给伺服驱动系统。相对于数控装置发出的每个脉冲信号,机床的进给运动部件都有一个相应的位移量,此位移量称为脉冲当量,也称为最小设定单位,其值越小,加工精度越高。根据精度的不同,数控机床常用的脉冲当量为 0.01mm, 0.005mm, 0.001mm。

伺服系统的伺服精度和动态响应将直接影响数控机床的加工精度、表面粗糙度及生产效率。位置和加工精度,是数控机床的关键部件。

4. 辅助控制装置

数控机床除对各坐标方向的进给运动部件进行速度和位置进行控制外,还要完成程序中的 M、S、T 等辅助功能所规定的动作,如主轴电机的启停和变速、刀具的选择和交换、冷却泵的开关、工件的装夹、分度工作台的转位等。另外,还要对机床的状态进行监视,如检测是否超行程、电动机是否过热等,以及要对操作面板的操作开关和按钮的状态进行扫描。这些工作通常与机床的强电部分有关,控制对象是继电器、交流接触器、电磁阀等执行元件,控制的往往是

开关量信号。

完成以上控制任务的装置称为辅助控制装置。由于可编程控制器具有响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改等优点,并可直接驱动机床电器,目前已普遍用作辅助控制装置。

数控机床用的 PLC 主要有独立式和内置式两类。独立式 PLC 对于 CNC 装置来说是一种外部设备。内置式 PLC 是 CNC 装置的组成部分,即在 CNC 装置中带有 PLC 的功能。现代 CNC 装置中越来越多采用内置式 PLC。

5. 机床本体

机床本体即为数控机床的机械部分,除了主传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助部分(如液压、气动、冷却、润滑等)等一般部件外,还有特殊部件,如储备刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)、回转工作台等。

与普通机床相比,数控机床的传动装置更为简单,但机床的静态和动态刚度、传动装置的传动精度要求更高,滑动面的摩擦系数要小,并要有适当的阻尼,以适应对数控机床的高定位精度和良好的控制性能的要求。

1.1.2 数控机床的分类

1.1.2.1 按工艺用途分类

按机床的工艺用途,可分为:

1. 金属切削类

这类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控钻床、数控拉床、数控刨床、数控切断机床、数控齿轮加工机床以及各类加工中心。据调查,在金属切削机床中,除插床外,国内外都开发了数控机床,而且品种越来越细。

加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。它将铣削、镗削、钻削、攻螺纹等功能集中在一台设备上,使其有多种工艺手段。加工中心的刀库可容纳 10~100 多把各种刀具或检具,在加工过程中由程序自动选用和更换。这是它与普通数控机床的主要区别。

2. 金属成型类

这类数控机床包括数控板料折弯机、数控直角剪板机、数控冲床、数控弯管机、数控压力机等。这类机床起步较晚,但目前发展较快。

3. 特种加工类

这类数控机床包括数控线(电极)切割机床、数控电火花切割机床、数控电火花成型机床、带有自动换电极的电加工中心、数控激光切割机床、数控激光热处理机床、数控激光板材成型机床、数控等离子切割机床、数控火焰切割机等。

4. 其他类

其他类型的数控机床包括数控三坐标测量机等。

1.1.2.2 按控制系统的功能分类

按控制系统的功能水平,可把数控机床分为低档(经济型)、中档、高档三类。此外,国内还分为全功能数控机床、普及型数控机床和经济型数控机床。这些分类方法没有明确的定义和

标准,但却比较直观。表 1-1 所示几个方面通常作为分类评价的主要依据。

表 1-1 数控机床的分类

功能 \ 档次	低档	中档	高档
CPU 档次	8 位 CPU	16 位或 32 位 CPU	32 位或 64 位 CPU
脉冲当量	0.01~0.005mm	0.005~0.001mm	0.001~0.0001mm
进给速度	8~15m/min	15~24m/min	15~100m/min
联动轴数	2~3 轴	3~4 轴	3 轴以上
内装 PLC	无	无	有
显示功能	数 码 管 或 简 单 CRT 显示	功能较齐全的 CRT 显 示	功能齐全的 CRT 显示(三维图形动态 显示)
通信功能	无通信功能	RS232C、RS485 等通信 接口	RS422A 或支持制造自动化协议 MAP 的高性能通信接口,具有联网功能
伺服进给系统	开环步进电机驱 动	半闭环直流或交流伺 服系统	闭环直流或交流伺服系统

1.1.2.3 按伺服系统的类型分类

1. 开环伺服系统数控机床

开环伺服系统数控机床的特点是其伺服系统不带反馈装置,通常使用步进电机作为伺服执行元件。数控装置发出的指令脉冲,输送到伺服系统中的环形分配器和功率放大器,使步进电机转过相应的角度,然后通过减速齿轮和丝杠螺母机构,带动工作台和刀架移动。图 1-2 所示为开环伺服系统框图。

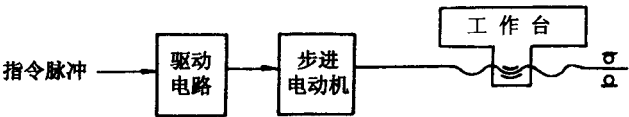


图 1-2 开环伺服系统框图

开环伺服系统对机械部件的传动误差没有补偿和校正,工作台的位移精度完全取决于步进电机的步距角精度、机械传动机构的传动精度,所以控制精度较低。同时受步进电机性能的影响,其速度也受到一定的限制。但这种系统结构简单、运行平稳、调试容易、成本低廉,因此适用于经济型数控机床或旧机床的数控化改造。

2. 闭环伺服系统数控机床

闭环伺服系统是在移动部件上直接装有直线位移检测装置,将测得的实际位移值反馈到输入端,与输入信号作比较,用比较后的差值进行补偿,直到差值消除为止,实现移动部件的精确定位。

闭环伺服系统具有位置反馈系统,可以补偿机械传动机构中的各种误差,因而可达到很高的控制精度,一般应用在高精度的数控机床中。由于系统增加了检测、比较和反馈装置,所以

结构比较复杂,调试维修比较困难。

图 1-3 是闭环控制伺服系统框图。

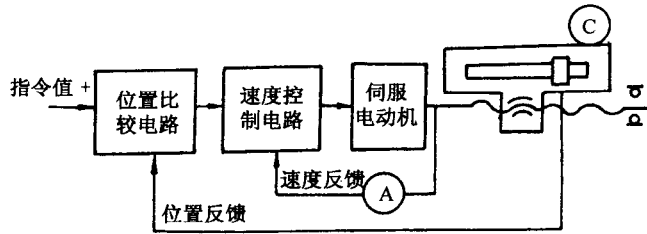


图 1-3 闭环伺服系统框图

3. 半闭环伺服系统数控机床

半闭环伺服系统是在伺服机构中装有角位移检测装置(如感应同步器或光电编码器),通过检测角位移间接检测移动部件的直线位移,然后将角位移反馈到数控装置。

半闭环伺服系统没有将丝杠螺母机构、齿轮机构等传动机构包括在闭环中,所以这些传动机构的传动误差仍会影响移动部件的位移精度。但由于将惯性较大的工作台安排在闭环以外,使这种系统调试较容易,稳定性也好。而且,如果在半闭环伺服系统中采用精度较高的滚珠丝杠和消除间隙的齿轮副,再配以螺距误差补偿装置,还是能够达到较高的加工精度。因此,半闭环伺服系统在生产中得到了广泛的应用。

图 1-4 所示为半闭环伺服系统框图。

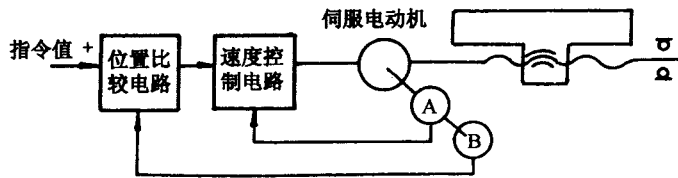


图 1-4 半闭环伺服系统框图

1.1.3 数控加工的特点和适应性

1.1.3.1 数控加工的特点

数控机床是高度自动化的机床,它是按照程序自动加工零件的。与普通机床加工零件相比,主要有如下的加工特点。

1. 加工精度高,质量稳定

数控机床的传动装置与床身结构具有很高的结构刚度和热稳定性,而且在传动机构中采取了减少误差的措施,并由控制系统进行补偿。同时,由于数控机床是按所编程序自动进行加工的,消除了操作者的人为误差。因此,数控机床不仅具有较高的加工精度,而且,同批加工的零件几何尺寸一致性好,质量稳定。

2. 生产效率高

零件加工所需要的时间包括切削时间和辅助时间两部分。数控机床能有效的减少这两部分时间,从而加工生产效率比普通机床高得多。

数控机床主轴转速和进给速度的范围比普通机床大,每道工序都可以选用合理的切削用量;同时,良好的结构刚性允许数控机床采用大切削用量的强力切削,有效地节省了切削时间;由于数控机床加工时能在一次装夹中加工出许多待加工部位,既省去了在普通机床加工中的不少中间工序(如划线、检验等),也大大缩短了辅助时间。如果采用加工中心,可在一台机床中实现多道工序的连续加工,缩短了半成品的周转时间,生产效率的提高更为明显。

3. 对加工对象的适应性强

在数控加工中,只需重新编制程序,就能实现对新零件的加工。有些情况下,甚至只需修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现新的加工,一般不需要重新设计制造工装,这就为单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便,大大缩短生产准备时间及试制周期。数控机床还能完成对那些普通机床很难加工或无法加工的精密复杂零件的加工。

4. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床的加工过程是按输入程序自动完成的,一般情况下,操作者只要做操作键盘、装卸工件、更换刀具、完成关键工序的中间检测以及观察机床运行等工作,不需要进行繁重的重复性手工操作;与操作普通机床相比,劳动强度大为降低。

5. 便于实现现代化管理

采用数控机床加工,能准确计算零件的加工工时和费用,并有效地简化检验、工夹具和模具的管理工作。这些都有利于实现生产管理现代化,实现计算机辅助制造。数控机床是构成柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的基础。

数控机床虽然有上述的优点,但其初期投资大,维修费用高,对操作及管理人员的素质要求较高。因此,应合理地选择及使用数控机床,提高经济效益。

1.1.3.2 数控加工的适应性

从经济角度考虑,数控机床的加工对象可按照适应程度分为二类。

1. 最适应类

(1) 加工精度要求高,形状、结构复杂,尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件,或者具有不开敞内腔的盒型或壳体零件。这类零件在普通机床上很难加工、检测。

(2) 必须在一次装夹中完成铣、钻、铰、镗或攻丝等多道工序的零件。

(3) 需要多次更改设计后才能定型的零件。

2. 较适应类

(1) 价格昂贵,毛坯获得困难,不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时有一定的难度,容易造成次品或废品。

(2) 在普通机床上加工效率低,劳动强度大,质量难以控制的零件。

(3) 多品种、多规格、小批量生产的零件;需要最小生产周期的零件。

随着数控机床性能的提高,功能的完善和成本的降低,适应性也会随之发生相应的变化。

1.1.4 数控加工的发展

1.1.4.1 数控机床的发展概况

数控机床的研制始于美国。1952年美国麻省理工学院研制成功第一台三坐标数控铣床。

随着电子技术、计算机技术、自动控制技术和精密测量技术的发展,数控机床也在迅速地发展和不断更新换代。

以微电子技术的发展为推动力,数控机床先后经历了几代变化:

第一代:1952~1959年,采用电子管;

第二代:1959年开始,采用晶体管;

第三代:1965年开始,采用小规模集成电路;

第四代:1970年开始,采用大规模集成电路及小型计算机;

第五代:1974年开始,采用微型计算机。

前三代是20世纪70年代以前的早期数控系统,它们都是采用专用电子电路实现的硬接线数控系统,因此称为硬件式数控系统,也称为NC系统。第四代和第五代数控系统是70年代中期开始发展起来的采用微处理器及大规模或超大规模集成电路实现的数控系统,它具有很强的控制功能和程序存储功能,这些功能是由控制程序实现的,因此称为软件式数控系统。软件式数控系统也称为计算机数控系统或CNC系统。目前,CNC系统几乎完全取代了以往的NC系统。

我国早在1958年就开始研制数控机床,但没有取得实质性的成果。70年代初期,我国曾掀起研制数控机床的热潮,但当时的数控系统主要采用分立电子器件,性能不稳定,可靠性差,在生产中不能稳定可靠地使用。1980年开始,北京机床研究所从日本FANUC公司引进FANUC5、7、3、6数控系统,上海机床研究所引进美国GE公司的MTC-1数控系统,辽宁精密仪器厂引进美国Bendix公司的Dynaph LTD10数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,国内许多生产厂家相继研究、开发出各种类型的数控系统。

目前,我国已能批量生产和供应各类数控系统,其技术水平已达到80年代中期的国际先进水平。

1.1.4.2 数控加工技术的发展趋势

现代数控机床及其数控系统,目前正朝着向高速度、高精度、高可靠性、高智能和高通信功能等方向发展,主要体现为:

1. 高速度

提高数控机床的生产率,其主要方法是提高数控机床的切削速度和减少辅助时间。微处理器是现代数控系统的核心部件,担负着运算、存储和控制等多重任务,其位数和运行速度直接关系到提高数控机床的加工速度。提高计算机的运算速度,可以使得输入、译码、计算、输出等环节都高速完成,并可提高数控系统的分辨率和实现连续小程序段的高速、高精度加工。

现代数控系统已普遍采用32位的CPU。主频由5MHz提高到50MHz、500MHz甚至更高,并使结构模块化、标准化、通用化,使数控功能可根据用户需要进行组合和扩展。有的系统还制造了插补器的专用芯片,以提高插补速度。有的采用多CPU系统,减轻主CPU的负担,进一步提高控制速度。近年来开发的主CPU为64位的新型数控系统,增强了插补运算和快速进给功能,可成倍提高处理速度。

数控系统发出位置指令后,由于机械不能很快响应,所以会产生滞后现象。采用现代控制理论和交流数字伺服系统可实现高速和高精度的伺服控制,使伺服驱动不受机械负荷变动影响,并能高速响应。

2. 高精度

为提高数控机床的加工精度,除了提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性外,在控制系统方面也采取了一些有效的措施:

在减少 CNC 系统误差方面,通常采取提高数控系统分辨率,使 CNC 控制单元精细化。

在伺服系统方面采取的措施主要有:采用数字伺服系统,使伺服电机的位置、速度及电流环路等参数实现数字化控制;采用高分辨率的位置编码器;对机床静摩擦系数的非线性控制;增强和完善机械系统误差补偿功能等。

3. 高可靠性

提高数控系统的可靠性,可大大降低数控机床的故障率。

衡量可靠性的重要量化指标是平均无故障工作时间(MTBF)。数控系统的 MTBF 值已由 70 年代的大于 3000h、80 年代的 10000h,提高到 90 年代的 30000h。日本 FANUC 公司的 CNC 系统已达到 MTBF $\approx$ 125 个月。

数控机床整机的可靠性也有显著提高,整机的 MTBF 值由 80 年代初期的 100~200h 提高到现在的 500~800h。

4. 高智能化

由于 CNC 系统使用的计算机容量越来越大,运算速度越来越快,使得 CNC 系统不仅完成机床的数字控制功能,而且还可充分利用软件技术,实现系统的智能化,给操作者以更大的方便。如具有友好的人机对话功能、机床故障自诊断系统、自动编程系统、机床保护功能、刀具管理功能等等。

机床故障自诊断系统是以专家们所掌握的对于各种故障原因及其处理方法为依据开发的应用软件。只要回答显示器中提出的简单问题,就能和专家一样诊断出机床的故障原因以及提出排除故障的方法。

在编程方面,操作者只要将加工零件的形状和必要的毛坯形状输进 CNC 系统,就能自动生成加工程序,使编程时间大大缩短。

CNC 系统如何与人工智能技术相结合,除了上述在故障诊断和编程中的应用外,还有更大的领域留待探索。

5. 高通信功能

为了满足多品种、小批量以及产品更新换代的要求,越来越多的工厂希望将多台数控机床组成各种类型的生产线或者 DNC 系统。所谓 DNC 系统,是将几台数控机床用一台计算机来集中管理,并由它将控制信息输入数控机床。因此,要求 CNC 系统提高联网能力。

现代的 CNC 系统一般都配置有 RS232、RS422 串行接口,和具有适应 MAP(制造自动化协议书)的接口,并采用光缆通信,以提高与同级机和上位机进行多种数据传送的速度和可靠性。

1.1.4.3 机械制造自动化的发展

为满足现代化生产日益提高的要求,具有多功能和一定柔性的现代化生产系统相继出现,使数控加工技术向更高层次发展。

现代化生产系统主要有柔性制造单元 FMC(Flexible Manufacturing Cell),柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System),计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integral Man-

ufacturing System)。

柔性制造单元 FMC 可由一台或多台数控设备组成,既具有独立的自动加工的功能,又部分具有自动传送和监控管理功能。所谓柔性,就是通过编程或稍加调整就可同时加工几种不同的工件。FMC 由加工中心和自动交换工件装置所组成,加工中心伺服系统具有自动检测和工况监控功能。若干个 FMC 可组成一个 FMS。

柔性制造系统 FMS 是一个由中央计算机控制的自动化制造系统,它主要由多工位的数控加工系统(一些数控机床和加工中心)、自动化的物料输送和存储系统、计算机控制信息系统组成。物料输送装置将工件放在托盘或其他连接设备上,送到加工设备,使工件加工准确、迅速和自动。全部过程由中央计算机进行调度,若干台计算机进行工位控制,形成各个制造单元相对独立而又能灵活调节、具有很强适应性的制造系统。

计算机集成制造系统 CIMS 是在柔性制造技术、信息技术、自动化技术、计算机技术以及制造技术等现代科学技术的基础上,通过计算机及其软件,将制造工厂生产、经营的全部活动与整个生产过程有关的物流与信息流实现计算机系统化管理,构成一个现代化的制造系统,以求得企业的总体效益。

CIMS 综合利用了 CAD/CAM、FMS、FMC 及工厂自动化系统,实现了无人管理。我国在 1986 年开始在 CIMS 的发展和应用方面进行了大量的研究探索,并取得了可喜的成果。

机械制造自动化正在经历 CNC→FMS→CIMS 的三部曲,它是机械制造业自动化不断趋向深化,即朝着设计、制造、管理全自动化的方向发展。

1.2 程序编制的内容与方法

1.2.1 程序编制的内容及步骤

一般说来,数控机床程序编制的步骤为:

工艺处理→数值计算→编写零件的加工程序单→制备控制介质→程序校核及首件试切。

1. 工艺处理

在对零件图进行全面分析的基础上,确定零件的装夹定位方法、加工路线(如对刀点、换刀点、进给路线)、刀具及切削用量等工艺参数(如进给速度、主轴转速、切削宽度和切削深度等)。

2. 数值计算

根据零件图和所确定的加工路线,要计算出刀具中心运动轨迹。

一般的数控装置具有直线插补和圆弧插补的功能。因此,对于加工由圆弧、直线组成的简单零件,只需计算出零件轮廓上相邻几何元素的交点或切点(基点)的坐标值,得出直线的起点、终点,圆弧的起点、终点和圆心坐标值。

当零件的形状比较复杂,并与数控装置的插补功能不一致时,需要作较复杂的计算。比如对非圆曲线等二次曲线,用仅有直线和圆弧插补功能的数控机床加工时,不仅需要计算基点,还要用直线段(或圆弧段)来逼近,在满足加工精度的条件下,计算出曲线上各逼近线段的交点