

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



数控加工编程及操作

杨继宏 主编



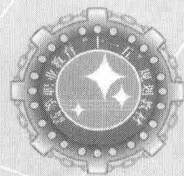
HUKONG JIAGONG BIANCHENG JI CAOZUO



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



数控加工编程及操作

主 编 杨继宏
副主编 卢 玲 王 丹
 魏仁胜 刘志锋
参 编 林 伟

HUKONG JIAGONG BIANCHENG YU CAOZUO

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程及操作/杨继宏 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2010. 7
ISBN 978-7-5609-6167-5

I. 数… II. 杨… III. ① 数控机床-程序设计-高等学校: 技术学校-教材 ② 数控机床-操作-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 075001 号

数控加工编程及操作

杨继宏 主编

策划编辑: 张 毅

责任编辑: 彭中军

封面设计: 刘 卉

责任校对: 刘 竣

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉楚海文化传播有限公司

印 刷: 武汉市洪林印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 16

插 页: 1

字 数: 400 千字

版 次: 2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 27.00 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



制造自动化技术是制造技术的重要组成部分,其核心技术是数控技术。近年来,数控技术与计算机技术一样,发展突飞猛进,数控机床在现代制造业中得到广泛的应用,促进高新技术企业以前所未有的速度发展。随着国内数控机床用量剧增,急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床工艺编程、技术操作和维护的应用型高级技术人才。同时,为了适应我国高等职业技术教育的改革和发展,以及应用型技术人才培养的需要,我们总结多年教学与实践经验,编写了这本教材。

本书从高职高专教育的实际出发,根据国内高等职业技术教育的教学改革要求,着重叙述数控机床加工与编程技术,同时还介绍了数控机床主体结构。以数控车床、数控铣床和加工中心的应用为重点,选用目前企业中广泛使用的 FANUC、SIEMENS 及国产华中世纪星数控系统为对象来介绍。以数控加工的实际生产为基础,介绍数控车床、数控铣床和加工中心的功能特点,突出典型零件的工艺分析及编程技术的指导。以实际应用为主线,强调学生实践技能与应用技巧的培养。

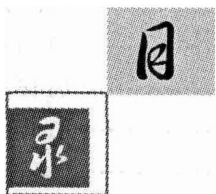
本书的特点如下。

- (1) 技术理论与应用实例相结合,特别适合高职教育边讲边练的教学特色。
- (2) 通过大量的典型综合实例,将学生所学过的相关理论知识有机地联系起来,并应用于实际训练之中,有利于学生综合应用能力及生产实践技能的培养。
- (3) 为了适应各个学校机床数控系统不同的具体情况,在数控机床编程部分,首先注重各种加工功能的讲解,之后针对不同数控系统,列举了大量的典型综合应用实例。
- (4) 经验表明,不同数控系统机床的编程与操作,有相似相通的特点,而现实要求无论是教师还是学生都应该掌握多种数控系统的应用。本书正是针对这一要求编写的。

本书共 10 个模块,其中吉林电子信息职业技术学院的王丹编写模块 4、模块 5,卢玲编写模块 6、模块 7,杨继宏编写模块 1、模块 3、模块 8;北京经济管理职业技术学院的魏仁胜编写模块 9;吉林农业大学发展学院的林伟编写模块 2;长春职业技术学院的刘志锋编写模块 10。吉林电子信息职业技术学院的周立波、刘凯在文字、图片编辑中做了大量的工作。本书由杨继宏任主编,卢玲、王丹、魏仁胜、刘志锋任副主编;全书由杨继宏统稿。

限于编者的水平和经验,书中难免有缺点或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2010 年 3 月



模块 1 数控机床概述	(1)
1.1 数控机床的产生及发展	(1)
1.2 数控机床的组成与数控加工原理	(2)
1.3 数控机床的分类	(5)
1.4 数控机床的技术发展趋势	(8)
习题	(12)
模块 2 数控加工基础	(13)
2.1 机械加工工艺规程设计	(13)
2.2 确定加工余量、工序尺寸和公差	(29)
2.3 数控加工工艺设计	(39)
2.4 成组工艺和 CAPP 简介	(45)
习题	(50)
模块 3 数控加工编程基础	(51)
3.1 数控编程的坐标系统	(51)
3.2 数控编程的过程及方法	(55)
3.3 数控加工程序的格式及常用指令	(57)
3.4 数控加工的工艺基础	(62)
3.5 填写数控加工技术文件	(66)
习题	(69)
模块 4 数控车削编程	(71)
4.1 数控车削概述	(71)
4.2 数控车削系统功能	(74)
4.3 SIEMENS-802S 系统数控车床的基本编程指令	(77)
4.4 典型零件编程与加工实例	(97)
习题	(113)
模块 5 数控车床的操作与加工	(114)
5.1 SIEMENS-802S 系统数控车床的操作面板	(114)

5.2 SIEMENS-802S 系统数控车床的基本操作	(117)
习题	(129)
模块 6 数控铣削编程	(130)
6.1 数控铣削编程基础	(130)
6.2 数控铣削编程的基本指令	(135)
6.3 简单循环类指令及孔加工指令	(146)
6.4 简化编程指令及其他指令	(154)
6.5 刀具补偿类指令	(157)
6.6 子程序与宏程序编程	(163)
习题	(170)
模块 7 数控铣床的操作与加工	(172)
7.1 华中世纪星系统数控铣床介绍	(172)
7.2 华中世纪星系统数控铣床操作	(176)
7.3 数控铣床操作编程实例	(182)
习题	(190)
模块 8 加工中心的编程与操作	(191)
8.1 加工中心概述	(191)
8.2 加工中心的程序编制	(194)
8.3 钻、镗固定循环及程序调用	(198)
8.4 综合铣削加工技术	(207)
8.5 加工中心的操作与加工	(213)
习题	(218)
模块 9 数控电火花线切割机床的程序编制	(221)
9.1 数控电火花线切割加工工艺	(221)
9.2 数控电火花线切割机床的基本编程方法	(228)
9.3 数控电火花线切割加工综合应用	(238)
习题	(241)
模块 10 CAD/CAM 软件	(243)
10.1 CAD/CAM 技术特点	(243)
10.2 CAD/CAM 软件分类	(245)
10.3 CAD/CAM 技术的发展趋势	(245)
10.4 典型 CAD/CAM 软件介绍	(246)
习题	(249)
参考文献	(250)

模块 / 数控机床概述

1.1 数控机床的产生及发展

随着科学技术的飞速发展,社会对机械产品的结构、性能、精度、效率和品种的要求越来越高,单件、中小批量产品的比例越来越大(目前已占到80%左右),传统的通用、专用机床和工艺装备已经不能很好地适应高质量、高效率、多样化加工的要求。因而,以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术,将机械技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术和成组技术等有机地结合在一起,使机器制造行业的生产方式和机器制造技术发生了深刻的、革命性的变化,数控机床由此诞生。

1. 概念

数控机床(numerical control machine tool)是采用数字控制技术(numerical control)的机械设备,是一种以数字量作为指令信息形式,通过专用的或通用的电子计算机控制的机床。通过数字化的信息可以对机床的运动及其加工过程进行控制。

数控机床可以将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等)、步骤及工件的尺寸用数字化代码表示,通过控制介质(如穿孔纸带或磁盘等)将数字信息送入控制装置,数控装置对输入的信息进行处理和运算,发出各种控制信号,这样控制机床的伺服系统或其他驱动元件就会使机床自动加工出所需要的工件。

2. 产生与发展

20世纪50年代初,美国出于军事工业发展的需要,设计并研制出了世界上第一台数控机床。1948年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想。1949年,该公司与麻省理工学院(MIT)合作,开始了三坐标铣床的数控化工作,1952年3月公开发布了世界上第一台数控机床并试制成功,可作直线插补。随后又经过3年调试、改进和提高,数控机床于1955年进入实用化阶段。从此,其他一些国家如德国、英国、日本和西班牙等国都开始研制数控机床,其中日本发展较快。当今世界上著名的数控厂家有日本的法那科(FANUC)公司、德国的西门子(SIEMENS)公司、西班牙的法格(FAGOR)公司等。1959年,由美国的克耐·杜列克(Keaney & Trecker)公司首次研制开发了加工中心(machining center, MC)。这是一种具有自动换刀装置(刀具交换位置)和

回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。20 世纪 60 年代末出现了直接数控系统 DNC(direct NC),由一台计算机直接管理和控制一群数控机床。1967 年英国出现了由多台数控机床连接而成的柔性加工系统,即现在的柔性制造系统(flexible manufacturing system,FMS)的前身。20 世纪 80 年代初出现了以加工中心或车削中心为主体,配备工件自动装卸和监控检验装置的柔性制造单元(flexible manufacturing cell,FMC),近几年又出现了以数控机床为基本加工单元的计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS),实现了生产决策、产品设计、制造、经营等过程的计算机集成管理和控制。

我国虽然早在 1958 年就开始研制数控机床,但由于历史原因,一直没有取得实质性成果。1980 年北京机床研究所引进了日本 FANUC 5、7、3、6 数控系统,上海机床研究所引进了美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统,辽宁精密仪器厂引进了美国 Bendix 公司的 Dynapth LTD 10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所又开发出 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统,航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间国家又组织近百个单位进行以发展自主知识产权为目标的“数控技术攻关”,从而为数控技术产业化奠定了基础。20 世纪 90 年代末,华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统,达到了国际先进水平,增强了我国数控机床在国际上的竞争实力。

1.2 数控机床的组成与数控加工原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床的组成框图如图 1-1 所示。主要由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成。

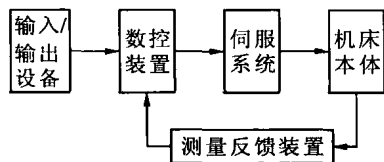


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 输入/输出设备

输入/输出设备的主要功能是编制程序、输入程序和数据、打印和显示。这一部分的硬件,简单者可能只有键盘和发光二极管显示器;一般的可再加上纸带、光电读带机、磁带、磁盘输入机、人机对话编程操作键盘和 CRT 显示器;目前通常还包含有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 数控装置

数控装置是数控设备的控制核心。它是根据输入的程序和数据,并按要求完成数值计算、逻辑判断、输入/输出控制、轨迹插补等功能。数控装置一般由一台专用计算机或通用计算机、输入/输出接口以及机床控制器(可编程控制器)等部分组成。机床控制器主要用于实现对机床辅助功能 M、主轴转速功能 S 和换刀功能 T 的控制。



3. 伺服系统

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电机、机械传动机构和执行机构。其主要功能是接受数控装置插补运算产生的信号指令,驱动机床的执行机构运动。伺服电机可以是步进电机、直流伺服电机或交流伺服电机。

4. 测量反馈装置

测量反馈装置由测量部件和响应的测量电路组成,其作用是检测速度和位移,并将信息反馈给数控装置,构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环数控系统。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

5. 机床本体

机床本体是被控制的对象,是数控机床的主体,包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。一般需要对它进行位移、角度、速度和各种开关量的控制。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,其机械传动结构得到了简化。

另外,为了保证数控机床功能的充分发挥,还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等)和辅助装置(如编程机和对刀仪等)。

1.2.2 数控机床的加工原理

当使用机床加工零件时,通常都需要对机床的各种动作进行控制,一是控制动作的先后次序,二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时,开车、停车、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由人工直接控制的。采用自动机床和仿形机床加工时,上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式来控制的,它们虽能加工比较复杂的零件,且有一定的灵活性和通用性,但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响,而且工序准备时间也很长。

采用数控机床加工零件时,只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式,编成程序代码输入到机床控制系统中,再由其进行运算处理后转成伺服驱动机构的指令信号,从而控制机床各部件协调动作,自动地加工出零件来。当更换加工对象时,只需要重新编写程序代码,即可完成由数控装置自动控制加工的全过程,能方便地制造出复杂的零件。数控加工原理框图如图 1-2 所示。

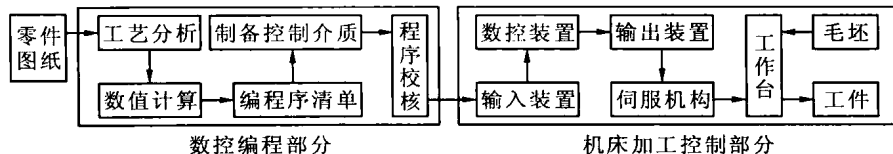


图 1-2 数控加工原理框图

从图 1-2 可以看出,数控加工过程总体上可分为数控编程和机床加工控制两大部分。数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和



变速;能自动控制进给速度、方向和加工路线,进行加工;能选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹;能完成加工中所需要的各种辅助动作。

1.2.3 数控机床的加工特点及应用范围

1. 数控机床的加工特点

1) 适应性强

数控机床灵活、通用、万能,可加工不同形状的工件,能完成钻、镗、铰、铰、铣削、车削、攻螺纹等加工。

2) 精度高,质量稳定

目前数控装置的脉冲当量(每输出一个脉冲后滑板的移动量称为脉冲当量)一般为 0.001 mm ,高精度的数控系统可达 0.0001 mm 。而切削进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度,一般可达 $0.005\sim 0.1\text{ mm}$ 。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达 0.03 mm ,重复定位精度可达 0.01 mm 。数控机床的自动加工方式不但可避免人工操作误差,使工件加工的质量稳定,更重要的是可进行复杂曲面的加工。

3) 生产效率高,生产准备周期短

由于数控机床自动化程度高,并且综合应用了现代科学生产技术成果,与普通机床相比可提高生产效率 $3\sim 5$ 倍。对于复杂成形面的加工,生产效率可提高十倍,甚至几十倍。同时,对于新零件的加工,大部分准备工作是针对零件加工工艺编制数控程序,而不是去准备靠模、钻镗模、专用夹具等工艺装备,而且编程工作可以离线进行;还可以利用CAD/CAM系统自动编程,这样大大缩短了生产准备时间,因此,十分有利于企业产品的升级换代和新产品的开发。

4) 减轻劳动强度、改善劳动条件

利用数控机床进行加工,只需按图样要求编制加工程序,然后输入并调试程序,安装坯件进行加工,监测加工过程并装卸零件。除此之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度可大为减轻,紧张程度可大为缓解,劳动条件也相应得到改善。

5) 有利于实现制造和生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,易于建立与计算机间的通信联络,从而构建由计算机控制和管理的产品的研发、设计、制造、管理及销售一体化系统。

2. 数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床的应用范围在不断扩大,但数控机床的技术含量高、成本高,使用、维修都有一定难度,若从最经济的方面考虑,数控机床适用于加工如下几种零件。

(1) 多品种小批量零件(合理生产批量为 $10\sim 100$ 件)。

(2) 结构较复杂,精度要求较高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面等零件。

(3) 需要频繁改型的零件。



- (4) 钻、镗、铰、铰、攻螺纹及铣削等工序联合的零件,如箱体、壳体等。
- (5) 价格昂贵,不允许报废的零件。
- (6) 要求百分之百检验的零件。
- (7) 需要最小生产周期的急需零件。

1.3 数控机床的分类

目前数控机床的品种很多,其分类的方法也很多,下面介绍四种常用的分类方法。

1.3.1 按照工艺用途分类

- (1) 金属切削类:如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控滚齿机、加工中心等。
- (2) 金属成型类:如数控折弯机、数控弯管机、数控四转头压力机等。
- (3) 特种加工类:如数控线切割、数控电火花、数控激光切割机等。
- (4) 其他类:如数控等离子切割机、数控三坐标测量机等。

1.3.2 按照控制运动的方式分类

1. 点位控制数控机床

这类机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以沿多个坐标同时移动,也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,当接近终点位置时,再减速缓慢趋近终点,以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 点位直线控制数控机床

这类机床不仅要控制点的准确定位,而且要控制刀具(或工作台)以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择及循环进给加工等辅助功能。

这种控制常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

采用轮廓控制的数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

1.3.3 按照伺服系统的控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统框图如图 1-3 所示。这类控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的,即进给脉冲发出去以后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制。

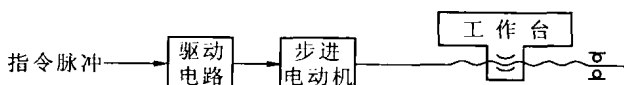


图 1-3 开环控制系统框图

开环控制系统的特点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握,但由于受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度的位置控制,进给速度也受步进电动机工作频率的限制。它一般适用于中、小型经济型数控机床,特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环控制系统

闭环控制系统框图如图 1-4 所示。这类控制系统带有直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机或交流伺服电动机。图 1-4 中 A 为速度测量元件, C 为位置测量元件。当位移指令值发送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与位移指令值进行比较,用比较后得出的差值进行位置控制,直至差值为零时为止。这类控制系统,因为把机床工作台纳入了控制环节,故称闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高。但由于工作台惯量大,对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等提出了严格的要求,否则将给系统稳定性带来不利影响。

闭环控制系统的特点是定位精度高,但调试和维修都较困难,系统复杂,成本高,一般适用于精度要求高的数控设备,如数控精密镗铣床。

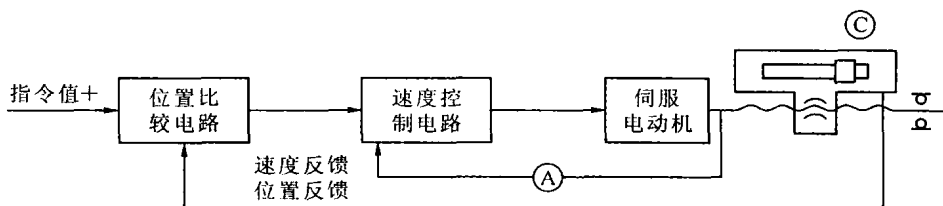


图 1-4 闭环控制系统框图



3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统框图如图 1-5 所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于采用角位移检测元件,检测反馈信号不是来自工作台,而是来自与电动机输出轴相联系的角位移检测元件 B。通过测速发电机 A 和光电编码盘(或旋转变压器)B 间接检测出伺服电动机的转角,推算出工作台的实际位移量,将此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。从图 1-5 可以看出,由于工作台没有包括在控制回路中,因而称为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机,目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个部件,使系统结构简单、方便。半闭环控制系统的性能介于开环和闭环之间,精度没有闭环高,调试却比闭环方便,因而得到广泛应用。

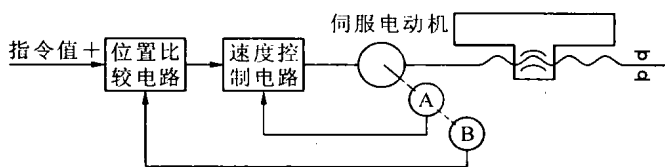


图 1-5 半闭环控制系统框图

1.3.4 按照数控装置的功能水平分类

通常把数控机床分为低、中、高档三类。低、中、高三档的界限是相对的,不同时期划分的标准会有所不同。就目前的发展水平看,可以根据表 1-1 的一些功能指标来划分,其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法,经济型数控属于低档数控,是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低廉的数控系统,主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表 1-1 不同档次数控功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率/ μm	—	—	—
进给速度/(m/min)	—	—	—
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232C 或 DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能、内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU



1.4 数控机床的技术发展趋势

1.4.1 数控机床的发展趋势和特征

数控机床的出现已经有半个多世纪,先后出现了数字控制(numerical control, NC)、直接数字控制(direct numerical control, DNC)数控机床。现在制造业普遍应用计算机数控(computer numerical control, CNC)数控机床。展望未来,其发展趋势如何,是大家普遍关注的问题。数控机床的加工精度和切削速度大约每 8 年提高一倍。定位精度很快将告别微米时代而进入亚微米时代,高速和高精度仍是现代数控机床的主要发展趋势。现代机床的特征有:复合加工、多轴联动、环境友好(绿色生态机床)、智能化监控和补偿以及人机通信和自主管理(聪明机床),集成为高性能数控机床。高性能数控机床的总体目标是大幅度提高生产效率和产品质量,节能减排、保护环境和操作者健康。可以预测,在未来的 3~5 年,机床制造商和研发机构将在下列领域争夺制高点。

(1) 虚拟机床(NC verification)。研发机电一体化的、硬件和软件集成的仿真技术,提高机床的设计水平和使用绩效。

(2) 绿色生态机床(green eco-machine)。节能减排,力求生产系统的环境负荷最小化。

(3) 聪明加工系统(smart machining)。提高生产系统的可靠性、加工精度和综合性能。

(4) e-机床(autonomous machine)。提高生产系统的独立自主性以及与管理者和使用者的交互能力,使机床不仅是一台加工设备,而是企业管理网络中的一个节点。

1.4.2 绿色生态机床

机床是将毛坯转化成零件的工作母机,在使用过程中不仅消耗能源,还会产生固体、液体和气体废弃物,对工作环境 and 自然环境造成直接或间接的污染。从整个机床生命周期内来看,如何减少对环境污染的绿色生态机床成了当前研究的热点。绿色生态机床应该具有以下特点。

(1) 机床主要零部件由再生材料制造。

(2) 机床的重量和体积减少 50% 以上。

(3) 通过减轻移动部件质量、降低空运转功率等措施使功率消耗减少 30%~40%。

(4) 使用过程中产生的各种废弃物减少 50%~60%,减少对工作环境的污染。

(5) 报废后机床的材料 100% 可回收。

1. 减重节能

据统计,机床使用过程中用于切除金属的功率只占 25% 左右,各种损耗占去大部分。

绿色生态机床的第一个措施是通过大幅度减轻机床质量和减少所需功率来构建具有生态效益的机床(eco-efficient machine)。绿色生态机床提出一种全新的概念:大幅度减少机床的质量,节省材料;同时降低机床使用时的能源消耗。

传统的机床设计理念是“只有足够的刚度才能保证加工精度,提高刚度就必须增加机床



质量”。因此,现有机床质量的 80%用于“保证”机床的刚度,而只有 20%用于满足机床运动学的需要。因此机床结构优化的空间很大。实现这个目标的途径是采用新结构和新材料。

1) 杆机构

20 世纪 90 年代中期出现的 6 杆并联运动机床,由于其运动部件具有质量轻、结构简单等优点,一直受到机床研究者的重视,经过 10 多年的不断探索,推出许多变型结构和方案。尽管加工精度和机床刚度还存在一定的问题,但在某些领域已经获得成功。例如,DS-Technology 公司生产的用于加工飞机铝合金构件的 Ecospeed 型机床,其主轴部件就是采用三杆并联机构。

2) 新型焊接结构

在机床设计中采用焊接结构由来已久,主要由钢板切割后焊接成为大型结构件。随着对机床结构轻量化的要求日益迫切,异型钢板和异型结构的应用获得了发展,焊接工艺也由电弧焊接扩展到激光焊接。

3) 箱中箱结构

箱中箱结构是近年来机床结构配置的重要发展趋势。它的特点是采用框架式箱形结构,将一个移动部件嵌入另一个部件的框架箱中,达到提高刚度减轻重量的目的。

采用箱中箱结构获得成功的关键不仅在于基于有限元分析的设计方法,而且还有构件的制造工艺,例如熔模铸造等。

4) 新材料

新材料是机床结构轻量化的重要研究领域,包括碳素纤维、陶瓷和复合材料。目前已经获得实际应用的是树脂混凝土(或称矿物铸造、人造花岗石),它与传统铸铁构件相比,具有阻尼系数大、抗振性强、热稳定性好等一系列优点。

2. MQL 减排

机床使用过程中的润滑冷却液是有害的排放物,特别是磨削时采用的乳化液对环境和工人健康都非常有害。因此,大幅度减少冷却液的使用和排放是绿色生态机床的基本特征。实现这个目标的途径有以下两个方面。

(1) 干切削,不使用冷却液。需要机床具有足够的刚性和锋利的刀具,仅适用于加工某些形状比较简单的铣削和车削工序。

(2) 微量润滑(minimized quantity lubrication, MQL)。MQL 适用范围较广,可用于各种加工方法,但需要专门的装置提供气雾或低温空气(冷风),以及专门的润滑剂。

3. 刀具增效

机床的生产效率出至刀尖上。采用先进的刀具,选择合理的刀具几何角度和切削参数,可以大幅度提高切削加工的效率,降低切削过程所需的功率,延长刀具的寿命,从而达到以较少的资源消耗获得较大产出的目的。

4. 增值再用

金属切削加工中的切屑是机床使用过程中主要的固体废弃物。传统的方法是将其作为废品出售给废品回收单位,进入社会废品循环。



如江苏省杨力集团在企业内部将每年数千吨的铁屑和钢屑经过分炼、压块、配料、熔化浇铸出高质量的球墨铸铁件,变废为宝,制成诸如压力机曲轴等零件。

1.4.3 绿色生态机床的案例

近年来,机床制造商在推出新产品时开始加入绿色生态特征,现通过以下案例加以说明。

1. 案例一:森精机 NMV8000 加工中心

森精机 NMV8000 立式加工中心是 5 轴联动数控机床,适用于高精度复杂零件的加工。NMV8000 加工中心绿色化的主要特征如下。

- (1) 采用动柱动梁箱中箱结构,移动部件质量轻,减少驱动功率。
- (2) 工作台采用台中台直接驱动方式,提高了传动效率。
- (3) 排屑路径通畅,减少机床热变形。

2. 案例二:STUDER S242 车磨复合加工机床

为了大幅度提高轴类高精度零件的加工效率,STUDER 公司推出硬车削和磨削复合的机床,可配置左右、正斜砂轮架和转塔刀架,三种横向砂轮架和刀架可有 15 种配置方案。

S242 车磨复合加工机床绿色化的主要特征如下。

- (1) 床身采用 Granitan S103 人造花岗岩。
- (2) 硬车时干切削,不使用冷却液。
- (3) 采用斜床身,排屑路径通畅,切屑不与床身直接接触,保持机床的热稳定性。

3. 案例三:EMAG Koepfer 300 滚齿机

EMAG Koepfer 300 卧式 9 轴数控滚齿机适用于加工中等尺寸的圆柱直齿和斜齿齿轮。X、Y、Z 轴分别为径向、切向和轴向移动,A、B、C 轴分别为滚刀头架偏转、滚刀和工件旋转,Q 轴是辅助工具控制,W 轴是尾架移动,V 轴是装料器控制。

Koepfer 300 卧式滚齿机绿色化的主要特征如下。

- (1) 床身采用树脂混凝土(人造花岗岩),封闭箱形结构,保证动、静态的刚度和热稳定性。
- (2) 工件和滚刀皆采用直接驱动,没有机械传动链,提高传动精度和效率。
- (3) 采用干切削和微量润滑(MQL)。
- (4) 采用斜床身结构。

1.4.4 聪明加工系统

如果绿色生态机床的愿景是环境友好,那么智能机床的目标就是用户友好。“用户友好”的含义在于大幅度提高工作效率和使工作更加舒适和安全。这就要求机床能够自主管理自己,能够自动识别加工任务和加工状态,无需或很少需要人工干预,而且能够与操作者及时沟通,变得“聪明”起来。



机床在加工过程中不可避免会产生各种误差,需要采用现代监控和补偿技术,以进一步提高机床的性能和通信能力。

2005年,美国国家标准与技术研究所提出“聪明加工系统”(smart machining system, SMS)的研究计划。

聪明加工系统的五大目标如下。

(1) 系统动态优化。将相关工艺过程和设备知识加以集成后进行建模,进行系统的动态性能优化。

(2) 设备特征化。开发特征化的测量方法、模型和标准,并在运行状态下对机床性能进行测量和通信。

(3) 采用下一代数控系统。与 STEP-NC 兼容的接口和数据格式,使基于 CAD 模型的机器控制能够无缝运行。

(4) 状态可监控和可靠性高,开发测量、传感和分析方法。

(5) 具有在加工过程中直接测量刀具磨损和工件精度的方法。

聪明加工系统的实质是制造系统的智能化和网络化,其主要特征如下。

(1) 优胜奖章获得者:性能超群,知道本系统的加工能力和状态,并能够进行上层通信。

(2) 自我健康状况诊断:能够自行度量加工的质量,监控机床的“健康”状态。

(3) 自我学习和思考:智能化和人性化,能够不断持续学习和提高自己的能力,具有知识获取、重用和管理的功能。

近年来,聪明加工系统很快进入商品化领域。例如,瑞士阿奇夏米尔集团在 Mikron 品牌机床中加入聪明加工系统部件,有五个主要模块。

(1) 先进过程系统。

(2) 智能温度控制系统。

(3) 主轴保护系统。

(4) 操作支持系统。

(5) 远距通知系统。

1. 先进过程系统

先进过程系统(advanced process system, APS)的内涵是监测电主轴的工作状态。因为电主轴是数控机床的心脏,它的状态直接关系到加工精度和加工效率。其原理是在电主轴壳体中的前端轴承附近安装了加速度传感器,使铣削过程中产生的振动可以加速度“ g 载荷”值的形式显示。

振动大小在 $0\sim 10\text{ g}$ 范围内分为 10 级, $0\sim 3\text{ g}$ 表示加工过程、刀具和刀夹都处于良好状态; $3\sim 7\text{ g}$ 表示加工过程需要调整,否则将导致主轴和刀具的寿命降低; $7\sim 10\text{ g}$ 表示危险状态,如果继续工作,将造成主轴、机床、刀具和工件的损坏。控制系统还可预测在该振动级下的主轴部件可以工作多长时间,即主轴寿命还有多长。

在过程监控系统中也可由用户设定一个 g 极限值,当振动超过此值时,系统报警和自动停机。系统也可以将某一时段的振动记录下来以便进一步分析。记录的数据包括:日期、时间、 g 值、 g 极限值、主轴转速、刀具号、进给率、数控程序段号和程序名。可记录程序段的容量为 18 000,如果取时间间隔为 2.5 s ,可记录过程状态达 12.5 h 之久。