

21 世纪高职高专机电类规划教材

数控加工工艺与编程

Shukong Jiagong Gongyi yu Biancheng

主 编 © 曹志宏 李绍红



中国人民大学出版社

21世纪高职高专机电类规划教材

数控加工工艺与编程

主 编 曹志宏 李绍红

副主编 王晓华 王炜罡

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺与编程/曹志宏等主编. —北京: 中国人民大学出版社, 2012.1

21世纪高职高专机电类规划教材

ISBN 978-7-300-14888-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 253485 号

21世纪高职高专机电类规划教材

数控加工工艺与编程

主 编 曹志宏 李绍红

副主编 王晓华 王炜罡

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街31号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 [http:// www. crup. com. cn](http://www.crup.com.cn)

[http:// www. ttrnet. com](http://www.ttrnet.com) (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京昌联印刷有限公司

规 格 185 mm × 260 mm 16开本

版 次 2012 年 5 月第 1 版

印 张 15.25

印 次 2012 年 5 月第 1 次印刷

字 数 340 000

定 价 29.80 元

版权所有

侵权必究

印装差错

负责调换

前言

本书用于高职高专理论与实践教学,亦可用于技能鉴定培训。本书主要以 FANUC 0i 系统数控机床为例,详细介绍了数控机床的操作及各种零件的加工。同时,结合职业教育的特点,以职业技能培养为特色,以技术应用能力和岗位工作能力培养为核心。知识内容的选择坚持“必需、够用、实用”的原则,突出体现“知识新、理念新、技术新”的编写思路,不追求理论知识的系统性和完整性。实践内容结合国家中、高级操作工职业标准要求,通过实用性较强的例题,并结合一汽生产的真实例子,帮助学生较快地掌握生产第一线数控加工工艺设计与实施、程序编制及数控机床操作等技能,并获得相应技能证书。

本课程教学内容的安排以项目为单位,充分体现理论知识的“够用为度”,突出实用性、适用性和可行性,将各知识点和各知识点间的关系等内容,均统一为“工作任务目标”,避免对概念的死记硬背,而更强调理解和运用。

本书编写以项目任务的结构形式设计,每个项目包括工作任务、相关知识、零件加工工艺方案制定与实施三部分。项目一通过数控车回转体零件的制作,使学生系统地学习掌握数控车床加工与操作的全过程。项目二以平面轮廓零件、工艺镂空件、支架类零件为载体,从简单到复杂、系统地介绍了有关数控铣床及加工中心工艺、编程与操作的知识。项目三以凸缘—差速器、差速器壳等零件为载体,使学生能够综合运用所学习的数控知识,完成复杂零件的工艺文件的编写,提高学生的综合能力。项目四以典型零件为载体,使学生了解电火花加工工艺与编程知识。

本书采用了课程练习零件和生产性零件两种载体,既满足了每个教学项目中目标技能的要求,又通过生产件的引入体现了实际生产的具体情况,使学生能更有效地掌握知识和技能。

本书由长春汽车工业高等专科学校曹志宏和李绍红担任主编,王晓华、王炜罡担任副主编。曹志宏编写绪论,王晓华编写项目一,李绍红编写项目二、附录,王炜罡编写项目三,谢洪君编写项目四。

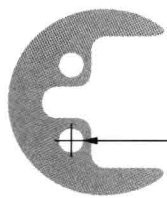
由于编写时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2012年2月

绪 论	1
任务1 从密码锁的制作认识数控加工	1
任务2 认识数控机床	6
项目一 数控车回转体零件的制作	17
任务1 圆柱类零件的加工	17
任务2 简单阶梯圆柱及圆锥形零件的加工	48
任务3 直径递增或递减阶梯轴类零件的加工	58
任务4 凹凸回转零件的加工	64
任务5 薄壁套类零件的加工	68
任务6 内外螺纹类零件的加工	71
任务7 相似轮廓零件的加工	80
任务8 盘类零件的加工	85
任务9 公式曲线轮廓回转零件的加工	87
项目二 加工中心零件制作	95
任务1 铣削正六面体	95
任务2 平面直线轮廓零件铣削	104
任务3 平面带圆弧轮廓零件铣削	119
任务4 平面对称轮廓零件铣削	127
任务5 平面旋转轮廓零件铣削	134
任务6 平面正多边形轮廓零件铣削	141
任务7 多刀加工的平面轮廓零件铣削	147
任务8 工艺镂空件的加工	154
任务9 支架类零件的加工	165
项目三 综合零件制作	177
任务1 凸缘—差速器的试制	177
任务2 差速器壳的试制	186

项目四 特种加工	197
任务1 电火花成形加工应用举例	197
任务2 注塑模排气镶块的电火花加工	198
附 录	204
自测题1	204
自测题2	210
自测题3	216
自测题4	222
自测题5	228
参考文献	234



绪 论

任务 1 从密码锁的制作认识数控加工

一、密码锁的制作

1. 密码锁的拆装（见图 0-1）

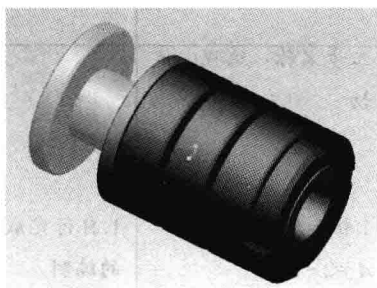


图 0-1 密码锁

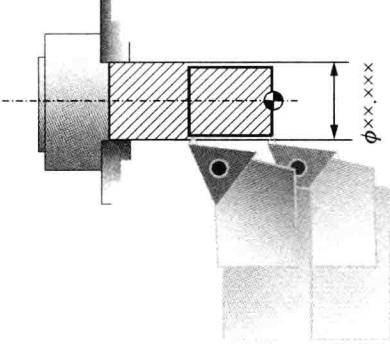
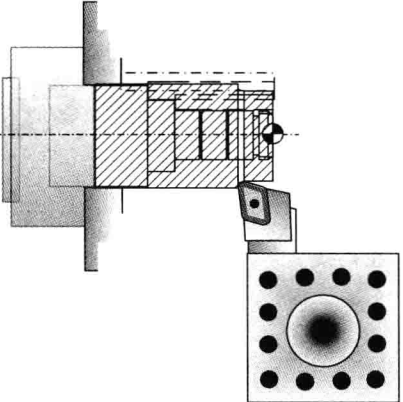
2. 密码锁的加工顺序

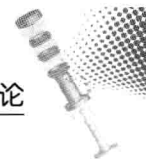
- （1）锁芯的粗精加工。
- （2）锁体的制作：
 - 1）钥匙环和密码环的制作；
 - 2）锁体零件的加工；
 - 3）锁体组件的分装、检验。

3. 总装配

- （1）准备装配工具；
- （2）选择标准件；
- （3）完成锁舌的装配；
- （4）将 O 形圈装在锁匙环上；

- (5) 进行锁匙环和密码环的分装；
 - (6) 进行锁体组件的分装；
 - (7) 查找自制件与标准件的配合缺陷；
 - (8) 修整加工自制件。
- 锁体加工的顺序：

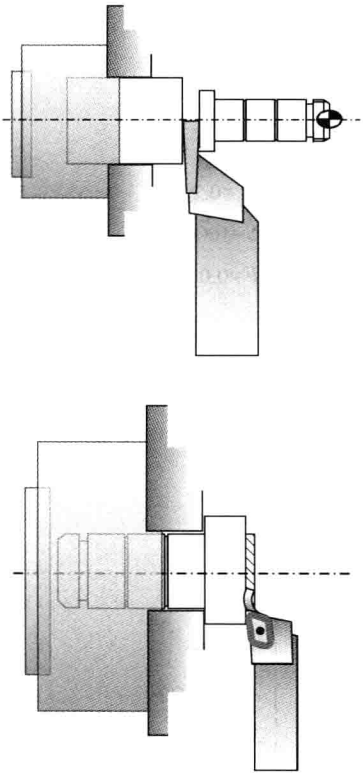
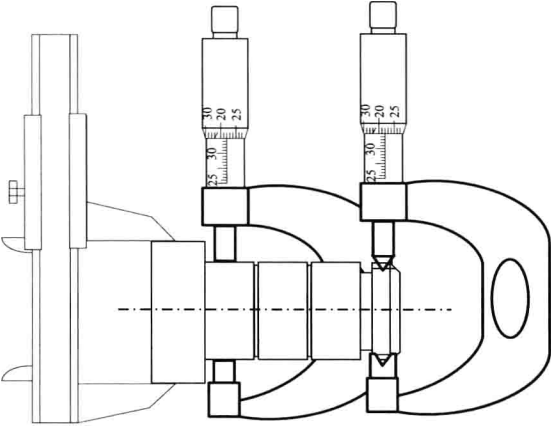
序号	示意图	内容	操作
工步1		工步名称：对刀 1. 外圆粗、精车刀（同前） 2. 切槽刀（同前） 3. 外螺纹刀对刀（如图）	1. 教师示范 2. 自行完成 3. 本工步均使用手动操作
工步2		工步名称：编程、试切 1. 粗车外径 $A_p=2\sim 2.5$ $S=800$ $F=0.25$	1. 自行完成程序的编制

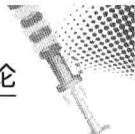


续前表

序 号	示 意 图	内 容	操 作
工 步 2		工步名称：编程、试切 2.精车外廓 $A_p=0.2 \sim 0.5$ $S=1000$ $F=0.08$	2.在教师的指导下进行试切
		3.切槽 $A_p=3 (1.2)$ $S=600$ $F=0.1$	3.自行检查加工结果
		4.车外螺纹 $A_p=1、0.3、0.2 \dots$ $S=600$ $F=1.5$ (螺纹的螺距)	4.本工步均采用自动操作

续前表

序号	示意图	内容	操作
工步 3		工步名称：加工总长至尺寸 1.切断 $A_p=3$ $S=600$ $F=0.1$ 2.掉头装夹加工总长至尺寸 $A_p=0.5 \sim 1$ $S=1000$ $F=0.15$	1.自行完成 2.本工步均使用手动操作
工步 4		工步名称：检查 1.检查直径尺寸	1.自行完成



续前表

序号	示意图	内 容	操 作
工步 4		工步名称：检查 2.检查长度尺寸 3.部装检查	2.仔细阅读零件图和检验单 3.阅读装配图 4.小组合作完成质检单的填写

二、数控加工的几个概念

（1）数字控制（Numerical Control）：简称数控（NC），它是采用数字化信息实现加工自动化的控制技术。

（2）数控机床：简单地说，就是采用了数控技术的机床，即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示，把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统，数控系统经过译码、运算以及处理，发出相应的动作指令，自动地控制机床的刀具与工件的相对运动，从而加工出所需要的工件。实际上，数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床。所以说数控机床是最典型的机电一体化产品。

（3）数控加工工艺：是采用数控机床加工零件时所运用的各种方法和技术手段的总和，应用于整个数控加工工艺过程。

（4）数控编程：是数控加工准备阶段的主要工作之一，通常包括分析零件图样，确定加工工艺过程；计算走刀轨迹，得出刀位数据；编写数控加工程序；制作控制介质；校对程序及首件试切。有手工编程和自动编程两种方法。总之，它是从零件图纸到获得数控加工程序的全过程。如图 0-2 所示为数控实训基地。



图 0-2 数控实训基地

三、数控加工的特点

(1) 自动化程度高，可以减轻劳动强度：数控加工过程是按照输入程序完成的，一般情况下，操作者只需在机床旁边观察和监督机床的运行情况，做一些装卸工件的工作即可。

(2) 加工精度高：数控机床本身的定位精度和重复定位精度都很高，很容易保证零件尺寸的一致性，也大大减少了通用机床加工中人为造成的失误，故数控机床不但可以保证零件获得较高的精度，而且指令稳定。

(3) 生产效率高：数控机床一般带有可以自动换刀的刀架、刀库，换刀过程由程序控制自动进行，既省去了通用机床加工时的不少工序，也大大缩短了生产准备时间。

(4) 柔性化高：传统的通用机床，虽然柔性好，但效率低下；而传统的专机，虽然效率很高，但对零件的适应性很差，刚性大，柔性差，很难适应市场经济下的激烈竞争带来的产品频繁改型。只要改变程序，就可以在数控机床上加工新的零件，且又能自动化操作，柔性好，效率高，因此数控机床能很好适应市场竞争。

任务 2 认识数控机床

一、数控机床的分类

数控机床的种类很多，规格不一，人们从不同的角度对其进行了分类。

1. 按加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床。

如数控车床、数控钻床、数控磨床、数控铣床、数控齿轮加工机床、高速加工中心（见

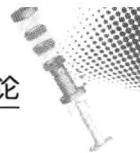


图 0-3)、虚拟轴加工机床等。

(2) 金属成形类数控机床。

如数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控回转头压力机等。

(3) 数控特种加工机床。

如数控线切割机床、数控电火花成形机（见图 0-4）、数控激光切割机、数控火焰切割机等。

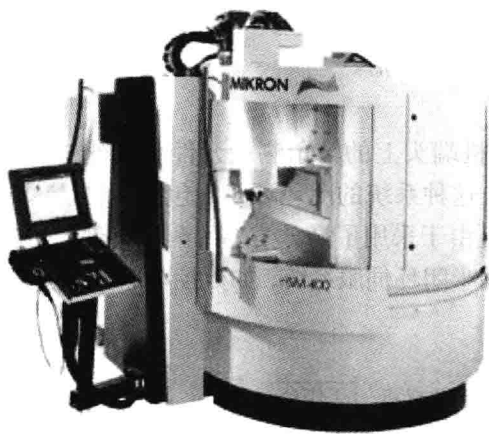


图 0-3 高速加工中心

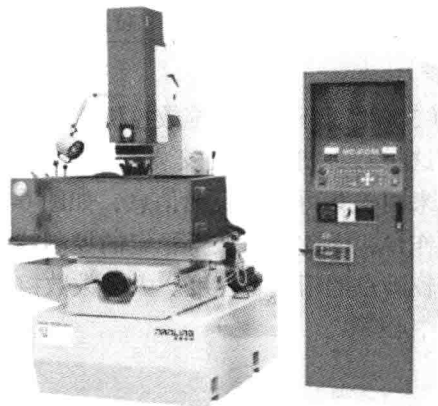


图 0-4 数控电火花成形机

(4) 其他类型。

一些广义上的数控设备，如数控装配机、数控测量机、机器人等。

2. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环伺服系统数控机床。

这类机床没有来自位置传感器的反馈信号，数控系统将零件程序处理后，输出数字指令信号给伺服系统，驱动机床运动，如图 0-5 所示。例如采用步进电动机的伺服系统就是一个开环伺服系统。这类机床的优点是结构简单、较为经济、维护维修方便，但是速度及精度低，适于精度要求不高的中小型机床，多用于对旧机床的数控化改造。



图 0-5 开环伺服系统机床

(2) 闭环伺服系统数控机床。

这类机床上装有位置检测装置，直接对工作台的位移量进行测量，如图 0-6 所示。数控装置发出进给信号后，经伺服驱动使工作台移动；位置检测装置检测出工作台的实际位移，并反馈到输入端，与指令信号进行比较，驱使工作台向其差值减小的方向运动，直到差值等于零为止。这类数控机床可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工

带来的影响，从而有很高的精度。闭环伺服系统的优点是精度高。但其系统设计和调整困难、结构复杂、成本高，主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精密车床、超精密铣床、加工中心等。

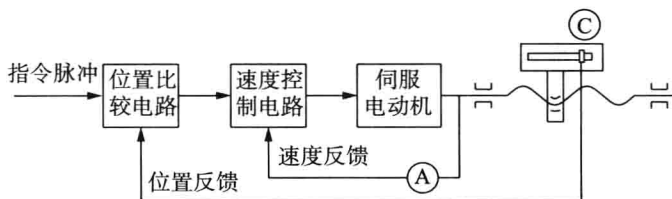


图 0-6 闭环伺服系统数控机床

（3）半闭环伺服系统数控机床。

这类数控机床采用安装在进给丝杠或电动机端头上的转角测量元件测量丝杠旋转角度，来间接获得位置反馈信息，如图 0-7 所示。这种系统的闭环环路不包括丝杠、螺母副及工作台，因此可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件，可以获得比较满意的精度及速度。大多数数控机床采用半闭环伺服系统，如数控车床、数控铣床、加工中心等。

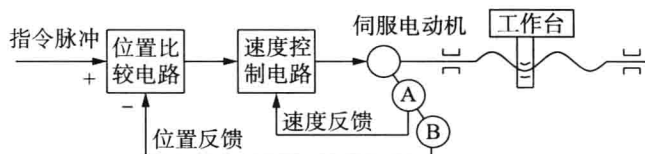


图 0-7 半闭环伺服系统数控机床

3. 按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。按照联动轴数，数控机床可以分为以下几类。

（1）两轴联动。

数控机床能同时控制两个坐标轴联动，适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓，如图 0-8 所示。

（2）两轴半联动。

在两轴的基础上增加了 Z 轴的移动，当机床坐标系的 X、Y 轴固定时，Z 轴可以做周期性进给。两轴半联动可以实现分层加工。

（3）三轴联动。

数控机床能同时控制三个坐标轴的联动，用于一般曲面的加工，一般的型腔模具均可以用三轴加工完成。

（4）多坐标联动。

数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动，如图 0-9 所示。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂，适于加工形状复杂的零件，如叶轮叶片类零件。



图 0-8 二轴联动数控机床

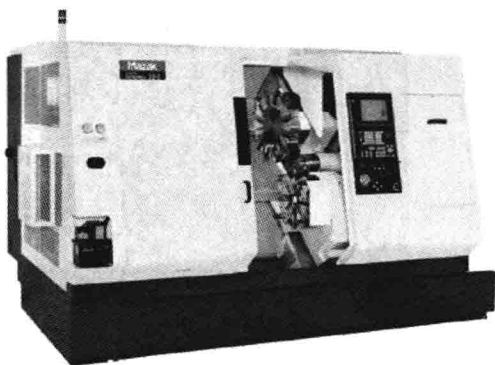


图 0-9 四轴联动数控机床

二、数控机床的机械结构

在数控机床发展的最初阶段,机械结构与通用机床相比没有多大的变化,只是在自动变速、刀架和工作台自动转位和手柄操作等方面做些改变。随着数控技术的发展,考虑到它的控制方式和使用特点,才对机床的生产率、加工精度和寿命提出了更高的要求。特别是近年来,随着电主轴、直线电动机等新技术、新产品在数控机床上的推广使用,数控机床的机械结构正在发生重大的变化;虚拟轴机床的出现和实用化,使传统的机械机构面临着更严峻的挑战。

数控机床机械结构的组成:

(1) 机床基础部件:如床身、立柱、工作台等。

(2) 主传动系统:多采用无级变速或分段变速方式,可利用程序控制主轴的变向和变速。主传动系统有较高的功率、较强的刚度和较宽的调速范围。

(3) 进给传动系统:广泛采用无间隙滚珠丝杠传动(见图 0-10),无间隙齿轮传动,以及滚动导轨、贴塑导轨或静压导轨来减少运动副的摩擦力,提高传动精度。

(4) 工作台:可根据数控指令实现圆周进给运动或分度运动,以适应某些零件的曲面加工和分度要求。另外,为了提高生产率,缩短辅助时间,有的机床还设置了两个或两个以上的工作台。

(5) 实现某些辅助动作和辅助功能的系统和装置:如液压、气动、润滑、冷却等系统,排屑、防护装置和刀架、自动换刀装置。

(6) 安全防护装置和人机界面:改善了操作者的观察、操作和维护条件。

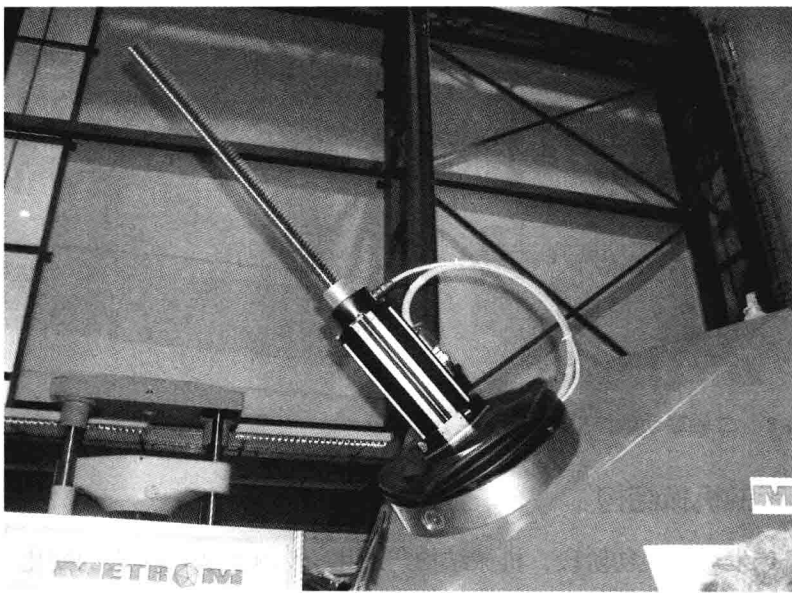


图 0-10 滚珠丝杠

三、数控机床的发展趋势

在以高科技产业为主要支柱、以智力资源为主要依托的知识经济条件下，制造业正在发生革命性的变化，制造技术正在发生质的飞跃。当今世界各国制造业广泛采用数控技术，以提高制造能力和水平，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。伴随着信息技术的发展，数控技术正朝着高速度、高精度、复合化、智能化、网络化等方向发展。目前，整体数控加工技术已经进入了FMS（柔性制造系统，Flexible Manufacturing System）和CIMS（计算机集成制造系统，Computer Integrated Manufacturing System）的发展阶段。

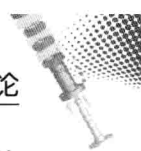
1. 数控机床的发展方向

（1）高速度方向。

作为加工主体的加工机床，随着机械要素及数控技术的发展，高速、高精度化得到迅速的普及。这是因为高速加工不但可以提高加工效率、降低成本，而且可以提高加工精度，可适应以前作为难题的淬火钢等难切削材料的加工。

高速切削是指在比常规切削速度高出许多的速度下进行的切削加工。由于不同的加工程序和机床、不同的工件材料，对应的切削速度范围也不同，因而很难就高速切削的速度范围给定一个确定的数值。通常有如下几种观点：切削速度很高，通常认为其速度超过普通切削的5~10倍；机床主轴转速很高，一般将主轴转速在10000~20000r/min以上定为高速切削；进给速度很高，通常达15~50m/min，最高可达90m/min；

在进行高速切削时，为了保证零件的加工精度，随着机床主轴转速的提高，进给速度也必须大幅度地提高，以便保持刀具每齿进给量不变。同时，高速机床也要有更快的空行程，以进一步减少辅助时间。现在高速机床的进给速度普遍在30~90m/min之间，加、减速度达到 $(1\sim 8)g$ （ g 为重力加速度， $g=9.8\text{m/s}^2$ ）。



现在,高速切削技术已渐趋成熟,并开始在制造领域中大显身手。高速机床的单元技术和整机水平正在逐步提高。高速切削技术和高速加工机床越来越多地受到制造部门的青睐,在购买机床时,高速性能已成为机床的一个重要指标。

(2) 高精度方向。

高精加工是高速加工技术与数控机床广泛应用的结果。现代数控机床得益于计算机技术的日新月异,CNC 系统性能的不断增强,数控系统不断采用位数、频率更高的微处理器。

全数字交流伺服系统,大大提高了系统的定位精度、进给速度。所谓数字伺服系统,指的是伺服系统中的控制信息用数字量来处理。随着数字信号微处理器速度的大幅度提高,伺服系统的信息处理可完全采用软件来完成。

在采用全数字伺服系统的基础上,开始采用了直线电动机直接驱动机床工作台的“零传动”直线伺服驱动方式。“零传动”取消了从电动机到工作部件之间的一切传动环节,使电动机和机床的工作部件合二为一,从而使传动链的长度为零,实现机床的“零传动”。“零传动”是现代高速数控机床的基本特征,它不但大大简化了机床的传动和结构,更重要的是提高了机床的动态灵敏度、加工精度和工作可靠性。电主轴是实现高速机床主运动系统“零传动”的典型结构,直线电动机高速进给单元是高速机床进给运动系统实现“零传动”的典型代表。

为了提高机床精度,除了提高机械设备的制造精度和装配精度外,还采用各种措施和技术来提高机床的动态、静态刚度;减少热变形,提高其热稳定性;机械动、静摩擦的非线性会导致机床爬行,可以采用新材料丙烯酸树脂“混凝土”代替铸铁来制造机床床身,用陶瓷材料和人造花岗岩制造机床的支承件等。新型的数字伺服系统具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性控制功能。

补偿技术得到发展和广泛应用,现代数控机床采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿、刀具误差补偿、热变形误差补偿、空间误差综合补偿等技术,提高零件的加工精度。

近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$,精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu\text{m}$,提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$,而超精密加工精度已开始进入纳米级 ($0.01\mu\text{m}$)。

(3) 复合化方向。

通过增加机床的功能,减少工件加工过程中的多次装夹、重新定位、对刀等辅助工艺时间,来提高机床的利用率,因此复合化加工是现代机床技术发展的另一重要方向。

在一台机床上实现多工序、多方法加工是数控机床发展的又一趋势。已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床,可完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻丝等工序的加工中心,以及车削加工中心,钻削、磨削加工中心,电火花加工中心等。

近年来又出现了高复合化数控机床,如增加了车削和磨削功能的镗铣类加工中心等,不但有更高的加工精度,而且可以提高工作效率,节约占地面积和投资。

(4) 结构新型化方向。

并联机床 (Parallel Machine Tools, PMT) 作为第三代高速机床,将逐步进入应用阶段,见图 0-11。这是一种完全不同于原来数控机床结构的新型数控机床。并联机床也被称为“六条腿的加工中心”或虚轴机床 (Virtual Axis Machine Tools),又称之为并联运动学机床 (Parallel Kinematics Machine, PKM)、并联结构机床 (Parallel Structured Machine Tools)、

