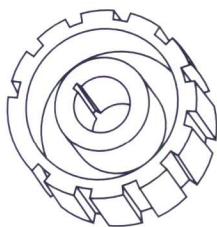


模具数控加工



实训教程

主编 黄芸

国家高技能紧缺人才培养丛书 模具技术

模具数控加工实训教程

主编 黄芸

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍数控加工的基本知识及其在模具加工中的应用。全书内容共分六个单元:模具数控加工基础知识;数控机床基本结构;数控车床加工;数控铣床加工;加工中心加工;数控电火花线切割加工。本书的主要特色在于所有的例子都来源于生产实际,内容紧紧围绕着现场实际应用这一主线,理论与实际紧密相联。

本书不仅可以满足高职高专的模具设计与制造专业、机电一体化专业、机械制造与控制专业的教学要求,同时也可作为工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

模具数控加工实训教程 / 黄芸主编. —北京: 国防工业出版社, 2006.3

(国家高技能紧缺人才培养丛书·模具技术)

ISBN 7-118-04427-X

I. 模... II. 黄... III. 模具—数控机床—加工—技术培训—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 016359 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京市李史山胶印厂

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 1/4 字数 335 千字

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

丛书序言

改革开放 20 多年来,我国经济保持持续增长的势头。进入 21 世纪后,随着新一轮经济增长周期的到来,经济发展将跨上一个新的平台。其中,以先进制造业为主的第二产业对我国国民经济的飞速发展起到非常重要的作用;制造业的迅速发展,为国民经济和社会发展作出了重要的贡献,成为我国经济腾飞的强劲动力。根据联合国工业发展组织公布的《工业发展报告 2002/2003》,我国制造业增加值占世界制造业的 6.3%,位居美国、日本和德国之后,排名世界第 4 位。

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级,经济发展对高质量技能人才的需求不断扩大。然而,技能人才短缺已是不争的事实,这已引起中央领导和社会各界的广泛关注。调查研究表明,目前,我国在制造业领域急需大量数控、模具、汽车维修等专业高技能人才,而且我国技能型人才的培养模式相对落后,迫切需要通过提高职业教育和培训的针对性和适应性。教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合提出优先在数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理等专业领域实施“先进制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”。劳动和社会保障部在全国范围内发起实施“国家高技能人才培训工程”,并制定了“三年五十万新技师培养计划”,以缓解高技能人才短缺状况。

面对技能人才短缺现象,政府及各职能部门快速做出反应,采取措施加大培养力度,鼓励各种社会力量倾力投入技能人才培养培训领域。同时,社会上掀起尊重技能人才的热潮,营造出一个有利于技能人才培养与成长的轻松、和谐的社会环境。

为认真贯彻党的十六届五中全会精神和《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,适应全面建设小康社会对高素质劳动者和技能型人才的迫切要求,促进社会主义和谐社会建设,国防工业出版社根据教育部大力推动技能型紧缺人才培养培训工程的指导思想,通过大量的市场调研,并结合现有教材的实际情况,组织编写了急需开发的汽车应用、模具及数控专业技能实训教材。为做好该套教材的编写准备工作,使之更适合现代职业教育的特点,突出实践性教学,适应中等职业学校和企业培训的需要,特邀请长三角地区知名

企业、行业协会、职业院校及长三角国家高技能人才培养中心的有关专家编写了《国家高技能紧缺人才培训丛书》。本套丛书分数控技术、模具技术、汽车维修3个专业,共18个分册。

本套丛书是为了适应高技能紧缺人才的培养而编写的,为此组建了以职业院校、培训机构与企业界人士相结合的编审委员会,发挥各自优势。丛书的编写以企业对人才需求为导向,以岗位职业技能要求为标准,以与企业无缝接轨为原则,以企业技术发展方向为依据,以知识单元体系为模块,结合职业教育和技能培训实际情况,注重学生职业能力的培养,体现内容的科学性和前瞻性。

我们真诚希望本套丛书的出版能为我国的职业教育特别是紧缺技能人才的培训有所帮助。由于时间仓促,加上我们的水平和经验有限,丛书中可能存在某些缺点和不足,我们热切期待广大读者提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进和完善!



NTC 长三角国家高技能人才培养中心

《国家高技能紧缺人才培训丛书》编委会

2006年1月

前 言

模具是一种技术密集、资金密集型的产品,在我国国民经济中的地位非常重要。模具工业已被国家正式确定为**基础产业**,并在“十五”期间列为重点扶持产业。模具生产技术水平的高低,已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志,因为模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。

改革开放 20 多年来,我国(除港台地区外,下同)的模具工业获得了飞速的发展,设计、制造加工能力和水平、产品档次都有了很大的提高。据 1997 年的不完全统计,全国拥有模具专业生产厂、产品厂配套的模具车间(分厂)近 17000 家,约 60 万从业人员,年模具总产值达 200 亿元。到 2002 年,模具年总产值已达到 360 亿元,而 2003 年的总产值则达到 400 亿元,短短几年的时间,我国的模具行业产值就翻了一番。

随着发达国家将制造业纷纷转移到中国,中国塑料模具工业面临空前的发展机遇。到 2005 年,中国塑料模具产值已达到 460 亿元,年均增长速度为 12% 左右。模具自给率提高到 80% 左右,模具及模具标准件出口达 2 亿美元左右,汽车用塑料模具进口大量减少。

在模具工业的总产值中,冲压模具约占 50%,塑料模具约占 33%,压铸模具约占 6%,其他各类模具约占 11%。由于新技术、新材料、新工艺的不断发展,促使模具技术不断进步,对人才的知识、能力、素质的要求也在不断提高。

为加快和推动模具专业技术的发展,国防工业出版社根据教育部“大力推动技能型紧缺人才培养培训工程”的指导思想,通过大量的市场调研,并结合现有教材的实际情况,组织编写了急需开发的模具专业技能实训教材。为做好该套教材的编写准备工作,使之更适合现代职业教育的特点,突出实践性教学,适用中等职业学校和企业培训的需要,特邀请“长三角”地区知名模具制造企业、模具协会、职业院校及长三角国家高技能人才培养中心的有关专家教授编写《国家高技能紧缺人才培养丛书 模具专业》丛书。本套丛书包括:

1. 《模具钳工技能实训教程》
2. 《模具机械加工实训教程》
3. 《模具数控加工实训教程》

4. 《冲压模具设计与制造实训教程》
5. 《塑料模具设计与制造实训教程》
6. 《模具 CAD/CAM 实训教程》

组织编写本套培训丛书的目的在于,提供一套与传统教材编写模式不同、富有时代创新特色、有利于应用型技能人才培养、真正适合就业方向的实训教材,以满足培养工程应用型技能人才的需求。

《模具数控加工实训教程》主要介绍数控加工的基本知识及其在模具加工中的应用。全书内容共分六个单元:模具数控加工基础知识;数控机床基本结构;数控车床加工;数控铣床加工;加工中心加工;数控电火花线切割加工。本书的主要特色在于所有的例子都来源于生产实际,内容紧紧围绕着现场实际应用这一主线,理论与实际紧密相联。本书不仅可以满足高职、高专的模具设计与制造专业、机电一体化专业、机械制造与控制专业的教学要求,同时也可作为有关工程技术人员的培训教材。

本书由长三角国家高技能人才培训中心知名培训讲师黄芸高级工程师主编并统稿,参加编写人员主要有江南大学张能武、周斌兴,上海屹丰模具制造有限公司吴红梅,苏州工业园区培训中心邱立功,长三角国家高技能人才培训中心程美玲,上海昌美精械有限公司苏本杰等同志。本书稿由唐继艳、吴娟录入和校对。

本书在编写过程中得到国防工业出版社、上海模具协会、昆山模具协会、江南大学机械学院、常州职业技术学院、上海屹丰模具制造有限公司、长三角国家高技能人才培训中心的大力支持和帮助,并得到众多专家的指导和鼎力相助;同时参考了大量的企业内部培训资料和图书,谨此表示衷心的感谢和敬意!

因编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2006年1月于上海

目 录

第一单元 模具数控加工基础知识	1	四、位置控制原理	59
课题一 数控技术在模具加工中的		课题四 位置检测装置	60
应用	1	一、检测装置概述	60
一、数控加工的特点	1	二、脉冲编码器	61
二、数控加工在模具制造中的		三、光栅测量装置	62
应用	2	课题五 数控机床机械结构	64
三、数控技术的现状和发展		一、主传动的机械结构	64
趋势	2	二、主轴调速方法	68
课题二 数控加工编程基础	6	三、进给传动机械结构	70
一、数控程序的格式与编制	6	课题六 辅助装置	76
二、数控机床的坐标系统	10	一、回转工作台	76
课题三 数控加工工艺基础	15	二、液压和气动系统	77
一、基本概念	15	三、润滑系统	78
二、数控加工工艺分析	18	四、冷却系统	78
三、数控加工工艺路线设计	22	五、排屑装置	79
四、数控加工工序设计	28	六、ATC 刀具自动交换	79
五、对刀点与换刀点的选择	36	第三单元 数控铣加工	84
六、机械加工精度及表面质量	37	课题一 数控铣加工概述	84
第二单元 数控机床基本结构	41	一、数控铣加工的特点	84
课题一 数控机床基本组成原理	41	二、数控铣加工在模具加工中的	
一、数控机床的组成	41	主要应用	85
二、数控机床的基本工作过程	43	三、数控铣床	85
课题二 计算机数控系统	43	课题二 数控铣加工工艺分析	86
一、CNC 系统功能及基本工作		一、数控铣削加工工艺概述	86
过程	44	二、数控铣削加工工艺分析	88
二、CNC 系统的硬件结构及软件		三、典型零件的加工工艺	
结构	46	分析	107
课题三 伺服驱动控制系统	50	课题三 数控铣加工编程技术	113
一、伺服系统概述	50	一、数控铣床常用指令	113
二、步进电动机伺服系统	55	二、数控铣床编程实例	122
三、交/直流电动机伺服系统	57	课题四 模具数控铣加工实例	123

第四单元 数控车加工	126	课题四 模具加工中心加工	
课题一 数控车床加工概述	126	实例	192
一、数控车削的加工特点	126	第六单元 数控电火花线切割	
二、数控车削在模具制造中的主要应用	127	加工	197
三、数控车床	128	课题一 数控电火花线切割加工	
课题二 数控车加工工艺分析	129	概述	197
一、数控车削加工工艺概述	129	一、电火花线切割加工的特点	197
二、数控车削加工工艺分析	131	二、电火花线切割加工在模具加工中的应用	197
三、典型零件的加工工艺分析	143	三、数控电火花线切割加工设备	198
课题三 数控车加工编程技术	149	四、电火花线切割加工放电基本原理	199
一、数控车加工编程基础	149	课题二 数控线切割加工工艺	
二、数控车编程常用指令	150	分析	199
三、刀具	151	一、零件图工艺分析	200
四、主要加工方式	151	二、工艺准备	201
课题四 模具数控车加工实例	161	三、工件的装夹和位置校正	203
第五单元 数控加工中心加工	164	四、加工参数的选择	207
课题一 加工中心概述	164	五、数控线切割加工的工艺技巧	209
一、加工中心的发展	164	六、典型零件的加工工艺分析	212
二、加工中心的应用	168	课题三 数控线切割编程技术	215
课题二 加工中心加工工艺分析	168	一、FX20 编程常用命令字	215
一、加工中心加工工艺概述	168	二、FX20 编程常用 G 代码	216
二、加工中心加工工艺分析	171	三、FX20 编程常用 M 代码	220
三、典型零件的加工工艺分析	179	四、数控线切割编程实例	221
课题三 加工中心编程技术	185	课题四 模具线切割加工实例	223
一、编程步骤	185	参考文献	226
二、加工中心常用指令代码	185		
三、加工中心编程实例	187		

第一单元 模具数控加工基础知识

课题一 数控技术在模具加工中的应用

随着工业产品不断向多样化和高性能化发展,产品生产厂家要求模具制造业在短时期内为新产品的开发和投产提供高精度的模具。模具制造业为了适应用户的这一要求,充分利用数控加工先进制造技术,使模具加工技术由传统的手工操作进入到以数控加工为主的新阶段。

模具零件制造属于单件小批量生产方式,型腔、型芯的形状往往比较复杂,难以在短时间内自动完成,制造质量也不易保证。在数控技术出现之前,除了用于大批量生产的专门生产线具有较高的自动化程度外,各种零件的制造基本上由手工操作完成。此时零件一般由直线、圆弧等简单的几何元素构成。数控技术的产生和发展,为复杂曲线、曲面模具零件的单件小批量自动加工提供了极为有效的手段。

电子技术的飞速发展,促进了数控技术由硬件数控到计算机数控的发展,计算机为更有效地使用数控技术发挥了巨大的作用。利用计算机,进一步提高了数控加工的精度,而且不断拓宽了数控技术的应用领域,从复杂的几何造型系统到计算机辅助工艺规划、数控自动编程等。随着人们对数控加工研究的日臻完善,各种各样的 CAD/CAM 系统不断涌现,目前 CAD/CAM 系统及数控技术在模具加工领域中起着不可缺少的重要作用。

一、数控加工的特点

数控加工,也称之为 NC(Numerical Control)加工,是以数值、符号构成的信息控制机床,实现自动运转。数控加工经历了半个世纪的发展,已成为应用于当代各个制造领域的先进制造技术。数控加工的最大特征有两点:一是可以极大地提高精度,包括加工质量精度及加工时间误差精度;二是可以提高加工质量的重复精度,稳定加工质量,保持加工零件质量的一致。也就是说加工零件的质量及加工时间是由数控程序决定而不是由机床操作人员决定的。

数控加工具有如下优点:

- (1) 提高生产效率;
- (2) 不需要熟练的机床操作人员;
- (3) 可以提高加工精度,并且保持加工质量一致;
- (4) 可以减少工装夹具;
- (5) 容易进行加工过程管理;
- (6) 可以减少检查工作量;
- (7) 可以降低废品与次品率;
- (8) 便于设计变更,加工设定柔性强;

(9) 容易实现操作过程的自动化,一人可以操作多台机床;

(10) 操作容易,可以极大地减轻体力劳动的强度。

随着制造设备数控化的不断提高,数控加工技术在我国已得到了日益广泛的应用。在模具行业,掌握数控技术与否及加工过程中数控化的高低,已成为企业是否具有竞争力的象征。

二、数控加工在模具制造中的应用

在模具数控制造中,应用数控加工可以起到提高加工精度、缩短制造周期、降低制造成本的作用,同时由于数控加工的广泛应用,可以降低模具制造对钳工经验的过分依赖。因而数控加工在模具中的应用给模具制造带来了革命性的变化。当前,先进的模具制造企业都是以数控加工为主来制造模具,并以数控加工为核心进行模具制造流程的安排。

在模具数控加工中,各种数控加工均有用到,应用最多的是数控铣床及加工中心,数控线切割加工与数控电火花加工在模具数控加工中的应用也非常普遍,而数控车床主要用于加工模具杆类标准件,以及回转体的模具型腔或型芯,在模具加工中,数控钻床的应用也可以起到提高加工精度和缩短加工周期的作用。

数控铣床在模具加工中应用最为广泛,也最为典型,可以加工各种复杂的曲面,也可以加工平面、孔等。在带有曲面的注塑模或者压铸模的制造中,以数控铣床为中心进行模具加工过程的安排。

数控车床在模具加工中主要用于标准件的加工,各种杆类零件如顶尖、导柱、复位杆等。另外,在回转体的模具中,也使用数控车进行模具的加工,如瓶体、盆类的注塑模具,轴类、盘类零件的锻模,冲压模具的冲头等。

线切割主要应用在各种直壁的模具加工,如冲压模具中的凹凸模,注塑模中的镶块、滑块、电火花加工用电极等。

电火花加工在模具中的应用也非常广泛,对于硬度很高的模具零件,采用机加工方法无法加工,大多采用电火花加工。另外,对于模具型腔的尖角、深腔部位、窄槽等也使用电火花进行加工。电火花加工还可以应用于特殊的模具表面处理。

三、数控技术的现状和发展趋势

1. 发展历程

从1952年第一数控机床问世至今50多年,随着微电子技术的不断发展,数控系统也在不断的更新换代,先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)、微处理机或微型计算机(1974年)等五代。前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬逻辑接线数控系统,称普通数控系统(NC)。20世纪70年代初,小型计算机逐渐普及并应用于数控系统,数控系统中的许多功能由软件实现,简化了系统设计并增加了系统的灵活性和可靠性,计算机数控(CNC)技术从此问世,数控系统发展到第四代。1974年,以微处理器为基础的CNC系统问世,标志着数控系统进入了第五代。1977年,麦道飞机公司推出了多处理器的分布式CNC系统。到1981年,CNC达到了全功能的技术特征,其体系结构朝柔性模块化方向发展。1986年以来32位CPU在CNC系统得到了应用,CNC系统进入了面向高速度、高精

度、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和自动化工厂(FA)的发展阶段。

20 世纪 90 年代以来,受通用微型计算机技术飞速发展的影响,数控系统正朝着以通用微型计算机(个人计算机——PC)为基础,体系结构开放和智能化的方向发展。1994 年基于 PC 的 NC 控制器在美国首先出现,此后得到迅速发展。由于 PC 的开放式数控系统可充分利用通用微机丰富的硬软件资源和适用于通用微机的各种先进技术,已成为数控技术发展的潮流和趋势。

在伺服驱动方面,随着微电子、计算机和控制技术的发展,伺服驱动系统的性能也不断提高,从最初的电液伺服电机和功率步进电机开环控制驱动发展到直流伺服电机和目前广泛应用的交流伺服电机闭环(半闭环)控制驱动,并由模拟控制向数字化控制方向发展。在高性能的数控系统上已普遍采用数字化的交流伺服驱动,使用高速数字信号处理器(DSP)和高分辨力的检测器,以极高的采样频率进行数字补偿,实现伺服驱动的高速高精度化。同时,新的控制方法也被不断采用,以进一步提高伺服控制精度。如 FANUC 15M 采用前馈预测控制和非线性补偿控制方法,FANUC 16M 中的逆传递函数控制法 DENG 等。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种也在不断发展。自 1952 年美国研制出世界上第一台数控铣床后,德、日、苏等国于 1956 年分别研制出本国第一台数控机床。我国于 1958 年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了第一台数控铣床。20 世纪 50 年代末期,美国 K&T 公司开发了第一台加工中心,从而揭开了加工中心的序幕。1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的 FMS。70 年代—80 年代,随着数控系统和其他相关技术的发展,数控机床的效率、精度、柔性和可靠性进一步提高,品种规格系列化,门类扩展齐全,FMS 也逐步进入了实用化阶段。目前,几乎所有品种的机床都实现了数控化,并以发展数控单机为基础,加快了向 FMC、FMS 及计算机集成制造系统工程(CIMS)全面发展的步伐。数控加工装备的范围也正迅速延伸和扩展,除金属切削机床外,不但扩展到铸造机械、锻压设备各种机械加工装备,而且延伸到非金属加工行业中的玻璃、陶瓷制造等各类装备。数控机床已成为国家工业现代化和国民经济建设中的基础与关键设备。

2. 技术现状与趋势

数控机床技术可从精度、速度、柔性和自动化程度等方面来衡量,目前的技术现状与发展趋势如下:

(1) 高精度化。精度包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度,两个方面均已取得明显进展。例如,普通级中等规格加工中心的定位精度已从 20 世纪 80 年代中期的 $0.012\text{mm}/300\text{mm}$,提高到 $0.002\text{mm}/\text{全程} \sim 0.005\text{mm}/\text{全程}$ 。精密级数控机床的加工精度已由原来的 0.005mm 提高到 0.0015mm 。

(2) 高速度化。提高生产率是机床技术追求的基本目标之一,实现该目标的关键是提高切削速度、进给速度和减少辅助时间。中等规格加工中心的主轴转速已从过去的 $2000\text{r}/\text{min} \sim 3000\text{r}/\text{min}$ 提高到 $10000\text{r}/\text{min}$ 以上。日本新泻铁工所生产的 UHSIO 型超高速数控立式铣床主轴最高转速高达 $100000\text{r}/\text{min}$ 。中等规格加工中心的快速进给速度从过去的 $8\text{m}/\text{min} \sim 12\text{m}/\text{min}$ 提高到 $60\text{m}/\text{min}$ 。加工中心换刀时间从 $5\text{s} \sim 10\text{s}$ 减少到小于 1s 。而工作台交换时间也由过去的 $12\text{s} \sim 20\text{s}$ 减少到 2.5s 以内。

(3) 高柔性化。采用柔性自动化设备,是提高加工精度和效率、缩短生产周期、适应

市场变化需求和提高竞争能力的有效手段。数控机床在提高单机柔性化的同时,朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展,如出现了可编程控制器(PLC)控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有高柔性、高效率的柔性加工单元(FMC)。柔性制造系统(FMS)、介于传统自动线与 FMS 之间的柔性制造线(FTL)和计算机集成制造系统(CIMS)以及自动化工厂(FA)也有较大发展。有的厂家则走组合柔性化之路,这类柔性加工系统由若干个加工单元合成,自动上下料机械手兼负工件传输的功能。

(4) 高自动化。高自动化是指在全部加工过程中尽量减少“人”的介入而自动完成规定的任务,它包括物料流和信息流的自动化。自 20 世纪 80 年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化(单台数控机床)发展到“线”的自动化(FMS、FTL)和“面”的自动化(柔性制造车间);车间信息管理系统的自动化,逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现 FA(自动化工厂)和 CIMS(计算机集成制造)工厂的雏形实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备,投资过大,回收期长,但数控机床的高自动化并向 FMS、CIMS 集成方向发展的总趋势仍然是机械制造业发展的主流。数控机床的自动化除进一步提高其自动编程、上下料、加工等自动化程度外,还在自动检索、监控、诊断等方面进一步发展。

(5) 智能化。随着人工智能在计算机领域的不断渗透与发展,同时为适应制造业生产柔性化、自动化发展需要,数控设备智能化程度也在不断提高。如 MITsubishi Elexric 公司的数控电火花成型机床上的“Miracle Fuzzy”自适应控制器利用基于模糊逻辑的自适应控制技术,能自动控制和优化加工参数,使操作者不需具有专门的知识就能很好的操作机床;日本大隈公司的 7000 系列数控系统具有人工智能式自动编程功能;日本牧野公司在电火花数控系统 MAKINO - MCE20 中,用自学习功能的神经网络专家系统代替操作人员进行加工监视。

(6) 复合化。复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床的发展已模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心的出现,又把车、铣、镗等工序集中到一台机床来完成,打破了传统工序界限和分开加工的工艺规程。近年来,又相继出现了许多跨度更大、功能集中的超复合化数控机床,如日本池贝铁工所的 TV4L 立式加工中心,由于采用 U 轴,亦可进行车加工;美国辛辛那提公司的车、铣、镗型多用途制造中心;意大利 SAFOP 的车、镗、铣、磨复合机床;瑞士 RASKIN 公司的冲孔、成型与激光切割复合机床等。

除上述几个基本趋势外,值得一提的是数控机床的结构技术正取得重大突破。近年来已出现了所谓 6 条腿结构的并联加工中心;如美国 GIDDINGS & LEWIS 公司的 VARIAX (“变异型”)加工中心,INGERSOLL 公司的 OCTAHEDRALHEXAPOD (“八面体的六足动物”)加工中心等。这种新颖的加工中心是采用以可伸缩的 6 条腿(伺服轴)支撑并连接上平台(装有主轴头)与下平台(装有工作台)的构架结构形式,取代传统的床身、立柱等支撑结构。而没有任何导轨与滑板的所谓“虚轴机床”(Virtual Axls Machine),其最显著的优点是机床基本性能高,精度、刚度和加工效率均可比传统加工中心高出许多倍。随着这种结构技术的成熟,数控机床技术将进入一个有重大变革和创新的新时代。

3. 关键技术分析

数控机床的高速度、高精度、高柔性和高自动化程度对机床主机、数控系统和伺服驱动系统均提出了相应要求,下面主要从数控系统与伺服驱动系统两方面介绍其关键技术。

(1) 高速化技术。要实现数控设备高速化,首先要求数控系统能对由小程序段构成的加工程序进行高速处理以计算出伺服电机的移动量,同时要求伺服电机能高速度的作出反应。采用 32 位微处理器,是提高数控系统高速处理能力的有效手段,目前正在开发 CPU 为 64 位的新型数控系统。在数控设备高速化中,提高主轴转速占有重要地位。主轴高速化的手段是直接把电机与主轴连接成一体,即电主轴,从而可将主轴转速大大提高。在伺服系统方面,采用直线电机技术来替代目前机床转动中常用的滚珠丝杠、工作台等,在提高轮廓加工精度的同时,提高了加工速度。

(2) 高精度化技术。提高数控机床的加工精度,一般通过减少数控系统的误差和采用机床误差补偿技术来实现。在减少 CPU 系统控制误差方面,通常采用提高数控系统的分辨力、提高位置检测精度、在位置伺服系统中采用前馈控制和非线性控制等方法;在机床误差补偿方面,除采用齿隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具补偿等技术外,近年来对设备热变形误差补偿和空间误差综合补偿技术的研究已成为世界范围的研究课题。

(3) 智能化技术。模糊数学、神经网络、数据库、知识库、以范例和模型为基础的决策系统及专家系统等理论与技术的发展,以及这些技术在制造业中的成功运用,为数控设备智能化水平的提高建立了可靠的技术基础。智能化正成为数控设备研究及发展的热点,目前采取的主要技术措施包括:

① 自适应控制技术:数控系统能检测对自己有影响的信息,并自动连接调整系统有关参数,达到改进系统运行状态的目的。如通过监控切削过程中的刀具磨损、破损、切屑形态、切削力及零件的加工质量等,向制造系统反馈信息,通过将过程控制、过程监控、过程优化结合在一起,实现自适应调节,以提高加工精度和降低工件表面粗糙度。

② 专家系统技术:将专家的经验 and 切削加工的一般规律与特殊规律存入计算机中,以加工工艺参数数据库为支撑,建立具有人工智能的专家系统,提供经过优化的切削参数,使加工系统始终处于最优和最经济的工作状态,从而达到提高编程效率和降低对操作人员的技术要求,大大缩短生产准备时间的目的。

③ 故障自诊技术:故障诊断专家系统是诊断装置发展的最新动向,它为数控设备提供了一个包括二次监测、故障诊断、安全保障和经济策略等方面在内的智能诊断及维护决策信息集成系统。

④ 智能化交流伺服驱动技术:目前开始研究能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置,使驱动系统获得最佳运行。

(4) 开放式 CPU 数控系统。由于数控系统中大量采用计算机的新技术,新一代数控系统体系结构向开放式系统发展。国际上主要数控系统和数控设备生产国及其厂家瞄准通用个人计算机(PC 机)所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点,自 20 世纪 80 年代末以来竞相开发基于 PC 的 CPU 系统,并开展了针对开放式 CPU 的前、后台标准的研究。如日本的 OSEC(控制器的开放系统环境),欧盟的 OSAC(自动化系统的开放式体系结构)以及美国的 SOSAS(开放式系统体系结构标准规范)。基于 PC 的开放式 CPU 系统大致可分为四类:PC 连接型 CPU,PC 内装型 CPU,CPU 内装型 PC 和纯软件 NC。典型产品有 FANUC 150/160/180/210、A2100、OAC500、Advantage CPU System 等。这些系统以通用 PC 机的体系结构为基础,构成了总线式(多总线)模块、开放型、嵌入式

体系结构,其软硬件和总线规范均是对外开放的,硬件即插即用,可向系统添加在 MS-DOS、Windows3.1 或 Windows98 环境下使用的标准软件 and 用户软件,为数控设备制造厂和用户进行集成给予了有力的支持,以发挥其技术特色。经加固的工业级 PC 已在工业控制领域得到了广泛应用,并逐渐成为主流,其技术上的成熟度使其可靠性大大超过了以往的专用 CPU 硬件。先进的 CPU 系统还为用户提供了强大的联网能力,除有 RS232C 串行口外,还带有远程缓冲功能的 DNC(直接数控)接口,甚至 MAP(Mini MAP)或 Ethernet(以太网)接口,可实现控制器与控制器之间的连接,以及直接连接主机。使 DNC 和单元控制功能得以实现,便于将不同制造厂的数控设备用标准化通信网络连接起来,促进系统集成化和信息综合化,使远程操作、遥控及故障诊断成为可能。

课题二 数控加工编程基础

一、数控程序的格式与编制

编程就是把零件的工艺过程、工艺参数、机床的运动以及刀具位移量等信号,用数控语言记录在程序单上的全过程。编制好的程序是不能直接送入数控机床的数控系统,可以按规定的代码把程序制成穿孔纸带,变成数控系统能读取的信息,送入数控系统;也可以用手动方式,通过操作面板的按键将程序输入数控系统;如果是专用计算机编程或用通用微机进行的计算机辅助编程,只要配有通信软件,所编程序就可以通过通信接口,直接传入数控系统。

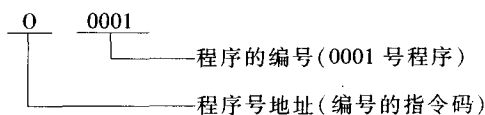
数控机床的程序格式、纸带代码、坐标指令、加工指令及辅助指令等都已标准化,但机床所配的数控系统不同,其所用的代码、指令也不尽相同,编程时必须按机床说明书中的具体规定执行。

1. 程序的格式

数控加工程序是由一系列机床数控系统能辨识的指令有序结合而构成的,可分为程序号、程序段和程序结束等几个部分,下面为一数控加工程序实例:

O0001;	程序号
N10 T02 ;	刀具选择
N20 G54G90G00X330.0Y0	工件坐标系设定
N30 S330M03	主轴正转(300r/min)
N40 G43Z30.0H01	刀具接近工件
N50 Z0;	下刀
N60 G01X-330.0F30	切削加工
N70 G00Z30.0	提刀
N80 M05	主轴停止
N90 G91G28Z0;	Z轴回零
N100 M30;	程序结束

(1) 程序号。每个程序都需要进行编号,在编号前面要用程序编号地址码进行编号指令。如:



不同的数控系统程序号地址码也有所差别。通常 FANUC 系统用“O”, SINUMERIC 系统则用“%”, 而 AB8400 系统用“P”作为程序号的地址码。编程时一定要根据说明书所规定去指令, 否则系统是不会执行的。

(2) 程序段的格式和组成。程序段的格式可分为地址格式、分隔顺序格式、固定程序段格式和可变程序段格式等。最常用的是可变程序段格式。

可变程序段格式就是程序段的长短, 字数和字长(位数)都是可变的。

JB3832 - 1985《数控机床轮廓和点位切削加工可变程序段格式》中推荐用可变程序段格式。程序段是由程序段号(字)、地址、数字、符号等组成。下面以上例 N60 程序段为例介绍程序段的格式:

N60 G01 X-330.0 F300;

式中 N——程序段地址码(字), 用于指令程序段号;

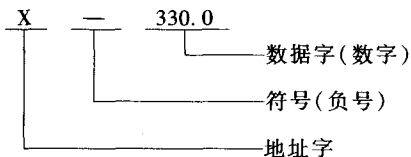
G——指令动作方式的准备机能地址(G01 为直线插补指令);

X——坐标轴地址, 其后面的数字表示刀具在该坐标移动的距离;

F——进给速度指令地址, 其后面的数字表示进给速度值(F300 表示进给速度为 100mm/min);

“.”为小数点符号, “;”为程序段结束符号。

程序段也可以认为由程序字组成。而程序字通常又由地址字和数字及符号组成。程序字的组成如下所示:



程序段号加上若干个程序字就可以组成一个程序段。在程序段中表示地址的英文字母可分为尺寸字地址和非尺寸字地址两种。表示尺寸字地址的英文字母有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、I、J、K、A、B、C、D、E、R、H 共 18 个字母。

表示非尺寸字地址有 N、G、F、S、T、M、L、O 等 8 个字母。其字母的含义见表 1-1。

表 1-1 表示地址符的英文字母含义

功能	地址字母	意 义	功能	地址字母	意 义
程序号	O、P、	程序编号, 子程序号的指定	刀具功能	T	刀具编号指令
程序段号	N	程序段顺序编号	辅助功能	M	辅助机能指令
准备功能	G	指令动作的方式	补偿功能	B	工作台回转(分度)指令
坐标字	X、Y、Z	坐标轴的移动指令	补偿功能	H、D	补偿号指令
	A、B、C; U、V、W	附加轴的移动指令	暂停功能	P、X	暂停时间指定
	I、J、K	圆弧圆心坐标	循环次数	L	子程序及固定循环的重复次数
进给速度	F	进给速度的指令	圆弧半径	R	实际是一种坐标字
主轴功能	S	主轴转速指令(r/min)			

程序中还会用到一些符号,它们的含义见表 1-2。

表 1-2 程序中所用符号含义

符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义
HT 或 TAB	分隔符	)	控制恢复	:	对准功能
LF 或 NL	程序段结束	+	正号	BS	返回
%	程序开始	-	负号	EM	纸带终了
(	控制暂停	/	跳过任意程序段	DEL	注销

2. 加工程序编制的内容和步骤

1) 数控加工程序的编制

数控加工程序的编制是指从零件图样到制成控制介质(如穿孔纸带、磁盘或磁带等)的过程。该过程可分为以下三个阶段:

(1) 工艺处理阶段。工艺处理阶段中的主要工作内容如下:

分析被加工零件的图样,明确加工内容及技术要求,在此基础上确定加工方式、进给路线和加工用量等。

在对零件图样进行分析及确定出工艺参数的基础上,以实现零件图样上的尺寸精度、位置精度、表面粗糙度等技术要求为目的,制定出零件的定位、夹紧方案,确定对刀点的位置,编制零件的加工工艺过程。

根据数控加工的特点和零件的具体要求,对刀具、夹具进行选用和设计。

(2) 数学处理阶段。数学处理阶段的主要工作是按零件图中给出的数据或给定的表达式转换成数控机床加工时所用的数据,为编制零件的加工程序做准备。编程人员可结合所使用的数控机床其控制系统要求的数据格式,算出所需的数据。数学处理计算的工作量大小,随被加工零件的形状、加工内容、控制系统的功能及计算工具的不同而不同。

对于直线、圆弧轮廓的零件,若按零件轮廓进行编程时,则可借助于简单的计算工具计算出零件上相邻几何元素的交点和切点的坐标;若需要按刀具的中心轨迹编程时,则要按刀具半径或某一给定值计算出刀具中心轨迹上的切点和交点坐标,这种计算比较复杂。但是,大多数数控机床都具有刀具半径补偿功能或 C 刀具半径补偿功能。因此,一般情况下不需计算刀具中心的轨迹。

对于用数学方程式描述的非圆曲线(如指数曲线、椭圆、抛物线等)轮廓的零件,由于其形状复杂,并且通常与控制系统的插补功能不一致,用数控机床进行加工时需进行复杂的数值计算。此时轮廓曲线只能用一段直线或圆弧来逼近。当用直线或圆弧逼近时,要根据逼近误差 $t \leq \delta$ (δ 为给定的允许误差值, t 为逼近误差) 的原则,计算出各个直线段或圆弧段长度。非圆曲线轮廓的数值计算通常要用计算机来完成。

列表曲线(曲线由一系列坐标点给出)和曲面零件进行编程时,数学处理十分困难,一般要用自动编程或计算机辅助编程系统来完成。

(3) 制作控制介质阶段。这个阶段主要完成的工作内容如下:

① 根据工艺处理和数学处理的结果,按所选数控机床所要求的数据格式,编制出包含启动主轴、开停冷却液、换刀等辅助功能的程序单。

② 程序单经检查确认没有错误后,制备控制介质(穿孔纸带或磁盘、光盘控制文件),并输入数控系统。简单程序也可直接通过键盘输入;新型数控机床还可以通过 RS232、