

21 世纪数控机床应用与维修系列书

常用数控设备和特种加工 的编程与操作实例

韩鸿鸾 主编

数控机床编程基础

常用数控设备和特种加工的编程与操作实例

自动编程技术

常用数控技术术语



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

21 世纪数控机床应用与维修系列书

常用数控设备和特种加工 的操作实例

 内容提要

进入 21 世纪以来,数控技术得到了广泛应用,对高素质操作人员的需求量也不断增加。为了适应新形势的发展,同时配合教育部等六部委《关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》的精神,特编写了《21 世纪数控机床的应用与维修系列书》。本书是其中之一,即《常用数控设备和特种加工的编程与操作实例》。

本书共分为七章,主要内容包括概述、数控机床的编程基础、数控线切割机床的编程与操作、电火花机床的应用、数控磨床的编程、数控冲床的编程与操作、自动编程等。

本书不仅可以作为工人培训、数控机床操作与维修人员用书,也可作为相关院校数控与机电专业教学或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

常用数控设备和特种加工的编程与操作实例/韩鸿鸾主
编. —北京:中国电力出版社,2006
(21 世纪数控机床应用与维修系列书)
ISBN 7-5083-4452-9

I. 常... II. 韩... III. ①数控机床-程序设计
②数控机床-操作 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 060933 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.625 印张 452 千字
印数 0001—4000 册 定价 28.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

Preface

常用数控设备和特种加工的
编程与操作实例

数控机床随着微电子技术、计算机技术、自动控制技术的发展而得到飞跃发展。已经成为现代机械制造业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础技术装备。目前,几乎所有传统机床都有了数控机床品种。数控技术极大地推动了计算机辅助设计、计算机辅助制造、柔性制造系统、计算机集成制造系统、虚拟制造系统和敏捷制造的发展,并为实现绿色加工打下了基础。数控机床正逐渐成为机械工业技术改造的首选设备。

随着数控技术的广泛应用,对数控机床操作人员的需求量也不断增加。因此,为工厂培养数控机床的操作人员就成了当务之急。目前推行的职业资格证书制度,正是顺应了当前形势的需要,系统地对广大从业者进行相关职业理论和技能的培训,不仅对个人的技术能力和实际运用水平的提高有着重要的作用,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

为了适应新形势的发展,优化从业人员素质,特编写《21世纪数控机床应用与维修系列书》。本套书突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现“不但懂,更会做”。

《21世纪数控机床应用与维修系列书》包括《数控车床的编程与操作实例》、《数控铣床和加工中心的编程与操作实例》、《常用数控设备和特种加工的编程与操作实例》、《数控机床维修实例》四本。本套书在编写过程中力争做到如下特点:

(1) 职业教育性。渗透职业道德和职业意识教育;体现就业导向,有助于学生树立正确的择业观;培养学生爱岗敬业、团队精神和创业精神;树立安全意识和环保意识。

(2) 知识正确性。基本概念表述、原理阐述、数学运算正确;科学事实和社会现象描述清楚、准确,引用数据、图表、材料可靠。

(3) 内容先进性。注意用新观点、新思想来审视、阐述经典内容;适应经济社会发展和科技进步的需要,及时更新教学内容,反映新知识、新技术、新工艺、新方法。

(4) 知识实用性。体现以职业能力为本位,以应用为核心,以“必需、够用”为原则;紧密联系生活、生产实际;与相应的职业资格标准相互衔接。

(5) 结构合理性。本书的体系设计合理,循序渐进,符合学生心理特征和认知、技能养成规律;结构、体例新颖。

(6) 文字可读性与图表准确性。文字规范、简练,符合语法规则;语句通顺流畅,条理清楚,可读性强;标点符号、计量单位使用规范正确。图文并茂,配合得当;图表清晰、美观,图形绘制和标注规范,缩放比例恰当。

同时,本套书也是为了配合教育部等六部委《关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》而编写,即技能型紧缺人才的培养培训要以综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,职业教育要以企业需求为基本依据,既要增强针对性,又要兼顾适应性。

因此,《21世纪数控机床应用与维修系列书》不仅可以做为工人培训、数控机床操作与维修

人员用书，更可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、技术（技师）学院、高级技校、继续教育学院和民办高校数控与机电专业用书。

本书为《21 世纪数控机床应用与维修系列书》之一，即《常用数控设备和特种加工的编程与操作实例》。本书由威海职业学院的韩鸿鸾主编，由威海职业学院的张秀玲主审。其中，第一章由吴海燕编写；第二章由丛培兰编写；第三章由张桂香编写；第六、七章由韩鸿鸾编写；第四、五章由崔兆华编写。全书由韩鸿鸾统稿。本书在编写过程中得到了山东临沭技术学院、江苏常州技师学院的大力支持与帮助，在此深表谢意。

由于时间仓促，编者水平有限，书中缺陷乃至错误之处在所难免，望广大读者给予批评、指正。

编者

2006 年 8 月

目 录

Contents

常用数控设备和特种加工的
编程与操作实例

前言

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的结构与特点	1
第二节 数控机床的分类	15
第三节 电加工数控机床	20
第四节 数控机床的选用	31
第五节 数控机床的安装与调试	40
第六节 数控机床的验收	45
第七节 数控机床的使用	52
第八节 数控机床的维护保养	55
第二章 数控机床的编程基础	62
第一节 数控加工工艺概述	62
第二节 数控加工工艺文件	63
第三节 数控编程概述	66
第四节 数控机床坐标系	70
第五节 数控机床的主要功能	73
第六节 数控加工程序的格式与组成	78
第七节 手工编程中的数学处理	80
第三章 数控线切割机床的编程与操作	94
第一节 数控线切割机床的加工工艺	94
第二节 数控线切割机床的编程	106
第三节 数控快走丝线切割机床的操作	125
第四章 电火花机床的应用	134
第一节 电火花加工的基本原理	134
第二节 电火花加工的加工工艺	136
第三节 电火花加工的基本规律	144
第四节 电火花机床的编程与操作	154
第五章 数控磨床的编程	173
第一节 数控磨床概述	173
第二节 数控外圆磨床的编程	178
第三节 数控坐标磨床的编程	183

第四节	FANUC 系统数控磨床的编程	192
第六章	数控冲床的编程与操作	198
第一节	数控冲床的编程	198
第二节	数控冲床的操作	206
第七章	自动编程	208
第一节	自动编程简介	208
第二节	CAD/CAM 集成数控编程概述	212
第三节	CAXA-EB 的基本操作	214
第四节	CAXA 线切割 V2 编程实例	225
第五节	数控冲床的编程实例	247
附录		251
参考文献		259

21世纪数控机床应用与维修系列书

第一章

数控机床概述

第一节 数控机床的结构与特点

一、数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量,提高生产效率,降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动条件。

在机械制造业中,单件与小批生产的零件(批量在10~100件)约占机械加工总量的80%以上。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,其生产特点是加工批量小,改型频繁,零件的形状复杂而且精度要求高。

数字控制(Numerical Control,简称NC或数控)机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床就是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、选择刀具、供给切削液等)和步骤,以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,通过控制介质(如磁盘或磁带)将数字信息送入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的零件。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需要更换程序,不需要对机床作任何调整。

数控机床是由美国人发明的。1947年美国密执安州特拉弗斯城帕森斯公司的帕森斯(John C. Parson),为了精确地制作直升飞机叶片的样板,设想了用电子技术控制坐标镗床的方案。1949年美国空军后勤司令部为了在短时间内造出经常变更设计的火箭零件与帕森斯公司合作,并选择麻省理工学院伺服机构研究所为协作单位,于1952年研制成功了世界上第一台数控机床——直线插补连续控制的三坐标立式铣床,其数控系统由2000多个电子管组成。经过三年的改进与自动程序编制的研究,于1955年生产了100台类似产品,这些数控铣床在复杂的曲面零件加工中发挥了很大作用。

1958年,美国的克耐·杜列克公司(Keaney&Trecker corp-K&T公司)在一台数控镗铣床上增加了自动换刀装置,第一台加工中心问世了,现代意义上的加工中心是1959年由该公司开发出来的。

我国从 1958 年开始研制数控机床, 在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来, 由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术, 使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前, 我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心。我国经济型数控机床的研究、生产和推广工作也取得了较大的进展, 它必将对我国各行业的技术改造起到积极的推动作用。

目前, 在数控技术领域中, 我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距, 但这种差距正在缩小。随着工厂、企业技术改造的深入开展, 各行各业对数控机床的需求量将会有大幅度地增长, 这将有力地促进数控机床的发展。

二、数控机床的发展

1. 数控系统发展的六代历史

从 1952 年第一台数控机床问世后, 数控系统已先后经历了两个阶段和六代的发展, 六代是指电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控 PC 机的通用 CNC 系统。其中前三代为第一阶段, 称作硬件连接数控, 简称 NC 系统, 后三代为第二阶段, 称作计算机软件数控, 也称 CNC 系统。我国自从 1958 年由清华大学和北京机床研究所研制了第一代电子管 101 数控机床以来, 也同样经历了六代历史, 见表 1-1。

表 1-1

数控系统发展的六代历史

数控系统发展的历史	世界产生年代	中国产生年代
第一代电子管数控系统	1952 年	1958 年
第二代晶体管数控系统	1961 年	1964 年
第三代集成电路数控系统	1965 年	1972 年
第四代小型计算机数控系统	1968 年	1978 年
第五代微处理器数控系统	1974 年	1981 年
第六代基于工控 PC 机的通用型 CNC 系统	1990 年	1992 年

2. 机床结构的发展

数控机床总的发展趋势是工序集中, 高速、高效、高精度以及方便使用、提高可靠性。

(1) 工序集中。在加工中心机床上, 工件一次装夹后, 机床的机械手可自动更换刀具, 连续地对工件的各方面进行多种工序加工, 图 1-1 所示为能进行五面加工的加工中心。

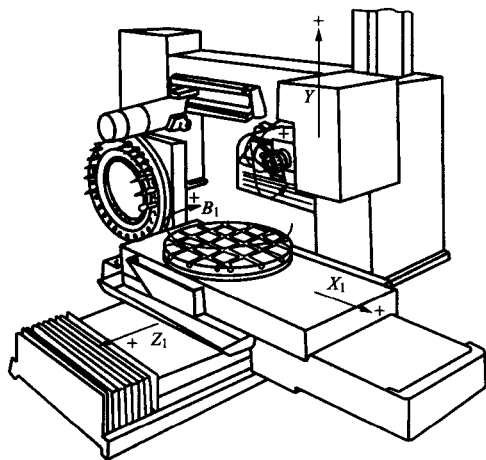


图 1-1 能进行五面加工的加工中心

加工中心机床在工业发达国家已被普遍采用。实现工序高度集中是数控机床当今的发展趋势, 继各种切削加工中心之后, 现已出现可以自动更换电极的电火花加工中心机床。1986 年, 日本大成机械公司展出了带有砂轮交换装置的内圆磨削加工中心。这些工序集中的数控机床无论在外形结构还是工艺范围方面都与传统的机床大不相同。

在计算机数控多轴联动技术和复杂坐标快速变换运算方法发展的基础上, 20 世纪 60 年代出现的 Stewart 平台概念 (即同时改变六根杆子长度, 实现六个自由度运动), 到 20 世纪 90 年代初, 应用在数控机床成为可能。六杆数控机床 (又称虚拟轴机床) 是 20 世纪最具革命性的机床运动结构的突破。该数控机床由基座与运动平台

及其间的六根可伸缩杆件组成,每根杆件上的两端通过球面支承分别将运动平台与基座相连,并由伺服电动机和滚珠丝杠按数控指令实现伸缩运动,使运动平台带着主轴部件作任意轨迹的运动。工件固定在基座上,刀具相对工件作六个自由度的运动,实现所要求的空间加工轨迹。图 1-2 是 G 系列六杆加工中心示意图。所不同的是运动平台与主轴部件呈倒置式,基座由框架支撑安置在上方,有效地增大了主轴部件的运动空间。图 1-3 为运动平台与主轴部件示意图。另一种 Mikromat 六杆加工中心如图 1-4 所示。该机床采用主轴筒代替了运动平台,其中三根杆件位于主轴筒上部,另三根杆件位于主轴筒下部。而杆件的另一端分别位于三根立柱上,以取代固定平台。六杆数控机床既采用滚珠丝杠驱动又采用滚珠螺母驱动。六杆数控机床的关键技术之一是六对球面支承的设计与制造,球面支承将对运动平台的运动精度和定位精度产生直接影响。

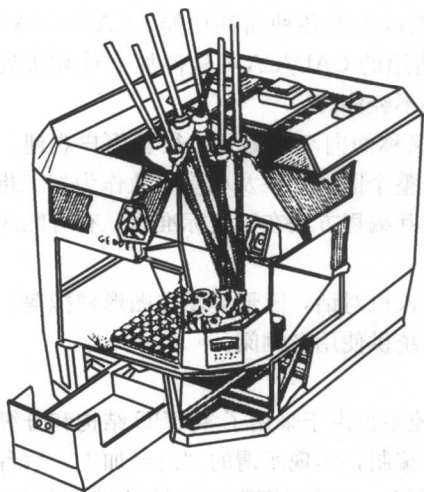


图 1-2 G 系列六杆加工中心示意图

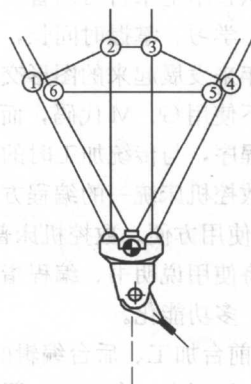


图 1-3 运动平台与主轴部件示意图

(2) 高速、高效、高精度。高速、高效、高精度是机械加工的目标,数控机床因其价格昂贵,在上述三个方面的发展也就更为突出。

1) 高速。提高切削速度可以减少机动时间。目前数控机床的主轴转速已达 6000r/min 以上,有的达到 100000r/min。切削速度达到 2000m/min,加工铝材时的金属切除率已达 1000cm³/min。传统的砂轮线速度为 30~60 m/s,目前数控磨床的砂轮线速度达到 140~150m/s,甚至高达 500m/s,磨削进给速度可达 5~10m/min。

2) 高效。减少机床辅助时间提高机床的效率,通常采取如下措施:①缩短换刀时间,现在数控机床的换刀时间最短仅为 0.5s。②研制新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机动时间重合,或使用全机械式换刀机械手,保证快速可靠。③使用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台的交换时间。④广泛采用脱机编程,图形模拟等技术,实现后台输入修改编辑程序,前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间。⑤采用快换夹具、刀

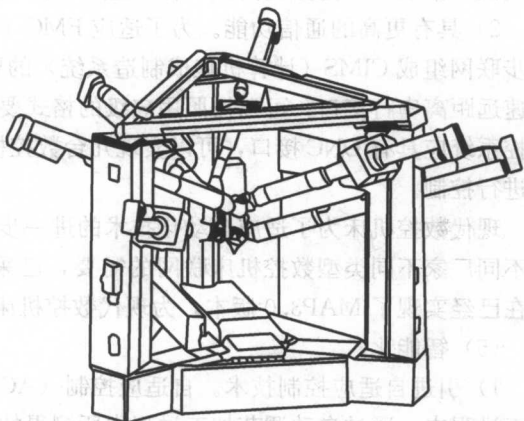


图 1-4 Mikromat 六杆加工中心示意图

具装置以及实现对工件原点快速确定等措施,缩短机床调整时间。

3) 高精度。工件加工精度主要取决于:机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。提高机床精度,在设计阶段可利用计算机辅助设计和模拟技术提高机床的动态、静态刚度;减少热变形,提高其热稳定性;克服爬行和提高传动精度。对机床床身等支承件采用丙烯酸树脂“混凝土”制造,动刚度比铸件可提高6倍,此外,陶瓷新材料和人造花岗岩也开始用于机床支承件的制造。

目前钻、镗、铣加工中心的加工精度已达到坐标镗床的精度。数控机床精度的提高,可省去某些传统的精加工工序,最近的发展已有省去磨削精加工的趋势。

(3) 方便使用。数控机床制造厂把建立友好的人机界面作为提高竞争能力的重要方面。

1) 加工编程方便。手工编程和自动编程已使用了几十年,有了长足的发展,在手工编程方面,开发了多种加工循环,参数编程和除直线、圆弧以外的各种插补功能,CAD/CAM的研究发展,从技术上来讲可以替代手工编程。但是一套适用的CAD/CAM软件加上计算机硬件,投资较大,学习、掌握时间长,对大多数的简单工件很不经济。

近年来发展起来的图形交互式编程系统(WOP又称面向车间编程)很受用户欢迎。这种编程方式不使用G、M代码,而是借助图形菜单,输入整个图形块以及相应参数作为加工指令,形成加工程序,与传统加工时的思维方式类似,图形交互编程方法在制定标准后,有可能成为各种型号的数控机床统一的编程方法。

2) 使用方便。数控机床普遍采用彩色CRT进行人机对话,图形显示和图形模拟等。有的数控机床将使用说明书、编程指南、润滑指南等存入系统供使用者调阅。

(4) 多功能化。

1) 前台加工、后台编辑的前后台功能。现代数控系统由于采用了多CPU结构和分级中断控制方式,即可在一台机床上同时进行零件加工和程序编制,实现所谓的“前台加工、后台编辑”。也就是说操作者可在机床进入自动循环加工的空余期间,同时利用数控系统的键盘和CRT进行零件程序的编制,并利用CRT进行动态图形模拟,显示其所编程序的加工轨迹,进行零件程序的调试和修改,以充分提高其工作效益和机床利用率。

2) 具有更高的通信功能。为了适应FMC(柔性制造单元)、FMS(柔性制造系统)以及进一步联网组成CIMS(计算机集成制造系统)的要求,一般的数控系统都具有RS-232C和RS-422高速远距离串行接口,可以按照用户级的格式要求,同上一级计算机进行多种数据交换。高档的数控系统应具有DNC接口,可以实现几台数控机床之间的数据通信,也可以直接对几台数控机床进行控制。

现代数控机床为了适应自动化技术的进一步发展,满足工厂自动化规模越来越大的要求,满足不同厂家不同类型数控机床联网的需要,已采用了MAP(制造自动化协议)工业控制网络,现在已经实现了MAP3.0版本,为现代数控机床进入FMS及CIMS创造了条件。

(5) 智能化。

1) 引进自适应控制技术。自适应控制(AC, Adaptive Control)的目的是要求在随机变化的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。由于在实际加工过程中,大约有30余种变量直接或间接影响加工效果,如工件毛坯余量不均、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、机床热变形、化学亲合力的大小、切削液的黏度等因素。这些变量事先难以预知,编制加工程序时只能依据经验数据,以至在实际加工时,很难用最佳参数进行切削。而自适应控制系统则能根据切削条件的变化,自动调节工作参数,如伺服进给参数、切削用量等,使加工过程中能保持最佳工作

状态,从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

2) 故障自诊断、自修复功能。这主要是指利用 CNC 系统的内装程序实现在线诊断,即在整个工作状态中,系统随时对 CNC 系统本身以及与其相连的各种设备进行诊断、检查。一旦出现故障时,立即采用停机等措施,并通过 CRT 进行故障报警,提示发生故障的部位、原因等。并利用“冗余”技术,自动使故障模块脱块,而接通备用模块,以确保在无人化工作环境的要求。

为实现更高的故障诊断要求,最近又提出了人工智能专家诊断系统。它主要由知识库(Knowledge Base)、推理机(Inference Engine)和人机控制器(MMC, Man Machine Control)三部分组成。

3) 刀具寿命自动检测更换。利用红外、声发射(AE),激光等各种检测手段,对刀具和工件进行监测。发现工件超差、刀具磨损、破损,进行及时报警、自动补偿或更换备用刀具,以保证产品质量。

4) 引进模式识别技术。应用图像识别和声控技术,使机器自己辨认图样,按照自然语音命令进行加工。

(6) 高可靠性。为了得到可靠性高的数控机床,生产厂家注意把可靠性贯穿于设计、生产、调试、包装出厂等全过程,目前数控系统平均无故障时间已达到 30000~36000h。

3. 伺服系统执行机构的发展趋势

最早的数控机床伺服系统执行机构采用液压转矩放大器,功率型步进电动机的问世,开始直接用它来驱动机床的进给运动。数控机床精度要求越来越高,开环系统的应用日趋减少,步进电动机在数控机床上的应用受到了限制。

上世纪 60 年代初期,发展了液压伺服系统。液压伺服系统与当时的伺服电动机相比,响应时间短、驱动部件外形尺寸小。而传统的直流伺服电动机的性能又不能满足数控机床的要求,日本首先研究成功了一种新型的小惯量直流伺服电动机。上世纪 70 年代中期,不少新设计制造的数控机床普遍采用了小惯量直流伺服电动机。

上世纪 70 年代,美国首先研制了大惯量直流伺服电动机,这种电动机的峰值转矩为额定转矩的 10~15 倍。由于具有大的转矩/惯性比,大惯量直流伺服电动机仍然具有快速响应特性。这种电动机的调速范围为 0.1~2000r/min,可以直接与丝杆相连获得良好的精度稳定性。此外,大惯量直流伺服电动机的热容量大,当转矩为额定值的 3 倍时,允许工作 30min 而电枢温度不致达到危险程度,大惯量直流伺服电动机用于数控机床具有良好的可靠性,目前它已为许多数控机床所采用。

直流伺服电动机结构复杂、维修麻烦。采用笼型异步交流伺服电动机的交流伺服系统终于在上世纪 80 年代初期由美国通用电气公司(GENERALELECTRIC)研制成功并投放市场。交流伺服电动机没有电刷,运行时无火花,进一步提高了可靠性。这种交流伺服电动机可以直接与滚珠丝杠连接,调速范围与宽调速直流伺服电动机系统相近。

近年来,微处理器已开始应用于伺服系统的驱动装置中,1986 年日本厂商已推出了采用数字伺服系统的数控机床。与通常的模拟伺服系统相比,它的脉冲当量由 $1\mu\text{m}$ 减少到 $0.1\mu\text{m}$,进给速度仍能达到 10m/min。可以预计,数字伺服系统的出现将会进一步促进高精度数控机床的发展。

三、机械制造系统的发展

在现代生产中,为了满足多品种、小批量、产品更新换代周期快的要求,原来以单功能组成机床为主体的生产线,已不能适应机械制造业日益提高的要求,因而具有多功能和一定柔性的设

备和生产系统相继出现,促使数控技术向更高层次发展。现代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) 和计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。以下简要介绍这三种生产系统。

1. 柔性制造单元 (FMC)

柔性制造单元 FMC 是在制造单元的基础上发展起来的,具有一定的柔性。所谓柔性是指能够较容易地适应多品种、小批量的生产功能。FMC 可由一台或少数几台设备组成。FMC 具有独立自动加工的功能,又部分具有自动传送和监控管理功能,可实现某些种类的多品种小批量的加工。有些 FMC 还可实现 24h 无人运转。由于它的投资较柔性制造系统 FMS 少得多,技术上又容易实现,因而深受用户欢迎。

FMC 可以作为 FMS 中的基本单元,若干个 FMC 可以发展组成 FMS,因而 FMC 可看作企业发展过程中的一个阶段。

FMC 有两大类,一类是数控机床配上机器人,另一类是加工中心配上托盘交换系统。

(1) 配有机器人的 FMC。图 1-5 中,车削中心上的工件,由机器人来装卸,加工完毕的工件与毛坯放在传送带上。

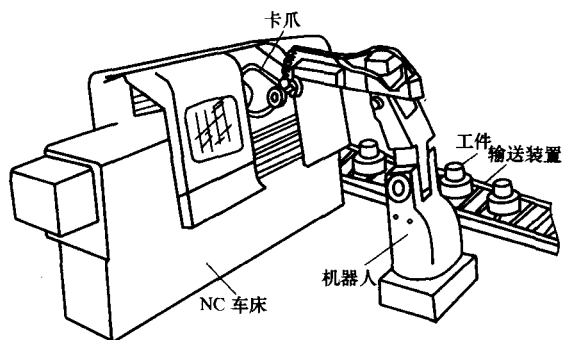


图 1-5 带有机器人的 FMC

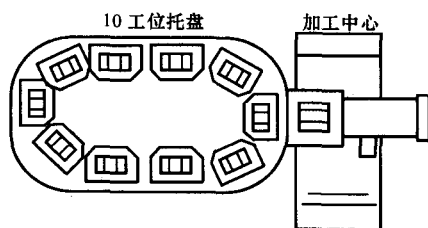


图 1-6 带有托盘交换系统的 FMC

(2) 配有托盘交换系统构成的 FMC。如图 1-6 所示,是由加工中心和托盘交换系统构成的 FMC。托盘上装夹有工件,当工件加工完毕后,托盘转位,加工另一新工件,托盘支承在圆柱环形导轨上,由内侧的环链拖带而回转,链轮由电动机驱动。托盘的选定和停位,由可编程序控制器 (PLC) 来实现。一般的 FMC,托盘数在 5 个以上。

如果在托盘的另一端设置一托盘工作站,则这种托盘系统可通过工作站与其他 FMC 发生联系。若干个 FMC 可组成一个 FMS。

2. 柔性制造系统

柔性制造系统是一种把自动化加工设备、物流自动化处理和信息流自动处理融为一体的智能化加工系统。目前使用较多的 FMS 大都是单一零件族内具有柔性的加工系统,如车削 FMS、镗铣 FMS、板材生产 FMS、焊接 FMS 等,具有不同族零件加工能力的 FMS 是机械制造发展的重要方向。

柔性制造系统由三个基本部分组成,如图 1-7 所示,各部分的组成作用简述如下。

(1) 加工子系统。该系统由加工单元、柔性制造单元、加工中心、数控机床及各种自动清洗、检测和装配机等组成,是 FMS 的基础部分。加工子系统内的加工机床除具有自动化加工的

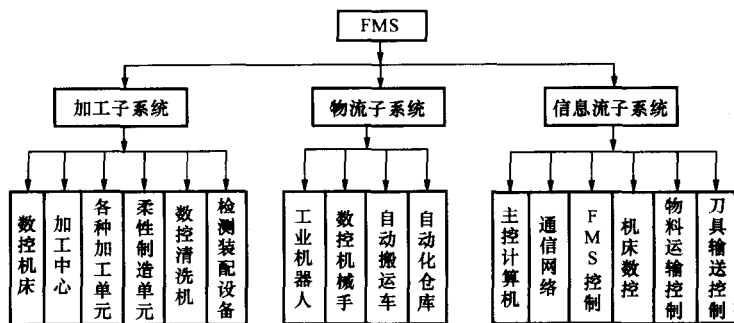


图 1-7 FMS 的构成

功能外，还应具有与外界进行物流和信息流交换的功能。

所谓物流交换功能，就是指在 FMS 中的加工机床应能和外界自动进行刀具、工件的更换。既能将损坏和磨损的刀具清理出机床刀库，又能将新刀具装入机床刀库待使用，既能将加工好的工件送出机床的加工位置，又能将待加工工件送到加工位置并定位夹紧。

所谓的信息流交换功能是 FMS 内的加工机床必须具有与上一级计算机进行信息交换的能力，即数控机床能接收上一级计算机送来的加工程序和各种命令，同时向上一级计算机反馈各种机床状态信号和检测信号。

根据工件的工艺要求，加工子系统差别很大。图 1-8 是北京机床研究所研制的一条由五台国产数控机床组成的具有不同族零件加工能力的 FMS。加工子系统由数控车床（单元 1）、数控端面外圆磨床（单元 2）、数控车床（单元 3）、立式加工中心（单元 4）、卧式加工中心（单元 5）组成，五个加工单元配有四台工业机器人，单元 2 还配有中心孔清洗机。该系统可以加工直流伺服电动机的轴类、法兰盘类、刷架体类、壳体类等四大类共 14 种零件。

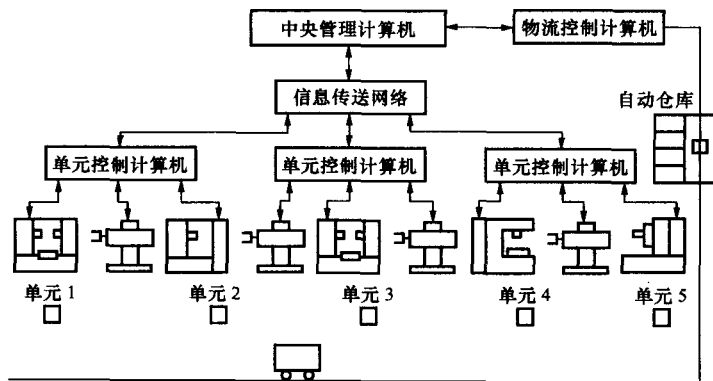


图 1-8 一个 FMS 组成实例

(2) 物流子系统。该系统由自动输送小车、各种输送机构、机器人、工件装卸站、工件存储工位、刀具输入输出站、刀库等构成。物流子系统在计算机的控制下自动完成刀具和工件的输送工作。图 1-8 中物流子系统由 4 个机器人、自动仓库、工件出入托盘站、机床前托盘站五个和一辆自动搬运车组成。

(3) 信息流子系统。由主计算机、分级计算机及其接口、外围设备和各种控制装置的硬件和软件组成。信息流子系统的主要功能是实现各子系统之间的信息联系，对系统进行管理，确保系

统的正常工作。对一个复杂系统,只有通过计算机分级管理才能对系统进行卓有成效的管理,保证在工作时,各部分保持协调一致。

对 FMS,计算机系统一般分为三级,第一级为主计算机,又称管理计算机。管理计算机根据调度作业命令或根据现场反馈信号(如故障、报警信号)运行“行业调度软件”,实现各种工况的作业调度计划,并对下一级计算机发出相应的控制指令。第二级为过程控制计算机,包括计算机群控(DNC),刀具管理计算机和工件管理计算机,其作用是接受主计算机的指令,根据指令对下属设备实施具体管理。第三级由各设备的控制计算机构成,实现具体的程序动作。

图 1-8 中信息流子系统由中央管理计算机、物流控制计算机、单元控制计算机、各数控机床中和机器人中的数控装置以及信息传送网络组成。

3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)是在信息技术、自动化技术、计算机技术及制造技术的基础上,通过计算机及其软件,将制造工厂生产、经营的全部活动(包括市场调研、生产决策、生产计划、生产管理、产品开发、产品设计、加工制造、质量检验及销售经营等)与整个生产过程有关的物料流与信息流实现计算机系统化的管理,把各种分散的自动化系统(也称自动化孤岛, Islands Of Automation)有机地集成起来,构成一个优化的完整生产系统,从而获得更高的整体效率,缩短产品开发制造周期,提高产品的质量,提高生产率,提高企业的应变能力,以赢得竞争。

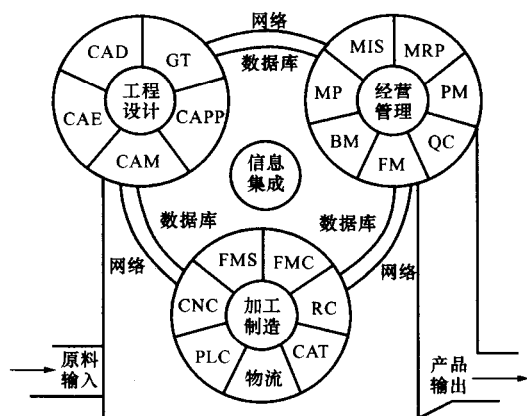


图 1-9 CIMS 技术集成关系图

图 1-9 是 CIMS 技术集成关系图,它表明了 CIMS 主要是通过计算机信息技术模块,把工程设计、经营管理和加工制造三大自动化子系统集成起来。

(1) 工程设计系统。主要包括计算机辅助工程分析(CAE, Computer Aided Engineering)、计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)、成组技术(GT, Group Technology)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP, Computer Aided Process Planning)和计算机辅助制造(CAM, Computer Aided Manufacturing)等。

(2) 经营管理系统。主要包括管理信息系统(MIS, Management Information System)、制造资源计划(MRP, Manufacturing Resource Planning)、生产管理(PM, Production Management)、质量控制(QC, Quality Control)、财务管理(FM, Financial Management)、经营计划管理(BM, Business Management)和人力资源管理(MP, Man Power Resources Management)等。

(3) 加工制造系统。主要包括 FMS 柔性制造系统、FMC 柔性制造单元、CNC 数控机床、可编程控制器 PLC、机器人控制(RC, Robot Controller)、自动测试(CAT, Computer Automated Testing)和物流系统等。

图 1-10 表明了 CIMS 的组成示意图,从中可以知道它是一个极其复杂而庞大的系统,工厂自动化(AF, Automated Factory)只是其中的一部分。它共包括办公室自动化(OA, Office Automated)和柔性加工系统 FMS 两大部分。其中办公室自动化 OA 又包括工程设计和经营管理两大子系统,它由 MIS 系统、产品开发 CAE、市场信息 MKT、CAD、MRP、CAM 以及它们各自

的数据库组成。而柔性制造系统 FMS 由上述各系统集成得到的生产过程信息来控制。毛坯从自动立体仓库的输送机输出, 经机器人或搬运车自动搬到加工机床, 经 CNC 加工后, 再由机器人或搬运车自动搬运到自动装配线由机器人装配, 最后经 CAT 自动测试检验后输出合格的产品。CIMS 目前还没有一个统一的定义, 但有两个大家一致公认的结论。

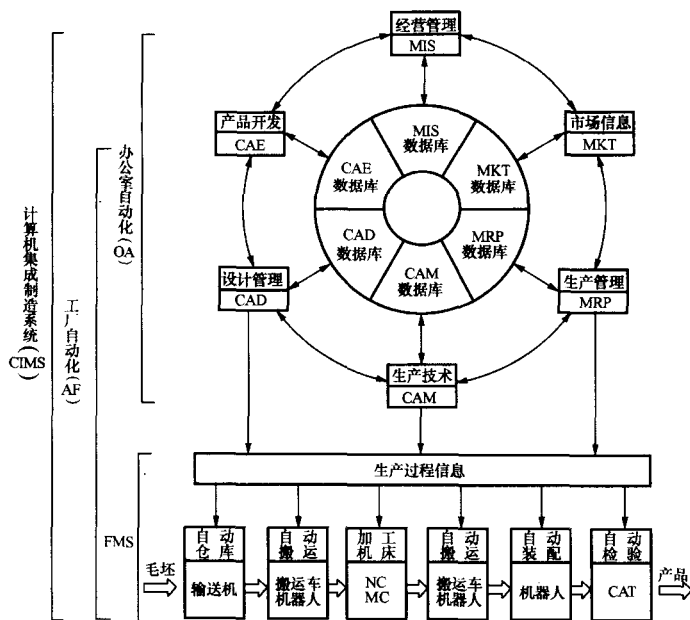


图 1-10 CIMS 的组成示意图

1) 在功能上, CIMS 包含了一个工厂的全部生产经营活动, 即从市场预测、产品设计、加工制造、管理到售后服务的全部活动。CIMS 比传统的工厂自动化的范围大得多, 是一个复杂的大系统。

2) CIMS 模式的自动化不是工厂各个环节的计算机或自动化 (有人称自动化孤岛) 的简单叠加, 而是有机的集成, 并且这里的集成不仅仅是物质、设备的集成, 更主要的是体现在以信息集成为特征的技术集成, 以至于人的集成。

从机械制造自动化发展的 CNC→FMS→CIMS “三部曲” 来看, 计算机技术起着主导作用, 贯穿于三者, 并且这三者一脉相承, 后者建立在前者的基础上, 而不是摒弃了前者才进入后者, 没有前者成熟的技术基础绝不可能进入后者。而且不管是 FMS 或 CIMS, 都需要更多的 CNC。所以要实现机械加工自动化, 计算机数控化是关键的基础步骤, 并且也是必经之路。提高机械加工机床的数控化率, 越来越显得其重要性和必要性。我国的 FMS 和 CIMS 的应用尚未普及, 但数控机床的应用已越来越普及。在我国机械制造行业中, 不仅一些大型企业已较成熟地使用了数控机床, 而且一些乡镇企业和中小型企业也正在较多地采用数控技术来改善其生产加工方式, 以提高企业产品的竞争能力。可以想象, 在 21 世纪, 企业对其相应技术人才的需求也必将越来越高。

四、数控机床的特点

1. 对加工对象改型的适应性强

由于在数控机床上改变加工零件时, 只需要重新编制程序, 更换新的控制介质或者手动输入程序就能实现对零件的加工, 它不同于传统的机床, 不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,

更不需要重新调整机床,因此,数控机床可以快速地加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用。对于使用点位控制系统的多孔零件的加工,当需要修改设计,改变其中某些孔的位置和尺寸时,只需局部修改控制介质的相应部分,花费很短的生产准备时间就可以把修改后的新产品制造出来,为产品结构的不断更新提供了有利条件。

2. 加工精度高

数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量)普遍达到了 0.001mm ,而且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。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。因为数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,而且提高了它的制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

在采用点位控制系统的钻孔加工中,由于不需要使用钻模板与钻套,钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排除切屑的条件得以改善,可以有效地冷却,被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,在编制程序时已考虑到对进给速度的控制,可以做到在曲率变化时,刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变,被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间,因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最有利的切削用量,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而选用了很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中,可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。

数控机床的加工精度比较稳定,在控制介质校验以及刀具完好的情况下,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验。因而可以减少停机检验的时间。因此,数控机床的利用系数比一般机床高得多。

在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率提高得更为明显。

4. 操作者的劳动强度小

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了安放控制介质或操作键盘,装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。例如电子工业中印制电路板的钻孔,如果在台式钻床上进行手动加工,单调频繁的手工操作很容易造成工人视觉的极度疲劳,从而产生不少差错,因此通常很难进行 1h 以上的连续操作。当采用高速数控钻床加工时,就能根本地改善操作者的劳动条件。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批量生产情况下,可以节省许多其他方面的费用,因此能够获得良好的经济效益。