

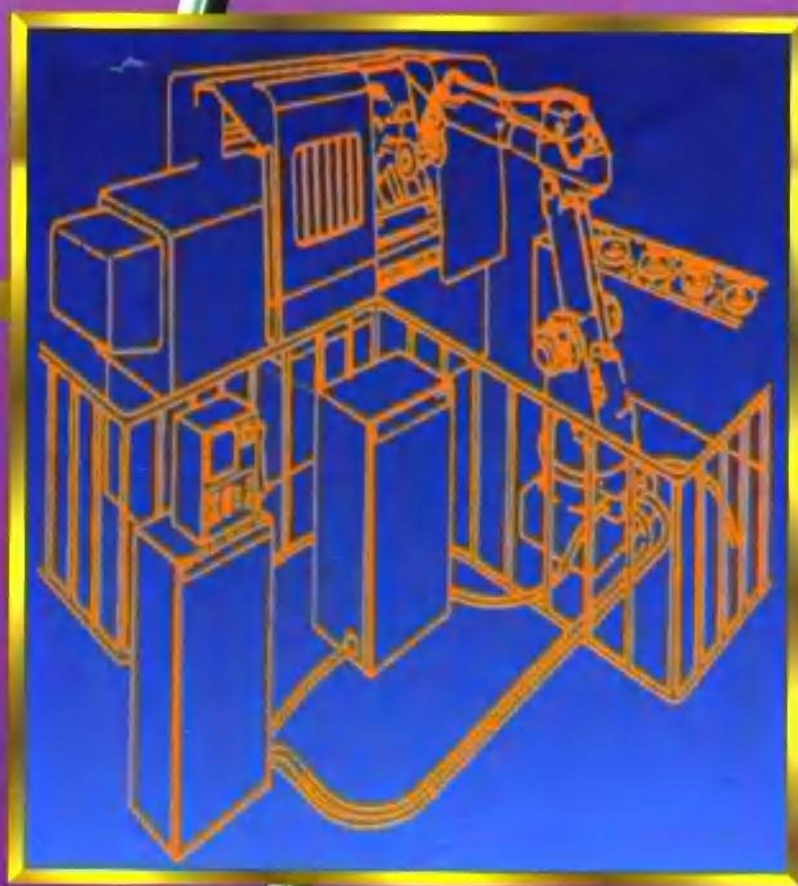


高等学校
电子信息类规划教材

机电一体化原理及应用

JIDIAN YITIHUA YUANLI JI YINGYONG

胡泓 姚伯威 主编



国防工业出版社

机电一体化原理及应用

胡泓 姚伯威 主编

AD15/23

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化原理及应用/胡泓,姚伯威主编. - 北京:
国防工业出版社, 1999.6
ISBN 7-118-02063-X

I. 机… II. ①胡… ②姚… III. 机电一体化-概论 IV.
TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 05714 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 465 千字

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1-4000 册 定价:25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

“机电一体化技术”是机械技术与电子技术的有机结合,它包括机械、电子、自动控制、传感器、计算机技术。本书从系统的观点出发,着重讨论机电一体化技术的系统理论、数学建模、分析方法和工程设计技术。近年来,世界上各发达国家竞相发展机电一体化技术,以提高制造技术水平,实现生产系统向柔性化、智能化发展。机电一体化技术给传统的机械产业带来了革命性的变革和惊人的效益,它是科学技术进步发展的必然趋势。

本书是为适应机械电子工程、机械设计制造及自动化、机电一体化专业和其他相近专业的教学要求而编写的大学本、专科机电类统编教材,同时也可作为从事机械加工自动化的设计、制造与生产管理等技术人员知识更新的参考书。在内容的安排上既注意了基础理论、基本概念的阐述,也考虑了实际工程应用实例和先进技术的介绍;在文字叙述上力求由浅入深、循序渐进。

全书共分 11 章,内容包括:引论(基础概念,关键技术);机电系统数学建模;传感器及接口技术;机电系统驱动及执行机构;机电一体化中的计算机控制系统;可编程控制技术与系统;控制方案及计算机实现;机电一体化系统设计及应用举例。每章均配有习题。

本书由黄大贵编写第一章,姚伯威编写第二、四、七章及附录,胡泓编写第三、六、八章,熊静琪编写第四章。全书由胡泓承担修改统稿工作,并担任全书主编,姚伯威担任副主编。

本书由吕炳朝教授和张云电教授主审,同时在编写过程中得到英国 Derby 大学的田贵云博士,四川联合大学测控系统的张涛副教授、机械系林光春博士的支持和帮助,田昆同志也为该书提供了部分实例,在此致以衷心的感谢。

由于我们对先进的机电一体化技术的认识有限,加之时间仓促,书中定有不少疏漏和错误之处,恳切希望读者提出宝贵的批评指正意见。

编 者

目 录

第一章 引论	1
§ 1.1 机电一体化基本概念	1
§ 1.2 机电一体化在现代制造业中的关键技术	6
§ 1.3 机电一体化发展趋势	8
第二章 机电系统数学模型	14
§ 2.1 机械传动系统模型.....	14
§ 2.2 电路系统模型.....	18
§ 2.3 液压、气压装置及系统模型	32
§ 2.4 数字系统模型.....	45
§ 2.5 机电控制系统建模实例.....	55
习题	62
第三章 传感器及接口技术	65
§ 3.1 概述.....	65
§ 3.2 位移测量传感器.....	68
§ 3.3 速度、加速度传感器	77
§ 3.4 力、压力和扭矩传感器	79
§ 3.5 位置传感器.....	84
§ 3.6 传感器前级信号处理.....	86
§ 3.7 传感器接口技术.....	90
§ 3.8 传感器非线性补偿处理	100
§ 3.9 数字滤波	103
习题.....	106
第四章 机电系统驱动及执行机构	107
§ 4.1 典型载荷分析	107
§ 4.2 负载的力矩特性	109
§ 4.3 传动链的精度分析	112
§ 4.4 电动机传动(驱动)系统	117
§ 4.5 液压传动系统和气压传动系统	138
习题.....	144
第五章 机电一体化中的计算机控制系统	146
§ 5.1 工业控制机	146
§ 5.2 计算机接口技术	164

§ 5.3 计算机控制系统	176
§ 5.4 串行数据通信	183
§ 5.5 计算机控制网络	191
习题	198
第六章 可编程控制技术与系统	199
§ 6.1 可编程序控制器	199
§ 6.2 可编程控制器的基本指令	203
§ 6.3 状态转换图及编程方法	209
§ 6.4 可编程序控制器控制系统设计	217
习题	224
第七章 控制方案及计算机实现	226
§ 7.1 PID 控制	226
§ 7.2 常见复杂控制	234
§ 7.3 模糊控制	250
§ 7.4 智能控制	260
习题	269
第八章 机电一体化系统设计及应用举例	270
§ 8.1 机电一体化产品开发的基本思路	270
§ 8.2 机电一体化系统的干扰抑制与处理	275
§ 8.3 机电一体化产品典型应用举例	280
§ 8.4 计算机集成制造系统(CIMS)	294
习题	301
附录 Z 变换	303
§ 1 概述	303
§ 2 Z 变换	307
参考文献	313

第一章 引 论

§ 1.1 机电一体化基本概念

1.1.1 引言

机电一体化是在微型计算机为代表的微电子技术、信息技术迅速发展,向机械工业领域迅猛渗透,机械电子技术深度结合的现代工业的基础上,综合应用机械技术、微电子技术、信息技术、自动控制技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术及软件编程技术等群体技术,从系统的观点出发,根据系统功能目标和优化组织结构目标,以智能、动力、结构、运动和感知组成要素为基础,对各组成要素及其间的信息处理、接口耦合、运动传递、物质运动、能量变换机理进行研究,使得整个系统有机结合与综合集成,并在系统程序和微电子电路的有序信息流控制下,形成物质和能量的有规则运动,在高功能、高质量、高精度、高可靠性、低能耗意义上实现多种技术功能复合的最佳功能价值系统工程技术。

“机电一体化”根源于“Mechatronics”,它是一个新兴的边缘学科,国内外处于发展阶段,代表着机械工业技术革命的前沿方向。

进入 20 世纪 60 年代以来,一大批逐步形成的高技术群体,如微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋开发技术、激光与红外技术、光纤通信技术等,已经且继续向经济、军事和社会生活的各个领域渗透,以空前的规模向现实生产迅速转化。

高新技术向产业转移,推动生产力的革命性发展,对人类社会的经济、政治结构,对国家和民族的命运和前途,对企业的生存兴衰具有决定性的作用。

微电子技术及信息技术是这次新技术革命的主导。

微电子技术直接推动微型计算机的急剧发展。1990 年 11 月,日本日立公司宣称,它已经研制成功世界上最快的神经网络计算机,运算速度仅 23 亿分之一秒,微型计算机几乎以每 3 年更换一代的速度发展。微电子技术和微型计算机技术带动整个高新技术群体飞速发展,迅速转化为巨大的经济效益。事实上,高技术竞争和突破正在创造着新的生产方式和经济秩序,新技术革命打开了所有国家的大门,现代经济日益表现出强烈的世界经济特征,国家和企业受到世界经济形势的严重影响,高新技术渗透到传统产业,引起传统产业的深刻改变。机电一体化正是在这场新技术革命中产生的新兴领域。微电子技术、微型计算机使信息与智能和机械装置与动力设备有机结合,使得产品结构和生产系统发生了质的飞跃。机电一体化产品的功能,除了精度、动力、快速性外,更需要自动化、柔性化、信息化、智能化,逐步实现自适应、自控制、自组织、自管理,向智能化过渡。因此,机电一体化产品或设备机械类模块,电脑类模块、电子类模块、电力电子类模块等集成融合成一体化。从典型的机电一体化产品来看,如数控机床、加工中心、机器人和机械手以至战

斗机等,都无一不包含这些模块的集成与融合。可以预料,在数控机床、机器人、汽车电子化、微型机械、录像机、SMT 设备、现代制造系统等产品及领域,机电一体化技术将得到更加蓬勃的发展。

1.1.2 机电一体化系统的基本组成要素

一个较完善的机电一体化系统,应包含以下几个基本要素:机械本体、动力与驱动部分、执行机构、传感测试部分、控制及信息处理部分。我们将这些部分归纳为:结构组成要素、动力组成要素、运动组成要素、感知组成要素、智能组成要素;这些组成要素内部及其之间,通过接口耦合、运动传递、物质流动、信息控制、能量转换有机融合集成一个完整系统。

1. 机械本体

系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、联接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面适应产品高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力部分

按照系统控制要求,为系统提供能量和动力使系统正常运行。用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功能输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

驱动部分在控制信息作用下,提供动力、驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特性,同时要求对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性和可靠性。由于几何尺寸上的限制,动作范围狭窄,还需考虑维修和实行标准化。由于电力电子技术的高度发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动大量应用于机电一体系统。

3. 测试传感部分

对系统运行中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,变成可识别信号,传输到信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控制信息。其功能一般由专门的传感器和仪器仪表完成。

4. 执行机构

根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构是运动部件,一般采用机械、电磁、电液等机构。根据机电一体化系统的匹配性要求,需要考虑改善性能,如提高刚性,减轻重量,实现组件化、标准化和系列化,提高系统整体可靠性等。

5. 控制及信息单元

将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、储存、分析、加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令控制整个系统有目的地运行。一般由计算机、可编程控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D 与 D/A 转换、I/O(输入输出)接口和计算机外部设备等组成。机电一体化系统对控制和信息处理单元的基本要求是:提高信息处理速度,提高可靠性,增强抗干扰能力以及完善系统自诊断功能,实现信息处理智能化和小型、轻量、标准化等。

这些我们通常称为机电一体化的五大组成要素。在系统中的这些单元和它们各自内部各环节之间都遵循接口耦合、运动传递、信息控制、能量转换的原则,我们称它们为四大

原则。

6. 接口耦合、能量转换

(1)变换 两个需要进行信息交换和传输的环节之间,由于信息的模式不同(数字量与模拟量、串行码与并行码、连续脉冲与序列脉冲等等),无法直接实现信息或能量的交流,通过接口完成信息或能量的统一。

(2)放大 在两个信号强度相差悬殊的环节间,经接口放大,达到能量的匹配。

(3)耦合 变换和放大后的信号在环节间能可靠、快速、准确地交换,必须遵循一致的时序、信号格式和逻辑规范。接口具有保证信息的逻辑控制功能,使信息按规定模式进行传递。

(4)能量转换还包含了执行器、驱动器它们的不同类型能量的最优转换方法与原理。

7. 信息控制

在系统中,所谓智能组成要素的系统控制单元,在软、硬件的保证下,完成数据采集、分析、判断、决策,以达到信息控制的目的。对于智能化程度高的系统,还包含了知识获取、推理机制及知识自学习等以知识驱动为主的信息控制。

8. 运动传递

运动传递是指各组成要素之间不同类型运动的变换与传输之间以及以运动控制为目的的优化。

由于采用四大原则使各组成要素联接成为一个有机整体,由于控制和信息处理单元的预期信息导引,使各功能环节有目的地协调一致运动,从而形成机电一体化系统工程。

数控机床和加工中心机床是典型的机电一体化产品,同时又是用于产品制造的机电一体化生产设备。以美国辛辛那提(Cincinnati)1210—U车削加工中心为例,机床拥有刀塔的Z、X纵横直线运动和主轴转角位置C三个坐标及相应伺服驱动单元,两坐标联动;转塔式刀库有十二个刀位,可安装自转和非自转刀具,因此除一般车削加工车外,还可进行端面和柱面分布孔、槽及螺旋表面的钻削和铣削加工;机床配备有刀具测头和工件测头,可对刀具坐标和工件尺寸进行测量。机床使用高档的ACRAMATIC—950数控系统,其控制系统结构原理如图1-1所示。它采用多总线、多CPU结构,各CPU分别进行数据传送通道管理、操作键盘和显示管理、磁盘驱动器读写操作、可编程序控制器输入输出、插补运算和伺服驱动控制等,由总线仲裁器按中断优先原则管理总线分配和通信,协调各子模块的运算和控制功能。数控系统通过可编程序控制器管理机床的M辅助功能和系统各环节运行状态监测信息。系统开发了很强的自诊断功能,对系统运行故障和操作错误实时显示报警。同时系统设置有标准数据传送通道,可以通过RS—511接口与上位计算机联机,进行程序传送和管理,控制信息通信,因此可直接进入计算机集成制造系统网络。

这种机电一体化生产装备,不仅自身具有很强的功能,而且以此为基础,能够形成更高级的机电一体化制造系统。数控机床和加工中心机床配备自动上下料装置,包括机床工作台自动交换设备或工业机器人,在上位计算机程序控制下实现多品种加工对象的连续自动化生产,构成柔性制造单元(FMC);根据加工对象的类别范围,合理组织不同种类的FMC,并配置工作、工具等的自动物流传送设备,采用控制组、决策级等层次结构式的多级计算机管理与控制,实现优化自动生产过程,构成能够适应多品种、中小批量自动化生产的柔性制造系统(FMS);而计算机集成化制造系统(CIMS)则是计算机信息管理系

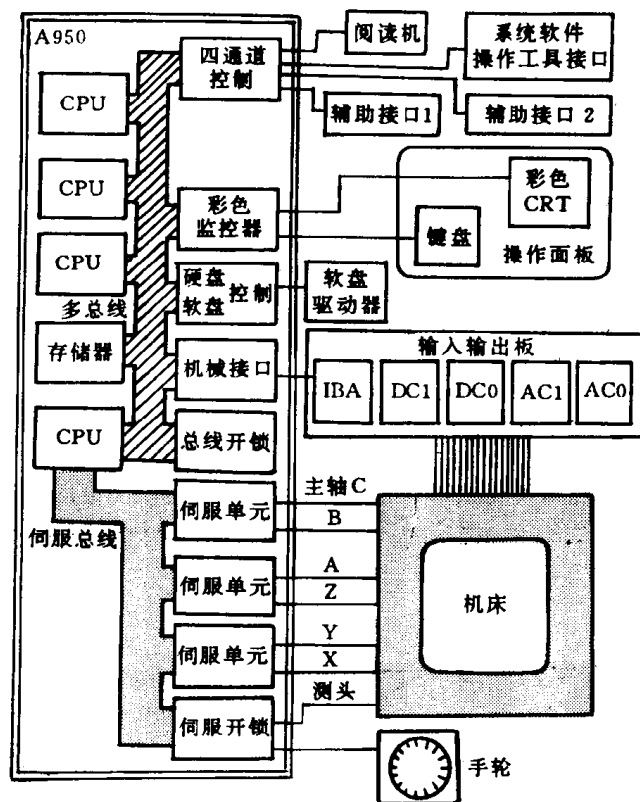


图 1-1 AP50 车削加工中心控制系统结构原理图

统,简称 MIS,计算机辅助设计、辅助制造、辅助工艺规划及辅助分析(CAD/CAM/CAPP/CAE),简称 TIS,质量控制系统,简称 QIS,以及以 FMS 为代表的制造自动化系统,简称 MAS,通过网络及数据库两个支持系统的有机集成。

机电一体化产品和机电一体化生产系统是机电制造业进步的必然趋势,也是现代高新技术支持下的综合技术发展的结果。

1.1.3 机电一体化中共性关键技术

机电一体化是系统技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、检测传感技术、伺服传动技术和机械技术等多学科技术领域综合交叉的技术密集型系统工程。

1. 机械技术

机械技术是机电一体化的基础。随着高新技术引入机械行业,机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中,它不再是单一地完成系统间的连接,在系统结构、重量、体积、刚性与耐用性方面对机电一体化有着重要的影响。机械技术的着眼点在于如何与机电一体化的技术相适应,利用其他高、新技术来更新概念,实现结构上、材料上、性能上以及功能上的变更,满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能增加功能的要求。

在制造过程的机电一体化系统中,经典的机械理论与工艺应借助于计算机辅助技术,同时采用人工智能与专家系统等,形成新一代的机械制造技术。这里原有的机械技术以知识和技能的形式存在。如计算机辅助工艺规格编制(CAPP)是目前 CAD/CAM 系统研

究的瓶颈,其关键在于如何将各行业、企业、技术人员中的标准、习惯和经验进行表达和陈述,从而实现计算机的自动工艺设计与管理。

2. 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策,实现信息处理的工具是计算机,因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。

计算机技术包括计算机的软件技术和硬件技术,网络与通信技术,数据技术等。

在机电一体化系统中,计算机信息处理部分指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时,直接影响到系统工作的质量和效率。因此计算机应用及信息处理技术已成为促进机电一体化技术发展和变革的最活跃的因素。

人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等都属于计算机信息处理技术。

3. 系统技术

系统技术就是以整体的概念组织应用各种相关技术,从全局角度和系统目标出发,将总体分解成相互有机联系的若干功能单元,以功能单元为子系统进行二次分解,生成功能更为单一和具体的子功能单元。这些子功能单元同样可继续逐层分解,直到能够找出一个可实现的技术方案。深入了解系统内部结构和相互关系,把握系统外部联系,对系统设计和产品开发十分重要。

接口技术是系统技术中一个重要方面,它是实现系统各部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口、人-机接口。电气接口实现系统间电信号连接;机械接口则完成机械与机械部分、机械与电气装置部分的连接;人-机接口提供了人与系统间的交互界面。

4. 自动控制技术

自动控制技术范围很广,主要包括:基本控制理论,在此理论指导下,对具体控制装置或控制系统的设计;设计后的系统仿真,现场调试;最后使研制的系统可靠地投入运行。由于控制对象种类繁多,所以控制技术的内容极其丰富,例如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、再现、检索等。

随着微型机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机控制技术联系在一起,成为机电一体化中十分重要的关键技术。

5. 传感与检测技术

传感与检测装置是系统的感受器官,它与信息系统的输入端相联并将检测到的信息输送到信息处理部分。传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节,它的功能越强,系统的自动化程度就越高。传感与检测的关键元件是传感器。

传感器是将被测量(包括各种物理量、化学量和生物量等)变换成系统可识别的,与被测量有确定对应关系的有用电信号的一种装置。

现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷环境的考验。与计算机技术相比,传感器的发展显得缓慢,难以满足技术发展的要求。不少机电一体化装置不能达到满意的效果或无法实现设计的关键原因在于没有合适的传感器。因此大力开展传感器的研究对于机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

6. 伺服传动技术

伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置,由微型计算机通过接口与这

些传动装置相连接,控制它们的运动,带动工作机械作回转、直线以及其他各种复杂的运动。伺服传动技术是直接执行操作的技术,伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置或部件,对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动有电液马达、脉冲油缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。由于变频技术的进步,交流伺服驱动技术取得突破性进展,为机电一体化系统提供高质量的伺服驱动单元,极大地促进了机电一体化技术的发展。

§ 1.2 机电一体化在现代制造业中的关键技术

一方面,机电一体化使产品实现更新和升级换代,技术性能指标大幅度提高,使原来的低、中档产品上升为高档产品,在功能、水平、质量、品种、使用效果和价格等方面能更好地满足国内外市场需求,增强了产品的竞争性。另一方面,机电一体化的生产装备易于根据市场需求组织和改变产品生产,缩短新产品生产周期,降低能耗和生产成本,使企业增强生产经营的竞争能力。因此机电一体化以其本身特有的技术优势迅速改变现代制造生产的产品结构和生产装备结构。

以数控机床、机器人、FMS的发展应用为例,可以体现出机电一体化在现代机械制造产业构成中的地位和作用。

1.2.1 机床产业数控化

机床是机械工业的基础制造装备和工作母机,是决定机械工业生产能力和水平的关键。数控机床的技术经济效益显著,主要表现在:缩短新产品试制和生产周期,节约大量工装;生产效率高,辅助生产时间减少;减少人为误差,加工精度稳定性显著提高,零件互换性好;能加工那些用普通机床很难甚至无法加工的大型复杂零件;数控机床开辟了机床结构大变革的前景,如宽调速主轴和进给伺服系统可以减少齿轮传动机械,甚至由于高频响的直线电机的成功实现了零传动。因此,在国际竞争日益激烈、产品品种变化频繁的形势下,机床产业的数控化发展十分迅速。

日本通产省1987年9月对7817家工厂(占总数的63%)调查的结果表明:在60万台金属切削机床中,平均每个工厂拥有81.7台金属切削机床,其中数控机床8.5台,比1981年增加3.4倍。

美国American Machinist杂志在1989年对美国机床拥有量进行的第14个调查结果表明(每5年左右进行一次):1989年美国拥有金属切削机床187万余台,比1983年增加了10%,金属成形机床45.6万余台,比1983年增加了一倍多,数控化率为9.6%。数控机床在各工业部门的分布情况:机械制造业占54.9%,交通运输设备工业占21.8%,电机及设备工业占13.6%,金属制品工业占8.1%,精密仪器工业占1.3%。近几年美国数控机床市场销路最好的是加工中心、数控车床和数控冲压机。

从数控机床的生产发展看,70年代,全世界数控机床产量的年平均增长率约为15%,80年代持续增长势头不减。以数控机床的主要生产国日本为例,1980年数控机床产量2.2万台,产值3394亿日元,到1987年数控机床产量已达5万台,产值4822亿日元,机床产量数控化率为30%,产值数控化率为70%。1990年,日本的机床订货额高达1兆日

元,数控车床 2.5 万台,金额 2868 亿日元。从国际机床市场的需求结构看,1990 年西欧十二国共进口机床 93 亿美元,占世界机床市场总需求量的 51.36%,其中,金属切削机床的数控化率超过 60%,金属成型加工机床的数控化率为 17% 左右。

高档数控加工中心机床,由于其在自动化生产系统中的重要地位,近年来得到迅速发展。当前,数控机床一方面向多功能、高速化的方向发展,同时开发简易数控装置也有广泛的应用需求。以 8 位和 16 位微机为核心的数控系统大量广泛应用;以 32 位微机为核心的数控系统已于 1986 年问世,数控机床发展到一个崭新的阶段。32 位高档数控系统既能独立而高效地完成单机控制任务,又能依据需要很容易地联入 FMS,是构成柔性自动化生产系统 FA 的基础。

1.2.2 制造系统自动化的一个方面

过去几年柔性制造系统发展很快,因为小批量生产自动化可由加工中心解决,大批量生产用自动线解决,在它们之间存在中批量生产自动化问题,其数量占机械制造品种的 70%,因此许多国家开发 FMS 解决这方面问题。近年 FMS 数量有显著增长。1984 年世界 FMS 的总拥有量约 160 条,主要用于机械制造业,1985 年 4 月美商务部调查为 200 条,经过一年时间,1986 年美国制造工程师协会(SME)在芝加哥召开的“FMS86”国际会议上宣布,目前运转中的 FMS 已达 370 条,其中日、美各 70 条,苏联 60 条,联邦德国及英国分别 30 条,法、意各 25 条。有资料介绍,1988 年日本 FMS 数量已上升为 254 条,1990 年美国 FMS 数量上升为 286 条。另据美国 production 杂志在 1989 年 7 月至 8 月对美国制造业 1 万个工厂、响应率为 28.25% 的书面调查结果:已有 12.7% 的工厂在使用 FMS,在 1990~1991 年中计划购置 FMS 的工厂为 10.6%,总投资额为 5.3475 亿美元,平均每个工厂的投资为 252 万美元;投向 FMS 的资金为投向 FMC 的二分之一,用于装配(55.2%)、金属切削(33.9%)、金属成形(23.8%)、检验(14.4%)、其他(6.1%)。

FMS 由计算机系统控制、协调多台数控机床、辅机和物料储运装置,因此比 FMC 有较多的自动化作业功能。系统可按优化的程序自动连续高效运行,设备利用率高,对作业对象及生产批量的变化有良好的适应能力。根据大量资料综合分析,它与单机流水线相比的突出效益有:减少机床和工人 52.6%,减少占地面积 42%~76%,减少在制品和流动资金 85.6%,可提高机床利用率 1.3~3.5 倍,提高生产效率 50%~55%,可缩短生产周期 40%~90%,可降低成本 50%。这些显著效益促进了 FMS 的生产和应用。

80 年代,国外柔性制造设备开始和 CAD/CAPP/CAM 及生产管理经营决策系统集成,把管理信息和制造活动,借助计算机技术和网络技术有机联系起来,向计算机集成制造系统 CIMS 发展,以谋求实现整个企业生产管理的现代化。1985 年日本建成筑波无人化实验工厂就是一例。又如山崎株式会社在美浓加浓加茂工厂建立了 CIM—FMS—21 系统自动化车间,由五条 FMS、38 台机床组成,加工 543 种机床零件,月产 200 种机床的 11120 个零件。

机电一体化的制造系统已经在现代制造产业中占据极为重要的地位。

1.2.3 机器人产业兴起

当第一台电子计算机于 1946 年问世后的第二年,即 1947 年,就有科学家提出“人工

智能”概念,1956年这一术语正式得到科技界的确认。半个多世纪以来,由于人们的认识不同,技术水平和理论基础的局限性等因素,机器人的研究工作曾出现几次大起大落。40年代和50年代中期,都曾发生起伏而未结出硕果。直至60年代初,在香农信息论、现代计算机和微电子及通信技术的推动下,利用计算机软件模拟人的大脑信息处理系统,推出了体现智能行为的程序,终于在美国产生了第一台实用样机。60年代末70年代初,日本、美国等在专家系统和庞大数据处理技术的研究飞速进展的情况下,机器人技术研究取得重大突破,应用范围不断扩展,功能日益增强。进入80年代,机器人技术在全球范围内极大地兴盛起来,逐步形成了一个重要的高技术学科领域和工业机器人产业。

据统计,1980年全世界机器人总数约3.3万台,1984年为11.3万台,1985年为18.8万台,1986年为25.7万台,1986年比1985年增长37%。另据联合国欧洲经济委员会1991年初发表的统计数字表明,到1989年底,全世界工业机器人的总数已达38.8万台。其中拥有机器人最多的国家是日本,为21.97万台,占总数的56.6%;其次是苏联,拥有6.23万台,占总数的16%;排名第三位的是美国,拥有3.7万台,占9%。其他拥有工业机器人较多的国家还有德国(2.24万台),法国(7 063台),捷克和斯洛伐克(7 007台),英国(5 908台),瑞典(3 463台)和意大利(2 585台)。

目前国外工业机器人主要生产厂家有400余家,机器人品种规格达700余种,不少国家都有自己的标准化、系列化产品和销售市场。有14个国家建立了17个产业化团体,工业发达国家的机器人产值以每年平均20%~40%的增长率发展。

据统计,工业机器人的98%用于制造业,主要用途是:①材料加工;②机床上下料;③点焊与弧焊;④喷漆与抛光;⑤冲压;⑥装配;⑦浇铸和铸造。由于机器人的成功使用,导致各国纷纷加紧研究试制,应用领域也越来越广,正逐步扩展到水下、空间、核工业、采伐、救灾、医疗及服务行业等非机械制造领域。如1985年9月美、法两国海洋科学家经多年努力,使用了可潜入深度为两万英尺^①的高级水下机器人Argo,在北大西洋海底找到了73年前(1912年)沉没的“泰坦尼克”巨轮残骸;美国的“挑战者”号航天飞机残骸也是由水下机器人打捞的。机器人技术还受到了军事部门的重视,70年代起,一些军事大国就在研究开发各种各样的军事机器人。1990年夏,美国国防部宣布“机器人军队”即将组建,目前正由美国国家实验室指导发展的军事机器人样机已交付试用,这位机器士兵能执行侦察巡逻任务,将来还可具有反坦克武器的技能。它由计算机遥控,重345kg,配有摄影机和监视器以及光纤网络,能在3.2km之外接受命令,行动时速高达16km,并预计本世纪末可服役进入战场。

§ 1.3 机电一体化发展趋势

1.3.1 机电一体化与高新技术发展战略

机电一体化占据主导地位是制造产业发展的必然趋势,而制造产业是整个科学技术和国家经济发展的基础工业,因而机电一体化在当前激烈的国际政治、军事、经济竞争中有举足轻重的作用,受到各工业国家的极大重视。

许多先进工业国家将机电一体化的前沿技术,如智能和自动化加工系统等,作为国家

高技术发展战略的一个重要方向。

日本“振兴科技的政策大纲”,将智能传感器,计算机芯片制造技术,具有视频、触觉和人—机对话能力的人工智能工业机器人,发展柔性制造系统等,列为高技术领域的重大研究课题。

西欧高技术发展规划“尤里卡”计划,提出五大关键技术领域 24 个重点攻关项目作为欧洲高技术发展战略目标,其中包括:研制可自由行动、决策并易于人—机对话的欧洲第三代安全民用机器人,广泛合作研究计算机辅助设计、制造、生产、管理的柔性系统,实现工厂全面自动化等机电一体化研究方向。

1991 年 3 月,美国国家关键技术委员会在向总统提交的首份双年度报告“国家关键技术”中,列举了 22 项对于美国国家经济繁荣和国防安全至为关键的技术,并对各项入选技术的内容范围,选择依据和国际发展趋势进行了评述,着重强调了技术的有效利用。其中包括机器人、传感器、控制技术和 CIM 及与 CIM 相关的其他工具和技术:如仿真系统、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、成组技术(GT)、计算机辅助工艺规程编制(CAPP)、工厂调度工具等。报告指出:在制造业方面,目前的发展趋势是加速产品推广,缩短产品生产周期,增加柔性和实现设计—生产—质量控制一体化技术,那些未朝这一方向努力的公司将变得愈加缺乏竞争力,要实现合理的生产经营活动,制造厂家必须在整个生产经营中实施先进的制造技术及管理策略。

鉴于资金、技术密集型的高技术发展初期投资大,回收少的特点,多数国家政府给予资金支持和必要的政策优惠。

如联邦德国 1984~1988 年的五年计划确定,提供 5.3 亿马克用于资助计算机辅助设计和制造的应用,扩大工业机器人、软件操作系统和外围设备的工业基础等先进生产技术服务。

日本政府早在 1971 年制定的“特定的电子工业和特定的机械工业临时措施法”中,已把数控机床作为重点扶植对象。1978 年颁布的“特定的机械信息产业振兴临时措施法”又规定:促进高精度高性能机器人的工业化和实用化,开展特殊环境作业用的机器人研究。为此,1978~1984 年间拨款 90 亿日元开发数控技术;1983 年组织了机器人、计算机、机械等行业十家制造厂参加极限作业环境机器人的开发研制,总投资 300 亿日元,其中 1/2 由政府资助。

美国 1983 年制定的“星球大战计划”(SDI)投资 1000 亿美元以发展高技术,其中也包括空间机器人、核能机器人、军事机器人及机器人相关技术。国家科学基金会(NST)每年投资 100 万美元,国家标准局(NBS)每年投资 150 万美元,1985~1995 年间用于研制军用机器人和智能机器人的经费从 1.86 亿美元增至 9.75 亿美元。国家规划和支持对美国机器人发展起了很大的推动作用。

英国政府在先进的智能装备开发计划方面实施支持政策。1981 年春,政府在“发明革新资助项目”中制定了 3 年内拨款 1 000 万英镑支持工业机器人的发展计划,并提出 5 年内(1981~1985 年)2000 台机器人投入使用的目标,政府将给予购买机器人的公司 25% 的补贴;1984 年英国建立了一个新型机器人示教表演培训和研究中心,该中心拥有经过精选的机器人,并装有其他辅助设备,英国工业部为该中心提供了 10 万英镑的资助;1982 年左右,英国制定了发展柔性加工系统的计划,决定在三年内投资 6000 万英镑,帮

助工业界克服发展应用中的思想障碍,承担一定的风险,英国最大的机床制造公司“600集团”在1982年建成的一条高水平的FMS系统SCAMP,就是在政府给予300万英镑的资助下投产的。

国家在资金方面的支持和经济政策上的优惠,促进和保证了机械制造新技术产业的发展,对保持和增强国家在国际市场中的竞争力有重要作用。

我国是发展中国家,与发达国家相比工业技术水平存在一定差距,但有广阔的机电一体化应用开拓领域和技术产品潜在市场。改革开放以来,面临国际市场经济激烈竞争形势的挑战,国家和企业充分认识到机电一体化技术对我国经济发展具有战略意义,十分重视机电一体化技术的研究、应用和产业化,在利用机电一体化技术开发新产品和改造传统产业结构及装备方面都有明显进展,取得了较大的社会经济效益。

《高技术研究发展计划纲要》即“八六三”计划,将自动化技术,重点是CIMS和智能机器人技术等机电一体化前沿技术确定为国家高技术重点研究发展领域。

1985年12月,国家科委组织完成了《我国机电一体化发展途径与对策》的软科学研究,探讨我国机电一体化发展战略,提出了数控机床、工业自动化控制仪表等15个机电一体化优先发展领域和6项共性关键技术的研究方向和课题,提出机电一体化产品产值比率(即机电一体化产品总产值占当年机械工业总产值的比值)在2000年达到15%~20%的发展目标。

我国数控机床产业10余年来确已取得重大进展,但在产品水平和技术水平方面与国外先进水平相比仍有较大差距。我国数控机床不仅产量少,品种也很不齐全。除中等规格的数控车床和加工中心形成系列外,其他类型机床的数控品种尚未形成系列。特别是市场上急需各类大小规格的精密、高效和专门化的数控机床,如大中规格(工作台1000mm以上)的加工中心、小型龙门式加工中心、五面加工中心、模具生产用的精密高效数控仿形铣床、数控慢走丝线切割机床、电火花成形机床、曲轴铣床、中凸变椭圆活塞数控车床、数探深孔珩磨机,有的仍属空白。FMC和FMS也刚刚起步。

随着生产的发展,国际市场竞争的加剧,对数控机床的需求必将继续迅速扩大。一些国家(如日本)数控机床的年产量已达到数万台,仍未满足市场需求。我国本来工艺装备落后,拥有的大量设备要更新和进行技术改造,而目前数探机床的年产量又仍然很低,所以国内市场对数控机床的需求量还是很大的。1995年我国对数控机床的需求量在一万台以上,要求金属切削机床产量的数控化率为6%~8%。根据“九五”规划要求,到2000年机床产量数控化率达40%。

采用经济型数控系统改造旧设备也是数控技术产业的一个重要侧面。到1989年底,全国已改造2.4万台。目前我国共有各类机床320万台,可改造的机床有70万台,如果完成70万台旧机床的数控改造,预计可获经济效益60亿元。

采用数显技术有较好的技术经济效益。“七五”期间共生产数显系统18万个坐标,感应同步器数显装置的精度已接近国际水平。

我国目前第一代示教再现机器人已付诸应用,“七五”期间攻关目标是达到国外80年代初的技术水平。“八六三”计划到2000年研制成功三类智能机器人。“七五”计划前三年我国共引进工业机器人80余台,其中有50台用于生产,国产的喷漆、搬运机器人已用于生产,点、弧焊及装配机器人正在试用。预测“八五”期间,我国对工业机器人的需求量