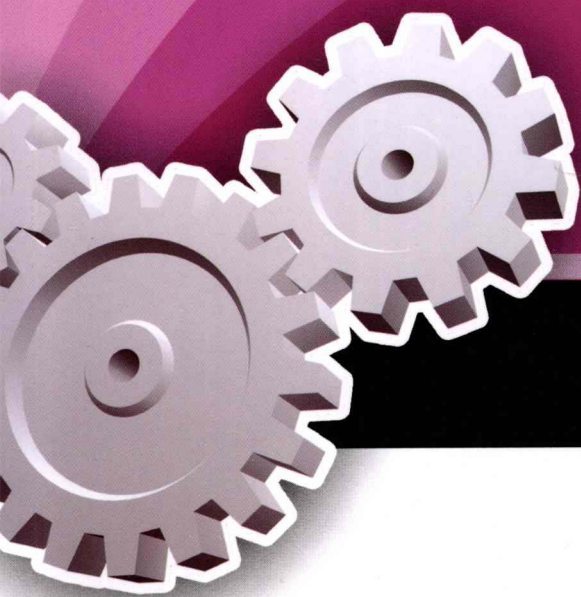




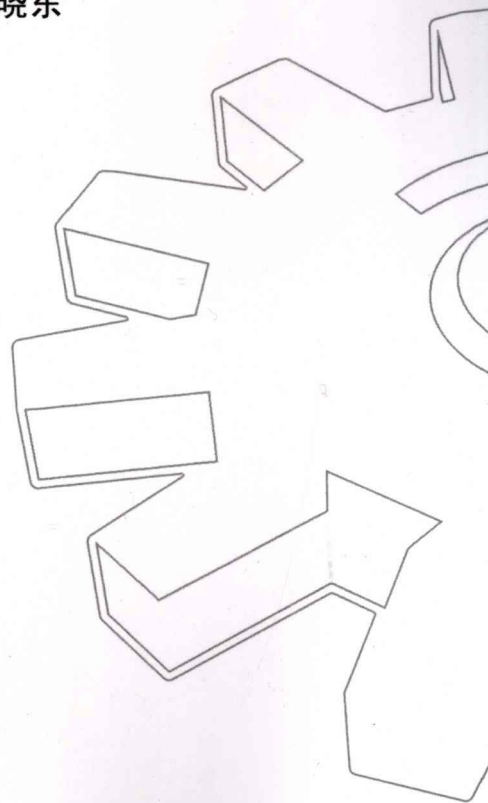
高职高专“十一五”规划教材



机电一体化 系统

J IDIAN YITI HUA
X I T O N G

主编 韩向可 黄晓东



 吉林大学出版社

内容提要

本书在介绍机电一体化系统的基本原理和关键技术的基础上,详细地阐述了机电一体化系统中的机械系统、驱动系统、检测系统和控制系统的设计方法,并且系统地介绍了整个系统的设计原则和技术方法,通过一系列的系统设计实例,使读者能够快速地掌握机电一体化系统的设计思路和设计方法。

本书内容新颖、文字精练、通俗易懂、实用性强,可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校等相关专业机电类各专业的教材,也可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统/韩向可,黄晓东主编. —长春:吉林
大学出版社,2008.12

(高职高专“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-5601-4039-1

I. 机… II. ①韩… ②黄… III. 机电一体化—系统设计—
高等学校:技术学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第209443号

书 名: 高职高专“十一五”规划教材

机电一体化系统

作 者: 韩向可 黄晓东 主编

责任编辑、责任校对: 邵宇彤

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 12.75 字数: 251 千

ISBN 978-7-5601-4039-1

封面设计: 超视觉工作室

北京市彩虹印刷有限责任公司 印刷

2009年1月 第1版

2009年1月 第1次印刷

定价: 23.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路421号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

出版说明

作为高等教育的重要组成部分，高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力，面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育，是职业技术教育的高等阶段。目前，高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育，培养职业技术人才的大纲要求，我们组织编写了这套《高职高专“十一五”规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向，以能力为本位，以服务学生职业生涯发展为指导思想，以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度，相对于普通高等教育的“学科性专业”，高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成，这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性，而且突出知识的实用性、综合性，把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度，现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”，教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”，考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况，本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容，加强实践性教学环节，注重案例教学，注重能力的培养，使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时，使公共基础类教材突出职业化，强调通用能力、关键能力的培养，以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度，高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此，本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求，纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时，为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况，教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准，同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则，本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律，又有较强的实践技能。同时，我们还聘请生产一线的技术专家来审稿，保证教材的实用性、先进性、技术性。总之，该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力成果，希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

机电一体化是以机械技术和电子技术为主体,多门技术学科相互渗透、相互结合的产物,是正在发展和逐渐完善的一门新兴的边缘学科。它所涉及的学科和技术非常广泛,并且应用领域众多,已经在机械制造、电气信息、交通运输、仪器仪表、航天航空等行业广泛应用,在一定程度上代表着国家机械工业的发展水平,与国民生产和人们日常生活休戚相关。因此,世界各国纷纷加强本国机电一体化技术的研究和发展,提高产品的国际竞争力。

本书是为了适应机电一体化、机械设计制造及其自动化和其他相关专业的教学要求而编写的高职、高专统编教材。本书在编写过程中力求内容新颖、文字精练、通俗易懂,使学生对机电一体化产品的设计有一个总体的把握。

全书共六章,分三个部分,第一部分是机电一体化的总体介绍,包括第一章,机电一体化的概念、组成与发展趋势等;第二部分是机电一体化系统各组成部分的设计技术,包括第二、三、四、五章,机电一体化机械系统设计,检测与传感系统设计技术,机电一体化系统执行与驱动技术,机电一体化控制系统设计;第三部分是机电一体化总体设计实例,即第六章的机电一体化总体设计及实例。

本书第一章、第六章由黄晓东编写,第二章、第四章由何奎编写,第三章由韩向可编写,第五章由何社阳编写。全书最后由陈晓武担任修改和统稿工作。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中的疏漏和错误在所难免,恳求广大读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 机电一体化概述	1
第二节 机电一体化的发展趋势	9
思考与练习题	17
第二章 机电一体化系统的机械系统设计	18
第一节 机械系统的数学模型	18
第二节 机械系统组成及设计要求	23
第三节 机械传动部件的设计	25
第四节 机械支承部件设计	38
思考与练习题	48
第三章 机电一体化检测系统设计	50
第一节 传感器的组成与分类	50
第二节 机电一体化系统常用传感器	54
第三节 传感器信号的检测与处理	71
思考与练习题	93
第四章 机电一体化系统伺服驱动技术	94
第一节 概 述	94
第二节 直流伺服电动机及其驱动	97
第三节 交流伺服电动机及其驱动	99
第四节 步进电动机及其驱动	103
思考与练习题	113
第五章 机电一体化控制系统设计	114
第一节 机电一体化控制系统概述	114
第二节 机电一体化控制系统接口设计	120
第三节 机电一体化系统的控制方法	139
思考与练习题	165
第六章 机电一体化设计实例	166
第一节 概 述	166
第二节 设计方法	175
第三节 工业锅炉节能计算机控制系统设计	187
第四节 温度控制系统设计	190
思考与练习题	194
参考文献	195

第一章 绪 论

第一节 机电一体化概述

一、机电一体化的概念

机电一体化技术是 20 世纪 60 年代以来,在传统的机械技术基础上,随着电子技术、计算机技术,特别是微电子技术、信息技术的迅猛发展而发展起来的一门新技术。

机电一体化技术是在以大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术高度发展并向传统机械工业领域迅速渗透、机械技术与电子技术深度结合的现代化工业基础上,综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术、信号变换技术以及软件编程技术等群体技术,根据系统功能目标和优化组织结构目标,合理配置机械本体、执行机构、动力驱动单元、传感测试元件、计算机控制接口等硬件要素,并使之在软件程序和微电子电路逻辑的有目的的信息流向引导下,相互协调、有机融合和集成,形成物质和能量的有序规则运动,在高功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能价值的系统工程技术。由此而产生的功能系统,则成为一个以电子技术为主导,在现代高新技术支持下的机电一体化系统或机电一体化产品。

机电一体化技术和机电一体化产品可分别定义为:

机电一体化技术是微电子技术、计算机技术、信息技术和机械技术相结合的新兴的综合性高新技术,是机械技术与微电子技术的有机结合。

机电一体化产品是新型机械与微电子器件,特别是微处理器、微型机相结合而开发出来的新一代电子化机械产品。

日本在 20 世纪 70 年代开始使用“机电一体化”这个新名词,这个词是根据英文 Mechanics (机械学) 的前半部和 Electronics (电子学) 的后半部相结合而构成的,即 Mechatronics (日本造的英文组合词),用日本汉字“机电一体化”来表示。“机电一体化”这组汉字比较恰当地表述了这一新概念,因而能迅速直接被我国接受和使用。1984 年美国机械工程协会 (ASME) 的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中,明确地提出现代机械系统的定义为:“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。”

现代高新技术(如微电子技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋开发技术、光纤通信技术及现代医学等)的发展需要具有智能化、自动化和柔性化的机械设备,机电一体化正是在这种巨大需求的推动下产生的新兴技术。微电子技术、微型计算机技术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产生了质的飞跃。机电一体化产品的功能,除了高精度、高可靠性、快速响应外,还将逐步实现自适应、自控制、自组织、自管理等。

由于机电一体化技术对现代工业的发展具有巨大的推动力，因此世界各国均将其作为工业技术发展的重要战略之一。从 20 世纪 70 年代起，在发达国家兴起了机电一体化热，而在 20 世纪 90 年代，中国也把机电一体化技术列为重点发展的十大高新技术产业之一。

机电一体化技术在制造业的应用从一般的数控机床、加工中心和机械手发展到智能机器人、柔性制造系统（FMS）、无人生产车间和将设计、制造、销售、管理集于一体的计算机集成制造系统（CIMS）。机电一体化产品涉及工业生产、科学研究、人民生活、医疗卫生等各个领域，如集成电路自动生产线、激光切割设备、印刷设备、家用电器、汽车电子、微型机械、飞机、雷达、医学仪器、环境监测等。

机电一体化技术是其他高新技术发展的基础，机电一体化的发展依赖于其他相关技术的发展。可以预测，随着信息技术、材料技术、生物技术等新兴学科的高速发展，在数控机床、机器人、微型机械、家用智能设备、医疗设备、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。

二、机电一体化系统的基本组成要素

（一）机电一体化系统构成要素

一个典型机电一体化系统包含以下几个基本要素：机械本体、动力和驱动部分、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，形成通过接口耦合来实现运动传递、信息控制、能量转换等有机融合的一个完整系统。

机电一体化系统的组成要素及功能如图 1-1 所示。

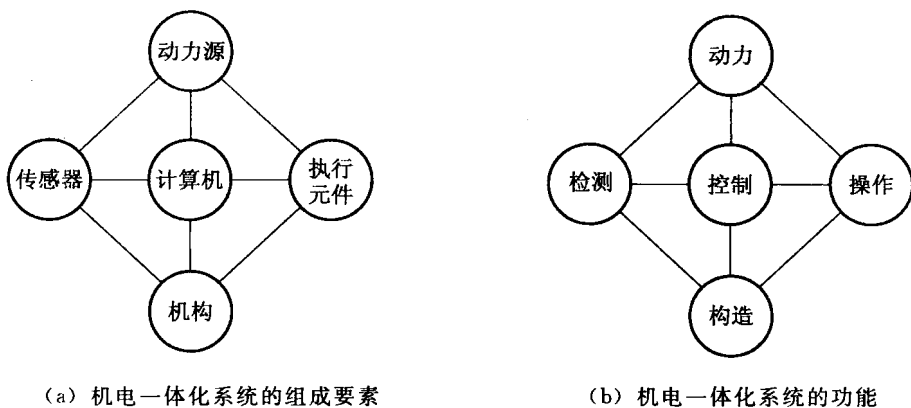


图 1-1 机电一体化系统的组成要素及功能

1. 机械本体

机电一体化系统的机械本体包括机身、框架、连接部件等。由于机电一体化产品的技术水平和功能的提高，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率、多功能、高可靠性和节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力与驱动

动力部分的功能是按照控制系统要求，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率输出，是机电一体化产品的显著特征之一。

驱动部分的功能是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,另一方面要求对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性和可靠性。由于电力电子技术的高度发展,高性能的步进驱动、直流伺服和交流伺服驱动方式大量应用于机电一体化系统。

3. 传感测试部分

传感测试部分的功能是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,生成相应的可识别信号,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。这一功能一般由专门的传感器及转换电路完成。

4. 执行机构

执行机构的功能是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,执行机构需要考虑改善系统的动、静态性能,如提高刚性、减小重量和保持适当的阻尼,应尽量考虑组件化、标准化和系列化,以提高系统的整体可靠性等。

5. 控制及信息单元

控制及信息单元的功能是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、分析和加工,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。该单元一般有计算机、可编程逻辑控制器(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和可靠性,增强抗干扰能力以及完善系统自诊功能,实现信息处理智能化。以上这五部分我们通常称为机电一体化的五大组成要素。在机电一体化系统中的这些单元和它们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. 接口耦合与能量转换

(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,需要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,达到能量匹配。

(3) 耦合。变换和放大后的信号在各环节间能可靠、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。其执行元件包含了执行器和驱动器。该转换涉及到不同类型能量间的最优转换方法与原理。

7. 信息控制

在系统中,作为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、决策功能,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

运动传递是指运动各组成环节之间的不同类型运动的变换与传输,如位移变换、速度



变换、加速度变换及直线运动和旋转运动变换等。运动传递还包括以运动控制为目的的运动优化设计，目的是提高系统的伺服性能。

（二）机电一体化系统构成要素的相互连接

机电一体化系统（产品）由许多要素或子系统构成，各要素或子系统之间必须能顺利进行物质、能量和信息的传递与交换。为此，各要素或各子系统相接处必须具备一定的联系条件，这些联系条件就称为接口（interface）。从系统外部看，机电一体化系统的输入/输出是与人、自然及其他系统之间的接口；从系统内部看，机电一体化是由许多接口将系统构成要素的输入/输出联系为一体的系统。从这一观点出发，系统的性能在很大程度上取决于接口的性能，各要素或各子系统之间的接口性能就成为综合系统性能好坏的决定性因素。机电一体化系统是机械、电子和信息等功能各异的技术融为一体的综合系统，其构成要素或子系统之间的接口极为重要，在某种意义上讲，机电一体化系统设计归根结底就是“接口设计”。

广义的接口功能有两种，一种是变换、调整；另一种是输入/输出。

根据接口的变换、调整功能，可将接口分为以下四种：

（1）零接口。不进行任何变换和调整、输出即为输入等，仅起连接作用的接口，称为零接口。例如：输送管、接插头、接插座、接线柱、传动轴、导线、电缆等。

（2）无源接口。只用无源要素进行变换、调整的接口，称为无源接口。例如：齿轮减速器、进给丝杠、变压器、可变电阻器以及透镜等。

（3）有源接口。含有有源要素、主动进行匹配的接口，称为有源接口。例如：电磁离合器、放大器、光电耦合器、D/A，A/D转换器以及力矩变换器等。

（4）智能接口。含有微处理器，可进行程序编制或可适应性改变接口条件的接口，称为智能接口。例如：自动变速装置，通用输入/输出 LSI（8255 等通用 I/O），GP-IB 总线、STD 总线等。

根据接口的输入/输出功能，可将接口分为以下四种：

（1）机械接口。由输入/输出部位的形状、尺寸精度、配合、规格等进行机械连接的接口。例如：联轴节、管接口、法兰盘、万能插口、接线柱、接插头与接插座及音频盒等。

（2）物理接口。受通过接口部位的物质、能量与信息的具体形式和物理条件约束的接口，称为物理接口。例如：受电压、频率、电流、电容、传递扭矩的大小、气（液）体成分（压力或流量）约束的接口。

（3）信息接口。受规格、标准、法律、语言、符号等逻辑、软件约束的接口，称为信息接口。例如：GB，ISO，ASCII 码，RS232C，FORTRAN，C，C++，VC++，VB 等。

（4）环境接口。对周围环境条件（温度、湿度、磁场、火、振动、放射能、水、气、灰尘）有保护作用和隔绝作用的接口，称为环境接口。例如：防尘过滤器、防水连接器、防爆开关等。

三、机电一体化系统的技术组成

机电一体化系统是多学科技术的综合应用，是技术密集型的系统工程。其技术组成包括机械技术、检测技术、伺服传动技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术和系统总



体技术等。现代的机电一体化产品甚至还包含了光、声、化学、生物等技术的应用。

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,机械技术不再是单一地完成系统间的连接,而是要优化设计系统的结构、重量、体积、刚性和寿命等参数对机电一体化系统的综合影响。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,以满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能和增加功能的要求。

在机电一体化产品的制造过程中,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。计算机辅助工艺规程编制(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。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. 自动控制技术

自动控制技术范围很广,机电一体化的系统设计在基本控制理论指导下,对具体控制装置和控制系统进行设计;对设计后的系统进行仿真和现场调试;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。

4. 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连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的发展具有十分重要的意义。

5. 伺服传动技术

伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的驱动装置,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。常见的伺服驱动装置有电液马达、脉冲油缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。由于变频技术的发展,交流伺服驱动技术取得了突破性的进展,为机电一体化系统提供了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。

6. 系统总体技术

系统总体技术是一种从整体目标出发,用系统的观点和从全局的角度,将总体分解成相互有机联系的若干单元,找出能完成各个功能的技术方案,再把各个功能和技术方案组成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术解决的是系统的性能优化问题和组成要素之间的有机联系问题,即使各个组成要素的性能和可靠性很好,但如果整个系统不能很好的协调,系统也很难正常运行。

接口技术是系统总体技术的关键环节,主要有电气接口、机械接口、人机接口。电气接口实现系统间的信号联系;机械接口则完成机械与机械部件、机械与电气装置的连接;人机接口提供人与系统间的交互界面。

机电一体化技术综合利用各相关技术优势,扬长避短,取得系统优化效果,有显著的社会效益和经济效益,具体可概括为以下十个方面。

(1) 提高精度

机电一体化技术使机械传动部件减少,因而使机械磨损、配合间隙及受力变形等所引起的误差大大减小,同时由于采用电子技术实现自动检测、控制、补偿和校正以减小各种干扰因素造成的动态误差,从而达到单纯机械装置所不能达到的工作精度。如采用微型计算机误差分离技术的电子圆度仪,其测量精度可由原来的 $0.025\ \mu\text{m}$ 提高到 $0.01\ \mu\text{m}$;大型镗铣床安装感应同步器数显装置可将加工精度从 $0.006\ \text{mm}$ 提高到 $0.002\ \text{mm}$ 。

(2) 增强功能

现代高新技术的引入,极大地改变了机械工业产品的面貌,具备多种复合功能,成为机电一体化产品和应用技术的一个显著特征。例如,加工中心可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成,并且还有刀具磨损自动补偿、自动显示刀具动态轨迹图形、自动控制和自动故障诊断等极强的应用功能;配有机器人的大型激光加工中心,能完成自动焊接、划线、切割、钻孔、热处理等操作,可加工金属、塑料、陶瓷、木材、橡胶等各种材料。这种极强的复合功能,是传统机械加工系统所不能比拟的。

(3) 提高生产效率,降低成本

机电一体化生产系统能够减少生产准备时间和辅助时间,缩短新产品的开发周期,提高产品合格率,减少操作人员,提高生产效率,降低成本。例如数控机床生产效率要比普通机床高 $5\sim 6$ 倍,柔性制造系统可使生产周期缩短 40% ,生产成本降低 50% 。

(4) 节约能源,降低消耗

机电一体化产品通过采用低能耗的驱动机构、最佳的调节控制和提高设备的能源利用率来达到显著的节能效果。例如汽车电子点火器,由于控制最佳点火时间和状态,可大大



节约汽车的耗油量；若将节流工况下运行的风机、水泵随工况变速运行，平均可节电 30%；工业锅炉若采用微机精确控制燃料与空气的混合比，可节煤 5%~20%；还有被称为电老虎的电弧炉，是最大的耗电设备之一，如改用微型计算机实现最佳功率控制，可节电 20%。

(5) 提高安全性、可靠性

具有自动检测监控的机电一体化系统，能够对各种故障和危险情况自动采取保护措施，及时修正运行参数，提高系统的安全可靠性。例如大型火力发电设备中锅炉和汽轮机的协调控制、汽轮机的电液调节系统、自动启停系统、安全保护系统等，不仅提高了机组运行的灵活性，而且提高了机组运行的安全性和可靠性，使火力发电设备逐步走向全自动控制。又如大型轧机多极计算机分散控制系统，可以解决对大型、高速冷热轧机的多参数测量和控制问题，保证系统可靠运行。

(6) 改善操作性和适用性

机电一体化装置中相关传动机构的动作顺序及功能协调关系，可由程序控制自动实现，并建立良好的人—机界面，对操作参量加以提示，因而可以通过简便的操作实现复杂的控制功能，获得良好的使用效果。有些机电一体化装置，可实现操作全部自动化，如示教再现工业机器人，在由人工进行一次示教操作后，即可按示教内容自动重复实现全部动作。有些更高级的机电一体化系统，还可通过被控对象的数学模型和目标函数，以及各种运行参数的变化情况，随机自寻最佳工作过程，协调对内对外关系，以实现自动最优控制。如微型计算机控制的钢板测厚自动控制系统、电梯全自动最优控制系统、智能机器人等。机电一体化系统的先进性是和技术密集性与操作使用简易性和方便性相互联系在一起的。

(7) 减轻劳动强度，改善劳动条件

机电一体化系统一方面能够将制造和生产过程中极为复杂的人的智力活动和资料数据记忆查找工作改由计算机来完成，一方面又能由程序控制自动运行，代替人的紧张和单调重复的操作，以及在危险或有害环境下的工作，因而大大减轻了人的脑力和体力劳动，改善了人的工作环境。例如 CAD 和 CAPP 极大减轻了设计人员的劳动复杂性，提高了设计效率；搬运、焊接和喷漆机器人取代了人的单调重复劳动；武器弹药装配机器人、深海机器人、太空工作机器人、在核反应堆和有毒环境下的自动工作系统，则成为人类谋求解决危险环境中的作业问题的最佳途径。

(8) 简化结构，减轻重量

由于机电一体化系统采用新型电力电子器件和新型传动技术，代替笨重的老式电器控制的复杂机械变速传动机构，由微处理机和集成电路等微电子元件和程序逻辑软件，完成过去靠机械传动链来实现的关联运动，从而使机电一体化产品的体积减小，结构简化，重量减轻。例如：无换向器电机将电子控制与相应的电机电磁结构相结合，取消了传统的换向电刷，简化了电机的结构，提高了电机的寿命和运行特性，并缩小了体积；数控精密插齿机可节省齿轮等传动部件 30%；一台现金出纳机用微处理机控制可取代几百个机械传动部件。采用机电一体化技术来简化结构，减轻重量，对于航天航空技术而言更具有特殊的意义。

(9) 降低成本

由于结构的简化,材料消耗的减少,制造成本的降低,同时由于微电子技术的高速发展,微电子器件价格的迅速下降,因此机电一体化产品价格低廉,而且维修性能得到改善,使用寿命得到延长。例如石英晶振电子表以其多功能、使用方便及价格优势,迅速占领了计时商品市场。

(10) 增强柔性

机电一体化系统可以根据使用要求的变化,对产品的功能和工作过程进行调整和修改,满足用户多样化的使用要求。例如,工业机器人具有较多的运动自由度,手爪部分可以换用不同工具,通过修改程序,改变运动轨迹和运动姿态可以适应不同的作业过程和工作内容;利用数控加工中心或柔性制造系统,可以通过调整系统运行的程序,适应不同零件的加工工艺。机械工业约有 75% 的产品采用自动化生产,这对机械工业的发展具有划时代的意义。

通过编制用户程序,实现工作方式的改变,可以适应各种用户对象及现场参数变化的需要,机电一体化的这种柔性应用功能,构成了机械控制“软件化”和“智能化”的特征。

四、机电一体化技术与其他技术的区别

机电一体化技术有着自身的显著特点和技术范畴,为了正确理解和恰当运用机电一体化技术,我们必须认识机电一体化技术和其他技术之间的区别。

1. 机电一体化技术与传统机电技术的区别

传统机电技术的操作控制主要通过具有电磁特性的各种电器来实现,如继电器、接触器等,在设计中不考虑或很少考虑彼此间的内在联系;机械本体和电气驱动界限分明,整个装置是刚性的,不涉及软件和计算机控制。机电一体化技术以计算机为控制中心,在设计过程中强调机械部件和电气部件间的相互作用和影响,整个装置在计算机控制下具有一定的智能性。

2. 机电一体化技术与并行工程的区别

机电一体化技术将机械技术、微电子技术、计算机技术、控制技术和检测技术在设计 and 制造阶段有机地结合在一起,十分注意机械和其他部件之间的相互作用。而并行工程将上述各种技术尽量在各自范围内齐头并进,只在不同技术内部进行设计制造,最后通过简单叠加完成整体装置。

3. 机电一体化技术与自动控制技术的区别

自动控制技术的侧重点是讨论控制原理、控制规律、分析方法和自动控制系统的构造等。机电一体化技术将自动控制原理及方法作为重要支撑技术,将自控部件作为重要控制部件应用自控原理和方法,对机电一体化装置进行系统分析和性能测算。

4. 机电一体化技术与计算机应用技术的区别

机电一体化技术只是将计算机为核心部件应用,目的是提高和改善系统性能。计算机在机电一体化系统中的应用仅仅是计算机应用技术中的一部分,它还可以在办公、管理及图像处理等方面得到广泛应用。机电一体化技术研究的是机电一体化系统,而不是计算机应用本身。



第二节 机电一体化的发展趋势

一、机电一体化技术现状

由于机电一体化技术的发展使得机电一体化产品应用范围越来越广,从人们日常生活用品到交通运输工具,从办公自动化到生产自动化设备的发展进步都可以看出机电一体化技术的发展和应用情况。其中最显著的就是在产业自动化方面的应用,从机床数控化和机器人产业的兴起,制造工业自动化就可以看出机电一体化的发展现状和机电一体化技术所起到的作用。

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,生产效率提高,辅助生产时间减少;减少人为误差,加工精度和稳定性显著提高,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,甚至由于高频响应的直线电机的研制成功实现了无传动件传动。因此,在国际竞争日益激烈和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。

世界机床生产与国际经济发展形势密切相关,互相促进。在 20 世纪 80 年代末,世界经济景气,市场需求旺盛,机床生产大发展,1985 年世界机床产值 215 亿美元,1990 年达空前高峰 453 亿美元。进入 90 年代后,由于政治、社会、经济各方面原因,世界经济发展放缓,呈正弦曲线波浪式发展。据世界银行统计,全世界 GDP 增长,2001 年约为 1.3%,是 1982 年以来最低水平。世界机床生产,1995 年为 367 亿美元,1998 年为 369 亿美元,2001 年为 357 亿美元,比 2000 年下降 3.2%。目前,世界经济和机床生产的形势处于低速成长阶段。

2005 年世界机床生产 357 亿美元,比上年 369 亿美元下降 3.2%。其中欧盟 (CECI-MO) 179.7 亿美元,比上年 173.4 亿美元增长 3.6%。它的产值占全世界 357 亿美元的 50.4%。欧洲机床生产实力最强。亚洲机床生产 135.7 亿美元,比上年 147.8 亿美元减少 8.9%,占世界的 38%,居世界第二。美洲机床产值 39.8 亿美元,比上年 46 亿美元减少 15.6%,居世界第三。2003 年世界前十位机床生产国家 (地区) 依次为:日、德、意、美、中、瑞士、台湾、韩、法、西班牙。德国、日本、美国是当今世界欧、亚、美三洲的机床生产主力,由于机床对发展国民经济和制造业具有战略性重要地位,互相间竞争异常激烈。2005 年世界前 5 名机床消费大国依次为:德 (55.8 亿美元)、美 (53.7 亿美元)、中 (47.4 亿美元)、意 (37.3 亿美元)、日 (30.4 亿美元)。2003 年世界前 5 名机床出口大国为日、德、意、瑞士、美,前 5 名机床进口大国为美、中、德、法、意。与此同时,中国的机床进口额已达到 24.06 亿美元。

目前世界机床生产强国 (地区) 所生产的机床,各有特色。例如:美国重点发展高精

尖机床技术，生产飞机、宇航、汽车工业所需高精、高效、高自动化、高性能机床，并针对一般机械工业、中小企业需求，开发廉价实用的 NC 车床，加工中心等；德国针对机器制造业提高品质、效率，突出发展高精、高效、高性能的机床，尤以重型机床、大型精密机床著称，对提高工艺水平、减少毛坯余量、发展磨削工艺、创新刀具和各种刃具磨床不遗余力；日本重点发展量大而广的中高档 NC 机床，特别是 NC 车床、加工中心、电加工机床，大量出口。瑞土地小人少，仅 720 万人口，发挥本国特长，将传统技艺与现代电子技术结合，突出发展中小型精密机床，占领世界市场。台湾重点发展一般机器制造业所需廉价实用、量大面广的低中档 NC 机床，占领广大市场，特色鲜明。

当今世界，美、德、日代表美、欧、亚三洲机床生产强国，竞争异常激烈。在人才、装备、管理上实力强大。研究分析其发展经验教训，美国机床生产重在高精尖，偏重于基础研究，近期有下降现象。日本机床生产，着重发展中高档 NC 机床，大量出口，偏重于应用技术科研，在世界经济景气时，外需旺盛，其机床工业十分兴旺发达，但内需较少，在世界经济低迷时，其机床生产出现艰困。而德国，一贯持久坚持政府重视机床工业发展，基础与应用技术科研并重，对国内外需求并重加强科研，不断创新，机床出口遍及世界各地，发展平稳，当今欧洲机床工业实力最强，德国起到了核心作用。

从数控机床的生产来看，德国政府一贯重视机床工业的重要战略地位，在多方面大力扶植。特别讲究“实际”与“实效”，坚持“以人为本”，师徒相传，不断提高人员素质。在发展大量大批生产自动化的基础上，于 1956 年研制出第一台数控机床后，一直坚持实事求是，讲求科学精神，不断稳步前进。德国特别注重科学试验，理论与实际相结合，基础科研与应用技术科研并重。企业与大学科研部门紧密合作，对用户产品、加工工艺、机床布局结构、数控机床的共性和特性问题进行深入的研究，在质量上精益求精。德国的数控机床质量及性能良好、先进实用、货真价实，出口遍及世界。尤其是大型、重型、精密数控机床。德国特别重视数控机床主机及配套件之先进实用，其机、电、液、气、光、刀具、测量、数控系统、各种功能部件，在质量、性能上居世界前列。如西门子公司之数控系统和 Heidenhain 公司之精密光栅，均为世界闻名，竞相采用。

日本政府对机床工业之发展异常重视，通过规划、法规（如“机振法”、“机电法”、“机信法”等）引导发展。在重视人才及机床元部件配套上学习德国，在质量管理及数控机床技术上学习美国，甚至青出于蓝而胜于蓝。日本也和美、德两国相似，充分发展大量大批生产自动化，继而全力发展中小批柔性生产自动化的数控机床。自 1958 年研制出第一台数控机床后，1978 年产量（7 342 台）超过美国（5 688 台），至今产量、出口量一直居世界首位（2001 年产量 46 604 台，出口 27 409 台，占 59%）。战略上先仿后创，先生产量大而广的中档数控机床，大量出口，占去世界广大市场。在上世纪 80 年代开始进一步加强科研，向高性能数控机床发展。在策略上，首先通过学习美国全面质量管理（TQC），变为职工自觉群体活动，保证产品质量。进而加速发展电子、计算机技术，进入世界前列，为发展机电一体化的数控机床开道。日本在发展数控机床的过程中，狠抓关键，突出发展数控系统。日本 FANUC 公司战略正确，仿创结合，针对性地发展市场所需各种低中高档数控系统，在技术上领先，在产量上居世界第一。该公司现有职工 3 674 人，科研人员超过 600 人，月产能力 7 000 套，销售额在世界市场上占 50%，在国内约占 70%，对加速日本和世界数控机床的发展起了重大促进作用。



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, 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 位微机核心的统已于 1986 年问世, 时空机床发展到了一个崭新的阶段。32 位高档数控系统既能高效地完成单机控制任务, 又能根据需要很容易地联入 FMS, 是构成柔性自动化统 FA 的基础。

着计算机技术、网络技术日益普遍运用, 数控机床走向网络化、集成化已成为必然和方向, 互联网进入制造工厂的车间只是时间的问题。从另一角度来看, 目前流行'即工厂信息化对于制造业来说, 仅仅局限于通常的管理部门(人、财、物、产、), 但是设计、开发等上层部分的信息化是远远不够的, 工厂、车间的最底层加工—数控机床不能够连成网络或信息化就必然成为制造业工厂信息化的制约瓶颈, 所 RP 就比较“虚”, 没有能够真正地解决制造工厂的最关键的问题。所以, 对于面临全球化竞争的现代制造工厂来说, 第一是要大大提高机床的数控化率, 即数控机床必起码的数量或比例; 第二就是所拥有的数控机床必须具有双向、高速的联网通讯功保证信息流在工厂、车间的底层之间及底层与上层之间通讯的畅通无阻。

FANUC 和西门子为代表的数控系统生产厂商已在几年前推出了具有网络功能的数。在这些系统中, 除了传统的 RS232 接口外, 还备有以太网接口, 为数控机床联网基本条件。由于国外企业的发展水平, 数控机床的网络接口功能被定义为用于远程远程诊断。

制造系统自动化

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所以许多国家开发 FMS 解决这方面问题。

4S 由计算机系统控制, 协调多台数控机床以及辅助和物料储运装置, 因此比 FMC 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, 它与单机流水线相出效益: 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 1.6%, 提高机床利用率 1.3~3.5 倍, 提高生产率 50%~55%, 缩短生产周期 90%, 降低成本 50%。这些显著效益促进了 FMS 的生产和应用。

世纪 90 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行集成, 把管理信息和制造活动, 借助计算机技术和网络技术有机结合起来, 向计成制造系统 CIMD 发展, 以谋求实现整个企业生产管理的现代化。1995 年日本建无人化实验工厂就是一例。又如山崎株式会社在美浓加茂工厂建立 CIM-FMS-21 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 20 个零件。机电一体化的制造系统已经在现代制造业中占据极为重要的地位。

机器人产业

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, 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。

20 世纪 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 90 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 UNECE/IFR 报告,至 2007 年,全球新安装机器人的数量已从 2003 年的 81 800 套增至 2007 年的 106 000 套,年平均增长 7%。其中,日本 2003~2007 年工业机器人的销售已从 2003 年的 31 600 增长至 2007 年的 41 000 套;欧洲 2003~2007 年工业机器人已从 2003 年的 27 100 套增长至 2007 年的 34 000 套;北美 2003~2007 年工业机器人市场每年平均增长 5.8%,至 2007 年已增长到 16 000 套。

纵观世界各国发展工业机器人的产业过程,可归纳为三种不同的发展模式,即日本模式、欧洲模式和美国模式。日本模式的特点是:各司其职,分层面完成交钥匙工程。即机器人制造厂商以开发新型机器人和批量生产优质产品为主要目标,并由其子公司或社会上的工程公司来设计制造各行业所需要的机器人成套系统,并完成交钥匙工程。欧洲模式的特点是:一揽子交钥匙工程。即机器人的生产和用户所需要的系统设计制造,全部由机器人制造厂商自己完成。美国模式的特点是:采购与成套设计相结合。美国国内基本上不生产普通的工业机器人,企业需要时机器人通常由工程公司进口,再自行设计、制造配套的外围设备,完成交钥匙工程。

我国从上世纪 80 年代开始在高校和科研单位全面开展工业机器人的研究,近 20 年来取得不少的科研成果。但是由于没有和企业有机地进行联合,至今仍未形成具有影响力的产品和有规模的产业。目前国内除了一家以组装为主的中日合资的机器人公司外,具有自主知识产权的工业机器人尚停留在高校或科研单位组织的零星生产,未能形成气候。近 10 年来,进口机器人的价格大幅度降低,对我国工业机器人的发展造成了一定的影响,特别是我国自行制造的普通工业机器人在价格上根本无法与之竞争。特别是我国在研制机器人的初期,没有同步发展相应的零部件产业,使得国内企业在生产的机器人过程中,只能依赖配套进口的零部件,更削弱了我国企业的价格竞争力。中国的机器人产业应走什么道路,如何建立自己的发展模式,确实值得探讨。中国工程院在 2003 年 12 月完成并公开的《我国制造业焊接生产现状与发展战略研究总结报告》中认为,我国应从“美国模式”着手,在条件成熟后逐步向“日本模式”靠近。

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浇铸与铸造。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 1995 年 9 月美、法两国海洋科学家经过多年努力,使用了可潜入深度为两万英尺的高级水下机器人 Argonaut;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,20 世纪 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。2000 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