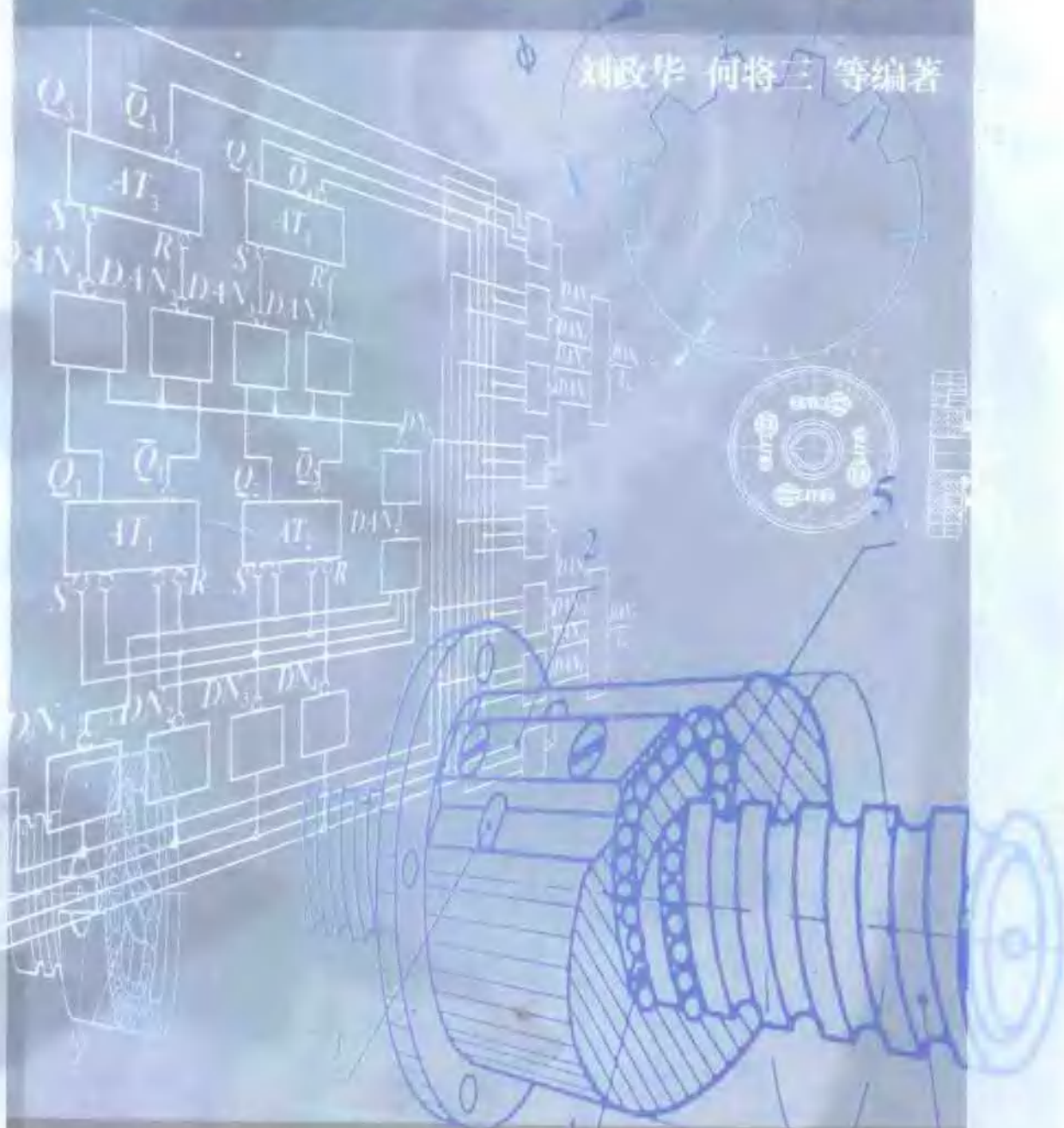


机械电子学

刘政华 何将三 等编著



国防科技大学出版社

机械电子学

刘政华 何将三 龙佑喜 张耀辉 廖平 编著



国防科技大学出版社
• 长沙 •

图书在版编目(CIP)数据

机械电子学/刘政华等编著. — 长沙: 国防科技大学出版社, 1999. 10
ISBN 7-81024-595-3

I. 机… II. 刘… III. 机电一体化… IV. TH39

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第44707号

内 容 简 介

本教材是在总结作者多年教学经验的基础上, 遵循教学的一般规律, 强调知识结构系统性和教学体系完整性相统一的前提下编写而成的。该书以机电结合为方向, 围绕机电一体化相关技术, 从系统的角度出发, 较为全面地阐述了机电一体化系统的机械部件、检测部件、伺服系统、控制系统等元部件的选择、设计方法, 讨论了机电一体化系统的接口设计、精度设计和可靠性设计等系统总体技术, 最后介绍了几个典型的机电一体化系统, 全书共分八章。

本书深入浅出, 内容丰富, 适合用作高等工科院校机械电子工程专业及相关专业本科生教材, 也可供夜大、函大、职大、大专的相关专业选用, 还可供从事机电一体化系统设计、制造、研究的工程技术人员参考。

2428/31
01

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4555681 邮政编码: 410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑: 张 静 责任校对: 石少平

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张: 16.25 字数: 375 千

1999年10月第1版第1次印刷 印数: 1—5000册

*

定价: 20.00 元

前 言

20 世纪 60 年代以来,一大批逐步形成的高新技术群体以空前的规模向军事、经济和社会生活的各个领域渗透,引发了第四次技术革命。其中,微电子技术是这次技术革命的主导。作为传统产业之一的机械工业,在这场新技术革命的冲击下,产品结构和生产体系结构发生了质的变化,并确定了机电一体化的发展方向。

本教材是我们在总结国防科技大学和中南工业大学两所院校近几年授课讲义和教学经验的基础上编写而成的。全书以机电结合为方向,围绕机电一体化技术的六大相关技术,从系统的角度出发,分析了机电一体化系统的机械部件、检测部件、伺服系统、控制系统等元部件的设计、选择方法,讨论了机电一体化系统的接口、精度设计和可靠性设计等系统总体技术,最后介绍了几个典型的机电一体化系统。本书遵循教学的一般规律,强调知识结构系统性和教学体系完整性的统一,注重理论联系实际,使读者能对机电一体化技术有较全面的认识,比较系统地掌握机电一体化系统各元部件的选择计算和总体设计的基本理论和方法,初步具备机电一体化系统的开发能力。

本书由刘政华、何将三主编,李圣怡教授主审。第一、三章由何将三编写,第四、五章由刘政华编写,第六章由张耀辉编写,第二、七章由廖平编写,第八章由龙佑喜编写。全书由刘政华、何将三统稿。

本书的编写出版得到了国防科技大学机械电子工程学院和国防科技大学出版社的大力支持,在此谨向他们表示衷心的感谢,并向本书所参考和引用的有关资料的作者表示衷心的感谢。

限于编者的术平和经验,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
1999 年 6 月

目 录

第一章 绪论

第一节 机械电子学的概念	1
一、机械电子学的定义	1
二、机械电子学的研究内容	2
三、机械电子学的特点和范畴	3
第二节 机电一体化系统的功能构成和组成要素	4
一、机电一体化系统的功能构成	4
二、机电一体化系统的组成要素	5
第三节 机械电子学的共性关键技术	6
一、机械技术	6
二、计算机与信息处理技术	6
三、检测与传感技术	7
四、自动控制技术	7
五、伺服驱动技术	7
六、系统总体技术	7
第四节 机械电子学的应用与发展前景	7
一、机电一体化的效益与应用	7
二、机械电子学的发展前景	9
习题与思考题	11

第二章 机电一体化系统中的计算机

第一节 概述	12
第二节 单片机	12
一、单片机的结构特点	13
二、常用单片机及其性能	14
三、单片机的系统扩展	14
四、单片机的应用	15
第三节 工业控制计算机	16
一、总线式工控机的结构和特点	16
二、STD 总线概述	17
三、STD 总线工业控制计算机	19
四、STD 总线工控机的功能模块	19
第四节 可编程控制器(PLC)	20
一、可编程控制器的定义和特点	20
二、PLC 的基本结构和工作原理	21
三、PLC 的编程语言	23
四、PLC 控制系统的设计步骤	25

习题与思考题	26
第三章 传感器与检测系统	
第一节 概述	27
一、检测系统的功用、组成及基本要求	27
二、传感器的分类与选用	28
三、检测系统设计的任务、方法和步骤	29
第二节 常用的传感器及其检测系统	30
一、旋转变压器检测系统	30
二、感应同步器检测系统	32
三、测速发电机检测系统	35
四、光栅检测系统	37
五、磁栅检测系统	40
六、编码器检测系统	42
第三节 检测信号的采集与处理	45
一、检测系统的典型组成	45
二、模拟量的转换输入	49
三、数字信号的预处理	52
习题与思考题	55
第四章 伺服驱动及其控制	
第一节 概述	56
一、伺服驱动系统的一般组成	56
二、伺服驱动系统的分类	56
三、机电系统对伺服系统的要求	58
四、伺服系统的三种基本组成形式	58
第二节 步进式伺服驱动系统	58
一、步进电机	58
二、步进电机的开环控制	64
三、步进电机的闭环控制	69
第三节 直流伺服驱动系统	70
一、直流伺服电机特性和调速原理	70
二、直流电机的驱动调速方法	71
三、直流伺服系统的组成	76
第四节 交流伺服驱动系统	80
一、交流伺服电机特点及其调速方法	80
二、变频器调速装置(VFD)	81
三、交流伺服系统组成	85
四、交流伺服电机的矢量控制及应用实例	87
第五节 其它伺服驱动系统	89
一、直接驱动(DD)伺服系统	89
二、微进给装置	95
第六节 伺服系统的动力方法设计	100
一、惯量匹配	100

二、容量匹配	103
三、速度匹配	105
四、伺服电机的选择实例	106
习题与思考题	109
第五章 运动控制	
第一节 概述	111
一、控制系统在机电一体化系统中的地位	111
二、自动控制技术概述	111
三、机电一体化系统中的基本控制类型	113
第二节 轨迹控制	114
一、轨迹控制的原理	114
二、插补的原理、分类和基本要求	114
三、脉冲增量插补	115
四、数字增量插补	128
第三节 动作控制	135
一、动态性能指标	136
二、系统动态设计的工程设计方法	138
第四节 计算机控制系统	146
一、计算机控制技术的基本概念	146
二、模拟装置的数字化方法	148
三、计算机控制系统中的数字控制器	150
四、计算机控制系统的设计方法	154
第五节 顺序控制	156
一、开关表法	156
二、状态图法	158
习题与思考题	159
第六章 机械结构	
第一节 概述	161
第二节 机械结构因素对伺服系统性能的影响	161
一、摩擦的影响	161
二、传动间隙的影响	164
三、结构弹性变形的影响	166
四、质量与转动惯量的影响	167
第三节 机电一体化系统常用机械零部件	168
一、机械传动部件	168
二、导轨	179
三、支承件	182
习题与思考题	186
第七章 系统总体技术	
第一节 机电一体化系统的接口	187
一、接口的定义和分类	187

二、电气接口	188
第二节 机电一体化系统的精度设计	194
一、精度设计中的基本概念	194
二、机电一体化系统的精度分配	195
三、误差的综合	197
四、实例：数控机床的精度分析	200
第三节 机电一体化系统的可靠性设计	201
一、机电一体化系统的可靠性描述	201
二、机电一体化系统常见的故障类型	204
三、机电一体化系统的干扰抑制与防护	207
四、机电一体化系统的故障诊断与容错技术	210
习题与思考题	213
第八章 机电一体化系统设计方法和实例	
第一节 机电一体化系统设计方法	214
一、系统设计的评价与分析方法	214
二、机电有机结合的方法	215
三、机电一体化产品设计的工程路线	215
第二节 CNC 机床	219
一、CNC 机床的组成与分类	220
二、CNC 系统的软件结构	222
三、有关数控机床的规定	223
四、YH-T1 教学型数控车床介绍及精程举例	226
第三节 BDP-1 型机器人	232
一、主要技术参数	232
二、机器人本体结构	233
三、检测、控制及驱动系统	233
四、控制算法简介	235
第四节 LQ-1600K 汉字打印机	237
一、系统构成和功能	237
二、系统工作原理	237
三、控制软件	241
第五节 活塞外轮廓测量仪	243
一、概述	243
二、系统原理与构成	243
三、系统硬件介绍	244
四、软件介绍	246
第六节 防空导弹发射装置的数字伺服系统	248
一、防空导弹发射装置伺服系统的功能	248
二、发射装置伺服系统的组成	248
三、数字伺服系统的工作原理	250
习题与思考题	251
参考文献	252

第一章 绪 论

第一节 机械电子学的概念

一、机械电子学的定义

机械电子学 (Mechatronics), 亦称机电一体化, 是随着生产和技术的发展, 在以机械技术、电子技术、计算机技术为主的多门学科相互渗透、互相结合的过程中逐渐形成和发展起来的一门新兴边缘技术学科。机械电子学的英文名称 Mechatronics 是日本人通过截取 Mechanics (机械学) 的词首 Mecha, 配合 Electronics (电子学) 的词尾 tronics 组成的新词, 目前已在世界范围内得到普遍承认和接受。

机械电子学产生与迅速发展的根本原因在于社会的发展和科学技术的进步。第三次技术革命开创的核能技术、空间技术和电子计算机技术, 使整个社会的生产和生活观念发生了根本的变化。进入 20 世纪 60 年代以来, 一大批逐步形成的高新技术群体, 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力迅速转化, 引发了第四次技术革命。微电子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迅速发展。微电子技术和微型计算机技术又带动了整个高技术群体飞速发展。高新技术向传统产业渗透, 引起了传统产业的深刻变革。作为传统产业之一的机械工业, 在这场新技术革命的冲击下, 产品结构和生产体系结构发生了质的跃变。微电子技术、微型计算机技术使信息和智能与机械装置和动力设备有机结合, 一方面极大地提高了机电产品性能和产品竞争性, 另一方面又极大地提高了生产系统的生产效率和企业的经济竞争能力, 促使机械工业开始了一场大规模的机电一体化技术革命。

机械电子学的定义目前尚未统一。日本机械振兴协会经济研究所于 1981 年提出的定义是: 机械电子学是指在机械的主功能、动力功能、信息与控制功能上引进了电子技术, 并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成系统的总称。美国机械工程师协会 (ASME) 的一个专家组于 1984 年在给美国国家科学基金会的报告中则提出: 机电一体化系统是由计算机信息网络协调与控制的, 用于完成机械力、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。欧洲经济共同体 (EEC) 对机械电子学的定义则是: 机械电子学是指在设计机械产品和生产过程的初始阶段就考虑将精密机械技术和电子控制系统有机地相结合。

上述定义不尽相同, 但其实质是一致的。机械技术与微电子技术、计算机技术等高新技术的有机结合是机械电子学的灵魂。这种结合, 不是简单的组合、拼凑, 而是相互融合。在技术上体现为机械技术与微电子技术、计算机技术等高新技术的横向交叉、渗透和综合集成, 从而产生了一种新的学术思想和技术手段, 达到各自单独所不能达到的境界。在产

品结构上体现为机械装置与电子设备、计算机硬件与软件合理配置，形成一个互相联系的有机整体，协调一致地实现其目的功能。这种结合的目的在于设计和开发性能优良、功能完善、效率高、柔性自动化的工程系统，为人类的生产和生活领域的自动化服务。

机械电子学这一新兴学科有其技术基础、设计理论和研究方法，只有对其有了充分理解，才能正确地进行机电一体化工作。

二、机械电子学的研究内容

机械电子学是一个综合的概念，包含了技术和产品两方面的内容，首先是机电一体化技术，其次是机电一体化产品。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的，使机电一体化产品得以实现、使用和发展技术。机电一体化产品是指采用机电一体化技术在基本产品基础上创造出来的新一代产品。

关于机电一体化的技术体系，日本三菱综合研究所牧野升副所长认为，机电一体化的基本支撑技术是：① 微型计算机（包括大规模集成电路 LSI），通过计算与控制实现智能功能，相当于人的头脑；② 传感器，通过信息流通实现感知功能，相当于人的感觉器官；③ 软件，实现信息功能，相当于人的神经系统。我国学者根据机电一体化的定义，就机电一体化基本体系提出了图 1-1 所示的框图。由图可以看出，机电一体化技术是以系统论、控制论和信息论为理论基础和方法论，在机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术等现代高新技术群体基础上发展起来的一种高新技术。概括起来，机电一体化共性关键技术主要有六项：机械技术、计算机与信息处理技术、检测与传感技术、自动控制技术、伺服驱动技术、系统总体技术。

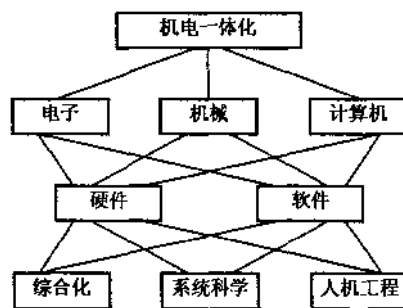


图 1-1 机电一体化的基本系统

机电一体化产品是富含高新技术的技术密集型产品。机电一体化为机械产品注入了过去所没有的新技术，把计算机和电子器件的传感检测、信息处理、自动控制等功能融合到机械装置中去，从而获得了过去单靠一种技术而无法实现的功能和效果，在功能、性能、质量和效率等方面都有高水平的发展。机电一体化技术应用系统工程的观点和方法来分析、研究机电一体化产品或系统，综合应用各种现代高新技术进行产品设计和开发，通过各种技术的有机结合，实现产品内部各组成部分的合理配置和外部的整体性能最佳。因此，机电一体化产品表现出整体结构最佳化、系统控制智能化、操作性能柔性化。例如，电子式照相机采用微型电动机驱动快门、变焦及卷片倒片机构，内部装有测光测距传感器，用微处理机进行信息处理及控制，从测光、测距、调光、调焦、曝光、卷片倒片、闪光及其他附件的控制都实现了自动化。其他机电一体化产品如数控机床、工业机器人、电子化汽车等也是如此。

机电一体化设计是按照机电一体化思想、原理和方法，综合应用各项共性关键技术进行的机电一体化产品设计。它突出体现在两个方面：一方面，当产品的某一功能单靠某一技术无法实现时，必须进行机械与电子及其它多种技术有机结合的一体化设计；另一方

面,当产品某一功能的实现有多种可行的技术方案时,也必须应用机电一体化技术对各种技术方案进行分析和评价,在充分考虑同其它功能单元的联接和匹配的条件下,选择最优的技术方案。

机电一体化设计跟传统的机械设计相比较,有如下特点:①机电一体化设计是一项复杂的系统工程,它特别注重系统优化,必须充分考虑各种技术方案的等效性、互补性及可比性。②机电一体化设计一般以计算机为工具,充分利用计算机辅助设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真分析、动态分析设计、可靠性设计等现代设计方法,以提高产品设计的效率和质量。③硬件设计和软件设计并重。

机电一体化的原理、技术、设计理论和方法,构成了机械电子学的研究内容。

三、机械电子学的特点和范畴

从机械电子学的定义和技术体系可以看出,机械电子学具有下列特点:

1. 机械电子学的技术是机械技术和电子技术有机结合而成的一种高级技术。它包含机械技术的内容,又包含电子技术的内容,但不是简单地用电子设备代替部分机械结构,也不是孤立地发挥两种技术的长处,而是利用两种技术的有机结合而产生的新的思想方法和技术手段。例如机器中的精密定位,在传统机械技术中一般是通过提高齿轮和丝杆螺母等传动机构的加工和安装精度来实现,定位精度受到机械传动精度的限制。采用机电一体化技术就可以用传感器实时地对定位误差进行检测,把误差信号反馈给具有信号处理能力的控制器,利用控制手段对定位误差进行修正和补偿,从而达到提高定位精度的目的。

2. 计算机硬件和软件共同组成的信息处理技术,是机电一体化技术不可缺少的组成部分。机电一体化系统中的计算机既是控制机又是信息处理机。只有使用了计算机的机电系统才算得上是典型的机电一体化系统。例如,计算机控制的数控机床(CNC 机床)是典型的机电一体化产品,它的 CNC 数控系统不仅能实现闭环控制和软件插补,而且具有很强的自诊断功能。系统设置有标准数据传送通道和接口,可与上位计算机联机,进行程序传送和管理,控制信息通信,便于直接纳入计算机集成制造系统网络。

3. 系统工程的观点和方法是机械电子学的基本方法。机电一体化系统是一种含有高新技术的比较复杂的工程系统。系统具有集合性(整体性)、关联性、目的性和相对性等四个基本属性,缺一不可不可能构成一个有目的的系统。因此,设计和开发机电一体化系统(或产品),需要从一开始就运用系统工程的观点和方法来进行分析,将各种技术有机结合,实现系统内部的合理配置和外部的整体性能最佳。

在工程技术学科系谱中,机械电子学仍属于机械工程范畴,是机械工程中新兴的一个学科。由于它是多种学科相互交叉、渗透的产物,因而涵盖的面相当宽。按照机械电子学的观点,凡是由各种现代高新技术与机械和电子技术相结合而形成的各种技术、产品(或系统)都应属于机电一体化的范畴。我国学者把柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)及自动化生产工程也包括在机电一体化之内。

机械电子学是一种崭新的学术思想,它除了强调机械与电子的有机结合,还具有更深刻更广泛的涵义,并且将随着科学技术的发展而不断被赋予新的内容,因而其范畴还将继续延伸。

第二节 机电一体化系统的功能构成和组成要素

一、机电一体化系统的功能构成

从控制论的观点来看,世界是由物质、能量和信息三大要素组成的。工程系统是人们为了改造自然、进行物质生产而创造出来的一种人工系统,其目的是对输入的物质、能量和信息(单独的或组合的)进行预定的变换(加工、处理)、传递(移动、输送)和保存(保持、存储、记录)。因此,工程系统(机电一体化系统也不例外)的目的功能均可用这三种主功能及其复合来表示,如图 1-2 所示。

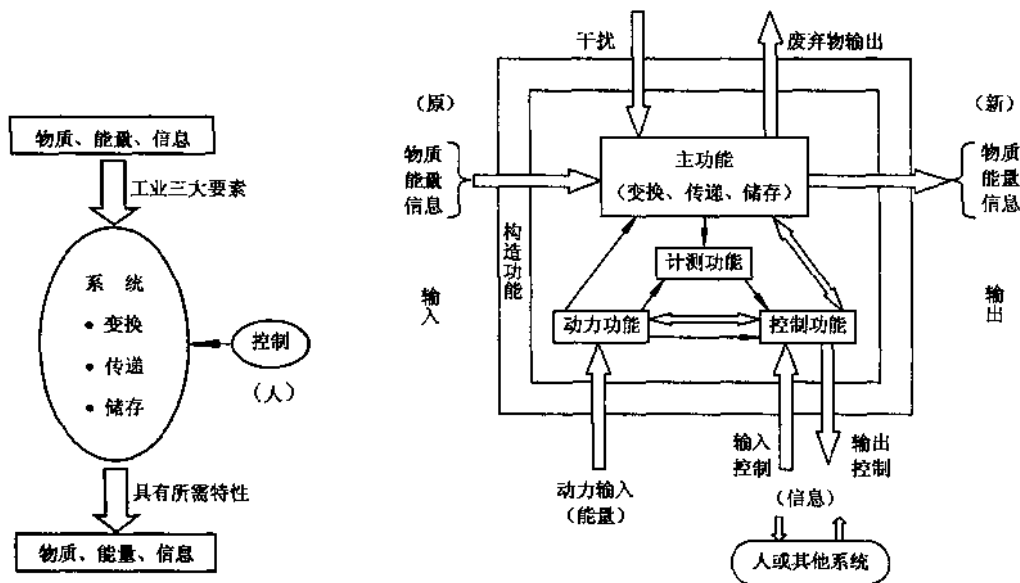


图 1-2 系统的目的功能图

图 1-3 机电一体化系统的功能构成

产品的目的功能是通过其内部功能来实现的。如图 1-3 所示,机电一体化系统要实现其目的功能,一般需要具备五种内部功能,即主功能、动力功能、计测功能、控制功能和结构功能。其中,主功能是实现系统目的功能直接必需的功能,它表明了系统的主要特征;动力功能是向系统提供动力、让系统得以运转的功能;计测功能和控制功能的作用是根据系统内部信息和外部信息对整个系统进行控制,使系统正常运转;结构功能则将系统各要素组合起来,进行空间配置,形成一个统一的整体。

图 1-4 表示了 CNC 机床的内部功能构成。切削加工是 CNC 机床的主功能,是实现其目的功能所必需的,具体体现为:“利用电源输入的电能(能量),在控制装置及控制程序(信息)的作用下,通过刀架和主轴将输入的毛坯(物质)加工成所要求的工件(具有所需特性的物质)”。电源通过电机驱动机床,向机床提供动力,实现动力功能。位置检测装置和 CNC 装置分别实现计测功能和控制功能,其作用是实时检测机床内部和外部信息,据此对机床实施相应的控制。机械结构所实现的是结构功能,使机床各功能部件保持规定

的相互位置关系，构成一台完整的 CNC 机床。

从系统的输入/输出来看，除有主功能的输入和输出之外，还需要有动力输入和控制信息的输入、输出。此外，还有因外部环境引起的干扰输入和非目的性的输出（废弃输出）。废弃输出有时对环境的影响很大，例如汽车的废气和噪音，这在系统设计中需要特别注意。

传统的机械产品一般不完全具备上述五种内部功能。与传统机械产品相比较，机电一体化产品的功能齐全，而且实现各功能的形式更灵活，技术更先进，效果更好。

二、机电一体化系统的组成要素

传统机器由动力、传动机、工作机三部分组成。机电一体化系统与其五种内部功能相对应，则由动力源、机械本体、执行机构、传感器、计算机五部分组成，各部分之间通过接口相联系。这五部分之间的联系关系以及与人要素的比较如图 1-5 所示。

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、机械连接等，它实现系统的构造功能。在机电一体化系统中，机械本体往往占有较大的体积和重量，因而要求尽量采用新结构、新材料和新工艺，以适应机电一体化产品高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等方面的要求。

2. 动力源 向系统提供能量，并将输入的能量转换成需要的形式，实现动力功能。机电一体化产品以电能利用为主，其目的功能则多数通过机械动作来实现，因而动力源应包括电源、电动机等驱动装置。效率高、响应快、可靠性好是对动力源的主要要求。

3. 执行机构 包括机械传动与操作机构，在控制信息作用下完成要求的动作，实现产品的主功能。执行机构因作业对象不同而形式各异。由于它是实现产品目的功能的直接参与者，其性能好坏决定着整个产品的性能，因而是机电一体化产品中最重要的组成要素之一。

4. 检测与传感装置 包括各种传感器及其信号检测电路，用于对产品运行时的内部状态和外部环境进行检测，提供进行控制所需的各种信息，实现计测功能。机电一体化产品对检测与传感装置的主要要求是体积小、便于安装和连接、检测精度高、抗干扰能力强等。

5. 控制与信息处理装置 根据产品的功能和性能要求以及传感器的反馈信息，进行处理、运行和决策，对产品运行施以相应的控制，实现控制功能。机电一体化产品中，这一组成要素主要是指由计算机及其相应硬、软件所构成的控制系统，目前正向着高可靠性、柔性和智能化方向发展。

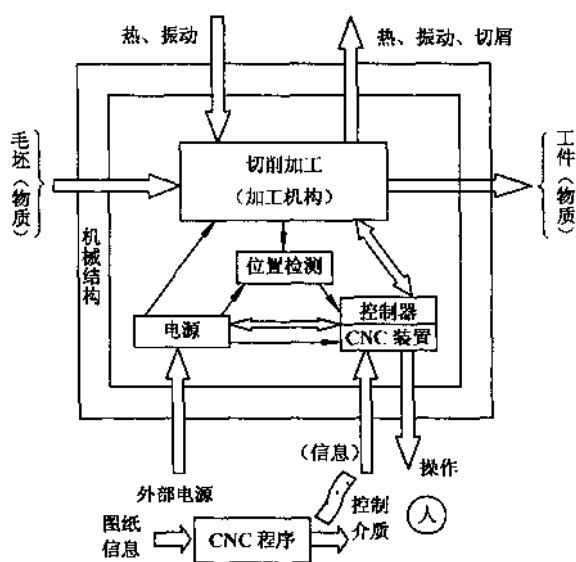


图 1-4 CNC 机床的内部功能构成

机电一体化系统与人体功能结构要素相比较，机械本体相当于人的骨骼，动力源相当于人的内脏，计算机相当于人的大脑，传感器相当于人的感官，执行机构相当于人的手足。人体从感觉器官得到各种信息，通过神经传递给神经中枢，经过思维处理，再经过大脑指挥各部分动作。机电一体化系统的运作也与此相似。在自然环境中经历了长期进化所形成的人体功能结构及其五大要素的匹配和协调，是一种尽善尽美的体现。因而人体是机电一体化产品发展的最好蓝本。

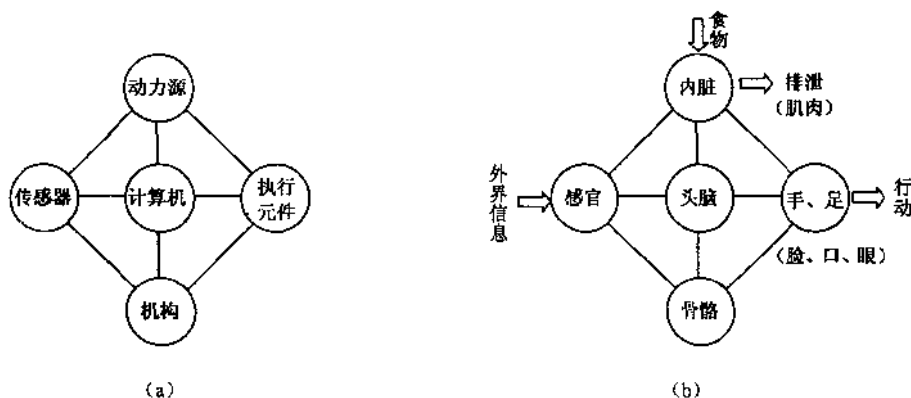


图 1-5 机电一体化产品五大要素 (a) 及与人体要素 (b) 的比较

第三节 机械电子学的共性关键技术

机电一体化是多种学科相互交叉、渗透而形成的一门综合性边缘技术学科，所涉及的技术领域非常广泛。概括起来，机电一体化共性关键技术主要有下述六项。

一、机械技术

机械技术是机电一体化技术的基础。机电一体化产品的主功能和结构功能，往往是以机械技术为主实现的。在机械与电子相互结合的实践中，不断对机械技术提出更高的要求，使现代机械技术相对于传统机械技术发生了很大变化。新材料、新工艺、新原理、新机构等不断出现，现代设计方法不断发展和完善，以满足机电一体化产品对减轻重量、缩小体积、提高精度和刚度、改善性能等多方面的要求。

二、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、判断和决策等，实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化产品中，计算机与信息处理装置指挥整个产品的运行。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，计算机应用和信息处理技术已成为促进机电一体化技术和产品发展的最活跃的因素。人工智能、专家系统、神经网络技术等都属于计算机与信息处理技术。

三、检测与传感技术

检测与传感技术的研究对象是传感器及其信号检测装置。机电一体化产品中,传感器作为感受器官,将各种内、外部信息通过相应的信号检测装置反馈给控制与信息处理装置,因此,传感与检测是实现自动控制的关键环节。机电一体化要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷环境的考验,但是,由于目前检测与传感技术还不能与机电一体化发展相适应,使得不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计,因此,大力开展检测与传感技术的研究对发展机电一体化具有十分重要的意义。

四、自动控制技术

自动控制技术的范围很广,包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的过程。由于被控对象种类繁多,所以控制技术的内容十分丰富,包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术。由于微型机的广泛应用,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。

五、伺服驱动技术

伺服驱动技术的主要研究对象是伺服驱动单元及其驱动装置。伺服驱动单元有电动、气动、液压等多种类型,机电一体化产品中多数采用步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机、电液马达等,其驱动装置即驱动电源电路,目前多数采用电力电子器件及集成化功能电路。伺服驱动单元一方面通过电气接口向上与计算机相联,以接受计算机的控制指令,另一方面又通过机械接口向下与机械传动和执行机构相联,以实现规定的动作。因此,伺服驱动技术是直接执行操作的技术,对机电一体化产品的动态性能、稳态精度、控制质量等具有决定性的影响。实际上,机电一体化系统与非机电一体化机械系统的区别,核心是其是否具有计算机控制的伺服驱动系统。

六、系统总体技术

系统总体技术是按照系统的观点和方法,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,将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方案,然后再把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选。系统总体技术包含的内容很多,接口技术是其重要内容之一,机电一体化产品的各功能单元通过接口联接成一个有机的整体。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术,其原理和方法还在不断发展和完善。

第四节 机械电子学的应用与发展前景

一、机电一体化的效益和应用

机电一体化技术是综合利用各相关技术的优势,取长补短,互相结合,取得系统优化效果,有显著的社会效益和技术经济效益。具体表现为:

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和控制, 能够补偿、校正各种干扰因素造成的动态误差, 从而达到单纯机械装备所不能实现的工作精度。如采用微型计算机误差分离技术的电子化圆度仪, 其测量精度可由原来的 $0.025\mu\text{m}$ 提高到 $0.01\mu\text{m}$ 。

2. 增强功能和可用性。现代高新技术的引入极大地改变了机械工业产品面貌, 具备多种复合功能成为机电一体化产品的一个显著特征。例如, 加工中心机床可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成, 能够自动更换刀具, 并且还有自动检测工件和刀具, 自动显示刀具动态轨迹图形, 自动保护和自动故障诊断等极强的应用功能。

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和辅助时间, 缩短新产品开发周期, 提高产品合格率, 减少操作人员, 提高生产率, 降低生产成本。例如数控机床生产效率比普通机床高 5~6 倍; 柔性制造系统可使生产周期缩短 40%, 生产成本降低 50%。

4. 提高安全性和可靠性。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措施和及时修正运行参数, 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系统、汽轮机的电液调节系统、自停启系统、安全保护系统等, 提高了机组运行的灵活性和可靠性, 使火力发电设备逐步走向全自动控制。

5. 减轻劳动强度, 改善劳动条件。机电一体化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, 另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操作以及在危险或有害环境下的工作, 因而大大减轻人的脑力和体力劳动, 改善人的工作环境条件。例如 CAD 和 CAPP 极大地减轻了设计人员的劳动复杂性, 提高了设计效率; 特种机器人则成为人类谋求解决危险环境中的劳动问题的唯一途径。

6. 简化结构, 减轻重量。由于机电一体化系统采用新型电子器件和传动技术代替笨重而复杂的机械变速传动, 由微处理机控制的机电系统可方便地完成过去靠机械传动链和机构来实现的关联运动, 从而使机电一体化产品体积减小, 结构简化, 重量减轻。例如, 数控精密插齿机可节省齿轮等传动零件 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零件。采用机电一体化技术能简化结构、减轻重量, 它对于航空航天技术而言更具有特殊的意义。

7. 增加系统柔性和智能化。机电一体化系统可以根据使用要求的变化, 对产品应用功能和工作过程进行调整修改, 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的工具, 而通过修改程序可以改变运动轨迹和运动姿态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程序适应不同零件的加工工艺。机械工业约有 75% 的产品属于中小批量, 利用柔性生产系统 (例如 FMS, CIMS 等), 能够经济迅速地解决这种中小批量多品种的自动化生产, 对机械工业发展具有划时代的意义。

目前, 机电一体化技术已渗透到国民经济和日常工作、生活的各个领域, 获得了广泛的应用。表 1-1 分类列举了机电一体化技术在产品中的应用, 表 1-2 列举了机电一体化

表 1-1 机电一体化在产品中的应用

分 类	具 体 对 象 举 例
生 产 机 械	CNC 机床, 工业机器人, 自动导引小车, FMS, CIMS 等
运输、包装及工程机械	微机控制汽车、机车等交通运输机具, 数控包装机, 数控运输机, 数控挖掘机等
储存、销售设备	自动化立体仓库, 自动空调与制冷系统, 自动秤量、分选、销售及现金处理系统等
社会服务设备	自动化办公设备, 动力、医疗、环保及公共服务自动化设施, 文教、体育、娱乐设施等
家 电 产 品	微机或数控型耐用消费品, 炊事自动化设备, 家用信息、服务设备等
科研及过程控制设备	微机控制实验台, 自动化测试仪器及设备, 自动化控制仪表, 微机信息处理系统等
航空、航天设备及国防用武器装备	飞机、卫星、航天飞机等航空、航天设备, 雷达、卫星地面接收站, 自瞄火炮、导弹、激光武器等
其它	自动化粮食加工、木材加工设备, 自动化畜、禽饲养设施, 微机控制耕耘、收割机械等

表 1-2 机械制造生产过程中的机电一体化技术或产品

生产环节	机电一体化技术或产品
产 品 设 计	CAD 及其专家系统
工 艺 设 计	成组技术、工艺数据库、CAPP
工 艺 装 备	NC、CNC、DNC、工业机器人、FMS、CIMS
工 艺 实 施	CAM 及其专家系统
产 品 检 验	CAT、CMM 及智能化仪表、量仪
市场与生产管理	数据库、MRP

在机械制造生产过程中的应用。

目前, 机电一体化的应用主要有三种形式:

1. 功能附加 在原有机械产品基础上, 采用微电子技术, 使产品功能增加和增强, 性能得到适当的提高。例如经济型数控机床、电子秤、数显量具、全自动洗衣机等。

2. 功能替代 采用微电子技术及装置取代原产品中的机械控制功能、信息处理功能或主功能, 使产品结构简化, 性能提高, 柔性增加。例如自动照相机、电子缝纫机、电子石英钟、线切割机床、激光手术器等。

3. 机电融合 在更深层次上实现机与电的有机结合。根据产品的功能和性能要求及技术规范, 采用专门设计的或具有特定用途的集成电路来实现产品中的控制和信息处理等功能, 因而使产品结构更加紧凑、设计更加灵活、成本进一步降低。例如传真机、复印机、摄像机、磁盘驱动器、CNC 数控机床等产品就是如此。

二、机械电子学的发展前景

与其他科学技术一样, 机械电子学也经历了较长时期的自然产生和发展过程。早在机械电子学概念出现之前, 世界各国从事机械总体设计、控制功能设计和生产加工的科技工作者, 已为机械技术与电子技术的有机结合自觉不自觉地做了许多工作, 研究和开发了不