

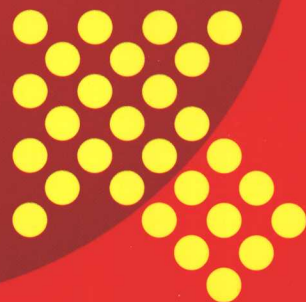
21世纪高等学校规划教材



JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

机电一体化系统设计

孔祥冰 李东洁 曹宇 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013031411

TH-39
223

21世纪高等学校规划教材

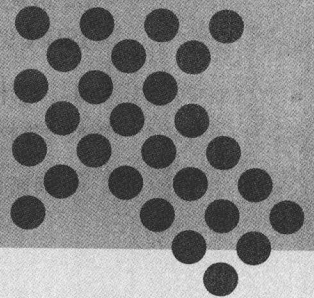


JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

机电一体化系统设计

编著 孔祥冰 李东洁 曹宇 徐东昊

主审 赵杰



TH-39/223



北航

C1636862



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书论述的机电一体化系统设计,是基于“系统”的观点,利用精密机械技术、微电子及现代控制技术和信息技术,通过“一体化”即机电有机结合的方法,构造最佳的系统(或产品)。本书对组成产品机械系统的零、部件和微机控制系统的元、器件的工作原理、特点、选用原则与方法进行了论述,对其静、动态特性进行了简要分析,并从机电有机结合(机电一体化)的角度,对系统(产品)的稳态设计与动态设计方法做了较详细的介绍并列举了设计实例,每一章节附有适量的习题和思考题。本书注重内容的先进性和实用性,理论联系实际,内容丰富,深浅适宜,便于教学和自学。

本书不仅可作为机械工程及其自动化、电气工程及其自动化、自动化和机电一体化等相关专业大学本、专科专业课教材,也可供从事机电一体化系统设计、制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/孔祥冰等编著. —北京:中国电力出版社, 2012. 11

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3476 - 2

I. ①机… II. ①孔… III. ①机电一体化-系统设计-高等学校-教材 IV. ①TH - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 258249 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 2 月第一版 2013 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 425 千字

定价 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

机电一体化是微电子技术和计算机应用技术向机械工业渗透的过程中,逐渐形成并发展起来的一门新型综合型学科。“机电一体化”是精密机械技术、微电子技术和信息技术等各相关技术有机结合的一种新形式。机电一体化的目的是使系统(产品)高附加价值化,即多功能化、高效率化、高可靠性化、省材料省能源化,并使产品结构向轻、薄、短、小巧化方向发展,不断满足人们生活的多样化需求和生产的省力化、自动化需求。同时又达到提高效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度的最佳技术手段。目前机电一体化技术已得到普遍重视和广泛应用,并成为高等院校机电类专业一门重要的专业课程。

“机电一体化”是新兴的交叉学科,是机械工业的发展方向。所谓“机电一体化”并不是机械技术、微电子技术和信息技术的简单组合,而是相互取长补短、有机结合(融合),以实现系统构成及其性能的最佳化。随着机械技术、微电子技术和信息技术的飞速发展,机械技术、微电子技术和信息技术的相互渗透越来越快。本书将机械技术、微电子技术、信息技术和控制应用技术相互融合的内容编写在一起,能够更好地体现出它们之间的内在联系,使本书的结构和理论基础系统化,并更具有先进性和实用性。本书注重精选内容,结合实际,突出应用;在编排上循序渐进、由浅入深;在内容阐述上,力求简明扼要,通俗易懂,便于教学和自学。由于本书的实践性较强,因此在编写上也考虑到与其他相关专业学科内容交叉,增加了机电一体化典型的系统举例和实验内容,并在各章之后增补了相关的思考题和习题。

本书的最大特点是,从机电有机结合的角度较系统地阐述了机电一体化系统的设计原理与设计方法,充分体现了“以机为主,以电为用,机电有机结合”的原则。本书的教学内容特别适合于理工类高校的机械工程及其自动化、电气工程及其自动化、自动化和机电一体化等相关专业的本、专科教材,也可供相关工程技术人员参考。

全书共分9章,内容包括:概论,机电一体化系统的设计,机电一体化系统中机械的部件选择与设计,机电一体化系统的执行电动机,典型元、部件的特性分析简介,机电一体化系统的检测技术及元件,机电一体化系统的计算机控制技术,机电一体化系统的控制方法及常见控制技术,典型机电一体化系统的分析与设计等。

本书由哈尔滨理工大学自动化学院孔祥冰、李东洁、曹宇和徐东昊共同编写,其中孔祥冰编写了第1、2章;李东洁编写了第4、8、9章;曹宇编写了第5、6、7章,徐东昊编写了第3章,全书由孔祥冰统稿。编写过程中得到了哈尔滨工业大学机电工程学院赵杰教授的审阅、指导和帮助,在此向他表示深切谢意。此外,本书在编写过程中,充分参考了部分兄弟院校的相关的优秀教材、相关厂家的资料和设计手册,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平和经验有限,书中存有的不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年9月

目 录

前言	
第1章 概论	1
1.1 机电一体化基本定义	1
1.2 机电一体化的理论基础与关键技术	2
1.3 机电一体化系统的构成要素及功能	7
1.4 机电一体化系统的分类.....	11
1.5 机电一体化的优点和效益.....	11
1.6 机电一体化的发展状况及趋势.....	13
思考题和习题	15
第2章 机电一体化系统的设计	17
2.1 概述.....	17
2.2 机电一体化系统的产品规划.....	20
2.3 机电一体化系统的概念设计.....	22
2.4 机电一体化系统的接口设计.....	29
2.5 机电一体化系统的造型与环境设计.....	32
2.6 机电一体化系统的评价.....	35
2.7 机电一体化系统的调试.....	38
2.8 机电一体化系统的现代设计方法.....	39
思考题和习题	51
第3章 机电一体化系统中机械的部件选择与设计	53
3.1 机械传动部件的选择与设计	53
3.2 导向支承部件的选择与设计	64
3.3 旋转支承部件的选择与设计	73
3.4 轴系部件的选择与设计	79
3.5 机电一体化系统的机座或机架	83
思考题和习题	88
第4章 机电一体化系统的执行电动机	89
4.1 电动机控制的基本理论	89
4.2 交流电动机的驱动技术	93
4.3 直流伺服电动机及其驱动.....	101
4.4 交流伺服电动机及其驱动.....	113
4.5 步进电动机及其控制.....	118
思考题和习题	127

第 5 章 典型元、部件的特性分析简介	128
5.1 机电一体化系统的控制基础知识	128
5.2 典型元、部件的动态特性分析	136
5.3 传感器的动态特性分析	145
5.4 执行元件的动态特性分析	148
思考题和习题	154
第 6 章 机电一体化系统的检测技术及元件	155
6.1 概述	155
6.2 传感器技术	156
6.3 现代检测技术	164
6.4 机电一体化常用检测元件	167
思考题和习题	180
第 7 章 机电一体化系统的计算机控制技术	181
7.1 概述	181
7.2 工业控制计算机	184
7.3 PLC 应用技术	193
7.4 现场总线技术	200
思考题和习题	204
第 8 章 机电一体化系统的控制方法及常见控制技术	206
8.1 概述	206
8.2 机电一体化数学模型	209
8.3 控制器	211
8.4 机电一体化系统建模实例	216
8.5 常见智能控制方法	219
8.6 智能控制算法应用实例	224
思考题和习题	230
第 9 章 典型机电一体化系统的分析与设计	232
9.1 工业机器人	232
9.2 数控机床	243
9.3 电梯	251
9.4 家用电器	255
9.5 微机电系统 (MEMS)	265
思考题和习题	270
参考文献	272

第1章 概 论

1.1 机电一体化的基本定义

机电一体化是微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成的一个新概念，是精密机械技术、微电子技术和信息技术等各相关技术有机结合的一种新形式。关于机电一体化（Mechatronics）这个名词的起源，说法很多，早在1971年，日本“机械设计”杂志副刊就提出了“Mechatronics”这一名词，1976年以广告为主的日本杂志“Mechatronics design news”开始使用，其中的“Mechatronics”是Mechanics（机械学）与Electronics（电子学）组合而成的日本造英语。到目前为止，较为人们所接受的机电一体化的含义是日本机械振兴协会经济研究所提出的解释：“机电一体化乃是在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术，并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成系统的总称”。从另一个角度说，“机电一体化”是机械技术、微电子技术及信息技术相互交叉、融合（有机结合）的产物。它具有“技术”与“产品”两方面的内容，首先是机电一体化技术，主要的技术原理是使机电一体化产品（或系统）得以实现、使用 and 发展的技术；其次是机电一体化“产品”，该“产品”主要是机械系统（或部件）与微电子系统（或部件与软件）相互置换或有机结合而构成的新的“系统”，且赋予其新的功能和性能的新一代产品。

机电一体化打破了传统的机械工程、电子工程、信息工程、控制工程等旧学科的分类，形成了融机械技术、电子技术、信息技术等多种技术为一体，从系统的角度分析与解决问题的一门新兴的交叉学科。

机电一体化的发展有一个从自发状况向自为方向发展的过程。早在“机电一体化”这一概念出现之前，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做了许多工作，如电子工业领域的通信电台的自动调谐系统、计算机外围设备和雷达伺服系统、天线系统，机械工业领域的数控机床，以及导弹、人造卫星的导航系统等，都可以说是机电一体化系统。目前人们已经开始认识到机电一体化并不是机械技术、微电子技术、软件技术以及其他新技术的简单组合、拼凑，而是有机地相互结合或融合，是有其客观规律的。简而言之，“机电一体化”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。

随着以IC、LSI、VLSI等为代表的微电子技术的惊人发展，计算机本身也发生了根本变革，以微型计算机为代表的微电子技术逐步向机械领域渗透，并与机械技术有机地结合，为机械增添了“头脑”，增加了新的功能和性能，从而进入以机电有机结合为特征的机电一体化时代。

机电一体化的目的是使系统（产品）高附加价值化，即多功能化、高效率化、高可靠化、省材料省能源化，并使产品结构向轻、薄、短、小巧化方向发展，不断满足人们生活的多样化需求和生产的省力化、自动化需求。因此，机电一体化的研究方法应该改变过去那种拼拼凑凑的“混合”设计法，应该从系统的角度出发，采用现代设计分析方法，充分发挥边

缘学科技术的优势。

1.2 机电一体化的理论基础与关键技术

1.2.1 理论基础

系统论、信息论、控制论的建立，微电子技术，尤其是计算机技术的迅猛发展，引起了科学技术的又一次革命，导致了机械工程的机电一体化。系统论、信息论、控制论无疑是机电一体化技术的理论基础，是机电一体化技术的方法论。开展机电一体化技术研究时，无论在工程的构思、规划、设计方面，还是在它的实施或实现方面，都不能只着眼于机械或电子，不能只看到传感器或计算机，而是要用系统的观点，合理解决信息流与控制机制问题，有效地综合各有关技术，才能形成所需要的系统或产品。给定机电一体化系统目的功能与规格后，机电一体化技术人员利用机电一体化技术进行设计、制造的整个过程为机电一体化工程。实施机电一体化工程的结果，是新型的机电一体化产品，如图 1-1 所示。

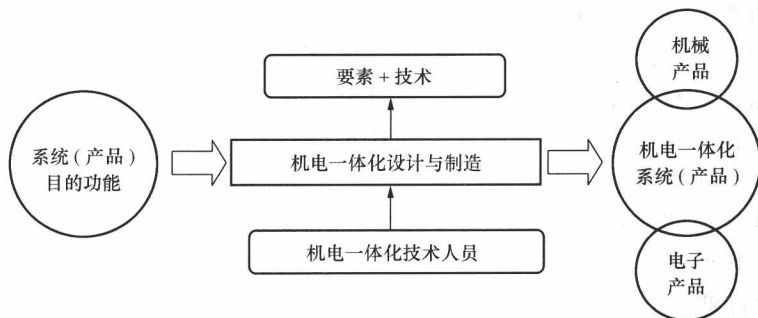


图 1-1 机电一体化工程

系统工程是系统科学的一个工作领域，而系统科学本身是一门关于“针对目的要求而进行合理的方法学处理”的边缘科学。系统工程的概念不仅包括“系统”，即具有特定功能的、相互之间具有有机联系的许多要素所构成的一个整体，也包括“工程”，即产生一定效能的方法。1978年，钱学森指出：“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”机电一体化技术就是系统工程科学在机械电子工程中的具体应用。具体地讲，就是以机械电子系统或产品为对象，以数学方法和计算机等为工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标，以便充分发挥人力、物力和财力，通过各种组织管理技术，使局部与整体之间协调配合，实现系统的综合最优化。系统工程是数学方法和工程方法的汇集。

机电一体化技术是从系统工程观点出发，应用机械、微电子等有关技术，使机械、电子有机结合，实现系统或产品整体最优的综合性技术。小型的生产、加工系统，即使是一台机器，也都是由许多要素构成的，为了实现其“目的功能”，还需要从系统角度出发，不拘泥于机械技术或电子技术，并寄希望于能够使各种功能要素构成最佳结合的柔性技术与方法。机电一体化工程就是这种技术和方法的统一。表 1-1 所示为系统工程与机电一体化工程的区别。

表 1-1 系统工程与机电一体化工程

区别	系统工程	机电一体化
产生年代	20 世纪 50 年代 (美国)	20 世纪 70 年代 (日本)
对象	大系统	小系统、机器
基本思想	系统概念	机电一体化概念 (系统及接口概念)
技术方法	利用软件进行优化、仿真、鉴定、检查等	硬件的超精密定位、超精密加工、优化设计、微机控制及仿真等
信息处理系统	大型计算机	微型计算机
实例	阿波罗计划、银行在线系统、日本新干线	CNC 机床、机器人、录像机、摄像机等
共同点	应用计算机, 具有实用性、综合性、复合性	

机电一体化系统是一个包括物质流、能量流和信息流的系统, 有效地利用各种信号所携带的丰富信息资源, 则有赖于信号处理和信息识别技术。考察所有机电一体化产品, 就会看到准确的信息获取、处理、利用在系统中所起的实质性作用。

将工程控制理论用于机械工程技术而派生的机械控制工程为机械技术引入了崭新的理论、思想和语言, 把机械设计技术由原来静态的、孤立的传统设计思想引向动态的、系统的设计环境, 使科学的辩证法在机械技术中得以体现, 为机械设计技术提供了丰富的现代设计方法。

1.2.2 关键技术

如果说系统论、信息论、控制论是机电一体化技术的理论基础, 那么微电子技术、精密机械技术就是它的技术基础。微电子技术的进步, 尤其是微型计算机技术的迅速发展, 为机电一体化技术的进步与发展提供了前提条件。正是有了计算机, 才使机械、电子、信息的一体化得以实现。有了微型计算机日新月异的发展, 才有了机电一体化技术勃勃生机的景象。

同时, 在机电一体化技术的发展中, 不能低估精密机械加工技术对它的贡献。机电一体化产品中的许多重要零、部件都是利用超精密加工技术制造的, 就连微电子技术本身的发展也离不开精密机械技术。例如, 大规模集成电路制造中的微细加工就是精密机械技术进步的成果。因此可以说, 精密机械加工技术促进了微电子技术的不断发展, 微电子技术的不断发展又推动了精密机械技术中加工设备的不断更新。

由于机电一体化是一个工程, 是一个大系统, 因此它的发展不仅要依靠信息技术、控制技术、机械技术、电子技术和计算机技术的发展, 还要依靠其他相关技术的发展, 同时也要受到社会条件、经济基础的影响。机电一体化技术内部各种因素的联系以及外部条件的关系如图 1-2 所示。其中的主要因素固然是发展机电一体化技术的必备条件, 但各种相关技术的发展及外部影响因素的相互配合也是必不可少的。

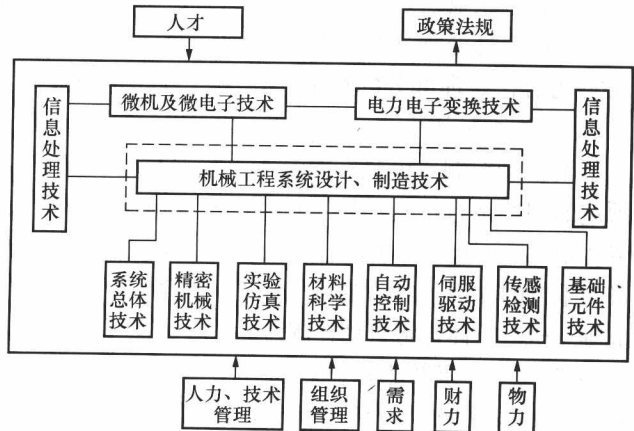


图 1-2 机电一体化技术内部各种因素的联系以及外部条件的关系

发展机电一体化技术所面临的共性关键技术包括传感检测技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术、接口技术、精密机械技术及系统总体技术等。

1. 传感检测技术

检测传感器属于机电一体化系统（或产品）的检测传感元件。检测传感器的检测对象有温度、流量、压力、位移、速度、加速度、力和力矩等物理量以及物品的几何参数等，其检测精度的高低直接影响机电一体化产品的性能好坏。因此，要求检测传感器具有高精度、高灵敏度和高可靠性。检测传感器集机、光、电、声、信息等各种技术于一体，从其传感机理、元器件结构设计到制造工艺等都有需要研究和解决的问题。没有精度、质量、品种和数量能满足要求且廉价的检测传感元器件，就不能将机电一体化技术革命推向前进。检测传感技术的主要难点是提高可靠性、精度和灵敏度，需研究的问题有：

- (1) 提高各种敏感材料和元件的灵敏度及可靠度；
- (2) 改进传感器结构，开发温度与湿度、视觉与触觉同时存在的复合传感器等；
- (3) 研究在线检测技术，提高抗干扰能力；
- (4) 研究具有自动诊断与自动补偿功能的传感器（智能化传感器）等。

2. 信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、变换、运算、存储和输出技术。信息处理的硬件包括输入/输出设备、显示器、磁盘、计算机、可编程序控制器和数控装置等。信息处理是否正确及时，直接影响机电一体化产品的质量和效率，因而成为机电一体化产品的关键技术。在信息处理技术方面存在的问题有减轻质量、提高处理速度、提高可靠性和抗干扰能力以及标准化、提高操作性及便于维修保养等。需要研究的问题有：

- (1) 提高大规模集成电路（包括微机芯片和专用集成电路）的制造工艺水平，保证产品的可靠性，降低成本；
- (2) 提高 I/O、A/D、D/A 转换的速度和可靠性；
- (3) 开发高速处理技术（如开发高速运算的微处理器和高速处理图像技术等）；
- (4) 通信与传递（包括联机、信道分配、传递速率等）；
- (5) 加速软盘机、可编程序控制器、微机的标准化，提高维修性；
- (6) 在信息处理部分，加上自动诊断功能，在人机接口设备上，利用声音或图像识别等方式实现信息处理部分的智能化，柔性自动化仿真技术。

3. 自动控制技术

所谓自动控制，就是在没有人直接参与的情况下，通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定的规律运行。自动控制技术的广泛应用，不仅大大提高了劳动生产率和产品质量，改善了劳动条件，而且在人类征服大自然、探索新能源、发展空间技术与改善人类物质生活等方面起着极为重要的作用。自动控制技术这一学科主要讨论控制原理，包括控制规律、分析方法和系统构成等。机电一体化将自动控制作为重要的支撑技术，自动控制装置是它的重要组成部分。

主要以传递函数为基础，研究单输入、单输出、线性自动控制系统分析与设计问题的经典控制技术发展较早，且日臻成熟。在工程上，成功地解决了诸如伺服系统自动控制的实践问题。

随着科学技术发展和工程实践的需要而发展起来的现代控制技术主要以状态空间法为基

础,研究多输入、多输出、变参量、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题。最优控制、最佳滤波、系统识别、自适应控制等都是这一领域研究的主要课题。近年来,由于计算机技术和现代应用数学研究的快速发展,现代控制技术在系统工程和模仿人类活动的智能控制等领域取得了重大进展。

在机电一体化技术中,诸如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿等自动控制技术皆是重要的关键技术。现代控制理论的工程化与实用化以及优化控制模型的建立、复杂控制系统的模拟仿真、自诊断监控技术及容错技术等都是有待开发研究的课题。

自动控制技术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、再现、检索等技术。这些都是机电一体化技术中十分重要的关键技术。其技术难点是现代控制理论的工程化与实用化,以及优化控制模型的建立等。需研究的问题有:

- (1) 多功能、全功能数控技术与装置(包括多轴联动 CNC 等);
- (2) 分级控制系统;
- (3) 复杂控制系统的模拟仿真;
- (4) 智能控制技术;
- (5) 自诊断监控技术及容错技术等。

4. 伺服驱动技术

伺服驱动技术主要是指执行元件中的一些技术问题。伺服驱动包括电动、气动、液动等各种类型。伺服驱动技术对产品质量产生直接影响。在机电一体化产品(系统)中,对机电转换部件,如电磁螺线管、电动机、液压马达等执行元件的精度要求更高、可靠性更好、响应速度更快;对直流伺服电动机,要求控制性能更好(高分辨率和高灵敏度)、速度和扭矩特性更稳定;交流调速系统的难点在于变频调速技术、电子逆变技术、矢量变换技术等。气动和液压系统中,各种元件都存在提高性能、可靠性、标准化以及减轻质量、小型化等多方面的问题。此外,希望执行元件满足小型、质量轻和输出功率大等三个方面的要求,以及提高其对环境的适应性和可靠性。其研究的问题有:

- (1) 提高机电转换部件的精度、可靠性和快速响应性;
- (2) 提高直流伺服电动机的性能(高分辨率、高灵敏度);
- (3) 对交流调速系统的研究(包括变频调速、电子逆变、矢量变换控制等技术);
- (4) 大功率晶体管(GTR)和晶闸管(SCR、GTO)等功率器件的研制;
- (5) 中、小惯量伺服电动机的研制;
- (6) 气动伺服技术;
- (7) 微型电磁离合器的研制等。

5. 接口技术

机电一体化系统是机械、电子和信息等性能各异的技术融为一体的综合系统,其构成要素和子系统之间的接口极其重要。从系统外部看,输入/输出是系统与人、环境或其他系统之间的接口;从系统内部看,机电一体化系统是通过许多接口将各组成要素的输入/输出联系成一体的系统。因此,各要素及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。机电一体化系统最重要的设计任务之一往往就是接口设计。

6. 精密机械技术

机电一体化产品对精密机械提出的新要求有:减轻质量、缩小体积、提高精度、提高刚

度、改善动态性能等。减轻质量、缩小体积不能降低机械的刚度，除考虑静态、动态的刚度及热变形的问题外，还要提高导轨面的刚度。因此，在设计时，要考虑采用新型复合材料和新型结构。为便于维修，要使零件模块化、标准化、规格化。需研究的问题有：

(1) 研究机械零、部件的静态、动态刚性和热变形问题（既要求质量轻、体积小，又要求刚性好，如对结构进行优化设计、采用新型复合材料等）；

(2) 提高关键零、部件的精度（包括高精度导轨、精密滚珠丝杆、高精度主轴轴承和高精度齿轮等），并使之能批量生产，提高可靠性、降低成本；

(3) 超精加工与精密测量技术；

(4) 提高刀具、磨具质量，改进材质（高性能、超硬、复合刀具材料的开发和生产等）；

(5) 摩擦、磨损与润滑问题；

(6) 零、部件的模块化、标准化和规格化（提高互换性，保证维修方便）。

7. 系统总体技术

机电一体化系统的多功能、高精度、高效能要求和多领域技术的交叉不可避免地使产品本身及其开发设计技术复杂化。系统的总体性能不仅与各构成要素的功能、精度、性能相关，而且有赖于各构成要素是否进行了很好的协调和融合。系统总体技术就是从整体目标出发，用系统的观点和方法，将机电一体化产品的总体功能分解成若干功能单元，找出能够完成各个功能的可能技术方案，再把功能与技术方案组合成方案组进行分析、评价，综合优选出适宜的技术方案。系统总体技术的目的是在机电一体化产品各组成部分的技术成熟、组件的性能和可靠性良好的基础，通过协调各组件的相互关系和所用技术的一致性来保证产品实现经济、可靠、高效率和操作方便等。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术，也是保证其产品工作性能和技术指标得以实现的关键技术。

在机电一体化产品中，机械、电气和电子是性能、规律截然不同的物理模型，因而存在匹配上的困难；电气及电子又有强电与弱电、模拟与数字之分，必然遇到相互干扰与耦合的问题；系统的复杂性带来的可靠性问题；产品的小型化增加了状态监测与维修的困难；多功能化造成诊断技术的多样性等。因此就要考虑产品整个寿命周期的总体综合技术。

为了开发出具有较强竞争能力的机电一体化产品，系统总体设计除考虑优化设计外，还包括可靠性设计、标准化设计、系列化设计及造型设计。

系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和方法，将总体分解成若干功能单元，找出能完成各个功能的技术方案，再把功能与技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术包括的内容很多，例如接插件、接口转换、软件开发、微机应用技术、控制系统的成套性和成套设备自动化技术等。即使各个部分的性能、可靠性都很好，如果整个系统不能很好协调，则系统与产品也很难保证正常运行。需要研究的问题有：

(1) 软件开发与应用技术，包括过程参数应用软件、实时精度补偿软件、CAD/CAM及FMS软件、各种专用语言（如机器人语言）、实时控制语言、人一机对话编程技术、专用数据库的建立等；

(2) 研究接插件技术，提高可靠性；

(3) 通用接口和数据总线标准化；

(4) 控制系统成套性和成套设备自动化；

(5) 软件的标准化问题。

1.3 机电一体化系统的构成要素及功能

机电一体化系统（产品）由机械系统（机构）、电子信息处理系统（计算机）、动力系统（动力源）、传感检测系统（传感器）、执行元件系统（如电动机）等五个子系统组成，如图 1-3 所示。通过传感器直接检测目标运动并进行反馈控制的系统为全闭环系统 [见图 1-3 (a)]。而通过传感器检测某一部位（如伺服电动机等）运动并进行反馈、间接控制目标运动的系统为半闭环系统 [见图 1-3 (b)]。

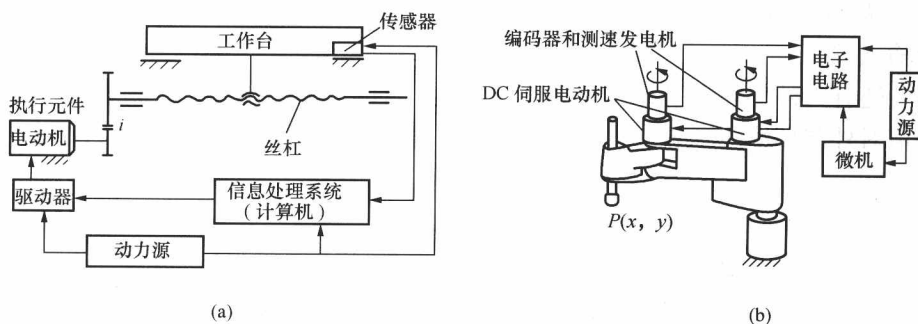


图 1-3 系统（产品）基本构成

(a) 全闭环系统；(b) 半闭环系统

机电一体化系统的基本特征是给“机械”增添了头脑（计算机信息处理与控制），因此是要求传感器技术、控制用接口元件、机械结构、控制软件水平较高的系统。其运动控制不仅仅是线性控制，还有非线性控制、最优控制、学习控制等各种各样的控制。

机电一体化系统是由若干具有特定功能的机械与微电子要素组成的有机整体，具有满足人们使用要求的功能（目的功能）。根据不同的使用目的，要求系统能对输入的物质、能量和信息（即工业三大要素）进行某种处理，输出所需要的物质、能量和信息。

因此，系统必须具有以下三大“目的功能”：

- (1) 变换（加工、处理）功能；
- (2) 传递（移动、输送）功能；
- (3) 储存（保持、积蓄、记录）功能。

图 1-4 所示为系统目的功能图。以物料搬运、加工为主，输入物质（原料、毛坯等）、能量（电能、液能、气能等）和信息（操作及控制指令等），经过加工处理，主要输出改变了位置和形态的物质的系统（或产品），称为加工机。例如：各种机床（切削、锻压、铸造、电加工、焊接设备、高频淬火等）、交通运输机械、食品加工机械、起重机械、纺织机械、印刷机械、轻工机械等。

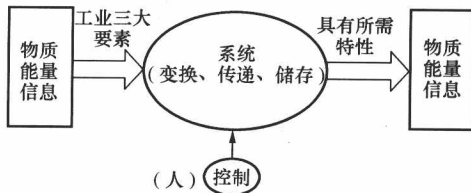


图 1-4 系统目的功能图

以能量转换为主，输入能量（或物质）和信息，输出不同能量（或物质）的系统（或产品），称为动力机。其中输出机械能的为原动机，例如电动机、水轮机、内燃机等。

以信息处理为主，输入信息和能量，主要输出某种信息（如数据、图像、文字、声音等）的系统（或产品），称为信息机。例如各种仪器、仪表、计算机、传真机及各种办公机械等。

不管哪类系统（或产品），其系统内部必须具备图 1-5 所示的五种内部功能，即主功能、动力功能、检测功能、控制功能、构造功能。其中“主功能”是实现系统“目的功能”直接必需的功能，主要是对物质、能量、信息或其相互结合进行变换、传递和存储。“动力功能”是向系统提供动力，让系统得以运转的功能；“检测功能和控制功能”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，实施“目的功能”。而“构造功能”则是使构成系统的子系统及元、部件维持所定的时间和空间上的相互关系所必需的功能。从系统的输入/输出来看，除有主功能的输入/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以及非目的性输出（如废弃物等）。例如汽车的废气和噪声对外部环境的影响，从系统设计开始就应予以考虑。图 1-6 是 CNC 机床的内部功能构成实例。

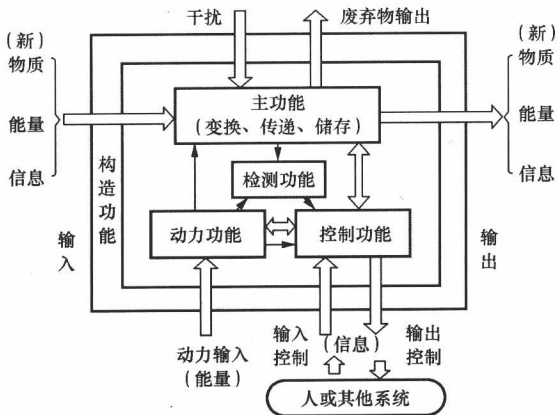


图 1-5 系统的五种内部功能

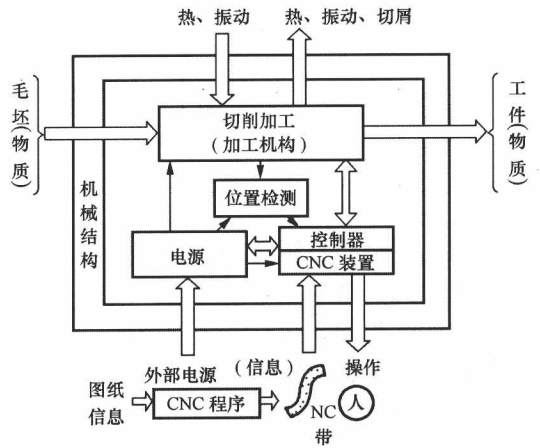


图 1-6 CNC 机床的内部功能构成

综上所述，机电一体化系统的五大要素及其相应的五大功能如图 1-7 所示。机电一体化系统五大要素实例如图 1-8 所示。表 1-2 列出了机电一体化系统（产品）的构成要素与人体构成要素的相对应关系。

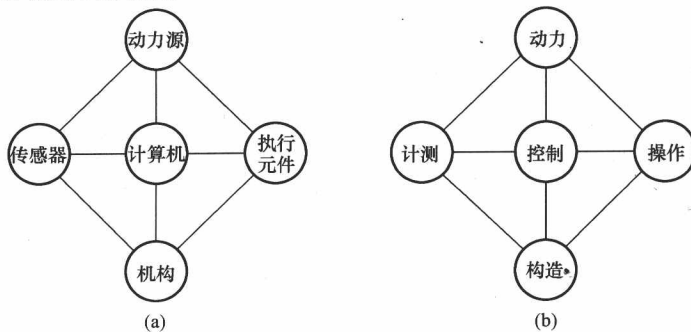


图 1-7 机电一体化系统（产品）的五大要素及其相应的五大功能

(a) 五大要素；(b) 相应的五大功能

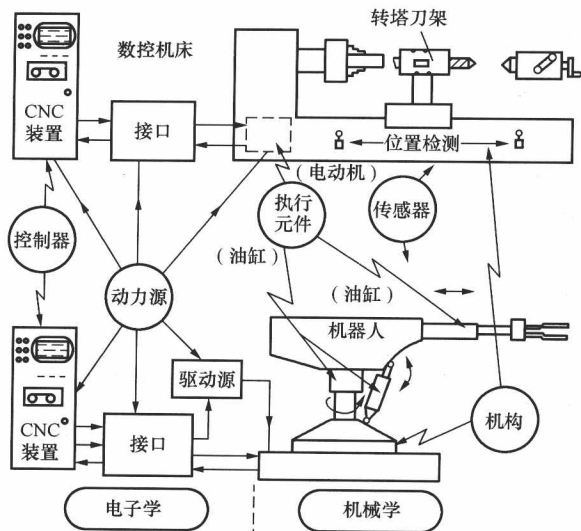


图 1-8 机电一体化系统（产品）五大要素实例

表 1-2 机电一体化系统（产品）的构成要素与人体构成要素的相对应关系

机电一体化系统（产品）要素	功能	人体要素
控制器（计算机等）	控制（信息存储处理 传送）	头脑
检测传感器	计测（信息收集与变换）	感官
执行元件	驱动（操作）	肌肉
动力源	提供动力（能量）	内脏
机构	构造	骨骼

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，机电一体化系统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，一种是输入/输出；另一种是变换、调整。根据接口的变换、调整功能，可将接口分成以下四种：

(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。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。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。如电磁离合器、放

大器、光电耦合器、D/A 和 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地改变接口条件的接口，称为智能接口。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。如联轴节、管接头、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态和物理条件约束的接口，称为物理接口。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。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 and 隔绝作用的接口，称为环境接口。如防尘过滤器、防水连接器、防爆开关等。图 1-9 所示为机电一体化系统(产品)各构成要素之间的相互联系。

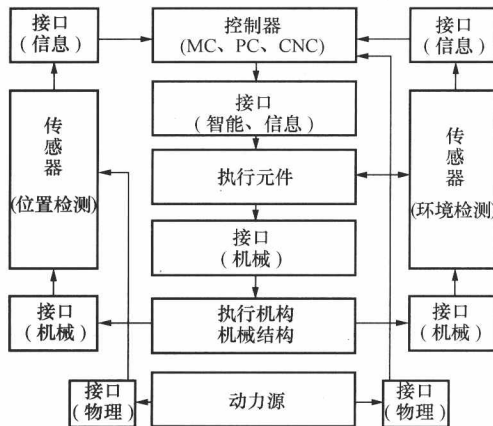


图 1-9 机电一体化系统(产品)各构成要素之间的相互联系

实际上，机电一体化系统是比较复杂的，有时某些构成要素是复合在一起的。首先应该指出的是，构成机电一体化系统的几个部分并不是并列的。其中机械部分是主体，这不仅是由于机械本体是系统重要的组成部分，而且系统的主要功能必须由机械装置来完成，否则就不能称其为机电一体化产品。如电子计算机、非指针式电子表等，其主要功能已由电子器件和电路等完成，机械已退居次要地位，这类产品应归属于电子产品，而不是机电一体化产品。因此，机械系统是实现机电一体化产品功能的基础，从而对其提出了更高的要求，需在结构、材料、工艺加工及几何尺寸等方面满足机电一体化产品高效、可靠、节能、多功能、小型轻量 and 美观等要求。除一般性的机械强度、刚度、精度、体积和质量等指标外，机械系统技术开发的重点是模块化、标准化和系列化，以便于机械系统的快速组合和更换。

其次，机电一体化的核心是电子技术，电子技术包括微电子技术和电力电子技术，但重点是微电子技术，特别是微型计算机或微处理器。机电一体化需要多种新技术的结合，但首要的是微电子技术，不和微电子结合的机电产品不能称为机电一体化产品。如非数控机床，一般均有电动机驱动，但它不是机电一体化产品。除了微电子技术以外，在机电一体化产品中，其他技术都根据需要进行结合，可以是一种，也可以是多种。

综上所述，可以概括出以下几点认识：

- (1) 机电一体化是一种以产品和过程为基础的技术。
- (2) 机电一体化以机械为主体。
- (3) 机电一体化以微电子技术，特别是计算机控制技术为核心。

(4) 机电一体化将工业产品和过程都作为一个完整的系统看待, 因此强调各种技术的协同和集成, 不是将各个单元或部件简单拼凑到一起。

(5) 机电一体化贯穿于设计和制造的全过程中。

1.4 机电一体化系统的分类

机电一体化技术和产品的应用范围非常广泛, 涉及工业生产过程的所有领域, 因此, 机电一体化产品的种类很多, 而且还在不断地增加。按照机电一体化产品的功能, 可以将其分成下述几类:

(1) 数控机械类。数控机械类主要产品为数控机床、工业机器人、发动机控制系统和自动洗衣机等。其特点为执行机构是机械装置。

(2) 电子设备类。电子设备类主要产品为电火花加工机床、线切割加工机床、超声波缝纫机和激光测量仪等。其特点为执行机构是电子装置。

(3) 机电结合类。机电结合类主要产品为自动探伤机、形状识别装置和 CT 扫描仪、自动售货机等。其特点为执行机构是机械和电子装置的有机结合。

(4) 电液伺服类。电液伺服类主要产品为机电一体化的伺服装置。其特点为执行机构是液压驱动的机械装置, 控制机构是接受电信号的液压伺服阀。

(5) 信息控制类。信息控制类主要产品为电报机、磁盘存储器、磁带录像机、录音机以及复印机、传真机等办公自动化设备。其主要特点为执行机构的动作完全由所接收的信息控制。

除此以外, 机电一体化产品还可根据机电技术的结合程度分为功能附加型、功能替代型和机电融合型三类。按产品的服务对象领域和对象, 可将机电一体化产品分成工业生产类、运输包装类、储存销售类、社会服务类、家庭日常类、科研仪器类、国防武器类以及其他用途类等不同的种类。

1.5 机电一体化的优点和效益

随着机电一体化技术的快速发展, 机电一体化产品有逐步取代传统机电产品的趋势, 这完全取决于机电一体化技术所存在的优越性和潜在的应用性能。与传统的机电产品相比, 机电一体化产品具有高的功能水平和附加值, 它将给开发生产者和用户带来社会效益。

(1) 生产能力和工作质量提高。机电一体化产品大都具有信息自动处理和自动控制功能, 其控制和检测的灵敏度、精度及范围都有很大程度的提高, 通过自动控制系统可精确地保证机械的执行机构按照设计的要求完成预定的动作, 使之不受机械操作者主观因素的影响, 从而实现最佳操作, 保证最佳的工作质量和较高的产品合格率。同时, 由于机电一体化产品实现了工作的自动化, 使得生产能力大大提高。例如, 数控机床对工件的加工稳定性大大提高, 生产效率比普通机床提高 5~6 倍, 柔性制造系统的生产设备利用率可提高 1.5~3.5 倍, 机床数量可减少约 50%, 节省操作人员数量约 50%, 缩短生产周期 40%, 使加工成本降低 50% 左右。此外, 由于机电一体化工作方式具有可通过调整软件来适应需求的良好柔性, 特别适合于多品种小批量产品的生产, 是缩短产品开发周期、加速更新换代的重要