

机 电 一 体 化 技 术 丛 书

机电一体化技术

- 袁中凡 主编
- 李彬彬 陈 爽 副主编
- 冼 进 审校

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

机电一体化技术丛书

机电一体化技术

	袁中凡	主编
李彬彬	陈爽	副主编
	冼进	审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书在介绍机电一体化系统的基本组成、原理、设计方法基础上,详细介绍了该系统组成的各个技术模块的性能特点和优化连接技术。同时,通过大量的机电一体化系统设计实例,使读者能快速掌握机电一体化系统的设计思路与设计方法。最后,系统地介绍了整体系统的设计原则和技术方法。

读者通过学习本书,可以快速、全面地掌握机电一体化系统原理、应用原则和设计方法。通过对本书众多应用实例的学习,可以达到熟练地实现机电一体化系统设计和应用的目的。

本书内容完整、文字精练、通俗易懂,非常适合作为机电一体化、电气自动化、机械设计制造及其自动化、自动控制、工程管理等专业师生的教学用书,同时对于广大的工程技术人员来说,书中有关机电一体化系统的设计原则的一些观点和设计实例具有较高的参考价值,是一本非常实用的图书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化技术 / 袁中凡主编. —北京: 电子工业出版社, 2006.8

(机电一体化技术丛书)

ISBN 7-121-02928-6

I. 机… II. 袁… III. 机电一体化 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 082974 号

责任编辑: 刘志红 范子瑜

特约编辑: 陈 虹

印 刷: 北京民族印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 500 千字

印 次: 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 29.80 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

现代科学技术的飞速发展,推动不同学科的相互交叉与渗透,并引发了几乎所有工程领域的技术革命与改造。美国《技术评论》认为,有 10 种新兴技术在不远的将来会产生巨大影响。这些技术是全新的,很快就可以改变计算、医疗、制造、运输和能源基础设施,它们分别为:无线传感器网络、可注入组织工程、纳米太阳能电池、机电一体化技术、网络计算、分子成像、纳米印刷刻蚀、软件保证、糖原组学和量子密码术。

目前,机电一体化技术思想已被普遍接受和采用。机电一体化技术体系正在不断地发展和完善。国民经济建设和发展迫切需要大量掌握机电一体化技术的人才来改造传统产业,研究和开发新一代机电一体化产品以改善出口产品结构,增强中国产品在国际市场上的竞争力。

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、相互结合的产品,是正在发展和逐渐完善的一门新兴的边缘学科。纵向分化、横向综合已成为当代科学技术发展的重要特点。在机械工程领域,由于微电子技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化,使机械工业的技术结构、产品结构、功能、生产方式及管理体系均发生了巨大变化,使得工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。随着微电子技术的发展,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”。

广大工程技术人员迫切地需要系统地、全面地掌握和了解机电一体化系统的设计原理和技术,为了满足现实需要,今天在很多高校和应用行业广泛地开展了机电一体化技术的学习和培训。由于中国在机电一体化技术等方面发展时间较短,因此还缺少既突出机电一体化技术,又贴近广大读者的基础教程。《机电一体化技术》一书就是在此形势和需要情况下编写而成的,以满足机电一体化技术飞速发展和读者全面、深入地了解机电一体化系统和技术的需要。

编写本书主要是为广大读者提供一本内容完整、文字精练、通俗易懂的机电一体化系统原理和设计参考图书。本书对于初学者来说是一本系统地、完整地学习机电一体化设计的教材;对于广大的工程技术人员来说,书中有关机电一体化系统的设计原则的一些观点具有很高的参考价值。

本书在编写过程中,引用了部分文献材料,在此一并向有关文献的作者表示感谢。

本书由袁中凡教授主编,李彬彬、陈爽为副主编,张加易、王华、任培、杨建博和蒲昌兰等参加编写工作;由冼进审校。参与本书编写工作的还有:邹素琼、郝文化、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、

魏乐、韩翔、程小英、谭小丽、卢丽娟、李小琼、周宏、罗吉、许翔燕、陈春、张忠、方小马、黄姹英、周明、宋晶、邓勇等，在此一并表示感谢！

我们为本书专门制作了电子教案以方便老师课堂教学，读者可从电子工业出版社华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）“教学资源”频道的“综合资源下载”栏目下载。由于作者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。我们的联络方式为：china_54@tom.com。

作者

2006年6月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 机电一体化基本概念	(2)
1.1.1 机电一体化系统的功能构成及定义	(2)
1.1.2 机电一体化系统的结构要素	(4)
1.1.3 机电一体化产品的分类	(7)
1.2 机电一体化关键技术	(8)
1.2.1 机械设计技术	(8)
1.2.2 计算机与信息处理技术	(9)
1.2.3 自动控制技术	(9)
1.2.4 传感与检测技术	(9)
1.2.5 执行与驱动技术	(10)
1.2.6 机电一体化总体设计技术	(10)
1.3 机电一体化的发展概况	(11)
1.3.1 国内外机电一体化发展状况	(11)
1.3.2 机电一体化技术的理论发展	(12)
1.3.3 数控技术与机器人技术	(13)
1.3.4 新型的 MEMS 系统	(15)
本章小结	(17)
思考练习	(17)
第 2 章 机械系统设计技术	(18)
2.1 机械设计概述	(19)
2.1.1 机电一体化对机械系统的要求	(19)
2.1.2 机械系统的组成	(20)
2.2 传动部件设计	(20)
2.2.1 带传动	(21)
2.2.2 谐波齿轮传动	(25)
2.2.3 滚珠螺旋传动	(27)
2.3 轴系	(30)
2.3.1 轴	(31)
2.3.2 轴毂联结	(35)
2.3.3 轴承	(36)
2.4 支撑件设计	(40)

2.4.1 导向支撑部件	(41)
2.4.2 旋转支撑部件	(46)
2.4.3 机架与机座	(49)
2.4.4 润滑与润滑剂	(51)
2.5 执行机构设计	(54)
2.5.1 微动机构	(54)
2.5.2 定位机构	(56)
2.5.3 数控机床回转刀架	(57)
2.5.4 工业机器人末端执行器	(58)
本章小结	(61)
思考练习	(61)
第3章 检测与传感系统设计技术	(62)
3.1 传感器的组成和分类	(63)
3.1.1 传感器的组成	(63)
3.1.2 传感器的分类	(64)
3.1.3 传感器的性能指标及选用原则	(66)
3.2 常见传感器及其工作原理	(67)
3.2.1 光电编码器	(67)
3.2.2 光栅尺	(70)
3.2.3 电阻应变计	(73)
3.2.4 温度传感器	(76)
3.2.5 霍尔效应线位移传感器	(80)
3.2.6 超声波传感器	(81)
3.2.7 传感器的发展趋势	(82)
3.3 检测数据的处理方法	(84)
3.3.1 模拟信号处理	(84)
3.3.2 数字信号处理	(86)
3.3.3 信号调制与解调	(89)
3.4 传感器信号的计算机检测技术	(96)
3.4.1 传感器的测量电路	(96)
3.4.2 传感器的计算机接口	(97)
3.4.3 传感器在机电一体化系统中的应用实例——车载信息系统	(102)
本章小结	(104)
思考练习	(105)
第4章 接口设计概述	(106)
4.1 接口设计概述	(107)
4.1.1 接口的基本概念	(107)

4.1.2	接口设计的任务及主要类型	(107)
4.1.3	接口设计的基本原则及要求	(108)
4.2	常用总线	(109)
4.2.1	ISA 总线	(110)
4.2.2	VESA 总线	(114)
4.2.3	PCI 总线	(115)
4.2.4	AGP 标准	(119)
4.2.5	STD 总线	(119)
4.3	人机接口	(122)
4.3.1	输入接口	(123)
4.3.2	输出接口	(125)
4.4	机电接口	(127)
4.4.1	输入接口	(128)
4.4.2	输出接口	(128)
	本章小结	(129)
	思考练习	(130)
第 5 章	机电一体化控制系统设计技术	(131)
5.1	控制系统概述	(132)
5.1.1	控制系统的组成及其特点	(132)
5.1.2	控制系统的分类	(133)
5.1.3	控制系统的几种实现方式	(134)
5.1.4	控制系统的设计步骤	(134)
5.2	系统数学模型	(135)
5.2.1	输入 - 输出模型	(136)
5.2.2	状态模型	(138)
5.2.3	传递函数	(140)
5.2.4	传递函数与状态方程的转换	(143)
5.2.5	方框图	(144)
5.3	系统响应	(147)
5.3.1	时间响应	(147)
5.3.2	频率响应	(151)
5.3.3	性能指标	(154)
5.4	系统的控制策略	(155)
5.4.1	传统控制策略	(155)
5.4.2	现代控制策略	(156)
5.4.3	智能控制策略	(159)
5.4.4	控制策略的相互渗透和结合	(162)

5.5	微机控制装置的设计	(163)
5.5.1	控制装置及微机的选择	(164)
5.5.2	提高系统控制装置的可靠性	(165)
5.6	数字控制器的设计	(167)
5.6.1	PID 数字控制器	(167)
5.6.2	Smith 数字控制器	(172)
5.6.3	最少拍无差系统的设计	(173)
	本章小结	(176)
	思考练习	(176)
第 6 章	机电一体化系统的执行与驱动技术	(179)
6.1	基本概念	(180)
6.1.1	执行元件的特点及类型	(180)
6.1.2	机电控制系统对执行元件的要求	(181)
6.2	步进电机的工作原理及驱动方法	(182)
6.2.1	步进电机的工作原理及特性	(183)
6.2.2	步进电机的驱动方法	(187)
6.3	直流伺服电机的工作原理及驱动方法	(190)
6.3.1	直流伺服电机的分类与特性	(190)
6.3.2	直流伺服电动机的驱动方法	(194)
6.4	交流伺服电机的工作原理及驱动方法	(195)
6.4.1	交流伺服电机的分类特性	(196)
6.4.2	交流伺服电机的工作原理与驱动	(197)
6.4.3	机电一体化系统常用控制用电机性能比较	(201)
6.5	液压执行元件的特性与选择方法	(203)
6.5.1	液压泵	(203)
6.5.2	液压缸	(205)
6.5.3	液压电机	(207)
6.5.4	液压执行元件的选择方法	(208)
	本章小结	(211)
	思考练习	(211)
第 7 章	多机与网络通信	(212)
7.1	基本概念、功能、分类和性能参数	(213)
7.1.1	基本概念和功能	(213)
7.1.2	分类	(213)
7.1.3	性能参数	(215)
7.2	多机系统总线	(216)
7.2.1	单总线	(216)

7.2.2	I ² C 总线	(219)
7.2.3	ULAN 总线	(224)
7.2.4	位总线	(227)
7.2.5	CAN 总线	(233)
7.2.6	以太网体系结构与网络协议	(233)
7.3	工业控制网	(238)
7.3.1	工业控制网概述	(238)
7.3.2	工业控制网的网络协议分层结构	(240)
7.3.3	工业控制网设计的一般内容	(241)
	本章小结	(242)
	思考练习	(242)
第 8 章	机电一体化系统总体设计	(243)
8.1	概述	(244)
8.1.1	总体设计的概念与过程描述	(244)
8.1.2	总体设计的原则与方法	(246)
8.1.3	总体设计中的关键因素	(248)
8.2	特性、性能指标分析以及功能和性能指标分配	(251)
8.2.1	机电一体化系统的特性指标分析	(251)
8.2.2	机电一体化系统的功能与性能指标分配	(254)
8.2.3	机电一体化系统的性能评价	(256)
8.3	机电一体化设计方法	(258)
8.3.1	机电一体化系统的设计与优化方法	(258)
8.3.2	机电一体化系统的可靠性设计方法	(263)
	本章小结	(266)
	思考练习	(266)
第 9 章	机电一体化系统设计指导	(267)
9.1	机电一体化系统的设计思路与开发过程	(268)
9.1.1	机电一体化系统分析	(268)
9.1.2	机电一体化系统设计原则	(269)
9.1.3	机电一体化系统设计过程	(270)
9.2	机电一体化产品开发实例及应用	(276)
9.2.1	模糊控制洗衣机设计	(276)
9.2.2	变频式空调器设计思路与开发过程	(283)
9.2.3	基于 GPS 的交通管理系统	(292)
	本章小结	(299)
	思考练习	(299)
	参考文献	(300)

Chapter 1

第 1 章 概 论

知识点

- 机电一体化的基本概念
- 机电一体化关键技术
- 机电一体化的发展概况



本章导读

现代科学技术的飞速发展,推动不同学科的相互交叉与渗透,并引发了几乎所有工程领域的技术革命与改造。美国《技术评论》认为,有 10 种新兴技术在不远的将来会产生巨大影响。这些技术是全新的,很快就可以改变计算、医疗、制造、运输和能源基础设施,它们分别为:无线传感器网络、可注入组织工程、纳米太阳能电池、机电一体化技术、网络技术、分子成像、纳米印刷刻蚀、软件保证、糖原组学和量子密码术。

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。纵向分化、横向综合已成为当代科学技术发展的重要特点。在机械工程领域,由于微电子技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化,使机械工业的技术结构、产品结构、功能、生产方式及管理体系均发生了巨大变化,使得工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。

随着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”。

1.1 机电一体化的基本概念

1.1.1 机电一体化系统的功能构成及定义

“机电一体化”一词(Mecharonics)在 20 世纪 70 年代起源于日本。它取英语 Mechanics (机械学)的前半部和 Electronics (电子学)的后半部分拼成一个新词,即机械电子学或机电一体化。但是,“机电一体化”并非是机械技术与电子技术的简单相加,发展到今日它已成为一门有着自身体系的新型学科。可以说,“机电一体化”是机械技术、微电子技术相互交叉、融合的产物(如图 1-1 所示)。

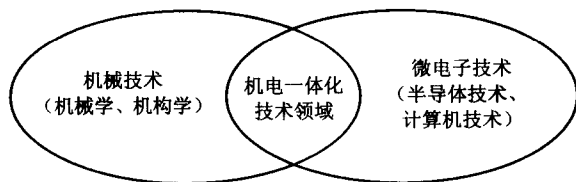


图 1-1 机电一体化的含义

目前,对“机电一体化”一词尚无统一的定义,就连最早提出这一新概念的日本也是说法不一。而较为普遍的提法是“日本机械振兴协会”经济研究所对机电一体化概念所做的解释:“机电一体化是在机械主功能、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。”

机电一体化系统由机械本体（机构）、信息处理与控制部分（计算机）、能源部分（动力源）、检测部分（传感器）、驱动部分（如电动机）等子系统组成，如图 1-2 所示。

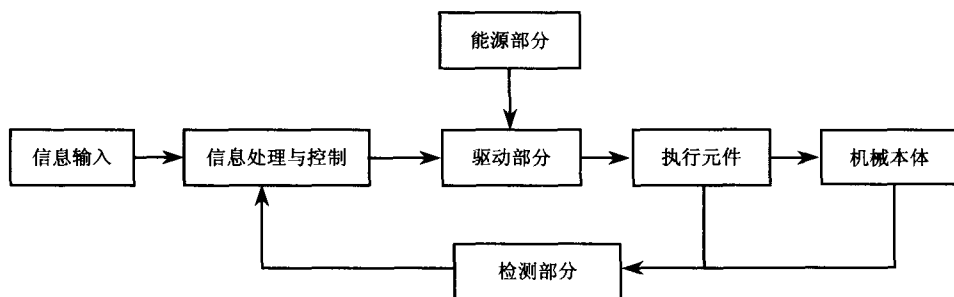


图 1-2 机电一体化系统组成

1. 机械本体

机电一体化产品中一定有运动机械，包括传动机构和运动机械本体，采用电子技术使运动机械实现柔性化和智能化，实现在重载条件下的微小运动和复杂运动，是机电一体化追求的目标。对机械本体的要求是：尽量采用新材料、复合材料代替传统的钢铁；尽量做到小型化、轻量化。要提高刚性，实现组合化、标准化和系列化，努力提高整体的可靠性。

2. 驱动部分

驱动部分根据信息处理部分的指令，驱动运动机械动作完成规定的机械运动。有气动、电动和液压等不同驱动方式。

3. 检测部分

检测部分主要功能是检测运动机构或其他需要检测的物理量，并将信息送回信息处理与控制部分，作为发送控制信息的依据。

4. 信息处理与控制部分

信息处理与控制部分是进行信息处理与控制的核心，犹如人的大脑。其中软件和硬件的功能对系统的功能具有重要影响。因为在机电一体化系统中计算机进行信息处理与控制的目标是运动机械，所以，国外也称其为运动控制计算机。它将传感器检测的信号，根据一定算法，对数据和信息进行存储、变换等处理，再通过接口向执行机构发出执行命令，以完成规定动作。

5. 能源部分

能源部分负责为系统提供能量和动力功能，包括电动、气动以及液压。

图 1-3 所示的是一个通过传感器直接检测目标运动并进行反馈的全闭环控制系统。通过传感器检测某一部位运动并进行反馈、间接控制目标运动的系统称为半闭环系统。机电一体化系统的基本特征是给机械添加了头脑（计算机信息处理与控制），因此是对传感器

技术、控制用接口元件、机械机构、控制软件水平要求较高的系统。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。

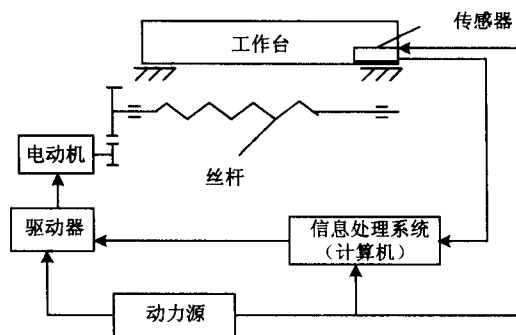


图 1-3 典型全闭环控制系统

随着生产和科学技术的发展，“机电一体化”还将不断被赋予新的内容。但是，其基本的含义可概括为：机电一体化是基于系统集成的，建立在机械技术、微电子技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、传感与测试技术、伺服驱动技术、系统总体技术等现代高新技术群体基础之上的一种高新技术。机电一体化涵盖“技术”和“产品”两个方面。机电一体化产品是指机械系统和微电子系统有机结合，从而赋予新的功能和性能的新产品。随着科学技术的发展，机电一体化已从原来以机械为主的领域拓展到目前的汽车、电站、仪表、化工、通信、冶金等领域。而且机电一体化产品的概念不再局限在某一具体产品的范围，已扩大到控制系统和被控制系统相结合的产品制造和过程控制的大系统，例如柔性制造系统（FMS）、计算机辅助设计/制造系统（CAD/CAM）、计算机辅助设计工艺（CAPP）和计算机集成制造系统（CIMS）以及各种工业过程控制系统。此外，对传统的机电设备做智能化改造等工作也属于机电一体化的范围。

1.1.2 机电一体化系统的结构要素

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（工业三大要素）进行相应处理，输出所需要的物质、能量和信息。

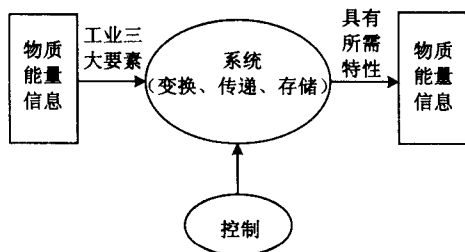


图 1-4 机电一体化系统的目的功能

因此，系统必须具有以下三大“目的功能”：变换（加工、处理）功能、传递（移动、输送）功能和存储（保持、积累、记录）功能。如图 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，如各种机床、交通



运输机械、食品加工机械、起重机械、纺织机械、印刷机械和轻工机械等。

不管哪类系统（或产品），其系统内部必须具备如图 1-5 所示的几种内部功能，即主功能、动力功能、检测功能、控制功能。其中主功能是实现系统目的功能的直接功能，主要是对物质、能量、信息或者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、部件维持所定制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/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 所示是 CNC 机床内部功能构成的实例。

综上所述，机电一体化系统的 5 大要素及其相应的功能如图 1-7 所示。机电一体化系统 5 大要素实例如图 1-8 所示。

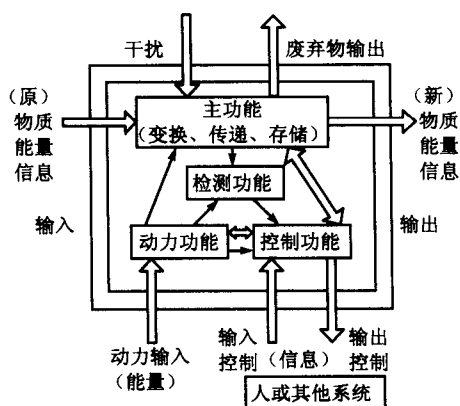


图 1-5 系统的内部功能

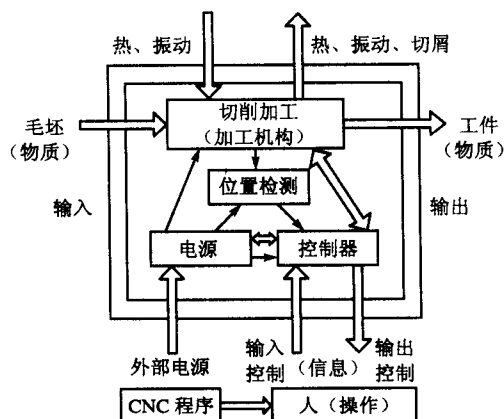
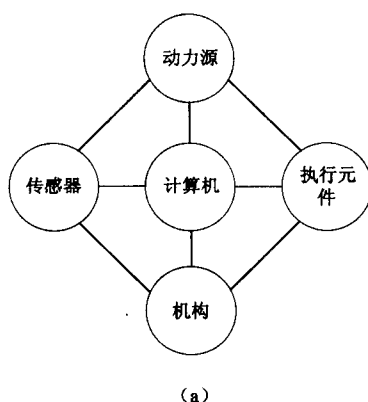
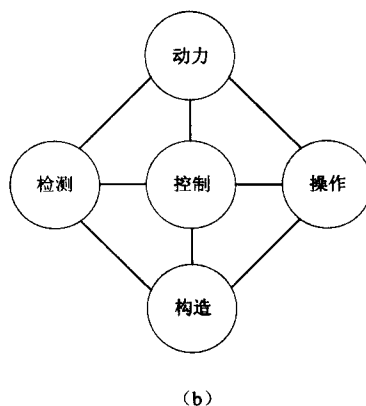


图 1-6 CNC 机床的内部功能构成



(a)



(b)

图 1-7 机电一体化系统（产品）的 5 大要素及其相应的 5 大功能

综合系统，其构成要素与子系统之间的接口极其重要。在某种意义上讲，机电一体化系统的设计归根结底就是接口的设计。

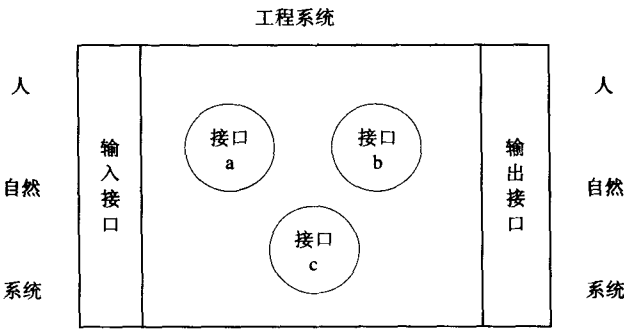


图 1-9 系统内部与外部接口

图 1-10 所示为机电一体化系统（产品）各构成要素之间的相互联系。

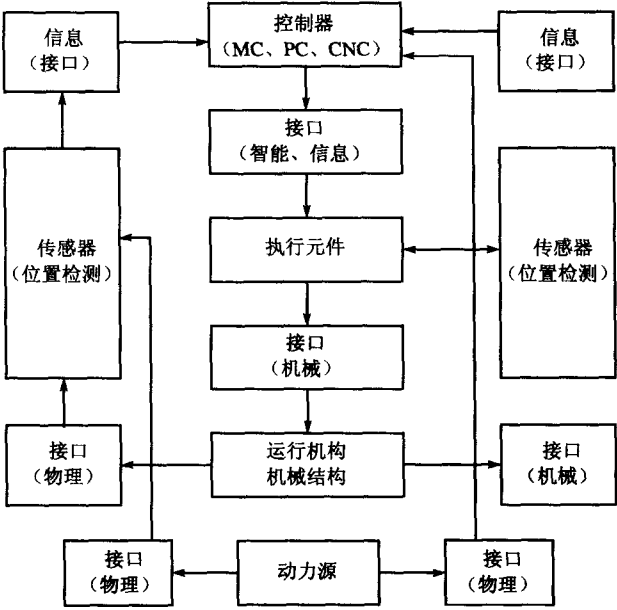


图 1-10 机电一体化系统（产品）构成要素之间的相互联系

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），因此是对传感器技术、控制用接口元件、机械结构、控制软件等技术水平要求较高的系统。其运动控制不仅仅是线性控制，还有非线性控制、最优控制、学习控制等各种控制。

1.1.3 机电一体化产品的分类

一部分机电一体化系统以能量转换为主。输入能量（或物质）和信息、输出不同能量