

机电一体化技术基础

(第2版)

● 主 编 倪依纯

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机电一体化技术基础

(第2版)

主编 倪依纯

参编 夏春荣 李荣芳 程惠娟

丁明华 钱春雷 张 晴

主审 朱崇志



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化技术基础/倪依纯主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8
ISBN 978 - 7 - 5682 - 4533 - 3

I. ①机… II. ①倪… III. ①机电一体化 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 191415 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11

字 数 / 260 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 2 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 岩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

前 言

机电一体化是现代工业技术和产品技术集成的体现，它是将机械与微电子技术的一体化有机结合，以实现系统的最佳化。随着机械技术、微电子技术、信息技术的飞速发展和应用，机电一体化得到了迅猛发展。

本课程作为机电技术应用专业的主要专业课程之一，全面介绍了机电一体化技术的由来及发展。使学生对机电一体化技术所涵盖的技术领域、典型的机电一体化装置（产品）的工作原理及结构有一个比较清晰的了解。

本课程的主要学习任务是：机电一体化技术的定义、由来及组成特点；机电一体化技术涵盖技术领域的知识和系统结构介绍；对机电一体化系统的抗干扰和可靠性评价；典型的机电一体化实例分析。

本教材结合高校学生的认知能力和专业特点，采用案例导入、学习任务引领、图文并茂、简洁明了、适度提高的编写原则。引用了大量普通的生产和生活中能够接触、为学生所熟悉的案例来导入相关的知识，按照学习任务来安排学习进程和内容。并且采用了知识链接的方式为学生专业能力的发展和提升提供必要的引领。同时，在每个课题的最后提供学生的自我学习评价表，方便学生自主评价学习成效。

本教材适用于各类高等院校机电一体化专业教学以及相关培训。

本教材由倪依纯教授担任主编和统稿。并编写了课题六。夏春荣和李荣芳老师分别编写了课题二和课题四、程惠娟老师编写课题一、丁明华和钱春雷老师分别编写了课题三和课题五、张晴老师编写了课题七。

本教材由朱崇志老师担任主审。

由于编写人员的水平有限，教材中难免会有一些错漏，敬请使用本教材的师生予以指正，不胜感谢之至！

编 者

丛书编审委员会

主任委员：夏成满 晏仲超

委 员：常松南 陶向东 徐 伟 王稼伟
刘维俭 曹振平 倪依纯 郭明康
朱学明 孟华锋 朱余清 赵太平
孙 杰 王 琳 陆晓东 缪朝东
杨永年 强晏红 赵 杰 吴晓进
曹 峰 刘爱武 何世伟 丁金荣

目 录

课题一 认识机电一体化	1
学习任务一 了解什么是机电一体化	4
学习任务二 了解机电一体化系统组成、特点、发展趋势	5
课题二 学习机械基础	13
学习任务一 认识常用机构	16
学习任务二 认识传动机构	26
学习任务三 认识基础零件	34
课题三 学习传感与检测技术	47
学习任务一 认识传感与检测技术	50
学习任务二 学习常用传感器及其应用	54
课题四 学习伺服传动技术	79
学习任务一 认识伺服系统	81
学习任务二 认识伺服控制系统	85
学习任务三 认识电液伺服系统	95
课题五 学习计算机控制接口技术	101
学习任务一 了解计算机控制系统	104
学习任务二 学习计算机控制系统的接口	109
学习任务三 了解工业常用控制计算机	113
课题六 学习可靠性和抗干扰技术	121
学习任务一 认识可靠性	126
学习任务二 认识抗干扰技术	129
课题七 分析典型机电一体化系统	143
学习任务一 了解并熟悉数控机床	144
学习任务二 了解工业机器人	148
学习任务三 了解汽车 ABS 制动	151
学习任务四 了解汽车自动变速器	155
学习任务五 柔性制造系统简介	160
参考文献	165

课题一

认识机电一体化



知识目标

认识什么是机电一体化技术；了解机电一体化系统的组成要素；了解机电一体化系统包含的关键技术；了解机电一体化技术的发展方向。

能力目标

初步具备识别什么是机电一体化系统的能力，锻炼观察、资料查阅、分析能力，培养求知欲。



案例导入

1. 工业机器人

日本工业机器人协会(JIRA)对工业机器人的定义:工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行装置的、能够完成各种移动来代替人类劳动的通用机器”。美国机器人协会(RIA)对工业机器人的定义:机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过程序动作来执行各种任务,并具有编程能力的多功能操作机”。国际标准化组织(ISO)对工业机器人的定义:机器人是“一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机,这种操作机具有几个轴,能够借助可编程操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,以执行各种任务”。由此可见,工业机器人是将传感检测技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术、机械技术等有机结合在一起,是典型的机电一体化产品,如图1-1所示。

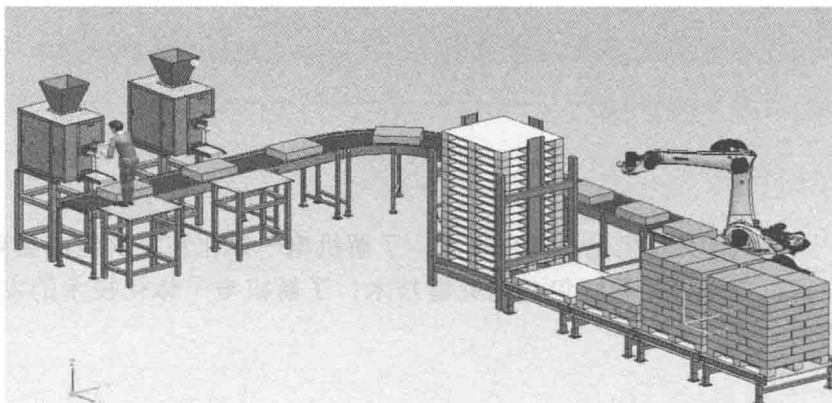


图1-1 生产线上的工业机器人

我国的工业机器人发展起步较晚,从二十世纪八十年代“七五”科技攻关开始起步,研究和开发面向先进制造的机器人制造单元及系统、特种机器人等,在机器人性能、产能、使用率等方面都落后于发达国家。随着我国经济的崛起和政府的大力扶持,目前已开发出喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运和水下机器人,其中弧焊机器人已应用在汽车制造厂的焊装线上。我国的机器人使用率正在迅速地攀升,主要集中在焊接机器人、喷涂机器人、码垛机器人和搬运机器人,图1-2为我国工业机器人历年装机数量。

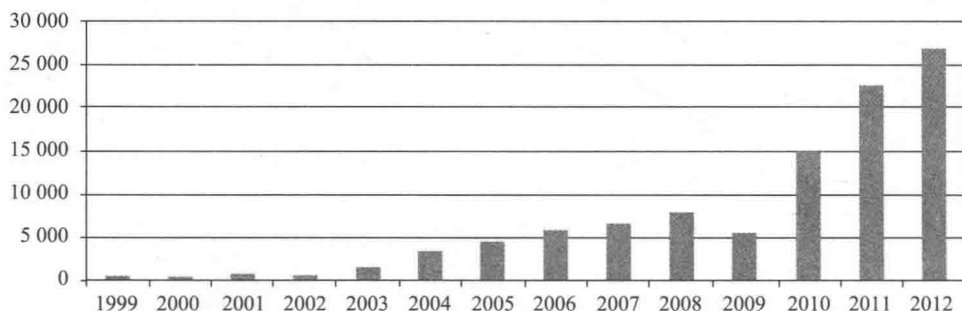


图1-2 中国工业机器人历年装机数量

2015 年,我国工业机器人销量是 6.8 万台,增长速度是 18%,预计在 2017 年仍然会保持 15% 以上的增速。然而,在关键零部件上,我国与国际相比尚有差距。但最近几年,无论是国家的产业政策,还是机器人企业,其产品的研发和创新能力都得到了大幅提升。控制器、伺服电动机等关键零部件,国产化水平进步非常快;高精度减速机,现在也有了小批量的产品。所以,从技术和研发层面来看,我们正处于追赶的过程。

工业机器人传统的应用领域是汽车,从全球来看,一半以上的机器人应用于汽车行业。从今后发展趋势来看,工业机器人的主战场是量大面广的制造业。

2. 数控机床

随着大工业时代的到来,工业生产早已离不开专门的加工机床,例如,普通车床(如图 1-3 所示),这些专门的金属加工设备为人类的生产发挥了巨大的作用。至今依然是生产中不可或缺的装备。

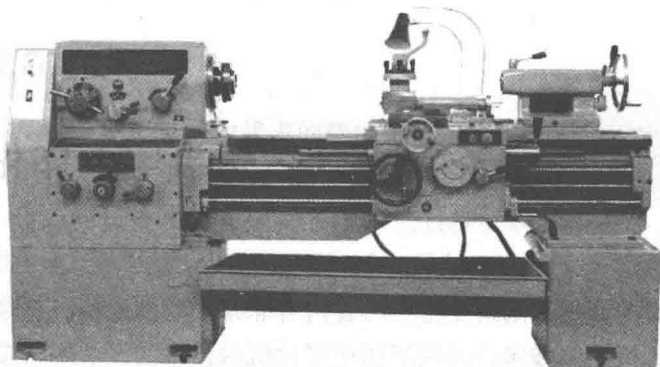


图 1-3 普通车床

但是,随着需要加工的零部件日益复杂,生产要求的不断提高,上述主要依靠人工操作和机械控制的普通加工装备已无法满足要求。20 世纪 50 年代,计算机技术应用到了机床上,在美国诞生了第一台数控机床。从此,传统机床产生了质的变化。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是指采用数字控制技术对机床加工过程进行自动控制的一类机床。国际信息处理联盟第五次技术委员会对数控机床作的定义是:“数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他编码指令规定的程序。”从上述表述可见,数控机床是将计算机、电子技术、传感器技术等控制装置与传统机床结合的产物。数控机床如图 1-4 所示。

工业机器人和数控机床的共同特点是什么呢?最大的共同点就是机电一体化!下面,我们共同学习有关知识。

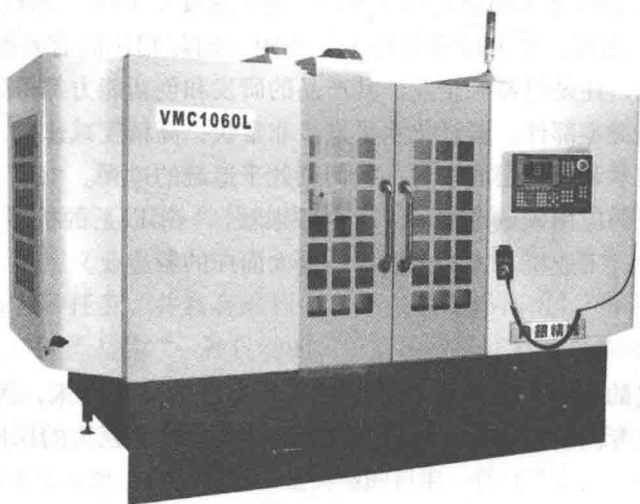


图 1-4 数控加工中心

学习任务一 了解什么是机电一体化

机械技术在人类工业生产的历史上,一直占有非常重要的地位,至今依然如此。电气控制技术,尤其是计算机控制技术,其发展历史要比机械技术的发展晚得多,但是,其发展势头极其迅猛!

随着现代控制技术的发展,传统的、单纯的机械技术已无法满足社会发展的需要,电气控制系统尤其是计算机控制系统的融合已是必然趋势。上述两个例子就是很好的佐证。一个新的交叉学科,多项技术融合的新技术领域由此应运而生了,那就是机电一体化!

机电一体化技术即结合应用机械技术和电子技术于一体。随着计算机技术的迅猛发展和广泛应用,机电一体化技术获得前所未有的发展,成为一门综合计算机与信息技术、自动控制技术、传感检测技术、伺服传动技术和机械技术等交叉的系统技术,目前正向光机电一体化技术方向发展,应用范围愈来愈广。

机电一体化在国外被称为 Mechatronics,是日本人在 20 世纪 70 年代初提出来的,它是将英文机械学 Mechanics 的前半部分和电子学 Electronics 的后半部分结合在一起构成的一个新词,意思是机械技术和电子技术的有机结合。这一名称已经得到包括我国在内的世界各国的承认,我国的工程技术人员习惯上把它译为机电一体化技术,机电一体化技术又称为机械电子技术,是机械技术、电子技术和信息技术有机结合的产物。

目前,比较得到公认的机电一体化定义是:机械主功能、动力功能、信息功能和控制功能引进微电子技术,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,如图 1-5 所示。

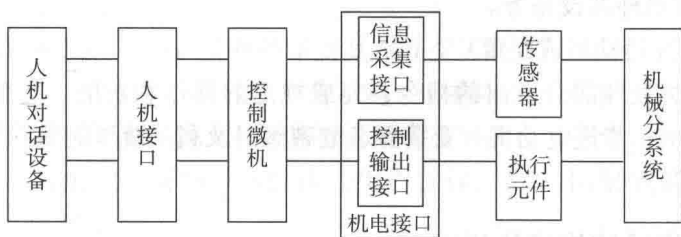


图 1-5 机电一体化系统框图

学习任务二 了解机电一体化系统组成、特点、发展趋势

1. 机电一体化系统的组成

机电一体化技术是以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渗透，并与机械电子技术深度结合的产物。综合应用了机械技术、微电子技术、信息技术、自动控制技术、传感测试技术等，根据系统功能目标，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，能量变换进行研究，使得整个系统有机结合与综合集成。在高功能、高质量、高精度、高可靠性、低能耗等诸方面实现多种技术功能复合。

机电一体化系统是指具备机电一体化技术特点的装置或系统。其五大组成要素为：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。对应的结构分别是：机械本体、动力驱动部分、测试传感部分、控制及信息处理部分、执行机构。

各要素（机构）的功能如下：

（1）机械本体（结构组成要素）

系统的所有功能要素的机械支持结构，它包括机身、框架、支撑、连接等。

（2）动力驱动部分（动力组成要素）

依据系统控制要求，为系统提供能量和动力以使系统正常运行。它包括驱动电动机的电源和驱动液压系统、气压系统的液压源和气压源。

（3）测试传感部分（感知组成要素）

对系统的运行所需要的本身和外部环境的各种参数和状态进行检测，把检测出的各种模拟信号转换为相应的电信号后，变成可识别的信号，传输给信息处理单元，经过分析、处理后产生相应的控制信息。它包括各种传感器及其信号检测电路。

（4）控制及信息处理部分（智能组成要素）

将来自测试传感部分的信息及外部直接输入的指令进行集中、存储、分析、加工处理后，按照信息处理结果和规定的程序与节奏发出相应的指令，控制整个系统有目的地运行。它包括计算机、可编程控制器、数控装置以及逻辑电路、模拟/数字与数字/模拟转换器、输

入/输出接口和计算机外部设备等。

(5) 执行机构 (运动组成要素)

根据控制及信息处理部分发出的指令,完成规定的动作和功能。它包括交流伺服电动机、直流伺服电动机、步进电动机、变频器、电磁阀以及利用液压能量和气压能量的液压驱动装置和气压驱动装置等。

2. 机电一体化系统构成的原则

构成机电一体化系统的五大组成要素之间必须遵循结构耦合、运动传递、信息控制与能量转换四大原则。

由于两个需要进行信息交换和传递的环节之间,信息模式不同(数字量与模拟量,串行码与并行码,连续脉冲与序列脉冲等)而无法直接传递和交换,必须通过接口耦合来实现。而两个信号强弱相差悬殊的环节之间,也必须通过接口耦合后,才能匹配。变换放大后的信号要在两个环节之间可靠、快速、准确地交换、传递,必须遵循一致的时序、信号格式和逻辑规范才行,因此接口耦合时就必须具有保证信息的逻辑控制功能,使信息按规定的模式进行交换与传递。例如:USB接口、声卡接口等。

运动传递使得构成机电一体化系统各组成要素之间,不同类型运动的变换与传输更加优化。例如:齿轮齿条传动、曲轴传动等。

智能组成要素,也就是系统控制单元,在软、硬件的保证下,完成信息的采集、传输、储存、分析、运算、判断、决策,以达到信息控制的目的。对于智能化程度高的信息控制系统还包含了知识获得、推理机制以及自学习功能等知识驱动功能。

两个需要进行传输和交换的环节之间,由于模式不同而无法直接进行能量的转换和交流,必须进行能量的转换,能量的转换包括执行器、驱动器和它们的不同类型能量的最优转换方法及原理。例如:电动机将电能转化为机械能。

3. 机电一体化系统的特点

(1) 具有综合性

机电一体化技术是由机械技术、电子技术、微电子技术和计算机技术等有机结合形成的一门跨学科的边缘科学。各种相关技术被综合成一个完整的系统,在这一系统中,它们彼此相互苛刻要求又取长补短,从而不断地向着理想化的技术发展。因此机电一体化技术是具有综合性的高水平技术。

(2) 广而强的应用性

机电一体化技术是以实现机电产品开发和过程控制为基础的技术,是可以渗透到机械系统和产品的普遍应用性技术,几乎不受行业限制。

(3) 多层次的系统化

机电一体化是将工业产品和过程利用各种技术综合成一个完整的系统,强调各种技术(特别是微电子技术与精密机械技术)的协同和集成,强调层次化和系统化。无论从单参数、单级控制到多参数、多级控制,还是从单品生产工艺到整个系统工程设计,机电一体化技术都体现在系统各个层次的开发和应用中。

(4) 整体的最优化

从系统工程观点出发,充分利用新技术及其相互交叉融合的优势,实现机电一体化系统(或产品)的高附加值、高效率、高性能、省材料、省能源、低损耗、低污染等。比如采用数控机床、柔性生产线、工业机器人和计算机管理等高科技机电一体化技术和系统以后,各企业就可以根据社会需求及时调整产品结构及生产过程,几乎不需要重新设计制造工艺设备,大大缩短了整个生产周期。

(5) 使用简化

机电一体化产品的开发需要开发人员不仅具有扎实的理论基础,而且具有广博的技术知识,还要不断地学习和更新相关知识。但是从使用上来看,一般用户对机电一体化系统(或产品)不必精通其原理,不必具有丰富的技术知识,用户需要的是功能强、操作简便、人机协作关系好的机电一体化系统(或产品)。

(6) 提高了安全性

机电一体化系统一般都具有自动保护的功能,可减少人身和设备发生事故的可能性,显著地提高了安全性。有些机电一体化系统甚至可以在恶劣和危险的环境中作无人的自动操作。如机器人可以不顾危险,在海里、宇宙空间、核反应堆等一些危险场合工作。

(7) 具有高可靠性、高稳定性和长寿命

机电一体化系统几乎没有机械磨损,因此系统的寿命提高,故障率降低,可靠性和稳定性增强。有些机电一体化系统甚至可以做到不需要维修,具有自动诊断、自动修复的功能。

(8) 具有柔性

柔性是机电一体化系统的特点。根据需要的变化,用机电一体化技术无须改装系统就可以及时地对系统的结构和生产过程作必要的调整,因此机电一体化技术是解决多品种、小批量生产的重要途径。

4. 机电一体化系统涉及的主要技术领域

(1) 机械技术

机械技术是机电一体化的基础,机械技术的着眼点在于如何与机电一体化技术相适应,利用其他高、新技术来更新概念,实现结构、材料、性能的变更,满足减小重量、缩小体积、提高精度、提高刚度及改善性能的要求。为此,应着重研究改进机械产品结构、开发新型复合材料、提高关键零部件的精度,以适应机电一体化的需要。在机电一体化系统制造过程中,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。

(2) 计算机与信息技术

信息交换、存取、运算、判断与决策、人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术均属于计算机信息处理技术。

(3) 系统技术

系统技术即以整体的概念组织应用各种相关技术,找出能完成各个功能单元的技术方案,再将各功能单元和技术方案组成方案组进行分析和优选。系统技术在整个机电一体化系

统中占有重要地位。从全局角度和系统目标出发,将总体分解成相互关联的若干功能单元,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。

(4) 自动控制技术

其范围很广,在控制理论指导下,对设计后的系统进行仿真和现场调试,并使系统可靠地投入运行。控制技术包括如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断校正、补偿、再现、检索等。

(5) 传感检测技术

传感检测技术的重要元件是传感器,它是系统的感受器官,是实现自动控制、自动调节的关键环节。其功能越强,系统的自动化程度就越高。现代工程要求传感器能快速、精确地获取信息并能经受严酷环境的考验,它是机电一体化系统达到高水平的保护。

(6) 伺服传动技术

包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置,伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置与部件,对系统的动态性能、控制质量和功能有决定性的影响。它主要包括电动、气动、液压等传动装置。

5. 机电一体化发展前景

随着光学、通信技术、微细加工技术等进入了机电一体化,出现了光机电一体化和微机电一体化等新分支;同时,对机电一体化系统的建模设计、分析和集成方法都进行了深入研究。人工智能技术、神经网络技术及光纤技术等领域取得的巨大进步,为机电一体化技术开辟了发展的广阔天地,也为产业化发展提供了坚实的基础。未来机电一体化的主要发展方向如下:

(1) 智能化

智能化是21世纪机电一体化技术发展的一个重要发展方向。人工智能在机电一体化建设者的研究中日益得到重视,机器人与数控机床的智能化就是重要应用。

所谓“智能化”是对机器行为的描述,是在控制理论的基础上,吸收人工智能、运筹学、计算机科学、模糊数学、心理学、生理学等新思想、新方法,模拟人类智能,使它具有判断推理、逻辑思维、自主决策等能力,以求得到更高的控制目标。当然,想要使机电一体化产品具有与人完全相同的智能,是不可能的,也是不必要的。但是,高性能、高速的微处理器使机电一体化产品赋有低级智能或人的部分智能,则是完全可能而必要的。智能机器人如图1-6所示。

(2) 模块化

模块化是一项重要而艰巨的工程。由于机电一体化产品种类和生产厂家繁多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口的机电一体化产品单元是一项十分复杂但又是非常重要的事。如研制集减速、智能调速、电动机于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、

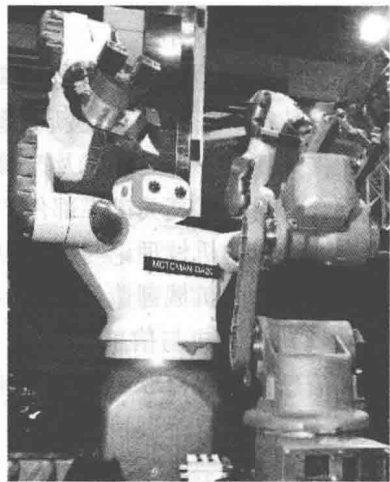


图1-6 智能机器人

识别和测距等功能控制单元,以及各种能完成典型操作的机械装置。这样,可利用标准单元迅速开发出新产品,同时也可以扩大生产规模。这需要制定各项标准,以便各部件、单元的匹配和接口。

(3) 网络化

计算机技术的突出成就是网络技术。网络技术的兴起和飞速发展给科学技术、工业生产、政治、军事、教育及人们的日常生活都带来了巨大的变革。各种网络将全球经济、生产连成一片,企业间的竞争也将全球化。机电一体化新产品一旦研制出来,只要其功能独到,质量可靠,很快就会畅销全球。由于网络的普及,基于网络的各种远程控制和监视技术方兴未艾,而远程控制的终端设备本身就是机电一体化产品。

例如:现场总线和局域网技术使家用电器网络化已成大势,利用家庭网络(Home Net)将各种家用电器连接成以计算机为中心的计算机集成家电系统(Computer Integrated Appliance System, CIAS),如图1-7所示。使人们在家里分享各种高新技术带来的便利与快乐。因此,机电一体化产品无疑将朝着网络化方向发展。

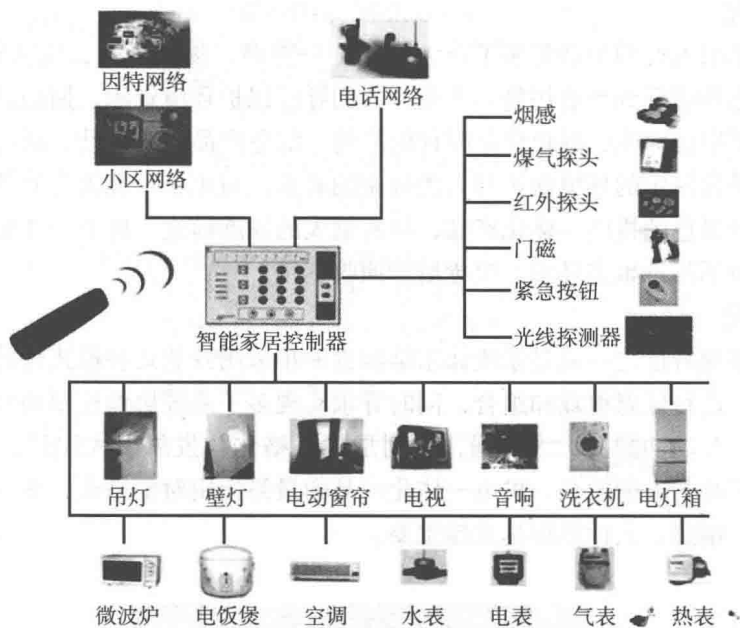


图 1-7 网络化的家电

(4) 微型化

微型化兴起于20世纪80年代末,指的是机电一体化向微型机器和微观领域发展的趋势。国外称其为微电子机械系统(MEMS),泛指几何尺寸不超过 1 cm^3 的机电一体化产品,并向微米、纳米级发展。微机电一体化产品体积小、耗能少、运动灵活,在生物医疗、军事、信息等方面具有不可比拟的优势。微机电一体化发展的瓶颈在于微机械技术,微机电一体化产品的加工采用精细加工技术,即超精密技术,它包括光刻技术和蚀刻技术两类。如图1-8所示。

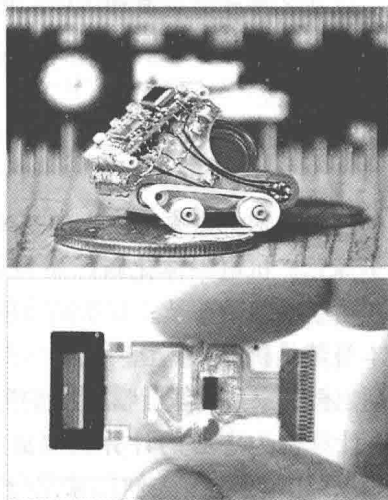


图 1-8 微型产品

(5) 绿色化

工业的发达给人们的生活带来了巨大变化。一方面,物质丰富,生活舒适;另一方面,资源减少,生态环境受到严重污染。于是,人们呼吁保护环境资源,回归自然。绿色产品概念在这种呼声下应运而生,绿色化是时代的趋势。绿色产品在其设计、制造、使用和销毁的生命过程中,符合特定的环境保护和人类健康的要求,对生态环境无害或危害极少,资源利用率极高。设计绿色的机电一体化产品,具有远大的发展前途。机电一体化产品的绿色化主要是指,使用时不污染生态环境,报废后能回收利用。

(6) 系统化

系统化的表现特征之一就是系统体系结构进一步采用开放式和模式化的总线结构。系统可以灵活组态,进行任意剪裁和组合,同时寻求实现多子系统协调控制和综合管理。表现特征之二是通信、互动功能的大大加强,特别是“人格化”发展引人注目,即未来的机电一体化更加注重产品与人的关系。机电一体化产品的最终使用对象是人,如何赋予机电一体化产品人的智能、情感、人性显得越来越重要。



同步练习



1. 简述什么是机电一体化技术,其包含的主要技术有哪些?
2. 简述机电一体化系统的组成要素、组成原则。
3. 简述机电一体化技术的前景。
4. 通过资料查阅,以一个你比较熟悉的、具有机电一体化特征的家用电器,分析其构成。



学习评价



课题学习评价表

序号	主要内容	考核要求	配分	得分
1	机电一体化的定义	1. 明确地说出,什么是机电一体化; 2. 能根据机电一体化的概念,说出几种常见的机电一体化产品; 3. 通过查阅资料,进一步认识到机电一体化技术在国民经济发展中的重要作用	30	
2	机电一体化技术的特点和发展趋势	1. 能说出机电一体化的主要特点; 2. 能通过资料的查阅,叙述机电一体化技术的发展趋势	25	
3	机电一体化技术的组成	1. 能明确机电一体化技术是由哪些主要的技术构成的; 2. 对照一个机电一体化的产品,能正确地指出各部分技术的运用成果; 3. 能结合已经学习过的专业知识,对照机电一体化技术的发展要求,了解这些专业知识的重要作用,明确需要进一步学习的内容	45	
备注			自评得分	