



普通高等教育“十二五”精品规划教材

# 机电一体化技术基础

JIDIAN YITIHUA  
JISHU JICHU

◎主编 倪依纯  
◎主审 胡立平  
◎组编 葛金印



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





普通高等教

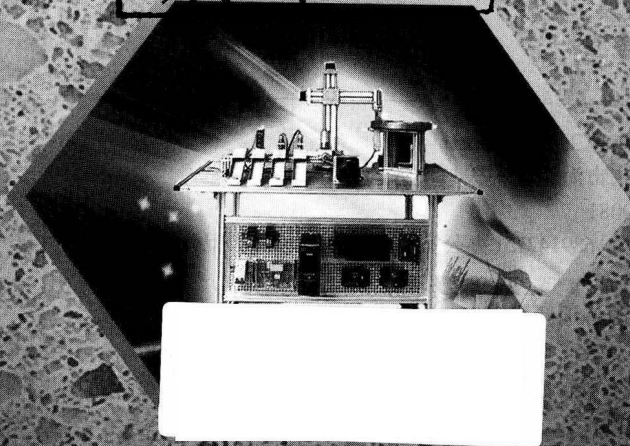
教材

# 机电一体化技术基础

JIDIAN YITIHUA  
JISHU JICHU

◎主编 倪依纯  
◎主审 胡立平  
◎组编 葛金印

常  
藏



 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. —北京: 北京理工大学出版社,  
2012. 6 (2012. 7 重印)

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6142 - 5

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 (2012) 第 136591 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 10

字 数 / 7 千字

版 次 / 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 7 月第 2 次印刷

印 数 / 2001 ~ 4000 册

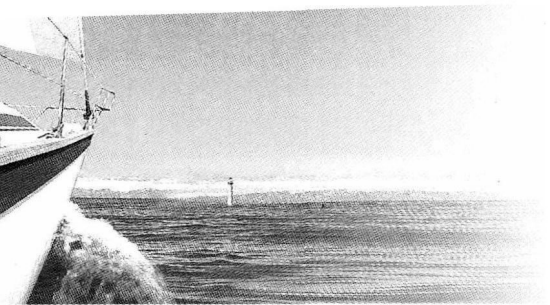
定 价 / 32.00 元

责任编辑 / 胡 静

王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽



普通高等教育“十二五”精品规划教材

## 编审委员会

总顾问：马能和

顾问：金友鹏 程又鹏 王稼伟

主任：葛金印

副主任：（按姓氏笔画排序）

王 猛 朱仁盛 朱崇志 张国军

邵泽强 范次猛 赵光霞

委员：（按姓氏笔画排序）

史先焘 朱安莉 刘冉冉 许忠梅

庄金雨 李红光 李晓男 李添翼

陈大龙 陈海滨 张 平 张 萍

杨玉芳 杨 羊 杨 欢 金荣华

胡立平 胡 剑 查维康 施 琴

耿 淬 唐建成 徐小红 栾玉祥

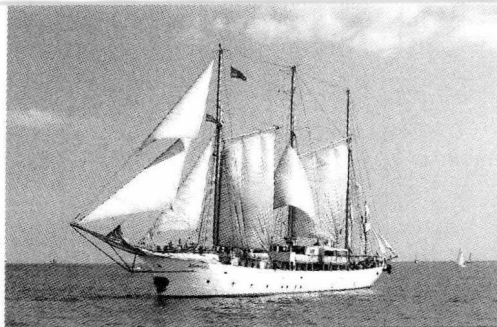
梅荣娣 蒋金云 蒋洪平 强高培

缪朝东 翟雄翔 薛智勇



# 前言

Qianyan



机电一体化是现代工业技术和产品的发展方向，它是机械与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、微电子技术的飞速发展和应用，机电一体化得到了迅猛发展。

机电一体化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。

机电一体化课程的主要任务是：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。

教材采用案例导入，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。

本教材由倪依纯副教授担任主编和统稿。并编写了课题一和课题七。夏春荣和李荣芳老师分别编写了课题四、课题五、课题六和课题二、课题三。

本教材由胡立平副教授担任主审。

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，不生感谢之至！

编者

# 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 .....          | 3   |
| 学习任务二 了解机电一体化系统组成、特点、发展趋势 ..... | 4   |
| 课题二 学习机械基础 .....                | 10  |
| 学习任务一 认识常用机构 .....              | 13  |
| 学习任务二 认识传动机构 .....              | 23  |
| 学习任务三 认识基础零件 .....              | 30  |
| 课题三 学习传感与检测技术 .....             | 42  |
| 学习任务一 认识传感与检测技术 .....           | 45  |
| 学习任务二 学习常用传感器及其应用 .....         | 48  |
| 课题四 学习伺服传动技术 .....              | 65  |
| 学习任务一 认识伺服系统 .....              | 67  |
| 学习任务二 认识伺服控制系统 .....            | 72  |
| 学习任务三 认识电液伺服系统 .....            | 82  |
| 课题五 学习计算机控制接口技术 .....           | 88  |
| 学习任务一 了解计算机控制系统 .....           | 90  |
| 学习任务二 学习计算机控制系统的接口 .....        | 95  |
| 学习任务三 了解工业常用控制计算机 .....         | 99  |
| 课题六 学习可靠性和抗干扰技术 .....           | 107 |
| 学习任务一 认识可靠性 .....               | 109 |
| 学习任务二 认识抗干扰技术 .....             | 112 |
| 课题七 分析典型机电一体化系统分析 .....         | 127 |
| 学习任务一 了解并熟悉数控机床 .....           | 127 |
| 学习任务二 了解工业机器人 .....             | 132 |
| 学习任务三 了解汽车 ABS 制动 .....         | 135 |
| 学习任务四 了解汽车自动变速器 .....           | 139 |
| 参考文献 .....                      | 147 |

## 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. 现代汽车

汽车已经成为现代生活和生产的重要工具，尤其是家用轿车的普及，使得我们的生活已离不开汽车。汽车主要由发动机、底盘、电控系统构成。在公众的印象中，似乎主要是由机械技术和机械结构构成的机械装置。但是，大家知道吗？随着社会的发展，人类对汽车的性能和环保提出了更高的要求。传统的机械装置已经无法解决某些与汽车功能要求有关的问题，因而将逐步被电子技术和汽车融为一体的现代汽车电子控制技术所取代。

现代汽车的结构如图 1-1 所示。

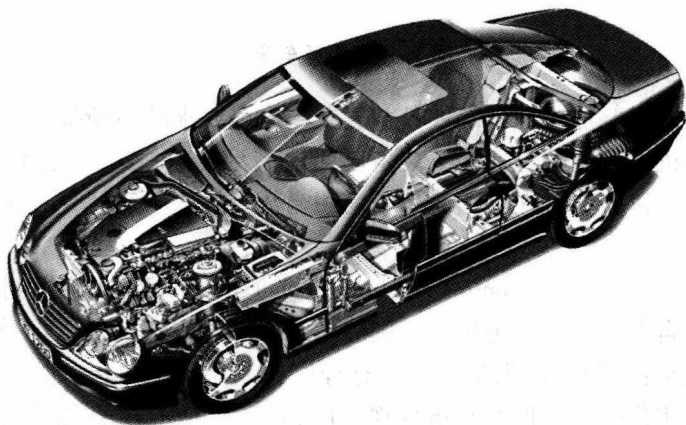


图 1-1 现代汽车结构图



随着微电子技术和传感器技术的应用,汽车已经焕然一新了。当今对汽车的控制已由发动机扩大到全车,例如实现自动变速换挡、防滑制动、雷达防碰撞、自动调整车高、全自动空调、自动故障诊断及自动驾驶等。汽车的控制系統中心内容已发展到以微机为中心的自动控制,改善了汽车的性能、增加了汽车的功能,实现汽车降低油耗、减少排气污染、提高汽车行驶的安全性、可靠性、操作方便和舒适性。

以汽车行驶控制为例,其控制的重点是:汽车发动机的正时点火、燃油喷射、空燃比和废气再循环的控制,使燃烧充分、减少污染、节省能源;汽车行驶中的自动变速和排气净化控制,以使其行驶状态达到最佳化;汽车的防滑制动、防碰撞,以提高行驶的安全性;汽车的自动空调、自动调整车高控制,以提高其舒适性。

## 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1-2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。

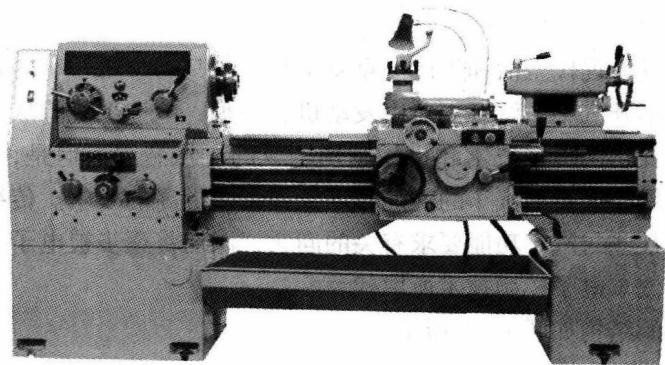


图1-2 普通车床

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 1-3 所示。

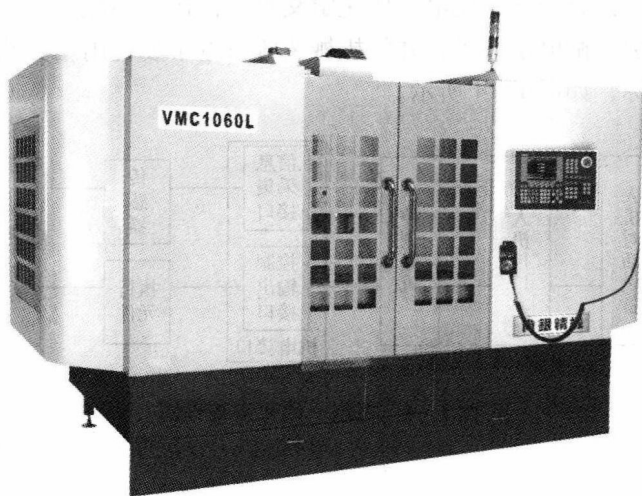


图 1-3 数控加工中心

现代汽车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。

## 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 Mechanics 的前半部分和 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1-4所示。

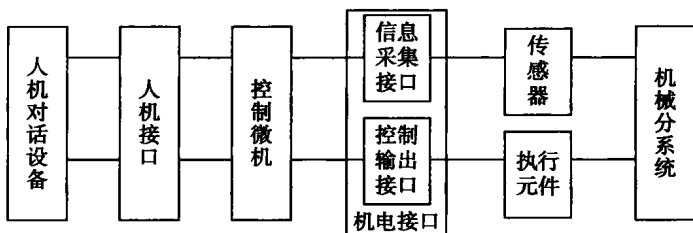


图1-4 机电一体化系统框图

## 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,一般包括机身、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。

#### (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,并变成可识别的信号,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。

#### (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。

#### (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。

### 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。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,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,进行系统设计,设计后的系统仿真,现场调试。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。

### 4. 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1-5所示。

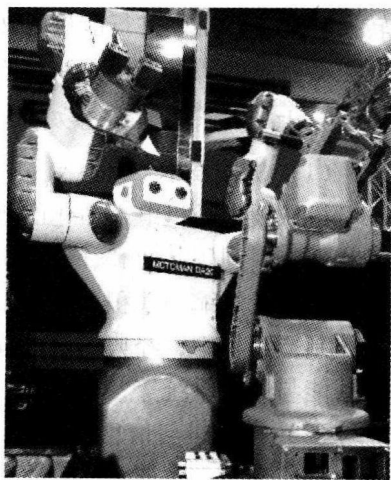


图1-5 智能机器人

#### (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、电机于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、识别和测距等功能的控制单元,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 and 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1-6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。

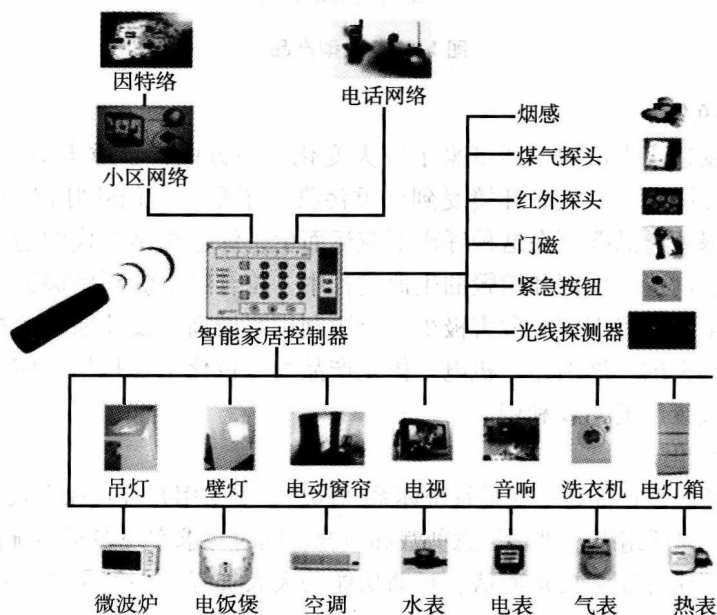


图1-6 网络化的家电

#### (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  $1\text{cm}^3$  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 1-7 所示。

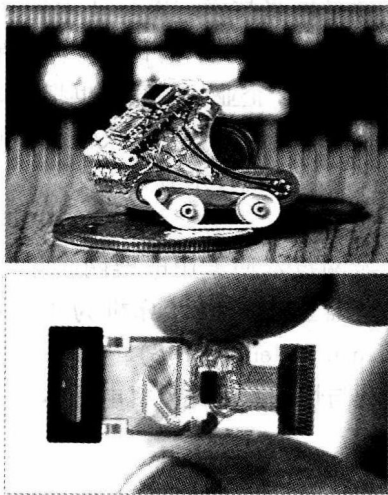


图 1-7 微型产品

#### (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；<br>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；<br>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；<br>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；<br>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；<br>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 |    |

## 课题二 学习机械基础

### 知识目标

了解机械基础知识的范畴；熟悉常用机构类型；熟悉常用传动技术；了解齿轮系，熟悉轴、轴承其连接的内容；了解机械常见材料。

### 能力目标

初步具备识别机械结构及工作过程的能力，锻炼其分析问题、知识小结、资料查阅、拓展学习能力，培养继续学习兴趣。

### 案例导入

#### 门座起重机

门座起重机是港口码头数量和使用最多、结构复杂、机构最多的典型装卸机械，如图 2-1 所示。它具有较好的工作性能和独特的优越结构，通用性好，被广泛地用在港口杂货码头。

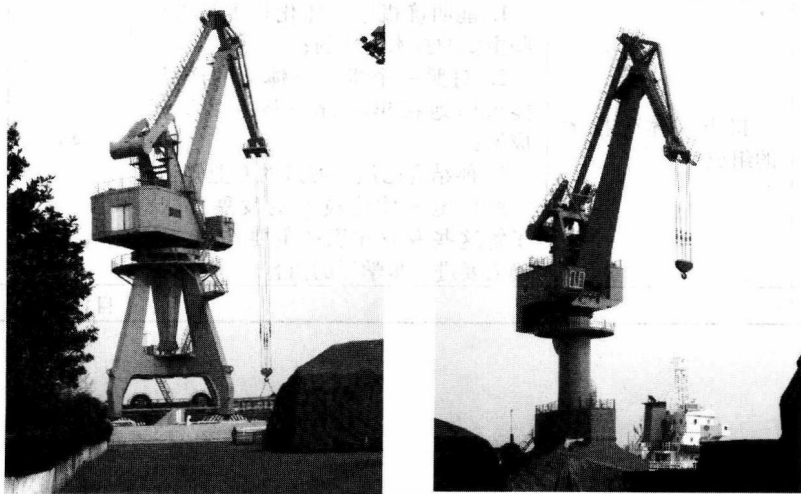


图 2-1 门座起重机实体图

门座起重机主要由金属结构、工作机构（起升、运行、变幅及回转机构）、动力装置和控制系统组成，如图 2-1 所示。门座起重机可实现环形圆柱体空间货物的升降、移动，并可调整整机的工作位置，故可在较大的作业范围内满足货



物的装卸。

门座起重机如何实现货物环形圆柱体空间的运移？其整机含有哪些常用机构？请学习以下内容。

### 知识链接

## 门座起重机介绍

### 1. 门座起重机组成

如图2-2所示，门座起重机的上部旋转部分包括臂架系统、人字架、旋转平台、司机室等，还安装有起升机构、变幅机构、旋转机构。下部运行部分主要由门架和运行机构组成。

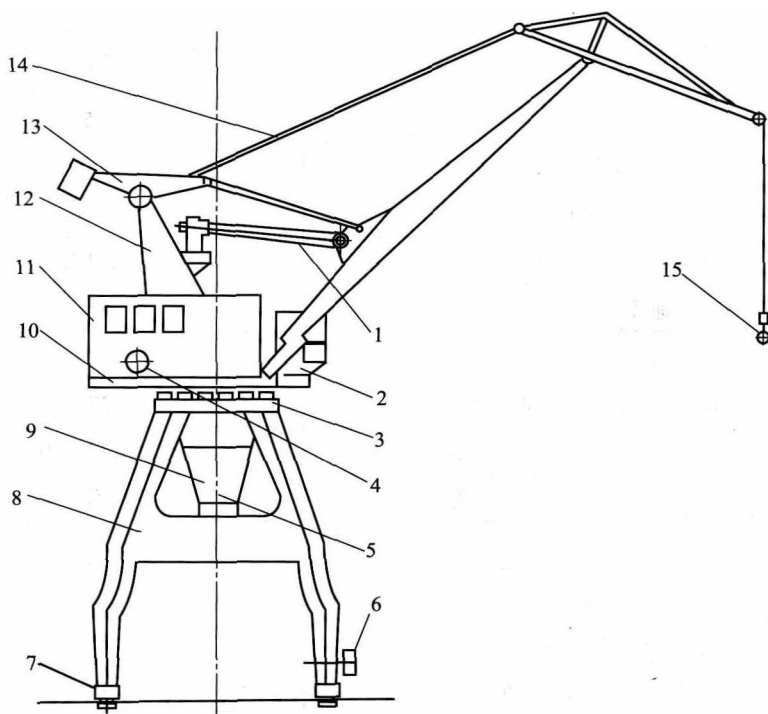


图2-2 门座起重机结构图

- 1—变幅机构；2—操纵室；3—回转机构；4—起升机构；5—电控系统；  
6—电缆卷筒；7—运行机构；8—门架；9—回转柱；10—回转平台；  
11—机器房；12—人字架；13—配重系统；14—臂架系统；15—吊钩

门座起重机简称为门吊、门机，是电力驱动、有轨运行的臂架类起重机之一。它的构造大体可分为两大部分：上部旋转部分和下部运行部分。上部旋转部分安装在一个高大的门形底架（门架）上，并相对于下部运行部分可以实现360°任意旋转。门架可以沿轨道运行，同时它又是起重机的承重部分。