

21世纪高职高专机电类规划教材

机电一体化系统设计

JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

主 编 © 韩 红

 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专机电类规划教材

机电一体化系统设计

主编 韩 红

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化系统设计/韩红主编. —北京: 中国人民大学出版社, 2012. 9

21 世纪高职高专机电类规划教材

ISBN 978-7-300-16283-6

I. ①机… II. ①韩… III. ①机电一体化-系统设计-高等职业教育-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 213930 号

21 世纪高职高专机电类规划教材

机电一体化系统设计

主编 韩 红

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com>(人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京民族印务有限责任公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

版 次 2013 年 3 月第 1 版

印 张 18.75

印 次 2013 年 3 月第 1 次印刷

字 数 447 000

定 价 38.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

前 言

机电一体化是指从系统的观点出发,综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、计算机技术、信息技术、传感检测技术、电力电子技术、信息变换技术以及软件编程技术等相关技术,根据系统功能目标和优化组织目标,合理配置与布局各功能单元,在多功能、高素质、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能价值,并使整个系统实现最优化的系统工程技术。

机电一体化技术不仅仅是机械技术与电子技术的简单叠加,而是二者的交叉融合。作者在多年的教学中发现目前的机电一体化一直缺乏系统论的概念,学生在学习了机械设计基础、机械制造技术、电工与电子技术、检测传感技术、液压与气动技术、计算机技术等一门门课程后,不能将机、电知识很好地融会贯通在一个个实际应用问题中,在机电一体化系统综合设计中更是感到无从下手。知识学了一大堆,但知识叠加堆砌,一旦遇到实际工程项目,仍是一盘散沙,理论性过强,实践性过差。本书就是针对这一普遍存在的问题,将作者10多年的教学经验及科研成果集成并以项目任务为载体,重点突出系统控制论,通过项目制作培养学生的动手实践能力及解决工程实际问题能力,真正做到了理实一体化。

本书主要遵循“项目化教学和任务驱动的理想一体化教学”原则,突出工作任务主线,将机电技术的主要知识点分解到难度由浅入深的18个项目任务中,以“机电系统设计”为核心,通过“做学结合”让学员轻松学习和掌握机电一体化系统设计知识和技能。每一组接近的项目都在一个学习情境中完成,而每一个项目都由几个相似的任务组成,最后在学习情境六的综合项目制作中又将前面五个学习情境中的项目串接起来完成三种机电设备的系统设计,这样知识点纵横交错,学员始终感觉是在机电系统设计这个主线串接的知识链中学习。

全书共分为6个学习情境,内容包括概述、机械系统部件选择与设计、执行装置选择与设计、控制技术及接口部分选择与设计、检测与传感装置选择与设计和综合项目。本书由韩红主编,第1、2、6学习情境由渤海船舶职业学院的韩红老师编写,第3、4、5学习情境由东莞职业技术学院的曹会元老师编写。全书由韩红统稿。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

常用符号

φ^i	级比	x_i	级比指数
n_j	主轴计算转速	D_0	丝杠公称直径
d_1	丝杠小径	d	丝杠大径
D_1	螺母小径	D	螺母大径
d_b	滚珠直径	P	基本导程(或螺距)
ψ	螺旋升角	C_a'	额定动载荷
L_b'	使用寿命	F_m	平均工作载荷
L	丝杠工作长度	n	丝杠转速
K_A	精度系数	K_F	载荷系数
K_H	硬度系数	T_{jmax}	最大静转矩
α	步距角	f_q	启动频率
a_p	脉冲当量	f_c	连续运行频率
J_{eq}	折算到电机轴上的等效负载转动惯量	J_w	折算到电机轴上的工作台等效转动惯量
J_{z1}	齿轮 1 的等效转动惯量	J_{z2}	齿轮 2 的等效转动惯量
J_s	丝杠的等效转动惯量	J_m	电机转子转动惯量
T_f	空载时的摩擦转矩	T_{eq}	工作时的负载转矩
r_L	线性度	K	灵敏度
r_H	迟滞误差	r_R	重复性
P_C	车削功率	F_c	主切削力
Z_m	校验带与小带轮的啮合齿数	P_0	基准额定功率
b_{s0}	基准带宽	b_s	同步带宽度

目 录

CONTENTS

学习情境一 概 述	1
项目 1.1 了解机电一体化系统设计	1
项目 1.2 看看机电设备里都有什么	16
学习情境二 机械系统部件选择与设计	25
项目 2.1 数控机床主传动系统设计	26
项目 2.2 滚珠丝杠副设计	47
项目 2.3 数控机床导轨设计	61
学习情境三 执行装置选择与设计	73
项目 3.1 步进电机选择	75
项目 3.2 直流伺服电机选择	88
项目 3.3 交流伺服电机选择	94
项目 3.4 机械手气缸选择	105
学习情境四 控制技术及其接口部分选择与设计	118
项目 4.1 了解控制技术及接口	119
项目 4.2 用单片机控制机器人	148
项目 4.3 PLC 在自动化设备中的应用	158
学习情境五 检测与传感装置选择与设计	175
项目 5.1 自动生产线上传感器的选择与设计	180
项目 5.2 数控机床上检测元件的选择与设计	191
项目 5.3 机器人传感器选择与设计	207
学习情境六 综合项目	227
项目 6.1 数控车床设计	227
项目 6.2 智能车设计	258
项目 6.3 自动生产线设计	281



学习情境一

概 述

内容提要：

本学习情境主要讲述了机电一体化基础知识，通过数控机床及机器人这两个机电设备使学生认知机电产品，并将前面的基础知识点融入到对两个机电设备的解剖分析中，从实际出发，使学生形成感性认识，为下面的项目制作打下良好的基础。

知识目标：

- (1) 理解机电一体化的概念。
- (2) 了解机电一体化系统的设计类型、设计方法、设计流程。
- (3) 通过解剖数控机床及机器人掌握机电一体化系统的基本组成要素、技术组成。

能力目标：

- (1) 掌握机电设备的拆装步骤、常识及注意事项。
- (2) 具备自主分析机电设备结构及组成的能力。
- (3) 具备自主查阅中、外资料的能力。

项目 1.1 了解机电一体化系统设计



项目目标

- (1) 理解机电一体化的概念。
- (2) 掌握机电一体化系统的基本组成要素、技术组成。
- (3) 了解机电一体化系统的设计类型、设计方法、设计流程。



项目要求

通过教师讲授以及学生查阅资料，使学生系统掌握机电一体化系统设计的基础知识，为今后学习及项目制作打下良好的基础。

1.1.1 引言

机电一体化技术是 20 世纪 60 年代以来，在传统的机械技术基础上，随着电子技术、计算机技术，特别是微电子技术和信息技术的迅猛发展而发展起来的一门新技术。

机电一体化技术综合应用了机械技术、微电子技术、信息处理技术、自动控制技术、检测技术、电力电子技术、接口技术及系统总体技术等群体技术，从系统的观点出发，根据系统功能目标和优化组织结构目标，以智能、动力、结构、运动和感知组成要素为基础，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、能量变换机理进行研究，使得整个系统有机结合与系统集成，并在系统程序和微电子电路的有序信息流控制下，形成物质和能量的有规则运动，在高质量、高精度、高可靠性、低能耗意义上实现多种技术功能复合的最佳功能价值的系统工程技术，机电一体化与其他学科的关系如图 1-1 所示。

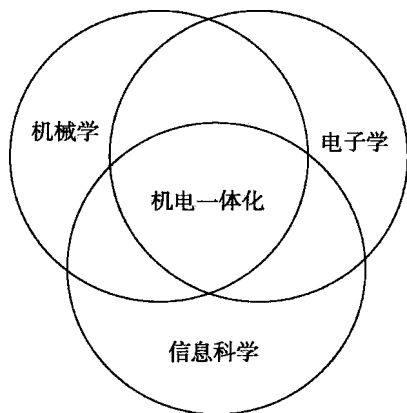


图 1-1 机电一体化与其他学科的关系

机电一体化又称机械电子学，英文称为“Mechatronics”，它由英文机械学“Mechanics”的前半部分与电子学“Electronics”的后半部分组合而成。机电一体化最早出现在 1971 年日本《机械设计》杂志的副刊上，随着机电一体化技术的快速发展，机电一体化的概念被人们广泛接受和普遍使用。1996 年出版的韦氏大词典收录了这个日本造的英文单词，这不仅意味着“Mechatronics”这个单词得到了世界各国学术界和企业界的认可，而且还意味着“机电一体化”的哲理和思想为世人所接受。

到目前为止，就机电一体化这一概念的内涵国内外学术界还没有一个完全统一的表述。日本机械振兴协会的解释是：“机电一体化是指在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引入电子技术，并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成的产品或系统。”美国机械工程师协会提出的定义是：“由计算机信息网络协调与控制



的、用于完成包括机械力、运动与能量流等动力学任务和机械或机电部件相互联系的系统”。20世纪90年代国际机器与机构理论联合会成立了机电一体化技术委员会，它给出这样的定义：“机电一体化是精密机械工程、电子控制和系统思想在产品设计和制造过程中以协同结合”。

现代高新技术（如：微电子技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋开发技术、光纤通信技术及现代医学等）的发展需要具有智能化、自动化和柔性化的机械设备，机电一体化正是在这种巨大的需求推动下产生的新兴领域。微电子技术、微型计算机使信息和智能与机械装置和动力设备有机结合，使得产品结构和生产系统发生了质的飞跃。机电一体化产品，除了具有高精度、高可靠性、快速响应等特性外，还将逐步实现自适应、自控制、自组织、自管理等功能。

由于机电一体化技术对现代工业和技术发展具有巨大的推动力，因此世界各国均将其作为工业技术发展的重要战略之一。20世纪70年代起，在发达国家兴起了机电一体化热，90年代，中国把机电一体化技术列为重点发展的10大高新技术产业之一。

机电一体化技术在制造业的应用从一般的数控机床、加工中心和机械手发展到智能机器人、柔性制造系统（FMS）、无人生产车间和将设计、制造、销售、管理集成一体的计算机集成制造系统（CIMS）。机电一体化产品涉及工业生产、科学研究、人民生活、医疗卫生等各个领域，如：集成电路自动生产线、激光切割设备、印刷设备、家用电器、汽车、微型机械、飞机、雷达、医学仪器、环境监测等，机电一体化广泛的应用领域如图1-2所示。

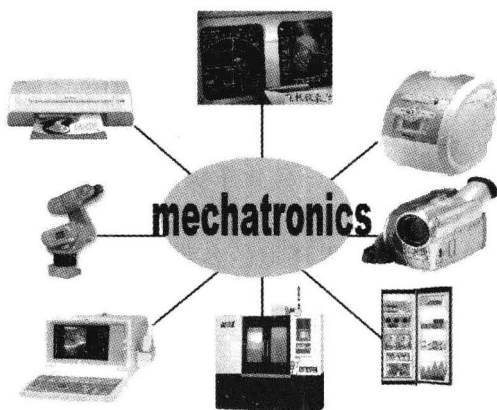


图 1-2 机电一体化的应用领域

机电一体化的发展依赖于其他相关技术的发展，随着信息技术、材料技术、生物技术等新兴学科的高速发展，在数控机床、机器人、微型机械、家用智能设备、医疗设备、现代制造系统等产品及领域，机电一体化技术将得到更加蓬勃的发展。

1.1.2 机电一体化系统的基本组成要素

一个典型的机电一体化系统，应包含以下几个基本要素：机械本体、动力与驱动部分、传感测试部分、执行机构、控制及信息处理部分，如图1-3所示。我们将这些部分归

纳为结构组成要素、动力组成要素、运动组成要素、感知组成要素、智能组成要素。这些组成要素，通过接口耦合来实现运动传递、信息控制、能量转换等，并有机融合成一个完整系统。

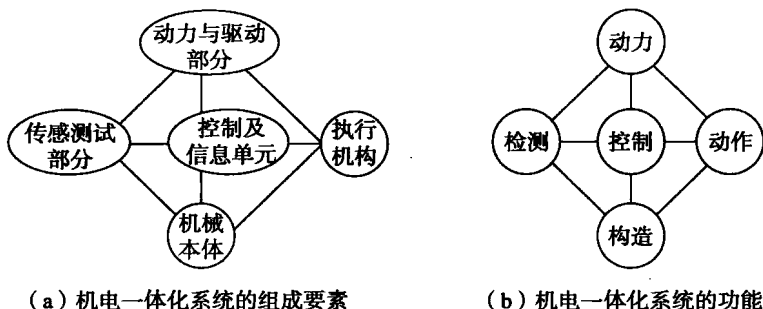


图 1-3 机电一体化系统的组成要素及功能

(1) 机械本体。

机电一体化系统的机械本体包括：机身、框架、连接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高，机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面适应产品高效率、多功能、高可靠性，以及节能、小型、轻量、美观等要求。

(2) 动力与驱动部分。

动力部分按照系统控制要求，为系统提供能量和动力使系统正常运行。用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功能输出，是机电一体化产品的显著特征之一。

驱动部分在控制信息作用下提供动力，驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统要求驱动部分具有高效率 and 快速响应特性，同时要求对水、油、温度、尘埃等外部环境具有适应性和可靠性。由于电力电子技术的高度发展，高性能的步进驱动、直流伺服和交流伺服驱动方式大量应用于机电一体化系统。

(3) 传感测试部分。

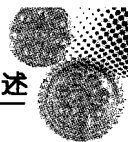
对系统运行中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测，变成可识别信号，传输到信息处理单元，经过分析、处理后产生相应的控制信息。其功能一般由专门的传感器及转换电路完成。

(4) 执行机构。

根据控制信息和指令，完成要求的动作。执行机构是运动部件，一般采用机械、电磁、电液等机构。根据机电一体化系统的匹配性要求，需要考虑改善系统的动、静态性能，如提高刚性、减小重量和适当的阻尼，应尽量考虑组件化、标准化和系列化，提高系统整体可靠性等。

(5) 控制及信息单元。

该单元将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、储存、分析、加工，根据信息处理结果，按照一定的程序和节奏发出相应的指令，控制整个系统有目的地运行。一般由计算机、可编程控制器（PLC）、数控装置以及逻辑电路、A/D 与 D/A 转换、I/O（输入输出）接口和计算机外部设备等组成。机电一体化系统对控制和信息处理单元的基本要求是：提高信息处理速度，提高可靠性，增强抗干扰能力以及完善系统自诊断功能，



实现信息处理智能化。

以上这五部分我们通常称之为机电一体化的五大组成要素。在机电一体化系统中,这些单元和它们各自内部各环节之间都遵循接口耦合、运动传递、信息控制、能量转换的原则,我们称它们为四大原则。

例如,我们日常使用的全自动照相机就是典型的机电一体化产品,其内部装有测光测距传感器,测得的信号由微处理器进行处理,根据信息处理结果控制微型电动机,由微型电动机驱动快门、变焦及卷片倒片机构,从测光、测距、调光、调焦、曝光到卷片、倒片、闪光及其他附件的控制都实现了自动化。

又如,汽车上广泛应用的发动机燃油喷射控制系统就是典型的机电一体化系统。分布在发动机上的空气流量计、水温传感器、节气门位置传感器、曲轴位置传感器、进气管绝对压力传感器、爆燃传感器、氧传感器等连续不断地检测发动机的工作状况和燃油在燃烧室的燃烧情况,并将信号传给电子控制装置 ECU, ECU 首先根据进气管绝对压力传感器或空气流量计的进气量信号及发动机转速信号,计算基本喷油时间,然后再根据发动机的水温、节气门开度等工作参数信号对其进行修正,确定当前工况下的最佳喷油持续时间,从而控制发动机的空燃比。此外,根据发动机的要求, ECU 还具有控制发动机的点火时间、转速、废气再循环率、故障自诊断等功能。

(6) 接口耦合、能量转换。

变换:两个需要进行信息交换和传输的环节之间,由于信息的模式不同(数字量与模拟量、串行码与并行码、连续脉冲与序列脉冲等),无法直接实现信息或能量的交流,需要通过接口完成信息或能量的统一。

放大:在两个信号强度相差悬殊的环节间,经接口放大,达到能量的匹配。

耦合:变换和放大后的信号在环节间能可靠、快速、准确地交换,必须遵循一致的时序、信号格式和逻辑规范。接口具有保证信息的逻辑控制功能,使信息按规定模式进行传递。

能量转换:包含执行器、驱动器,涉及不同类型能量间的最优转换方法与原理。

(7) 信息控制。

在系统中,所谓智能组成要素的系统控制单元,在软、硬件的保证下,完成数据采集、分析、判断、决策,以达到信息控制的目的。对于智能化程度高的系统,还包含知识获取、推理及知识自学习等以知识驱动为主的信息控制。

(8) 运动传递。

运动传递是指运动各组成环节之间的不同类型运动的变换与传输,如:位移变换、速度变换、加速度变换及直线运动和旋转运动变换等。运动传递还包括以运动控制为目的的运动优化设计,目的是提高系统的伺服性能。

1.1.3 机电一体化系统的技术组成

机电一体化系统是多学科技术的综合应用,是技术密集型的系统工程。其技术组成包括:机械技术、检测技术、伺服传动技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术和系统总体技术等。现代的机电一体化产品甚至还包含了光、声、化学、生物等技术的应用。

(1) 机械技术。

机械技术是机电一体化的基础。随着高新技术引入机械行业，机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中，它不再是单一地完成系统间的连接，而是要优化设计系统结构、重量、体积、刚性和寿命等参数对机电一体化系统的综合影响。机械技术的着眼点在于如何与机电一体化的技术相适应，利用其他高新技术来更新概念，实现结构上、材料上、性能上以及功能上的变更，满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能和增加功能的要求。

在制造过程的机电一体化系统中，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。这里原有的机械技术以知识和技能的形式存在。如计算机辅助工艺规程编制（CAPP）是目前 CAD/CAM 系统研究的瓶颈，其关键问题在于如何将各行业、企业、技术人员中的标准、习惯和经验进行表达和陈述，从而实现计算机的自动工艺设计与管理。

(2) 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，实现信息处理的工具是计算机，因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。计算机技术包括计算机的软件技术和硬件技术、网络与通信技术、数据库技术等。

在经典机电一体化系统中，计算机与信息处理部分指挥整个系统的运行。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。因此计算机应用及信息处理技术已成为促进机电一体化技术发展和变革的最活跃的因素。

人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等都属于计算机信息处理技术。

(3) 自动控制技术。

自动控制技术范围很广，主要包括：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。机电一体化系统设计是在基本控制理论指导下，对具体控制装置或控制系统进行设计；对设计后的系统进行仿真，现场调试；最后使研制的系统可靠地投入运行。由于控制对象种类繁多，所以控制技术的内容极其丰富，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：多功能或全功能数控技术与装置、分级控制系统、复杂控制系统的模拟仿真、智能控制技术、自诊断监控技术及容错技术等。

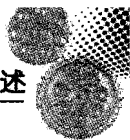
随着微型机的广泛应用，自动控制技术越来越多地与计算机控制技术联系在一起，成为机电一体化中十分重要的关键技术。

(4) 传感与检测技术。

传感与检测装置是系统的感受器官，它与信息系统的输入端相连并将检测到的信息输送到信息处理部分。传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节，它的功能越强，系统的自动化程度就越高。传感与检测的关键元件是传感器。

传感器是将被测量（包括各种物理量、化学量和生物量等）变换成系统可识别的，与被测量有确定对应关系的有电信号的一种装置。

现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息，并能经受各种严酷环境的考验。与计算机技术相比，传感器的发展显得缓慢，难以满足技术发展的要求。不少机电一体化装置不能达到满意的效果或无法实现设计的关键原因在于没有合适的传感器。因此大力开



展传感器的研究对于机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

(5) 伺服驱动技术。

伺服驱动包括电动、气动、液压等各种类型的驱动装置，由微型计算机通过接口与这些传动装置相连接，控制它们的运动，带动工作机械做回转、直线以及其他各种复杂的运动。伺服驱动技术是直接执行操作的技术，伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置或部件，对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动有电液马达、脉冲油缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。由于变频技术的发展，交流伺服驱动技术取得突破性进展，为机电一体化系统提供了高质量的伺服驱动单元，极大地促进了机电一体化技术的发展。

伺服驱动技术主要研究的问题有：提高机电转换部件的精度、可靠性和快速响应性；提高直流伺服电机的性能（高分辨率、高灵敏度）；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）；大功率晶体管的晶闸管等功率器件的研制；中小惯量伺服电机的研制；气动伺服技术的改进；微型电磁离合器的研制等。

(6) 系统总体技术。

系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和全局角度，将总体分解成相互有机联系的若干单元，找出能完成各个功能的技术方案，再把功能和技术方案组成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术解决的是系统的性能优化问题和组成要素之间的有机联系问题。即使各个组成要素的性能和可靠性很好，如果整个系统不能很好协调，系统也很难保证正常运行。

接口技术是系统总体技术的关键环节，主要有电气接口、机械接口、人机接口。电气接口实现系统间的信号联系；机械接口则完成机械与机械部件、机械与电气装置的连接；人机接口提供人与系统间的交互界面。

系统总体技术研究的主要问题有：

- 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，实时控制语言，人一机对话编程技术，专用数据库的建立等。

- 研究接插件技术，提高可靠性。
- 通用接口和数据总线标准化。
- 控制系统成套性和成套设备自动化。
- 软件的标准化问题。

机电一体化技术有着自身的显著特点和技术范畴，为了正确理解和恰当运用机电一体化技术，我们必须认识机电一体化技术与其他技术之间的区别。

1) 机电一体化技术与传统机电技术的区别：

传统机电技术的操作控制主要以电磁学原理的各种电器来实现，如继电器、接触器等，在设计中不考虑或很少考虑彼此间的内在联系。机械本体和电气驱动界限分明，整个装置是刚性的，不涉及软件和计算机控制。机电一体化技术以计算机为控制中心，在设计过程中强调机械部件和电器部件间的相互作用和影响，整个装置在计算机控制下具有一定的智能性。

2) 机电一体化技术与并行技术的区别：

机电一体化技术将机械技术、微电子技术、计算机技术、控制技术和检测技术在设计

和制造阶段就有机结合在一起，十分注意机械和其他部件之间的相互作用。而并行工程是使上述各种技术尽量在各自范围内齐头并进，只在不同技术内部进行设计制造，最后通过简单叠加完成整体装置。

3) 机电一体化技术与自动控制技术的区别：

自动控制技术的侧重点是讨论控制原理、控制规律、分析方法和自动系统的构造等。机电一体化技术将自动控制原理及方法作为重要支撑技术，将自控部件作为重要控制部件，它应用自控原理和方法，对机电一体化装置进行系统分析和性能测算。

4) 机电一体化技术与计算机应用技术的区别：

机电一体化技术只是将计算机作为核心部件应用，目的是提高和改善系统性能。计算机在机电一体化系统中的应用仅仅是计算机应用技术中的一部分，它还可以用于办公、管理及图像处理等广泛应用中。机电一体化技术研究的是机电一体化系统，而不是计算机应用本身。

1.1.4 机电一体化系统设计

在机电一体化系统（或产品）的设计过程中，一定要坚持贯彻机电一体化技术的系统思维方法，要从系统整体的角度出发分析研究各个组成要素间的有机联系，从而确定系统各环节的设计方法，并用自动控制理论的相关手段，进行系统的静态特性和动态特性分析，实现机电一体化系统的优化设计。

1. 机电一体化系统的分类

从控制的角度机电一体化系统可分为开环控制系统和闭环控制系统。

开环控制的机电一体化系统是没有反馈的控制系统，这种系统的输入直接送给控制器，并通过控制器对受控对象产生控制作用，如图 1-4 所示。一些家用电器、简易 NC 机床和精度要求不高的机电一体化产品都采用开环控制方式。开环控制机电一体化系统的优点是结构简单、成本低、维修方便；缺点是精度较低，对输出和干扰没有诊断能力。

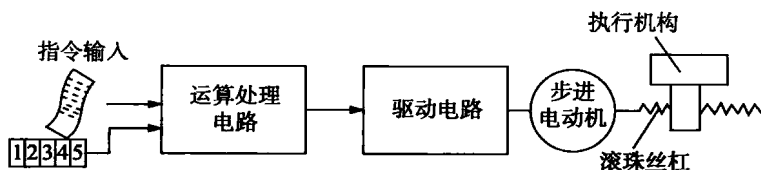


图 1-4 机电一体化开环控制系统

闭环控制的机电一体化系统的输出结果经传感器和反馈环节与系统的输入信号比较产生输出偏差，输出偏差经控制器处理再作用到受控对象，对输出进行补偿，实现更高精度的系统输出，如图 1-5 和图 1-6 所示。现在的许多制造设备和具有智能的机电一体化产品都选择闭环控制方式，如数控机床、加工中心、机器人、雷达、汽车等。闭环控制的机电一体化系统具有精度高、动态性能好、抗干扰能力强等优点。它的缺点是结构复杂、成本高、维修难度较大。

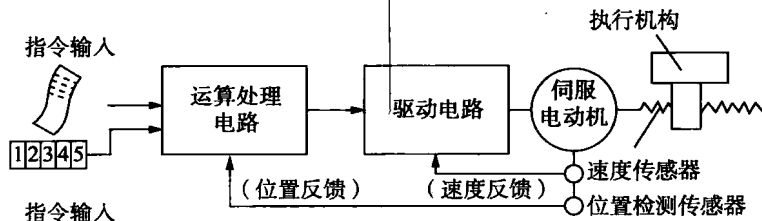


图 1-5 机电一体化半闭环控制系统

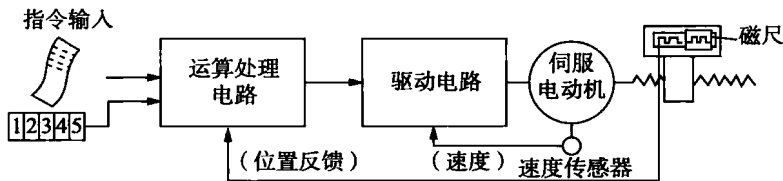


图 1-6 机电一体化闭环控制系统

从用途分类,机电一体化系统的种类繁多,如机械制造业机电一体化设备、电子器件及产品生产用自动化设备、军事武器及航空航天设备、家庭智能机电一体化产品、医学诊断及治疗机电一体化产品,以及环境、考古、探险、玩具等领域的机电一体化产品等。

2. 机电一体化系统(产品)开发的类型

机电一体化系统(产品)开发的类型依据该系统与相关产品比较的新颖程度和技术独创性,可分为开发性设计、适应性设计和变参数设计。

(1) 开发性设计。

开发性设计是一种独创性的设计方式,在没有参考样板的情况下,通过抽象思维和理论分析,依据产品性能和质量要求设计出系统原理和制造工艺。开发性设计属于产品发明专利范畴。最初的电视机和录像机、中国的神舟航天飞机都属于开发性设计。

(2) 适应性设计。

适应性设计是在参考同类产品的基础上,主要原理和设计方案保持不变的情况下,通过技术更新和局部结构调整使产品的性能、质量提高或成本降低的产品开发方式。这一类设计属于实用新型专利范畴。如电脑控制的洗衣机代替机械控制的半自动洗衣机;照相机的自动曝光代替手动调整等。

(3) 变参数设计:

在设计方案和结构原理不变的情况下,仅改变部分结构尺寸和性能参数,使之适用范围发生变化的设计方式。例如,同一种产品不同规格型号的不同设计。

3. 机电一体化系统(产品)设计方案的常用方法

在进行机电一体化系统(产品)设计之前,要依据该系统的通用性、可靠性、经济性和防伪性等要求合理地确定系统的设计方案。拟定设计方案的方法通常有取代法、整体设计法和组合法。

(1) 取代法。

这种方法就是用电气控制取代原系统中的机械控制机构。这种方法是改造旧产品、开

发新产品或对原系统进行技术改造常用的方法。如用电气调速控制系统取代机械式变速机构，用可编程序控制器取代机械凸轮控制机构、中间继电器等。这不但大大简化了机械结构和电器控制，而且提高了系统的性能和质量。这种方法是改造传统机械产品的常用方法。

(2) 整体设计法。

整体设计法主要用于新产品开发设计。在设计时完全从系统的整体目标出发，考虑各子系统的设计。设计过程始终围绕着系统的整体性能要求，各环节的设计都兼顾相关环节的设计特点和要求，使系统各环节间接口有机融合、衔接方便，且大大提高了系统的性能指标和制约了仿冒产品生产的难度。该方法的缺点是设计和生产过程的难度和周期增大，成本较高，维修和维护难度加大。例如，机床的主轴和电机转子合为一体；直线式伺服电机的定子绕组埋藏在机床导轨之中；带减速装置的电动机和带测速的伺服电机等。

(3) 组合法。

就是选用各种标准功能模块组合设计成机电一体化系统。例如，设计一台数控机床，可以依据机床的性能要求，通过对不同厂家的计算机控制单元、伺服驱动单元、位移和速度测试单元以及主轴、导轨、刀架、传动系统等产品的评估分析，研究各单元间接口关系和各单元对整机性能的影响，通过优化设计确定机床的结构组成。此方法开发的机电一体化系统（产品）具有设计研制周期短、质量可靠、生产成本低等特点，且有利于生产管理和系统的使用维护。

1.1.5 机电一体化系统设计流程

机电一体化系统是从简单的机械产品发展而来的，其设计方法、程序与传统的机械产品类似，一般要经过市场调查、方案设计、详细设计、样机试制、小批量生产和正常生产几个阶段，见图 1-7。

1. 市场调研

在设计机电一体化系统之前，必须进行详细的市场调研。市场调研包括市场调查和市场预测。所谓市场调查就是运用科学的方法，系统地、全面地收集所设计产品市场需求和经销方面的情况和资料，分析研究产品在供需双方之间进行转移的状况和趋势，而市场预测就是在市场调查的基础上，运用科学方法和手段，根据历史资料和现状，通过定性的经验分析或定量的科学计算，对市场未来的不确定因素和条件做出预计、测算和判断，为产品的方案设计提供依据。

市场调研的对象主要为该产品潜在的用户，调研的主要内容包括市场对此类产品的需求量，该产品潜在的用户，用户对该产品的要求，即该产品有哪些功能，具有什么性能和所能承受的价格范围等；此外，目前国内外市场上销售的该类产品的情况，如技术特点、功能、性能指标、产销量及价格、在使用过程中存在的问题等都是市场调研需要调查和分析的信息。

市场调研一般采用实地走访调查、抽样调查、类比调查或专家调查等方法。所谓走访调查就是直接与潜在的经销商和用户接触，搜集查找与所设计产品有关的经营信息和技术经济信息。类比调查就是调查了解国内外其他单位开发类似产品所经历的过程、速度和背

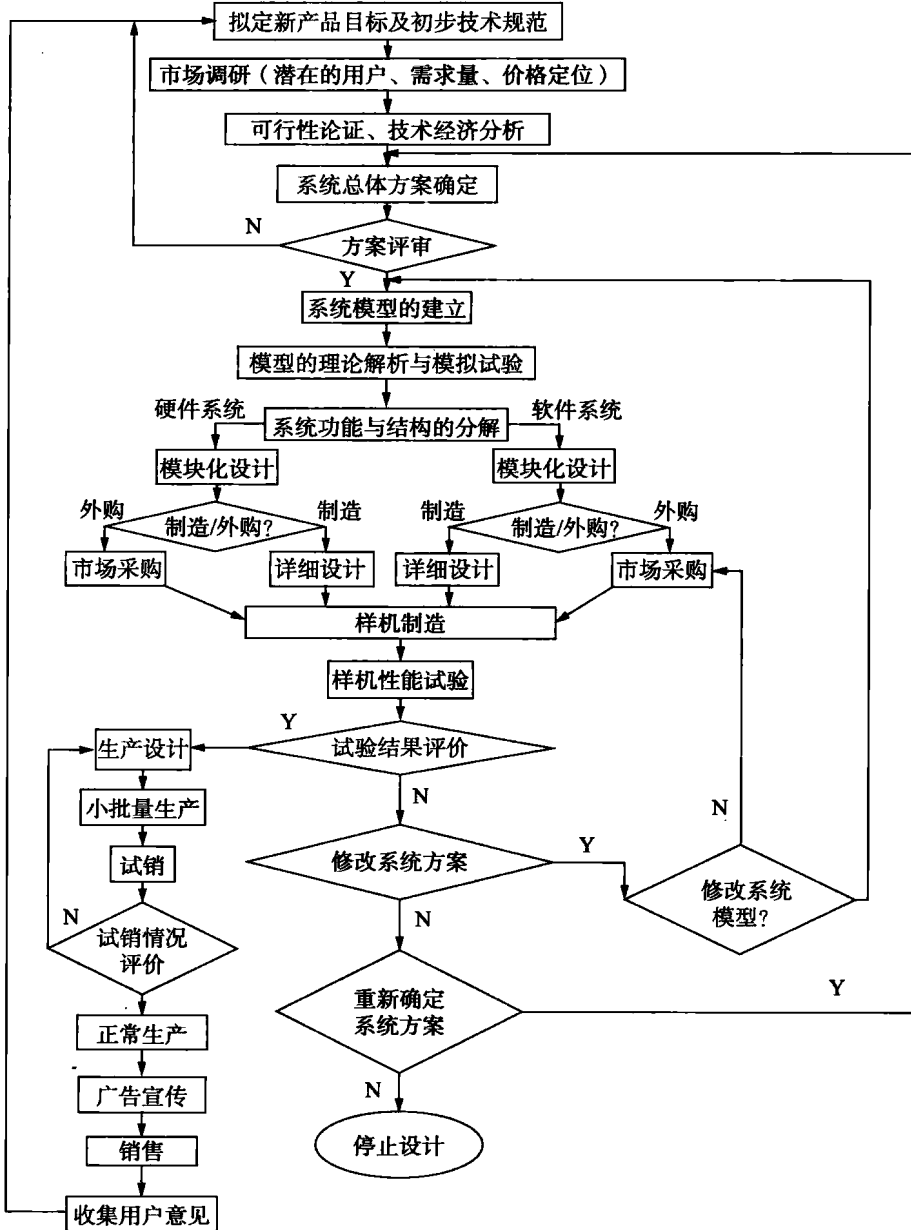


图 1-7 机电一体化系统设计流程

景等情况，并分析比较其与自身环境条件的相似性和不同点，以类推这种技术和产品开发的可能性和前景。抽样调查就是通过向有限范围调查、搜集资料和数据而推测总体的预测方法，在抽样调查时要注意问题的针对性、对象的代表性和推测的局限性。专家调查法就是通过调查表向有关专家征询对设计该产品的意见。

最后对调研的结果进行仔细的分析，撰写市场调研报告。市场调研的结果应能为产品的方案设计与细化设计提供可靠的依据。