



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机电一体化 系统设计

主编 曾 励

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机电一体化系统设计

Jidian Yitihua Xitong Sheji

主 编 曾 励

副主编 张 帆 秦永法 黄晓英



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

00-00101 00-00101

## 内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在曾励主编的《机电一体化系统设计》讲义基础上,引入近些年机电一体化技术的发展成果编写而成。本书全面、系统地论述了机电一体化技术的基本原理、机电一体化系统的构成以及设计计算。全书除总论外共6章,内容包括:机电一体化技术及机电一体化系统的基本概念;机电一体化系统中的机械系统、检测系统、控制系统、伺服系统及计算机接口设计等。本书注意理论与实践的结合,增加计算分析实例,重视解决工程实际问题,且突出重点,层次分明,语言易懂,便于读者自学。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材,还可供从事机电一体化产品设计、制造与研究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 / 曾励主编. —北京: 高等教育出版社, 2010.6

ISBN 978-7-04-029160-5

I. ①机… II. ①曾… 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(2010)第 054738 号

策划编辑 卢广  
责任绘图 尹莉  
责任印制 毛斯璐

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 32.75  
字 数 610 000

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010年6月第1版  
印 次 2010年6月第1次印刷  
定 价 47.20元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29160-00

# 前 言

在新技术革命浪潮中,电子(包括微电子)技术的飞速发展并向机械工业渗透形成了机械、电子(微电子)的复合技术——机电一体化技术。机电一体化技术已在诸多行业中获得了广泛的应用,机电一体化产品也达到了一个崭新的水平,社会对机电复合型技术人才的需求量越来越大。因此,培养高素质的机电工程专业人才是广大高校的重要任务之一。

本书在曾励主编的《机电一体化系统设计》讲义基础上,按照国家“十一五”规划教材的要求编写而成。随着社会对应用型和创新型人才需求的不断提高,本课程的教学内容也需要进行更新和补充,因此作者尽力为读者呈献一本反映机电一体化技术发展最新成果,满足本课程教学需要的特色教材。

本书在讲义的基础上,对章节进行了重新编排,删去了原来的第5章、第6章以及第7章的内容,增加了“机电一体化计算机接口设计”(本书的第4章),原讲义中的各章内容也做了很大的改动。本书参考了大量国内外同类教材和其他有关文献,力求形成以下特点:

(1) 从机械设计制造及其自动化专业的人才培养目标出发,协调系列教材中各门课程内容和结构的关系,形成课程间有机衔接的教材体系。

(2) 在编写内容、结构、例题和习题的选择等方面体现应用型教育的特点,内容精炼、清晰,结构紧凑,实用性强,并力求做到突出重点,层次分明,语言易懂,便于读者自学。

(3) 反映近年来科技发展的新内容、新技术,注重系统性与实用性相结合,注意引入工程应用与开发实例。

(4) 本书注意理论与实践的结合,增加计算分析实例,重视解决工程实际问题。

本书曾励教授任主编,张帆、秦永法、黄晓英任副主编。全书由曾励统稿和定稿,具体编写分工:总论由曾励编写,第1章由秦永法、黄晓英编写,第2章由黄晓英编写,第3章由曾励编写,第4章由张帆编写,第5章由张帆和黄晓英编写,第6章和附表由秦永法编写。

本书的编写得到了扬州大学出版基金和江苏省自然科学基金(BK2008219)的资助,在此表示深深的谢意。限于编者的水平,书中错误疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年11月

# 目 录

总论	1
0.1 概述	1
0.1.1 机电一体化基本概念	1
0.1.2 机电一体化的技术体系	3
0.1.3 机电一体化系统的组成	6
0.2 机电一体化系统设计方法	10
0.2.1 机电一体化系统设计的理论基础	10
0.2.2 机电一体化系统设计的特点	11
0.2.3 机电一体化系统设计技术	12
0.2.4 机电一体化系统设计的类型	13
0.2.5 机电一体化系统设计的方法	13
0.2.6 机电一体化系统的评价决策	14
0.3 机电一体化系统工程路线	20
习题	21
第1章 机械系统设计	22
1.1 概述	22
1.1.1 机械系统的组成	22
1.1.2 机械系统的基本要求	22
1.2 机械系统的结构设计	23
1.2.1 无侧隙齿轮传动机构	23
1.2.2 滚珠丝杠传动机构	28
1.2.3 其他传动机构	38
1.2.4 支承导向机构设计	39
1.2.5 执行机构设计	42
1.3 机械系统的主要动力参数计算	46
1.3.1 机械系统的负载计算	46
1.3.2 机械系统特性参数的计算	50
1.3.3 机械系统特性参数对机电一体化系统的影响	58
1.4 机械系统部件的选择计算	62
1.4.1 齿轮传动副的选择计算	62

1.4.2 滚珠丝杠传动副的选择计算 .....	68
1.4.3 滚动直线导轨副的选择计算 .....	72
1.5 机械系统执行电动机的选择计算 .....	75
1.5.1 执行电动机选择计算步骤 .....	75
1.5.2 执行电动机选择计算实例 .....	81
1.6 机械系统动力学特性分析 .....	89
1.7 机械系统的设计计算实例 .....	92
习题 .....	96
<b>第2章 检测系统设计</b> .....	<b>98</b>
2.1 概述 .....	98
2.2 机电一体化系统常用传感器 .....	99
2.2.1 传感器的组成及基本特性 .....	99
2.2.2 机电一体化系统中常用传感器 .....	103
2.2.3 传感器的选用 .....	125
2.3 信号放大电路 .....	127
2.3.1 高输入阻抗放大器 .....	127
2.3.2 高共模抑制比放大器 .....	129
2.3.3 小信号双线变送器 .....	131
2.3.4 隔离放大器 .....	132
2.3.5 程控增益放大器 .....	134
2.4 信号变换电路 .....	135
2.4.1 基本转换电路 .....	135
2.4.2 电平检测及转换电路 .....	138
2.4.3 模拟信号变换电路 .....	140
2.4.4 电压与脉冲量间的变换电路 .....	147
2.5 信号调制与解调电路 .....	152
2.5.1 信号的调幅及其解调 .....	152
2.5.2 信号的调频及其解调 .....	157
2.5.3 信号的相位调制及其解调 .....	160
2.6 信号的滤波电路 .....	162
2.6.1 滤波器的分类和基本参数 .....	162
2.6.2 一阶滤波器 .....	163
2.6.3 二阶有源滤波器 .....	168
2.6.4 二阶有源滤波器的设计 .....	174
2.7 数字式传感器信号检测电路 .....	176

2.7.1 多路信号的细分与辨向 .....	176
2.7.2 电阻链移相细分与辨向 .....	177
2.7.3 锁相倍频细分与辨向 .....	181
2.7.4 脉冲填充细分与辨向 .....	186
习题 .....	186
<b>第3章 控制系统设计</b> .....	<b>190</b>
3.1 概述 .....	190
3.2 控制系统的数学模型 .....	191
3.2.1 机械系统的数学模型 .....	192
3.2.2 电子与电气环节的数学模型 .....	200
3.2.3 典型位置随动系统的数学模型 .....	207
3.3 控制系统的性能分析 .....	209
3.3.1 控制系统的稳定性分析 .....	209
3.3.2 控制系统的稳态性分析 .....	214
3.3.3 控制系统的动态性能分析 .....	217
3.4 控制系统的综合与校正 .....	218
3.4.1 控制系统的串联校正 .....	219
3.4.2 控制系统的并联校正 .....	221
3.4.3 控制系统的复合校正 .....	225
3.5 数字控制系统分析 .....	229
3.5.1 控制信号的采样与复原 .....	229
3.5.2 $z$ 变换与 $z$ 反变换 .....	234
3.5.3 脉冲传递函数 .....	237
3.5.4 数字(采样)控制系统的性能分析 .....	240
3.6 数字控制器设计 .....	245
3.6.1 PID 数字控制器设计 .....	245
3.6.2 串级数字控制系统 .....	254
3.6.3 前馈—反馈数字控制系统 .....	257
3.6.4 数字控制器的直接设计方法 .....	259
习题 .....	270
<b>第4章 机电一体化计算机接口设计</b> .....	<b>273</b>
4.1 概述 .....	273
4.1.1 人机交互通道及接口 .....	274
4.1.2 计算机的过程输入/输出通道 .....	274
4.1.3 接口设计应考虑的问题 .....	274

4.2 人机接口设计 .....	276
4.2.1 人机接口的类型及特点 .....	276
4.2.2 人机输入接口设计 .....	277
4.2.3 人机输出接口设计 .....	283
4.3 过程输入通道接口设计 .....	297
4.3.1 任务与特点 .....	297
4.3.2 模拟输入通道接口设计 .....	297
4.3.3 开关(数字)量输入通道接口设计 .....	312
4.4 过程输出通道接口设计 .....	320
4.4.1 任务与特点 .....	320
4.4.2 模拟输出通道接口设计 .....	320
4.4.3 开关(数字)量输出通道接口设计 .....	332
习题 .....	337
<b>第5章 伺服系统设计 .....</b>	<b>339</b>
5.1 概述 .....	339
5.1.1 伺服系统的基本结构 .....	339
5.1.2 伺服系统的基本要求 .....	340
5.1.3 伺服系统设计的内容和步骤 .....	342
5.2 电力电子技术基础 .....	343
5.2.1 新型电力电子器件 .....	344
5.2.2 晶闸管可控整流技术 .....	349
5.2.3 脉宽调制功率变换技术 .....	355
5.3 步进伺服系统设计 .....	362
5.3.1 步进电机工作原理及其特性 .....	363
5.3.2 步进电机的控制与驱动 .....	369
5.3.3 步进伺服系统设计计算 .....	382
5.4 直流伺服系统设计 .....	388
5.4.1 直流伺服电机工作原理及类型 .....	388
5.4.2 直流伺服电机的控制原理 .....	390
5.4.3 晶闸管直流伺服电机调速系统 .....	394
5.4.4 直流脉宽度调制型(PWM)伺服电机调速系统 .....	398
5.4.5 直流位置伺服控制系统 .....	402
5.4.6 直流伺服系统参数计算 .....	403
5.5 交流伺服系统设计 .....	410
5.5.1 交流伺服电机的种类和结构特点 .....	411



---

5.5.2 交流伺服电机的控制与驱动 .....	411
习题 .....	431
<b>第6章 典型机电一体化系统设计与分析 .....</b>	<b>433</b>
6.1 可编程控制(PLC)机电系统 .....	433
6.2 数控步进伺服系统 .....	435
6.3 电液伺服系统 .....	446
6.4 计算机控制的直流可逆调速系统设计 .....	455
习题 .....	488
<b>附表 电动机技术数据表 .....</b>	<b>490</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>510</b>

# 总 论

## 0.1 概述

### 0.1.1 机电一体化基本概念

机电一体化是随着生产和技术的发展,在以机械技术和电子技术等为主的多门技术学科相互渗透、相互结合过程中逐渐形成和发展起来的一门新兴边缘技术学科。

机电一体化(mechatronics)一词最早(20世纪70年代初)起源于日本,这个词的前半部分“mecha”表示mechanics(机械学),后半部分“tronics”表示electronics(电子学)。因此,字面上表示机械学与电子学两个学科的综合,我国通常称为机电一体化或机械电子学。但是,机电一体化并非是机械技术与电子技术的简单叠加,而是有着自身体系的新型学科。

机电一体化产生与迅速发展的根本原因在于生产的发展和科学技术的进步,其中特别是自动化技术与计算机科学起了主要作用。第二次世界大战以后,几乎同时诞生的系统工程、控制论和信息论这三门科学既是自动化与机电一体化的理论基础,也是机电一体化技术的方法论。而微电子技术和半导体大规模集成电路制造技术的进步,则为机电一体化与自动化技术奠定了物质基础。反过来,机械制造技术也对微电子学和自动化技术做出了重大贡献。如大规模集成电路芯片的制造就是以超精密机械加工为基础的。而这种加工设备本身又是一种计算机控制的自动化系统,即机电一体化的系统。由此可见,机电一体化的产生既是微电子技术 with 自动化技术发展的结果,又是信息论、控制论和系统工程付诸生产实践的结果。

随着生产和科学技术的发展,机电一体化本身的含义还在被赋予新的内容。因此,机电一体化这一术语尚无统一的定义,不过其基本概念和含义可概括为:机电一体化是从系统的观点出发,将机械技术、微电子技术、计算机信息技术、自动控制技术等,在系统工程的基础上有机地加以综合,实现整个机械系统最优化而建立起来的一门新的科学技术。机电一体化是一种崭新的学术思想,它除了强调机与电的有机结合外,还有更深刻、更广泛的含义。按照机电一体化思想,凡是由各种现代高新技术与机械和电子技术相互结合而形成的各种技术、产品以及系统都属

于机电一体化范畴。例如,机电液(液压)一体化、机电光(光学)一体化、机电仪(仪器仪表)一体化以及机电信(信息)一体化等,实质上都可归结为机电一体化。机电一体化包含机电一体化技术和机电一体化系统两方面的内容。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的、使机电一体化系统得以实现、使用和发展的技术。机电一体化系统有机电一体化产品和机电一体化生产系统。机电一体化产品是指采用机电一体化技术,在机械产品基础上创造出来的新一代产品或设备;机电一体化生产系统是运用机电一体化技术把各种机电一体化设备按目标产品的要求组成的一个高生产率、高柔性、高质量、高可靠性、低能耗的生产系统。

目前,机电一体化产品及系统已经渗透到国民经济和日常工作、生活的许多领域。电冰箱、全自动洗衣机、录像机、照相机等家用电器,电子打字机、复印机、传真机等办公自动化设备,核磁共振成像诊断仪、纤维光束内窥镜等医疗器械,数控机床、工业机器人、自动化物料搬运车等机械制造设备,以及生产制造机电产品或非机电产品的 CIMS(计算机集成制造系统)、FMS(柔性制造系统)等都是典型的机电一体化产品或系统。机电一体化产品和系统的种类繁多。随着科学技术的蓬勃发展,新的机电一体化产品和系统不断涌现出来。目前机电一体化产品和系统的分类如图 0.1 所示。

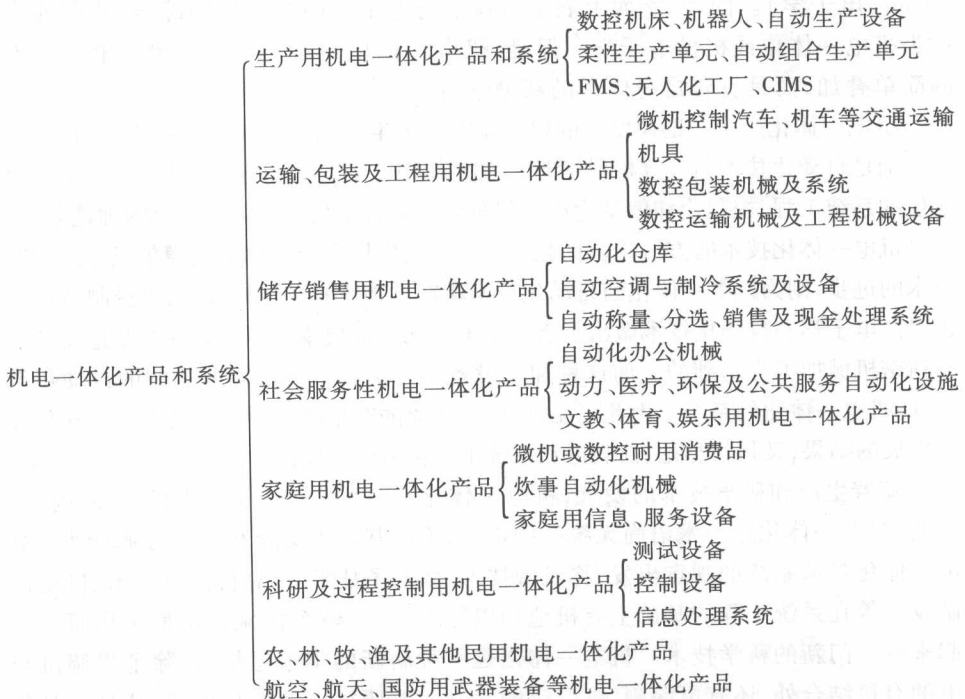


图 0.1 机电一体化产品和系统分类

科学技术的进步为机电一体化的产生和发展创造了条件,社会需求则为之提供了动力。反过来,机电一体化的发展又不断促进科学技术的进步和社会需求。其总的发展趋势可概括为以下三个方面:

1) 性能上向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展。如以数控机床为例,其控制精度能实现  $0.1\ \mu\text{m}$  的高精度,其进给速度可达  $24\sim 100\ \text{m}/\text{min}$ ,甚至更高,其联动和控制的轴数能实现  $9\sim 15$  轴,同时增加了人一机对话功能,设置了智能 I/O 通道和智能工艺数据库,给使用、操作和维护带来了极大的方便。今后,随着专用集成电路特别是超大规模集成电路的发展,机电一体化产品将越来越向高性能方向发展。

2) 功能上向小型化、轻型化、多功能化方向发展。小型化、轻型化是精细加工技术发展的必然,也是提高效率的需要。通过结构优化设计和精细加工,可使机械的重量减轻到与人体重量相称的程度。多功能化也是自动化发展的要求和必然结果。一般机电一体化产品为适应自动化控制规模的不断扩大和高技术的发展,不仅要求它们具有数据采集、检测、记忆、监控、执行、反馈、自适应、自学习等多种功能,甚至还要具有神经系统功能,以便能实现整个生产系统的最佳化和智能化。机械制造业绝不只是要求单机自动化,而是要求能实现一条生产线、一个车间、一个工厂甚至更大规模全盘自动化。因此,以数控机床为例,就不仅要求数控机床应具备计算机通信和联网的功能,还应具有很强的图形功能、刀具轨迹描述、CAD/CAM 一体化等多种功能。

3) 层次上向系统化、复合集成化的方向发展。复合集成既包含各种分技术的互相渗透、互相融合和各种产品不同结构的优化与复合,又包含在生产过程中同时处理加工、装配、检测、管理等多种工序。为了实现多品种、小批量生产的自动化与高效率,应使系统具有更广泛的柔性。首先可将系统分为若干个层次,使系统功能分散,并使各部分协调而又安全地运转,然后,再通过硬、软件将各个层次有机地连接起来,使其性能最优、功能最强。柔性制造系统就是这种层次结构的典型。

### 0.1.2 机电一体化技术体系

机电一体化技术是 20 世纪 50 年代以来,在传统技术基础上,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发展而发展起来的新技术。它是建立在机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术、自动控制技术、传感与检测技术、电力电子技术、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级综合技术。

由于机电一体化技术对工业发展具有巨大推动力,因此世界各国均将其作

为工业技术发展的一项重要战略。20世纪70年代起在发达国家兴起了一股机电一体化热,应用范围从一般数控机床、加工中心发展到智能机器人和柔性制造系统(FMS)、将设计、制造、销售、管理集成为一体的计算机集成制造系统(CIMS),并渗透到自动生产线、激光切割、印刷机械等领域。

### 1. 机电一体化技术的主要特征

机电一体化技术的主要特征是:

1) 整体结构最优化 在传统机械产品中,为了增加功能或实现某一种控制规律,往往靠增加机械机构的办法来实现。例如,为了达到变速的目的,出现了有一系列齿轮组成的变速箱;为了控制机床的走刀轨迹而出现了各种形状的靠模;为了控制柴油发动机的喷油规律出现了凸轮机构等。随着电子技术的发展,人们逐渐发现,过去笨重的齿轮变速箱可以用轻便的电子调速装置来代替;精确的运动规律可以通过计算机的软件来调节。由此看来,在设计机电一体化系统时,可以从机械、电子、硬件、软件四个方面去实现同一种功能。

2) 系统控制智能化 这是机电一体化技术与传统工业自动化最主要的区别之一。电子技术的引入显著地改变了传统机械那种单纯靠操作人员,按照规定的工艺顺序或节拍,频繁、紧张、单调、重复的工作状况。可以依靠电子控制系统,按照预定的程序一步一步地协调各相关机构的动作及功能关系。有些高级的机电一体化系统还可以通过控制对象的数学模型,根据任何时刻外界各种参数的变化情况,随机自寻最佳工作程序,以实现最优化工作和最佳操作。大多数机电一体化系统都具有自动控制、自动检测、自动信息处理、自动修正、自动诊断、自动记录、自动显示等功能。在正常情况下,整个系统按照人的意图(通过给定指令)进行控制,一旦出现故障,就自动采取应急措施,实现自动保护。

3) 操作性能柔性化 计算机软件技术的引入,能使机电一体化系统的各个传动机构的动作通过预先给定的程序,一步一步地由电子系统来协调。在生产对象变更需要改变传动机构的动作规律时,无须改变其硬件机构,只要调整由一系列指令组成的软件,就可以达到预期的目的。这种软件可以由软件工程人员根据要求动作规律及操作事先编好,使用磁盘或数据通信方式,装入机电一体化系统里的存储器中,进而对系统机构动作实施控制和协调。

### 2. 机电一体化的相关技术

当代科学技术的发展出现了纵向分化、横向综合的重要趋势。机电一体化就是机械技术和电子技术相互交叉、渗透和综合发展的产物。它是一门新兴的学科,支撑它的学科主要有机械学、电子学、微电子学、控制论等。就其技术体系而言,机电一体化技术主要涉及机械技术、计算机与信息处理技术、检测与传感

技术、自动控制技术、伺服驱动技术以及系统总体技术等众多的共性关键技术。各种技术之间的关系如图 0.2 所示。

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,而是在系统结构、重量、体积、刚性与耐用方面对机电一体化系统有着重要的影响。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的辅助技术,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技能的形式存在,是任何其他技术代替不了的。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,其关键在于如何将广泛存在于各行业、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、判断和决策等,实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化系统中,计算机与信息处理装置指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时直接影响到产品工作的质量和效率。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和系统发展的最活跃的因素。人工智能、专家系统、神经网络技术等都属于计算机与信息处理技术。

3) 检测与传感技术 检测与传感技术的研究对象是传感器及其信号检测装置。传感器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,并将检测到的信号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)转换成系统可以识别的,与被测量有确定对应关系的有用电信号的一种装置。机电一体化技术要求传感器能快速、精确地获得信息,并能在相应的应用环境中具有高可靠性。

4) 自动控制技术 自动控制技术范围很广,主要包括在基本控制理论指导

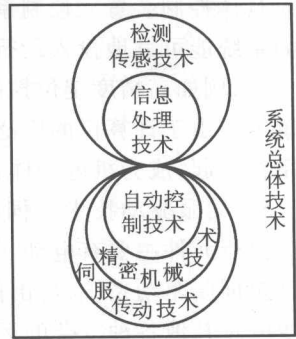


图 0.2 机电一体化共性关键技术之间的关系

下对具体控制装置或控制系统的设计,设计后的系统仿真、现场调试,最后使研制的系统能可靠地投入运行。由于控制对象种类繁多,所以控制技术的内容极其丰富,例如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断校正、补偿、再现、检索等。由于计算机的广泛应用,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。

5) 伺服驱动技术 伺服驱动技术的主要研究对象是执行元件及其驱动装置。执行元件主要有电动、气动、液压等多种类型,由微型计算机通过接口输出信息至伺服驱动系统,再由伺服驱动器控制它们的运动,带动工作机械作回转、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与部件。它对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动装置有电液马达、脉冲液压缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。近年来由于变频技术的进步,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,促进了机电一体化技术的发展。

6) 系统总体技术 系统总体技术是一种从整体目标出发,用系统工程的观点和方法,将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方案,然后再把功能和技术方案组合进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术所包含的内容很多,例如接口转换、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。

### 0.1.3 机电一体化系统的组成

#### 1. 机电一体化系统的功能构成

机电一体化系统主要有:①自成系统的机电一体化产品、设备;②由机电一体化产品组成的生产制造各种机电产品或非机电产品的机、电、信、管一体化系统,即机电一体化生产系统。

任何一种产品或系统都是为满足人们的某种需要而开发和生产的,也就是说,都具有相应的目的功能。不同的产品或系统具有具体使用的不同目的和功能,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,如图0.3所示。也就是说,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。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、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。

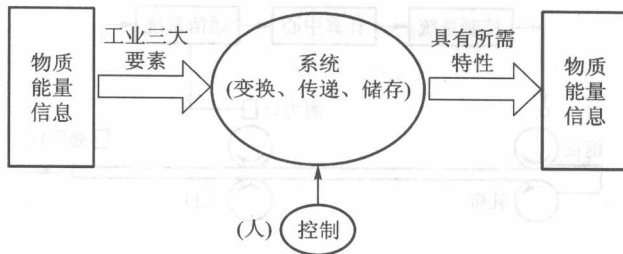


图 0.3 系统目的功能

产品的目的功能是通过其内部功能实现的。机电一体化产品一般都具备四种内部功能,即主功能、动力功能、控制功能和构造功能,如图 0.4 所示。其中主功能是实现产品目的功能直接必需的功能,主要对物质、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。控制功能包括信息检测、处理及控制,其作用是根据产品内部信息和外部信息对整个产品进行控制,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,并保证系统工作中的强度和刚度所必需的功能。

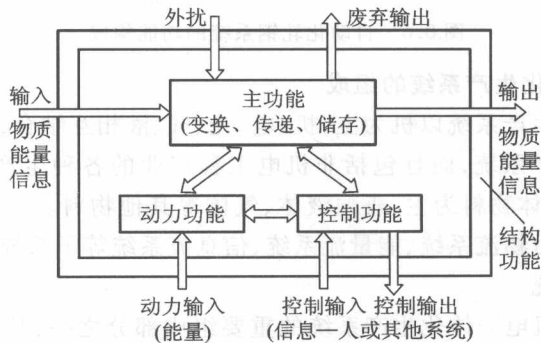


图 0.4 系统内部功能

例如,计算机控制的自动化轧钢机系统原理如图 0.5 所示。被轧制的钢锭在高温状态下进入轧机,经过多次轧制,最后达到所要求的尺寸。为了精确控制轧钢板的厚度,采用  $\gamma$  射线测厚仪测量钢板尺寸,采用压磁式测力计测量轧制力。测量到的信息传输到计算机,计算机根据厚度和力的信息,结合所轧制钢板材料特性、轧制速度等许多复杂因素进行分析和计算,从而获得调节参数,再由控制系统根据调节参数调整轧辊的位置,以确保在各种干扰条件下轧制的钢板厚度均匀。该系统的功能构成如图 0.6 所示。



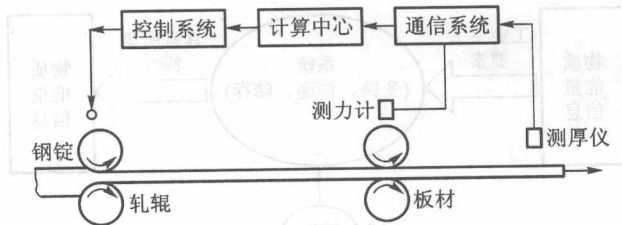


图 0.5 自动化轧钢系统原理图

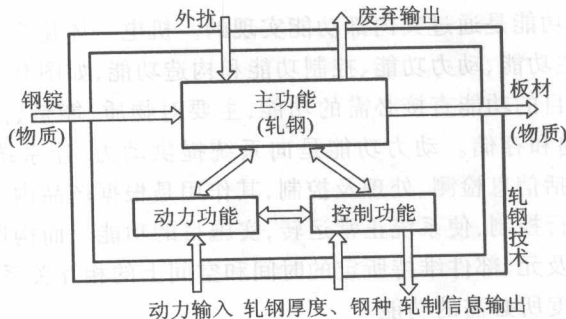


图 0.6 自动化轧钢系统的功能构成

## 2. 机电一体化生产系统的组成

机电一体化生产系统以机为主,机、电、光、气、液相互结合,它不仅包括机电工程产业中的生产系统,而且包括非机电工程产业的各种生产系统,覆盖面更广,生产对象以固体物料为主,兼顾液体、气体等其他物料。一般机电一体化生产系统可看作是由物流系统、能量流系统、信息流系统等子系统组成的。

### (1) 物流系统

物流系统是机电一体化生产系统的重要组成部分之一,其作用是将生产系统中的物料,如毛坯、半成品、成品、工夹具等及时送到有关设备或仓库的设施。在物流系统中,物料首先由供料系统输入生产系统,然后由输送系统或机械手送至指定位置。物流系统一般由三部分组成:

- 1) 输送系统:使加工设备之间建立自动运行的联系。
  - 2) 储存系统:具有自动存取机能,用以调节加工节拍的差异。
  - 3) 操作系统:建立加工设备与输送系统、储存系统间的自动化联系。
- 物流系统包括无人搬运小车、机器人、自动化仓库、工具管理装置等。柔性制造系统的物流可以是无固定节拍、无一定顺序的运送流,加工过程中各种工件及工具混杂在一起,因此物流系统相当复杂。