

机械设计禁忌丛书

机电一体化系统

设计禁忌

高安邦 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TH-39/94

2008

机械设计禁忌丛书

机电一体化系统设计禁忌

高安邦	俞 宁	姜福祥	编著
徐建俊	盛定高	宗宏森	
		邵俊鹏	主审

机械工业出版社

本书从实用的角度出发,详尽介绍了机电一体化系统中各关键技术的设计理念和方法;然后再针对实用的设计理念和方法,介绍了有关设计应注意的问题。本书注重理论联系实际,为了使读者在设计时少走弯路,在介绍设计禁忌的同时,有意识地选择介绍了一些典型的有代表性的设计示范实例,其最终目的还是期望能够指导读者进行自主创新,真正设计出先进的机电一体化高新技术产品。全书共分8章,内容包括机电一体化系统设计理念与禁忌、精密机械系统设计与禁忌、传感检测系统设计与禁忌、伺服系统设计与禁忌、机电一体化接口设计与禁忌、微机控制系统设计与禁忌、机电一体化总体设计与禁忌、典型机电一体化系统设计举例与禁忌。

本书可作为设计机电一体化系统的技术人员的参考书,也可作为相关专业大专院校师生的指导书。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计禁忌/高安邦等编著. —北京:机械工业出版社, 2008. 1

(机械设计禁忌丛书)

ISBN 978-7-111-22163-0

I. 机… II. 高… III. 机电一体化—系统设计 IV. TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第127892号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:白刚 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·36.5印张·903千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-22163-0

定价:64.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

“机电一体化”是将机械、电子与信息技术进行有机结合,以实现工业产品和生产过程整体最优化的一种高新技术,是建立在精密机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术、自动控制技术、传感与测试技术、电力电子技术、伺服驱动技术、系统总体技术等现代新技术群体基础之上的一种高科技,已形成了以“机械”为主体、以“控制”和“计算机”为技术核心,机械、电气和计算机三分天下的实际格局。它的发展,使传统机械如虎添翼,超越了操作机械和动力机械的范畴,进入了智能化、柔性化、信息化、人性化、绿色化、多功能化、全自动化、微机数字化和远程网络遥控化的新时代,不仅极大地解放了人类的体力劳动,还极大地解放了人类的脑力劳动。因此,“机电一体化”已成为当今世界工业发展的主要趋势,也带动了传统机械工业的一场崭新的革命。其典型产品为:数控机床、智能机器人、新型武器装备和作战指挥系统、高精尖的航空航天飞行器、用微电子(尤其微机)技术装置了的自动化生产设备、动力设备、交通运输设备、生产过程自动化设备、通信设备、办公设备和家用电器,甚至包括各种微电脑控制的智能化儿童玩具等。这些都是当今世界高新技术的核心和应用成果的集中体现。机械工业要争生存、求发展,必须走“机电一体化”之路已是不争的事实,世界各国都已把“机电一体化”列入本国高新技术发展的前沿领域,纷纷想抢占该项技术的制高点!

本书经过认真思考,总结了我们多年来从事“机电一体化”技术的教学发展和科研开发的经验,在广泛收集大量图书和技术资料的基础上,博采众长、取其精华,利用科学的发展观,论述严密地阐明了本技术以机械为主体、以控制和计算机为技术核心的科学规律;并首先从正面详尽介绍了机电一体化系统中各关键技术的设计理念和方法;然后再针对实用的设计理念和方法,有针对性地典型介绍了有关设计应注意的禁忌问题;正反结合,使读者易于掌握正确的设计理念和方法,防止犯设计错误,少走弯路。本书理论联系实际、学用紧密结合,并有意识地选择介绍了一些典型的有代表性的设计示范实例;其最终目的还是期望能够指导读者与时俱进,不断自主创新,真正设计出先进的机电一体化高新技术产品。本书的编著已列入中国高等教育学会教育科学“十一五”规划研究课题(课题批准号:06AIP0090046)、江苏省教育科学“十一五”规划2006年度课题(高校系统立项序号:179)、山东省教育科学“十一五”规划2006年度课题(立项编号:115GG41)、黑龙江省教育厅2006年度科学技术研究项目(项目编号:11513037)。

本书共分8章:第1章,机电一体化系统设计理念与禁忌;第2章,精密机械系统设计与禁忌;第3章,传感检测系统设计与禁忌;第4章,伺服系统设计与禁忌;第5章,机电一体化接口设计与禁忌;第6章,微机控制系统设计与禁忌;第7章,机电一体化总体设计与禁忌;第8章,典型机电一体化系统设计举例与禁忌。

参加本书编写工作的有高安邦教授(制定编写大纲和第1、5章),俞宁副教授、高级工程师(第6章),姜福祥副教授、高级工程师(第7章、第8.1节),徐建俊副教授、高级工程师(第4章、第8.3节),盛定高副教授、高级工程师(第2章、第8.2节),宗宏森高级工程

IV

师(第3章,第8.4节)。全书由高安邦教授统稿。本书的编写得到了淮安信息职业技术学院和哈尔滨理工大学的大力支持和帮助。哈尔滨理工大学机械动力工程学院院长、博士生导师邵俊鹏教授担当主审,对书稿提出了许多宝贵意见;高安邦教授指导的硕士学位研究生段曙彬、杨帅、姜姗、刘磊、卫军峰、吕宝增、岳满林、朱静、裴立云、朱绍胜、于建明、居海清、蒋继红、吴会琴、陈玉华、卢志珍、刘业亮、张守峰和本科生李忠华等都为本书的编写做了大量的资料收集、打字、绘图等工作。在此表示最衷心的感谢!

机电一体化技术的系统理论还处在自身不断发展、充实、完善之中,其系统设计正常的设计理念尚未形成标准,达成共识;其系统设计中公认的禁忌问题可供查阅应用的文献资料就更少了。因此,鉴于编著者的水平和经验有限,书中错误、疏漏、不足之处肯定不少,恳请读者和专家们不吝批评、指正,以便今后更好地完善和提高。

编 者

目 录

前言

第1章 机电一体化系统设计

理念与禁忌 1

- 1.1 机电一体化系统的基本概念 1
- 1.2 机电一体化系统的基本组成 3
 - 1.2.1 机电一体化系统的功能组成 3
 - 1.2.2 机电一体化系统的构成要素 5
- 1.3 机电一体化系统的分类和发展 7
 - 1.3.1 机电一体化系统的分类 7
 - 1.3.2 机电一体化系统的发展 8
- 1.4 机电一体化系统设计的理论基础与关键技术 10
 - 1.4.1 机电一体化系统的理论基础 10
 - 1.4.2 机电一体化系统的关键技术 11
- 1.5 机电一体化系统设计 14
 - 1.5.1 机电一体化系统的设计理念 14
 - 1.5.2 机电一体化工程路线 16
 - 1.5.3 机电一体化系统设计流程 16
 - 1.5.4 机电一体化系统的四视图设计 19
- 1.6 机电一体化系统设计理念认识禁忌 22

第2章 精密机械系统设计与禁忌 26

- 2.1 精密机械系统设计的要求 26
- 2.2 机械传动机构设计与禁忌 27
 - 2.2.1 机械传动机构的要求 28
 - 2.2.2 丝杠螺母传动机构设计 28
 - 2.2.3 齿轮传动机构设计 35
 - 2.2.4 挠性传动机构设计 38
 - 2.2.5 间歇传动机构设计 39
 - 2.2.6 软轴传动机构设计 40
 - 2.2.7 锥环无键联轴器设计 41
 - 2.2.8 机械传动机构设计禁忌 41
- 2.3 机械导向机构设计与禁忌 45
 - 2.3.1 机械导向机构的要求、分类和设计要点 46
 - 2.3.2 滚动直线导轨设计 47
 - 2.3.3 塑料导轨设计 48
 - 2.3.4 机械导轨机构设计禁忌 50

2.4 机械执行机构设计与禁忌 53

- 2.4.1 机械执行机构的要求 53
- 2.4.2 微动机构设计 54
- 2.4.3 定位机构设计 56
- 2.4.4 数控机床动力卡盘与回转刀架设计 56
- 2.4.5 工业机器人末端执行器设计 59
- 2.4.6 机械执行机构设计禁忌 62
- 2.5 轴系机构设计与禁忌 64
 - 2.5.1 轴系设计的基本要求 64
 - 2.5.2 轴系设计的分类、特点和结构形式 65
 - 2.5.3 轴系机构设计禁忌 66
- 2.6 机座或机架机构设计与禁忌 68
 - 2.6.1 机座或机架设计及基本要求 68
 - 2.6.2 机座或机架的结构设计要点 69
 - 2.6.3 机座或机架设计禁忌 72

第3章 传感检测系统设计与禁忌 75

- 3.1 传感器选用与禁忌 75
 - 3.1.1 传感器的概念 75
 - 3.1.2 机电一体化系统中常用的传感器 78
 - 3.1.3 传感器的特性与选用 86
 - 3.1.4 传感器选用禁忌 88
- 3.2 检测系统的设计与禁忌 91
 - 3.2.1 检测系统的功用和设计要求 91
 - 3.2.2 检测系统设计的任务、方法和步骤 92
 - 3.2.3 模拟信号检测系统设计 93
 - 3.2.4 数字信号检测系统设计 119
 - 3.2.5 检测信号的采集和预处理 128
 - 3.2.6 检测系统设计禁忌 138

第4章 伺服系统设计与禁忌 148

- 4.1 伺服系统设计概述 148
 - 4.1.1 伺服系统及其基本构成 148
 - 4.1.2 对伺服系统的设计技术要求 148
 - 4.1.3 伺服系统设计的内容和步骤 150

4.1.4 伺服系统设计方案的选 择禁忌	151	电路设计	260
4.2 执行电动机的选择与禁忌	155	5.3.5 典型机电接口电路设计 举例	269
4.2.1 执行电动机选择的基本 依据	155	5.3.6 机电接口电路设计禁忌	281
4.2.2 单轴传动的执行电动机 选择	158	第 6 章 微机控制系统设计与 禁忌	295
4.2.3 多轴传动的执行电动机 选择	160	6.1 控制系统设计概述	295
4.2.4 步进电动机的选择	163	6.1.1 控制系统的基本组成与 分类	295
4.2.5 直线电动机的选择	165	6.1.2 控制系统设计的方法和 步骤	296
4.2.6 执行电动机选择禁忌	166	6.1.3 控制系统设计理念禁忌	297
4.3 电动机的功率驱动装置 设计与禁忌	170	6.2 被控对象数学模型的建立	307
4.3.1 两相异步电动机功率放 大装置的设计	170	6.2.1 数学模型的类型	307
4.3.2 直流电动机驱动装置的 设计	172	6.2.2 建立数学模型的步骤和 方法	307
4.3.3 直流脉冲宽度调制(PWM) 驱动装置设计	182	6.2.3 被控对象模型的辨识	308
4.3.4 无换向器电动机驱动装 置设计	185	6.2.4 被控对象建模禁忌	314
4.3.5 步进电动机驱动装置 设计	190	6.3 现代微机控制新技术基础	317
4.3.6 执行电动机功率驱动装 置设计禁忌	195	6.3.1 微机控制系统的组成和 特点	317
4.4 执行电动机的伺服系统 设计与禁忌	196	6.3.2 z 变换和求解差分方程	318
4.4.1 开环控制的伺服系统 设计	196	6.3.3 离散系统的 z 传递函数	320
4.4.2 闭环控制的伺服系统 设计	205	6.3.4 离散系统的稳定性条件	324
4.4.3 复合控制的伺服系统 设计	216	6.4 现代微机控制系统设计与 禁忌	325
4.4.4 伺服系统设计禁忌	219	6.4.1 数字 PID 控制器设计	325
第 5 章 机电一体化接口设计 与禁忌	224	6.4.2 直接数字控制器设计	328
5.1 接口设计概述	224	6.4.3 模糊控制器设计	336
5.1.1 接口设计基本概念	224	6.4.4 神经元控制系统设计	340
5.1.2 接口的作用和特点	226	6.4.5 现场总线控制系统设计	347
5.1.3 常用的接口芯片	227	6.4.6 微机控制系统设计禁忌	350
5.1.4 接口设计与分析的基本 方法	227	6.5 微机控制装置设计与禁忌	361
5.1.5 机电一体化接口设计与 分析禁忌	228	6.5.1 微机控制装置及微机选 择	361
5.2 人机接口电路设计与禁 忌	232	6.5.2 单片机控制装置设计	362
5.2.1 人机接口电路类型与 特点	232	6.5.3 可编程序控制器控制装 置设计	370
5.2.2 输入接口电路设计	232	6.5.4 通用工控机控制装置 设计	372
5.2.3 输出接口电路设计	237	6.5.5 专用控制装置设计	375
5.2.4 人机接口电路设计禁 忌	246	6.5.6 微机控制装置设计禁 忌	376
5.3 机电接口电路设计与禁 忌	251	第 7 章 机电一体化系统总体 设计与禁忌	390
5.3.1 机电接口电路类型与 特点	251	7.1 机电一体化系统总体设计 概述	390
5.3.2 信号采集通道接口中的 A/D 转换接口电路设计	252	7.1.1 机电一体化系统总体 设计的主要内容	390
5.3.3 控制量输出通道中的 D/A 转 换接口电路设计	256	7.1.2 机电一体化产品的使用 要求与性能指标	391
5.3.4 控制量输出通道中的功 率接口		7.1.3 机电一体化产品功能及 性能指标的分配	393
		7.2 机电一体化系统总体设计 的分析	397

7.2.1 机电一体化系统设计分析的意义	397	硬件设计	485
7.2.2 机电一体化系统稳态设计分析	398	8.1.4 数控车床计算机控制系统改造软件设计	490
7.2.3 机电一体化系统动态设计分析	406	8.1.5 数控机床改造设计禁忌	491
7.3 机电一体化系统的信息流设计	417	8.2 工业机器人的机电一体化设计	500
7.3.1 机电一体化系统的基本信息流	417	8.2.1 工业机器人的组成与分类	500
7.3.2 面向数据流的软件结构设计	420	8.2.2 SCARA 型装配机器人系统设计	502
7.3.3 机电一体化系统信息流的人机界面	425	8.2.3 BJDP—1 型机器人设计	505
7.3.4 输出界面的信息流	426	8.2.4 缆索并联机器人的四视图设计	510
7.3.5 控制系统流程设计	431	8.2.5 工业机器人设计禁忌	517
7.4 机电一体化系统的现代设计新方法	439	8.3 烟厂环境参数自动监测系统设计	525
7.4.1 机电一体化系统可靠性设计	439	8.3.1 系统的技术指标及功能	525
7.4.2 机电一体化系统优化设计	446	8.3.2 方案论证	525
7.4.3 机电一体化系统反求设计	450	8.3.3 硬件设计	527
7.4.4 机电一体化系统绿色设计	452	8.3.4 系统软件设计	540
7.4.5 机电一体化系统虚拟设计	454	8.3.5 烟厂环境参数自动监测系统设计禁忌	545
7.5 机电一体化总体设计禁忌	456	8.4 全自动洗衣机的机电一体化设计	550
第8章 典型机电一体化系统设计举例与禁忌	483	8.4.1 洗衣机的功能设计	550
8.1 数控车床的机电一体化改造设计	483	8.4.2 洗衣机的结构设计	555
8.1.1 数控车床的改造方案组成框图	483	8.4.3 洗衣机的控制系统设计	561
8.1.2 机械结构改造设计方案	483	8.4.4 全自动洗衣机设计禁忌	567
8.1.3 数控车床计算机控制系统改造		参考文献	572

第1章 机电一体化系统设计理念与禁忌

1.1 机电一体化系统的基本概念

人类的科技发展进入20世纪80年代以来,由于微电子、信息、生物工程、新材料、新能源、核武器、空间、海洋等领域高新技术的突飞猛进,极大地推动了不同学科的相互交叉与渗透,导致了几乎所有工程领域的技术革命与改造。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快速渗透,使机械工业的技术结构、产品机构、功能与构成、生产方式及管理体系均发生了巨大变化,使工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展新阶段,创造出了许许多多梦幻中的新产品与新设备。“机电一体化”就是在大规模集成电路和微型计算机高度发展,并向传统工业领域迅速渗透及与机械电子技术深度结合的现代工业基础上,从系统的观点出发,综合运用机械、微电子、自动控制、计算机、信息、传感测试、电力电子、接口、信号变换以及软件编程等群体技术,根据系统功能目标和优化组织结构目标,合理配置与布局机械本体、执行机构、动力驱动单元、传感测试元件、控制元件、微电子接收、分析、加工、处理、生产、传输单元和线路以及接口元件等硬件元素,并使之在软件程序和微电子电路逻辑的有目的信息流向引导下,相互协调、有机融化和集成,形成物质、能量和信息三要素的有序运动,在多功能、高质量、高可靠性、低能耗的前提下,实现特定功能价值并使整体系统最优化的系统工程技术。一句话,就是将机械、电子与信息技术进行有机结合,以实现工业产品和生产过程整体最优化的一种高新技术。它的发展,使传统的机械如虎添翼,超越了操作机械和动力机械的范畴,进入了智能化、柔性化、信息化、绿色化、人格(性)化、多功能化、全自动化、微机数字化和远程操作控制管理网络化的新时代,不仅极大地解放了人类的体力劳动,还极大地解放了人类的脑力劳动。因此,“机电一体化”已成为当今世界工业发展的主要趋势,也带动了传统机械工业的一场新的革命。其典型产品为:数控机床、智能机器人、新型武器装备和作战指挥系统、高精尖的航空航天飞行器、以及使用微电子(尤其是微机)技术装置的自动化生产设备、动力设备、交通运输设备、生产过程自动化设备、通信设备、办公设备和家用电器,甚至包括各种微电脑控制的智能化儿童玩具等。这些都是当今世界高新技术的核心和应用成果集中体现。

机电一体化是一种崭新的学术思想,它除了强调机械与电子的有机结合,还具有更深刻、更广泛的涵义。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(或系统)都属于机电一体化范畴。因此,目前人们广泛谈论的机电液(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,实质上也都可归结为机电一体化。

机电一体化是一个综合的概念,含盖了技术和产品两方面内容。它首先是指机电一体化技术,其次是指机电一体化产品。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的、使

机电一体化产品得以实现、使用和发展的技术。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机电产品。

机电一体化又是一种复杂的系统工程。“系统”这个名词，使用非常广泛。在不同的词典、手册和专著中系统的定义大都是：由相互作用和依赖的若干组成部分按一定规律结合成的、具有特定功能的有机整体。系统一般具有如下特征：①“集合性”，系统是由许多元素的集合；②“关联性”，系统的各个组成部分之间是互相联系和互相制约的；③“目的性”，系统总是具有特定的功能，特别是人所创造或改造的系统，总是有一定的目的性；④“环境适应性”，系统总是存在并活动于一个特定的环境中，与环境不断进行物质、能量、信息的交换，系统必须适应环境。对于系统工程目前还很难给出一个众所公认的定义，这里仅列举两个较典型的解释：①“系统工程是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机理等进行分析与设计的技术”（日本工业标准 H5）；②“系统工程是一门把已有的学科分支中的知识有效地组合起来用以解决综合性的工程问题的技术”（大英百科全书）。由于系统工程是研究系统共性的跨学科的方法性技术，那么它研究和处理任何问题都应遵循以下基本原则：

（1）整体性原则 也就是说要把系统当作一个整体，不要只见树木不见森林。希腊哲学家亚里士多德曾提出过“整体大于它的各部分的总和”的思想，就准确地反映了整体性原则的内涵本质。“整体大于它的各部分的总和”不是一种量与量之间的换算，而是一种质变，各部分组成系统后，形成了系统的整体功能，这是一种新的质。

（2）综合性原则 任何系统都具有多方面的属性，涉及到多方面的因素。综合性原则就是要把这些属性、因素综合起来加以研究，不能只见树木不见森林；顾此失彼，因小失大。

（3）科学性原则 即在处理问题时应按照科学的顺序和步骤进行，环环相扣，并不断通过信息反馈加以检查改进，且尽量使用定量方法。建立模型和进行优化是按科学性原则处理系统问题的主要工作。

从系统的观点出发，我们总可以把我们所设计的各种简单和复杂的设备或产品看成一个系统，因而可运用系统工程的方法去分析和设计。机电一体化系统设计就是应用系统工程的方法设计出产品和设备。其突出的特点是，构成机电一体化系统的要素一般包括机、电、仪、液、气、磁、光，通过这些要素进行有机地组织与结合，以实现该系统功能的整体最佳化。

机电一体化系统的实体部分，主要是机械部分与电子部分，又通过信息技术把这些部分有机地结合在一起，从而构成更为先进的产品。按照系统分析的观点，机电一体化系统在设计过程中，是将机械部分与电子部分融合在一起进行通盘考虑的，哪些应采用机械部分，哪些应采用电子部分或其他更恰当的部分，例如液、气、磁、光等部分，然后通过信息传输与处理技术将这些部分有机地结合起来。因而，可以说，机电一体化系统设计是系统工程在机械电子领域中的具体应用；机电一体化系统正是这种应用的效果；它对改造传统老产品有着“妙手回春”的作用，对于新产品的开发研制也效果显著。

总之，机电一体化技术是建立在精密机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术、自动控制技术、传感与测试技术、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新技术，已形成了“机械 + 电气 + 计算机”三分天下的实际格

局。机电一体化技术的突出特点在于它在机械产品中注入了过去所没有的新技术，把电子器件的信息处理和自动控制等功能“揉和”到机械装置中去，从而获得了过去单靠某一种技术而无法实现的功能和效果。机电一体化技术的重要实质是应用系统的观点和方法来分析和研究机电一体化产品或系统，综合运用各种现代高新技术进行产品的设计与开发，通过各种技术的有机结合，实现产品内部各组成部分的合理匹配和外部的整体效能最佳。机电一体化产品是具有高技术含量的产品，其技术附加值随机电结合程度的加深而提高。在当代产品中，单纯机械技术的附加值含量越来越少，而微电子技术的附加值含量却越来越多。附着时代的发展，这种趋势还将增加。但这并不等于说，微电子技术可以脱离机械技术而在机械领域获得更大的经济效益，而是意味着，机械技术只有同微电子技术相结合、传统的机械产品只有向机电一体化产品方向发展，才是机械工业发展的唯一出路。

1.2 机电一体化系统的基本组成

1.2.1 机电一体化系统的功能组成

传统的机械产品主要是解决物质流和能量流的问题，而机电一体化产品除了解决物质流和能量流之外，还要解决信息流的问题。如图 1-1 所示，机电一体化系统的主要功能就是对输入的物质、能量与信息（即所谓工业三大要素）按照要求进行处理，输出具有所需特性的物质、能量与信息。

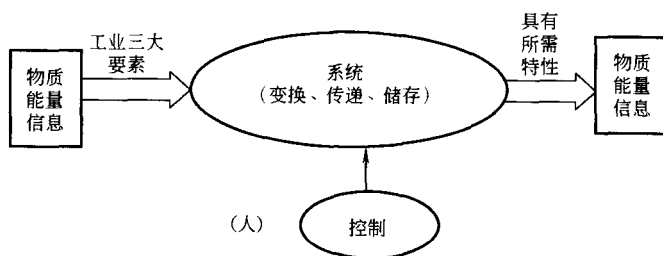


图 1-1 机电一体化系统的功能组成

系统的主功能包括 3 个目的功能：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。主功能是系统的主要特征部分，是实现系统目的功能直接必需的功能，主要是对物质、能量、信息或其相互结合进行变换、传递和存储。

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，如各种机床设备、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。

以能量转换为主，输入能量（或物质）和信息，输出不同能量（或物质）的系统（或产品），称为动力机，其中输出机械能的为原动机，如电动机、水轮机、内燃机等。

以信息处理为主，输入信息和能量，主要输出某种信息（如数据、图像、文字、声音等）的系统（或产品），称为信息机，如各种仪器、仪表、计算机、传真机以及各种办公设备等。

机电一体化系统除了具备上述必需的主功能外，还应具备图 1-2 所示的其他内部功能，即动力功能、检测功能、控制功能、构造功能。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是解决各种信息的获取、传输、处理和利用，从而能够根据

系统内部信息和外部信息对整个系统进行操作控制,使系统正常运转、实施目的的功能。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,还需要有动力输入和控制信息的输入/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),这些都是系统设计时应当考虑的。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该给予考虑。

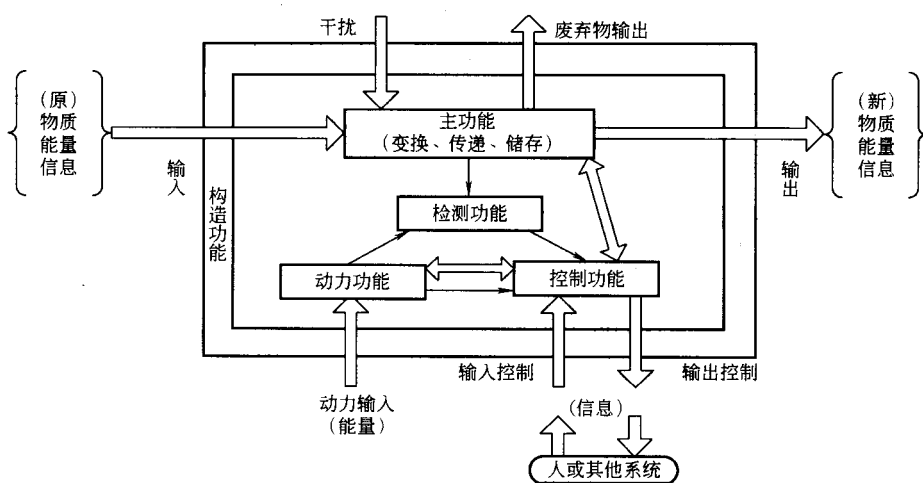


图 1-2 机电一体化系统的内部功能

上述抽象的功能构成原理,既有利于设计或分析各种机电一体化系统或产品,又有利于开拓思路,便于创造发明。例如,根据 3 种不同的主功能及其不同的输入,组合起来可形成 9 大类型的系统或产品,但不一定都是机电一体化的产品,见表 1-1。

表 1-1 不同主功能及输入的组合

主 功 能		输入-输出	组 合 实 例
1	变换	物质	材料加工或处理机
2	传递	物质	交通运输机
3	保存	物质	自动化仓库、包装机
4	变换	能量	动力机械
5	传递	能量	机械或流体传动
6	保存	能量	机械或流体蓄能器
7	变换	信息	电子计算机、仪器
8	传递	信息	通信系统、传真机
9	保存	信息	存储器、录像机

此外,对于不同主功能的加工机构,其运动方式不同,也可构成不同用途的机械。例如,金属切削机床是根据工件与刀具相对运动产生切削作用的原理来进行的。工件与刀具的运动方式不同,可制成不同用途的机床。

对于现有的机电一体化系统,可以利用功能原理图来进行研究分析。图 1-3 是 CNC 数控机床的功能原理构成实例。由于未指明主功能的加工机构,它代表了具有相同主功能及控

制功能的一大类型机电一体化系统，诸如金属切削数控机床、电加工数控机床、激光加工数控机床以及冲压加工数控机床等。显然，由于主功能的具体加工机构不同，其他功能的具体装置也会有差别，但其本质是数控加工机床。

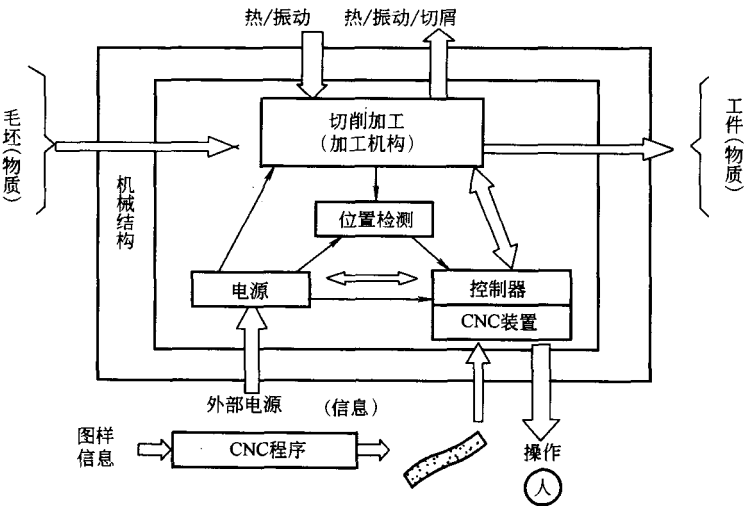


图 1-3 CNC 机床的内部功能构成

1. 2. 2 机电一体化系统的构成要素

从机电一体化系统的功能来看，人体是机电一体化系统最完美的参照物。如图 1-4a 所示，构成人体的五大要素分别是头脑、感官（眼、耳、鼻、舌、皮肤）、四肢、内脏及躯干。相应的功能如图 1-4b 所示，内脏提供人体所需要的能量（动力）及各种激素，维持人体活动；头脑处理各种信息并对其他要素实施控制；感官获取外界信息；四肢执行动作；躯干的功能是把人体各要素有机地联系为一体。通过类比就可发现，机电一体化系统内部的五大功能与人体的上述功能几乎是一样的，而实现各功能的相应构成要素如图 1-4c 所示。机电一体化系统五大要素实例如图 1-5 所示。表 1-2 给出了机电一体化系统构成要素与人体构成要素的对应关系。因此，一个较完善的机电一体化系统，应包括以下几个基本要素：机械本体、动力系统、检测传感系统、执行部件、信息处理及控制系统，各要素和环节之间通过接口相联系。

表 1-2 构成要素与人体构成要素的对应关系

机电一体化系统要素	功 能	人体构成要素
控制器（计算机等）	控制（信息存储、处理、传送）	头脑
传感器	检测（信息收集与变换）	感官
执行部件	驱动（操作）	四肢
动力源	提供动力（能量）	内脏
机械本体	支撑与连接	躯干

（1）机械本体 用于支撑和连接其他要素，并把这些要素合理地结合起来，形成有机

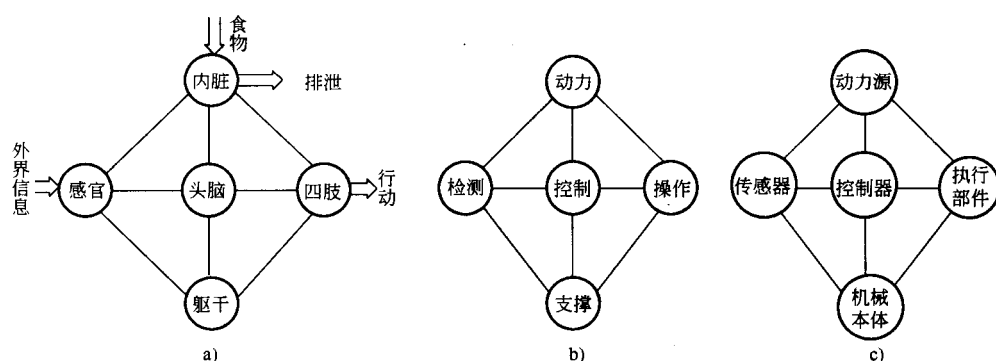


图 1-4 组成人体与机电一体化系统的对应要素及相应功能关系

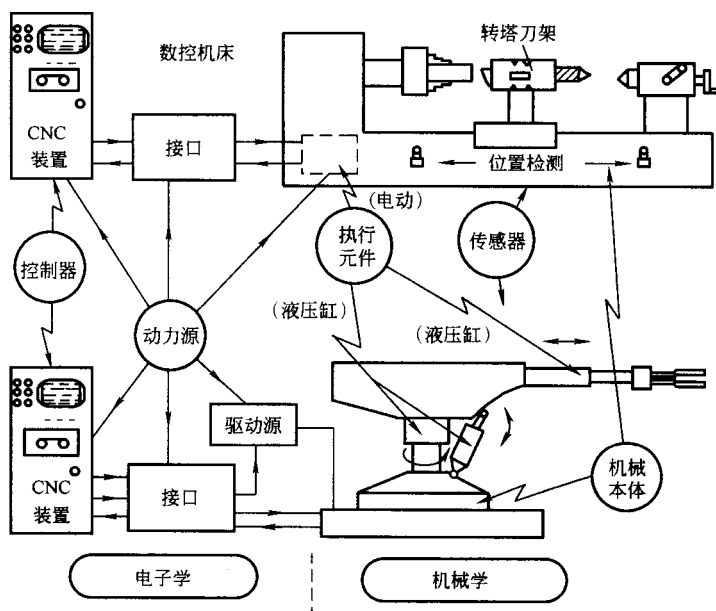


图 1-5 机电一体化系统五大要素实例

的整体。机电一体化技术应用范围很广，其产品及装置的种类繁多，但都离不开机械本体。例如，机器人和数控机床的本体是机身和床身；指针式电子手表的本体是表壳。因此，机械本体是机电一体化系统必要的组成部分。没有它，系统的各部件就支离破碎，无法构成具有特定功能的机电一体化产品或装置。

(2) 动力系统 按照系统控制要求,为机电一体化产品提供能量和动力功能,去驱动执行机构工作以完成预定的主功能。动力系统包括电、液、气等多种动力源。

(3) 传感与检测系统 将机电一体化产品在运行过程中所需要的自身和外界环境的各种参数及状态转换成可以测定的物理量, 同时利用检测系统的功能对这些物理量进行测定, 为机电一体化产品提供运行控制所需的各种信息。传感与检测系统的功能一般由传感器或仪表来实现, 对其要求是体积小、便于安装与连接、检测精度高、抗干扰及控制性能好等。

(4) 信息处理及控制系统 根据机电一体化产品的功能和性能要求, 信息处理及控制

系统接收传感与检测系统反馈的信息，并对其进行相应的处理、运算和决策，以对产品的运行施以按照要求的控制，实现控制功能。机电一体化产品中，信息处理及控制系统主要是由计算机的硬件和软件以及相应的接口所组成。硬件一般包括输入/输出设备、显示器、可编程序控制器和数控装置。机电一体化产品要求信息处理速度快，A/D 和 D/A 转换及分时处理时的输入/输出可靠、精度高，系统的抗干扰能力强。

(5) 执行部件 在控制信息的作用下完成要求的动作，实现产品的主功能。执行部件一般是运动部件，常采用机械、电液、气动等机构。执行机构因机电一体化产品的种类和作业对象不同而有较大的差异。执行机构是实现产品目的功能的直接执行者，其性能好坏决定着整个产品的性能，因而是机电一体化产品中重要的组成部分。

机电一体化产品的 5 个组成部分在工作时相互协调，共同完成所规定的目的功能。在结构上，各组成部分通过各种接口及其相应的软件有机地结合在一起，构成一个内部匹配合理、外部效能最佳的完整产品。

实际上，机电一体化系统是比较复杂的，有时某些构成要素是复合在一起的。首先应该指出的是，构成机电一体化系统的几个部分并不是并列的。其中机械部分是主体，这不仅是由于机械本体是系统重要的组成部分，而且系统的主要功能必须由机械装置来完成，否则就不能称其为机电一体化产品。如电子计算机、非指针式电子表等，其主要功能已由电子器件和电路等完成，机械已退居于次要地位，这类产品应归属于电子产品，而不是机电一体化产品。因此，机械系统是实现机电一体化产品功能的基础，从而对其提出了更高的要求，需在结构、材料、工艺加工及几何尺寸等方面满足机电一体化产品高效、可靠、节能、多功能、小型轻量 and 美观等要求。除一般性的强度、刚度、精度、体积和重量等指标外，机械系统技术开发的重点是模块化、标准化和系列化，以便于机械系统的快速组合和更换。其次，机电一体化的核心是电子技术，电子技术包括微电子技术和电力电子技术，但重点是微电子技术，特别是微型计算机或微处理器。机电一体化需要多种新技术的结合，但首要的是微电子技术，不和微电子结合的机电产品不能称为机电一体化产品。如非数控机床，一般均有电动机驱动和电器控制，但它不是机电一体化产品。除了微电子技术以外，在机电一体化产品中，其他技术则根据需要进行结合，可以是一种，也可以是多种。

综上所述，可以概括出以下几点共识：①机电一体化是一种以产品和过程为基础的技术；②机电一体化以机械为主体；③机电一体化以微电子技术，特别是计算机控制技术为核心；④机电一体化将工业产品和过程都作为一个完整的系统看待，因此强调各种技术的协同和集成，不是将各个单元或部件简单拼凑到一起；⑤机电一体化贯穿于设计和制造的全过程中。

1.3 机电一体化系统的分类和发展

1.3.1 机电一体化系统的分类

机电一体化技术和产品的应用范围非常广泛，涉及工业生产过程中的所有领域，因此，机电一体化产品的种类很多，而且还在不断地增加。按照机电一体化产品的功能，可以将其分成下述几类：

(1) 数控机械类 数控机械类主要产品为数控机床、工业机器人、发动机控制系统和自动洗衣机等。其特点为执行机构是机械装置。

(2) 电子设备类 电子设备类主要产品为电火花加工机床、线切割加工机床和激光测量仪等。其特点为执行机构是电子装置。

(3) 机电结合类 机电结合类主要产品为自动探伤机、形状识别装置和 CT 扫描仪、自动售货机等。其特点为执行机构是机械和电子装置的有机结合。

(4) 电液伺服类 电液伺服类主要产品为机电一体化的伺服装置。其特点为执行机构是液压驱动的机械装置, 控制机构是接受电信号的液压伺服阀。

(5) 信息控制类 信息控制类主要产品为电报机、磁盘存储器、磁带录像机、录音机以及复印机、传真机等办公自动化设备。其主要特点为执行机构的动作完全由所接收的信息控制。

除此以外, 机电一体化产品还可根据机电技术的结合程度分为功能附加型、功能替代型和机电融合型三类。按产品的服务对象领域和对象, 可将机电一体化产品分成工业生产类、运输包装类、储存销售类、社会服务类、家庭日常类、科研仪器类、国防武器类以及其他用途类等不同的种类。

1.3.2 机电一体化系统的发展

1. 机电一体化系统的发展状况

机电一体化技术的发展状况大体上可分为 3 个阶段:

1) 20 世纪 60 年代以前为第 1 阶段, 这一阶段称为初期阶段。在这一时期, 人们自觉或不自觉地利用电子技术的初步成果来完善机械产品的性能。特别是在第二次世界大战期间, 战争刺激了机械产品与电子技术的结合, 这些机电结合的军用技术, 战后转为民用, 对战后经济的恢复起到了积极的作用。那时的研制和开发从总体上看还处于自发状态。由于当时电子技术的发展尚未达到一定水平, 机械技术与电子技术的结合还不可能广泛和深入发展, 已经开发的产品也无法大量推广。

2) 20 世纪 70 ~ 80 年代为第 2 阶段, 可称为蓬勃发展阶段。这一时期, 计算机技术、控制技术、通信技术的发展, 为机电一体化的发展奠定了技术基础。大规模、超大规模集成电路和微型计算机的迅猛发展, 为机电一体化技术的发展提供了充分的物质基础。这个时期的特点是: ①“机电一体化”一词首先在日本被普遍接受, 大约到了 20 世纪 80 年代末期在世界范围内得到比较广泛的认同; ②机电一体化技术和产品得到极大发展; ③各国均开始对机电一体化技术和产品给以很大的关注和支持, 争相抢占该技术的制高点。

3) 20 世纪 90 年代后期, 开始了机电一体化技术向智能化方向迈进的新(第 3)阶段, 机电一体化进入深入发展时期。一方面光学、通信技术等进入了机电一体化, 微细加工技术也在机电一体化中崭露头角, 出现了光机电一体化和微机电一体化等新分支; 另一方面对机电一体化系统的建模设计、分析和集成方法, 机电一体化的学科体系和发展趋势都进行着深入研究。同时, 由于人工智能技术、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广阔的发展天地。这些研究将促使机电一体化进一步建立完整的基础和逐渐形成完整的科学体系。

我国是从 20 世纪 80 年代初才开始这方面研究和应用的。国务院成立了机电一体化领导

小组，并将该技术列入为“863计划”中；在制定“九五”、“十五”、“十一五”规划和2010年发展纲要时都充分考虑了国际上关于机电一体化技术的发展动向和由此可能带来的影响。许多大专院校、研究机构及一些大中型企业对这一技术的发展及应用做了大量的工作，并取得一定成果，但与日本、美国、欧盟等发达国家相比仍存在有相当大的差距。

任何一门学科都是由基础理论、技术和工程系统组成的完整体系。机电一体化在技术和工程系统方面已有了很大发展，但在基础理论方面目前尚处在不断发展之中，还很不完善。

2. 机电一体化系统的发展趋势

机电一体化是集机械、电子、光学、控制、计算机、信息等多学科的交叉融合，它的发展和进步也依赖于并促进了这些相关技术的发展和进步。因此，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。这里所说的“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、生理学和混沌动力学等新思想、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。诚然，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、高速度微处理器使机电一体化产品具有低级智能或人的部分智能，则是完全可能而又必要的。

(2) 模块化 模块化是一项重要而又艰巨的工程。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情。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的产品，同时也可扩大生产规模。这需要制定各项标准，以便各部件、单元的匹配和接口。由于利益冲突、竞争激烈，近期很难制定国际或国内这方面的统一标准，但可以通过组建一些大企业来逐渐形成。显然，从电气产品的标准化、系列化带来的好处可以肯定，无论是对生产标准机电一体化单元的企业还是对生产机电一体化产品的企业，模块化将给机电一体化企业带来美好的前程。

(3) 网络化 20世纪90年代，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、教育以及人们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。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(CIAS)，可使人们在家里充分享受各种高技术带来的便利和快乐。因此，机电一体化产品无疑朝着网络化方向发展。

(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。国外将其称为微电子机械系统(MEMS)，或微机电一体化系统，泛指几何尺寸不超过 1cm^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。

(5) 数字化 嵌入式控制系统和嵌入式软件的发展，为机电一体化系统或产品的数字