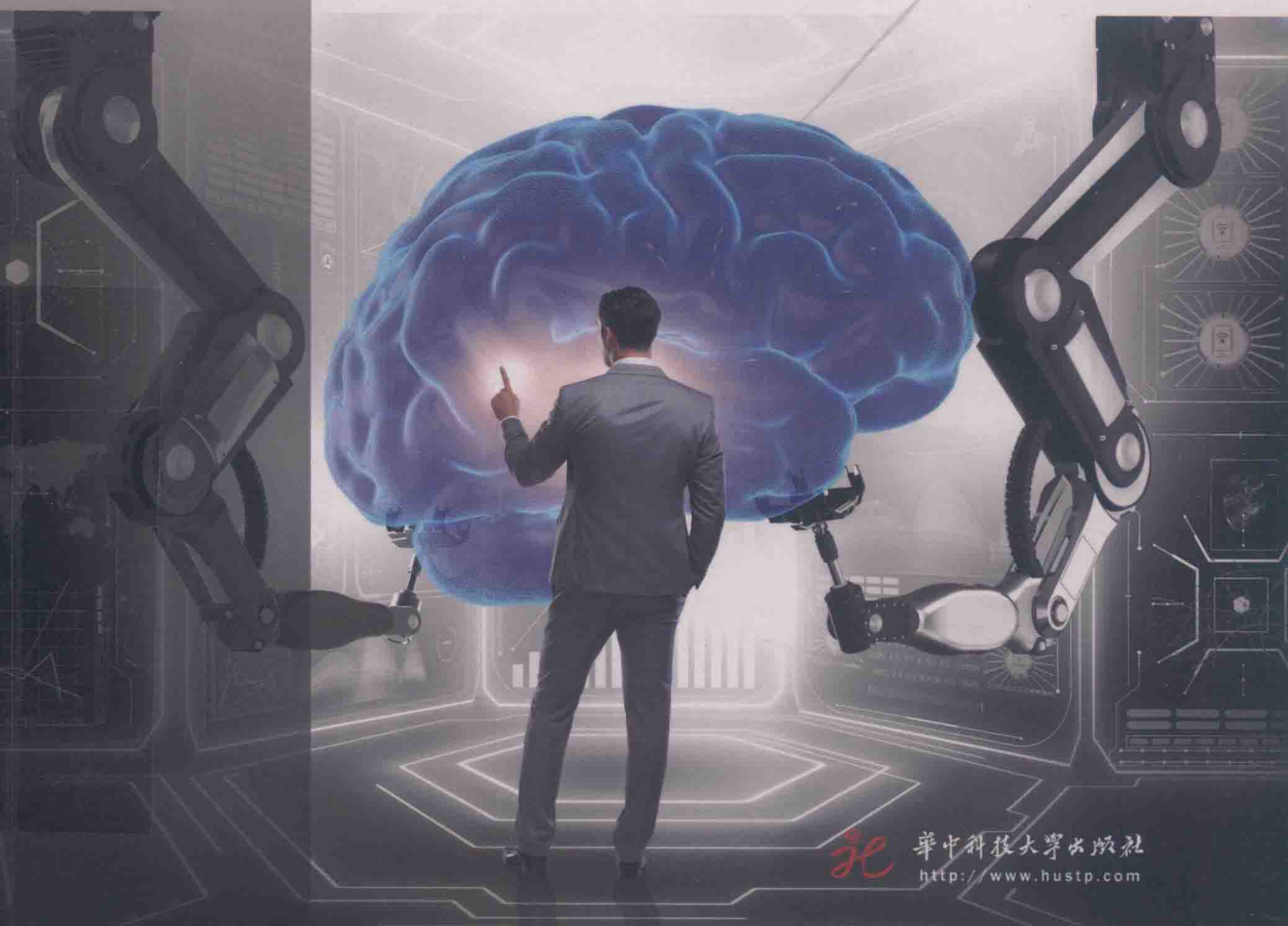


# 机电一体化 系统设计

主 编◎张旭辉 樊红卫 朱立军



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

# 机电一体化 系统设计

主 编◎张旭辉 樊红卫 朱立军

副主编◎毛清华 姜俊英 王川伟 薛旭升 董 明



## 内 容 简 介

本书以机电一体化系统的组成为主线,系统介绍了机电一体化系统各主要组成部分的设计理论、方法和应用。全书共7章,内容包括概述、机电一体化系统总体设计、机电一体化机械系统设计、机电一体化动力系统设计、机电一体化检测系统设计、机电一体化控制系统设计、机电一体化典型系统设计。每章后均有复习思考题,便于学生课后练习。

本书内容翔实,图文并茂,注重理论联系实际,将机电一体化领域最新成果和发展动态融入其中,可作为机械设计制造及其自动化、机械电子工程、智能制造工程、机器人工程等相关专业高年级本科生或硕士研究生教材,也可供相关领域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 / 张旭辉,樊红卫,朱立军主编. —武汉:华中科技大学出版社,2020.5  
ISBN 978-7-5680-6094-3

I. ①机… II. ①张… ②樊… ③朱… III. ①机电一体化-系统设计 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 072703 号

## 机电一体化系统设计

Jidian Yitihua Xitong Sheji

张旭辉 樊红卫 朱立军 主编

策划编辑:张毅

责任编辑:刘静

封面设计:廖亚萍

责任监印:朱玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:武汉三月禾文化传播有限公司

印刷:武汉市籍缘印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:21

字数:537千字

版次:2020年5月第1版第1次印刷

定价:56.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

## ▶ 前言

机电一体化技术是在微电子技术、信息技术等向机械领域渗透并与机械技术深度融合的基础上,综合运用机械技术、微电子技术、信息技术、自动控制技术、传感检测技术、电力电子技术、接口技术及软件编程技术等,从系统理论出发,根据系统功能目标,以动力、运动、结构、检测和控制要素为基础,对各要素及其信息处理、接口耦合、运动传递、物质运动和能量变换进行研究,使整个系统有机结合与综合集成,在程序和微电子电路的有序控制下,形成物质和能量的有序运动,在强功能、高精度、高可靠性和低能耗等方面实现多种功能复合的最佳系统工程技术。

进入 21 世纪以来,随着计算机、互联网、传感器和人工智能等技术的飞速发展,机电一体化技术呈现出向智能化方向发展的强烈趋势。一方面,光学、通信技术进入机电一体化,微细加工技术也在机电一体化中得到应用,出现了光机电一体化和微机电一体化等新分支;另一方面,随着研究的深入,机电一体化系统的建模与设计分析方法得到了极大的发展,相关学科体系日渐成熟;同时,由于泛在网络、人工智能和机器人等技术的刺激,机电一体化技术开拓出了更为广阔的天地,孕育着巨大的产业需求。

目前,全球范围内正在经历第四次工业革命,各个国家均在人工智能、物联网、大数据、云计算、5G 技术和智能制造等领域展开激烈角逐。机电一体化技术作为将上述新技术与传统机械技术进行深度融合的高新技术,已成为世界技术和产业竞争的焦点之一。在我国由“制造大国”向“制造强国”转变的关键时期,培养能够掌握机电一体化核心技术的高层次人才非常重要。从 20 世纪末期开始,我国各大院校机械类专业均逐渐开设机电一体化系统设计相关课程,企事业单位也对工程技术人员开展了机电一体化技术相关培训,以 FMS、CIMS、MEMS 和机器人等为代表的机电一体化成套技术在制造业中发挥了巨大的作用。面对新的世界局势和科学技术的重大变革,及时地更新机电一体化系统设计的相关教材,淘汰落后内容,补充新知识、新技术与新方法,体现以“智能化”为代表的新一代机电一体化技术特征,进而培养适应经济社会发展和制造业迫切需要的专业人才,是编写本书的初衷。

本书是在编者多年从事机电一体化相关教学和科研工作,并参考大量已出版教材和专著的基础上编写而成的。书中汇集了编者多年的教学讲义和教案资料,并力求引入近年来最新进展和科研成果。本书内容的选取和章节的安排力求适应机械类专业的改革与发展需求,将机电一体化所涉及的繁杂分散的内容进行整合、凝练和创新,将机电有机结合、精密与智能、理论联系实际等理念贯穿全书始终,并将高档数控机床、工业机器人和矿山机电装备作为贯穿全书的三方面案例,力争使学生形成对机电一体化系统设计的整体概念,体现机电一体化技术与其他相关技术的不同之处。

本书共7章,具体内容包括:第1章,概述;第2章,机电一体化系统总体设计;第3章,机电一体化机械系统设计;第4章,机电一体化动力系统设计;第5章,机电一体化检测系统设计;第6章,机电一体化控制系统设计;第7章,机电一体化典型系统设计。每章后均有复习思考题,便于学生课后练习。有的题目是为引导读者进一步思考而设置的,未必能够在本书中直接找到答案。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机电类专业的高年级本科生,机械电子工程、机械制造及其自动化、机械设计及理论等机械工程学科方向硕士研究生,以及精密仪器和机械等仪器科学与技术学科方向硕士研究生学习有关机电一体化相关课程的教材,也可供机电领域相关工程技术人员参考。学习本书之前,读者应具备机械原理、机械设计、电机拖动、电工电子、微机原理、测试技术、自动控制、智能制造工程、机器人工程等方面的知识。教师在使用本书时,应根据学生先修课程情况和学时要求,适当补充或删减内容。

本书由西安科技大学机械工程学院张旭辉、樊红卫,重庆中烟工业有限责任公司技术中心朱立军担任主编;由西安科技大学机械工程学院毛清华、姜俊英、王川伟、薛旭升、董明担任副主编。具体编写分工为:第1章由樊红卫编写,第2章第2.1节由毛清华编写,第2章第2.2节由董明和毛清华编写,第2章第2.3节由董明编写,第3章由王川伟编写,第4章由姜俊英编写,第5章第5.1至5.6节、第5.8节由樊红卫编写,第5章第5.7节由朱立军编写,第6章由薛旭升编写,第7章第7.1节由董明编写,第7章第7.2节由樊红卫编写,第7章第7.3节由王川伟和薛旭升编写,第7章第7.4节由毛清华编写。全书统稿工作由张旭辉和樊红卫完成,朱立军对本书实践性方面内容的审核做了大量的工作。

本书在编写过程中得到了西安科技大学机械工程学院、陕西省矿山机电装备智能监测重点实验室、陕西省煤矿机电设备智能检测与控制重点科技创新团队的众多同事和研究生的大力支持与帮助。本书入选西安科技大学本科教材建设规划和煤炭高等教育“十三五”规划教材出版计划,出版得到了华中科技大学出版社的大力支持。在此,作者谨对给予本书编写和出版工作支持、帮助的所有朋友,表示最衷心的感谢!

限于作者的水平和经验,加之机电一体化技术发展日新月异,书中错误与不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2020年1月于西安科技大学

# 第1章 概 述

## ► 目 录

第1章 概述	1
1.1 机电一体化基本概念	1
1.2 机电一体化系统的组成要素	3
1.3 机电一体化系统的共性技术	6
1.4 机电一体化系统的设计类型和设计方法	9
1.5 机电一体化的现状与发展趋势	13
第2章 机电一体化系统总体设计	16
2.1 机电一体化系统设计依据及评价标准	16
2.2 机电一体化系统总体设计方法	23
2.3 机电有机结合设计	34
第3章 机电一体化机械系统设计	45
3.1 概述	45
3.2 机电一体化系统机械特性分析	46
3.3 机械传动系统设计	55
3.4 执行系统设计	74
3.5 导向与支承系统设计	89
第4章 机电一体化动力系统设计	98
4.1 动力元件的分类	98
4.2 电动机的主要特性	99
4.3 液压马达与气动马达的主要特性	114
4.4 伺服动力元件及驱动	116
4.5 动力元件建模	140
4.6 动力元件的选择与计算	142

4.7 机电一体化动力系统设计实例	148
<b>第5章 机电一体化检测系统设计</b>	<b>153</b>
5.1 概述	153
5.2 机械量控制常用的传感器及检测技术	157
5.3 机器人常用的传感器及检测技术	168
5.4 设备健康监测常用传感器及检测技术	176
5.5 智能传感器及相关技术	185
5.6 无线传感器网络技术	187
5.7 检测系统的设计	193
5.8 检测系统中的信息处理技术	200
<b>第6章 机电一体化控制系统设计</b>	<b>215</b>
6.1 概述	215
6.2 机电一体化控制系统设计基础	223
6.3 机电一体化控制系统数学建模与仿真	227
6.4 常用控制单元及接口技术	235
6.5 常用控制算法	255
6.6 智能控制算法	259
<b>第7章 机电一体化典型系统设计</b>	<b>267</b>
7.1 机电有机结合系统设计	267
7.2 数控机床系统设计	286
7.3 四摆臂六履带机器人系统设计	305
7.4 矿用带式输送机系统设计	316

# 第 1 章 概 述

## 【工程背景】

随着计算机、信息技术和物联网的迅猛发展和广泛应用,机电一体化技术获得了前所未有的发展,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的系统技术,正向光机电一体化、微机电一体化和智能机电一体化的方向发展,应用范围越来越广。现代化的自动生产设备几乎可以说都是机电一体化的设备,如数控机床、机器人等。“机电一体化”是一个处于不断演进中的概念,为了准确理解它的内涵和外延,本书结合典型的机电一体化系统,剖析机电一体化系统的组成要素和其中的关键技术,研究机电一体化系统的设计方法,并思考机电一体化的未来发展方向,为机电一体化技术应用和系统设计奠定基础。

## 【内容提要】

本章主要讲述机电一体化的基本概念,机电一体化系统的组成要素、共性技术、设计方法,以及机电一体化的发展趋势,使学生理解机电一体化的定义、内涵和外延,了解机电一体化系统的一般组成和其中的关键技术,知道常用的机电一体化系统设计方法,并了解机电一体化的未来发展方向。

## 【学习方法】

本章内容是概述,是整书后续内容的基础,重在介绍机电一体化技术和系统的基本概念和基础知识。对于本章的学习,建议学生将课内与课外、理论与实践结合起来,并通过查阅相关的资料文献,以及网上丰富的数控机床、机器人的介绍资料和视频资源,加深对典型机电一体化系统的认知,同时结合已修课程理解机电一体化的共性技术和系统设计方法。

## 1.1 机电一体化的基本概念

### 1.1.1 机电一体化的定义

机电一体化又称“机械电子工程”或“机械电子学”,英文为 mechatronics,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。总体而言,机电一体化是将广义的“机械”技术和“电”技术进行有机结合的一种综合性技术。广义的“机械”技术是指机械传动、支承和执行,电动机和液压缸等动力元件属于一种广义的机械装置;广义的“电”技术是指与信息获取、变换、处理、控制和驱动相关的软硬件技术,状态监测、诊断与维护属于一种新的“电”技术;“机”与“电”的一体化是通过连接(接口)实现的,接口包括机-机接口、机-电接口、电-电接口等,不仅有“硬”接口,还有“软”接口。

机电一体化最早出现在 1971 年日本杂志《机械设计》的副刊上。随着科学技术的快速发展,机电一体化的概念早已被我们广泛地接受,得到普遍应用。早期,日本机械振兴协会经济研究所对机电一体化的定义是:机电一体化是指在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,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。还有,美国机械工程师协会的定义:机电一体化是指由计算机信息网络协调和控制,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。随着机电一体化的发展,普遍认可的机电一体化的定义是:机电一体化是一种技术,是机械工程技术吸收微电子技术、信息处理技术、控制技术、传感技术等而形成的一种新技术。这一概念强调“电”技术对“机械”技术的改造和创新作用,将更多、更先进的“电”技术恰当地用于机械系统中,实现自动化、数字化、信息化和智能化是机电一体化的关键所在。

### 1.1.2 机电一体化的内涵

机电一体化首先是一种“技术”,应用该技术能够产生新的“产品”或“系统”。因此,机电一体化具有“技术”和“产品”两个方面的内涵。一方面,是机电一体化技术,主要包括技术原理和使机电一体化产品或系统得以实现、使用和发展的技术,是机械工程技术吸收微电子技术、信息处理技术、控制技术、传感技术等而形成的一种新技术。另一方面,是机电一体化产品,它是通过将应用机电一体化技术设计开发的机械系统和微电子系统有机结合,从而获得新的功能和性能的新一代产品。

#### 1. 功能替代型机电一体化产品

这类产品的主要特征是在原有机械产品的基础上采用电子装置替代机械控制系统、机械传动系统、机械信息处理机构和机械的主功能,实现产品的多功能和高性能。

(1) 将原有的机械控制系统和机械传动系统用电子装置替代。例如,数控机床用微机控制系统和伺服传动系统替代传统的机械控制系统和机械传动系统,在质量、性能、功能、效率和节能等方面与普通机床相比有了很大的提高。电子缝纫机、电子控制的防滑制动装置、电子照相机和全自动洗衣机等都属于功能替代型机电一体化产品。

(2) 将原有的机械信息处理机构用电子装置替代。例如,电子表、电子秤和电子计算器等。

(3) 将原有机械产品本身的主功能用电子装置替代。例如,电火花线切割机床、电火花成形机床和激光手术刀用电的方式代替了原有的机械产品的刀具主功能。

#### 2. 机电融合型机电一体化产品

这类产品是应用机电一体化技术开发出的机电有机结合的新一代产品。例如,数字照相机、数字摄像机、磁盘驱动器、激光打印机、CT 扫描仪、3D 打印机、无人驾驶汽车、智能机器人等。这些产品单靠机械技术或微电子技术无法获得,只有当机电一体化技术发展一定程度才能实现。

### 1.1.3 机电一体化的外延

随着计算机、信息和通信等领域的科学技术飞速发展,机电一体化技术和系统也取得了突破性进展。机电一体化技术已经从原来的“以机为主”拓展到了“机电融合”,并且“电”的作用和价值越来越大;机电一体化产品也不再局限于某一个具体的产品(单机)范围内,而是扩展至产品生产制造甚至使用过程所涉及的各环节组成的整体大系统,如柔性制造系统、计算机集成制造系统和现代智能制造系统,特别是机电一体化系统,它向智能化发展的趋势不可阻挡。

此外,对传统机电设备的自动化、智能化改造,也属于机电一体化的范畴。例如,对普通车

床、普通铣床的传动系统进行数控化改造,以提高普通车床、普通铣床的加工效率和质量,是典型的机电一体化改造实例。

目前,人们已经普遍认识到纯机械产品将被越来越多的机电一体化产品取代,机电一体化技术也不是机械技术、微电子技术和其他新技术的简单组合和拼凑,而是有机地互相结合或融合,是有自身客观规律的现代化新技术。因此,机电一体化具有其理论基础、共性技术,以及独有的系统设计理念、思路和方法。

### 【知识拓展】 智能制造与智能机器人

智能制造是一种由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体化智能系统。智能制造在制造过程中能进行智能活动,如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事,可扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。智能制造把制造自动化的概念更新,扩展到柔性化、智能化和高度集成化。

智能机器人是一个独特的自我控制的“活物”,具备形形色色的内部和外部信息传感器,如视觉、听觉、触觉、嗅觉。除感受器外,智能机器人还具有效应器。效应器作用于周围环境,使手、脚、鼻子、触角等动起来。智能机器人至少具备三个要素:感觉、运动和思考。智能机器人是多种高新技术的集成体,融合了机械、电子、传感器、计算机硬件和软件及人工智能等多学科知识。机器人已进入智能时代,是未来技术发展的制高点。

## 1.2 机电一体化系统的组成要素

### 1.2.1 机电一体化系统的组成单元

以数控机床为例,机电一体化系统包括机械单元、驱动单元、检测单元、控制单元和执行单元五个基本组成要素,如图1-1所示。

#### 1. 机械单元

机电一体化系统中的机械单元主要是传动、支承部分,包括机械本体、机械传动机构、机械支承机构、机械连接机构。例如,床身、变速齿轮箱、轴承、丝杠、导轨等。

#### 2. 驱动单元

机电一体化系统中的驱动单元是为系统提供能量和动力,使系统正常运转的装置,由动力源、驱动器和动力机等组成,一般分为电、液、气三类。例如,步进电动机、交/直流伺服电动机及其驱动系统。

#### 3. 检测单元

机电一体化系统中的检测单元包括各种传感器及其信号检测电路,用于对系统运行中本身和外界环境的各种参数和状态进行检测,使这些参数和状态变成控制器可识别的信号。传感信息方式有光、电、流体、机械等。例如,检测工作台位置和速度的传感器及其测量系统,以及检测主轴、齿轮箱振动和温度的传感器及其监测系统。

#### 4. 控制单元

机电一体化系统中的控制单元用于处理来自各传感器的信息和外部输入命令,并根据处理

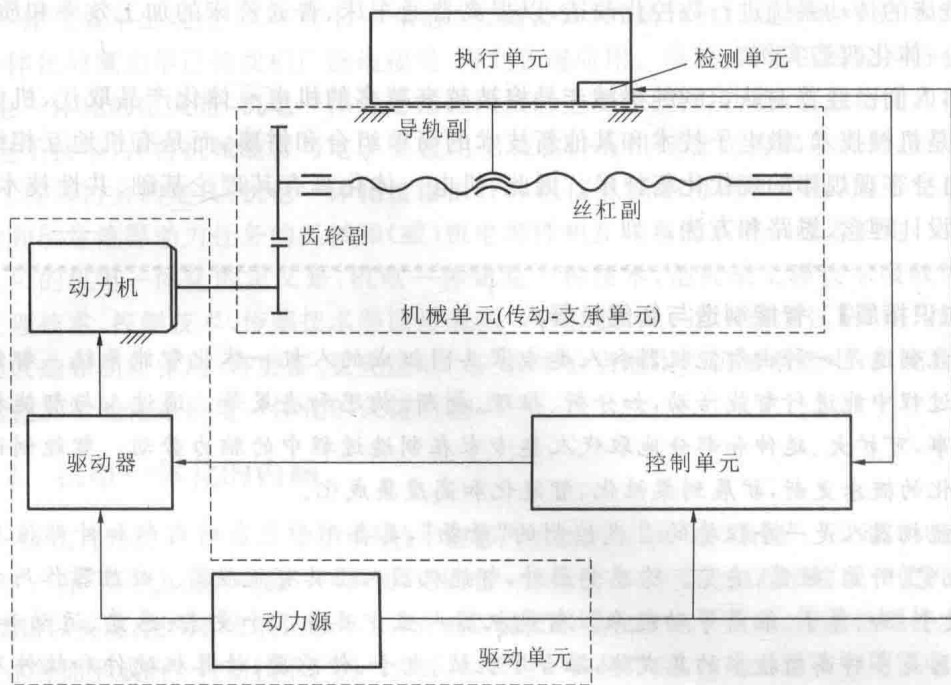


图 1-1 数控机床的基本组成要素

结果,发出相应的控制指令,控制整个系统,使系统有目的地运行。控制单元一般为单片机、计算机、可编程控制器等。例如,西门子、发那科、华中数控、广州数控等机床专用数控系统。

### 5. 执行单元

机电一体化系统中的执行单元根据控制指令,通过动力传输来驱动执行机构完成动作,是实现目的功能的直接参与者。执行单元性能的好坏决定着系统性能。例如,机床的刀具系统、机器人的末端机构。

机电一体化系统的以上组成要素都具有各自相应的独立功能,即构造功能、驱动功能、检测功能、控制功能和执行功能,它们在工作中各司其职,互相补充、互相协调,共同完成所规定的目的功能。如果把人体看作系统,则人体也由以上五大要素组成并具有相应的功能。人体与机电一体化系统的五大要素及其功能对应关系如图 1-2 所示。

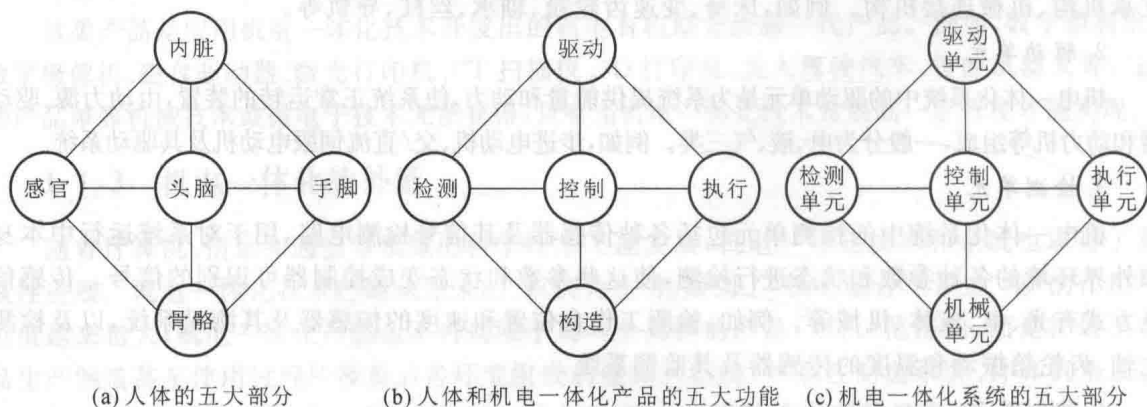


图 1-2 人体与机电一体化系统的五大要素及其功能对应关系

### 1.2.2 机电一体化系统的单元接口

从广义上讲,机电一体化系统是人-机电-环境这个超系统的子系统。因此,可将机电一体化系统称为内部系统,将人与环境构成的系统称为外部系统。内部系统与外部系统之间存在着一定的联系,它们相互作用、相互影响,如图 1-3 所示。

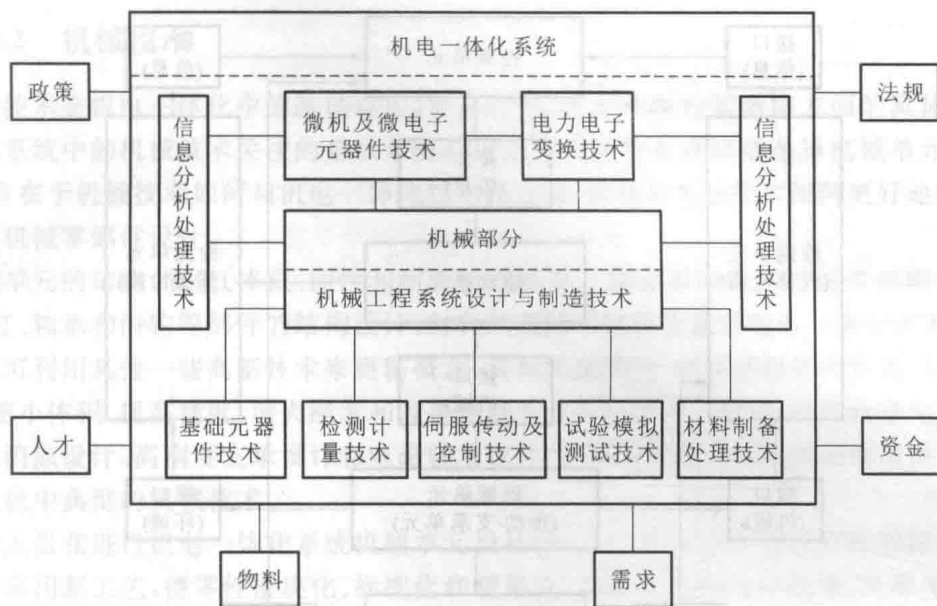


图 1-3 内部系统与外部系统之间的联系

机电一体化系统的组成要素之间需要进行物质、能量和信息的传递和交换。因此,机电一体化各组成要素之间必须具备一定的联系条件,该联系条件即为接口。从系统内部看,机电一体化系统是通过许多接口将系统组成要素的输入和输出联系为一体的系统。基于此观点,系统的性能取决于接口的性能,各组成要素之间的接口性能是系统性能好坏的决定因素。从某种意义上讲,机电一体化系统的设计关键在于接口设计。

根据接口的输入/输出功能,可将接口分为机械接口、物理接口、信息接口和环境接口四种。接口在机电一体化系统中的分布如图 1-4 所示。

#### 1. 机械接口

机械接口主要是检测单元、驱动单元与机械单元之间的接口,具体是指根据输入/输出部位的形状、尺寸、精度、配合、规格等进行机械连接的接口。例如,传感器在执行机构上的安装接口、电动机与传动轴连接所用的各种装置、接线柱、插头、插座等。

#### 2. 物理接口

物理接口主要是动力源与检测单元、控制单元之间的接口,具体是指受通过接口部位的物质、能量与信息的具体形态和物理条件约束的接口。例如,受电压、电流、扭矩、压力和流量等约束的接口,各种供电接口,以及电磁阀等。

#### 3. 信息接口

信息接口主要是检测单元、驱动单元与控制单元之间的接口,具体是指受标准、规格、法律、语言和符号等逻辑或软件约束的接口。例如,受国家标准 GB、国标标准 ISO、ASCII 码、RS-

232C、C 语言等约束的接口。

#### 4. 环境接口

环境接口主要是检测单元与机械单元之间的接口,具体是指对周围环境条件(温度、湿度、磁场、火、振动、放射能、水、气、灰尘)有保护作用和隔绝作用的接口。例如,防尘过滤器、防水连接器、防爆开关等。

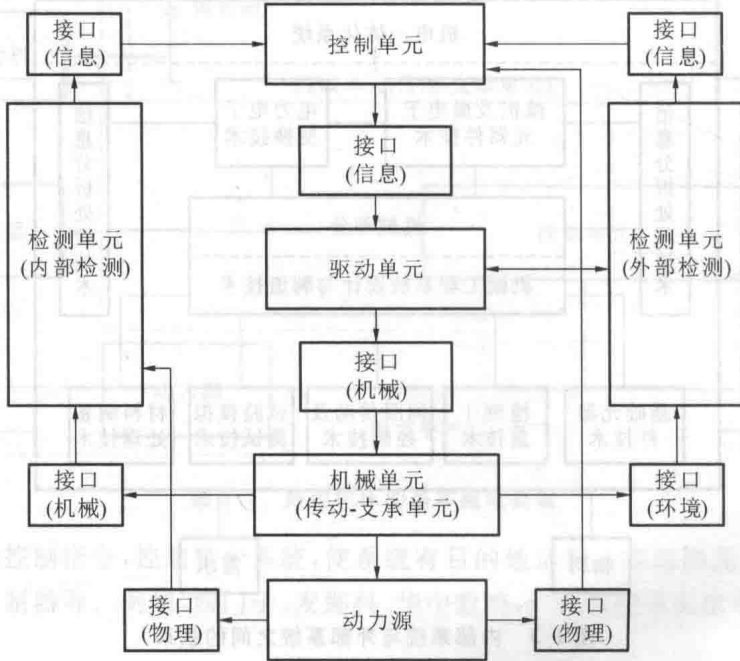


图 1-4 机电一体化系统内部接口

## 1.3 机电一体化系统的共性技术

根据机电一体化的内涵和外延以及系统设计与运行的过程,现代机电一体化系统的共性技术包括总体技术、机械技术、驱动技术、检测技术和控制技术。

### 1.3.1 总体技术

机电一体化系统总体技术是指从系统整体目标出发,用系统的观点和方法,将总体分解成若干功能单元,找出能完成各个功能的技术方案,再将功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合运用技术。

机电一体化系统总体技术的内容很多,如总体方案技术、机电有机结合技术、单元接口技术、软件架构技术、微机应用技术,以及控制系统成套和成套设备自动化、智能化技术等。总体方案是整个系统设计的纲领,其中原理方案的设计是否合理决定着系统应用的成败。因此,方案设计要求设计人员具有极强的宏观思维和创新思维以及丰富的设计开发经验,与其他单元性的技术有显著的不同。机、电两部分在稳态、动态特性方面的匹配设计是一项重要内容,体现了

机电有机结合的一体化设计思想,能够保证系统特性的最优化。即使各个部分的性能和可靠性都很好,如果整个系统不能很好地协调,系统也很难保证正常地运行。因此,单元间的接口技术是系统总体技术中极其重要的内容,是实现系统各部分有机连接的重要保障。

机电一体化系统总体技术是最能体现机电一体化特点的技术,它的原理和方法还在发展和完善中。

### 1.3.2 机械技术

机械技术是机电一体化中的基础技术,涉及传动、支承和执行等诸多方面的具体技术。机电一体化系统中的机械技术关注的是从系统最优设计的角度来设计或选择机械单元的实现方案,着眼点在于机械技术如何与机电一体化技术相适应、机械和电的技术如何更好地结合,不同于一般的机械零部件设计。

机械单元的结构、质量、体积、刚性和耐用性对机电一体化系统有着很重要的影响。例如,导轨、丝杠、轴承和齿轮等部件的结构设计,材料的选用和制造质量对机电一体化系统的性能影响极大。可利用其他一些高新技术来更新概念,实现机械结构、材料和性能的变更,从而满足减轻质量、缩小体积、提高精度、增大刚度和改善性能等方面的要求。例如,结构轻量化设计、齿轮和丝杠的间隙设计、高刚度支承设计和电磁轴承取代滚/滑动轴承以减小摩擦的设计,都是机电一体化系统中典型的机械技术。

设计人员进行机电一体化系统机械单元设计时,不仅要考虑采用新材料和新结构,以及在制造时采用新工艺,使零件模块化、标准化和规格化,提高装配和维修效率,还要考虑整体构型是否合理、机器与人是否和谐等因素。

### 1.3.3 驱动技术

伺服系统是使执行机构的位置、方向、速度等输出能跟随输入量或给定值的任意变化而变化的自动控制系统。驱动技术就是面向伺服系统设计的核心技术。伺服传动或驱动技术是实现从控制信号到机械动作的控制转换技术,对机电一体化系统的动态特性、控制质量和技术功能具有决定性的影响。

伺服传动装置包括动力源、驱动器和机械传动装置。控制系统通过接口与伺服传动装置相连接,控制伺服传动装置的运动,使执行机构进行回转、直线运动和其他运动。常用的伺服驱动装置主要有电液马达、脉冲油缸、步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机,它们不同于常规的电、液动力装置。由于变频技术的进步,交流伺服驱动技术取得了突破性进展,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。

相比之下,伺服机械传动装置的发展要落后于伺服驱动装置,伺服机械传动装置有时满足不了高端机电一体化系统的精密设计需求。深入研究伺服机械传动技术,用伺服机械传动代替传统机械传动,是机电一体化技术对传统机械系统进行智能化改造的必然选择。

### 1.3.4 检测技术

检测技术是传感技术和信息处理技术的综合,是机电一体化技术发展最快、最活跃的领域。传感器是机电一体化系统的感受器官,它与系统的输入端相连并将检测到的信号输送至信息处理部分。传感和检测是实现自动控制、自动调节的关键环节,检测精度的高低直接影响机

机电一体化系统的好坏。现代工程技术要求传感器能够快速、精确地获取丰富的信息,并且经受住各种严酷使用环境的考验。不少机电一体化系统难以达到满意的效果或无法实现预期设计的关键原因主要是没有合适的传感器。因此,大力开展传感器研发对机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

信息处理技术包括对传感器获得的信息进行预处理、数字化、运算分析、存储和输出等技术。信号的处理和分析是否恰当、准确、可靠和高效,直接影响机电一体化系统的性能,因此,信息处理技术是机电一体化的关键技术之一。信息处理的硬件主要是计算机,另外还需要输入/输出设备和接口等。信息处理的软件主要是人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术、网络与通信技术和数据库技术等。

对于智能化的机电一体化系统,检测技术还需要智能传感器技术、多信息融合技术、运行状态智能监测技术、诊断与维护技术,系统的健康状态监控是系统智能是否可靠的关键保障技术。例如,通过分布式无线振动传感器对高端数控机床的主轴、进给单元等进行运行状态实时监测,通过信息处理和分析技术识别其状态,找到故障部位和原因,并采用主动平衡、可调阻尼和误差补偿等技术进行主动修正,可实现加工过程的在线不停机维护,保证机床的连续、可靠工作。

### 1.3.5 控制技术

控制理论分为经典控制理论和现代控制理论两大类。经典控制理论主要研究系统的运动稳定性、时间域和频率域中系统的运动特性(过渡过程、频率响应)、控制系统设计原理和校正方法等,包括线性控制理论、采样控制理论、非线性控制理论等。1960年前后,出现了以状态空间法为基础和以最优控制理论为特征的现代控制理论。在现代控制理论中,对控制系统的分析和设计主要通过对系统的状态变量进行描述来进行,基本方法是时间域方法。现代控制理论所能处理的控制问题比经典控制理论所能处理的控制问题广泛得多,包括线性系统和非线性系统、定常系统和时变系统、单变量系统和多变量系统,现代控制理论更适合在数字计算机上处理问题。

运用控制理论对具体的控制装置和系统进行设计,涉及高精度定位控制技术,速度控制技术,自适应控制技术,控制系统的自诊断、自校正、自补偿技术,以及现代控制技术等。控制技术的难点是现代控制理论的工程化和实用化,以及优化控制模型的建立和复杂控制系统的模拟仿真等。由于微机的广泛应用,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。常用的控制器有单片机、STD总线控制系统、普通PC控制系统、工业PC控制机和可编程控制器等。根据传感器的安装位置和控制系统的结构,还可以采用开环控制、半闭环控制和闭环控制等不同策略。

### 1.3.6 机电一体化技术与其他技术的区别

机电一体化技术有着自身的显著特点和技术范畴,想要正确理解和恰当运用机电一体化技术,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通过以电磁学原理为基础的各种电器(如继电器、接触器等)实现,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

调机械部件和电学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. 机电一体化技术与自动控制技术的区别

自动控制技术的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。机电一体化技术是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,应用自控原理和方法对机电一体化系统进行分析 and 性能测算。

## 3. 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是计算机应用技术中的一部分,它还可在办公、管理及图像处理等方面广泛应用。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。

# 1.4 机电一体化系统的设计类型和设计方法

## 1.4.1 机电一体化系统的设计类型

### 1. 开发性设计

在进行机电一体化系统开发性设计时,没有可以参照的同类产品,仅根据工程应用的技术要求,抽象出设计原理和要求,设计出在性能和质量上能够满足目的要求的产品。机电融合型产品的设计就属于开发性设计,开发性设计通常可以申请发明专利。

### 2. 适应性设计

在进行机电一体化系统适应性设计时,在总体原理方案基本保持不变的情况下,对现有产品进行局部改进,采用现代控制伺服单元代替原有机械结构单元。功能替代型产品的设计就属于适应性设计,适应性设计根据创新程度可以申请发明专利或实用新型专利。

### 3. 变异性设计

在进行机电一体化系统变异性设计时,在产品设计方案和功能不变的情况下,仅改变现有产品的规格尺寸和外形设计等,使之适应于不同场合的要求。例如,便携式计算机的设计就属于变异性设计。变异性设计通常可以申请外观设计专利。

## 1.4.2 机电一体化系统的设计方法

### 1. 系统工程与并行工程

#### 1) 系统工程

1978年,我国著名科学家钱学森指出:系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的方法。它是大型复杂系统为研究对象,按一定目的进行设计、开发、管理与控制,以期达到总体效果最优的理论与方法。一个系统的运行有两个相悖的规律。一是整体效应规律:系统各单元有机地组合成系统后,各单元的功能不仅相互叠加,而且相互辅助、相互促进与提高,使系统整体功能大于各单元功能的简单之和,即“整体大于部分和”。另一个相反的规律是系统内耗规律:由于各单元的差异,在组成系统后,若对各单元的协调不当或约束不力,会导致单元间的矛盾和摩擦,出现内耗,内耗过大,可

能出现“整体小于部分和”的情况。机电一体化系统设计是一项系统工程,因此在设计时应自觉运用系统工程的观念和方法,把握好系统的组成和作用规律,以实现机电一体化系统功能的整体最优化。

## 2) 并行工程

1988年,美国国家防御分析研究所完整提出了并行工程的概念,即“并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关过程(包括制造过程和支持过程)的系统方法”。这种方法要求产品开发人员在一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行工程的目标为提高质量、降低成本、缩短产品开发周期和产品上市时间。并行工程的具体做法是:在产品开发初期,组织多种职能协同工作的项目组,使有关人员从一开始就获得对新产品需求的要求和信息,积极研究涉及本部门的工作业务,并将所要求提供给设计人员,使许多问题在开发早期就得到解决,从而保证设计的质量,避免大量的返工浪费。将并行工程的理念引入机电一体化系统的设计中,可以在设计系统时把握好整体性和协调性原则,对设计的成功起到关键性的作用。

## 2. 仿真设计

仿真设计是将仿真技术应用于设计过程,最终获得合理的设计。随着系统建模方法的发展,仿真设计在机电一体化系统设计中得到了广泛应用。仿真设计的基本步骤如下。

### 1) 建立系统数学模型

机电一体化系统仿真设计的关键是建立逼近真实情况的仿真模型。仿真模型可以是物理模型,也可以是对物理模型进行抽象的数学模型。建立数学模型的基本方法主要有解析法和数值法两种,解析法用于可建立系统精确数学模型的简单系统,数值法用于无法建立系统精确数学模型的复杂系统。物理模型通常用于解决复杂系统的设计问题。例如,齿轮传动系统的动力学仿真,可以将齿轮轮齿简化为悬臂梁按照力学知识进行解析求解,也可以在动力学软件中建立齿轮对应的悬臂梁的结构进行分析计算,还可以直接建立齿轮的轮齿进行更真实的三维分析。

根据设计目的不同,仿真可以分为机械结构仿真、电路设计仿真、信号处理仿真和控制方法仿真等。其中,机械结构仿真又根据不同的物理场分为固体力学场仿真、流体力学场仿真、热学场仿真、电学场仿真、磁学场仿真和多场耦合仿真等。例如,电动机的设计需要进行转子-轴承系统的动力学仿真、电动机定子冷却与轴承润滑的流场仿真、温度场仿真、驱动电路仿真、定转子磁场仿真以及热固耦合变形分析、场路耦合电磁设计等。

广义的仿真技术还包括半物理仿真、实验仿真等,采用部分物理样机和控制程序相结合的仿真方法,或缩小比例的实验样机,实现对真实系统的设计研究。

### 2) 开发系统仿真程序

仿真模型的求解首先需要选择合适的仿真算法及程序语言,将仿真模型转换为计算机程序。进行机械结构仿真的工具主要有 SOLIDWORKS、PRO/E、ADAMS、ROMAX、ABAQUS、ANSYS、COMSOL 等。电路设计仿真主要通过 PROTEL、ORCAD 等进行测控电路的仿真。信号处理仿真主要通过 MATLAB、LABVIEW、PYTHON 等进行动态信号处理算法的仿真。控制方法仿真主要通过 C、MATLAB/SIMULINK、LABVIEW 等进行各种控制方法的仿真。其中:通过 C、MATLAB、PYTHON 等语言开发程序难度较大,但灵活可控;而通过其他平台进行仿真容易上手,但可控性相对较差。