



“十二五”江苏省高等学校重点教材
卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

机电一体化系统设计

主 编 张秋菊 王金娥 訾 斌
副主编 田玉冬 尤丽华 贾 茜



科学出版社

“十二五”江苏省高等学校重点教材
卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

机电一体化系统设计

主 编	张秋菊	王金娥	訾 斌
副主编	田玉冬	尤丽华	贾 茜
编 委	陈海卫	周德强	吴静静

科 学 出 版 社

北 京

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-64034315; 010-64010630 (传真)

内 容 简 介

本书以机电一体化系统设计为主线,介绍机电一体化系统所必需的基础知识与关键技术,内容分为基础篇与应用篇两部分。基础篇包括机械设计技术、检测传感技术、伺服驱动技术、计算机控制技术以及系统分析与综合方法等,从系统化的角度介绍各要素之间的相互作用和整体集成。应用篇通过工业机器人、自动生产线和数控系统这三个典型的机电一体化系统实例,进一步阐述系统化设计理论和实践应用方法。最后结合实际生产案例,给出了20个机电一体化系统设计的课程设计题目供参考选用。

本书可作为普通高等院校机械电子工程、机械工程等专业本科生教材,适合实施“卓越工程师教育培养计划”的本科试点专业使用,也可作为相关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/张秋菊,王金娥,訾斌主编. —北京:科学出版社,2016.6
“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号:2015-2-094)·卓越工程师教育培养
机械类创新系列规划教材

ISBN 978-7-03-050829-4

I. ①机… II. ①张… ②王… ③訾… 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(2016)第 289199 号

责任编辑: 邓 静 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 闫 磊 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张: 17

字数: 432 000

定价: 43.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

版权所有, 违者必究! 未经本社许可, 数字图书馆不得使用

《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

组织委员会

主任：芮延年 胡华强

委员：（以姓名首字母为序）

陈 炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡 敏 刘春节 刘 忠
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪
曾亿山 张秋菊 朱 伟 周 海 左晓明

编写委员会

顾问：闻邦椿（院士）

主任：芮延年 陈 炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘 忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山
朱瑞富 左晓明

委员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾 锋 顾 荣 管图华
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄 娟 刘道标 刘 新
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱 钧
盛小明 宋昌才 孙 进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨 莉 姚辉学
袁 浩 张 洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华
朱益民 竺志大

秘书：邓 静

总 序

“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》的重大改革项目，也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务，对促进高等教育面向社会需求培养人才，全面提高工程教育、人才培养质量具有十分重要的示范和引导作用。

科学出版社以教育部“卓越工程师教育培养计划”为准则，以面向工业、面向世界、面向未来，培养造就具有工程创新能力强、适应经济社会发展需要的卓越工程技术人才为培养目标，组织有关专家、学者、教授编写了本套《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》。

本系列教材力求体现的最大特点是，在每本教材的编写过程中，根据授课内容，引入许多相关工程实践案例，这些工程实践案例具有知识性、典型性、启发性、真实性等特点，它可以弥补传统教材森严乏味的局限性，充分调动学生学习的积极性和创造性，引导学生拓宽视野、重视工程实践、培养解决实际问题的能力。通过编者精心收集组织的实际工程案例让学生明白为什么学习、学成能做什么，从而激发学生学习的内在动力和热情，使学生感到学有所用。

本系列教材除了主教材之外，还配套有多媒体课件，以后还将逐步完善建设配套的学习指导书、教师参考书，最终形成立体化教学资源网，方便教师教学，同时有助于学生更好的学习。

我们相信《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的出版，将对我国普通高等教育的发展起到创新探索的推动作用，对机械工程人才的培养以及机械工业的发展产生积极有效的促进作用。

中国科学院院士、东北大学教授 闻邦椿

2014年5月10日

前 言

机电一体化(Mechatronics)是微电子技术、计算机技术向机械技术不断渗透而形成的综合性技术,是融机械工程、电气工程、计算机科学、信息技术等为一体的新兴交叉学科。随着计算机与信息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,已经渗透到世界经济与科技的各个领域,成为诸多高新技术产业及装备的基础和技术竞争优势的体现,被世界各国列入重大发展战略。

机电一体化技术的全球竞争归根结底是机电一体化人才的竞争。《机电一体化系统设计》是机械电子工程和相关专业开展机电一体化教学的重要专业教材。掌握机电一体化系统设计的核心是综合应用,而综合应用的基础是基本理论和工程实践。为了适应机电一体化人才培养的需要,各高校都在不断深化机电一体化技术相关专业的教学改革和课程建设。“卓越工程师教育培养计划”是教育部创新人才培养模式、提高人才培养质量的重要举措,各高校都在积极实施,然而目前国内适应这一教学改革创新的教材尚十分缺乏。

本书根据卓越工程师教育培养的要求,突出“工程化”和“案例化”,强化学生的工程能力和创新能力的培养。每章从一个机电一体化产品案例的介绍、提问开始,引导学生去思考、钻研,激发学生的学习兴趣。将机电一体化关键技术融入典型的机电一体化产品(系统)的具体实例讲解中,便于学生从“系统”和“应用”的角度出发,理解和掌握机电一体化系统的设计原理与设计方法,提高学生的综合分析与设计能力,体现知识的拓展和能力的提升。各交叉学科的知识和技术不再孤立,而是有机结合、综合运用。目的是使学生系统地掌握机电一体化技术的基本原理和实际应用技术,培养具有系统分析和总体设计能力的机电一体化系统设计人才。

本书分为基础篇和应用篇两大部分,共10章。在基础篇部分,着重介绍机电一体化系统的几大关键技术,从机电一体化产品的实际案例出发,介绍机电一体化系统的设计原理与设计方法,在重温已学过的机械、电子、传感和控制知识的基础上,从新的角度和深度去理解和认识如何应用多种交叉学科技术,用系统的观点去分析、评价和设计机电一体化产品。在应用篇部分,针对工业机器人、自动化生产线、数控系统等典型机电一体化产品的实际工程案例,详细剖析其设计思路、方法,并进一步加入静、动态特性分析内容,使学生在掌握分析设计方法的同时,进一步了解现代设计分析方法和手段,为今后的学习工作乃至深造拓展思路和眼界。

本书每章附有习题与思考题,并在书后给出部分参考答案;另配有补充阅读资料,以拓展视野和知识面。最后一章为配合课程设计等教学实践环节的实施,给出了“机电一体化系统设计”课程设计参考题目。在教学过程中,课程设计的研究对象可提前作为工程实例在教学和实验环节简要介绍,鼓励学生在课程学习的同时,边学边用,分析和设计自己的研究对象;同时便于教师衔接教学内容,组织和开展教学活动,有效提高课程设计的质量和效果。本书还配套有电子课件,便于教师教学使用。

本书由来自5所高校的9位教师编写。编写人员均为从事机电一体化教学科研的一线教师,长期担任“机电一体化系统设计”的课程教学任务,并具有从事机电一体化技术的科研

与实践经验，近年来具体参与了教育部“卓越计划”试点专业的教学改革与实践，对卓越工程师的培养有切身体会，积累了比较丰富的教学、教改经验与工程实践经历。具体编写工作包括：江南大学张秋菊编写第1章，苏州大学王金娥编写第2章，江南大学周德强编写第3章，南京工程学院贾茜编写第4章，江南大学吴静静编写第5章，江南大学尤丽华编写第6章，合肥工业大学訾斌编写第7章，苏州科技学院田玉冬编写第8章，江南大学陈海卫编写第9章，第10章由张秋菊、陈海卫、尤丽华编写。全书由张秋菊统稿。博士研究生孙沂琳、陈宵燕帮助完成了本书插图绘制工作。在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免会有不足和欠妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2016年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机电一体化概述	2
1.2 机电一体化系统的基本组成要素	4
1.3 机电一体化关键技术	5
1.4 机电一体化技术的主要特征与发展趋势	9
1.4.1 机电一体化技术的主要特征	9
1.4.2 机电一体化技术的发展趋势	10
1.5 机电一体化系统设计开发过程	12
1.5.1 机电一体化系统的设计	12
1.5.2 机电一体化系统设计的工程路线	13
习题与思考题	15

基 础 篇

第 2 章 机械设计技术	16
2.1 机械设计概述	17
2.2 齿轮(系)传动	18
2.2.1 齿轮分类及选用	18
2.2.2 传动比的确定	20
2.2.3 齿侧间隙的消除	22
2.3 谐波齿轮传动	24
2.4 滚珠丝杠螺母副	25
2.4.1 滚珠丝杠螺母副的组成及特点	25
2.4.2 滚珠的循环方式	26
2.4.3 主要设计参数	26
2.4.4 滚珠丝杠副的精度等级及标注方法	27
2.4.5 间隙消除及预紧方法	28
2.4.6 支撑方式及制动装置	29
2.4.7 润滑和密封	30
2.4.8 滚珠丝杠螺母副的选用	30
2.5 同步带传动装置	31
2.5.1 同步带传动的原理与特点	31
2.5.2 同步带的主要结构及分类	32
2.5.3 同步带轮的主要类型及规格	33
2.5.4 同步带传动的设计计算	34

2.6	导轨的设计计算与选用	38
2.6.1	导轨的技术要求	38
2.6.2	直线滑动导轨	38
2.6.3	圆运动导轨与贴塑滑动导轨	40
2.6.4	滚动直线导轨	41
2.7	工程实践例题	42
	习题与思考题	44
第3章	检测传感技术	45
3.1	传感器的组成及分类	46
3.1.1	传感器的组成	46
3.1.2	传感器的分类	47
3.2	传感器特性与要求	48
3.2.1	传感器的静态模型	49
3.2.2	传感器的静态特性指标	49
3.2.3	传感器的动态特性指标	52
3.3	常用传感器及应用	54
3.3.1	光电编码器	54
3.3.2	光栅尺	57
3.3.3	温度传感器	59
3.3.4	霍尔传感器	61
3.3.5	超声波传感器	62
3.3.6	智能传感器	63
3.4	检测信号处理技术	65
3.4.1	检测信号概述	65
3.4.2	模拟信号的处理	66
3.4.3	数字信号的处理	68
3.5	传感器接口技术	70
3.5.1	传感器信号的采样/保持	70
3.5.2	多通道模拟信号输入	72
	习题与思考题	74
第4章	伺服驱动技术	76
4.1	伺服系统的组成与分类	77
4.1.1	伺服系统的结构组成	77
4.1.2	伺服系统的分类及特点	78
4.2	步进电动机及驱动	79
4.2.1	步进电动机的结构与分类	79
4.2.2	步进电动机的工作原理	81
4.2.3	步进电动机的运行特性	82

4.2.4 步进电动机的驱动控制.....	82
4.3 直流伺服电动机及驱动.....	84
4.3.1 直流伺服电动机结构及特点.....	84
4.3.2 直流伺服电动机的工作原理.....	84
4.3.3 直流伺服电动机的驱动控制.....	87
4.3.4 直流电动机闭环反馈控制调速系统.....	88
4.4 交流伺服电动机及驱动.....	91
4.4.1 交流伺服电动机的工作原理.....	91
4.4.2 交流伺服电动机的特性.....	93
4.4.3 交流伺服电动机的控制和驱动.....	93
4.5 工程实践例题.....	95
习题与思考题.....	99
第5章 计算机控制技术.....	100
5.1 控制计算机的组成及要求.....	101
5.2 常用控制计算机的类型与特点.....	102
5.3 机电一体化系统的常用控制方法.....	105
5.3.1 控制系统的结构.....	105
5.3.2 控制系统的数学模型.....	106
5.3.3 PID 控制.....	107
5.3.4 常见复杂控制.....	111
5.3.5 分布式、网络化控制.....	117
5.3.6 远程控制.....	119
5.4 机电一体化系统的智能控制技术.....	119
5.4.1 专家智能控制系统.....	120
5.4.2 自学习智能控制系统.....	121
5.4.3 模糊控制系统.....	122
5.4.4 基于神经网络的智能控制系统.....	123
5.4.5 机器视觉智能系统.....	124
习题与思考题.....	124
第6章 机电一体化系统设计方法.....	125
6.1 机电一体化系统设计方法概述.....	126
6.1.1 设计方法的演变.....	126
6.1.2 机电一体化系统的特征.....	127
6.1.3 机电一体化系统设计指导思想.....	128
6.1.4 机电一体化系统设计方法论.....	128
6.2 系统总体技术.....	130
6.2.1 系统总体技术的定义.....	131

6.2.2	系统总体技术方法论.....	131
6.2.3	系统总体方案的提出过程.....	133
6.2.4	系统总体技术的应用案例.....	134
6.3	系统分析评价方法.....	137
6.3.1	方案的优化设计.....	138
6.3.2	系统性能分析方法.....	139
6.4	建立系统的数学模型.....	143
6.4.1	数学模型的种类.....	143
6.4.2	数学模型的建模方法.....	144
6.4.3	机电一体化系统的数学模型.....	145
6.5	建立系统的指标体系.....	147
6.5.1	性能指标的种类.....	147
6.5.2	确定性能指标的途径.....	148
6.5.3	性能指标对设计的影响.....	149
6.6	机电系统总体设计实例.....	150
	习题与思考题.....	152

应 用 篇

第 7 章	机电一体化产品设计——机器人设计.....	154
7.1	机器人设计概述.....	155
7.2	机器人机械结构设计.....	158
7.2.1	机器人关节设计.....	158
7.2.2	机器人机身设计.....	161
7.2.3	机器人传动机构设计.....	161
7.2.4	机器人行走机构设计.....	162
7.3	机器人驱动系统设计.....	164
7.4	机器人传感系统设计.....	166
7.4.1	机器人传感器分类.....	166
7.4.2	装配机器人传感系统.....	166
7.4.3	焊接机器人传感系统.....	168
7.4.4	多传感器集成手爪系统.....	169
7.5	机器人控制系统设计.....	171
7.6	机器人动态特性分析.....	173
7.7	工程实例.....	174
7.7.1	机器人运动学分析.....	174
7.7.2	机器人运动性能分析.....	176
7.7.3	机器人动力学分析.....	177
7.7.4	机器人动态性能分析.....	178

习题与思考题.....	181
第 8 章 机电一体化产品设计——自动生产线设计.....	182
8.1 自动生产线概述.....	183
8.2 自动生产线总体设计.....	186
8.2.1 自动生产线总体设计内容及原则.....	186
8.2.2 自动生产线总体设计流程.....	187
8.2.3 自动生产线总体设计性能指标.....	187
8.3 自动生产线结构设计.....	189
8.3.1 自动生产线结构组成.....	190
8.3.2 自动生产线结构形式.....	190
8.3.3 自动生产线工件传送装置设计.....	197
8.3.4 典型自动生产线结构装置.....	200
8.4 自动生产线传感器的选择与应用.....	202
8.4.1 自动生产线对传感器的要求.....	202
8.4.2 自动生产线传感器的选择原则.....	203
8.4.3 自动生产线传感器的布置.....	203
8.4.4 自动生产线传感器的应用.....	204
8.5 自动生产线执行器的选择与应用.....	206
8.5.1 自动生产线对执行器的要求.....	206
8.5.2 自动生产线执行器的种类.....	206
8.5.3 自动生产线执行器的使用性能特点.....	206
8.5.4 自动生产线执行器的选择.....	207
8.6 自动生产线控制装置的技术应用.....	209
8.6.1 自动生产线对控制装置的要求.....	209
8.6.2 自动生产线控制装置的种类.....	209
8.6.3 自动生产线控制装置的性能比较.....	210
8.6.4 自动生产线控制装置的应用.....	211
习题与思考题.....	213
第 9 章 计算机数控系统与应用实例.....	214
9.1 数控系统概述.....	215
9.1.1 计算机数控系统的组成.....	215
9.1.2 计算机数控系统的分类.....	219
9.1.3 计算机数控系统的发展.....	219
9.2 典型数控系统简介.....	220
9.2.1 FANUC 数控系统.....	221
9.2.2 西门子数控系统.....	222
9.2.3 三菱数控系统.....	223

9.2.4	华中数控系统.....	224
9.2.5	广州数控系统.....	225
9.3	开放式数控系统简介.....	226
9.3.1	开放式数控系统的特点.....	226
9.3.2	开放式数控系统国内外发展现状.....	227
9.3.3	数控系统开放的途径.....	228
9.3.4	基于 PC 的开放式数控系统.....	229
9.4	中走丝线切割机床数控系统的设计.....	230
9.4.1	中走丝数控系统硬件组成.....	231
9.4.2	中走丝线切割 CAD/CAM 自动编程系统.....	233
9.4.3	中走丝线切割 CNC 控制软件.....	234
	习题与思考题.....	238
第 10 章	机电一体化课程设计与实践.....	240
10.1	课程设计概述.....	240
10.2	参考选题.....	240
10.2.1	轴承外圈外径自动检测机设计.....	240
10.2.2	轴承内圈内径自动检测机设计.....	241
10.2.3	轴径自动检测机设计.....	242
10.2.4	长度自动检测机(滚柱)设计.....	243
10.2.5	长度自动检测机(短轴)设计.....	243
10.2.6	输送纠偏装置设计.....	244
10.2.7	自动绕线机设计.....	245
10.2.8	自动绕管机设计.....	246
10.2.9	数控直线位移工作台设计.....	246
10.2.10	数控车床四工位自动刀架设计.....	247
10.2.11	电路板外形检测机设计.....	248
10.2.12	自动定量包装机设计.....	249
10.2.13	线圈自动装配机设计.....	250
10.2.14	物料自动搬运小车设计.....	250
10.2.15	联轴器自动搬运机械手设计.....	251
10.2.16	海绵硬度检测机设计.....	252
10.2.17	乒乓球硬度测量机设计.....	252
10.2.18	凸轮轴升程检测装置设计.....	253
10.2.19	小型电子分度头设计.....	254
10.2.20	精密直线电动执行器设计.....	255
	部分习题参考答案.....	256
	参考文献.....	258

第1章 绪论

你见过机器人吸尘器么？图 1-1 是一款由美国 iRobot 公司生产的机器人吸尘器，英文名称为“Roomba”。1990 年美国麻省理工学院教授罗德尼·布鲁克斯(Rondy Brooks)与其学生科林·安格尔(Colin Angle)和海伦·格雷纳(Helen Greiner)创办了 iRobot 公司。iRobot 最初专注于军用机器人的研究，后来开始涉足家用机器人市场，并在 2002 年推出了具有历史意义的机器人吸尘器 Roomba。至 2015 年底，iRobot 在全球已售出超过 1400 万台家用机器人，缔造有史以来消费型机器人最好的销售佳绩。如今在中国的许多商场也能看到类似的国产品牌家用吸尘机器人在销售，越来越多的家庭开始使用机器人吸尘器来替代人工完成枯燥、劳累的房间地面清洁工作。



图 1-1 iRobot 家用机器人 Roomba

小思考 1-1

你观察过类似图 1-1 的家用吸尘机器人吗？它具有哪些功能？它为什么能够避开障碍物？机器人吸尘器的智能化体现在哪些方面？

类似机器人吸尘器这样包含了机构、控制器、传感器、驱动电动机以及算法软件的工业及民用产品还有很多，统称为机电一体化产品。在当今世界经济与科技的各个领域，都能看到机电一体化技术的渗透和机电一体化产品的应用。想了解机电一体化技术么？想知道机电一体化产品是如何设计和开发出来的么？通过本章及后续章节的学习，你会找到答案。

本章知识要点

- (1) 了解机电一体化的基本概念和定义；
- (2) 了解机电一体化系统的基本组成要素；
- (3) 了解机电一体化的几大关键技术；
- (4) 了解机电一体化系统设计的基本理念和过程；
- (5) 了解机电一体化技术的发展趋势。

探索思考

观察身边的机电一体化系统，思考机电一体化系统如何体现智能化？如何实现智能化？

预备知识

请预先复习以前学过的机械原理、机械设计、测试技术、微机原理和控制工程基础等课程的知识。

1.1 机电一体化概述

机电一体化又称机械电子学，英文为“Mechatronics”，由机械学“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。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的普遍认同，而且还意味着“机电一体化”的思想和哲理为世人所接受。

顾名思义，机电一体化技术是机械技术、电子技术和信息技术有机结合的产物。它包括产品和技术两方面：机电一体化产品是集机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品；机电一体化技术是指其技术基础、技术原理和使机电一体化产品得以实现、使用和发展的技术。

在工业生产和日常生活中，随处可见机电一体化产品。现代化的自动生产设备几乎可以说都是机电一体化设备，如数控机床、工业机器人、自动生产线等。而常用的家电和信息产品如洗衣机、吸尘器、打印机等也是典型的机电一体化产品。图1-2是一些典型的机电一体化产品，广泛应用于各行各业。

小思考 1-2

你能举几个日常生活中或工业生产中曾看到的机电一体化产品实例吗？试分析一下它们为什么是机电一体化产品。



图 1-2 典型的机电一体化产品

分析机电一体化产品,不难发现它与传统机械产品相比,具有一些共同的特点,即: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“糅合”到机械装置中去,从而获得了过去单靠某种技术无法实现的功能和效果,达到多功能、高效率、高智能、高可靠性、省材、节能、轻巧的目的。也正因如此,机电一体化成为渗透各个领域的21世纪主流技术之一,对社会,是实现技术进步、可持续发展的强力助推剂;对制造商,是提升产品技术附加值的有效手段;对用户,则是科技创造美好生活的最佳体现。

机电一体化涉及的技术及应用领域十分广泛,如图1-3所示。有别于一般的多学科系统,机电一体化系统的设计强调系统性和集成性,而多学科系统设计通常采用按学科顺序设计的方法。例如,机电系统是一种最常见的多学科系统,传统的设计方法是从机械设计开始,当机械设计完成后,再设计电气系统,接着是控制算法的设计和实现。按学科顺序设计的方法存在的最大问题是,各个学科环节的设计如果仅考虑自身的约束而采取折中方案,会传递和影响下一个环节,最终可能对控制系统的设计产生冲突性的限制,由此对整个机电系统性能产生不利的影响,而这种影响又往往由于各个环节的独立设计而难以界定和消除。

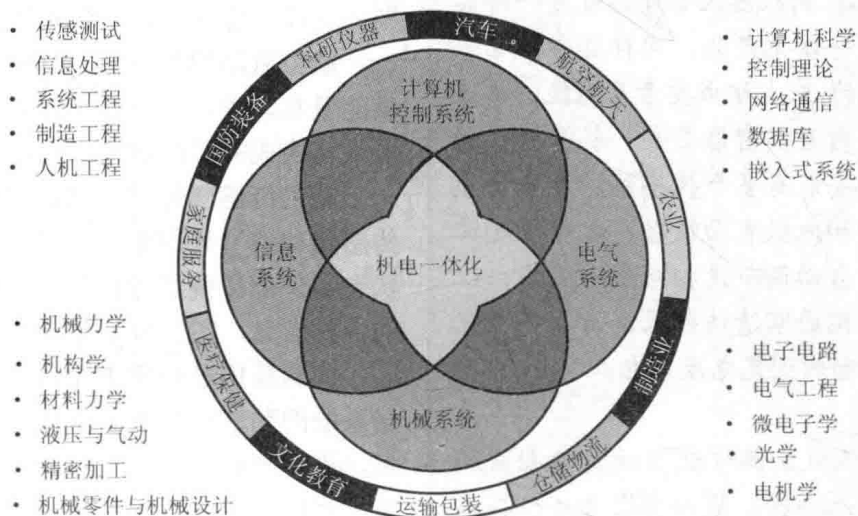


图 1-3 机电一体化涉及多学科领域

机电一体化系统的设计是基于系统工程学方法,在设计各个阶段,采用并行、协同的方法,将机械、电气及计算机系统和信息系统进行有机结合与综合集成。在这个过程中所应用的技术称为机电一体化技术,它综合应用机械技术、微电子技术、信息技术、自动控制技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术及软件编程技术等多学科高新技术,从系统理论出发根据系统功能目标和优化组织结构目标,以智力、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、能量变换进行研究,使得整个系统有机集成,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功能复合、总体性价比最优的系统工程技术。

简而言之,机电一体化是以机械、电气、传感测试、计算机控制和信息技术为主的多学科技术在机电产品发展过程中相互渗透、相互融合而形成的一门新兴交叉学科,它的实质是,用系统工程的观点和方法来分析和研究机电一体化产品或系统,综合运用现代高新技术,通过各种技术的相互协调和有机结合,实现产品内部各部分合理匹配和整体效能最佳。

1.2 机电一体化系统的基本组成要素

一个产品的功能是通过其功能要素来实现的。机电一体化系统要实现其目的功能，通常需要具备五大功能要素：主功能、动力功能、检测功能、控制功能和构造功能。其中，主功能或操作功能是实现系统目的功能直接必需的功能，表明了系统的主要特征；动力功能是向系统提供动力、让系统得以运转的功能；检测功能用于获取外部或内部信息；控制功能对整个系统实施控制；构造功能则将系统各要素组合起来，进行空间配置，形成一个统一的整体。

上述五大功能要素对应机电一体化系统的五大组成部分，包括机械本体、动力源、测试传感部分、控制及信息处理单元、执行机构，分别构成了结构组成要素、动力组成要素、感知组成要素、智能组成要素、运动组成要素。



案例 1-1

图 1-1 的机器人吸尘器就是一个典型的机电一体化产品，同样具备机电一体化系统的 5 大组成要素及功能。机器人吸尘器内置高智能芯片，机身为可移动装置，安装有多个传感器，会自动侦测障碍物和地板表面情况，配合预定清洁模式，自动调节清扫路线和吸力，以完成拟人化居家清洁效果，清扫任务完成后会自动回到充电座充电。

问题：

机器人吸尘器对应 5 大组成要素的功能部件是哪些？进一步思考：机器人吸尘器如何实现前进、后退、转向动作？

机械本体(结构组成要素)：是系统所有功能要素的机械支持结构，一般包括有机身、框架、支撑、连接等，实现系统的构造功能。

动力驱动部分(动力组成要素)：为系统提供能量和动力，并依据系统控制要求将输入的能量转换成需要的形式，实现动力功能。

测试传感部分(感知组成要素)：包括各种传感器和信号处理电路，对系统运行时的内部状态和外部环境进行检测，提供进行控制所需的各种信息，实现检测功能。

控制及信息处理单元(智能组成要素)：根据系统的功能和性能要求以及传感器反馈的信息，进行分析、处理、存储和决策，控制整个系统有目的的运行，实现控制功能。

执行机构(运动组成要素)：包括执行元件和机械传动机构，执行元件通常基于电气、机

械、流体动力或气动，根据控制及信息处理部分发出的指令，把电气输入转化为机械输出，如力、角度和位置，完成规定的动作，实现系统的主功能。

五大功能要素和组成要素对应关系如图 1-4 所示。

机电一体化系统的五大组成要素在工作中各行其职，相互协调、补充，共同完成目的功能。即在机械本体的支撑下，由传感器检测系统的运行状态及环境变化，将信息反馈给计算机进行处理，并按要求控制动力源驱动执行机构工作，完成要求的动作。其中系统控制单元在软、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。

需要指出的是，构成机电一体化系统的五个基本组成要素之间并非简单拼凑而成，其内部及相互之间的接口耦合、信息处理、运动传递和能量变换都必须遵循其基本原则进行有机结合与综合优化。在结构上各组成要素通过各种接口和相关软件有机地结合在一起，构成一个内部合理、外部效能最佳的机电一体化系统，如图 1-5 所示。