

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

机电一体化导论

主编 封士彩 王长全

主审 郭兰中



课件&试卷

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

机电一体化导论

主 编	封士彩	王长全
副主编	王建平	周连全
参 编	徐 勇	陈梅干
主 审	郭兰中	

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书结合“工业 4.0”及“中国制造 2025”，详细介绍了机电一体化的基本概念、基础理论和关键技术，阐述了机电一体化系统典型部件、重要构成要素及其相互之间的关系，并着重讲述了机电一体化涵盖的各项技术内容与知识体系。全书共分 11 章，内容包括：绪论、机电一体化产品的组成、机电一体化产品的控制策略、液压气动及其控制技术、计算机接口及控制技术、数控技术、机器人技术、机电一体化产品的检测技术、机电一体化设备故障诊断技术、微机电系统技术、典型机电一体化技术应用的实例分析。各章内容均按突出基础性、创新性、实用性和前沿性的思路编写，力求帮助读者建立机电一体化技术的知识结构，开阔视野，并为后续机电一体化技术的学习、设计、开发和应用奠定前期基础。

本书内容翔实、图文并茂，以通俗易懂的语言讲述机电一体化相关技术知识，将前沿科研成果和发展动态融入教材之中；可作为机械工程及自动化、机械电子工程、电气工程及自动化等机电类专业本科生、专科生的普及性入门教材，也可供机电一体化技术的初学者和希望快速了解机电一体化技术全貌的工程技术人员参考。

本书提供教学课件和测试试卷，读者可扫描书中二维码获取或登录我社官网下载。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化导论/封士彩, 王长全主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2017. 12
应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4805-7

I. ① 机… II. ① 封… ② 王… III. ① 机电一体化 IV. ① TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 002612 号

策 划 高 樱

责任编辑 李清妍 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15

字 数 350 千字

印 数 1~3000 册

定 价 34.00 元

ISBN 978-7-5606-4805-7/TH

XDUP 5107001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

应用型本科 机械类专业规划教材

编审专家委员名单

主任：张 杰(南京工程学院 机械工程学院 院长/教授)

副主任：杨龙兴(江苏理工学院 机械工程学院 院长/教授)

张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)

陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)

花国然(南通大学 机械工程学院 副院长/教授)

杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

陈劲松(淮海工学院 机械学院 副院长/副教授)

郭兰中(常熟理工学院 机械工程学院 院长/教授)

高 荣(淮阴工学院 机械工程学院 副院长/教授)

胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)

刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/副教授)

刘 平(上海第二工业大学 机电工程学院 教授)

茅 健(上海工程技术大学 机械工程学院 副院长/副教授)

唐友亮(宿迁学院 机电工程系 副主任/副教授)

王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/副教授)

王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)

王书林(南京工程学院 汽车与轨道交通学院 副院长/副教授)

吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)

吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)

许德章(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 院长/教授)

许泽银(合肥学院 机械工程系 主任/副教授)

周 海(盐城工学院 机械工程学院 院长/教授)

周扩建(金陵科技学院 机电工程学院 副院长/副教授)

朱龙英(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)

朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

前言

“工业 4.0”是指利用物联信息系统将生产中的供应、制造、销售信息数据化、智慧化，最后达到快速、有效、个人化的产品供应，旨在提升制造业的智能化水平，是以智能制造为主导和核心的第四次工业革命。“中国制造 2025”实行五大工程，包括制造业创新中心建设工程、强化基础工程、智能制造工程、绿色制造工程和高端装备创新工程；同时，包括新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械等十个重点领域。其中，机电一体化技术是“工业 4.0”和“中国制造 2025”的重要方面。随着机械技术、微电子技术的飞速发展与应用，机械技术和微电子技术的相互渗透，标志着机电有机结合的机电一体化技术也在迅猛发展。机电一体化是机械工业技术和产品的发展方向，是机械与电子的一体化技术。所谓一体化并不是机械和电子等的简单组合，而是取其所长、有机融合(结合)，以实现系统的最佳化。

机电一体化技术是现代工业的基础，是从系统的观点出发，用机械技术与微机控制技术构造最佳一体化系统的现代化高新技术，具有节省能源、节省材料、多功能、高性能和高可靠性等特点，从而实现系统或产品的短小轻薄和智能化，实现运用机械、电子、液压、气动、信息等方面的知识和技术来解决生产过程中的技术问题，提高产品性能及自动化程度，是高等学校机械工程各专业的莘莘学子急需掌握的技术。

根据新一轮应用型本科人才培养方案的要求，针对本科学生在大学一二年级全部学习基础课的状况，本课程安排在大学一二年级教学，旨在培养学生的专业兴趣，了解本专业需要学习的内容，合理利用大学学习时间，开发学生的学习潜力，确定自身的专业学习方向和研究目标，对以后专业课学习及就业或深造具有极大的帮助和启发，有利于克服大学一二年级盲目学习及三四年级紧张学习的状况。本书是提高教学质量的有益尝试。

在本书的内容编排上，编者按“机电一体化导论”课程教学大纲编写，全书共分 11 章，包括：绪论、机电一体化产品的组成、机电一体化产品的控制策略、液压气动及其控制技术、计算机接口及控制技术、数控技术、机器人技术、机电一体化产品的检测技术、机电一体化设备故障诊断技术、微机电系统技术、典型机电一体化技术应用的实例分析等。各章内容均遵循突出基础性、创新性、实用性和前沿性的编写原则，并提供多媒体课件，附录提供机电一体化技术主要相关课程简介。

全书由常熟理工学院封士彩教授、北京劳动保障职业学院王长全教授担任主编，由常熟理工学院王建平老师、江苏师范大学周连佳教授担任副主编，温州职业技术学院徐勇老师、苏州托普信息职业技术学院陈梅干老师参与了编写。其中，第 3 章内容由王长全编写，第 4 章内容由周连佳编写，第 5 章内容由王建平编写，第 6 章内容由徐勇编写，第 7 章内容由陈梅干编写，第 1~2 章、第 8~11 章内容均由封士彩编写。全书由封士彩统稿，由常熟

理工学院郭兰中教授主审。在编写过程中我们参阅了多种同类教材、论文、专著及相关网站，得到了各界人士的帮助、指导和支持，同时得到了常熟理工学院新能源智能汽车机电液系统集成与检测技术项目(KYX20160101)、现代机电技术中心项目(KYZ2012088Z)、天银机电项目(KYZ2011025Z)、矿山机械的理论及应用研究项目(KYZ2013005Z)与电梯智能安全实验室的资助，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中的缺点与疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2017 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.1 传动机构	35
1.1 机电一体化系统概述	1	2.4.2 执行机构	36
1.1.1 机电一体化概念的产生	1	思考题	38
1.1.2 机电一体化系统的组成	4	第 3 章 机电一体化产品的控制策略	39
1.1.3 机电一体化系统的相关技术	6	3.1 传统控制策略	39
1.1.4 机电一体化技术与其他相关技术的区别	8	3.1.1 比例-积分-微分(PID)控制	39
1.1.5 机电一体化技术的特点	9	3.1.2 串级控制	41
1.2 机电一体化系统的设计	10	3.1.3 纯滞后对象的控制	42
1.2.1 机电一体化产品的分类	10	3.1.4 解耦控制	44
1.2.2 机电一体化系统(产品)设计的类型	11	3.2 现代控制策略	45
1.2.3 机电一体化系统(产品)设计方案的常用方法	11	3.2.1 自适应控制	45
1.2.4 机电一体化系统设计过程	12	3.2.2 变结构控制	46
1.3 机电一体化的发展趋势	15	3.2.3 鲁棒控制	47
1.3.1 机电一体化的技术现状	15	3.2.4 预测控制	48
1.3.2 机电一体化技术的发展趋势	17	3.3 智能控制策略	49
思考题	19	3.3.1 模糊控制	49
第 2 章 机电一体化产品的组成	20	3.3.2 专家控制系统	51
2.1 机电一体化产品的控制器	20	3.3.3 神经网络控制	52
2.1.1 单片机与单板机	20	3.3.4 遗传算法	54
2.1.2 可编程序控制器	23	3.4 控制策略的渗透和结合	56
2.1.3 工业计算机	24	3.4.1 模糊预测控制	56
2.1.4 嵌入式系统	25	3.4.2 神经模糊控制	56
2.2 机电一体化产品中的传感器	26	3.4.3 自适应 PID 控制	56
2.2.1 传感器概述	27	3.4.4 神经网络预测控制	57
2.2.2 传感器的选用原则及注意事项	28	3.4.5 神经网络自适应控制	57
2.2.3 智能传感器	29	3.4.6 神经网络 PID 控制	58
2.3 机电一体化产品的驱动器	30	思考题	59
2.3.1 驱动器的种类及其应满足的基本要求	30	第 4 章 液压气动及其控制技术	60
2.3.2 直流伺服系统	31	4.1 液压气动概述	61
2.3.3 交流伺服系统	32	4.1.1 液压气动的工作原理	61
2.4 机电一体化产品的机械传动与执行机构	34	4.1.2 液压气动系统组成	61
		4.1.3 液压气动系统的控制方式	62
		4.1.4 液压气动系统的特点	62
		4.2 液压气动动力元件	63
		4.2.1 液压泵	63
		4.2.2 空气压缩机	64

4.3 液压气动执行元件	65	6.1.1 数控机床的基本概念	103
4.3.1 液压执行元件	65	6.1.2 计算机数控系统的工作原理	104
4.3.2 气动执行元件	66	6.1.3 数控机床的分类	104
4.4 液压气动控制元件和控制回路	68	6.2 数控系统的组成	106
4.4.1 液压控制元件和控制回路	68	6.2.1 数控机床的组成	106
4.4.2 气动控制元件和控制回路	71	6.2.2 计算机数控装置的硬件结构	107
4.5 液压气动控制方式	75	6.2.3 计算机数控装置的软件结构	109
4.5.1 连续控制	75	6.3 数控机床的进给和主轴控制系统	110
4.5.2 脉冲控制	76	6.3.1 数控机床的进给控制	111
4.5.3 开环和闭环控制	76	6.3.2 电机的控制方式	113
4.5.4 伺服控制	77	6.3.3 数控机床的主轴控制	114
4.6 液压气动技术的发展趋势	78	6.4 数控机床的编程	116
4.6.1 液压技术发展趋势	78	6.4.1 数控机床编程的概念	116
4.6.2 气动技术发展趋势	79	6.4.2 数控机床编程概述	116
思考题	81	6.4.3 自动编程	117
第 5 章 计算机接口及控制技术	82	6.5 数控技术的发展趋势	120
5.1 计算机接口技术概述	82	思考题	122
5.1.1 计算机接口的组成	82	第 7 章 机器人技术	123
5.1.2 计算机接口的功能	83	7.1 机器人概述	123
5.2 人机接口	83	7.1.1 机器人的定义	124
5.2.1 键盘及接口	83	7.1.2 机器人的组成	124
5.2.2 鼠标及接口	84	7.2 机器人的机械系统	126
5.2.3 LED 数码显示器接口	85	7.2.1 机器人手臂的典型机构	126
5.2.4 CRT 显示器接口	87	7.2.2 机器人手腕结构	127
5.2.5 打印机接口	87	7.2.3 机器人的手部结构	129
5.2.6 串行和并行通信接口	88	7.2.4 仿生多指灵巧手	131
5.3 机电接口	90	7.3 机器人的传感器	132
5.3.1 信息采集接口	90	7.3.1 机器人常用传感器	132
5.3.2 控制输出接口	92	7.3.2 其他传感器	136
5.4 外存储器接口	93	7.3.3 传感系统、智能传感器、多传感器融合	136
5.4.1 软盘接口	94	7.4 机器人的控制系统	137
5.4.2 硬盘接口	94	7.4.1 机器人控制系统的作用及结构	138
5.4.3 移动硬盘和 U 盘接口	96	7.4.2 位置和力控制系统结构	139
5.4.4 光盘驱动接口	96	7.4.3 刚性控制	141
5.5 计算机控制技术	96	7.5 机器人的编程	141
5.5.1 计算机控制系统	96	7.6 机器人技术的发展趋势	144
5.5.2 计算机控制系统的分类	98	思考题	145
5.5.3 计算机数字控制方法	100	第 8 章 机电一体化产品的检测技术	146
5.6 计算机接口及控制技术的发展趋势	101	8.1 检测技术的地位与作用	146
思考题	102	8.2 检测系统的组成	147
第 6 章 数控技术	103	8.2.1 模拟信号检测系统	147
6.1 数控技术概述	103	8.2.2 数字信号检测系统	148

8.3 检测系统的分类	151	10.5.2 在生物医学方面的应用	186
8.4 检测系统的信号变换	153	10.5.3 在微流量系统方面的应用	188
8.4.1 模拟量的输入转换	153	10.5.4 在信息科学方面的应用	188
8.4.2 数字信号的预处理	156	10.5.5 在微光学方面的应用	188
8.5 检测技术的发展趋势	160	10.6 微机电系统的发展	189
思考题	162	10.6.1 微机电系统的发展历史及研究 现状	189
第 9 章 机电一体化设备故障诊断技术	163	10.6.2 微机电系统的发展趋势	190
9.1 设备故障诊断概述	163	思考题	191
9.1.1 设备故障及故障诊断的含义	163	第 11 章 典型机电一体化技术应用的实例分析	192
9.1.2 设备故障诊断技术的发展历史	164	11.1 汽车 ABS 系统	192
9.1.3 设备诊断的国家政策及经历 过程	165	11.1.1 ABS 的定义	192
9.2 设备故障诊断类型及特点	167	11.1.2 车轮滑移率及对车辆制动的影响	193
9.3 设备故障诊断技术分析	168	11.1.3 理想制动过程	193
9.4 基于知识的故障诊断方法	172	11.1.4 ABS 的组成	194
9.5 设备故障诊断内容和流程	174	11.1.5 ABS 工作原理及控制程	195
9.6 设备故障诊断的发展趋势	175	11.2 电梯	199
思考题	177	11.2.1 电梯概述	199
第 10 章 微机电系统技术	178	11.2.2 电梯的机械组件	202
10.1 微机电系统概述	178	11.2.3 电梯电气控制系统构成	210
10.2 微机电系统的特征及分类	180	11.2.4 电梯电力拖动与控制	215
10.2.1 微机电系统的特征	180	思考题	217
10.2.2 微机电系统分类	181	附录 机电一体化技术主要相关课程简介	218
10.3 微机电系统的材料和制造技术	182	参考文献	229
10.4 微机电系统的测量技术	183		
10.5 微机电系统的应用	184		
10.5.1 在航空航天方面的应用	184		



第 1 章 绪 论

【导读】“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”强调加快发展智能制造装备和产品；组织研发具有深度感知、智慧决策、自动执行功能的高档数控机床、工业机器人、增材制造装备等智能制造装备以及智能化生产线；突破新型传感器、智能测量仪表、工业控制系统、伺服电机及驱动器和减速器等智能核心装置；推进工程化和产业化。加快机械、航空、船舶、汽车、轻工、纺织、食品、电子等行业生产设备的智能化改造；提高精准制造、敏捷制造能力；统筹布局和推动智能交通工具、智能工程机械、服务机器人、智能家电、智能照明电器、可穿戴设备等产品研发和产业化。机电一体化虽然是一个独立的科学门类，但依然和其他学科有着千丝万缕的关系，也和“工业 4.0”及“中国制造 2025”紧密相连，它是其他学科技术优势的整合体，是建立在其他学科技术的基础上发展起来的，因此它可以被系统地分为五元素三核心。其中，五元素主要是指机械本体部分、动力部分、传感部分、驱动及执行部分、控制及信息处理部分，三核心是机械技术、计算机与电子技术及系统技术。如果把机电一体化比作人的身躯，那么，五元素就是四肢五官，三核心则是大脑。机械技术可以优化材料、性能，缩减体积，提高精度；计算机与电子技术可以进行信息交流、储存、判断、决策，而系统技术则是从全局角度出发，将总体分解成相互关联的若干功能单元，正是因为这些技术的共同发展与协作，才使得机电一体化技术不断推陈出新，极大地扩展了机械系统的发展空间，使其向着更高的方向发展。

1.1 机电一体化系统概述

1.1.1 机电一体化概念的产生

20 世纪 80 年代初，世界制造业进入一个发展停滞、缺乏活力的萧条期，几乎被人们视作夕阳产业。20 世纪 90 年代，微电子技术在该领域的广泛应用，为制造业注入了生机。机电一体化产业以其特有的技术带动性、融入性和广泛适用性，逐渐成为高新技术产业中

的主导产业，成为 21 世纪经济发展的重要支柱之一。

机电一体化的概念最权威的说法应是 1992 年 6 月出版的《中国大百科全书·电工卷》的解释：是微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成的一种综合技术，是一门集机械技术、电子技术、信息技术、计算机及软件技术、自动控制技术以及其他技术互相融合而成的多学科交叉的综合技术。以这种技术为手段开发的产品，既不同于传统的机械产品，也不同于普通的电子产品，而是一种新型的机械电子器件，称为机电一体化产品。

机电一体化(Mechatronics)一词，最早出现在 1971 年日本《机械设计》杂志的副刊上，随后在 1976 年由日本 *Mechatronics Design News* 杂志开始使用。“Mechatronics”是由 Mechanics(机械学)的前半部与 Electronics(电子学)的后半部组合而成的“日本造”英语单词。我国通常称为机电一体化或机械电子学，实质上是指机械工程与电子工程的综合集成，应视为机械电子工程学。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。机电一体化与其他学科的关系如图 1.1 所示。随着计算机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，目前正向光机电一体化技术(Opto - mechatronics)方向发展，其应用范围愈来愈广。

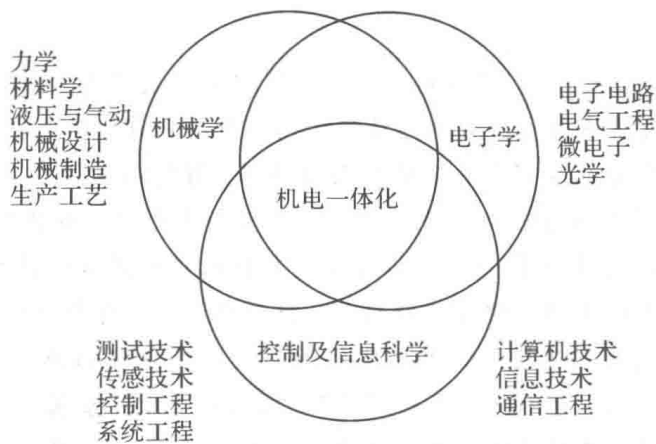


图 1.1 机电一体化与其他学科的关系

目前，人们对“机电一体化”的涵义有各种各样的认识，例如“机电一体化是机械工程中采用微电子技术的体现”(渡边茂)；“机电一体化就是利用微电子技术，最大限度地发挥机械能力的一种技术”(日本 1984《机械设计》杂志增刊)；“机电一体化是机械学与电子学有机结合而提供的更为优越的一种技术”(小岛利夫)。总之，由于各自的出发点和着眼点不尽相同，再加上“机电一体化”本身的含义还在随着生产和科学技术的发展不断被赋予新的内容，到目前为止，较为人们所接受的含义是日本“机械振兴协会经济研究所”于 1981 年 3 月提出的解释：“机电一体化这个词乃是在机械的主功能、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。”随着微电子技术、传感器技术、精密机械技术、自动控制技术以及微型计算机技术、人工智能技术等新技术的发展，以机械为主体的工业产品和民用产品，不断采用诸学科的新技术，在机械化的基础上，正向自动化和智能化方向发展，以机械技术、微电子技术有机结合为主体的机电一体化技术是机械工业发展的必然趋势。

美国也是机电一体化产品开发和应用最早的国家。例如世界上第一台数控机床(1952 年)、工业机器人(1962 年)都是由美国研制成功的。美国机械工程师协会(ASME)的一个

专家组,于1984年在给美国国家科学基金会的报告中,提出了“现代机械系统”的定义:“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量等动力学任务的机械和机电部件相互联系的系统。”这一含义实质上是指多个计算机控制和协调的高级机电一体化产品。

1981年,德国工程师协会、德国电气工程技术人员协会及其共同组成的精密工程技术专家组的《关于大学精密工程专业建议书》中,将精密工程技术定义为光、机、电一体化的综合技术,它包括机械(含液压、气动及微机械)、电工与电子技术、光学及其不同技术的组合(电工与电子机械、光电子技术与光学机械),其核心为精密工程技术。促进了精密工程技术中各学科的相互渗透,这一观点是培养机电一体化复合人才的关键。

“机电一体化技术与系统”具有“技术”与“系统”两方面的内容。机电一体化技术主要是指其技术原理和使机电一体化系统(或产品)得以实现、使用和发展的技术。机电一体化系统主要是指机械系统和微电子系统有机结合,从而赋予新的功能和性能的新一代产品。机电一体化的共性包括检测传感技术、信息处理技术、计算机技术、电力电子技术、自动控制技术、伺服传动技术、精密机械技术以及系统总体技术等。各组成部分(即要素)的性能越好,功能越强,并且各组成部分之间配合越协调,产品的性能和功能就越好。这就要求将上述多种技术有机地结合起来,也就是人们所说的融合。只有实现多种技术的有机结合,才能实现整体最佳,这样的产品才能称得上是机电一体化产品。如果仅用微型计算机简单取代原来的控制器,则不能称为机电一体化产品。

机电一体化技术是一个不断发展的过程,是一个从自发状况向自为方向发展的过程。早在“机电一体化”这一概念出现之前,世界各国从事机械总体设计、控制功能设计和生产加工的科技工作者,已为机械与电子的有机结合做了许多工作,如电子工业领域通信电台的自动调谐系统、计算机外围设备和雷达伺服系统。目前人们已经开始认识到机电一体化并不是机械技术、微电子技术以及其他新技术的简单组合、拼凑,而是它们的有机地相互结合或融合,是有其客观规律的。简言之,机电一体化这一新兴交叉学科有其技术基础、设计理论和研究方法,只有对其有了充分理解,才能正确地进行机电一体化工作。

随着以IC、LSI、VLSI等为代表的微电子技术的惊人发展,计算机本身也发生了根本变革。以微型计算机为代表的微电子技术逐步向机械领域渗透,并与机械技术有机地结合,为机械增添了“头脑”,增加了新的功能和性能,从而进入以机电有机结合为特征的机电一体化时代。曾以机械为主的产品,如机床、汽车、缝纫机、打字机等,由于应用了微型计算机等微电子技术,使它们都提高了性能并增添了“头脑”。这种将微型计算机等微电子技术用于机械并给机械以智能的技术革新潮流可称为“机电一体化技术革命”。这一革命使得机械闹钟、机械照相机及胶卷等产品遭到淘汰。又如,以往的化油器车辆,其发动机供油是靠活塞下行后形成的真空吸力来完成的,并且节气门开度越大,进气支管的压力越大,发动机转速越高,化油器供油量也就越多。而现在的电子燃油喷射车辆,则已将上述机械动作转变为传感器的信号(如节气门开度用节气门位置传感器来测量,进气支管压力用绝对压力传感器来测量),当这些信号送到发动机控制计算机后,经过计算机的分析、比较和处理,能够计算出精确的喷油脉宽,控制喷油嘴开启时间的长短,从而控制喷油量的多少。将以往的机械供油转为电控,这样不仅有效地发挥了燃油的经济性和动力性,又使尾气排放降到了最低,这就是机电一体化——由传感器来测量机械的动作,并转变为电信号送至

计算机，再由计算机作出决策，控制某些执行元件动作。

机电一体化的目的是使系统(产品)功能增强、效率提高、可靠性增强，节省材料和能源，并使产品结构向轻、薄、短、小巧化方向发展，不断满足人们生活的多样化需求和生产的省时省力、自动化需求。因此，机电一体化的研究方法应该是改变过去那种拼拼凑凑的“混合”式设计法，从系统的角度出发，采用现代设计分析方法，充分发挥边缘学科技术的优势。

由于机电一体化技术对现代工业和技术的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。从 20 世纪 70 年代起，在发达国家兴起了机电一体化热潮。20 世纪 90 年代，中国也把机电一体化技术列为重点发展的十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、管理集于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、汽车电子化、电梯、微型机械、飞机、雷达、医学仪器、环境监测等。

机电一体化技术是其他高新技术发展的基础，机电一体化的发展依赖于其他相关技术的发展。可以预料，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、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备家用智能设备、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 机电一体化系统的组成

传统的机械产品一般由动力源、传动机构和工作机构等组成。机电一体化系统是在传统机械产品的基础上发展起来的，是机械与电子、信息技术结合的产物，它除了包含传统机械产品的组成部分以外，还含有与电子技术和信息技术相关的组成要素。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、动力与驱动单元、执行机构单元、传感与检测单元、控制及信息处理单元、系统接口等部分。这些部分可以归纳为：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；这些组成要素内部及其之间，形成通过接口耦合来实现运动传递、信息控制、能量转换等有机融合的一个完整系统。机电一体化系统的组成如图 1.2 所示。

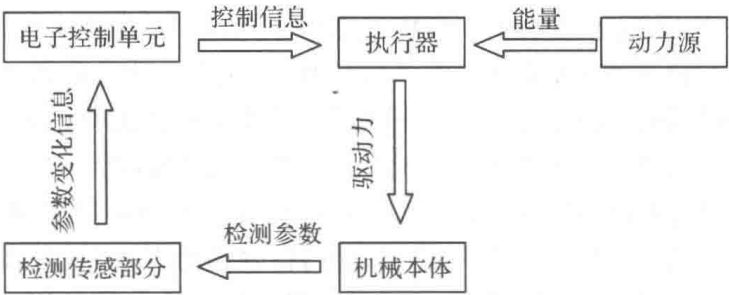


图 1.2 机电一体化系统的组成

1. 机械本体

所有的机电一体化系统都含有机械部分，它是机电一体化系统的基础，起着支撑系统

中其他功能单元、传递运动和动力的作用。机电一体化系统的机械本体包括机械传动装置和机械结构装置,机械子系统的主要功能是使构造系统的各子系统、零部件按照一定的空间和时间关系安置在一定的位置上,并保持特定的关系。为了充分发挥机电一体化的优点,必须使机械本体部分具有高精度、轻量化和高可靠性。过去的机械均以钢铁为基础材料,要实现机械本体的高性能,除了采用钢铁材料以外,还必须采用复合材料或非金属材料。因此,要求机械传动装置有高刚度、低惯量、较高的谐振频率和适当的阻尼性能,并对机械系统的结构形式、制造材料、零件形状等方面提出相应的要求。机械结构是机电一体化系统的机体,各组成要素均以机体为骨架进行合理布局,有机结合成一个整体,这不仅是系统内部结构的设计问题,也包括外部造型的设计问题。这就要求机电一体化系统整体布局合理,技术性能得到提高,功能得到增强,使用、操作方便,造型美观,色调协调,具有高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观的特点。

2. 动力与驱动单元

动力单元是机电一体化产品能量供应部分,其作用是按照系统控制要求,为系统提供能量和动力,使系统正常运行。提供能量的方式包括电能、气能和液压能,其中电能为主要供能方式。除了要求可靠性好以外,机电一体化产品还要求动力源的效率高,即用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功能输出,这是机电一体化产品的显著特征之一。驱动单元是在控制信息的作用下,驱动各执行机构完成各种动作和功能的。

3. 传感与检测单元

传感与检测单元的功能就是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物理量进行检测,生成相应的可识别信号,并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。这一功能一般由专门的传感器及转换电路完成,主要包括各种传感器及其信号检测电路,其作用就是监测机电一体化系统工作过程中本身和外界环境有关参量的变化,并将信息传递给电子控制单元,电子控制单元根据检测到的信息向执行器发出相应的控制指令。机电一体化系统的要求:传感器精度、灵敏度、响应速度和信噪比高;漂移小,稳定性高;可靠性好;不易受被测对象特征(如电阻、磁导率等)的影响;对抗恶劣环境条件(如油污、高温、泥浆等)的能力强;体积小,重量轻,对整机的适应性好;不受高频干扰和强磁场等外部环境的影响;操作性能好,现场维修处理简单;价格低廉。

4. 执行机构单元

执行机构单元的功能就是根据控制信息和指令驱动机械部件运动从而完成要求动作。执行机构是运动部件,它将输入的各种形式的能量转换为机械能。常用的执行机构可分为两类:一是电气式执行部件,按运动方式的不同又可分为旋转运动元件和直线运动元件,其中旋转运动元件主要指各种电动机;直线运动元件有电磁铁、压电驱动器等。二是气压和液压式执行部件,主要包括液压缸和液压马达等执行元件。根据机电一体化系统的匹配性要求,执行机构需要考虑改善系统的动、静态性能,一方面要求执行器效率高、响应速度快,另一方面要求对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性好,可靠性高。例如提高刚性、减小重量和保持适当的阻尼,应尽量考虑组件化、标准化和系列化,以提高系统的整体可靠性等。由于电工电子技术的高度发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动电机已大量应用于机电一体化系统。

5. 控制及信息处理单元

控制及信息处理单元是机电一体化系统的核心部分。其功能就是完成来自各传感器的检测信息的数据采集和外部输入命令的集中、储存、计算、分析、判断、加工、决策。根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的控制信息或指令,通过输出接口送往执行机构,控制整个系统有目的地运行,并达到预期的信息控制目的。对于智能化程度高的系统,还包含了知识获取、推理及知识自学习等以知识驱动为主的信息控制。控制及信息单元由硬件和软件组成,系统硬件一般由计算机、可编程逻辑控制器(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;系统软件为固化在计算机存储器内的信息处理和控制程序,该程序根据系统正常工作的要求而编写。机电一体化系统对控制 and 信息处理单元的基本要求是提高信息处理速度和可靠性,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和小型、轻量、标准化等。

以上五单元通常称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。机电一体化产品的五个基本组成要素之间并非彼此无关或简单拼凑、叠加在一起,工作中它们各司其职,互相补充、互相协调,共同完成规定的功能,即在机械本体的支持下,由传感器检测产品的运行状态及环境变化,将信息反馈给电子控制单元,电子控制单元对各种信息进行处理,并按要求控制执行器的运动,执行器的能源则由动力部分提供。在结构上,各组成要素通过各种接口及相关软件有机地结合在一起,构成一个内部合理匹配、外部效能最佳的完整产品。

例如,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,所测信号由微处理器进行处理,再根据信息处理结果控制微型电动机,并由微型电动机驱动快门、变焦及卷片倒片机构。这样,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也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、进气歧管绝对压力传感器、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 首先根据进气歧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、怠速转速、废气再循环率、故障自诊断等功能。

1.1.3 机电一体化系统的相关技术

机电一体化系统是多学科领域技术的综合交叉应用,是技术密集型的系统工程,其主要包括机械技术、传感检测技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术和系统总体技术等。现代机电一体化产品甚至还包含了光、声、磁、液压、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,机械技术(机械设计与机造技术)不再是单一地完成系统间的连接,而是要优化设计系统的结构、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,以满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能和增加功能的要求。

在机电一体化系统制造过程中,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机械制造技术,而原有的机械技术则以知识和技能的形式存在。

2. 传感检测技术

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用电信号的一种装置。

现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种环境的影响。与计算机技术相比,传感器的发展显得迟缓,难以满足机电一体化技术发展的要求。不少机电一体化装置不能达到满意的效果或无法实现预期的设计,关键原因在于没有较好的传感器。传感检测技术研究的内容包括两方面:一是研究如何将各种被测量(物理量、化学量、生物量等)转换为与之成正比的电量;二是研究如何对转换后的电信号进行加工处理,如放大、补偿、标定、变换等。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。

3. 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。这里,计算机相当于人类的大脑,指挥整个系统的运行。计算机技术包括计算机软件技术和硬件技术,网络与通信技术,数据技术等。在机电一体化系统中,主要采用工业控制机(包括可编程序控制器、单片机、总线式工业控制机)等微处理器进行信息处理,可方便高效地实现信息交换、存取、运算、判断和决策。

在机电一体化系统中,计算机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。计算机与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。

4. 自动控制技术

自动控制技术范围很广,机电一体化技术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,并对设计后的系统进行仿真和现场调试,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,有开环控制、闭环控制、传递函数、时域分析、频域分析、校正等基本内容,还有高精度位置控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、再现、检索等,以满足机电一体化系统控制的稳、准、快要求。由于控制对象种类繁多,因而控制技术的内容极其丰富,例如定值控制、随动控制、自适应控制、预测控制、模糊控制、学习控制等。

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,以解决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问题。

5. 伺服驱动技术

“伺服”(Serve)即“伺候服侍”的意思。伺服驱动技术就是在控制指令的指挥下,控制驱动元件,使机械运动部件按照指令要求进行运动,并保持良好的动态性能。伺服驱动技术包括电动、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传动装置相连接,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或部件,对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性影响。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。

6. 系统总体技术

系统总体技术是一种从整体目标出发,用系统的观点立于全局角度,将总体分解成相互有机联系的若干单元,并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,但如果整个系统不能很好地协调,那么系统也很难正常运行。

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

此外,机电一体化系统还与通信技术、软件技术、可靠性技术、抗干扰技术等密切相关。

1.1.4 机电一体化技术与其他相关技术的区别

机电一体化技术有着自身的显著特点和技术范畴,为了正确理解和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是通过具有电磁特性的各种器件来实现的,如继电器、接触器等,在设计中不考虑或很少考虑它们彼此间的内在联系。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。机电一体化的本质特性仍然是一个机械系统,其最主要的功能仍然是进行机械能和其他形式能量的转换,利用机械能实现物料搬移或形态变化以及实现信息传递和变换。机电一体化系统与传统机械系统的不同之处是充分利用计算机技术、传感检测技术和可控驱动元件特性,实现机械系统的现代化、自动化、智能化。

2. 机电一体化技术与并行工程的区别

机电一体化技术在设计和制造阶段就将机械技术、微电子技术、计算机技术、控制技术和传感检测技术有机地结合在一起,十分注意机械和其他部件之间的相互作用。而并行