

机电一体化

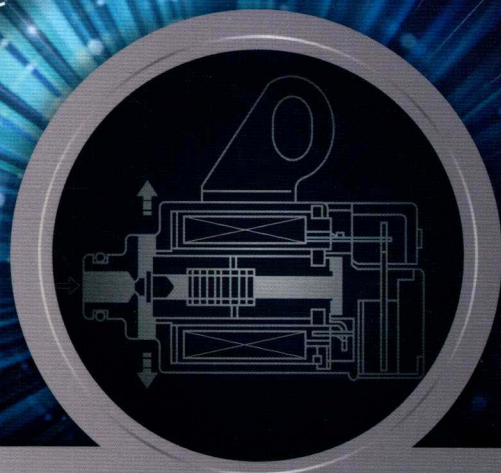
系统设计及实例解析

★ 高安邦 胡乃文 主编
刘献礼 邵俊鹏 主审

精密机械部件设计 / 执行元件设计

微机控制系统的选择 / 单片机控制系统设计

可编程控制器 (PLC) 技术 / 设计实例解析



化学工业出版社

机电一体化 系统设计及实例解析

高安邦 胡乃文 主编
刘献礼 邵俊鹏 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化系统设计及实例解析/高安邦, 胡乃文主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-122-32713-0

I. ①机… II. ①高… ②胡… 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 (2018) 第 162214 号

责任编辑: 贾 娜
责任校对: 边 涛

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 河北鹏润印刷有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 26½ 字数 728 千字 2019 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 128.00 元

版权所有 违者必究

序

高新技术流向传统产业,引起传统产业的深刻变革,推动生产力的极大发展。作为传统产业之一的机械工业,在微电子技术和微型计算机技术迅猛发展的推动下,近年来在产品结构和生产系统结构等方面发生了质的跃变。微电子技术和微型计算机等世界高新技术的迅猛发展,使信息技术、智能技术与机械动力装置和动力设备有机结合,一方面极大地提高了机械产品性能和产品竞争能力,另一方面又极大地提高了产品生产系统的生产效率和企业的经济竞争能力,引发机械工业开始了一场大规模的机电一体化技术革命。

现以洗衣机为例,来看一下这场机电一体化技术革命的发展演变过程。

从古到今,手洗衣服都是一项难以逃避的家务劳动,在洗衣机出现以前,这项劳动并不像田园诗描绘的那样充满乐趣,手搓、脚踩、棒击、冲刷、甩打……这些不断重复的简单的体力劳动,留给人的感受常常是辛苦劳累。

1874年,美国人比尔·布莱克斯发明了木制手摇洗衣机。1880年,美国又出现了蒸汽洗衣机,之后水力洗衣机、内燃机洗衣机也相继出现。到1911年,世界上第一台电动洗衣机在美国试制成功。1922年,电动洗衣机迎来一种崭新的洗衣方式——搅拌式。在此10年之后,美国本德克斯航空公司研制成功第一台前装式滚筒洗衣机。1955年,日本研制出独具风格并流行至今的波轮式洗衣机。至此,波轮式、滚筒式、搅拌式在洗衣机生产领域三分天下的格局初步形成。

20世纪60年代的日本出现了带干桶的双桶洗衣机。20世纪70年代,生产出波轮式套桶全自动洗衣机。20世纪70年代后期,微电脑控制的全自动洗衣机出现。20世纪80年代,模糊控制应用到洗衣机操作。20世纪90年代,诞生了许多新水流洗衣机,随后日本生产出了电动机直接驱动式洗衣机,省去了齿轮传动和变速机构,引发了洗衣机驱动方式的巨大革命。

近年来,市场上相继出现了模糊控制洗衣机、变频洗衣机、超声波洗衣机等各种新形式洗衣机,从洗衣机材料的选用、新技术的应用、结构功能等方面又做了不断创新,目前正在朝着多功能、节电、节水、高效、环保、绿色、人性化等方向发展。

综上所述,世界高新技术的迅猛发展引发了一场大规模的机电一体化技术革命,这种以精密机械机构为主体,以微电子和计算机应用为技术核心的综合技术就叫做“机电一体化”。

为了推动机电一体化技术的更加迅猛可持续发展,哈尔滨理工大学高安邦教授联手胡乃文高级工程师等长期从事“机电一体化”技术教学研究和科研开发的人员合作编写了这本《机电一体化系统设计及实例解析》著作。

相信本书的出版对加速我国机电一体化技术的发展,提高我国机电一体化技术人员的应用能力和水平,提升我院的学术水平和地位、完成我院当前的中心任务都将会起到积极的推动和促进作用。它将为我院新一轮的改革建设和创新发展添砖加瓦,并写下浓墨重彩的一笔。

哈尔滨理工大学机械动力工程学院院长,教授 刘献礼
哈尔滨理工大学机械动力工程学院教授 邵俊鹏

机电一体化是微电子技术向传统机械工业领域迅速渗透的过程中逐渐形成并发展起来的一门新兴的综合性学科。目前机电一体化技术一方面极大地提高了机电产品的性能,另一方面又极大地提高了产品生产系统的生产效率,正促使机械工业领域开始一场大规模的机电一体化技术革命。机电一体化技术正日益得到广泛应用,其产品已遍及人们日常生活和国民经济各个领域,成为现代技术、经济发展中不可缺少的一种高新技术。

机电一体化是一门实践性很强的综合性技术学科,所涉及的知识领域非常广泛。现代多种先进技术构成了机电一体化的技术基础。但机电一体化并非这些技术的简单叠加,它的灵魂是突出强调这些技术的相互渗透和有机结合,从而形成某一单项技术所无法达到的优势,并将这种优势通过性能优异的机电一体化产品而体现出来,从而转化为强大的生产力。因此,机电一体化技术不仅仅限于向读者介绍精密机械技术、微电子技术、计算机技术等机电一体化的共性关键技术,还应在此基础上更进一步地通过专业学习及相应的工程实践,使读者真正了解和掌握机电一体化的重要实质及机电一体化设计的理论和方法,从而能够灵活地综合运用这些技术进行机电一体化产品的分析、设计与开发,达到知识能力结构的机电一体化。这些正是本书编写中所力求要达到的。

该书的编写是编者多年来从事教学研究和科研开发实践经验的概括和总结。本书由哈尔滨理工大学高安邦教授、哈尔滨理工大学胡乃文高级工程师任主编,哈尔滨信息工程学院马欣讲师、哈尔滨信托物业供热有限责任公司王兆物业分公司王冲工程师任副主编,参与编写的还有:哈尔滨锅炉集团公司高云高级工程师、哈尔滨华崴集团技术开发部罗泽艳工程师。具体分工如下:高安邦负责制定大纲、编写第1章并统稿,胡乃文编写第2章、第8章、第9章,马欣编写第3章和第4章,王冲编写第5章,高云编写第6章,罗泽艳编写第7章。本书由哈尔滨理工大学机械动力工程学院院长刘献礼教授和哈尔滨理工大学机械动力工程学院邵俊鹏教授担任主审。

此外,为本书编写提供辅助工作的有:高家宏、高鸿升、佟星、郜普艳、李梦华、谢越发、谢礼德、樊文国、孙佩芳、沈洋、冯坚、吴英旭、王海丽、陈瑾、刘曼华、黄志欣、孙定霞、尚升飞、吴多锦、唐涛、钟其恒、王启名、杨帅、薛岚、陈银燕、姜姍、刘磊、段曙彬、卫军峰、吕宝增、岳满林、关士岩、陈玉华、毕浩廷、赵冉冉、刘晓艳、王玲、姚薇、居海清、姜亚南、任胜乐、于庆有、任胜乐、孔政伟、靳丽娟、王鹏程、李建英、蒋继红、吴会琴、卢志珍、刘业亮、张守峰、丁艳玲、张月平、张广川、尹朝辉、裴立云、朱绍胜、于建明、邱少华、王宇航、马鑫、陆智华、余彬、邱一启、张纺、武婷婷、司雪美、朱颖、杨俊、周伟、陈忠、陈丹丹、杨智炜、霍如旭、张旭、宋开峰、陈晨、丁杰、姜延蒙、吴国松、朱兵、杨景、赵家伟、李玉驰、张建民、施赛健、陈一民,在此表示衷心的感谢!该书的编写得到了哈尔滨理工大学、哈尔滨信息工程学院、哈尔滨信托物业供热有限责任公司王兆物业分公司、哈尔滨锅炉集团公司、哈尔滨华崴集团等单位的大力支持,在此也表示最真诚的感激之意!

鉴于编者的水平和经验所限,书中难免有不足之处,恳请读者和专家们不吝批评指正,以便今后更好地完善、充实和提高。

编者

第1章 机电一体化系统设计概述 / 1

1.1 机电一体化系统的分类和基本组成	1
1.1.1 机电一体化系统的分类	1
1.1.2 机电一体化系统的基本组成	2
1.2 机电一体化的主要特征和关键技术	6
1.2.1 机电一体化的主要特征	6
1.2.2 机电一体化系统设计的理论基础与关键技术	7
1.3 机电一体化系统的设计类型和主要方式	11
1.3.1 机电一体化的设计类型	11
1.3.2 机电一体化系统（产品）设计的主要方式	12

第2章 精密机械部件和执行元件设计 / 13

2.1 精密机械系统设计的要求	13
2.2 机械传动部件的设计与选择	14
2.2.1 机械传动部件及其功能要求	14
2.2.2 丝杠螺母传动部件	15
2.2.3 齿轮传动部件	30
2.2.4 挠性传动部件	36
2.2.5 间歇传动部件	37
2.2.6 软轴传动部件	39
2.2.7 锥环无键联轴器部件	39
2.2.8 滚珠花键传动部件	40
2.3 支承部件的选择与设计	41
2.3.1 导向支承部件的选择与设计	41
2.3.2 旋转支承部件的选择与设计	58
2.4 执行元件与电机驱动	64
2.4.1 执行元件的种类、特点及基本要求	64
2.4.2 机电一体化系统（或产品）常用的控制用电机驱动	66
2.4.3 交、直流伺服电机与驱动	67
2.4.4 步进电机及其驱动控制	83
2.4.5 其他电动机	97

2.4.6 液压与气动执行机构 105

第3章 微机控制系统的选择 / 118

3.1 概述 118

3.1.1 微机控制系统特征与组成 118

3.1.2 微机控制系统的分类 122

3.1.3 微机控制的发展概况及趋势 127

3.1.4 微机控制的应用领域及选用要点 131

3.2 微机控制系统的设计与调试 132

3.2.1 微机控制系统设计的基本要求 132

3.2.2 微机控制系统设计的基本内容与步骤 132

3.2.3 系统调试 133

3.3 控制微机的选择 135

3.3.1 单板和单片微机的选择 135

3.3.2 普通 PC 机的选择 149

3.3.3 工控 PC 控制机的选择 153

3.3.4 STD 总线控制微机的选择 163

3.3.5 可编程控制器 (PLC) 的选择 169

3.4 计算机控制系统常用的控制算法 191

3.4.1 数字滤波和数据处理 191

3.4.2 数字 PID 控制算法 196

3.4.3 施密斯 (Smith) 预估控制 209

3.4.4 模糊控制算法 211

第4章 单片机控制系统设计 / 218

4.1 最小控制系统和扩展控制系统设计 218

4.1.1 最小控制系统设计 218

4.1.2 扩展控制系统设计 219

4.2 常用控制电路设计 225

4.2.1 阵列式键盘电路设计 225

4.2.2 8253 定时器电路设计 229

4.2.3 外部中断电路设计 230

4.2.4 ADC0809 模/数转换电路设计 232

4.2.5 并行数转换串行数电路设计 235

4.2.6 5LED 静态串行显示电路设计 236

第5章 可编程控制器 (PLC) 技术 / 239

5.1 PLC 概述 239

5.1.1 PLC 的特点 239

5.1.2 PLC 的应用领域 240

5.2 PLC 的基本结构 241

5.3	PLC 的工作原理	247
5.3.1	PLC 控制系统的等效电路	247
5.3.2	PLC 的工作原理	248
5.3.3	PLC 的扫描周期	250
5.4	PLC 的技术性能及编程语言	252
5.4.1	基本技术性能	252
5.4.2	PLC 的内存分配及 I/O 点数	253
5.4.3	PLC 的编程语言	254
5.5	基本逻辑指令的编程规则与技巧	256
5.5.1	梯形图的特点	256
5.5.2	PLC 梯形图的编程规则与技巧	256
5.6	PLC 控制的常用编程方法	260

第 6 章 新型天车电脑秤的设计 / 278

6.1	系统结构和主要功能	278
6.2	硬件系统设计	278
6.3	软件系统设计	282
6.4	系统设计解析	282
6.4.1	运算放大器的设计	282
6.4.2	A/D 转换器与单片机的接口设计	282
6.4.3	单片机与 8255 接口设计	284
6.4.4	静态显示器的设计	285
6.4.5	控制软件设计	285

第 7 章 交流电动机电脑控制柜的设计 / 289

7.1	系统组成和主要功能	289
7.2	硬件系统设计	290
7.3	软件系统设计	291
7.4	系统设计解析	291

第 8 章 汽车机电一体化设计 / 301

8.1	汽车电子技术概述	301
8.1.1	现代汽车电子技术	301
8.1.2	汽车电子技术的应用现状与发展趋势	304
8.1.3	汽车电子驱动控制技术	308
8.2	汽车的结构设计	309
8.2.1	汽车行驶的基本原理	309
8.2.2	汽车的总体构造设计	310
8.3	汽车电子点火系统设计	311
8.3.1	构成与工作原理	311
8.3.2	常用类型	312

8.3.3	无触点汽车电子点火系统控制电路的设计	313
8.3.4	L497 型高能无触点点火控制器电路的设计	316
8.3.5	汽车点火系统智能 IGBT 设计	318
8.3.6	基于 BTS2146 汽车智能点火系统设计	322
8.4	汽车发动机电子燃油喷射系统设计	327
8.4.1	电控燃油喷射系统组成	327
8.4.2	电控燃油喷射系统设计	328
8.5	汽车电控自动变速系统设计	344
8.5.1	常用传感器的选用	346
8.5.2	执行元件电磁阀的设计	348
8.5.3	多功能开关的设计	354
8.6	汽车电子制动防抱死系统 (ABS) 设计	357
8.6.1	汽车 ABS 的类型及结构	358
8.6.2	汽车 ABS 设计	359
8.7	汽车安全气囊系统 (SRS) 的设计	364
8.7.1	安全气囊传感器的选用	365
8.7.2	安全气囊 SRS ECU 的设计	368

第 9 章 智能机器人的机电系统设计 / 369

9.1	智能机器人的基本组成和主要控制功能	369
9.1.1	基本组成	369
9.1.2	主要控制功能	370
9.2	智能机器人的设计方法与设计原则	371
9.2.1	设计原则与步骤	371
9.2.2	设计方法	375
9.3	智能机器人的机械结构设计	377
9.3.1	末端执行件	377
9.3.2	机身和臂部	378
9.3.3	手腕	380
9.4	智能机器人控制系统硬件设计	380
9.5	智能机器人控制系统软件设计	383
9.5.1	上位机系统软件任务	383
9.5.2	VAL-Ⅱ 程序任务	384
9.6	全口义齿排牙机器人机电一体化系统设计	387
9.6.1	排牙机器人控制系统整体设计	387
9.6.2	基于单片机的控制电路板开发	388
9.6.3	步进电机驱动器的研制	392
9.6.4	下位机应用程序的编制	397
9.7	多足步行机器人的设计	400
9.7.1	本体设计	401
9.7.2	LR-1 六足机器人的性能与特点	407

9.8 通风管道清扫机器人设计	407
9.8.1 方案设计	407
9.8.2 控制系统设计	408
9.8.3 机械结构设计	409

第1章

机电一体化系统设计概述

1.1 机电一体化系统的分类和基本组成

1.1.1 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，可以将其分成以下几类。

- 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、超声波缝纫机和激光测量仪等。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 3 类。按产品的服务领域和对象，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。

概而言之，机电一体化产品和系统分类概况可表示如图 1-1 所示。

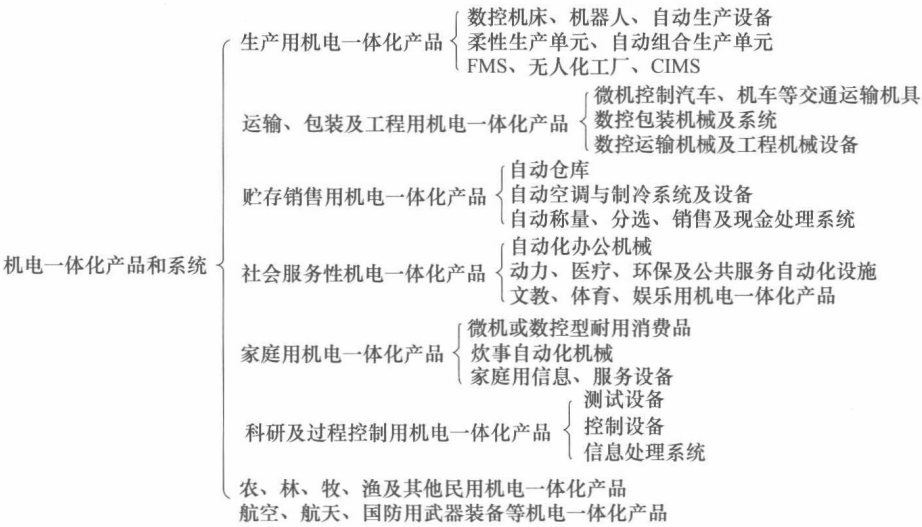


图 1-1 机电一体化产品和系统分类概况

1.1.2 机电一体化系统的基本组成

(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 1-2 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 3 大要素）按照要求进行处理，输出具有所需要特性的物质、能量与信息。

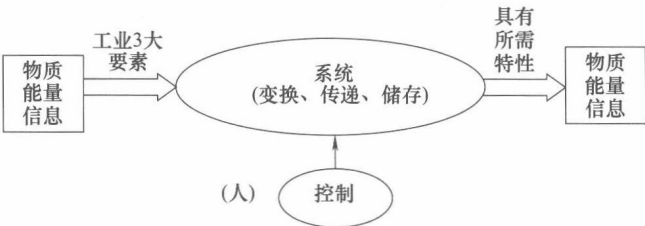


图 1-2 机电系统的功能组成

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 1-3 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，实施目的功能。构造功能则是使构成系统的子系统及元、部件维持确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。

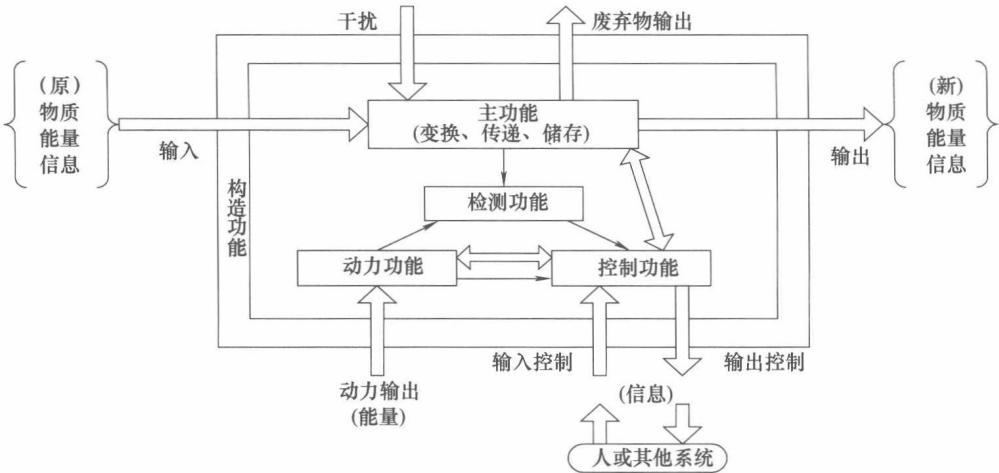


图 1-3 机电一体化系统的内部功能

此外，还会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。

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-输出，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-输出的组合

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，可产生不同用途的机床。

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 1-4 是 CNC 数控机床的功能原理构成的实例。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。

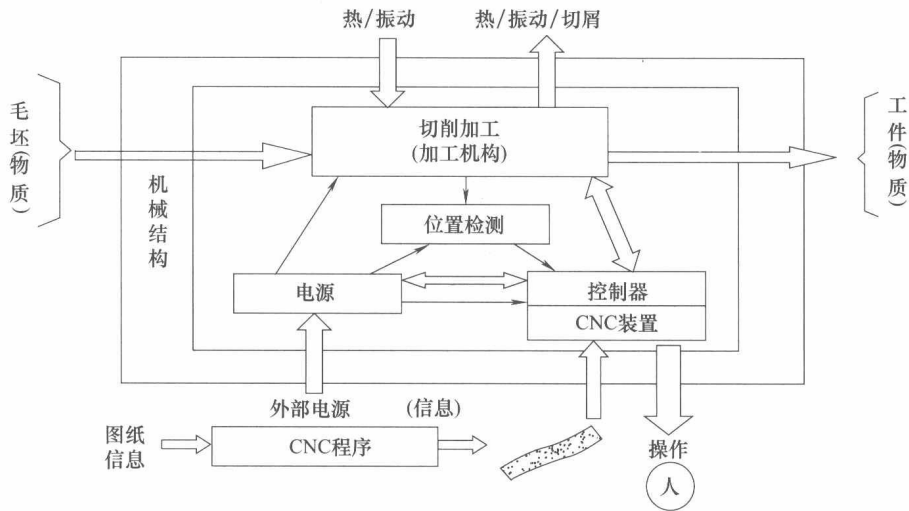


图 1-4 CNC 数控机床的内部功能构成

(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 1-5（a）所示，构成人体的 5 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 1-5（b）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 5 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 1-5（c）所示。机电一体化系统 5 大要素实例如图 1-6 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：机械本体、动力系统、传感与检测系统、执行部件、信息处理及控制系统等基本要素，各要素和环节之间通过接口相联系。

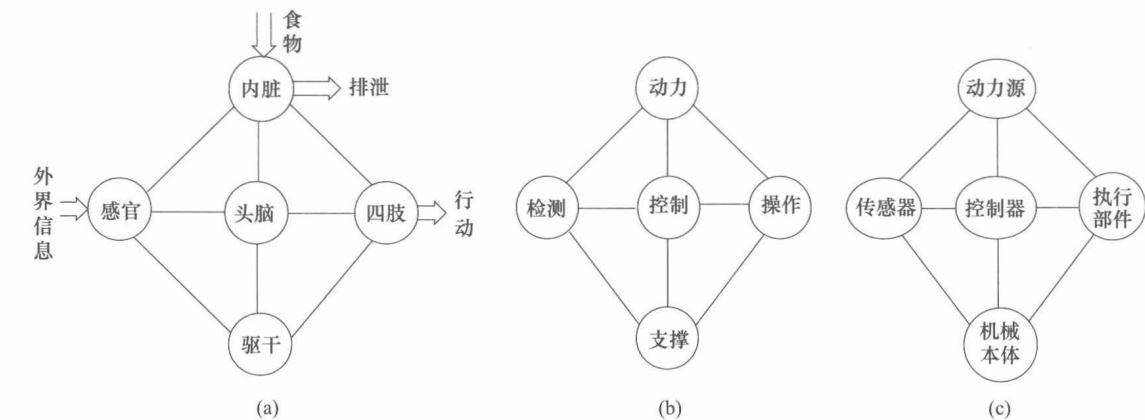


图 1-5 组成人体与机电一体化系统的对应要素及相应功能关系

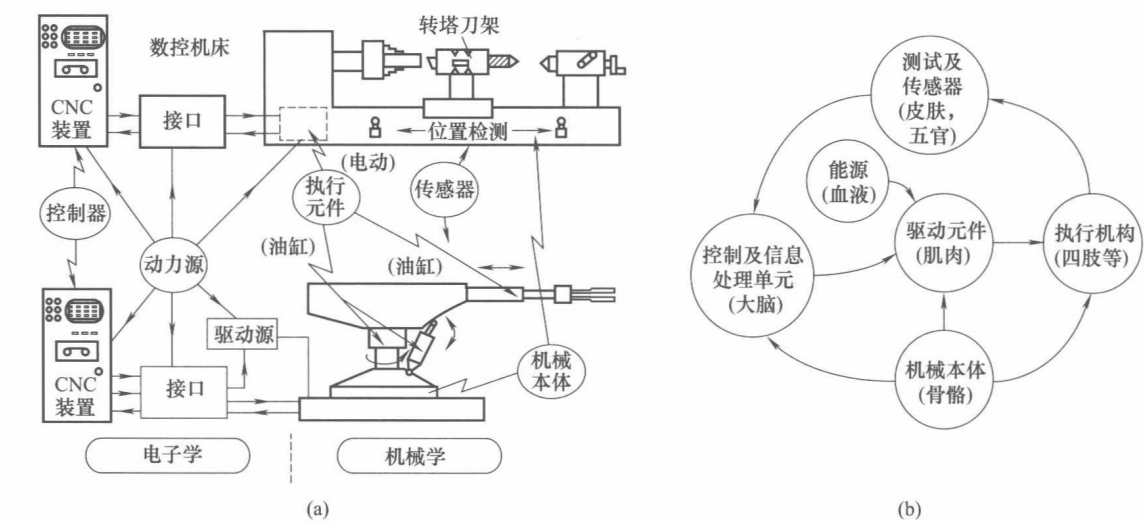


图 1-6 机电一体化系统 5 大要素实例

表 1-2 机电一体化系统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。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,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,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高,A/D和D/A转换及分时处理的输入/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,其主要功能由电子器件和电路等完成,机械已退居次要地位,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、小型轻量化和美观等要求。除一般性的机械强度、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。除了微电子技术以外,在机电产品中,其他技术根据需要结合,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 机电一体化必须是以机械装备为主体。

③ 机电一体化必须是以微电子技术,特别是计算机控制为技术核心。

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。

1.2 机电一体化的主要特征和关键技术

1.2.1 机电一体化的主要特征

机电一体化技术是在信息论、控制论和系统论基础上建立起来的应用技术。机电一体化产品则是一个完整的系统，它有效地改变了传统机械产品的面貌，赋予机械产品以新的活力。同时也促进了电子技术的发展，扩大了电子技术的应用领域。不论机电一体化产品规模的大小，功能的多少，结构的简单或复杂，都应该从系统工程的角度来认识。从而可以发现机电一体化产品具有许多有益的特征，其中最主要的特征有以下几点。

① 整体结构最佳化 在传统的机械产品中，为了增加一种功能，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，出现了由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。但是，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，在设计机电一体化产品时，对某一功能的实现，供人们选择的方案大大增加。也就是说，可以从机、电、硬、软 4 种方案中去选择。一个高明的设计师，可以在这个更加广阔的天地里充分发挥自己的聪明才智，设计出整体结构最佳的产品来。

这里所说的“最佳”，并非一定是什么尖端技术，而是指满足用户的要求而言。它可以是对高效、节能、节材、安全、可靠、精确、灵活、价廉等许多指标中用户最关心的一个或几个指标进行衡量的结果。机电一体化的实质是应用机械技术和电子技术进行有机的组织、渗透和综合，以实现系统整体的最大化。因而，要设计出整体结构最佳的机电一体化产品，要求我们的设计师，特别是总体设计师，一定是既懂机又懂电的高级复合型人才。

② 系统控制智能化 这是机电一体化系统与传统的工业自动化最主要的区别之一。电子技术的引入，不但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。而且靠电子控制系统，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，还可以通过被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、动作程度和快慢以及协调关系，以实现最优化工作和最佳操作。大多数机电一体化产品都具有自动控制、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（通过给定的指令）进行自动控制，一旦出现故障，就会自动采取应急措施，实现自动保护。某些情况下，单靠人的操作是很难以实现的，特别在危险、有害、高速、精确的使用条件下，系统控制的智能化不但是有利的，而且是十分必要的。

③ 操作性能柔性化 计算机软件技术的引入，使机电一体化装置和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。需要改变传动机构的动作规律时，无需改变其硬件机构，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，根据要求的操作规律事先编好，通过穿孔纸带或数据通信方式，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。例如数控机床，人们可以通过改变控制软件，加工出不同形状的零件来，从而使人在生产中的地位发生根本的变化，由机器的“奴仆”变为机器的“主人”。图 1-7 表示出在传统机器和机电一体化系统中人

与机械的关系。

1.2.2 机电一体化系统设计的理论基础与关键技术

(1) 机电一体化系统的理论基础

系统论、信息论、控制论的建立,微电子技术,尤其是计算机技术的迅猛发展,引起了科学技术的又一次革命,导致了机械工程的机电一体化。系统论、信息论、控制论无疑是机电一体化技术的理论基础,是机电一体化技术的方法论。

开展机电一体化技术研究时,无论是在工程的构思、规划、设计方面,还是在它的实施或实现方面,都不能只着眼于机械或电子,不能只看到传感器或计算机,而是要用系统的观点,合理解决信息流与控制机制问题,有效地综合有关技术,才能形成所需要的系统或产品。

给定机电一体化系统目的功能与规格参数后,技术人员利用机电一体化技术进行设计、制造的整个过程为机电一体化工程。机电一体化工程如图 1-8 所示。

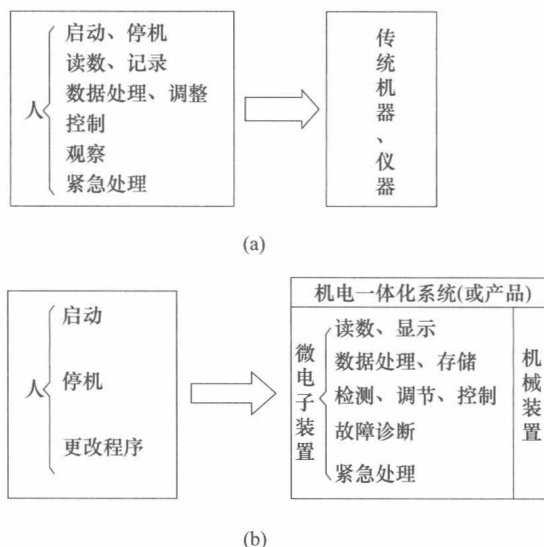


图 1-7 人与机械的关系

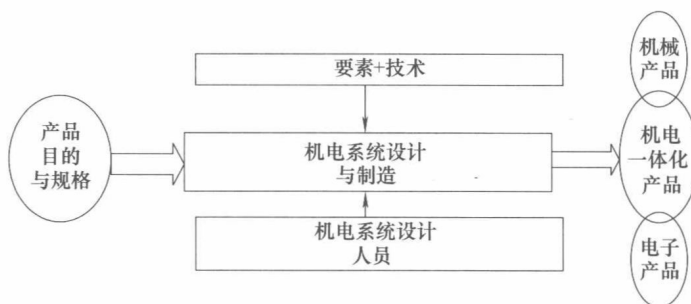


图 1-8 机电一体化工程

系统工程是系统科学的一个工作领域,而系统科学本身是一门关于“针对目的要求而进行合理的方法学处理”的边缘科学。系统工程的概念不仅包括“系统”,即具有特定功能的、相互之间具有有机联系的许多要素所构成的一个整体,也包括“工程”,即产生一定效能的方法。早在 1978 年,钱学森就指出:“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科学方法。”机电一体化技术就是系统工程科学在机械电子工程中的具体应用。具体来讲,就是以机械电子系统或产品为对象,以数学方法和计算机等为工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,以便充分发挥人力、物力和财力,通过各种组织管理技术,使局部与整体之间协调配合,实现系统的综合最优化。系统工程是数学方法和工程方法的汇集。

机电一体化技术是从系统工程观点出发,应用机械、微电子等有关技术,使机械、电子有机结合,实现系统或产品整体最优化的综合性技术。小型的生产、加工系统,即使是一台机器,也是由许多要素构成的,为了实现其“目的功能”,还需要从系统角度出发,不拘泥于机械技术或电子技术,并寄希望于能够使各种功能要素构成最佳结合的柔性技术与方法。机电一体化工程就是这种技术和方法的统一。表 1-3 为系统工程与机电一体化工程的特点比较。