

21世纪高等学校规划教材



JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

机电一体化系统设计

王 丁 沈永良 李海燕 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材

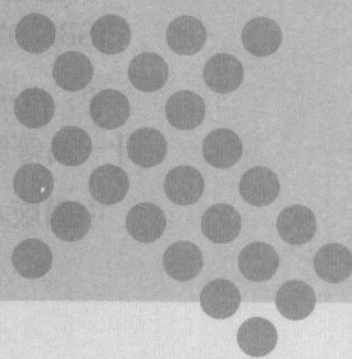


机电一体化系统设计
JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

机电一体化系统设计

编著 王 丁 沈永良 李海燕

主审 魏修亭



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书以反求工程方法为主线,紧密结合课题开发实际,将机电技术融为一体,讲解科学实用的设计方法。主要内容包括设计方法和典型方案两部分。设计方法包括:反求工程的设计方法,系统功能设计和总体布局设计,产生具体方案和选择具体方案方法,机械结构和电气硬件实现技术,控制算法的开发,软件编程,样机制作技术以及包含源程序的应用实例。典型方案包括:机械方案概述,驱动方案概述,外围电气设计方案概述,嵌入式控制器设计方案概述,典型机电一体化机构,控制方案,软件编程方案。本书的编写注重机电一体化技术的方法先进性和内容实用性,采用便于教学、便于阅读的写作表现形式。

本书可作为本科院校电气类和机械类专业的教材,也可供高职高专院校相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/王丁,沈永良,李海燕编著. —北京:
中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-8589-1

I. 机… II. ①王…②沈…③李… III. 机电一体化—系统设计—高等学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 037116 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 297 千字

定价 19.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

机电一体化技术将传统的机械技术和现代的电气技术集成到一起,是工程中广泛应用的技术。机电一体化系统是目前应用最为普遍的工程系统,是当代的主流产品的概括和体现。对每个企业来说,机电一体化系统的开发和设计都是最为重要的企业活动,是最为重要的战场。机电一体化系统的开发和设计人员便成为企业中的先锋团队。因此,掌握机电一体化系统的开发和设计技术是十分重要的。

机电一体化系统是一个复杂的工程应用系统。它的设计需要有多学科的工程技术知识和多层次的集成技术。为学习和掌握这门设计技术,首先要有一本思路清晰、技术先进和便于应用的教材。按照这个标准,本教材的写作特点是:以反求工程方法为主线,紧密结合课题开发实际,机电技术融合一体,用先进的定量方法描述、分析和选择机电部件、控制算法和软件编程的技术方案,讲解科学实用的设计方法。

科学技术都是在继承的基础上不断发展的。凭空想象和简单直觉的实现不会带来先进的技术,仅是自我的现实镜像。只有对现有的技术和系统加以分析、借鉴和再设计,才有先进的技术,才有先进实用的系统。这就是反求方法的基本意义。

有关机电部件的技术知识相对来说比较多,也比较好理解。关键的问题有以下几点:机电一体化系统功能的建立与分解,机电一体化系统总体布局,机电部件之间的接口,机电部件组成的系统的抗干扰性,机电部件的计算机辅助设计(计算机辅助设计软件),机电部件的快速制作、集成和调试。这些问题,在教材中均给以清楚的讲解。

控制方法的合理的使用是机电一体化系统达到设计指标的主要保障。本教材重点说明了控制方法应用的主要问题:在实现系统功能的前提下,如何将控制算法融合到机电一体化系统中,控制算法和机电部件的设计关系,控制算法如何在软件编程中落实和实现。

由于微处理器在机电一体化系统中的广泛应用,机电一体化系统的软件编程技术成为机电一体化技术的一个基本部分,而且是最后完成的部分。软件在机电一体化系统中起到“融合”的作用。只有软件编程的完成,才是机电一体化系统设计的完成。只有软件的实现,才是机电一体化系统的真正的实现。本教材对机电一体化系统的软件编程技术进行了全面的阐述,给出了应用实例和源程序,使读者能快速掌握和直接应用机电一体化软件编程技术。

机电一体化技术的蓬勃发展,说明相关的各个层次的技术方案很多。对技术方案进行精确描述、定量的评定和选择,在机电一体化系统设计中尤为重要。本教材在机电部件设计、控制方法设计和软件编程技术设计中体现了统一的定量设计方法。

本书由黑龙江大学王丁、沈永良和黑龙江科技学院李海燕编著。具体分工如下:前言、第1章、第2章、第4章~第9章、附录由王丁编写;第3章、第12章、第13章、第15章和第16章由沈永良编写;第10章、第11章和第14章由李海燕编写。

本书由山东理工大学魏修亭教授主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

本书受到黑龙江省电子工程重点实验室和黑龙江大学自动控制重点实验室支持。同时，还要感谢黑龙江大学闫瑶、张廷宇、梁海滨、郑仙麟、臧金莲和刘岩同学在本书编写过程中所做的工作。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者

2009 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机电一体化系统的发展过程与应用领域	1
1.2 机电一体化系统的构成	3
1.3 机电一体化系统的多层模型	5
1.4 基于反求工程的机电一体化系统设计过程	5
思考题与习题	6
第 2 章 系统功能的建立	7
2.1 系统功能的定义	7
2.2 系统功能的来源	7
2.3 系统功能结构建立的基本方法	9
思考题与习题	10
第 3 章 总体布局的设计	11
3.1 机电一体化系统系列结构	11
3.2 基于功能分块的组件式总体布局设计方法	12
思考题与习题	15
第 4 章 概念设计	16
4.1 机电一体化系统的概念产生方法	16
4.2 概念方案的形态分析	21
4.3 概念方案的选择	22
思考题与习题	23
第 5 章 机械与电气硬件实现技术	24
5.1 系统集成与接口技术	24
5.2 机械结构设计方法	26
5.3 微处理器抗干扰技术	29
5.4 机电一体化系统的电子设计工具	31
思考题与习题	35
第 6 章 控制系统设计	36
6.1 对机电一体化系统的基本设置	36
6.2 机电一体化系统的控制需求和控制方法	38
6.3 控制系统设计	42
思考题与习题	43
第 7 章 软件设计技术	44
7.1 软件的总体功能	44
7.2 机电一体化系统软件的任务和任务管理	44

7.3 机电一体化系统的程序设计方法	46
思考题与习题	57
第8章 物理样机	58
8.1 物理样机的意义与分类	58
8.2 快速样机技术	58
8.3 电控系统快速搭接技术	60
8.4 系统的调试技术	61
8.5 技术文件制定	63
思考题与习题	65
第9章 宠物喂养机的设计实例	66
9.1 系统设计	66
9.2 人机界面设计	67
9.3 具体程序实现	67
思考题与习题	93
第10章 机械方案概述	94
10.1 定义与描述	94
10.2 特点	94
10.3 分析标准	95
10.4 机构类型分类	96
10.5 选择标准	97
10.6 两杆机构和多杆机构	97
10.7 单自由度机构和多自由度机构	100
10.8 开链机构及闭链机构	101
10.9 机械总体设计	101
思考题与习题	102
第11章 驱动方案概述	103
11.1 概述	103
11.2 电动型驱动机构主要方案	106
11.3 液压型驱动机构主要方案	115
11.4 气动型驱动机构主要方案	117
思考题与习题	118
第12章 外围电气设计方案概述	119
12.1 传感方案概述	119
12.2 电力电子技术	123
12.3 液晶显示模块	128
思考题与习题	133
第13章 嵌入式控制器设计方案概述	134
13.1 嵌入式控制器概述	134
13.2 单片机典型方案分析	135
13.3 典型单片机芯片举例	137
13.4 可编程控制器概况	143

思考题与习题 147

第 14 章 典型机电一体化机构设计 148

14.1 变输入速度伺服机构系统方案 148

14.2 机构的振动主动控制系统方案 154

14.3 混合动力机器方案 160

14.4 机构与控制的协调工作 164

思考题与习题 165

第 15 章 常用控制方案 167

15.1 反馈控制与前馈控制 167

15.2 PID 控制 168

15.3 自适应控制 169

15.4 智能控制 171

思考题与习题 174

第 16 章 程序编制方案 175

16.1 面向对象的程序设计技术 175

16.2 机电一体化系统界面设计 176

16.3 软件的抗干扰措施 180

16.4 嵌入式操作系统与实时操作系统 181

16.5 基于实时操作系统的对象编程方法实例 184

思考题与习题 186

附录 一个运水机器人设计题目 187

参考文献 188

第 1 章 绪 论

1.1 机电一体化系统的发展过程与应用领域

机电一体化系统 (Mechatronic Systems) 是指在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术, 将机械装置与电子化设计及软件结合起来所构成的系统的总称。机电一体化发展至今已成为一门有着完备体系的新型学科, 随着科学技术的不断发展, 还将被赋予新的内容。其基本特征可概括如下:

(1) 机电一体化技术是一种技术群的总称。机电一体化是从系统的观点出发, 综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、计算机技术、信息技术、传感测控技术、电力电子技术、接口技术、信息变换技术、软件编程技术等, 根据系统功能目标和优化组织目标, 合理配置与布局各功能单元, 在多功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能, 并使整个系统最优化的系统工程技术。由此而产生的功能系统, 即为一个机电一体化系统或机电一体化产品。

(2) 机电一体化系统是由若干具有特定功能的机械电子要素组成的有机整体, 具有满足人的使用要求的最佳功能。机电一体化系统主要是指机械系统与微电子系统相互置换和有机结合, 从而赋予新功能的一类产品, 有良好的人机交互关系。

机电一体化技术是基于上述群体技术有机融合的一种综合技术, 而不是机械技术、微电子技术以及其他新技术的简单组合、拼凑。这是机电一体化与机械和电气所形成的机械电气化在概念上的根本区别。机械工程技术由纯机械技术发展发展到机械电气化, 仍属于传统机械, 其主要功能依然是代替和放大体力。但是发展到机电一体化之后, 其中的微电子装置除了可取代某些机械部件的原有功能外, 还能赋予许多新的功能, 如自动检测、自动处理信息、自动显示记录、自动调节与控制、自动诊断与保护等。机电一体化产品不仅是人的手与肢体的延伸, 还是人的感官与头脑的延伸, 智能化特征是机电一体化与机械电气化在功能上的本质区别。

机电一体化的发展大体可分为六个阶段, 见图 1-1。

(1) 1900 年以前是纯机械系统阶段, 蒸汽机是这一阶段的主要产品。

(2) 1900~1920 年, 是增加电气传动时期, 在这个时期, 开始使用直流电机和交流电机, 最终达到了带电气传动的机械系统阶段。

(3) 1920~1955 年, 是增加自动控制的时期, 在这一时期, 继电器、液压放大器、气动放大器和电气放大器的陆续使用, 晶体管和晶闸管的产业化, 形成了带有模拟电子控制和顺序控制的机械系统阶段。

(4) 1955~1975 年, 是采用计算机处理的微型化时期, 数字计算机、微型计算机、分布控制和实时软件的应用是这个时期的特点, 最后形成了数字控制的新阶段。

(5) 1975~1985 年, 是进行处理计算机的集成时期。在这一时期, 微处理器、个人计算机、现场总线、新型传感器、新型执行器和集成技术的应用开创了一个新的阶段——机电一体化阶段。这个阶段的特点是: ①机电一体化的概念被普遍接受; ②机电一体化

技术和产品得到了极大发展；③各国均开始对机电一体化技术和产品给予很大的关注和支持。

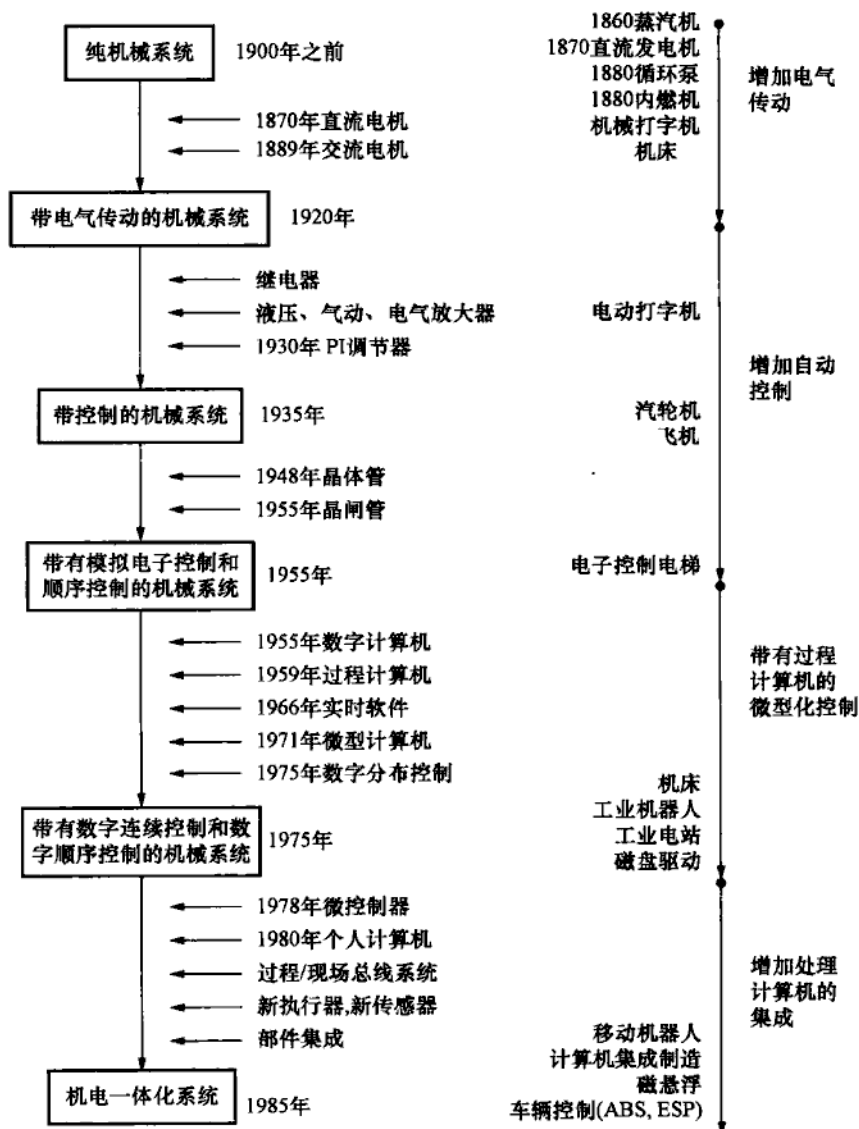


图 1-1 机电一体化的发展阶段

(6) 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、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, 以及机电一体化的学科体系和发展趋势均进行了深入研究。同时, 人工智能技术、神经网络技术、光纤技术等领域取得的巨大进步, 也为机电一体化技术开辟了发展的广阔天地。机电一体化的主要发展方向为网络一体化、模块标准化、人工智能化、仿生物系统化、微型机电化和环保绿色化。

综上所述, 机电一体化系统是电技术和机械技术不断融合的结果。为了简要清晰地表达这个发展关系, 用图 1-2 表示。首先是机械技术的发展, 达到机械化的阶段; 然后, 电技术和机械技术的结合形成了机—电系统; 在此基础上, 电子技术和信息技术的进一步融合形成了机电一体化技术。

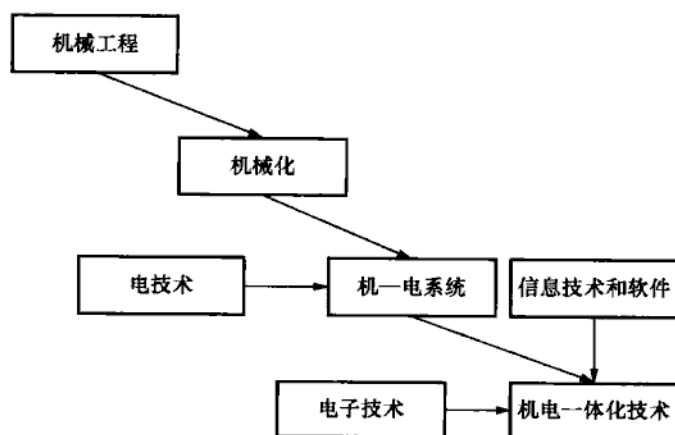


图 1-2 机电一体化技术的形成过程

机电一体化技术在很多方面均有广泛的应用。图 1-3 给出了一个应用领域的实例。由此可以看到机电一体化技术应用的广泛性和有效性。

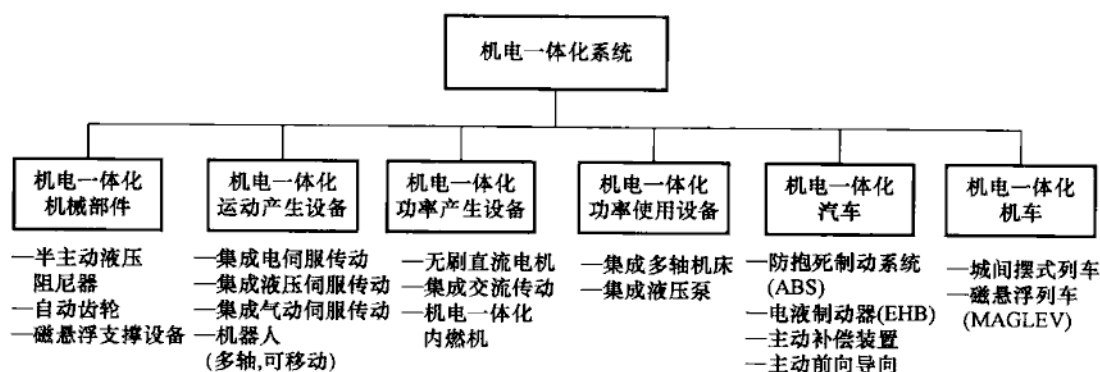


图 1-3 机电一体化系统应用实例

1.2 机电一体化系统的构成

机电一体化系统是一个复杂的具有一定功能的系统，包括驱动器 (Actuators)、机械和能量转换器 (Mechanics and Energy Converters)、传感器 (Sensors)、信息处理单元 (Information Processing)、人机接口 (Man-Machine Interface) 和能量提供单元 (Energy Supply)，如图 1-4 所示。机械和能量转换器是被控对象，其状态由传感器检测，信息处理单元根据传感信号和人机接口的设定对执行器加以控制，执行器驱动机械和能量转换器工作。

机电一体化系统从不同的角度看可以有不同的划分方法。德国 Darmstadt 大学的 Rolf Isermann 提出，机电一体化系统是由控制功能、动力功能、传感检测功能、操作功能和构造功能五大功能模块组成，见图 1-5；将机电一体化系统通俗地类比于人的大脑、内脏、五官、四肢及躯体。丹麦理工大学的 Jacob Burr 等人提出机械、电子和软件三个相关圆环，以此表示机电一体化系统的组成和相互关联，见图 1-6。三环论中电子含义比较含糊，软件是指实现信息处理和控制的程序。我国的邹慧君教授将机电一体化系统划分为

广义执行机构子系统、传感检测子系统、信息处理及控制子系统。其中，广义执行机构子系统实现机电一体化系统执行运动的核心功能，其他两个子系统起辅助作用，见图 1-7。第一种分法侧重于系统的功能特征，第二种方法侧重于系统的技术特征，第三种方法侧重于系统的聚类特征。

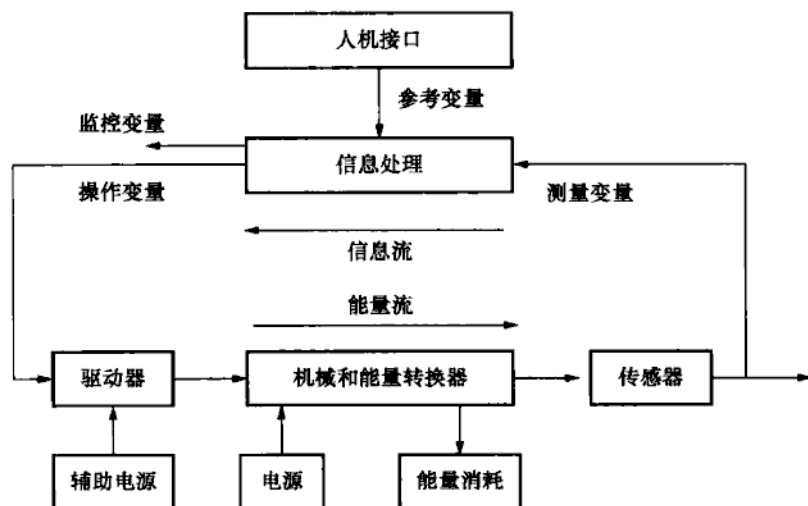


图 1-4 机电一体化系统的构成

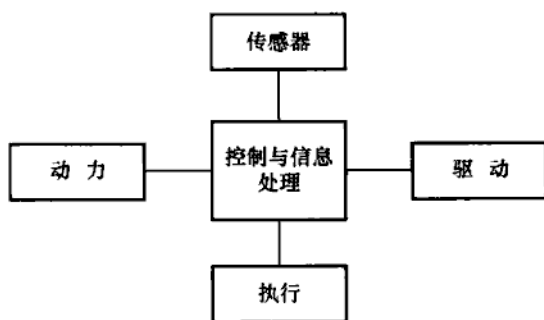


图 1-5 按五大功能模块划分的机电一体化系统

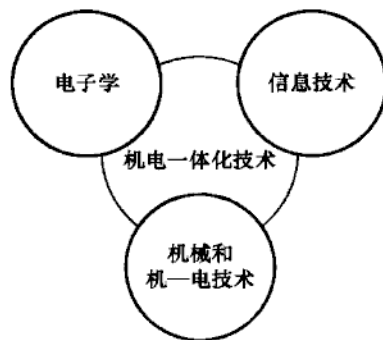


图 1-6 按三环划分的机电一体化系统

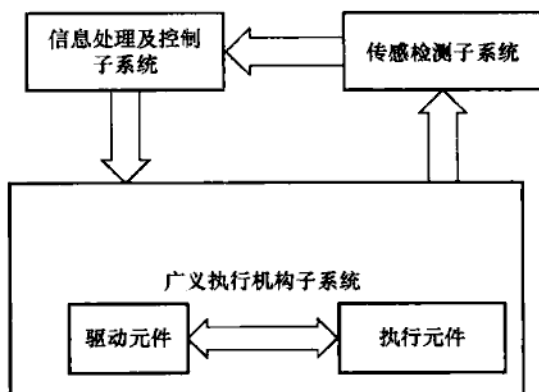


图 1-7 按广义划分的机电一体化系统

1.3 机电一体化系统的多层模型

对于一个实际的机电系统而言，系统的实际存在形态是最为重要的。实际的机电系统是由机械结构和电气部分组成的，这是物理的存在，因此可看做物理层。要使机电系统具有一定的功能，就要对这些机电部件进行控制，这种控制通常是由嵌入于这些物理硬件中的电气部分软件实现的，因此形成软件层。软件的核心运行规律是控制算法，因此可看做软件之上还有一个算法层。对于每个层次，均可以划分成多个功能块。在运行时，每层的状态也是随时间变化的。因此，机电一体化系统的模型可以看成是具有分块和分时特征的多层模型，见图 1-8。其中，物理层一般由 7 个子系统组成，见图 1-9。它们是执行元件子系统、驱动元件子系统、电力电子器件子系统、微控制器子系统、主电源子系统、传感器子系统和人机界面子系统。

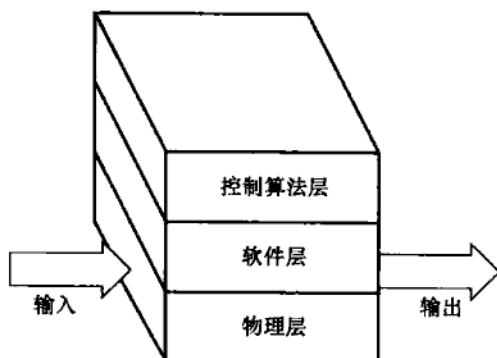


图 1-8 机电一体化系统的分块和分时的多层模型

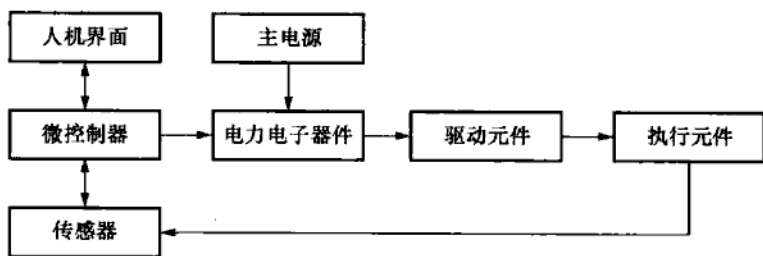


图 1-9 机电一体化系统物理层结构

1.4 基于反求工程的机电一体化系统设计过程

作为设计的开始，一定是从粗略到具体、从宏观到微观、具体的过程，即一个从上到下的不断完善的设计过程。但是，最为重要的问题是设计从何处开始。传统的方法是从用户的需求分析开始，而国际流行的设计方法是从一个现有的产品出发开始设计，叫做反求工程设计方法（Reverse Engineering）。反求工程亦称反向工程或逆向工程。作为一种逆向思维的工作方式，反求工程技术与传统的产品正向设计方法不同，它根据已存在的产品或零件原型来构造产品的工程设计模型或概念模型，在此基础上对已有产品进行解剖、深化和再创造，是对已有设计的再设计。图 1-10 和图 1-11 给出了两种方法的示意流程图。由此可知，它们的设计前提不同，反求工程设计方法是从已知系统开始设计，顺向工程设计方法是从市场分析开始设计。在设计手段上，反求工程设计方法主要是再设计方法，顺向工程设计方法以创新设计为主。

反求方法的特点是先从现有产品出发，因而包含如下的意义。

(1) 直接得到可行的、完整的技术方案。主要产品信息都可以获得。可使产品研制

周期缩短 40% 以上，极大地提高了生产率。

(2) 使设计工作从原型设计变为再设计，增加了设计的方向性，降低了设计的难度。

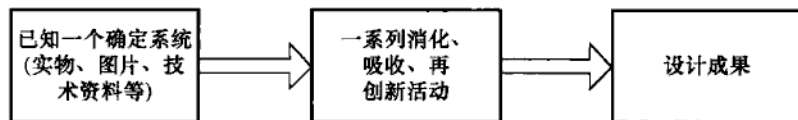


图 1-10 反求工程设计流程

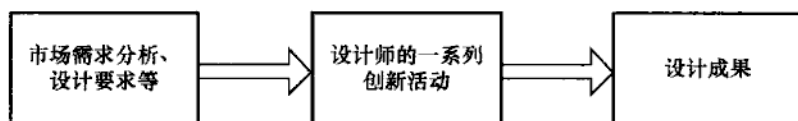


图 1-11 顺向工程设计流程

(3) 节省大量研发资金。

基于反求工程进行的机电一体化系统设计过程如图 1-12 所示。包括明确设计任务、选定一个产品、确定功能结构、确定总体布局、概念产生、概念选择、硬件实现、控制算法确定、软件实现和完成物理样机。本书采用该进程进行教学。

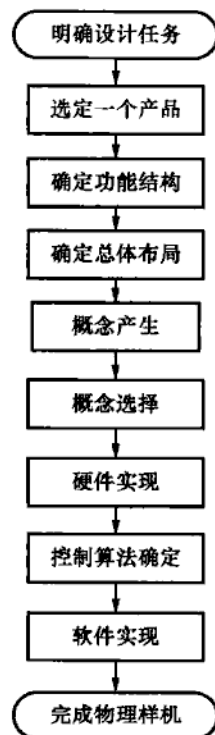


图 1-12 基于反求工程的机电一体化系统设计过程

思考题与习题

- 1-1 举例说明机电一体化系统的组成。
- 1-2 反求工程的特点是什么？
- 1-3 如何理解机电一体化系统的多层模型。
- 1-4 说明反求方法与创新的关系。
- 1-5 使用反求工程方法的根本原因是什么？

第2章 系统功能的建立

所有的系统（产品）都执行一定的行为，因而在其中蕴藏有相应的功能。每个系统的宏观特性就是其基本功能，因而也就形成了决定性的功能结构（Function Structure）。建立系统的功能结构是设计系统的首要问题。当然，还要注意了解系统功能的来源问题。

2.1 系统功能的定义

在科学知识的学习和应用中，对一个系统有很多表达的方法，如状态空间方法、传递函数方法、微分方程法等。其中主要的一类方法就是用输入输出表示系统的方法，如传递函数方法、方框图法。也包括一些以输入输出量表示系统性质的量，如电路的放大倍数、经济中的投入产出比等。用输入和输出量来表示系统的主要优点有：①输入和输出量可以容易（直观地）地得到；②不必了解或表示内部的关系。因此，用输入和输出量来表示系统的方法具有简单和直观的特点。所以，在没有确定内部结构的情况下，应采用输入和输出量表示系统的方法来表示机电一体化系统的功能。

一个机电一体化系统的功能是由系统的各层共同完成的。但是，在这些层中，物理层是直观可见的，也是技术方案的主体和载体。一个机电一体化系统的功能，首先是由物理层决定的。在物理层中，直接完成功能的部件实现了物理量的转换，体现出从输入到输出的关系，表现为事件量。围绕着事件量的变化，必须有能量的参与和信号量的配合。分析系统的三个量是事件量（Matter/Material）、能量（Energy）和信号（Information）。将这三个量的变化用输入输出方法来表示就得到了系统功能模型，如图 2-1 所示。产品的功能是在有效的输入和要求的输出之间清楚、可再现的关系的一个描述。

以一个轨迹运行电动小车为例，说明如何建立功能模型（见图 2-2）。从能量的使用情况来看，输入能量是电池电能，输出的能量是车体运动的动能、能量传输中产生的热能、运动中克服摩擦的能耗和声能。从事件/材料角度来看，作为输入的控制要求有两种：一种是内置轨迹；另一种是外循轨迹，运行时间。按照这个要求，输出两个车轮的运动。从信号来看，输入量是轨道偏差量和启动/制动信号，输出量是运行时间和运行状态。

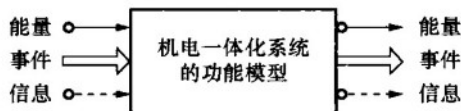


图 2-1 系统功能模型

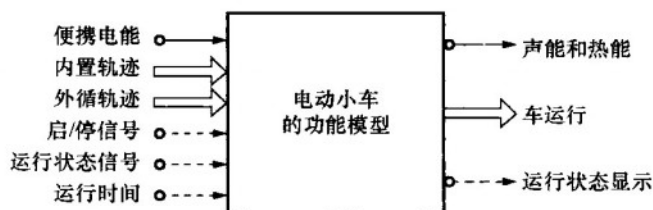


图 2-2 轨迹运行电动小车功能模型

2.2 系统功能的来源

实现系统功能转换的过程称为总功能，实现子系统功能转换的过程称为子功能。一个复

杂关系的总功能可以分解成若干个复杂程度比较低的子功能，将各个子功能结合起来就构成功能结构。至于总功能分解到何种程度，取决于问题的复杂程度、设计者的经验和一定构思下的选择过程。如果能在适合的级别上充分地分解总功能，那么每个子功能都可能找到相匹配的功能载体和元件，从而为进一步的设计奠定基础。通过适当的方法来了解和掌握有关的功能分解关系，是建立系统功能的基础。因此，首先要对得到系统功能分解关系的来源加强理解和归纳。

所谓系统功能分解关系的来源，指的是了解和掌握系统功能的参考、根据和借鉴。按照前面所介绍的反求工程的方法，一个系统的功能应来源于现有的实际系统。而为了掌握现有实际系统的功能，就要对现有的实际系统进行拆卸。所以，拆卸方法是最主要、最为标准的功能借鉴来源。当然，作为系统功能的一个间接来源，各种信息资料库也是可以参考的。下面介绍掌握系统功能的常用方法。

2.2.1 功能树方法

采用树状图来表达对象的性质是一个基本的方法。所谓功能树（Function Tree）方法，就是用树状结构来表示功能分解关系。由于设计人员在学习和工作中经常进行有关技术问题的分解（分析）工作，功能分解关系内在的逻辑性也很清晰，因而这种方法是设计人员最常采用的、最容易得到的方法。然而，也要注意，这种表示法与功能结构是不同的。它有输入输出关系和内部交互关系不很清楚的缺点。图 2-3 所示为轨迹运行电动小车的功能树图。

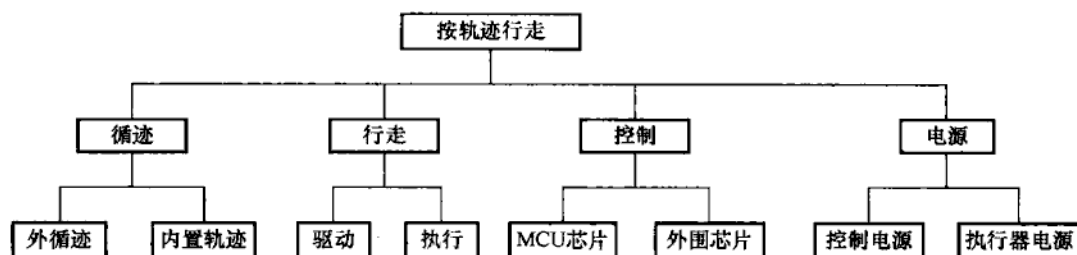


图 2-3 轨迹运行电动小车的功能树图

2.2.2 拆卸方法

拆卸方法是系统功能的分析法，针对的是现存实际系统。因此，是反求意义上的分析法。

学习和掌握一个系统的基本方法就是拆卸（Teardown）这个系统。这个拆卸不是将整个系统分解，而是观察和记录在系统正常工作时去除一个部件后对性能的影响；通过这个影响来分析那个去除部件的功能。其流程如下：

第一步，拆卸组件中的一个元件；

第二步，全程运行系统；

第三步，分析效果；

第四步，分析被拆卸部件的子功能；

第五步，更换新的部件并重新进行上述的步骤；

第六步，合成所有的子功能，并转换成一个功能树。

这个方法称为分解和操作方法（Subtract and Operate Procedure, SOP）。

通过元件的功能得到部件的功能，再得到子功能和总功能，这是科学掌握现有系统功能的最好方法之一。

2.2.3 行为图方法

通过对使用者行为的观察和描述，可以了解和掌握使用者的使用情况，进而可以了解和掌握使用者对系统功能的需求，也可以发现系统功能的不足。行为图（Activity Diagram）是描述使用者使用机电一体化产品行为过程的一种方框图。它的要点是：用一个方框表示一个使用行为，方框间用有向线段连接，用一系列具有串并联关系的方框图表示使用者使用一个机电一体化系统的全局的主要行为。

行为图能够将不同的设计思想传达给设计人员或设计小组，使他们能够根据用户的需求来进行设计。同时它也可以引导设计人员按照用户的需求来进行研究，使产品在投入市场初期就能够快速地占有市场。图 2-4 所示为一般行为图例图。

得到机电一体化产品的行为图后，可以进一步得到它的功能树表示。

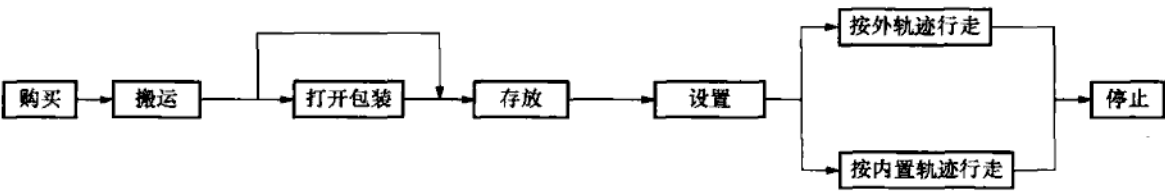


图 2-4 轨迹运行电动小车的行为图

2.2.4 资料的来源

在确定系统功能之前，往往采用查资料的方法。这种方法也是最为普遍的方法。具体的资料来源有期刊、学位论文、会议、专利文献等。参考和借鉴有关的设计方案和程序设计也是一种可行的方法。通过借鉴资料，可以了解和掌握机电一体化系统的总功能与子功能的功能分解关系，最后得到它的功能树表示。

2.3 系统功能结构建立的基本方法

根据对系统功能模型的理解，可按下述方法建立系统功能模型。首先，确定系统的最主要功能。再从任务方面来确定系统的输入和输出量，包括材料和事件、能量、信息方面的输入和输出关系。其次，确定系统的功能分解关系。根据系统的功能分解关系，确定内部模块。最后，画出输入和内部模块之间、内部模块相互之间以及内部模块与输出之间的关系。

具体步骤如图 2-5 所示。

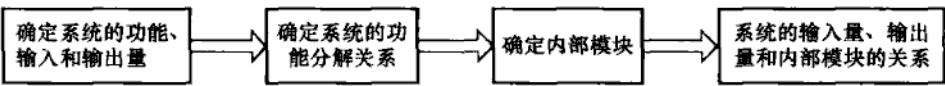


图 2-5 功能结构建立步骤示意图

1. 确定系统的功能、输入和输出量

作为机电一体化系统最本质特征的系统功能具有唯一性和确定性。围绕这个根本功能，可以从材料和事件、能量、信息三个角度来表达，因此输入和输出各有三个分量。

2. 确定系统的功能分解关系

机电一体化系统的功能分解关系是建立功能结构的基础。功能分解关系主要是明确构成系统的功能要素。从获得功能分解关系的方法而言，有功能树方法、拆卸方法、行为图方