

高等学校教材

# 机电一体化 设计基础

郑堤 唐可洪 主编

机械工业出版社

N1129128

# 机电一体化设计基础

主编 郑 堤 唐可洪  
主审 于永芳  
参编 王智宏 张立中 孙令贻



392796



机械工业出版社

本书在简要介绍机电一体化基本概念及概况、机电一体化产品构成及其设计与开发工程技术路线的基础上,结合机电一体化共性关键技术的应用,重点针对机电一体化产品总体及其机械系统、接口、检测系统、伺服系统和控制系统的基础理论、设计原理和设计方法进行了系统、详细、深入浅出的分析和介绍。

本书兼顾了课堂教学及自学的特点和需要,各章都附有适量的习题与思考题,有助于读者加深对本书内容的理解及检验学习效果。

本书可作为大专院校机械电子工程专业及相关专业的专业课或选修课教材,也可供夜大、函大及职大等相关专业使用,还可供研究生及从事机电一体化产品设计、制造与研究的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化设计基础/郑堤,唐可洪主编. —北京:机械工业出版社,1997.7

高等学校教材

ISBN 7-111-05608-6

I. 机… I. ①郑… ②唐… III. 机电一体化-机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06600 号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周性贤 钱飒飒 版式设计:霍永明 责任校对:袁凤霞

封面设计:郭景云 责任印制:卢子祥

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·16.5 印张·398 千字

0 001—5 000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

## 前 言

本书是根据1994年12月全国高等学校机械电子工程专业教学与教材研讨会上提出的教学计划,由吉林工业大学、长春大学、吉林工学院、长春光学精密机械学院、吉林职业师范学院共同组织编写的系列教材之一。

机电一体化是在微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成并发展起来的一门新兴的综合性技术学科。目前机电一体化技术正日益得到普遍重视和广泛应用,已成为现代技术、经济发展中不可缺的一种高新技术;由于机电一体化技术的应用而生产出来的机电一体化产品,已遍及人们日常生活和国民经济的各个领域。为了在当今国际范围内剧烈的技术、经济竞争中占据优势,世界各国纷纷将机电一体化的研究和发展作为一项重要内容而列入本国的发展计划。

技术、经济的竞争,归根结底是人才的竞争,而人才竞争的关键在教育。80年代以来,我国各大专院校相继建立了机械电子工程专业,并在教学研究和教材体系建设等方面取得了较大的成绩。然而调查研究表明,目前许多机械电子工程专业的毕业生在知识能力结构上还不能满足技术、经济发展的需要,其主要原因之一是在教学中普遍缺少适用的专业课教材。

机电一体化是一门实践性非常强的综合性技术学科,所涉及的知识领域非常广泛,现代各种先进技术构成了机电一体化的技术基础。但机电一体化并非是一些技术的简单叠加,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,转化成强大的生产力。因而,高等工程教育不应仅仅限于向学生分离地介绍机械技术、微电子技术、计算机技术等机电一体化共性关键技术,还应在此基础上更进一步地通过专业课教学及相应实践教学环节,使学生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。

鉴于上述,我们总结几年来教学和科研的经验,在广泛收集资料和原有课程讲义的基础上编写了此书,希望它能够成为一本适用的专业课教材。

本书共分七章。第一章概述了机电一体化的基本概念及概况、机电一体化产品的基本构成、设计思想及工程技术路线;第二至第六章分别介绍了机械系统、接口、检测系统、伺服系统以及控制系统的基本原理和设计计算方法;第七章从系统整体的角度介绍了机电一体化总体设计的思想和方法。本书内容丰富,介绍深入浅出,既注意与先修课内容的衔接,又避免了相互重复,并将重点放在了实际应用上。

参加本书编写的有:吉林工业大学郑堤(第一章部分,第四、五、六章);吉林工业大学唐可洪(第七章);长春大学王智宏(第二章);长春光学精密机械学院张立中(第三章);吉林职业师范学院孙令贻(第一章部分)。本书由郑堤、唐可洪主编,长春大学于永芳教授主审。

在本书编写过程中，得到了于永芳教授和吉林工业大学王国钧副教授的支持和帮助，在此向他们表示衷心的感谢。此外，向本书所参考和引用的有关资料的作者致以衷心的感谢。

限于编者的水平，书中错误疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1996. 11

# 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一章 概论 .....            | 1   |
| 第一节 机电一体化基本概念 .....     | 1   |
| 第二节 机电一体化发展概况 .....     | 2   |
| 第三节 机电一体化产品的构成 .....    | 3   |
| 第四节 机电一体化产品的分类 .....    | 5   |
| 第五节 机电一体化共性关键技术 .....   | 6   |
| 第六节 机电一体化设计及其工程路线 ..... | 8   |
| 习题与思考题 .....            | 10  |
| 第二章 机械系统设计 .....        | 11  |
| 第一节 概述 .....            | 11  |
| 第二节 传动机构设计 .....        | 12  |
| 第三节 导向机构设计 .....        | 30  |
| 第四节 执行机构设计 .....        | 40  |
| 习题与思考题 .....            | 51  |
| 第三章 接口设计 .....          | 52  |
| 第一节 概述 .....            | 52  |
| 第二节 人机接口设计 .....        | 53  |
| 第三节 机电接口设计 .....        | 69  |
| 习题与思考题 .....            | 85  |
| 第四章 检测系统设计 .....        | 87  |
| 第一节 概述 .....            | 87  |
| 第二节 模拟式传感器信号的检测 .....   | 88  |
| 第三节 数字式传感器信号的检测 .....   | 113 |
| 第四节 检测信号的采集和预处理 .....   | 122 |
| 习题与思考题 .....            | 132 |
| 第五章 伺服系统设计 .....        | 134 |
| 第一节 概述 .....            | 134 |
| 第二节 伺服系统中的执行元件 .....    | 138 |
| 第三节 执行元件的控制与驱动 .....    | 148 |
| 第四节 开环控制的伺服系统设计 .....   | 159 |
| 第五节 闭环控制的伺服系统设计 .....   | 171 |
| 习题与思考题 .....            | 182 |
| 第六章 控制系统设计 .....        | 184 |
| 第一节 概述 .....            | 184 |
| 第二节 被控对象数学模型的建立 .....   | 186 |
| 第三节 微型机控制技术基础 .....     | 194 |
| 第四节 数字控制器设计 .....       | 207 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第五节 微型机控制装置设计 .....   | 228 |
| 习题与思考题 .....          | 236 |
| 第七章 机电一体化总体设计 .....   | 239 |
| 第一节 概述 .....          | 239 |
| 第二节 性能指标分析 .....      | 242 |
| 第三节 功能及性能指标的分配 .....  | 247 |
| 第四节 定量电子秤总体设计举例 ..... | 251 |
| 习题与思考题 .....          | 253 |
| 参考文献 .....            | 255 |

# 第一章 概 论

## 第一节 机电一体化基本概念

机电一体化是随着生产和技术的发展,在以机械、电子技术为主的多门技术学科相互渗透、相互结合过程中逐渐形成和发展起来的一门新兴边缘技术学科。机电一体化的英文名称是 Mechatronics,是由日本人通过截取英文机械学 (Mechanics) 的词头和电子学 (Electronics) 的词尾组合在一起而创造出来的一个新的英文名词。这一名词最早出现在 1971 年日本的《机械设计》杂志副刊上,后来随着机电一体化的发展而被广泛引用,目前已在世界范围内得到普遍承认和接受。

简单地讲,机电一体化是机械与电子技术有机结合的产物。机电一体化还处在不断发展和完善的过程中,到目前为止,国际上还没有统一的关于机电一体化的详尽解释。不同的个人、学术团体或工业企业部门,由于各自的出发点或着眼点不同,所作出的解释也不相同。日本机械振兴协会经济研究所在其“关于机械工业施政调查研究报告”中提出:“机电一体化是指机械装置和电子设备适当地组合起来,构成机械产品或机电一体与机信一体的新趋势。”日经产业新闻把机电一体化称为“机械技术的机械学和电子技术的电子学组合起来的技术进步的总称”。日本富士通法纳克公司技术管理部长小岛利夫则认为:“机电一体化是把机械学和电子学有机地结合起来,提供更加优越技术的一种技术。”尽管众说纷纭,却都强调了机械与电子有机结合的思想。

在国内,对于机电一体化的涵义也有不同的理解,但由日本机械振兴协会经济研究所于 1983 年 3 月所作的解释被大家所普遍接受,即:“机电一体化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。”

机电一体化是一种崭新的学术思想,它除了强调机与电的有机结合,还具有更深刻、更广泛的涵义。按照机电一体化思想,凡是由各种现代高新技术与机械和电子技术相互结合而形成的各种技术、产品(或系统)都应属于机电一体化范畴。因此,目前人们谈论的机电液(液压)一体化、机电光(光学)一体化、机电仪(仪器仪表)一体化以及机电信(信息)一体化等,实质上都可归结为机电一体化。

机电一体化是一个综合的概念,包含了技术和产品两方面内容。它首先是指机电一体化技术,其次是指机电一体化产品。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的、使机电一体化产品得以实现、使用和技术发展的技术。机电一体化产品是指采用机电一体化技术,在机械产品基础上创造出来的新一代机电产品。

机电一体化技术是建立在机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术、自动控制技术、传感与测试技术、电力电子技术、伺服驱动技术、系统总体技术等现代高新技术群体基础之上的一种高新技术。机电一体化技术的突出特点在于它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“揉和”到机械装置中去，从而获得了过去单靠某一种技术而无法实现的功能和效果。机电一体化技术的重要实质是应用系统的观点和方法来分析和研究机电一体化产品或系统（以下统称为机电一体化产品），综合运用各种现代高新技术进行产品的设计与开发，通过各种技术的有机结合，实现产品内部各组成部分的合理匹配和外部的整体效能最佳。

机电一体化产品是具有高技术含量的产品，其技术附加值随机电结合程度的加深而提高。图 1-1 反映了不同年代的产品技术附加值和技术构成比例的发展情况。可见，在当代产品中，单纯机械技术的附加值含量越来越少，而微电子技术的附加值含量却越来越多。附着年代的发展，这种趋势还将增加。但这并不等于说，微电子技术可以脱离机

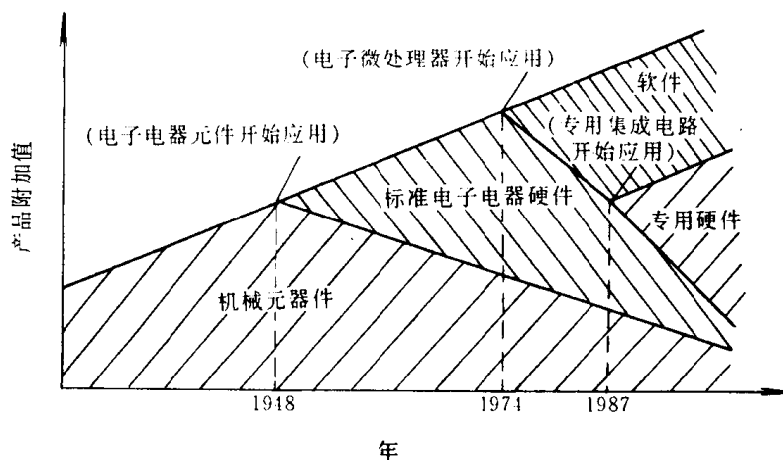


图 1-1 产品技术附加值与技术构成比例的发展情况

械技术而在机械领域获得更大的经济效益，而是意味着，机械技术只有同微电子技术相结合，传统的机械产品只有向机电一体化产品方向发展，才是机械工业发展的唯一出路。

## 第二节 机电一体化发展概况

与其它科学技术一样，机电一体化也经历了较长期的自然产生和发展过程。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技术的有机结合自觉不自觉地作了许多工作，研究和开发了不少机电一体化产品，如电子工业领域内通信电台的自动调谐系统、雷达伺服系统，机械工业领域内的数控机床、工业机器人等。直到 70 年代初，日本人对机电一体化的长期实践和最新应用成果加以系统地概括和总结，才形成一个比较完整的机电一体化概念。此后由于大规模集成电路技术和微型计算机技术的迅速发展，使得机电结合的形式更加灵活，内容更加丰富，应用更加广泛，因而在以机械工业为主的传统产业中引发了一场大规模的机电一体化技术革命。

目前，机电一体化产品已经渗透到国民经济和日常工作、生活的各个领域。电冰箱、全自动洗衣机、录像机等家用电器，电子打字机、复印机、传真机等办公自动化设备，脑 CT、核磁共振成像诊断仪、纤维光束内窥镜等医疗器械，数控机床、工业机器人、自动化物料搬运车等机械制造设备，以及由微机控制正时点火、燃油喷射、排气净化等的交通运输设备等，都是典型的机电一体化产品。

科学技术的进步为机电一体化的产生和发展创造了条件，社会需求则为之提供了动力。反过来，机电一体化的发展又不断促进科学技术的进步和社会需求。机电一体化的目的是使产品具有多功能、高效率、高智能、高可靠性，同时又能省材料、省能源，并使产品向轻、薄、细、小、巧的方向发展，以不断满足人们生活的多样化要求和生产的省力化、自动化需求。机

电一体化通过综合利用现代高新技术的优势, 扬长补短, 在提高精度、增强功能、改善操作性和使用性、提高生产率和降低成本、节约能源和降低消耗、减轻劳动强度和改善劳动条件、提高安全性和可靠性、简化结构和减轻重量、增强柔性和智能化程度、降低价格等诸多方面都取得了显著的技术经济效益和社会效益, 促使社会和科学技术又向前大大迈进了一步。

在当前激烈的国际竞争中, 机电一体化具有举足轻重的作用, 其发展水平在很大程度上反映了一个国家的技术经济实力。因此西方发达国家对此都给予了极大的重视, 纷纷制订了有关的发展战略、政策及法规。我国对机电一体化的研究虽起步较晚, 但自改革开放以来, 面对国际市场激烈竞争的新形势, 已充分认识到机电一体化对我国经济发展所具有的重要战略意义。80 年代以来, 由国家科委和机械电子工业部分别组织专家根据我国国情对发展机电一体化的目标、原则、层次和途径等进行了深入而广泛的研究, 制订了一系列有利于机电一体化发展的政策法规, 确定了数控机床、工业自动化控制仪表、工业机器人、汽车电子化等 15 个优先发展领域及 6 项共性关键技术的研究方向和课题, 并明确提出要在 2000 年使我国的机电一体化产品产值比率 (即机电一体化产品总产值占当年机械工业总产值的比值) 达到 15% ~ 20% 的发展目标。

目前, 机电一体化技术思想已被普遍接受和采用, 包括技术基础、设计理论和研究方法在内的技术体系正在不断地发展和完善。国民经济建设和发展迫切需要大量掌握机电一体化技术的人才去改造传统产业, 研究和开发新一代机电一体化产品以改善出口产品结构, 增强在国际市场上的竞争力, 加快赶超国际先进水平的步伐。机电一体化已经显示出了强大的生命力, 并正以空前的速度和力度冲击着传统的技术思想、生产方式和方法以及传统的机电产品和产业结构, 国民经济的各个领域都将因此而发生深刻变革。机电一体化是科学技术发展的必然趋势, 并将成为 21 世纪的主流技术之一。

### 第三节 机电一体化产品的构成

#### 一、机电一体化产品的功能构成

任何一种产品都是为满足人们的某种需要而开发和生产的, 也就是说, 都具有相应的目的功能。产品不同, 其具体的目的功能也不同, 但概括地讲, 都能对输入的物质、能量和信息 (即工业三大要素) 进行某种处理, 输出具有所需形式或所需特性的物质、能量和信息, 如图 1-2 所示。

产品的目的功能是通过其内部功能实现的。机电一体化产品一般都需具备五种内部功能, 即主功能、动力功能、计测功能、控制功能和构造功能, 每一种内部功能又由产品中具体的功能部件加以实现。图 1-3 表达了 CNC (计算机数控) 机床的内部功能构成情况。切削加工是 CNC 机床的主功能, 是实现其目的所必需的功能, 具体体现为: “利用电源输入的电能 (能量), 在控制装

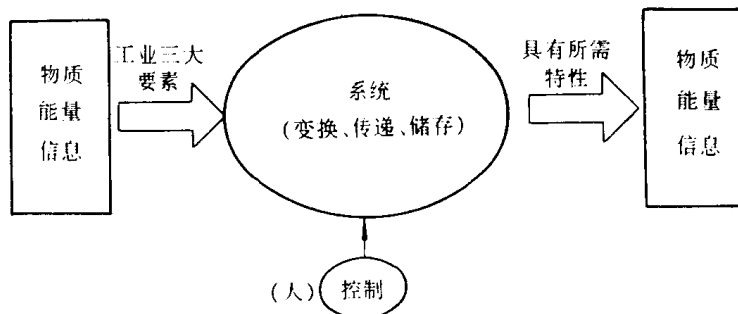


图 1-2 产品目的功能图

置及控制程序(信息)的控制下,通过刀架和主轴将输入的毛坯(物质)加工成要求的工件(具有所需特性的物质)”。电源通过电动机驱动机床,向机床提供动力,实现动力功能。位置检测装置和 CNC 装置分别实现计测功能和控制功能,其作用是实时检测机床内部和外部信息,据此对机床实施相应的控制。机械结构所实现的是构造功能,使机床各功能部件保持规定的相互位置关系,构成一台完整的 CNC 机床。

传统的机械产品一般不完全具备上述五种内部功能。与传统产品相比较,机电一体化产品的功能齐全,而且实现各功能的形式更灵活,手段更高明,技术更先进,效果更好。

## 二、机电一体化基本结构要素

人类在自然环境中经历了长期的进化过程,可以说,人体功能结构及五大要素的匹配与协调是一种尽善尽美的体现。因而人体是机电一体化产品发展的最好蓝本。如果把人体看作系统或产品,则人体也具备前面所述的五种内部功能,并且通过人体五大要素加以实现。人体五大要素及其功能的对应关系和机电一体化产品的组成要素及其功能的对应关系分别示于图 1-4 和图 1-5,可见,机电一体化产品由下述五个基本要素构成:

1. 机械本体 包括机身、框架、机械联接等在内的产品支持结构,属于基础部分,实现产品的构造功

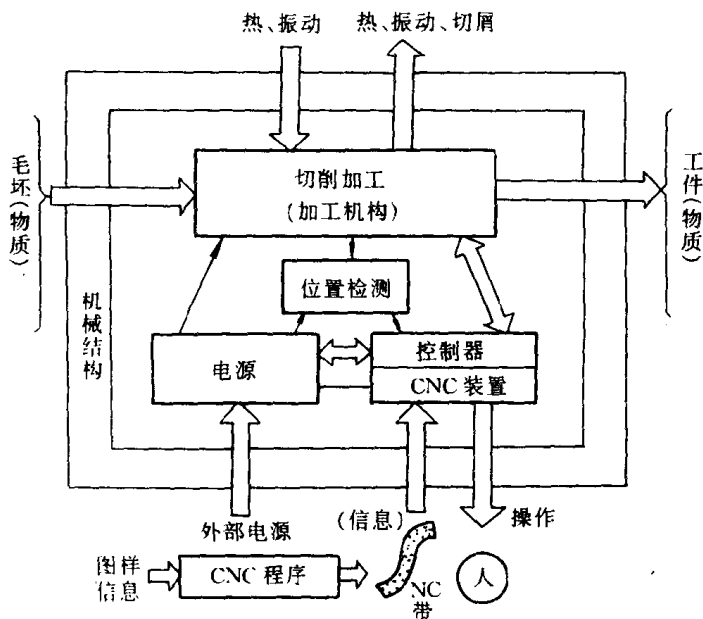


图 1-3 CNC 机床的内部功能构成

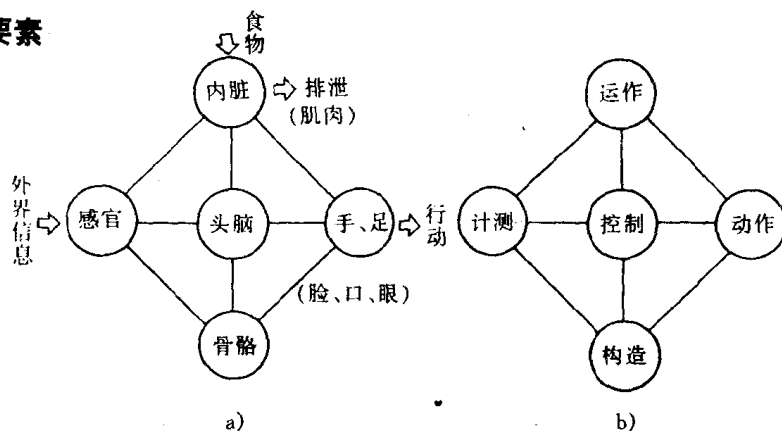


图 1-4 人体五大要素与功能

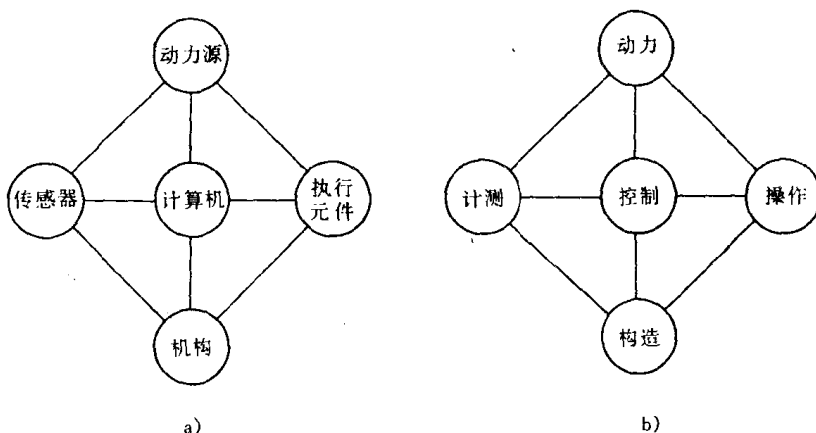


图 1-5 机电一体化产品五大要素与功能

能。在机电一体化产品中,机械本体往往占有较大体积和重量,因而要求尽量采用新结构、新材料、新工艺,以适应机电一体化产品在高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等方面的要求。

2. 动力源 向系统提供能量,并将输入的能量转换成需要的形式,实现动力功能。机电一体化产品以电能利用为主,其目的功能则多数通过机械动作来实现,因此动力源应包括电源、电动机等执行元件及其驱动电路。效率高、可靠性好是对动力源的主要要求。

3. 检测与传感装置 包括各种传感器及其信号检测电路,用于对产品运行时的内部状态和外部环境进行检测,提供运行控制所需的各种信息,实现计测功能。体积小、便于安装与联接、检测精度高、抗干扰、受环境变化影响小是机电一体化产品对检测与传感装置的主要要求。

4. 控制与信息处理装置 根据产品的功能和性能要求以及传感器的反馈信息,进行处理、运算和决策,对产品运行施以相应的控制,实现控制功能。机电一体化产品中,这一组成要素主要是指由计算机及其相应硬、软件所构成的控制系统,目前正向着高可靠性、柔性和智能化方向发展。

5. 执行机构 包括机械传动与操作机构,在控制信息作用下完成要求的动作,实现产品的主功能。执行机构因作业对象不同而形式各异。由于它是实现产品目的功能的直接参与者,其性能好决定着整个产品的性能,因而是机电一体化产品中最重要组成要素之一。

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,共同完成所规定的目的功能,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,将信息反馈给控制及信息处理装置,控制及信息处理装置对各种信息进行处理,并按要求控制动力源驱动执行机构进行工作。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。

## 第四节 机电一体化产品的分类

按照机电结合程度和形式的不同,机电一体化产品可划分为功能附加型、功能替代型和机电融合型三类。功能附加型产品的主要特征是,在原有机电产品基础上,采用微电子技术,使产品功能增加和增强,性能得到适当的提高。经济型数控机床、电子秤、数显量具、全自动洗衣机等都属于这一类机电一体化产品。

功能替代型产品的主要特征是,采用微电子技术及装置取代原产品中的机械控制功能、信息处理功能或主功能,使产品结构简化,性能提高,柔性增加。如电子缝纫机、自动照相机等用微电子装置取代了原来复杂的机械控制机构;电子石英钟、电子式电话交换机等用微处理器取代了原来机械式信息处理机构;线切割加工机床、激光手术器等则用因微电子技术的应用而产生的新功能,取代了原来机械的主功能。

机电融合型产品的主要特征是,根据产品的功能和性能要求及技术规范,采用专门设计的或具有特定用途的集成电路来实现产品中的控制和信息处理等功能,因而使产品结构更加紧凑、设计更加灵活、成本进一步降低。换句话说,机电融合型产品是机与电在更深层次上有机结合的产品。传真机、复印机、摄象机、磁盘驱动器、CNC 数控机床等都是这一类机电

一体化产品。

应当指出,上述三类机电一体化产品中,机电融合型产品的技术附加值最高,而且真正符合内部有机匹配、外部效能最佳的系统整体优化要求,是机电一体化产品的主要发展方向。

机电一体化产品还可按照其服务领域和对象的不同来分类,其分类概况如表 1-1。

表 1-1 机电一体化产品分类概况

| 分 类                   | 具 体 对 象 举 例                                  |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| 生产用机电一体化产品            | CNC 机床,工业机器人,无人搬运车, FMS, CIMS 等              |
| 运输、包装及工程用机电一体化产品      | 微机控制汽车、机车等交通运输机具,数控包装机,数控运输机,数控挖掘机等          |
| 储存、销售用机电一体化产品         | 自动化立体仓库,自动空调与制冷系统,自动称量、分选、销售及现金处理系统等         |
| 社会服务性机电一体化产品          | 自动化办公设备,动力、医疗、环保及公共服务自动化设施,文教、体育、娱乐用机电一体化产品等 |
| 家庭用机电一体化产品            | 微机或数控型耐用消费品,炊事自动化设备,家庭用信息、服务设备等              |
| 科研及过程控制用机电一体化产品       | 微机控制试验台,自动化测试仪器及设备,自动化控制仪表,微机信息处理系统等         |
| 航空、航天、国防用武器装备等机电一体化产品 | 飞机、卫星、航天飞机等航空、航天设备,雷达、卫星地面接收站,自瞄火炮、导弹、激光武器等  |
| 其它机电一体化产品             | 自动化粮食加工、木材加工设备,自动化畜、禽饲养设施,微机控制耕耘、收割机械等       |

由表 1-1 可见,机电一体化技术及产品的应用领域极其广泛,除了机电一体化产品本身充分体现了机械与电子的紧密结合及其效果外,几乎所有的工业生产过程(包括非机械或非机电一体化产品的生产过程)都离不开机电一体化技术及产品的应用。表 1-2 列出了在机械制造生产过程中,从产品设计、工艺设计直到市场与生产管理等各个生产环节中,机电一体化技术或产品的应用情况。

表 1-2 机械制造生产过程中的机电一体化技术或产品

| 生 产 环 节 | 机 电 一 体 化 技 术 或 产 品       |
|---------|---------------------------|
| 产 品 设 计 | CAD 及其专家系统                |
| 工 艺 设 计 | 成组技术、工艺数据库、CAPP           |
| 工 艺 装 备 | NC、CNC、DNC、工业机器人、FMS、CIMS |
| 工 艺 实 施 | CAM 及其专家系统                |
| 产 品 检 验 | CAT、CMM 及智能化仪表、量仪         |
| 市场与生产管理 | 数据库、MRP                   |

## 第五节 机电一体化共性关键技术

机电一体化是多种技术学科相互交叉、渗透而形成的一门综合性边缘技术学科,所涉及的技术领域非常广泛。要深入进行机电一体化研究及产品开发,就必须了解并掌握这些技术。概括起来,机电一体化共性关键技术主要有下述六项。

### 一、机械技术

机械技术是机电一体化的基础。机电一体化产品中的主功能和构造功能,往往是以机械技术为主实现的。在机械与电子相互结合的实践中,不断对机械技术提出更高的要求,使现代机械技术相对于传统机械技术而发生了很大变化。新材料、新工艺、新原理、新机构等不

断出现，现代设计方法不断发展和完善，以满足机电一体化产品对减轻重量、缩小体积、提高精高和刚度、改善性能等多方面的要求。

## 二、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、判断和决策等，实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化产品中，计算机与信息处理装置指挥整个产品的运行。信息处理是否正确、及时，直接影响到产品工作的质量和效率。因此，计算机应用及信息处理技术已成为促进机电一体化技术和产品发展的最活跃的因素。人工智能、专家系统、神经网络技术等都属于计算机与信息处理技术。

## 三、检测与传感技术

检测与传感技术的研究对象是传感器及其信号检测装置。机电一体化产品中，传感器作为感受器官，将各种内、外部信息通过相应的信号检测装置反馈给控制及信息处理装置。因此检测与传感是实现自动控制的关键环节。机电一体化要求传感器能快速、精确地获取信息并经受各种严酷环境的考验。但是由于目前检测与传感技术还不能与机电一体化的发展相适应，使得不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计。因此，大力开展检测与传感技术的研究对发展机电一体化具有十分重要的意义。

## 四、自动控制技术

自动控制技术范围很广，包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象种类繁多，所以控制技术的内容极其丰富，包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术。自动控制技术的难点在于自动控制理论的工程化与实用化，这是由于现实世界中的被控对象往往与理论上的控制模型之间存在较大差距，使得从控制设计到控制实施往往要经过多次反复调试与修改，才能获得比较满意的结果。由于微型机的广泛应用，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。

## 五、伺服驱动技术

伺服驱动技术的主要研究对象是执行元件及其驱动装置。执行元件有电动、气动、液压等多种类型，机电一体化产品中多采用电动式执行元件，其驱动装置主要是指各种电动机的驱动电源电路，目前多采用电力电子器件及集成化的功能电路构成。执行元件一方面通过电气接口向上与微型机相联，以接受微型机的控制指令，另一方面又通过机械接口向下与机械传动和执行机构相联，以实现规定的动作。因此伺服驱动技术是直接执行操作的技术，对机电一体化产品的动态性能、稳态精度、控制质量等具有决定性的影响。

## 六、系统总体技术

系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和方法，将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元，并以功能单元为子系统继续分解，直至找到可实现的技术方案，然后再把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术所包含的内容很多，接口技术是其重要内容之一，机电一体化产品的各功能单元通过接口联接成一个有机的整体。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术，其原理和方法还在不断发展和完善。

## 第六节 机电一体化设计及其工程路线

### 一、机电一体化设计

机电一体化设计是按机电一体化思想、原理和方法进行的机电一体化产品设计，它是一项复杂的系统工程，需要综合应用各项共性关键技术才能完成。

机电一体化设计突出体现在两个方面：一方面，当产品的某一功能单靠某一种技术无法实现时，必须进行机械与电子及其它多种技术有机结合的一体化设计；另一方面，当产品某一功能的实现有多种可行的技术方案时，也必须应用机电一体化技术对各种技术方案进行分析和评价，在充分考虑同其它功能单元的联接与匹配的条件下，选择最优的技术方案。因此，机电一体化设计必须充分考虑各种技术方案的等效性、互补性及可比性。

在某些情况下，产品的功能必须通过机电配合才能实现，这时两种技术是相互关联、相互补充的，即具有互补性。如机械手的运动及其控制，仅靠电子装置或机构都无法实现，只有两者结合起来，并充分考虑机构的动力学特性与控制装置硬、软件控制性能之间的相互影响和相互补充，才能获得最佳的实现方案。当多种可行的技术方案同时存在时，说明在实现具体功能上它们具有等效性。如在机床上加工螺纹或齿轮时，工件与刀具之间的内联系可以通过机械方案实现，也可以通过电气方案实现。然而等效并非等价，谁优谁劣，需要通过评价才能知道。由于不同的技术方案往往具有不同的参量，评价时需选择具有相同量纲的性能指标（如成本、可靠性、精度等），或引入新的参量（如时间等）将不同的参量联系起来，以保证各种技术方案之间具有可比性。

机电一体化产品设计一般可分为三种类型，即开发性设计、适应性设计和变异性设计。开发性设计是一个从无到有的创造过程，是在没有任何样板可供参照的情况下，根据功能和性能要求，按照机电一体化设计原理，为满足市场需求所进行的设计。开发性设计要求设计者具备敏锐的市场洞察力、丰富的想象力和广泛而扎实的基础理论知识。适应性设计是在原有产品总的方案原理基本不变的情况下，对产品的某些局部加以变动或改进，以增加功能、提高性能和质量或降低成本为目的所进行的设计。适应性设计要求设计者对原有产品及相关的市场需求变化和技术进步有充分的了解和掌握。变异性设计则是在设计方案和功能结构不变的情况下，通过改变尺寸、速度、力或功率等参数，以满足市场对产品规格方面的需求所进行的系列化设计。变异性设计比较容易，但设计中必须注意采取措施防止因参数变化可能对产品性能产生的影响。

进行机电一体化产品设计时，应尽量以计算机为工具，充分利用计算机辅助设计、仿真分析、模拟设计、优化设计、动态分析设计、可靠性设计等现代设计方法，以提高产品设计的效率和质量。

机电一体化设计同样也要遵循产品的一般性设计原则，即在保证产品目的功能、性能和使用寿命的前提下，尽量降低成本。这就意味着，机电一体化设计并不是盲目追求“高、精、尖”，而是在充分分析用户要求的基础上，努力以最新的技术手段、最廉价的材料或元器件、最简单的结构、最低的消耗，向用户提供最满意的产品。

产品功能的多少或强弱，往往与其复杂程度和功能成本直接相关。在进行机电一体化产品设计时，应根据实际情况对各功能的利用率进行统计分析，优先满足利用率最高的功能要

求，然后再在成本允许的条件下考虑其它功能要求。

产品的操作性能与其功能的多少也有直接关系。一般来讲，功能越多、越齐全，操作就越复杂，操作性能就越差，也越容易引起操作者的不满。因此在进行机电一体化产品设计时，应注意通过软件来改善产品的操作性能，使机电一体化产品在向多功能化方向发展的同时，也向智能化和“傻瓜化”方向发展。

## 二、机电一体化工程路线

机电一体化工程是指应用机电一体化技术进行产品开发的整个过程体系。机电一体化工

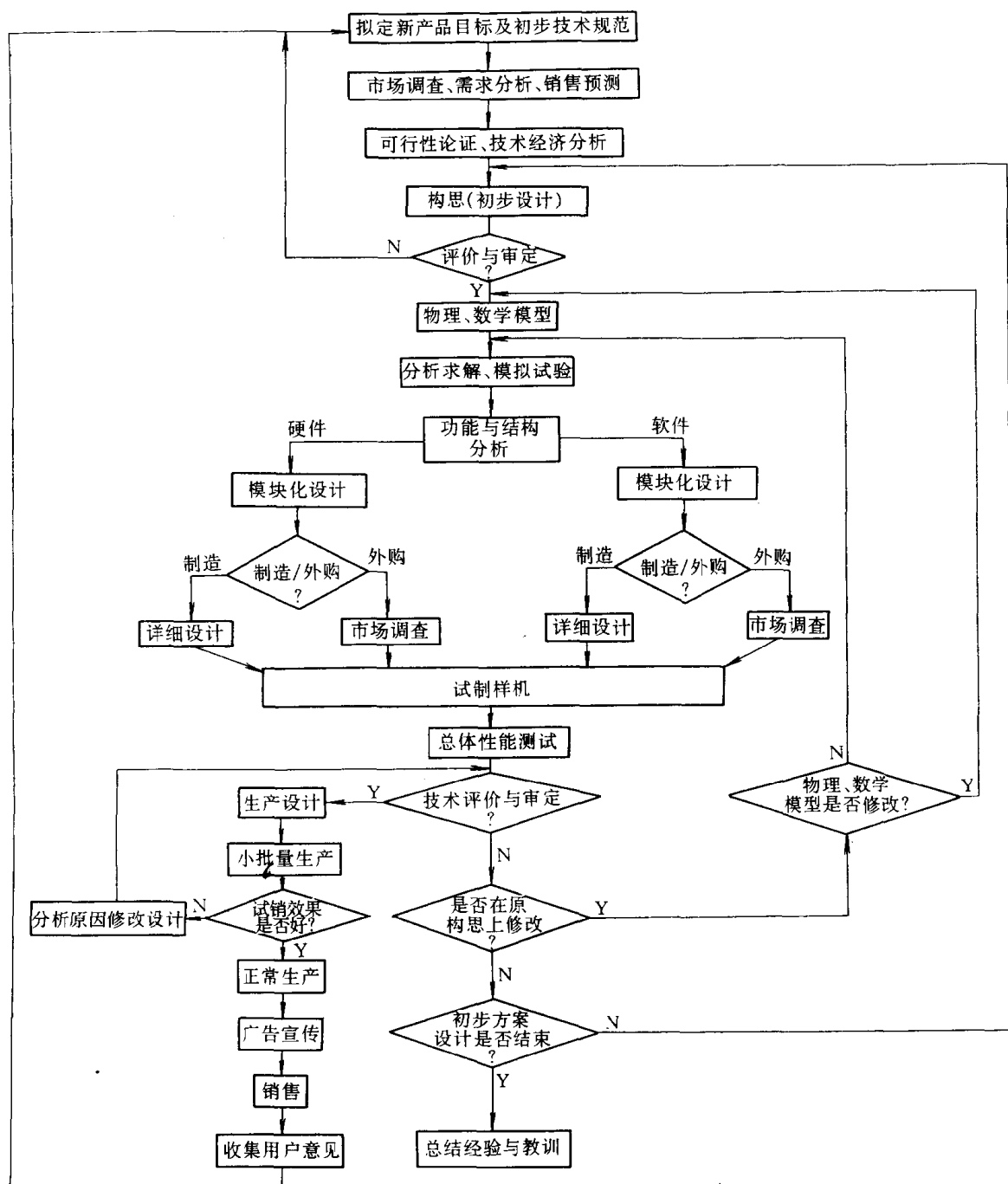


图 1-6 机电一体化工程路线



程包括市场调研、产品构思、方案设计与评价、详细设计、质量规划与控制、制造工艺规划、样机试制、正式生产、用户意见反馈、修改与完善等各个阶段,其详细工程路线如图 1-6 所示。

在实施机电一体化工程中,要正确处理好质量与成本、市场需求与技术经济实力、长期发展与短期利益等矛盾的关系,以保证既满足市场需求,使产品具有足够的市场竞争力,又符合当前实际情况,可从中获得较大的技术经济效益和社会效益,为进一步发展奠定良好的基础。

## 习题与思考题

- 1-1 关于机电一体化的涵义,虽然有多种解释,但都有一个共同点。这个共同点是什么?
- 1-2 机电一体化突出的特点是什么?重要的实质是什么?
- 1-3 为什么说机电一体化产品应是“整体结构最佳化、系统控制智能化、操作性能柔性化”的产品?
- 1-4 为什么说微电子技术不能单独在机械领域内获得更大的经济效益?
- 1-5 机电一体化对我国机械工业的发展有何重要意义?
- 1-6 试从产品功能构成和产品技术附加值的角度,分析和理解为什么机电一体化要以机为主、机电结合?
- 1-7 试列举 20 种常见的机电一体化产品。
- 1-8 试分析 CNC 机床和工业机器人的基本结构要素,并与人体五大要素进行对比,指出各自的特点,并思考机电一体化产品各基本结构要素及所涉及的技术的发展方向。
- 1-9 为什么将 CAD、专家系统、成组技术等也列入机电一体化范畴?怎样理解广义的机电一体化?
- 1-10 试通过实例来分析机电一体化产品及其设计、制造等生产环节中所涉及的机电一体化共性关键技术。
- 1-11 等效性、互补性及可比性分析对机电一体化设计有何意义?试举例说明之。
- 1-12 机电一体化设计与传统设计的主要区别是什么?
- 1-13 试举例说明常见的、分别属于开发性设计、适应性设计和变异性设计的情况。
- 1-14 为什么产品功能越多,操作性越差?为何产品应向“傻瓜化”方向发展?
- 1-15 试结合产品的一般性设计原则,分析和理解按“有限寿命”设计产品的目的和意义。