

机电一体化技术概览

万遇良 编著

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书综合机电一体化技术进入 90 年代以来的最新进展,从八个方面介绍机电一体化技术。包括机电一体化的定义、内涵、发展历程,设计方法论,控制技术,电磁兼容问题,系统集成,人机环境与接口,机电一体化系统的智能化与微机电一体化系统等。

该书系作者结合多年工作经验,从全新角度对机电一体化技术的发展所作的概括,既可供广大读者作为科普读物,又可供有兴趣的读者作为入门书,也可供专业工作者作为参考书。

电机一体化技术概览

万遇良 编著

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

※

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 32 开本 7.625 印张 180 千字

印数: 1~3000 册

ISBN 7-5639-0748-3/T·105

定价: 10.00 元

目 录

| | |
|---------------------------|------|
| 序 | (1) |
| 前言 | (1) |
| 第一章 机电一体化技术概述 | (1) |
| 1. 世界制造业的发展趋势 | (1) |
| 1.1 一系列先进技术的兴起 | (1) |
| 1.2 对市场响应速度成为首要因素 | (2) |
| 1.3 各种计算机辅助技术已深入制造领域 | (3) |
| 1.4 出现了一系列新型的先进生产方式 | (3) |
| 1.5 统一的全球市场正在形成 | (8) |
| 2. 机电一体化的定义与内涵 | (9) |
| 2.1 机电一体化的定义 | (9) |
| 2.2 机电一体化的内涵 | (11) |
| 3. 机电一体化技术的产生和发展 | (16) |
| 3.1 准备阶段(50年代到60年代末) | (16) |
| 3.2 初创阶段(70年代) | (16) |
| 3.3 发展时期(80年代) | (17) |
| 3.4 深入发展阶段(90年代以来) | (18) |
| 4. 机电一体化与其他技术的区别 | (19) |
| 4.1 机电一体化不是机械技术与电子技术的简单相加 | (19) |

| | | |
|------------|-----------------------------------|-------------|
| 4.2 | 与机电学的区别 | (20) |
| 4.3 | 与并行工程的区别 | (21) |
| 4.4 | 与自动控制技术的区别 | (23) |
| 4.5 | 与计算机应用的区别 | (23) |
| 5. | 机电一体化的优点和效益 | (23) |
| 5.1 | 从生产部门考虑 | (24) |
| 5.2 | 从用户考虑 | (25) |
| 第二章 | 机电一体化产品的设计 | (27) |
| 1. | 设计步骤 | (27) |
| 1.1 | 用户需求分析和市场调查 | (27) |
| 1.2 | 有关最新技术的进展与评价 | (27) |
| 1.3 | 关键技术和技术路线的描述 | (28) |
| 1.4 | 主要性能指标和规格的说明 | (28) |
| 1.5 | 可选方案和评价意见 | (29) |
| 1.6 | 推荐首选的设计思想及方案 | (29) |
| 1.7 | 进行具体设计 | (29) |
| 2. | 反向工程 | (30) |
| 2.1 | 定义 | (30) |
| 2.2 | 目的 | (30) |
| 2.3 | 意义 | (30) |
| 2.4 | 要点 | (31) |
| 3. | 机电一体化产品的设计和计算机辅助设计技术 的应用 | (32) |
| 3.1 | 合理安排产品的上市时间 | (32) |
| 3.2 | 设计产品时要注意质量保证 | (32) |
| 3.3 | 大力应用 CAD 技术 | (33) |
| 4. | 设计工作的组织 | (42) |

| | | |
|------------|------------------------------|-------------|
| 4.1 | 项目主管的作用和职责 | (42) |
| 4.2 | 对设计工程师的要求 | (42) |
| 4.3 | 企业领导的职责 | (43) |
| 5. | 简明的实例 | (44) |
| 5.1 | 传统计算机数控系统的设计思想 及其构成 | (44) |
| 5.2 | 基于工业 PC 机的计算机数控系统 | (45) |
| 5.3 | 基于工业 PC 机数控系统的开发 | (46) |
| 第三章 | 机电一体化系统的控制技术 | (49) |
| 1. | 计算机控制的优点 | (49) |
| 2. | 计算机控制的类型 | (50) |
| 2.1 | 数据采集系统 | (50) |
| 2.2 | 计算机用作操作指导 | (51) |
| 2.3 | 计算机监控系统 | (52) |
| 2.4 | 直接数字控制 | (52) |
| 2.5 | 分级控制系统 | (53) |
| 2.6 | 集散控制系统(DCS) | (54) |
| 2.7 | 现场总线控制系统(FCS) | (57) |
| 2.8 | 计算机集成制造系统(CIMS) | (61) |
| 3. | 用于控制的计算机和控制器 | (64) |
| 3.1 | 可编程控制器(PC) | (64) |
| 3.2 | 单片机 | (65) |
| 3.3 | 数字信号处理器(DSP) | (71) |
| 3.4 | 模糊控制器 | (76) |
| 3.5 | STD 总线工业控制机 | (76) |
| 3.6 | 工业 PC 机(IPC) | (77) |
| 第四章 | 电磁兼容技术 | (81) |

| | |
|-----------------------|-------|
| 1. 一般概念 | (81) |
| 1.1 引言 | (81) |
| 1.2 定义 | (82) |
| 2. 常见的电磁干扰 | (84) |
| 2.1 静电干扰 | (85) |
| 2.2 电磁感应 | (85) |
| 2.3 电磁波干扰 | (86) |
| 2.4 公共阻抗噪声 | (86) |
| 2.5 瞬变干扰 | (86) |
| 2.6 长线反射 | (88) |
| 2.7 串扰 | (88) |
| 2.8 常模与共模干扰 | (89) |
| 2.9 浪涌 | (90) |
| 3. 抗电磁干扰设计的有关问题 | (91) |
| 3.1 元器件的抗电磁干扰 | (91) |
| 3.2 电磁兼容性设计 | (92) |
| 3.3 设计实例 | (93) |
| 4. 电源系统的抗干扰 | (95) |
| 4.1 对交流供电电源的要求 | (96) |
| 4.2 模拟电磁环境的测试设备 | (96) |
| 5. 常用的干扰抑制技术 | (98) |
| 5.1 物理隔离 | (98) |
| 5.2 屏蔽 | (99) |
| 5.3 接地 | (101) |
| 5.4 滤波 | (104) |
| 5.5 浪涌吸收器 | (105) |
| 6. 认证与测试 | (106) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 第五章 与人友好的机电一体化系统 ····· | (109) |
| 1. 问题的提出与解决途径 ····· | (109) |
| 1.1 人和机器谁为中心 ····· | (109) |
| 1.2 技术可能性 ····· | (109) |
| 2. 建立和谐的人机环境 ····· | (110) |
| 2.1 人机关系 ····· | (110) |
| 2.2 和谐的含义 ····· | (111) |
| 2.3 用户分类 ····· | (112) |
| 2.4 如何建立和谐的人机环境 ····· | (112) |
| 3. 人机接口技术 ····· | (114) |
| 3.1 接口的作用 ····· | (114) |
| 3.2 接口的分类 ····· | (114) |
| 3.3 计算机系统的人机接口 ····· | (115) |
| 3.4 建立机电一体化系统人机接口的原则 ····· | (118) |
| 4. 与人友好的机电一体化系统实例 ····· | (118) |
| 4.1 数控加工中心 ····· | (118) |
| 4.2 手持型骨钻 ····· | (126) |
| 第六章 机电一体化系统的集成技术 ····· | (137) |
| 1. 什么是集成技术 ····· | (137) |
| 1.1 几种成功的集成技术 ····· | (137) |
| 1.2 系统集成技术的含义和特点 ····· | (140) |
| 2. 机电一体化系统的集成技术 ····· | (141) |
| 2.1 目的 ····· | (141) |
| 2.2 支撑技术 ····· | (142) |
| 2.3 集成方法 ····· | (143) |
| 2.4 接口 ····· | (147) |
| 2.5 系统仿真 ····· | (148) |

| | | |
|------------|--------------------------|--------------|
| 2.6 | 系统测试和评估 | (148) |
| 3. | 机电一体化系统集成举例 | (149) |
| 3.1 | 概述 | (149) |
| 3.2 | 系统分解 | (149) |
| 3.3 | 系统集成 | (150) |
| 3.4 | 接口 | (160) |
| 3.5 | 工艺试验 | (160) |
| 3.6 | 简短的总结 | (162) |
| 第七章 | 机电一体化系统的智能化 | (163) |
| 1. | 概述 | (163) |
| 2. | 专家系统 | (164) |
| 2.1 | 为什么要发展专家系统 | (164) |
| 2.2 | 专家系统的结构和内容 | (166) |
| 2.3 | 知识表示方式 | (168) |
| 2.4 | 推理机制 | (171) |
| 2.5 | 专家系统的开发 | (173) |
| 2.6 | 专家系统的应用 | (174) |
| 3. | 模糊逻辑与控制 | (177) |
| 3.1 | 基本概念 | (177) |
| 3.2 | 模糊控制的发展 | (178) |
| 3.3 | 模糊控制的实现 | (179) |
| 3.4 | 模糊控制的优缺点 | (188) |
| 3.5 | 发展趋势 | (189) |
| 4. | 人工神经网络 | (190) |
| 4.1 | 引言 | (190) |
| 4.2 | 神经元和神经网络 | (191) |
| 4.3 | 神经网络的学习算法 | (194) |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| 4.4 神经网络的应用 | (196) |
| 第八章 微机电一体化系统 | (199) |
| 1. 概述 | (199) |
| 1.1 什么是机电一体化系统 | (199) |
| 1.2 微细加工技术和微型制造 | (200) |
| 2. 物质和技术基础 | (201) |
| 2.1 制作机电一体化系统的材料 | (201) |
| 2.2 加工技术 | (202) |
| 3. 微机电一体化系统的应用 | (211) |
| 3.1 微型加速度计的应用 | (211) |
| 3.2 数字微镜装置的应用 | (213) |
| 3.3 单片流量计在家用电器中的应用 | (215) |
| 3.4 硅微型压力传感器的应用 | (217) |
| 3.5 用作微位置控制的微执行器 | (218) |
| 3.6 用于磁信号输出的微机电系统 | (219) |
| 3.7 用于化学和生化系统分析的微机电系统 | (219) |
| 4. 发展前景 | (219) |
| 4.1 世界各国和我国的研制情况 | (219) |
| 4.2 市场预测 | (220) |
| 4.3 一些诱人的应用前景 | (221) |
| 4.4 微机电系统的发展前景 | (224) |
| 附录 参考资料及国际会议简介 | (225) |

序

万遇良同志是我国知名的电工技术专家。50年代从苏联学成归国后，在中国科学院电工研究所领导了电力系统自动化的工作；70年代在同一单位创建了计算机应用研究室，在小型计算机研制、平面绘图机与可变矩形束电子束曝光机的计算机控制方面做出了重要贡献；80年代又为电工研究机电控制工程中心的建立做出了重大贡献，成为我国机电一体化事业的开拓者之一。

机电一体化技术是近年来迅速发展的一种新技术，取得了巨大进展，已成为先进制造技术的重要技术基础之一，我国的科技工作者对此正在关注和跟踪。万遇良同志在多年丰富经验和广博知识的基础上，精心撰写了这本科普读物。它全面地叙述了机电一体化各方面有关的重大问题，可以帮助大家入门，想必能受到广大读者的欢迎，并促使我国的科技工作者了解、献身于这项技术的发展，有力地促进我国机

电一体化事业的长足前进。

中国科学院电工研究所所长 **严陆光**
中国科学院院士
1998年8月

前 言

机电一体化(mechatronics)一词的出现已经近30年了。30年来机电一体化技术取得了巨大进展,成为先进制造技术的重要技术基础之一。本书综合机电一体化技术进入90年代以来的进展,从八个方面介绍机电一体化技术。

第一章是对机电一体化技术进行概述,从世界制造技术发展趋势说起,相继讨论机电一体化的定义与内涵,它的发展历程,它和一些技术的区别以及它的优点与效益。

第二章详细探讨了机电一体化产品的设计,阐明了设计方法与步骤,反向工程与正向设计,并举例进行说明。

第三章专门讨论机电一体化系统的控制技术,特别是各种计算机控制技术,简要介绍了用于控制的计算机和控制器。

第四章介绍人们还不很熟悉的电磁兼容技术,除介绍一般概念外,讨论了9种常见的电磁干扰,阐述

了抗电磁干扰设计和干扰抑制技术。

第五章介绍与人友好的机电一体化系统,着重提出机电一体化系统应以人为中心,阐述了人机环境与人机接口技术。

第六章是机电一体化系统的集成技术,从几个成功集成技术(包括集成电路、个人计算机和信息系统集成)的分析,论述了集成的概念和内涵,并以相当篇幅讨论机电一体化系统的集成。

第七章讨论机电一体化系统的智能化,给出了“智能”的含义和实现的方法。着重对专家系统、模糊逻辑与控制、人工神经网络进行了深入浅出的介绍。

第八章系统介绍微机电一体化系统,对其发展现状、市场前景、主要加工技术等做了比较概括的介绍,书中还列举了一些应用实例,探讨了它的发展前景。

本书是本人多年工作的体会,也是从方法论角度对国内外机电一体化技术发展进行总结的一种尝试。希望本书既可供一般读者作为科普读物,又可供有兴趣的读者作为入门书,也可供机电一体化技术工作者作为参考书。

本书体例、内容以及观点,可能会有不当甚至错误之处,热诚欢迎广大读者批评指正。

本书的编写一直得到张瑚、朱尚廉等同事的鼓励

与帮助，并承蒙中国科学院院士严陆光撰写序言，特此表示衷心感谢。

作者

1998年8月

第一章 机电一体化技术概述

1. 世界制造业的发展趋势

20 世纪 70 年代以来,随着科技进步和社会条件的变化,世界制造业正经历着一个巨大变革的时期,其特点主要表现在以下一些方面。

1.1 一系列先进技术的兴起

近 20 年来,一系列先进技术陆续兴起并获得迅速发展,主要包括电子技术(包括微电子技术和电力电子技术)、计算机技术、现代通信技术、现代控制技术、激光技术、新能源技术、新材料技术、航天技术、海洋工程技术和生物工程技术等。这些新技术在自身发展的同时,它们彼此之间,它们与传统技术之间,又互相渗透,互相结合,形成多种复合技术,进一步推动科技发展出现新的高潮。在众多的新兴技术中,微电子技术的发展起了主导作用。有人归纳微电子产业的发展有 7 个显著趋势:

- ① 设计复杂度每 6 年增长 10 倍;
- ② 设计的技术性能每 8 年增长 10 倍;
- ③ 每一块芯片上的门数每 6 年增长 10 倍,功耗问题将日益严重;

④ 测试矢量随着设计复杂度的提升将呈指数增长；

⑤ 半导体供应商的成本将以每 12 年 10 倍的速度增长，因此，半导体厂商的重点将转向利用知识产权来生产高附加值的产品方面；

⑥ 随着单个芯片集成度的提高，将有越来越多的产品把微处理器、存储器、控制逻辑等集成在一个芯片上；

⑦ 微处理器、计算机及外设、计算机网络等将保持较高的年增长速度。

微电子技术这种发展趋势，必将促进大量新产品的开发，形成一系列新兴产业，并改变传统产业的结构以至生产方式。

1.2 对市场响应速度成为首要因素

传统的相对稳定的市场向着动态多变的市场转化，为应付瞬息万变的市场需求，制造业必须不断加速产品的更新换代。由于顾客的需求不断向多样化发展，他们要求产品既要有高质量和高性能，又要使价格和交货期在合理的范围之内。在这种形势下，制造业必须具备以下几种能力：

① 时间响应能力强，即生产周期尽可能短，交货及时，产品上市快；

② 质量竞争能力高，即产品质量好而且可靠，能使用户在使用过程中满意；

③ 产品价格适中，即尽量降低产品制造成本，使产品销售价格能为广大用户接受；

④ 具有良好的服务，即产品销售过程中和售后服务必须是一流的；

⑤ 很强的创新能力，即创新能力要表现在各方面，首先产品要有特色，其次生产要有柔性，以适应小批量多品种的需求，最后要有出奇制胜的竞争策略。

企业具有上述 5 种能力, 就可以赢得时间, 占领市场。

1.3 各种计算机辅助技术已深入制造领域

主要是采用 CAD 技术, 甩掉绘图板, 采用计算机辅助工艺规划和计算机辅助工程, 对产品受热、受力、受振等进行分析, 找出产品设计上的不足以便改进。将产品零件的几何数据, 工艺要求等经过零件编程, 送入数控机床进行加工, 既可提高产品质量, 又可提高加工效率。计算机仿真, 可以大大缩短产品制造周期, 节约制造成本。而将这一系列技术包括管理在内集成到一起, 形成计算机集成制造系统, 更是推动生产力发展的有效途径, 是企业实现技术进步, 提高市场竞争能力的有力手段。波音 777 的设计和制造过程就是一个十分典型的例子。它取得的进展包括下列各方面:

① 从设计到生产全过程完全是数字量传递, 实现了无纸化生产;

② 通过数字化预装配等拟实制造技术, 无需制造样机, 一次成功;

③ 一架波音 777 飞机, 总共组成 238 个不同专业人员的协同工作小组, 使企业管理产生重大变革;

④ 在一个连接美国、加拿大、日本和英国的广域网上实现异地设计和制造。每天传递 5 000 个文件, 每周(5 天工作日)传递相当于 6 000 本 100 万汉字书的信息量。而且数据交换是按国际标准进行的。

1.4 出现了一系列新型的先进生产方式

激烈的市场竞争, 促使制造业的生产方式和管理方式不断出现新的进展, 一系列先进制造技术出现了, 下面列举一些比较流行的模式。

(1) 物料、制造和企业资源规划