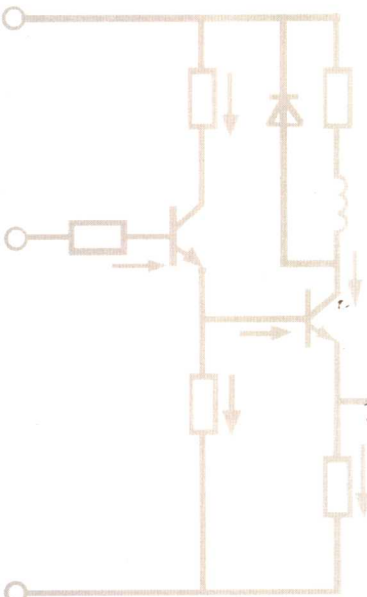


机 电 一 体 化 技 术 丛 书

机电一体化 系统设计与应用

主 编 舒志兵 曾孟雄 卜云峰 等
副主编 熊振华 李 勇 陈 明 等



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

机电一体化技术丛书

机电一体化系统设计与应用

主 编 舒志兵 曾孟雄 卜云峰 等
副主编 熊振华 李 勇 陈 明 等

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

机电一体化是机械技术与微电子技术有机结合的产物。本书系统阐述了构成机电一体化技术的主要内容,共分7章,包括:机电一体化技术概论;机械系统设计;伺服系统设计;机电一体化检测系统;机电一体化系统的控制方法;机电一体化系统的总体设计;机电一体化系统设计案例等内容。书中列举并剖析了一定数量的机电一体化技术的应用和设计实例,使读者能快速掌握机电一体化系统的设计思路与设计方法。

本书简明易懂、实用性强,可作为大专院校机电类专业机电一体化方向的教材,也可供从事机电一体化设计、制造的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计与应用 / 舒志兵等主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.2

(机电一体化技术丛书)

ISBN 978-7-121-03701-6

I. 机… II. 舒… III. 机电一体化—系统设计 IV. TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第160149号

责任编辑: 李 洁

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 384千字

印 次: 2007年2月第1次印刷

印 数: 5000册 定价: 22.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

机电一体化系统设计与应用

编委会名单

主 编: 舒志兵 (南京工业大学)

曾孟雄 (三峡大学)

卜云峰 (淮阴工学院)

王建华 (西安工业大学)

李良儿 (浙江海洋学院)

副主编: 熊振华 (上海交通大学)

李 勇 (华南理工大学)

陈 明 (上海水产大学)

刘 玉 (徐州师范大学)

荆学东 (陕西科技大学)

前 言

本书是根据第三届全国智能检测与运动控制技术研讨会暨全国高校机电运动控制及工程训练中心建设研讨会的精神及教学改革的要求, 由全国 20 多所高校从事运动控制的专家执笔, 按照机械设计制造及自动化、电气工程自动化及自动化专业学生的培养目标和要求而编写的, 可作为高等工科院校的专业教材。

本书涉及机械结构、伺服系统、检测系统及机电一体化控制等内容, 是机械设计制造及自动化、电气自动化及机械电子专业的专业基础课。机电一体化是机械技术与微电子技术有机结合的产物, 它包括机械技术、电子技术、自动控制技术、传感器技术等, 但机电一体化并非是这些技术的简单叠加, 它强调的是这些技术的相互渗透和有机结合, 在某一具体的系统或产品中, 取各单项技术所长, 形成优势互补, 进而达到集体最优。在教材编写过程中, 注重精炼、概括原设置过窄的专业课, 将原来数门课程教材的主要内容与基本概念、基本理论和基本方法重新组编, 既对以往的教材有一定的继承性, 又体现了先进制造技术和机电控制技术的发展对专业培养的要求。

本书阅读对象为学过机械基础知识, 电子电工技术和微机原理等课程的学生, 通过学习, 目的是使他们能融会贯通所学基础知识, 综合分析和设计机电一体化系统, 掌握机电一体化系统的共性理论与技术, 为开发设计机电一体化产品打下基础。

高等工程教育不应仅仅局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育环节, 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, 从而能够灵活地运用这些技术进行机电一体化产品的分析、设计与开发。

作为教材, 编者在文字叙述上力求深入浅出, 循序渐进; 在内容安排上既注意基础理论, 基本概念的系统阐述, 同时也考虑到工程设计人员的实际需要, 在介绍各种设计方法时尽可能具体、实用。本书第 1 章由浙江海洋学院李良儿、南京工业大学舒志兵、上海水产大学程明编写; 第 2 章由华南理工大学李勇、武汉科技学院罗维平编写; 第 3 章由南京工业大学舒志兵编写; 第 4 章由淮阴工学院卜云峰编写; 第 5 章由三峡大学曾孟雄编写; 第 6 章由西安工业大学王建华编写; 第 7 章应用案例主要由三峡大学、北京和利时电机技术有限公司和南京工业大学运动控制研究所的相关人员提供, 他们为此书的编写付出了辛勤的劳动。参加编写的人员还有徐州师范大学刘玉副教授、陕西科技大学荆学东博士等, 在此表示衷心感谢。

全书由南京工业大学运动控制研究所的相关人员完成校对、修改和统稿工作。

限于我们的水平和经验, 加之机电一体化的迅速发展, 本书中一定存在疏漏和错误之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第 1 章 机电一体化技术概论	(1)
1.1 机电一体化的基本概念及发展状况	(2)
1.1.1 机电一体化概念	(2)
1.1.2 机电一体化的现状	(3)
1.1.3 机电一体化的发展前景	(4)
1.2 机电一体化系统的基本构成	(7)
1.3 机电一体化产品的分类	(10)
1.4 机电一体化的特点	(11)
1.5 机电一体化的理论基础与关键技术	(12)
1.5.1 理论基础	(12)
1.5.2 关键技术	(14)
1.5.3 机电一体化技术与其他技术的区别	(17)
思考练习题	(18)
第 2 章 机械系统设计	(19)
2.1 概述	(20)
2.1.1 机械系统的定义	(20)
2.1.2 机电一体化对机械系统的基本要求	(20)
2.2 传动机构设计	(20)
2.2.1 齿轮传动机构	(21)
2.2.2 滚珠丝杠传动机构	(25)
2.2.3 同步带传动机构	(30)
2.3 导向机构设计	(33)
2.3.1 滑动导轨设计	(33)
2.3.2 滚动导轨设计	(38)
2.3.3 静压导轨设计	(42)
2.3.4 并联导向结构	(46)
2.4 执行机构设计	(48)
2.4.1 电动执行机构	(48)
2.4.2 气动执行机构	(51)
2.4.3 液动执行机构	(53)
思考练习题	(57)

第3章 伺服系统设计	(58)
3.1 概述	(59)
3.1.1 伺服系统常用的控制方式	(59)
3.1.2 检测信号及反馈比较方式	(61)
3.2 伺服系统中的执行元件	(62)
3.2.1 步进电机	(62)
3.2.2 交流伺服电机	(68)
3.2.3 直流伺服电机	(72)
3.2.4 直线电动机	(75)
3.3 执行元件的控制与驱动	(76)
3.3.1 步进电机的驱动功率放大器	(76)
3.3.2 交流伺服电机驱动	(88)
3.4 伺服系统的开环控制和闭环控制	(90)
3.4.1 开环伺服系统	(90)
3.4.2 闭环伺服系统	(91)
思考练习题	(96)
第4章 机电一体化检测系统	(97)
4.1 概述	(98)
4.1.1 检测系统的组成	(98)
4.1.2 信号的传输与处理	(98)
4.2 模拟式和数字式传感器信号的检测	(99)
4.2.1 模拟式传感器	(99)
4.2.2 模拟式传感器信号的处理	(99)
4.2.3 数字式传感器信号的处理	(110)
4.3 检测信号的采集与处理	(111)
4.3.1 传感器信号的采样/保持	(111)
4.3.2 多通道模拟信号输入	(113)
4.3.3 传感器非线性补偿处理	(115)
4.3.4 信号变换	(121)
4.3.5 干扰的抑制技术	(124)
4.4 计算机检测控制系统	(128)
4.4.1 计算机控制系统的组成	(129)
4.4.2 计算机在控制中的应用方式	(130)
4.4.3 典型的机电一体化计算机控制系统	(132)
思考练习题	(133)
第5章 机电一体化系统的控制方法	(134)
5.1 数字PID控制	(135)

5.1.1	模拟 PID 控制	(135)
5.1.2	数字 PID 算法	(137)
5.1.3	数字 PID 控制的改进算法	(140)
5.1.4	数字 PID 控制器的参数整定	(145)
5.2	常见复杂控制	(149)
5.2.1	串级控制	(149)
5.2.2	比值控制	(152)
5.2.3	前馈控制系统	(156)
5.2.4	自适应控制	(159)
5.3	模糊控制	(162)
5.3.1	模糊控制系统的基本原理及组成结构	(162)
5.3.2	模糊控制器的数据库	(165)
5.3.3	模糊控制规则库	(166)
5.3.4	推理决策逻辑	(167)
5.3.5	模糊控制系统的控制过程	(168)
5.3.6	模糊控制器的设计及应用	(171)
	思考练习题	(176)
第 6 章	机电一体化系统的总体设计	(177)
6.1	概述	(178)
6.2	机电一体化系统的产品规划	(178)
6.2.1	市场调查	(179)
6.2.2	市场预测	(179)
6.2.3	产品构思	(180)
6.3	机电一体化系统的概念设计	(180)
6.3.1	设计任务的抽象化	(181)
6.3.2	功能结构分析	(182)
6.3.3	建立功能结构图	(184)
6.3.4	选择系统原理方案	(184)
6.4	机电一体化系统的接口设计	(185)
6.4.1	接口的功能与分类	(185)
6.4.2	人机接口设计	(187)
6.4.3	机电接口设计	(188)
6.5	机电一体化系统的造型与环境设计	(189)
6.5.1	艺术造型设计	(189)
6.5.2	环境设计	(191)
6.6	机电一体化系统的评价与决策	(193)
6.7	机电一体化系统的试制与调试	(194)

6.8 机电一体化系统的现代设计方法	(197)
6.8.1 计算机辅助设计与并行工程	(197)
6.8.2 虚拟产品设计	(198)
6.8.3 快速响应设计	(198)
6.8.4 反求设计	(198)
6.8.5 网络上的合作设计	(198)
思考练习题	(199)
第7章 机电一体化系统的典型应用案例分析	(200)
7.1 液压挖掘机的机电液控制系统	(201)
7.1.1 液压挖掘机主要结构及机电液控制形式	(201)
7.1.2 液压挖掘机的控制系统	(202)
7.1.3 DH280 挖掘机的电子控制系统	(208)
7.2 装载机工作装置控制系统	(213)
7.2.1 装载机工作装置类型及结构	(213)
7.2.2 装载机工作装置控制系统	(216)
7.3 机电伺服数控雕刻机系统的设计与实现	(221)
7.3.1 系统硬件组成	(222)
7.3.2 系统软件组成	(224)
7.3.3 系统主回路接线	(225)
7.3.4 数控雕刻机系统软件操作使用	(228)
参考文献	(230)

Chapter 1

第 1 章 机电一体化技术概论

知识点

- 1.1 机电一体化的基本概念及发展状况
- 1.2 机电一体化系统的基本构成
- 1.3 机电一体化产品的分类
- 1.4 机电一体化的特点
- 1.5 机电一体化的理论基础与关键技术

1.1 机电一体化的基本概念及发展状况

飞速发展的微电子和计算机等技术渗透到机械工程领域，并与其有机的融合，由此一门新兴的边缘学科——机电一体化应运而生。

1.1.1 机电一体化概念

现代科学技术的飞速发展，极大地推动了不同学科的相互交叉与渗透，纵向分化、横向交叉与综合已经成为现代科技发展的重要特点，从而也引发了工程领域的一场技术革命，导致了工程领域的技术革命与改造。在机械工程领域，由于微电子技术和计算机技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化，使机械工业的技术结构、产品结构、功能与构成、生产方式及管理体系发生了巨大变化，工业生产由“机械化”进入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。

1971年，日本《机械设计》杂志副刊提出了“mechatronics”这一名词。它取自英文单词 mechanics（机械学）的前半部分与 electronics（电子学）的后半部分组合而成，即机械电子学或机电一体化。该词被 1996 年出版的“WEBSTER”大词典收录。这就意味着“mechatronics”这个词不仅得到了世界各国学术界和企业界的认可，而且意味着机电一体化的管理和思想为世人所接受。但是，“机电一体化”并非是机械和电子的简单叠加，而是把电子技术、信息技术、自动控制技术“融合”到机械学科中。“机电一体化”发展至今已经成为一门自成体系的新型学科。

迄今为止，机电一体化尚没有明确统一的定义，就连最早提出这一概念的日本也是说法不一。如“日本机械振兴协会经济研究所”于 1981 年对机电一体化概念所做的解释：机电一体化是在机械主功能、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。日经产业新闻把机电一体化称为：“是机械装置和电子技术的电子学组合起来的技术进步的总称”，我国习惯称为机电一体化。

20 世纪 90 年代国际机器与机构理论联合会（The International Federation for the Theory of Machines and Mechanism, IFTMM）成立了机电一体化技术委员会，其给出的定义是：机电一体化是精密机械工程、电子控制和系统在产品设计和制造过程中的协同结合。

为什么会有这么多不同的定义和解释呢？这是由于：① 人们看问题的角度不同，对其理解也就各异；② 随着生产活动和科学技术的迅猛发展，机电一体化的内容不断发展与更新。但其基本的特征可概括为：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、传感测试技术、电力电子技术、接口技术、信号变换技术，以及软件编程技术等群体技术，根据系统功能目标和优化组织结构目标，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价值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，则成为一个机电一体化系统或机电一体化产品。

因此,“机电一体化”涵盖“技术”和“产品”两个方面。需要强调的是,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性技术,而不是机械技术、微电子技术及其他新技术的简单结合、拼凑。机电一体化中的微电子装置除可取代某些机械部件的原有功能外,还能赋予产品许多功能,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。即机电一体化产品具有“智能化”的特征是机电一体化与传统机械和电气、电子的结合的本质区别。它是机械系统和微电子技术系统,特别是与微处理器或微机有机结合,从而赋予新的功能和性能的一种产品。机电一体化产品的特点是产品功能的实现是所有功能单元共同作用的结果,这与传统机电设备中机械与电子系统相对独立,可以分别工作具有本质的区别。随着科学技术的发展,机电一体化已从原来以机械为主的领域拓展到目前的汽车、电站、仪表、化工、通信、冶金等领域。而且机电一体化产品的概念不再局限于某一具体产品的范围,如数控机床、机器人等,现在已扩大到控制系统和被控制系统相结合的产品制造和过程控制的系统中,例如柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计/制造系统(CAD/CAM)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机集成制造系统(CIMS),以及各种工业过程控制系统。

机电一体化这一新兴学科有其技术基础、设计理论和研究方法,只有对其充分理解,才能正确地进行机电一体化方面的工作。机电一体化的目的是使系统(产品)高附加值化,即多功能、高效率、高可靠性、省材料、省能源,不断满足人们生活和生产的多样化需求。所以,一方面,机电一体化既是机械工程发展的继续,同时也是电子技术应用的必然;另一方面,机电一体化的研究方法应该是从系统的角度出发,采用现代化设计分析方法,充分发挥边缘科学技术的优势。

1.1.2 机电一体化的现状

机电一体化技术的发展大体上可分为3个阶段。

1. 初期阶段

20世纪60年代以前称为初期阶段。特别是在二次世界大战期间,战争刺激了机械产品与电子技术的结合,这些机电结合的军用技术,战后转为民用,对战后经济的恢复起到了积极的作用。这个时期研制和开发还处于自发状态。由于当时的电子技术还没有发展到一定水平,信息技术还处于萌芽状态,因此机电技术还不可能广泛深入地发展。

2. 蓬勃发展阶段

20世纪70至80年代称为蓬勃发展阶段。这一时期,计算机技术、控制技术、通信技术的发展,为机电一体化的发展奠定了技术基础。这个时期的特点是:① Mechatronics 一词在日本首先得到认同,然后到20世纪80年代末在世界范围内得到广泛认同;② 机电一体化技术和产品得到极大的发展;③ 机电一体化技术和产品在各国引起关注。此后由于大规模和超大规模集成电路技术及微型计算机和微电子技术的迅速发展,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,从而引发了一场规模空前的技术革命。

3. 初步智能化阶段

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, 机电一体化进入了深入发展的阶段。一方面由于光学、通信技术和细微加工技术等进入机电一体化, 产生了光机电一体化和微机电一体化等新的分支; 另一方面对机电一体化的建模、系统设计、集成方法等都进行了深入研究。由于人工智能技术、神经网络技术及光纤技术等领域取得的巨大进步, 为机电一体化技术开辟了发展的广阔天地。以信息流为纽带的制造技术得到了广泛重视和迅速发展, 出现了虚拟制造 (VM)、敏捷制造 (AM)、快速成形制造 (RPM)、并行工程 (CE) 等新技术。这些研究将促使机电一体化进一步建立完整的基础和逐步形成完整的科学体系。

我国是从 20 世纪 80 年代从着手于 CAD、CAM 技术开始这方面的研究的, 而且主要集中在一些高等院校。我国对 CIMS 的研究比较重视, 一些高校和研究所都成立了 CIMS 中心。在国家中长期科学和技术发展纲要中, 我国将重点发展数字化和智能化设计制造, 重点研究数字化设计制造集成技术, 建立若干行业的产品数字化和智能化设计制造平台, 开发面向产品全生命周期的、网络环境下的数字化、智能化创新设计方法及技术, 计算机辅助工程分析与工艺设计技术, 设计、制造和管理的集成技术。机电一体化技术在我国必将得到新的发展。

机电一体化技术促使仪器仪表迅速发展。20 世纪 80 年代, 高性能微处理器的出现使得具有数据采集与处理、存储记忆、自动控制、通信、显示、打印报表等多功能的自动控制仪表得到发展。世界各国都非常重视传感器技术, 它反映了一个国家的科技发达程度, 特别是对一些新颖的先进的高科技传感器的研究, 如超导传感器、集成光学传感器等。

机器人是近代科技发展的重大成果, 是典型的机电一体化产品之一。几十年来, 机器人已由第一代示教再现型发展到第二代感觉型和第三代的智能型。日本、美国、瑞典是三个生产机器人的主要国家, 日本机器人的拥有量约占世界总数的 67%。世界机器人需求量每五年将翻一番, 产值则每年以 27.5% 的速度迅速增长。

1.1.3 机电一体化的发展前景

机电一体化是机械技术与电子技术相结合的产物。它还处在不断发展和完善的过程中, 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。机电一体化是一个综合的概念, 在当代产品中, 单纯机械技术带来的产品附加值在其总的产品附加值中所占的比重越来越小, 而微电子技术带来的附加值在其总的产品附加值中所占的比重越来越大。但这并不等于说, 微电子技术可以脱离机械技术而在机械领域获得更大的经济效益, 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, 给机械行业注入新的活力, 赋予新的内涵, 才能使机械工业获得新生, 这是机械工业发展的唯一出路。

机电一体化是集机械、电子、光学、控制理论、计算机技术和信息技术等多学科交叉

融合的产物,大力推进制造业信息化、网络化和绿色环保化,大幅度提高产品档次、技术含量和附加值,是机电一体化发展的重点方向。

1. 机电一体化主要发展方向

(1) 智能化

智能化是 21 世纪机电一体化技术发展的主要方向。这里所说的“智能化”是对机器行为的描述,是在控制理论的基础上,吸收人工智能、电子技术、运筹学、计算机科学、模糊数学、心理学、生理学和混沌动力学等新思想、新方法,模拟人类智能,以求得到更高的控制目标。机器的行为具有逻辑思维、判断推理及自主决策的能力是智能化的重要标志。

(2) 模块化、集成化

机电一体化产品种类和生产厂家繁多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口的机电一体化产品单元是一项十分复杂而又重要的工作。利用标准单元迅速开发出新的产品,扩大生产规模,将给机电一体化企业带来美好的前景。基础件和通用部件的大力开发和发展将使机电一体化产品的模块化程度更高,随着数字化设计制造集成技术的发展,若干行业的产品数字化和智能化设计制造平台的建立,计算机辅助工程分析与工艺设计技术的提高,设计、制造和管理的技术集成,将使机电一体化产品的集成化制造变得更加容易和快捷。

(3) 信息网络化

制造全球化、制造敏捷化和制造虚拟化等制造模式已越来越离不开网络化和集成化的支持环境,网络化制造已成为现代制造业发展的主要趋势。网络化制造的目的在于通过制造企业间的合作与协调,共享信息、资源和知识,以实现产品整个生命周期的制造业务活动。

网络化制造与系统集成技术紧密相连,系统集成技术是网络化制造的基础,网络化制造是系统集成的具体表现。例如,网络化制造中异地分布制造企业之间的合作与协调,异构信息系统之间的互操作等都必须采用系统集成技术。网络化制造是企业为应对知识经济和制造全球化的挑战而实施的以快速响应市场需求和提高企业(企业群体)竞争力为主要目标的一种先进制造模式。

(4) 微型化

微型系统技术已经成为全球增长最快的工业之一,需要制造极小的高精密零件的工业,例如生物-医疗装备、光学、以及微电子(包括移动通信和计算机组件)等都有大量的需求。微型化指的是机电一体化向微型化和微观领域发展的趋势。微机电一体化产品指的是几何尺寸不超过 1mm 的机电一体化产品,其最小体积近期将向微米至纳米级进发,使机电一体化产品具有轻、薄、小、巧的优点。

微机电一体化发展的瓶颈在于微机械技术,微机电一体化产品的加工采用精细加工技术,即超精密技术,它包括光刻技术和蚀刻技术两类。通常我们把被加工零件的尺寸精度和形位精度达到零点几微米,表面粗糙度低于百分之几微米的加工技术称为超精密加工技术。超精密加工技术在国防工业、信息产业和民用产品中都有着广泛的应用前景。

(5) 绿色环保化

20 世纪 90 年代以来,绿色浪潮风起云涌,席卷全球,绿色环保成为一个世界性话题,并且已经渗透到社会的各个角落。绿色产品在其设计、制造、使用和销毁的生命过程中,要符合特定的环境保护和人类健康的要求,对生态环境无害或危害极少,资源利用率最高。机电一体化产品的绿色化主要是指使用时不污染生态环境,可回收,无公害,如绿色电冰箱等。

(6) 人性化

未来的机电一体化更加注重产品的人机关系,机电一体化产品的最终使用对象是人,赋予机电一体化产品人的智慧、情感,人性化越加重要,具有感知、认知功能,特别是对家用机器人,其高层境界就是人机一体化。

(7) 多功能化

对机电一体化产品,不仅要求它们具有数据采集、检测、记忆、监控、执行、反馈、自适应、自学习等功能,还要求它们具有神经功能,以便实现整个生产系统的最佳化和智能化。

(8) 节能化

节能化指机电一体化产品不用电或少用电,如太阳能空调、太阳能冰箱等。

(9) 系统化、复合集成化

复合集成化、系统化是层次发展的特征。复合集成,既包含各种分支技术的相互渗透、相互融合和各种产品不同结构的优化与复合,又包含在生产过程中同时处理加工、装配、检测、管理等多种工序。

系统化、集成化也是一种非常高层次的指导方针。其一是指不同领域的专家、学者联合起来,并扩大到不同公司之间、不同行业之间、政府各部门之间进行的种种协调,以及为处理国际贸易及国际合作之间一些事务的国际合作等。日本研究机电一体化技术的先驱者渡边茂先生将此称为“全球化”。其二是指计算机集成制造系统(CIMS)及网络制造系统,这是当今世界机电一体化发展的最新趋势。

2. 数控机床、自动机与自动生产线的发展趋势

(1) 数控机床

目前我国是全世界机床拥有量最多的国家(近 320 万台),但数控机床只占约 5%,且大多数是普通数控(发达国家数控机床占 10%)。近些年来数控机床为适应加工技术的发展,在许多技术领域都有了巨大的进步。数控机床具有以下一些优势。

1) 高速。由于高速加工技术普及,机床普遍提高了各方面的速度。车床主轴转速由 3 000~4 000r/min 提高到 8 000~10 000r/min;铣床和加工中心主轴转速由 4 000~8 000r/min 提高到 12 000~40 000r/min 以上;快速移动速度由过去的 10~20m/min 提高到 48m/min, 60m/min, 80m/min, 120m/min;在提高速度的同时要求提高运动部件启动的加速度,由过去一般机床的 0.5g(重力加速度)提高到(1.5~2g),最高可达 15g;直线电机在机床上已开始使用,主轴上大量采用内装式主轴电机。

2) 高精度。数控机床的定位精度已由一般的 0.01~0.02mm 提高到 0.008mm 左右;亚

微米级机床达到 0.000 5mm 左右；纳米级机床达到 0.005~0.01 μ m；最小分辨率为 1nm 的数控系统和机床已问世。

数控中两轴以上插补技术大大提高，纳米级插补使两轴联动加工出的圆弧都可以达到 1 μ m 的圆度，插补前多程序预读，大大提高了插补质量，并可进行自动拐角处理等。

3) 复合加工，新结构机床大量出现。如 5 轴 5 面体复合加工机床，5 轴 5 联动加工各类异形零件。同时派生出各种新颖的机床结构，包括 6 轴虚拟轴机床，串并联铰链机床等采用特殊机械结构，数控的特殊运算方式，特殊编程要求的机床。

4) 使用各种高效特殊功能的刀具使数控机床“如虎添翼”。如内冷钻头由于使高压冷却液直接冷却钻头切削刃和排出的切屑，在钻深孔时可大大提高工作效率。加工钢件切削速度能达 1 000m/min，加工铝件能达 5 000m/min。

5) 数控机床的开放性和联网管理。数控机床的开放性和联网管理是使用数控机床的基本要求，它不仅是提高数控机床开动率、生产率的必要手段，而且是企业合理化、最佳化利用这些制造手段的方法。因此，计算机集成制造、网络制造、异地诊断、虚拟制造、并行工程等各种新技术都是在数控机床基础上发展起来的，这必然成为 21 世纪制造业发展的一个主要潮流。

(2) 自动机与自动生产线

在国民经济生产和生活中广泛使用的各种自动机械、自动生产线及各种自动化设备，是当前机电一体化技术应用的又一具体体现。如：2 000~80 000 瓶/h 的啤酒自动生产线；18 000~120 000 瓶/h 的易拉罐灌装生产线；各种高速香烟生产线；各种印刷包装生产线；邮政信函自动分捡处理生产线；易拉罐自动生产线；FEBOPP 型三层共挤双向拉伸聚丙烯薄膜生产线等，这些自动机或生产线中广泛应用了现代电子技术与传感技术。如可编程控制器，变频调速器，人机界面控制装置与光电控制系统等。我国的自动机与生产线产品的水平，比 10 多年前跃升了一大步，其技术水平已达到或超过发达国家 20 世纪 80 年代后期的水平。使用这些自动机和生产线的企业越来越多，对维护和管理这些设备的相关人员的需求也越来越多。

1.2 机电一体化系统的基本构成

机电一体化系统一般包括 6 个基本结构要素：机械本体，动力系统，测试传感部分，执行机构，控制及信息处理单元，接口。机电一体化系统的功能在很大程度上决定于控制系统。机械本体是执行机械运动的终端；传感部分一般是反馈运动或位置参数；信息处理单元主要是接收人工指令，并将它转化为电压信号给驱动部分；驱动部分与信息处理单元的连接叫接口；驱动部分一般包含驱动器及其电机组成；驱动器是将电压信号转换为可以驱动电机的信号。从机电一体化系统的功能看，人体是电一体化系统理想的参照物。

如图 1-1 (a) 所示，构成人体的五大要素分别是头脑、感官（眼、耳、鼻、舌、皮肤）、四肢、内脏及躯干。相应功能如图 1-1 (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