



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机电一体化系统设计

JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

李颖卓 张波 王茁 主编

第二版



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机电一体化系统设计

第二版

李颖卓 张 波 王 苗 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统地介绍了机电一体化系统设计的有关理论。内容包括：机电一体化产品的设计、机电一体化系统中的机械传动与液压气动执行装置、伺服传动技术、计算机技术、传感器技术及应用、机电一体化系统控制方法等，最后通过典型的机电一体化产品的实例，进一步阐述了机电一体化系统设计的分析与综合。

本书可作为机械设计制造及自动化专业机电方向、数控方向的本科生教材，也可供高专、高职、成教等相关专业选用，还可供从事机电一体化产品设计、制造的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化系统设计/李颖卓, 张波, 王苗主编.
—2 版. —北京: 化学工业出版社, 2010. 8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-08864-2

I. 机… II. ①李…②张…③王… 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 (2010) 第 117564 号

责任编辑: 程树珍

文字编辑: 韩亚南

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 张 辉

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 441 千字 2010 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 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: 34.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

“机电一体化系统设计”课程现已由全国高等学校机械工程类专业教学指导委员会定为“机械设计制造及其自动化”专业的主干专业课，本修订版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材第一版于2005年8月出版发行，被全国几十所高等院校有关专业采用，特别是有关教师通过教学实践后，给我们提出了许多宝贵意见和修改建议，这使我们受到极大的鼓舞和振奋，同时也获得极深的教益。我们衷心感谢兄弟院校有关教师及所有读者的热心支持与充分信任，衷心感谢出版社及有关领导的真挚关心和鼓励。

根据大家提出的宝贵意见和修改建议以及我们四年来的教学实践，同时考虑到本学科近年来的发展状况和专业的要求，对第一版进行了修订，其修订的主要内容如下：

1. 对本教材章节顺序按机电一体化产品设计过程进行了调整；
2. 根据传感器技术的发展情况，对第4章内容进行了部分修改；
3. 第8章增加了“升降器智能检测装置”典型实例；
4. 对其他章节也做了少量修改；
5. 增加了部分习题与思考题。

本书由李颖卓、张波、王茁主编，第1章、第4章、第5章、第7章、第8章8.2节由李颖卓、王玉波编写，第2章、第3章、第6章、第8章8.4节由张波、王茁、张洪艳、高军、史媛媛编写，第8章8.1节由王玉杰、周茂福编写，全书内容由李颖卓负责编排并完成初统稿，由邵泽波教授担任主审。

本教材经过修改后将有较明显的改进和提高，但是与教学改革形势发展的要求尚有差距，编者恳切希望读者给予批评和指正。

编者

2010年1月

第一版前言

机电一体化技术是以电子技术为主导，计算机技术、伺服传动技术、传感器技术等多种技术与机械技术交叉、融合而形成的综合性技术，是机械与电子技术有机结合的产物。机电一体化概念始于 20 世纪 70 年代，至今也不过 30 多年的历史，这一概念一经提出就被社会普遍接受。这门技术的出现对于机电一体化产品的发展起到了巨大的推动作用。

机电一体化技术涉及知识面很宽，是一门新兴边缘学科，工程性强，内容更新快。因此，本书在选材上力求内容精练，避免不必要的重复，吸收更多的先进技术资料充实本书的内容。全书分 8 章，较系统地介绍了机电一体化系统设计中的产品设计、机液传动、伺服传动、计算机、传感器、控制方法等有关理论。结合新产品开发设计的典型实例介绍机电一体化系统的设计思想与设计方法是本书的特点。

本书是由王茁、李颖卓主编，王毅坚、张波副主编，其中第 1 章、第 4 章、第 5 章、第 7 章、第 8 章的 8.4 节由李颖卓、王毅坚编写；第 2 章、第 3 章、第 6 章、第 8 章由王茁、张波编写；卢伟宏、何森、张洪艳分别参与第 4 章、第 5 章、第 7 章部分内容的编写；侯哲生、王殿君、谭定忠分别参与第 3 章、第 6 章、第 8 章部分内容的编写；全书内容由王茁、李颖卓负责编排并完成初统稿，由邵泽波教授担任主审。

由于编者水平有限，书中必然存在不妥之处，敬请各位老师、同学和各位读者批评指正。

编者

2005 年 2 月

目 录

1 绪论	1	3.2 液压与气压执行装置	43
1.1 机电一体化基本概念	1	3.2.1 液压执行装置	43
1.1.1 机电一体化定义	1	3.2.2 气动执行装置	46
1.1.2 机电一体化系统的基本结构要素	1	3.3 机械传动与液压气动执行装置的应用实例	50
1.1.3 机电一体化相关技术	2	3.3.1 基于液压驱动的 6 自由度并联机构	50
1.1.4 机电一体化的技术、经济和社会效益	4	3.3.2 工件输送系统	51
1.2 机电一体化技术与现代制造业	6	习题与思考题	52
1.3 机电一体化技术发展趋势	6	4 传感技术及应用	53
习题与思考题	7	4.1 传感器技术基础	53
2 机电一体化系统的设计与评价	8	4.1.1 传感器的组成	53
2.1 现代系统设计的特征	8	4.1.2 传感器的分类	54
2.2 系统设计的评价分析方法	9	4.1.3 传感器的基本特性	56
2.2.1 技术经济性分析	10	4.1.4 传感器的主要性能指标	59
2.2.2 可靠性分析	10	4.1.5 传感器的输入、输出特性和对环境的要求	59
2.2.3 其他系统评价分析	13	4.1.6 传感器的标定与校准	60
2.3 机电一体化产品设计与工程路线	14	4.2 常用传感器及应用	61
2.3.1 基本设计和工程路线	14	4.2.1 电阻式传感器	61
2.3.2 市场调查与预测	14	4.2.2 电容式传感器	67
2.3.3 构思比较与方案评价	16	4.2.3 电感式传感器	70
2.3.4 详细设计	17	4.2.4 磁电式传感器	73
2.3.5 系统设计中的质量控制	17	4.2.5 压电式传感器	76
2.3.6 制造工程质量管理	18	4.2.6 光电式传感器	79
2.4 机电一体化系统主要技术参数与技术指标	19	4.2.7 热电式传感器	83
2.5 制定机电一体化系统总体方案的一般步骤	20	4.2.8 其他传感器	84
2.6 典型机电一体化产品设计开发的工程路线	21	4.3 传感器的选用	85
2.6.1 工业机器人的设计与开发	21	4.4 基于传感器的计算机检测系统及应用实例	86
2.6.2 家用电器的设计与开发	23	4.4.1 基于传感器的计算机检测系统的基本组成	86
习题与思考题	25	4.4.2 地下穿孔机器人气动冲击头性能测试系统	88
3 机电一体化系统中的机械传动与液压气动执行装置	26	习题与思考题	91
3.1 机械传动系统	26	5 机电一体化中的伺服传动技术	92
3.1.1 机械传动系统的数学模型	26	5.1 概述	92
3.1.2 机械传动系统的特性	29	5.1.1 伺服系统的结构组成及分类	92
3.1.3 机械传动装置	34	5.1.2 伺服电动机	93

5.1.3 电力电子技术简介	95	7 机电一体化系统控制方法	172
5.2 直流伺服系统及应用	98	7.1 机电一体化系统的数学模型	172
5.2.1 直流伺服系统结构和原理	98	7.1.1 数学模型的类型	172
5.2.2 直流伺服系统的稳态误差分析	107	7.1.2 建立数学模型的步骤和方法	172
5.2.3 直流伺服系统的动态校正	108	7.1.3 被控对象模型的辨识	173
5.3 交流伺服系统及应用	112	7.2 PID 控制	181
5.3.1 异步型交流电动机的变频调速的 基本原理及特性	112	7.2.1 常规的 PID 控制	181
5.3.2 异步电动机变频调速系统	113	7.2.2 数字 PID 的改进算法	184
5.4 步进电动机的驱动和控制	116	7.2.3 数字 PID 参数整定	190
5.4.1 步进电动机	116	7.3 常见复杂控制	192
5.4.2 环形分配器	117	7.3.1 串级控制应用实例	193
5.4.3 功率驱动器	119	7.3.2 比值控制应用实例	196
5.4.4 提高系统精度的措施	120	7.3.3 前馈控制系统应用实例	200
5.5 电液伺服系统	121	7.3.4 自适应控制应用实例	202
5.5.1 电液位置伺服控制系统	121	7.4 模糊控制	205
5.5.2 电液速度伺服控制系统	124	7.4.1 模糊控制系统的组成及基本 原理	205
5.5.3 电液力控制系统	125	7.4.2 模糊控制器的设计及应用	209
习题与思考题	126	7.5 神经网络控制	210
6 机电一体化中的计算机技术	127	7.5.1 神经细胞的基本结构	210
6.1 工业控制机	127	7.5.2 神经元的基本结构	211
6.1.1 工业控制机的组成	127	7.5.3 神经网络模型	212
6.1.2 工业控制机的分类	128	7.5.4 神经网络的学习	212
6.1.3 工业标准总线	132	7.5.5 误差反向传播网络及其学习	213
6.2 单片机在机电一体化产品中的应用	136	7.5.6 神经网络的特点和局限性	214
6.2.1 MCS-51 单片机组成控制系统	136	习题与思考题	215
6.2.2 单片机控制系统信息输入通道 设计	137	8 典型机电一体化系统设计分析与 综合	216
6.2.3 单片机控制系统功率驱动接口 设计	139	8.1 工业机器人	216
6.2.4 单片机控制系统人机界面设计	142	8.1.1 工业机器人的定义与发展	216
6.2.5 单片机应用系统设计	144	8.1.2 工业机器人的构成	217
6.2.6 单片机应用系统实例	145	8.1.3 典型的工业机器人——喷漆机 器人	218
6.3 可编程逻辑控制器 (PLC) 及其 应用	152	8.2 工艺装备——升降器智能检测装置	222
6.3.1 PLC 的结构	152	8.2.1 升降器智能检测装置设计要求	222
6.3.2 PLC 的工作原理	155	8.2.2 机械本体设计与原理	223
6.3.3 PLC 控制系统的设计方法和 步骤	155	8.2.3 控制系统设计与原理	226
6.3.4 PLC 应用实例	156	8.3 家用电器——洗衣机	228
6.4 计算机接口技术	161	8.3.1 全自动洗衣机单片机控制系统 结构	229
6.4.1 并行输入/输出接口	162	8.3.2 模糊全自动洗衣机的控制软件	230
6.4.2 数/模 (D/A) 转换接口	166	8.3.3 洗衣机物理量检测	232
6.4.3 模/数 (A/D) 转换接口	168	8.4 特种机器人——地下穿孔机器人	234
习题与思考题	170	8.4.1 地下穿孔机器人的总体构成及 作业流程	234

8.4.2 地下穿孔机器人运动学分析	237	8.6 机电一体化系统设计与综合	258
8.4.3 地下穿孔机器人本体设计	240	8.6.1 执行机构与驱动元件	258
8.4.4 地下穿孔机器人气压传动系统 ...	244	8.6.2 驱动方式与传感器	261
8.4.5 地下穿孔机器人控制系统	244	8.6.3 控制方式与计算机	263
8.5 数控机床	252	8.6.4 系统与工作环境	266
8.5.1 CNC 机床分类	253	习题与思考题	267
8.5.2 CNC 加工中心 (MC)	254	参考文献	269

1 绪 论

本章要求掌握机电一体化基本概念，特别是机电一体化系统的基本结构要素；熟悉机电一体化相关技术；了解机电一体化技术与现代制造业的密切关系及发展趋势。

1.1 机电一体化基本概念

机电一体化是现代科学技术发展的必然结果，通过介绍机电一体化的基本概念和发展背景，结合国内机电一体化技术与现代制造业的现状，分析机电一体化技术的发展趋势。

1.1.1 机电一体化定义

机电一体化是以电子技术特别是微电子技术为主导、多种新兴技术与机械技术交叉、融合而形成的综合性高技术。其目的是不断提高劳动生产率，减轻人们的体力劳动，逐步代替部分脑力劳动。通过这种技术生产出来的是种类繁多的机电一体化产品，这些产品被广泛地应用到国民经济、科技活动、国防建设和人民生活等各个领域。

简单地讲，机电一体化是机械与电子技术有机结合的产物。机电一体化正处在不断发展和完善的过程中，是一种崭新的学术思想，除了强调机与电的有机结合，还具有更深刻、更广泛的含义。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，均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”一词，于 20 世纪 70 年代初起源于日本，是根据英文机械学（mechanics）的前半部分和电子学（electronics）的后半部分而构成的，即 mechatronics（日本造的英文组合词），用日本汉字“机电一体化”来表示，在日本取英文译音称为メカトロニクス。“机电一体化”比较恰当地表述了一个新的概念，因而迅速、直接地被我国接受和使用。在我国“机械电子学”与“机电一体化”并存，但后者更为广泛流行。

1.1.2 机电一体化系统的基本结构要素

尽管机电一体化系统或产品主要功能不同，结构繁简各异。但是，一个比较完善的机电一体化系统，应包括以下几个基本要素：构造部分、动力部分、计测部分、功能部分、控制部分等，各要素和环节之间通过信息处理单元及接口相互联系。

具有智能功能的机电一体化系统或产品的一个显著特征是它的内部功能构成与组成要素像一个人的功能机构和组成要素那样完美。图 1-1 为机电构成要素与人体基本要素的对照示意图，由此可以清楚地看出机电一体化系统组成要素及各要素的功能。

如图 1-2 所示以数控车床为例，简述机电一体化产品各组成部分的作用。

(1) 构造部分

构造部分是原机械产品的机械结构部分，或做了一些改进，以实现高效、多功能、可靠和节能、美观等。例如，数控车床的机械本体，就是车床的机械结构部分（车身、主轴箱、尾架等）。构造就好像人的身躯骨架。

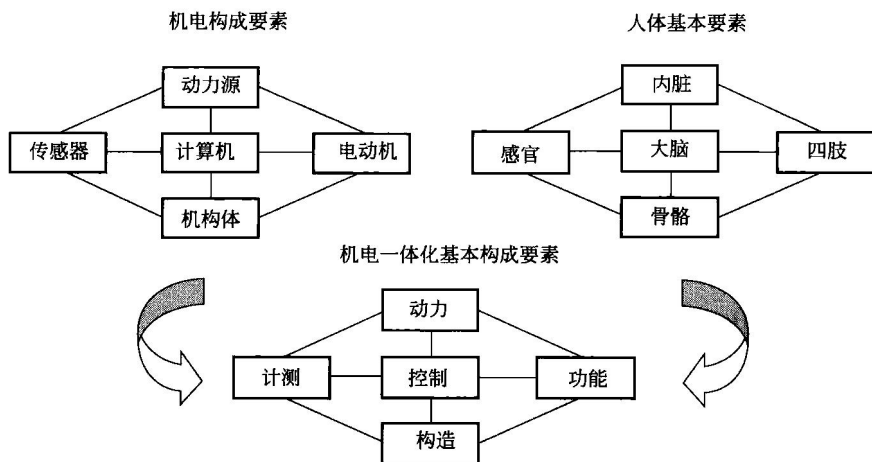


图 1-1 机电一体化系统要素与人体要素对照示意图

(2) 动力部分

动力部分按照系统的控制要求，为系统提供能量和动力，使系统正常运行。用尽可能小的动力输入，获得尽可能大的功能输出。机电一体化产品的动力部分，为本产品提供能量和动力功能以驱动执行机构，类似人体的内脏，产生能量来维持人的生命运动。例如，数控机床的主动力，主要来自于电能。

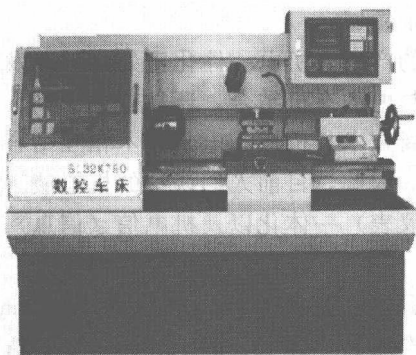


图 1-2 CNC6132（教学、生产两用型）数控车床

(3) 计测部分

计算机在机电一体化系统或产品中，作用正如人的大脑一样，对外部输入的命令进行存储、分析、加工，根据信息处理结果，按照一定的程序和节奏发出相应指令，控制整个系统有目的地运行。这部分除了计算机以外，还包括 I/O（输入/输出）设备、外存储器和显示器等。例如，数控机床中的 CPU 板、CRT

显示器、键盘及打印机等，构成了计算机部分。

传感器在机电一体化系统或产品中，作用相当于人体的感官，对系统所需要的各种参数及状态进行检测，变成可识别的信号，经过计算机的分析、处理后，进行状态显示或反馈控制。例如，数控车床刀具位置状态的显示，可用直线位移传感器进行检测。

(4) 功能部分

执行机构在机电一体化系统或产品中，作用相当于人体的四肢，可根据控制信息和指令，完成各种动作。执行机构是运动部件，一般采用液压、气动、电动等机构。例如，数控车床刀具的走刀运动，就是利用步进电动机驱动滚珠丝杠完成的。

1.1.3 机电一体化相关技术

机电一体化是各种技术学科相互渗透的结果，它所涉及的技术领域非常广泛，其主要的相关技术可归纳为六个方面：机械技术、检测传感技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术和系统技术。

(1) 机械技术

机械技术是机电一体化的基础。机电一体化的机械产品与传统的机械产品之间的区别在于机械结构更简单、机械功能更强和性能更优越。现代机械要求具有更新颖的结构、更小的体积、更轻的重量,还要求精度更高、刚度更大、动态性能更好。为了满足这些要求,在设计和制造机械系统时,除了考虑静态、动态的刚度及热变形问题外,还应该考虑采用新型复合材料和新型结构以及新型制造工艺和工艺装置等。

从机械产品设计来讲,应开展可靠性设计和普及该项技术的应用,加强对机电产品基础元器件的失效分析研究。在提高元器件可靠性水平的同时,应开展对整机系统可靠性的研究。机电一体化产品的设计,从静态强度到动态强度的设计,可以采用损伤容限设计、动力优化设计、摩擦学设计、防蚀设计、低噪声设计等。

(2) 检测传感技术

检测传感装置是系统的感受器官,与信息系统的输入端相连,将检测到的信号输送到信息处理部分。检测传感是实现自动控制、自动调节的关键环节。其功能越强,系统的自动化程度就越高。检测传感的关键元件是传感器。

传感器是将被测量(包括各种物理量、化学量和生物量等)变换成系统可识别,并与被测量有确定对应的有用电信号的一种装置。

现代工程技术要求传感器能够快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷的考验。与计算机技术相比,传感器的发展显得缓慢,难以满足技术发展的需要。有些机电一体化装置不能达到满意的效果、无法实现设计要求,其关键原因是没有合适的传感器。因此,开展传感器的研究,对于机电一体化技术的发展,具有十分重要的意义。

(3) 计算机与信息处理技术

信息处理技术是指对信息的交换、存取、运算、判断和决策,实现信息处理的工具是计算机。因此,计算机技术与信息处理技术两者密切相关,包括软件技术和硬件技术、网络与通信技术、数据库技术等。

在机电一体化系统中,计算机与信息处理部分协同指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时,直接影响到系统工作的质量和效率。因此,计算机应用及信息处理技术,是促进机电一体化技术发展和变革的最活跃的因素。

人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等,都属于计算机信息处理技术。

(4) 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、现场测试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象的种类繁多,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。由于实际中的被控对象与理论上控制模型之间存在较大差距,使控制设计到控制实施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。

(5) 伺服传动技术

“伺服”(当仆人)即“伺候服侍”的意思,由控制指令来指挥控制驱动元件,使机械的运动部件按照指令的要求进行运动,并具有良好的动态性能。在伺服传动系统中,所采用的驱动技术与所使用的执行元件有关。

伺服传动系统按执行元件的不同,分为液压伺服系统和电气伺服系统两类。液压伺服系统工作稳定、响应速度快、输出力矩大,特别是在低速运行时,性能更具有突出的优点。但液压伺服系统需要增加液压动力源(俗称液压站),设备复杂、体积大、维修费用大,还存在污染环境等缺点。因此,液压伺服系统仅用在一些大型设备和有特殊需要的场合,其中大部分场合都采用电气伺服系统。电气伺服系统采用电动机作为伺服驱动元件,其优点是控制灵活、费用较小、可靠性高等。但在低速运行时,存在输出力矩不够大的缺点。

(6) 系统技术

系统技术就是以整体的概念,组织应用各种相关技术。从全局角度和系统目标出发,将总体分解成相互有机联系的若干功能单元,以功能单元为子系统进行二次分解,生成功能更为单一和具体的子功能单元。这些子功能单元同样可以继续逐层分解,直到能够找出一个可实现的技术方案。深入了解系统内部结构和相互关系,把握系统外部联系,对系统设计和产品开发十分重要。

接口技术是系统技术中一个重要方面,是实现系统各部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口、人机接口等。电气接口实现系统之间电信号连接;机械接口则完成机械与机械部分、机械与电气装置部分的连接;人机接口提供了人与系统之间的人机交互界面。

1.1.4 机电一体化的技术、经济和社会效益

机电一体化综合利用各相关技术优势,使系统取得优化效果,具有较高的功能水平,并有显著的技术、经济效益和社会效益。

(1) 缩短产品开发周期,加速产品更新换代

用户对产品需求是经常变化的,为了适应用户对现场和对象条件变化的需求,往往要求能够及时地对产品的结构和生产过程做必要的调整、修改。对于这种调整和修改,机电一体化技术可通过控制程序,即软件的变更来实现,而无需或很少改装设备及装置。由于机电一体化具有良好的柔性,特别适合于多品种、小批量产品的生产,是缩短产品开发周期,加速更新换代的重要途径。

(2) 提高精度,增强功能

机电一体化技术使机械传动部件减少,使机械磨损、配合间隙及受力变形等因素引起的误差大大减小。由于采用电子技术实现自动检测和控制、补偿、校正等,克服了各种干扰因素造成的动态误差,从而达到单纯机械装备所不能实现的工作精度。例如,采用微型计算机误差分离技术的电子化圆度仪,其测量精度可由原来的 $0.025\mu\text{m}$ 提高到 $0.01\mu\text{m}$;大型镗铣床安装感应同步器数显装置后,将加工精度从 $6\mu\text{m}$ 提高到 $2\mu\text{m}$ 。

现代高新技术的引入,极大地改变了机械工业产品的面貌,并使机电一体化产品具备多种复合功能,成为机电一体化产品和应用技术的一个显著特征。例如,加工中心机床可以一次装夹完成多台普通机床上的多道工序,还有自动检测工件和刀具的精度、自动显示刀具动态轨迹图形、自动保护和自动故障诊断等极强的应用功能;配有机器人的大型激光加工中心,能够完成自动焊接、划线、切割、钻孔、热处理等操作,还可以加工金属、塑料、陶瓷、木材、橡胶等材料。这种极强的复合功能,是传统机械加工系统所不能比拟的。

(3) 简化结构,减轻重量

机电一体化系统采用新型电力电子器件和传动技术,代替笨重的老式电气控制的复杂机械变速传动,由微处理器、集成电路等微电子元件和程序逻辑软件,完成过去靠机械传动链来实现的关联运动,从而使机电一体化产品体积减小,结构简化,重量减轻。例如,无换向

器电机, 其将电子控制与相应的电机电磁结构相结合, 取消了传统的换向电刷, 简化了电机结构, 提高了电机寿命和运行特性, 并缩小了体积; 数控精密插齿机, 可节省齿轮等传动部件; 一台现金出纳机用微处理机控制, 可取代几百个机械传动部件。采用机电一体化技术简化结构、减轻重量, 对于航空航天技术而言, 更具有特殊的意义。

(4) 改善劳动条件, 有利于自动化生产

机电一体化产品自动化程度高, 是知识密集型和技术密集型产品, 是将人们从繁重体力劳动中解放出来的重要途径, 可以加速工厂自动化、办公自动化、农业自动化、交通自动化甚至家庭自动化。

(5) 操作简便, 使用安全可靠

机电一体化产品在设计和制造时, 充分考虑用户操作的方便性, 一般都有友好的接口及界面, 用户很容易掌握和操作。有些产品(如微机控制全自动洗衣机)操作者只需按下启动按钮, 机器就可自动完成全部操作。为了适应现场条件的变化(如环境温度、电源电压变动等), 有些产品可自动进行调整, 有些则需人们很少的干预。

在机电一体化产品中, 一般都具有自动监视、报警、自动诊断、自动保护甚至自动修复的功能。当遇到过载、过压、过流、短路、漏电、停电等之类的情况, 能够自动采取措施加以保护, 避免或减少人身伤亡和设备发生事故, 显著提高设备使用的安全性。

由于机电一体化产品减少了可动部件和易磨损件, 尽量采用可靠性很高的集成电路, 使产品故障率降低、寿命提高、维护检修方便, 使装置长期可靠运行, 无需或很少维修。

(6) 提高生产效率, 降低成本

机电一体化生产系统, 能够减少生产准备和辅助时间, 缩短新产品的开发周期, 提高产品合格率, 减少操作人员, 提高生产效率, 降低生产成本。例如, 数控机床本身精度高、刚性大, 可选择有利的加工用量, 生产效率高, 一般为普通机床的 3~5 倍, 对某些复杂零件的加工, 生产效率可以提高十几倍甚至几十倍; 柔性制造系统可使生产周期缩短 40%, 生产成本降低 50%; 我国工业锅炉以燃煤为主, 年耗煤量占全国原煤产量的 1/3 左右, 由于多数是人工控制, 燃料浪费很大, 采用机电一体化的控制设备后, 平均热效率可提高 5% 左右。

(7) 节约能源, 降低消耗

节约一次和二次能源是国家的战略目标, 也是用户十分关心的问题。机电一体化产品通过采用低能低耗驱动机构、最佳的调节控制, 以提高设备的能源利用率, 可达到明显的节能效果。例如, 汽车电子点火器, 由于控制最佳点火时间和状态, 可大大节约汽车耗油量; 若将节流工况下运行的风机、水泵随工况变速运行, 平均可节电 30%; 工业锅炉若采用微机精确控制燃料与空气的混合比, 可节煤 5%~20%; 还有被称为“电老虎”的电弧炉是最大的耗电设备之一, 如改用微型计算机实现最佳功率控制, 可节电 20%。

(8) 增强市场的竞争能力

机电一体化使产品易于实现更新和升级换代, 其技术经济性能指标明显提高, 使原来的低档、中档产品性能价格比提高, 上升为高档产品。又由于在功能、水平、质量、品种和使用效果方面, 能更好地满足国内外市场的需求, 有很强的竞争能力, 易于打开销路, 占领国内外市场。

我国的机械制造部门所生产的有些设备, 虽然其结构比较先进, 但由于控制系统的水平落后, 难以被国际市场接受, 削弱了与其他国家同类型产品的竞争能力, 结果难以出口, 或以相当低的价格只出口机械本体, 既影响出口量, 也减少了创汇率。因此, 无论是生产部门

还是使用单位,机电一体化技术和产品,都会带来显著的社会和经济效益。所以,日本、美国及欧洲各国,都在大力发展和推广机电一体化技术。

1.2 机电一体化技术与现代制造业

随着科技的进步和社会环境的变化,机电一体化技术迅速发展,世界制造业正进入一个巨大的变革时期。

一系列先进技术相继兴起,主要是电子技术(特别是微电子技术)、计算机技术、现代通信技术、现代控制技术、机械技术等。这些新技术之间、新技术与传统技术之间,又相互渗透和融合,形成了机电一体化技术,进一步推动了科技发展不断出现新的高潮。各种新兴技术的相互结合,促进了大量新产品的开发,形成了一系列新产业-现代制造业,改变了传统产业的结构和生产方式。

传统的相对稳定的市场向着动态多变的市场转化,产品生命周期缩短,产品更新速度加快,产品的品种增多、批量减少,产品质量、价格和交货期已成为制造业竞争力和生存的决定因素。产品从设计、生产到销售等一整套的传统管理、劳动方式,制造业的组织结构和决策原则与方式都在经受剧烈的变化。

面临日趋激烈的市场变化和技术竞争,世界各国都在迅速调整其技术政策,把提高制造业竞争力和增强综合国力作为技术政策的核心。从而,各国均将本国制造业的更新与振兴作为国家优先考虑的国策,把经济机密置于最重要的地位。

制造技术是制造业的技术支柱,而制造业又是一个国家工业的基础。目前,以传统机电工业为代表的制造业,正在经历着两种变革:一是机电工业生产率的提高,从传统的靠机械化为主要的方式向以计算机为核心的柔性、集成自动化生产为主的方式转变,使产品性能得到很大的提高,又可实现更灵活的设计和生 产;二是机电工业的产品,从过去机械与电子彼此独立,向彼此高度融合、渗入多种高新技术的机电一体化产品发展,以提高产品的附加值和综合效益。因此,机电一体化技术的不断发展,使传统的制造业逐步向现代制造业的方向转变,其传统制造业的技术人员、管理干部和生产工人,必须迅速适应这种变化和 需求,一方面要不断更新自己的知识,另一方面要努力扩展和掌握更多领域的知识。

1.3 机电一体化技术发展趋势

机械技术、微电子技术、计算机与控制技术等出现新的进步,将极大地推动机电一体化技术的发展。现代的机电一体化技术,将朝着微型化、智能化、模块化、数字化、网络化、集成化的方向发展。

(1) 微型化

微型化是精细加工技术发展的必然,也是提高效率的需要。从 20 世纪 80 年代开始,机电一体化向微机电系统发展,用来解决常规机电一体化系统所不能解决的问题。它将传统的执行机构、传感器以及信号处理与控制电路等集成于一体。所以,微型化是微机电系统的重要特征。目前研制的微机电系统主要有光盘读取头、微机械光开关、光扫描器、微型机器人等。

(2) 智能化

将人工智能、神经网络、模糊控制等现代控制理论和技术,应用到机电一体化系统或产

品中，使其具有一定的智能。

(3) 模块化

标准化、模块化是机电一体化发展的重要趋势。对于机电一体化产品，普遍使用的产品单元，如驱动模块单元、运动控制模块单元等，进行模块化设计和生产。模块化极大促进了机电一体化新产品的开发。用户选择标准模块，不仅能够降低产品的开发成本、提高其可靠性，还可以缩短产品的研制周期。

(4) 数字化

嵌入式控制系统和嵌入式软件的发展，为机电一体化系统或产品的数字化、智能化奠定了基础。数字化要求机电一体化产品的软件具有高可靠性、可维护性以及自诊断能力，人机界面友好、易于使用，并且用户可根据实际需要进行制定。数字化的实现有利于远程操作、诊断和修复。

(5) 集成化

集成化既包含各种技术的相互渗透、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。为了实现多品种、小批量生产的自动化与高效率，应使系统具有更广泛的柔性。首先可将系统分解为若干层次，使系统功能分散，并使各部分协调而又安全地运转。然后，再通过硬、软件将各个层次有机地联系起来，使其性能最优、功能最强。

习题与思考题

- 1-1 什么是机电一体化？其目的是什么？
- 1-2 机电一体化系统包括哪些基本要素？
- 1-3 机电一体化的主要支撑技术有哪些？它们的作用是什么？
- 1-4 机电一体化显著的技术、经济效益和社会效益有哪些？
- 1-5 未来机电一体化技术的发展趋势有哪些方面？
- 1-6 试列举 10 种常见的机电一体化产品。

2 机电一体化系统的设计与评价

本章要求掌握机电一体化系统或产品设计的一般步骤；熟悉掌握系统设计的评价分析方法，系统设计的质量控制及制造工程质量管理；通过典型实例了解机电一体化系统或产品设计开发的工程路线。

系统设计就是用系统思想综合运用各有关学科的知识、技术和经验，在系统分析的基础上，通过总体研究和详细设计等环节，落实到具体的项目上，以创造满足设计目标的人造系统。系统设计的基本原则是使设计工作获得更大效果。在保证目的功能要求与适当使用寿命的前提下不断降低成本。

2.1 现代系统设计的特征

现代系统设计的过程就是目标-功能-结构-效果的多次分析与综合的过程。其中，综合可理解为各种解决问题要素拼合的模型化过程，这是一种高度的创造行为；分析则是综合的反行为，也是提高综合水平的必要手段，分析也是分解与剖析，对综合后的解决方案提出质疑、论证和改革。通过分析，排除不合适的方案或方案中不合适的部分，为改善、提高和评价做准备。综合与分析相互作用，当一种基本设想或方案产生后，接着就要分析它，找出改进方向。这个过程一直继续进行，直到这个设想或方案基本定型或被否定为止。

随着工业高度发展、人民生活水平的提高，迫切要求大幅度地提高机电一体化系统设计工作的质量和速度。因此，在机电一体化系统设计中推广和运用现代设计方法、提高设计水平，是机电一体化系统设计发展的必然趋势。现代设计方法与用经验公式、图表和手册为设计依据的传统的设计方法不同，它是以计算机为手段，其设计步骤通常如下：技术预测→信号分析→科学类比→系统分析设计→创造设计→选择设计方法（如相似设计法、模拟设计法、有限元法、可靠性设计法、动态分析法、优化设计法、模糊设计法等）→设计评价。由于设计概念的更新，现代机电一体化系统设计具有区别于传统设计的显著特征。

i. 现代设计的实践活动是由一定的设计原理和设计理论作指导，有意识地按照事（设计活动）、物（设计对象）自身的内在规律进行设计，不同于单纯依靠经验的传统设计。因此，必然能够获得很高的设计成功率。

ii. 现代设计致力于澄清设计任务与设计目标，全面系统地确定设计过程的起始条件和最终结果。因此，可以使设计过程始终从实际出发，达到预定的目标，取得优于传统设计的结果。

iii. 现代设计十分重视设计策略和战略过程的研究，建立一种合理的设计秩序，并且严格按照规范化的设计进程进行，获得较高的设计质量和效率。

iv. 现代设计特别强调抽象的设计构思，防止过早地进入某一已经定型的实体结构的分析，以便对系统的工作原理和结构关系做出本质的、创新的设计构思。

v. 现代设计经常采用扩展性的设计思维，始终在寻求多种可行的方案中构思，以便从中选择确定能够令人满意的解决方案，改变传统设计中惯用的封闭式的设计思维和忽视方案

搜索的现象,达到较高的满意程度。

vi. 现代设计十分强调评价决策,尽量避免直接决策,排除决策中的主观因素,使决策中选定的设计方案达到最佳的价值水平。

vii. 现代设计采用结构优化设计,对结构形式、技术参数和技术性能,进行各种不同性质的优化设计,获得综合优化的效果。

viii. 现代设计重视运用计算机辅助设计,使设计人员从繁重的设计作业中解放出来,致力于创造性的设计研究并提高设计质量。

ix. 现代设计注重系统地进行概念设计,采用特殊形式表达设计结果。

2.2 系统设计的评价分析方法

机电一体化系统或产品设计方案的可性,设计水平的高低和质量的优劣,从以下方面进行分析评价。

① 工效实用性 一般用系统总体技术指标的形式提出,如产量、容量、质量、功率、精度、效率等。

② 系统可靠性 指系统在预定时间内,在给定工作条件下,能够正常工作的概率。对机械系统来说,目前缺乏可靠性数据时,仍沿用以疲劳强度为基础的安全系数来指明无限寿命或有限寿命下的安全程度。

③ 运行稳定性 当系统的输入量发生变化或受干扰作用时,输出量被迫离开原稳定值,过渡到另一个新的稳定状态的过程中,输出量是否发生超过规定限度的现象,或发生非收敛性的状态,是系统稳定或不稳定的标志。系统稳定性设计指标有过渡过程时间、超调量及振荡次数、上升时间、滞后时间及静态误差等。

④ 操作宜人性 在进行评价之前,必须建立评价的指标体系,这样才能使得评价过程有的放矢。评价指标对评价结果有重要影响,如果指标体系确定不当,甚至可得出与实际不符的结论。如汽车驾驶室内的操纵装置包括手操纵装置(转向盘、变速杆、手制动、旋/按钮、开关等)和脚操纵装置(制动踏板、离合踏板、油门踏板),参照 GB/T 14475—1993《操纵器一般人类工效学要求》,其宜人性设计的评价指标为操纵装置的形状、大小、安装位置、操纵力、操纵位移、运动方向、显示操纵比及操纵装置编码。

⑤ 人机安全性 进行汽车内部空间设计时,在人和车有可能发生干涉的地方都应该合理设计,确保乘坐舒适性和撞车安全性。为此,设计时应为驾驶员坐在座椅上时头部、膝部等留有一定空间,以便于操作和防止撞车时驾驶员受伤害。

⑥ 环境无害性 由于机电一体化系统或产品的种类繁多,对环境无害性的要求也各不相同。因此,环境宜人性的一般评价指标为振动、噪声、湿热条件、色彩与照明。

⑦ 技术经济性 具有两个作用,一是评价比较一次投资变为系统或产品时,不同设计方案的经济性;二是评价比较保持系统或产品正常运行时,资源利用的合理性和运行费用的经济性。

⑧ 结构工艺性 系统或产品的结构设计,必须满足制造、加工、装配、安装调试等工艺要求,便于运输、施工、维修等作业要求。

⑨ 造型艺术性 机电一体化产品造型艺术性是通过其形、色、质等造型元素的合理运用来实现的,应充分反映现时代美学与设计特征。

⑩ 成果规范性 设计结果必须遵守国家政治经济法规,符合国家规定的技术规范和法