



21 世纪工程技术新型教程系列

21 世纪工程技术新型教程系列

机电一体化

(日) 高森 年 编著

机电 一体化

〔日〕高森 年 编著

本系列为日本名牌大学面向 21 世纪教育改革成果

薄

最薄的大学专业系列教材。易于讲授

精

内容充实精要，结构紧凑。易于学习

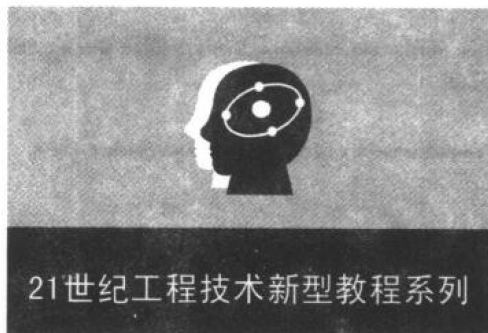
新

反映理论与实用技术的最新发展。易于成才

科学出版社

OHM社





机 电 一 体 化

〔日〕 高 森 年 编 著
赵 文 珍 译
张 幼 军 校

科 学 出 版 社 OHM 社
2001

图字:01 - 2000 - 1538 号

Original Japanese edition

Shinsedai Kougaku Shirizu: Mekatoronikusu

Edited by Toshi Takamori

Written by Toshi Takamori, Koujiro Shimamoto, Shuujirou Douta, Ichirou Kimura, Sadao Akishita and Seiji Aoyagi

Copyright © 1999 by Toshi Takamori

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

新世代工学シリーズ

メカトロニクス

高森 年 オーム社 1999 第1版 第1刷

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化/[日]高森 年编著;赵文珍译. - 北京:科学出版社,2001.1

(21 世纪工程技术新型教程系列)

ISBN 7-03-008923-5

I. 机… II. ①高…②赵… III. 机电一体化-基本知识 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 76242 号

3P27/33 IV

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2001 年 1 月第一次印刷 印张: 9 1/4

印数: 1—4 000 字数: 145 000

定 价: 18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

丛书序

主编 樱井良文

现在,很多大学正在进行学部、学科的重组,以研究生培养为重点,引入学期制,采用新的课程体系和不断深入的教育计划改革,特别是由于学期制教育的引入,使得原来以分册编写的教材在一个学期的教学中很难消化。因此,各学校对“易教”、“易学”的教材需求越来越迫切。

《21世纪工程技术新型教程系列》是面向通信、信息,电子、材料,电力、能源,以及系统、控制等多学科领域的新型教程系列。这些教程均由活跃在各学科领域第一线的教授任主编,由年轻有为的学者执笔,内容丰富,有利于对学科基础的理解。版面设计时为学生留出了写笔记的空间,是一种可以兼作笔记,风格别致的教科书。

希望肩负新世纪工程技术领域发展重任的青年读者们,通过本教程系列的学习,建立扎实的学科基础,在实践中充分发挥自己的应用能力。

21世纪工程技术新型教程系列编辑委员会

主 编

樱井良文 大阪工业大学校长
大阪大学名誉教授

副主编

西川祯一 大阪工业大学信息科学部学部长
京都大学名誉教授

编委(按姓氏笔画顺序)

广濑全孝	广岛大学教授	井口征士	大阪大学教授
木村磐根	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	仁田旦三	东京大学教授
白井良明	大阪大学教授	西原 浩	大阪大学教授
池田克夫	京都大学教授	滨川圭弘	立命馆大学副校长 大阪大学名誉教授

译者序

机电一体化是一门以多种学科为基础的综合学科,从某种意义上讲,机电一体化及其相关技术的研究已成为工科的一个核心课题。目前,关于机电一体化技术的书籍虽然很多,但真正能够帮助读者迅速而全面地掌握机电一体化的经典著作并不多见。

《机电一体化》是新世纪工科系列教材之一,与同类书籍相比,本书的主要特点是:

① 内容全面、新颖,组织得当。书中既完整阐述了机电一体化的基本概念和理论,又结合实例介绍了机电一体化技术的应用方法及其发展趋势。本书按机电一体化系统的四个组成部分及其接口等分章节组织内容,既适于初学者循序渐进地学习,又适于资深的机电一体化技术人员有选择地参阅。

② 深入浅出、易教易学。本书力求使读者迅速掌握机电一体化的全貌和精华部分,理论阐述简明扼要,应用实例新颖适用。各章都有学习指导,并附有习题及参考答案,便于读者自学。

本书可以作为高校工科学生的教材或参考书,也可供从事机电一体化方面的科技人员参阅。

在本书的翻译过程中,译者力图保持原著的写作风格,对原文中个别不妥之处和解释不够充分的地方作了适当的更正和补充,译文中的插图直接采用原图制版。

由于译者水平有限,时间仓促,译文中可能存在不妥和遗漏之处,谨请广大读者不吝指教。

译者

前言

通过在大学里进行机电一体化方面的教育研究,与对机械、电子、电气学科感兴趣的青年学生接触,发现他们的行为可以分为两种类型。一种类型是喜欢计算机的人,他们整天盯着显示器,废寝忘食地做一些事情。另一种类型是喜欢制作的人,他们整天在实验室里活动,组装、制作一些东西,与周围的朋友们一起交流心得或听取别人对自己成果的意见。

从表面上看,前一种人安静少动,可以说是好静的人。后一种人吵吵闹闹,活动范围很宽,可以说是好动的人。近来,好静的人越来越多,而好动的人越来越少,令人感到好动的人有被淘汰的可能。作者认为,一个人应该是有时能够动起来,有时能够静下来。机电一体化领域就需要这样的人才。

作者始终认为理科与创造万物的上帝相伴,而工科与人类及人类社会共存。工科以人类及人类社会为研究对象,探索事物是什么,应该如何去实现。同时,通过研究有用的课题对人类及人类社会做出贡献。可以认为,机电一体化技术及其相关的研究在这种意义上,已成为工科中的一个核心课题。其中最有代表性的就是机器人产品和对机器人技术的研究项目。

很早以前,人们对机器人工程学和机电一体化技术就有了一定的认识。大约 20 年以前,测试自动控制学会会志记载的对机器人技术的未来预言中就指出,21 世纪初管理控制型智能机器人将达到普及的程度。按照常识,90% 以上的未来预言都不能实现。如果预言实现的话,现在不仅在第一产业,而且在第三产业中智能机械已经广泛应用了。实际上,机器人工程学和机电一体化技术的研究开发也不景气,处于停滞不前的状态。作者认为这种停滞的根本原因是人类疏于研究的结果。人类社会接受机器人的最低条件是对人类没有危害,从这种意义讲,仅就使机器人具有智能性这一点,现在也没有完全成功。

同人类研究一样,发展这些机电一体化技术才是工科的方向。在这种意义上,第二种类型的人才减少,脱离现实地一味向第一种类型人才倾斜的倾向,可能是这些工科领域中存在的大问题。

编者、著者简历

高森 年

1967 年 神户大学研究生院工
学研究计量专业毕业
1976 年 工学博士
现 在 神户大学工学部信息
知能工学专业教授

島本 幸次郎

1959 年 早稻田大学理工部机
械工学专业毕业
1992 年 工学博士
现 在 福井工业大学工学部
机械工学专业教授

堂田 周治部

1974 年 冈山大学研究生院工
学研究专业硕士毕业
1990 年 工学博士
现 在 岡山理科大学工学部
机械工学专业教授

本村 一郎

1972 年 神户大学研究生院工
学研究专业硕士毕业
1983 年 工学博士
现 在 大阪电气通信大学工
学部电子机械工学专
业教授

秋下 贞夫

1961 年 京都大学工学部航空
工学专业毕业
1980 年 工学博士
现 在 立命馆大学理工部机
械工学专业教授

青柳 诚司

1988 年 东京大学研究生院工
学系研究专业硕士毕
业
1994 年 工学博士
现 在 关西大学工学部管理
工学专业副教授

目 录

第 1 章 机电一体化的学习方法	1
1.1 由读者自己想象	1
1.2 本书的编写目的	2
1.3 本书面向的对象	2
1.4 本书的内容与学习方法	2
第 2 章 机电一体化系统的组成与实际应用	5
2.1 什么是机电一体化	5
2.2 机电一体化特点	7
2.3 机电一体化系统的组成	7
2.3.1 机械部分(机构要素)	8
2.3.2 执行装置(能量转换要素)	10
2.3.3 传感器(检测要素)	10
2.3.4 控制装置(控制要素)	10
2.4 机电一体化系统的实例	10
2.4.1 电子调速器	11
2.4.2 汽车的电子化(微机控制)	12
2.4.3 磁性条形码识别装置	13
2.5 机电一体化系统的规划和设计方法	17
2.5.1 机电一体化系统的规化	17
2.5.2 机电一体化系统的设计	19
练习题	21
第 3 章 执行装置的构造及其使用方法	23
3.1 什么是执行装置	23
3.1.1 执行装置及其分类	23
3.1.2 执行装置的基本动作原理	23
3.1.3 执行装置的特点与性能	25
3.2 电动执行装置	28
3.2.1 直流伺服电机	28
3.2.2 交流伺服电机	29
3.2.3 步进电机与直接驱动电机	31

3.3 液压与气动执行装置	35
3.3.1 液压执行装置	35
3.3.2 驱动方式与液压控制阀	36
3.3.3 气动执行装置及控制阀	37
3.4 机械传动机构	40
3.4.1 齿轮与减速机构	40
3.4.2 同步齿型带与带传动机构	41
3.4.3 其他传动机构	42
3.4.4 阻抗匹配	43
3.5 执行装置的应用实例	43
3.5.1 飞行模拟器	44
3.5.2 工件输送系统与光伺服系统	45
练习题	47

第4章 检测的功能与实际应用

49

4.1 检测的概念	49
4.2 位移、角度、距离的测量	50
4.2.1 电位器	50
4.2.2 差动变压器	51
4.2.3 电容式传感器	51
4.2.4 旋转编码器	52
4.2.5 超声波传感器	53
4.3 速度和加速度的测量	54
4.3.1 测速发电机	54
4.3.2 空间滤波器	55
4.3.3 利用相关法的速度传感器	57
4.3.4 多普勒速度计	57
4.3.5 加速度传感器(地震仪式拾振器)	58
4.4 力和扭矩的测量	60
4.4.1 电阻应变法	60
4.4.2 压电元件	61
4.5 利用图像检测	62
4.5.1 视觉流	62
4.5.2 视觉反馈控制	63
4.6 检测数据的处理方法	65
4.6.1 模拟信号处理	65
4.6.2 数字信号处理	68
练习题	69

第 5 章 控制系统设计	71
5.1 控制系统设计的预备知识	71
5.1.1 设计步骤	71
5.1.2 现代控制系统简介	73
5.2 状态方程的推导	78
5.3 传递函数	81
5.4 反馈控制系统的设计	83
5.4.1 调节器与伺服系统	83
5.4.2 控制系统的设计目标	84
5.4.3 PID 调节控制	84
5.4.4 调节器	86
练习题	92
第 6 章 控制器与接口的实际应用	95
6.1 伺服电机控制器的组成	95
6.1.1 伺服放大器的概念	96
6.1.2 速度控制型伺服放大器的内部组成	96
6.1.3 控制器的概念	96
6.1.4 外部装置与接口	101
6.2 个人计算机的组成	101
6.2.1 个人计算机的电路构成	101
6.2.2 CPU 的构造与功能	101
6.2.3 地址总线与数据总线	103
6.2.4 I/O 端口与接口	103
6.2.5 I/O 端口电路及接口软件	104
6.2.6 计时器中断	106
6.3 个人计算机与控制器的接口	109
6.3.1 用计数板检测旋转位置	109
6.3.2 光电耦合器输入与集电极开路输出	111
6.3.3 用 D/A 板输出速度指令	111
6.3.4 利用 DIO 板进行启动和报警信号处理	113
6.3.5 利用计数板实现计时器中断	113
6.4 用个人计算机控制伺服电机	117
6.4.1 实验装置简介	117
6.4.2 速度控制软件	117
6.4.3 以电机和伺服放大器为控制对象构成位置控制系统	117

6.4.4 位置控制软件与位置控制结果	119
6.5 工业机器人控制器的组成	122
6.5.1 机器人控制器的组成	122
6.5.2 各轴控制与末端位置控制	123
6.5.3 PTP 控制与 CP 控制	123
6.5.4 控制器内的控制程序	124
6.5.5 工业机器人的用户实时控制	125
练习题	128
练习题简答	129
参考文献	133

第 1 章

机电一体化的学习方法

在本书的读者中,有的可能从杂志和报纸等媒体上学到了一些预备知识,还有的可能一点预备知识也没有,起点知识水平可能有很大差距。但是,是不是有了预备知识就对学习进步有利,而没有预备知识就对学习进步不利呢?有了不充分的预备知识和不恰当的预备知识又会怎样呢?

一个人在开始认识一项新的事物时,应该处于什么状态最好,这是一个非常重要的问题。请读者回想一下自己以前能够充分理解或者清楚认识某项新事物时的情形,一般都是在开始之前大脑就处于某种兴奋 (exiting) 状态。在开始之前的热切期待的感觉就是这种状态。能够达到这种状态就达到了目的,与其学习没有用的预备知识,不如储备数百倍的能量。

在第 1 章里,为了使要学习机电一体化的读者能够达到这样一种兴奋状态,提出几项建议。

1.1 由读者自己想象

在作者年轻的时候,老师经常说:“愉快地读书并能够理解书中内容的诀窍就是积读。”老师所说的“积读”的意思就是把书买来,放在书桌上,一边看着标题一边想象书的目录,就这样想象两三天。如果书的目录与自己的想象一样,读书的欲望就会倍增。即使不一样,若是比自己想象的内容更好,读书的兴趣也会很高。若是比自己想象的内容要差,就会失去读书的兴趣。作者也希望读者能够用这种方式来读本书。

机电一体化是利用计算机的信息处理功能对机械进行各种控制的技术。当今世上只要是使人感觉到比较灵巧便利的机械,都是基于机电一体化技术制造的,这样的说法毫不过分。此外,机电一体化技术在家用电器、各种车辆、医疗器械、工厂、游乐园等各种领域、场所都得到了广泛的应用。因此,读者可以对自己感兴趣领域中的机械进行想象。比如,喜欢开车的人就可以对 ABS、自动换挡及气囊的构造展开想象。

1.2 本书的编写目的

现在(1998年8月),日本正在经历着从未有过的巨大变化,全国处于一种动荡状态。政治、经济、教育、外交等各个领域都在呼吁对现行做法的重新认识,甚至似乎还没有明确方向,就又提出了各种各样的新意见。变化和改革是必要的,但是不应全面否定和破坏我们已经建立起来的局面。

日本在战后的50年里,第二产业,即钢铁、机电、化工等基础产业处于经济活动的中心地位,与制造业相应的技术跃居世界第一位。但是,在所谓的泡沫经济破灭之后,面对美国信息产业的迅猛发展,人们开始否定至今已经建立起来的面向硬件技术制造业的人才培养模式,媒体不厌其烦地宣传日本面向信息产业的人才培养的滞后,因此出现了现在接受高等教育的优秀青年不约而同地选择信息学和计算机科学,而使日本制造业呈现出了后备人才不足的危险状况。这样一来,硬件技术与软件技术发展不平衡,必将导致对两者都很不利的严重后果。

为了适当扭转这种不利的局面,必须使青年一代理解机电一体化,并对其持有兴趣。在此基础上,进一步研究制造技术,也正是本书的编写目的。

1.3 本书面向的对象

对机电一体化有兴趣的读者,即使具有高等教育程度的数学、物理基础,阅读本书仍会有一些难懂的部分,但基本上应该能够理解70%~80%。对于在校学习机械、控制、测量系统、电气电子、信息通信、化学工程等相关学科专业的本科生、研究生以及相同领域的大专生来说,机电一体化可以看作是以各学科为基础的综合学科,因此他们学习起来比较容易。此外,对于在机电一体化相关产业工作的技术人员,本书也可以用作企业内初级技术人员培训的教科书。

1.4 本书的内容与学习方法

机电一体化系统可以认为是由计算机(头脑)、执行装置(肌肉)、机械传动机构(手足)有机结合而成的系统。在这里,作者认为通过本书开始学习机电一体化知识的读者,在学习时,应该①想象能够像人一样灵活运动的机械系统;②想象这样的系统是怎样构成的;③想象怎样才能够制造出这样的系统。只有在这种认识的基础上,才能够讨论高效率学习本

书的方法。

这里先概要介绍一下本书第2章至第6章的写作意图和所要阐述的内容。

△第2章——机电一体化系统的组成与实际应用

这一章,面向从未学习过机电一体化知识的读者,首先介绍机电一体化的基本概念,结合现有的几种机电一体化系统,对其构造、工作原理进行简要的说明。其次,介绍各制造厂家对现实应用的机电一体化系统的设计原则和设计步骤等。可以说,第2章叙述了第3章以后各章要学习的内容范围,以及组成机电一体化系统的功能要素。

因此,第2章是所有初学者必读的一章。

△第3章——执行装置的结构及其使用方法

这一章介绍机电一体化系统中输出机械能(即驱动物体运动所需要的能量)的执行装置,以及由其驱动的机械传动机构。这是机电一体化系统中的重要功能要素之一。在这一章里,首先介绍了执行装置的基本构成;其次,对各种具体执行装置的构造、工作原理、特点、特性、应用事例等进行了介绍;最后,介绍作为执行装置的驱动对象的机械传动机构。

△第4章——检测的功能与实际应用

机械系统要实现与人类相近的功能,本身就必须能够对各种信息进行多种判断。譬如,对于某一个生产工厂中的零件自动输送系统,要求该系统能够在无人操作的条件下,将某一工位上的工件输送到下一工序的指定工位上。这个输送系统必须能够在给定的两个工位上作出正确的停止判断。在工件装载完成时刻,还要能够迅速作出开始运动的判断。如果没有来自各种传感器的信息,要实现这些判断是不可能的。

在这一章中,将重点介绍测量位移、速度、力等物理量的传感器,以及在机电一体化系统中不可缺少的机械量检测系统。

△第5章——控制系统设计

在机电一体化系统中,所有动作的命令都是由计算机发出的。计算机就相当于人的“大脑”。执行装置的一切运动都是按照来自计算机的指令进行的。此外,计算机还要读取系统中各部分的信息,并以此为基础作出各种判断。这就是说,所有来自各传感器的信息都要按照计算机的指令进行输入,作为计算机判断、决策的依据。但是,要使机电一体化系统中的计算机具有这样的功能,就必须使计算机具有类似人类“大脑”的功能(即知识和智能)。为此,就要给计算机安装软件。机电一体化系统中的软件种类很多,不同功能的系统需要不同的软件。其中,基于控制理论设计的“控制系统”方面的程序,是机电一体化系统的计算机必须安装的重要软件之一。

在这一章中,首先介绍控制理论的基础知识,同时阐述控制系统的设计步骤;其次,对于作为控制对象的具体系统,介绍建立模型的方法;最后,介绍利用控制系统设计软件包进行控制系统设计的实例以及控制仿真的结果。

△第6章——控制器与接口的实际应用

从第3章到第5章,分别介绍了机电一体化系统中相当于人体的“手足”、“感官”和“大脑”等部分。在机电一体化系统中,必须使这些部分能够有机、协调地进行工作。要实现这种目的,就必须具有将上述各种功能元素连接起来的硬件接口装置。此外,执行装置并不能直接接受来自计算机的指令进行工作,还必须具有将指令信息进行功率放大的特殊接口装置。如果用人体来比拟的话,可以说,接口装置就相当于人体中传递信息和能量的神经系统和血管系统。

在这一章里,以计算机硬件的组成和功能为核心,介绍输入输出接口、执行装置用的伺服放大器等装置的工作原理。并且,作为最后一章的总结,将介绍具体控制系统的控制器设计实例及其应用结果。

以上述各章内容为基础,下面推荐高效率学习和掌握本书的方法和步骤:

① 对于刚开始学习机电一体化的读者,建议按如下顺序学习:

第2章,第3、4、5章,第6章(其中3~4章的学习顺序可任意)

② 对于已经具有部分机电一体化方面知识的读者:

最好按照第1点建议的顺序学习本书。也可以在学习第2章和第6章的基础上,根据自己已经掌握知识的情况,对其余各章进行选读。

第 2 章

机电一体化系统的组成与实际应用

在这一章里,首先介绍“机电一体化”一词的来源及其定义,说明近年来机电一体化技术得到迅速发展的原因。其次,在讨论机电一体化特征的基础上,对机电一体化系统按四要素进行分类,并利用图示来说明各要素之间的关系。接着,将电子调速器、汽车发动机控制单元、磁性条形码等作为机电一体化技术的应用实例,分别通过图示进行介绍。最后,对于机电一体化系统的规划方法和设计方法,从一般情况和通用工业机器人的实例两个方面进行阐述。

2.1 什么是机电一体化

机电一体化(mechatronics)一词是机械(mechanics)和电子(electronics)两个词的合成词,20 世纪 70 年代中期由日本首先开始使用,现在已得到欧美各国的普遍认同,并得到广泛使用。虽然其精确定义还不明确,但从广义上可以简要概括为“机械工程与电子工程相结合的技术,以及应用这些技术的机械电子装置”。再简单地说就是“机械的电子化或者机械电子工程”的意思。

顾名思义,机电一体化就是机械技术与电子技术相结合的产物。近年来,随处可见许多以前仅由机械结构实现运动的装置,通过与电子技术相结合而得到显著改进和提高了的实例。在这里,取机电一体化的广义概念,按表 2.1 所示进行分类并举例。

- (a) 原来仅由机械机构实现运动的装置,通过与电子技术相结合来实现同样运动的新的装置。
- (b) 原来由人来判断和操作的设备,变为由机器进行判断实现无人操作的设备。
- (c) 按照人类所编制的程序实现灵活运动的设备。其中像数控(NC)机床和机器人这样的典型例子可以举出许多。

同“机电一体化”一词的短暂历史一样,机电一体化产品和技术也是在最近一二十年内产生并迅速发展起来的。

表 2.1 机电一体化的实例

(a) 原来由机械实现动作的装置 → 与电子技术相结合实现动作的装置	
发条式钟表	→ 石英钟表
手动照相机	→ 自动(微机控制)照相机
机械式缝纫机	→ 电动(电子式)缝纫机
手动(机械式)游戏机	→ 电动(电子式)游戏机
机械式调速器	→ 电子式调速器
(b) 原来由人来判断决定动作的装置变为无人操作的装置	
自动售货机、银行等部门使用的自动出纳机(ATM)、车票的自动售票机、自动剪票机、邮局的自动分检机、无人仓库的出库机、船舶及飞机的自动导航装置、预防碰撞装置等等	
(c) 按照人编制的程序来实现灵活动作的装置	
数控(NC)机床、工业机器人、智能机器人、各种机器人等等	

下面讨论一下支撑机电一体化的学科与技术。按照上述机电一体化一词的定义,机械工程学科和电子工程学科是机电一体化的两个支柱。但除此之外,机电一体化还是控制工程和信息工程学科等的多学科综合技术。图 2.1 所示的是构成和支撑机电一体化的学科和技术。

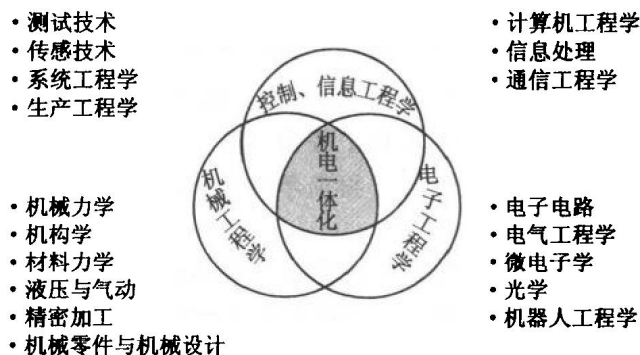


图 2.1 构成机电一体化的学科

考察近年来机电一体化技术迅速发展的原因,可以归纳为如下几个方面:

- ① 半导体和集成电路技术的不断发展和价格越来越低。
- ② 计算机及其编程语言和应用技术的进步。
- ③ 控制技术和仿真技术的不断发展。
- ④ 小型化、功能强的传感器和执行装置的进步等。

由于上述各个方面今后还将不断发展,所以可以预见机电一体化将还会有很广阔的发展前景。