



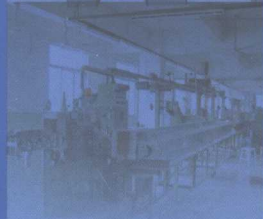
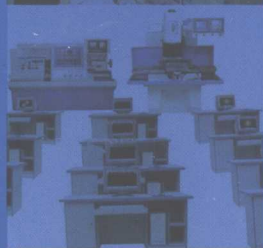
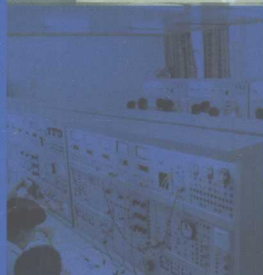
国际制造业先进技术译丛

机电一体化导论

(美) 罗伯特 H. 毕夏普 主编

(Robert H. Bishop)

方建军 译



国际制造业先进技术译丛

机电一体化导论

(美) 罗伯特 H. 毕夏普 (Robert H. Bishop) 主编
方建军 译



机械工业出版社

本书是阐述机电一体化技术的导论性读物。全书共由 21 章内容组成, 几乎涵盖了机电一体化领域的物理建模、信号处理、传感器与执行器、计算机系统与接口技术、控制技术、系统设计与优化、软件开发和先进的 MEMS 技术。各章内容均用通俗易懂的语言, 深入浅出地介绍相关主题的技术概况、开发方法和开发工具, 帮助读者从总体上把握机电一体化技术的发展态势和脉络。

本书适于机电一体化专业的技术人员阅读, 也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

**Assembly Processes: Finishing, Packaging, and Automation 2ed Edition/by Richard Crowson/
ISBN: 978-0-8493-6358-0**

Copyright@ 2006 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All right reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版由机械工业出版社独家出版并在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2007-5389

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化导论/(美)罗伯特 H. 毕夏普(Robert H. Bishop)主编; 方建军译. —北京: 机械工业出版社, 2009. 4

(国际制造业先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-26384-5

I. 机… II. ①罗…②方… III. 机电一体化 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 025017 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 黄丽梅 责任编辑: 庞 晖 版式设计: 霍永明
责任校对: 陈延翔 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20 印张 · 385 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26384-5

定价: 70.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379770

封面无防伪标均为盗版

译 丛 序 言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自

动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到，我国制造业与工业发达国家相比，仍存在较大差距。因此必须加强原始创新，在实践中继承和创新，学习国外的先进制造技术和经验，提高自主创新能力，形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更远一些，唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式，早在20世纪初期，我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，图书是一个海洋，虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段，但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性，看书总比在计算机上看资料要方便，不同层次的要求可以参考不同层次的图书，不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书，同时它具有比较长期的参考价值 and 收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，翻译的质量也是个关键问题，需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献，为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源，翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作，从而能够提升我国制造业的自主创新能力，引导和推进科研与实践水平不断进步。

三、选择严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书，在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量，力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担，充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书，组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性，应能代表相

关专业的技术前沿，对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业，例如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者序

机电一体化是电气工程、计算机科学、先进控制技术和信息技术向机械工程领域不断渗透而形成的一门多学科交叉、融合的边缘学科。自20世纪70年代以来,机电一体化技术得到了迅速发展,各国争先恐后地将其列为高新技术产业。从某种意义上讲,机电一体化技术的发展水平代表着一个国家的综合技术实力。

技术的竞争,本质上就是人才的竞争。培养具有机电一体化设计思维、具有多学科知识的复合型人才,是各国高等学府所面临的重要课题。20世纪80年代,世界各国的工科大学相继开设了机电一体化课程。有些大学还设立了机械电子工程的学士、硕士和博士学位,形成比较完备的人才培养体系。从本书遍布世界的撰稿人来看,机电一体化已经渗透到世界的各个角落,成为一种生活方式。为了配合人才培养,出版了各种各样的机电一体化教材和著作。有的教材侧重于机电一体化单元技术和产品的具体设计,有的教材则侧重于从总体上介绍机电一体化技术和设计方法而不拘泥于具体技术的实现细节。不同的教材针对不同的读者群。本书属于导论性教材,对于那些想了解机电一体化总体概况而又不拘泥于具体技术的读者来说,是一本不错的读物。

本书作者都是在机电一体化领域卓有成就、来自世界著名学府的学者。他们处于机电一体化教学和科研的第一线,具有丰富的理论知识和实践经验。根据译者多年从事机电一体化教学和科研的经验以及翻译本书的体会,认为本书具有以下几个主要特色:

(1) 内容新而全 同其他机电一体化教材显著不同的是,本书介绍了微机电一体化系统MEMS的最新技术、建模方法和开发资源。读者从中可以快速了解到该领域的最新发展、建模方法、工具和可供利用的资源。同时,本书内容也覆盖传统机电一体化技术的各个方面,如传感器和执行器、微处理器和微控制器、接口技术、计算机软件技术、控制技术、机电一体化建模和优化设计等。内容新而全是本书的一个重要特色。

(2) 结构编排松而不散 本书以专题的方式介绍机电一体化。读者可以从头读到尾,也可以阅读自己感兴趣的章节。本书各章节的内容之间的耦合度不强,不会影响读者的选择性阅读。

(3) 内容表述通俗易懂 本书是导论性读物,在内容的组织和表述上简洁、

明快，读者阅读起来不会很吃力。

以上只是译者的管见。读者通过阅读本书，或许也能体会到这些，甚至是更多的特点。译者在翻译本书时，力求忠实于原著，但也照顾到汉语的表达习惯和国内机电一体化发展的特点。本书出现了很多国外作者的名字，为了照顾读者的阅读习惯，将正文出现的外国人名，按照国内译名原则进行翻译。但是，对于出现在引用文献中的人名，则原封不动地照搬过来，目的是便于读者按图索骥地查阅引用文献。

本书由北方工业大学机电工程学院方建军翻译，参与翻译工作的人员还有齐晶、肖克先、莫妙桃、常永超、叶林、窦海斌、王春丽、曾锦翔、刘秀红、肖中凯、李惠平等。殷际英教授对本书的翻译工作给予了精心指导，提出了中肯的修改意见和建议。衷心感谢机械工业出版社的黄丽梅编辑，她为本书的出版付出了辛勤的劳动。感谢家人的关怀和照顾，使本书的翻译能够顺利地完成。

由于译者的水平有限，书中可能存在错误和疏漏，敬请广大读者批评指正。

译者

前 言

根据日本安川电气公司给出的原始定义和曾经出现过的定义，过去三十年间设计和制造的许多工程产品都可以归类为机电一体化系统，因为这些产品在机械系统中集成了电气系统。在安川电气公司的商标申请文件中，这样定义了机电一体化系统：

机电一体化 (*Mechatronics*) 这个术语是由机械学 (*Mechanics*) 的词头 “Mecha” 和电子学 (*Electronics*) 的词尾 “tronics” 拼凑而形成的一个新词。换句话说，未来的技术和产品设计将把机械装置和电子装置更加紧密、有机地融合在一起，很难看出机电一体化产品是机械装置和电子装置的简单组合。

如今的机电一体化如何发展？微型计算机、嵌入式计算机的出现，相关信息技术和软件的发展引发了机电一体化的重大进步。以汽车为例，在汽车设计的早期阶段，收音机是汽车内惟一重要的电子产品。其他所有功能都完全是靠机械或电气装置来实现。如今，在一辆汽车中大约有 30 ~ 60 个微控制器。可以预期，今后为即插即用机电一体化子系统设计模块化装置的动力会越来越强。

本书介绍了机电一体化的活跃领域。随着工程学各个不同分支和计算机科学之间的传统划分变得越来越不清晰，尽管大多数工科大学的传统组织体系并没有发生改变，但机电一体化专业仍为现代工科学生提供了学习的风向标。机电一体化实验室和大学班级正在遍布全球。本书作者来自世界不同地方，这一点也证明了机电一体化的普及。

本书所使用的素材在 CRC 出版社和仪表、系统与自动化协会共同出版的《机电一体化手册》中有更加详细和完整的表述。《机电一体化手册》为学术界、政府部门和工业领域的研究和设计部门提供参考资料，同时还被大学图书馆收藏。另外，该手册还为试图了解和解释工程设计方法的学者提供资料。《机电一体化手册》的发行成功使作者产生了出版一本内容精简的著作的想法。对于想了解机电一体化技术概貌的读者来说，本书就是为他们而编写的。

本书的结构体系

本书由 21 篇文章组成，涵盖了机电一体化的主要内容 (见图 1)：

a. 物理系统建模

- b. 传感器和执行器
- c. 信号与系统
- d. 计算机与逻辑系统
- e. 软件与数据采集

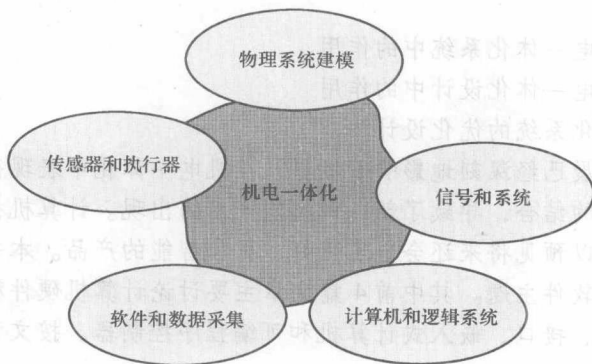


图1 机电一体化的主要内容

本书的前5篇文章定义、构思了机电一体化。这些文章介绍了机电一体化的关键内容。按文章的先后顺序排列，分别是：

- 什么是机电一体化？
- 机电一体化的设计方法
- 系统接口、检测仪表和控制系统
- 基于微处理器的控制器和微电子学
- 微、纳米技术导论

机电一体化的主要内容之一是物理系统建模。接下来的3篇文章讨论了大多数机电一体化系统中基础机械和电气元件的数学模型，包括微机电系统(MEMS)和传统机电系统的一些重要主题。按文章的先后顺序排列，分别是：

- 机电系统建模
- MEMS建模与仿真
- 物理系统模型类比的物理基础

再接下来的3篇文章总结了机电一体化的传感器和执行器的主要内容。这部分内容以介绍传感器和执行器的文章开始，以讨论重要的时间和频率、传感器和执行器特性为主题的文章结尾。按照文章的先后顺序排列，分别是：

- 传感器和执行器导论
- 时间和频率的基本原理
- 传感器和执行器的特性

信号与系统是任何机电一体化系统的关键部分。控制系统和构成智能产品的

其他子系统也包括在这个总的研究领域。因为读者很容易获取信号与系统的一般性材料，在此就不再重复。相反地，下面的一组文章将介绍信号与系统中对于学习机电一体化特别重要的相关主题。文章首先讨论了控制和模型在机电一体化和机电一体化设计中的作用，然后讨论设计优化。按照文章的先后顺序排列，分别是：

- 控制在机电一体化系统中的作用
- 建模在机电一体化设计中的作用
- 机电一体化系统的优化设计

计算机的发展已经深刻地影响着世界，在机电一体化中表现得尤为突出。计算机与机电系统的结合，导致了新一代智能产品的出现。计算机技术和软件工程的不断进步，可以预见将来还会出现更好、更加智能的产品。本书最后的7篇文章讨论计算机和软件主题。其中前4篇文章主要讨论计算机硬件和与之相关的逻辑、通信、网络、接口、嵌入式计算机和可编程序控制器。按文章的先后顺序排列，分别是：

- 计算机与逻辑系统导论
- 系统接口
- 通信和计算机网络
- 嵌入式计算机和可编程序控制器的控制

由于计算机在现代机电一体化产品中起着核心作用，了解数据是怎样采集的以及如何将其送到计算机中进行处理和存储是非常重要的。最后3篇文章的重点放在计算机软件和数据采集。按文章先后顺序排列，分别是：

- 数据采集导论
- 基于计算机的仪器系统
- 软件设计与开发

鸣谢

我想对所有参与编写本书的作者表示衷心的感谢，谢谢他们从紧张而忙碌的日程安排中抽出时间，参与撰写和修订本书的优秀文章。我还想感谢《机电一体化手册》的顾问组成员在撰写该手册时所给予的帮助，而该手册正是这本书的蓝本。

本书是协同合作的结果，与CRC出版社的有效管理是分不开的。感谢出版社的编辑和发行人员，他们是：

采编 劳拉·康罗布卡

责任编辑 米歇尔·布索

编辑 苏珊·福克斯

感谢我的朋友和合作教授理查德·C. 道夫教授的大力支持和指导。最后，要特别感谢负责本书手稿收发任务的琳达·毕夏普女士，她的组织才能对顺利完成本书很有帮助。

主编 罗伯特 H. 毕夏普

主 编 简 介

罗伯特 H. 毕夏普博士是美国德克萨斯大学奥斯汀分校航空工程与工程力学教授, Myron L. Begeman 工程协会会员。他在德克萨斯 A&M 大学获得航空工程专业学士和硕士学位, 在莱斯大学获得电子与计算机专业博士学位。在加入德克萨斯大学之前, 他是麻省理工大学(MIT)查理·史塔克·德雷伯实验室的技术员。毕夏普博士是行星探测领域的专家, 其专长是航空器制导、导航和控制。目前在与美国国家航空航天局(NASA)约翰逊空间中心和喷气推进实验室合作, 研究在火星上精准着陆的技术。毕夏普博士是一位活跃的研究人员, 发表和合作发表 50 余篇期刊和会议论文, 两次入选波音公司 NASA 喷气推进实验室教职研究员和 Welliver 教职研究员。毕夏普博士与 R. C. 道夫教授合著《现代控制系统》, 与他人合著《学习 LabView》和《基于 Matlab 和 Simulink 的现代控制系统设计与分析》。最近还获得美国工程教育家协会和美国航空航天协会颁发的约翰利兰艾伍德奖, 该奖定期授予“为航空教育作出突出和永久贡献的领导者”。

撰 稿 人

M. 安贾纳帕

马里兰大学巴尔的摩分校
巴尔的摩，马里兰州

伊万·多尔扎尔

利贝雷茨技术大学
利贝雷茨，捷克

埃里克 J. 巴特

范德比尔特大学
那什维尔，田纳西州

克里斯·福勒

美国国家仪器公司
奥斯汀，德克萨斯州

彼得 C. 布依维尔德

特文特大学
恩斯赫德，荷兰

米歇尔·戈德法布

范德比尔特大学
那什维尔，田纳西州

托马斯·布热齐纳

布尔诺技术大学
布尔诺，捷克

玛格丽特 H. 汉密尔顿

汉密尔顿技术有限公司
剑桥，马萨诸塞州

凯文·克勒格

伦斯勒理工学院
特洛伊，纽约州

内维尔·霍根

麻省理工学院
剑桥，马萨诸塞州

杰西·科蒂斯

美国国家仪器公司
奥斯汀，德克萨斯州

里克·霍姆克斯

普渡大学
科柯莫，印第安纳州

K. 达塔

马里兰大学巴尔的摩分校
巴尔的摩，马里兰州

默罕默德·耶里亚斯

佛罗里达亚特兰大大学
布卡拉顿，佛罗里达

鲁夫·伊萨尔曼
达姆施塔特工业大学
达姆施塔特, 德国

休·杰克
伟谷州立大学
大瀑布城, 密歇根州

杰弗里 A. 捷努科奥
圣托马斯大学
圣保罗, 明尼苏达州

J. 卡图皮特雅
新南威尔斯大学
悉尼, 澳大利亚

西提瑞德·卡托齐福尔
布尔诺技术大学
布尔诺, 捷克

米歇尔 A. 拉姆巴迪
国家标准和技术研究所
博尔德, 科罗拉多州

弗朗西斯 C. 沐恩
康奈尔大学
伊萨卡, 纽约州

翁德拉·诺瓦克
利贝雷茨技术大学
利贝雷茨, 捷克

塞斯米尔·昂德鲁瑟克
布尔诺技术大学
布尔诺, 捷克

卓伊·帕克尔
阿拉巴马大学
土斯卡鲁沙, 阿拉巴马州

卡拉·普尔蒂
辛辛那提大学
辛辛那提, 俄亥俄州

M. K. 纳玛萨布安妮
北卡罗莱纳州立大学
罗利, 北卡罗莱纳州

T. 宋
马里兰大学巴尔的摩分校
巴尔的摩, 马里兰州

安德鲁·斯特林
伟谷州立大学
大瀑布城, 密歇根州

艾尔文·斯特劳斯
范德比尔特大学
那什维尔, 田纳西州

弗莱德·斯托弗
伦斯勒理工学院
特洛伊, 纽约州

M. J. 托顿
新南威尔斯大学
悉尼, 澳大利亚

杰布·范·阿梅尔隆根
特文特大学
恩斯赫德, 荷兰

目 录

译丛序言

译者序

前言

主编简介

撰稿人

第 1 章	什么是机电一体化	1
第 2 章	机电一体化的设计方法	13
第 3 章	系统接口、检测仪表和控制系统	31
第 4 章	基于微处理器的控制器和微电子学	46
第 5 章	微、纳米技术导论	54
第 6 章	机电系统建模	68
第 7 章	MEMS 建模与仿真	85
第 8 章	物理系统模型类比的物理基础	105
第 9 章	传感器和执行器导论	117
第 10 章	时间和频率的基本原理	132
第 11 章	传感器和执行器的特性	152
第 12 章	控制在机电一体化系统中的作用	167
第 13 章	建模在机电一体化设计中的作用	185
第 14 章	机电一体化系统的优化设计	197
第 15 章	计算机与逻辑系统导论	213
第 16 章	系统接口	226
第 17 章	通信和计算机网络	242
第 18 章	嵌入式计算机和可编程序控制器的控制	257
第 19 章	数据采集导论	271
第 20 章	基于计算机的仪器系统	275
第 21 章	软件设计与开发	280

第 1 章

什么是机电一体化

罗伯特 H. 毕夏普	1.1 基本定义	1
德克萨斯大学奥斯汀分校	1.2 机电一体化的关键元素	3
M. K. 纳玛萨布安妮	1.3 历史回顾	4
北卡罗莱纳州立大学	1.4 作为机电一体化系统的汽车的发展	7
	1.5 什么是机电一体化？其未来的发展如何？	10

机电一体化是现代工程设计发展过程中的必然阶段。随着计算机的发展以及微型计算机、嵌入式计算机和相关信息技术、软件的进步，20 世纪后半叶出现机电一体化是历史的必然。21 世纪初，机电一体化将集成生物机电系统、量子计算机、微纳米系统以及其他不可预见的技术，相信机电一体化的未来是光明的，潜力是巨大的。

1.1 基本定义

自从日本安川电气公司最早定义机电一体化以来，机电一体化的定义又有了很多改进。在安川电气公司商标应用文档中，这样定义机电一体化^[1,2]：

机电一体化 (Mechatronics) 这个术语是由机械学 (Mechanics) 的词头 “Mecha” 和电子学 (Electronics) 的词尾 “tronics” 拼凑而成的一个新词。换句话说，未来的技术和产品设计将把机械装置和电子装置更加紧密、有机地融合在一起，很难看出机电一体化产品是机械装置和电子装置的简单组合。

安川电气公司给出机电一体化的最初定义后，机电一体化的定义又得到了发展。1996 年，Harashime、Tomizuka 和 Fukada 也给机电一体化下了定义^[3]：

在工业产品的设计、制造以及生产过程中，机械工程和电子学、智能计算机控制的相互作用和融合。

同年，Auslander 和 Kenpf 给出另外一种定义^[4]：