

机械工业中的机电一体化技术

刘任需 陆祥生 陆祥瑞 编著

机械工业出版社

(京) 新登字054号

内 容 简 介

本书主要从技术原理、技术政策方面较通俗地介绍机电一体化技术(也称为机械电子技术),全书共分八章,第一、二章说明机电一体化技术的内容、构成、地位和在机械制造工艺及所用装备(主要是机床工具等基础机械)方面的机电一体化技术与产品,介绍了有关的技术政策等;第三章介绍了数控与数显技术,数控机床与各种数显表;第四章介绍机器人技术与应用;第五章介绍了计算机辅助设计CAD,辅助制造CAM;第六章介绍柔性制造单元FMC、柔性制造系统FMS以及无人化自动工厂;第七章介绍与机械工业有关的主要设施(净化车间、工厂、自动仓库等)的革新;第八章介绍应用机电一体化技术改造传统的机械工业(增大机械工业,包括军工和轻纺工业)的装备。

本书供机械工业的技术干部、技术工人、企业管理干部参考,也可作为大中专院校有关专业师生的通俗参考书。

机械工业中的机电一体化技术

刘任需 陆祥生 陆祥瑞 编著

责任编辑:王中玉 版式设计:冉晓华

封面设计:姚毅 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张 12¹/₄·字数 268千字

1991年10月北京第一版·1991年10月北京第一次印刷

印数 0,001—8,800·定价:6.70元

ISBN 7-111-03035-4/TM·389

目 录

第一章	机电一体化技术的崛起和传统机械工业的技术改造	1
第一节	机电一体化技术是新技术革命的重要组成部分	1
第二节	机电一体化技术的崛起加速了机械装备的现代化和机械制造工艺水平的提高	9
第三节	应用机电一体化技术改造传统机械工业	11
第二章	机电一体化技术的构成和机电产品功能的提高	22
第一节	机械技术和电子技术的有机结合	22
第二节	机械电子产品的分类和构成	25
第三节	机电一体化技术的优先发展领域和关键技术	29
第四节	微型计算机技术的广泛应用	29
第五节	用于机械制造业的机电一体化技术	37
第三章	机械工业技术改造的基础——普及数显装置, 推广应用数控设备	45
第一节	几何量测量技术	45
第二节	机床数显装置典型实例	50
第三节	数控技术的特点和功能	63
第四节	计算机数控、直接数字控制与自适应控制	78
第五节	数控机床的伺服系统	94
第六节	数控自动编程系统	101
第七节	数控伺服系统中的位置检测单元和执行单元	106
第四章	机械工业技术改造的标志——机器人的应用	132

X

第一节	机器人——机电一体化技术应用的典型产品	132
第二节	机器人的基础技术——功能	145
第三节	机器人在机械制造业中的应用	201
第五章	CAD/CAM 与机电一体化	225
第一节	CAD系统	226
第二节	CAM系统	249
第三节	CAD/CAM系统	254
第六章	柔性制造系统	266
第一节	FMC、FMS、FML、FA的功能、构成和特点	266
第二节	FMS、FA工件、工具流系统	292
第三节	FMS的信息流系统	297
第四节	FMS的建立	306
第五节	典型的FMS	315
第六节	机床、发动机用FMS	326
第七章	机械工业设施的革新	330
第一节	密闭净化厂房	330
第二节	自动仓库	335
第三节	自动化搬运装置	362
第八章	发展机电一体化技术，改造我国传统机械工业	367
第一节	我国机械工业与工业发达国家的差距与我们的对策	367
第二节	改造机械制造工业的措施	372

第一章 机电一体化技术的崛起 和传统机械工业的技术改造

第一节 机电一体化技术是新技术革命 的重要组成部分

一、什么是机电一体化技术

机电一体化技术也称机械电子技术，在国外有称为“the Integration of Mechanical and Electric Systems”，但用得最多的是 Mechantronics，这是日本人在70年代初根据英文 Mechanics(机械技术)和 Electronics(电子技术)构成的组合词，已为各国承认、应用。译成中文为机械电子学(或机械电子技术)。近几年在我国学术界和工业界多用“机电一体化”这个词。

“机电一体化”(也有称“机电仪一体化”的，内容完全一样)这门技术是一种新兴的综合性的高技术，是机械技术与电子技术(特别是微电子技术)的有机结合，虽然在目前国内外尚无统一的定义，但其基本概念和涵义却是一致的。即从系统观点出发，应用机械、电子、信息等技术，在信息论、控制论，系统论等系统科学、系统工程等基础上建立起来的一门边缘科学技术，所以，它决不是机械与电子技术的简单迭加，而应该看到它是一种全新的技术发展趋势，为了达到整个系统的最优化，通过机械与电子技术的有机结合，互相渗透，从而产生出一大批功能更强、性能更好的新一代的机械产品和系统。如具有精度高，性能好，体积小，重量轻，自

动化、智能化程度高，可靠耐用的机械产品、装置，以及柔性制造系统和自动化无人工厂等。这些机械装备和产品，往往是结构更简单、操作更方便、具有明显的经济效益。

这种机电一体化产品（机械电子产品）也不同于一般电子产品，后者通常指电子计算机、收录机、雷达、电子仪表、各种电子通信设备等电子机械产品；而机械电子产品则是指新型的机械和电子技术的结合体（机电一体化产品）。如数控机床、机器人、柔性生产单元、柔性制造系统、各种自动化量具量仪、激光加工机械、各种微机控制和数控的铸、锻、冲、焊机械、电加工机械、木工机械和剪裁下料机械等机械制造冷热加工工艺作业的机械电子一体化产品，以至整个自动化工厂。此外，还包括电子和微机控制的仪器仪表、照相机、缝纫机、医疗器械、汽车及发动机上的控制电器和各种家用电器、电站设备、调速装置、办公用机械、印刷机械、运输机械、食品机械、轻工机械、各种通用机械、农业和重型矿山机械、建筑筑路机械、计时和检测机械（如石英电子钟表、三坐标测量机等）、音响设备、游乐机械等。可见，所谓机械电子产品涉及相当广泛的领域，涉及到国民经济各部门和国防工业装备。当然，这本书只涉及机械工业制造加工用的装备，即使如此，其内容已经十分广泛了。

当前，日本的机械电子技术发展处于领先地位。这门技术已是日本重大的支柱技术之一。目前，日本已有70%左右的大企业正在推广应用，50%的中小企业也正以此进行技术改造。机械电子技术已使日本的机械制造业乃至其它工业领域大为改观。近年来美国、欧洲也在大力发展推广和开发机械电子技术，已经形成一个你追我赶的竞争局面。

二、机械和电子工业在国民经济发展中的地位

机械电子技术的迅速发展是应用微电子技术、计算机技术改造传统机械产品和机械工业的结果。机械技术是一门传统的基础技术、机械工业是一个传统的基础工业。发展高新技术,也要求机械装备的水平必须相应地迅速提高。

然而,机械装备水平的提高又反过来需要电子技术(包括微电子技术、计算机技术)的飞速发展和广泛采用。例如在金属切削机床中采用数控技术,使机床性能、生产效率大大提高。

总之,高技术同基础技术是相辅相成,紧密联系的。两者有机结合起来,就可以使机械产品的性能和功能提高,能量和原材料消耗降低,从而使整个国民经济的发展产生巨大飞跃。利用电子技术改造机械工业是一种必然的趋势,利用改造后具有高、新技术的基础工业使各种先进技术形成新的产业群,形成新的国民经济结构和实力。越是自觉地实现机械工业的改造,国民经济的发展就越迅速越有后劲。因此,无论在技术上还是产量上,机械和电子工业的发展都应先行,超前率越大,国民经济发展速度就越快。

从国外经验来看,日本和苏联都是用 20 年左右的时间使国民经济翻两番的。他们的机械工业对整个国民经济的超前率——机械工业与整个国民经济年平均增长率的比值都比较高。日本(1962~1980)为 1.63,苏联(1958~1980)为 1.76。联邦德国用了 29 年才实现翻两番(1952~1980),其机械工业的超前率为 25%。

日本在 1956 年、1957 年通过机械和电子工业的振兴法,优先发展机械、电子工业与技术,实现了国民经济的起飞。以前,日本的机械产品也是精度不高,质量不好,互换

性差，可靠性和寿命很低，各厂重复生产，水平不高，经济效益不好，在国际市场上没有竞争力。由于机械、电子振兴法的连续实施（如对特定的机械、电子产品给予重点扶植，资助，鼓励技术引进，给予优惠条件等）使日本的机械电子工业水平迅速提高。机械、电子工业又带动了整个工业、农业和交通运输业的振兴，促使整个国民经济的起飞。现在日本的经济实力已经很强，它在国际市场的竞争力也提高很快。日本国内矿产资源和能源都很贫乏，但它的国民收入，在西方发达的资本主义国家中跃居第二位，仅次于美国。冶金、汽车、工业机器人、数控机床、柔性制造系统和自动化工厂、造船、照相机和电子表等日用产品以及家用电器等已跃居世界第一位。现代世界上无论日本、欧美、苏联都十分重视机械和电子工业及其技术的发展。

三、机电一体化技术是新技术革命的重要组成部分

70年代以来，新的技术革命正在崛起，而且发展异常快；在美国、日本、欧洲已经渗透到工业生产和社会生活的一切领域；促使一批新的产业群的涌现和发展，也推动着一大批传统的产业迅速变革。这些新的科学技术成就主要是以下六个方面：

（一）以微电子、光电子技术、电子计算机、激光光纤通信为主要内容的信息技术

自从1946年世界上出现了第一台电子计算机以来，1947年制成了晶体管，1959年出现集成电路，1960年发明激光技术，1971年制成第一台微处理机。这些重大成就使信息技术成为当代技术革命最活跃的领域。与此有关的所谓三C革命（即Computer电子计算机、Control控制、Communication通信三个信息革命结合起来的综合信息革命）、还

有三A革命（即工厂、办公室、家庭三个自动化 Automation）实际都依赖于电子技术和计算机技术的高速发展，也依赖于机电一体化技术（Mechantronics）的迅速发展。

（二）生物技术

生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程。这是一项投资少、收效大、污染小的具有广阔前景的新兴技术。每年有关的专利申请达几百件。

（三）新兴材料技术

现代新技术是以新材料技术为支柱的。例如光导纤维是一种新型材料，这种低损耗的光导纤维是光信息长距离传输通信的基础。

新材料种类繁多，主要可分为：

- 信息材料：如光导纤维、传感器敏感材料；
- 能源材料：如高温结构陶瓷、超导材料；
- 高分子有机合成材料：如高强度工程塑料、功能高分子材料、各种合成胶粘剂等；
- 新型金属材料：如非晶态金属、非晶态高锂铝合金、贮氢金属、形状记忆合金、铟、铌、钽、锆有特殊传感控制功能的新材料等；
- 高性能复合材料：如纤维增强型塑料、碳化硅纤维复合材料、气相沉积碳、树脂碳/碳（石墨）纤维复合材料、陶瓷复合材料、金属基复合材料等。

这些材料一般都具有性能高、重量轻、耐用、耐磨、耐腐蚀等特点，具有非常广阔的发展前景。

（四）新能源技术

这是包括应用太阳能、核能（原子能）、核聚变能、海洋能、生物能、地热能等。

（五）空间技术

自 1957 年以来送入太空的人造卫星（包括通信、广播、气象、地球资源、军事卫星）、宇宙飞船、星际探测器已达 3000 个。从事空间技术的科学家、工程技术人员达 150 万人。探测范围不限于近地空间，已向太阳系其它行星发射飞行器或宇宙探测器。空间技术除用于军事外还广泛应用于科研、通信、天气预报、地质勘探、导航、收集经济技术资料等。现正设想建立太空发电站、微波传输电能、实现空间工业化。可见，空间技术的发展也是十分广阔的领域。

（六）海洋开发

海洋资源十分丰富，有食物、矿产、能源资源等。60 年代以来，国外一些发达国家已致力于全面开发。仅目前海洋提供的矿产，在世界经济中占采矿比重，锆 100%，钛 80%，镁 60%，锡 40%，石油 25%。海水中含铀 40 亿吨，相当陆地储量的 170 倍。还有各种贵重金属。

海洋经济总产值，1969 年还只有 130 多亿美元，1980 年增长到 2800 亿美元，十几年增长了 20 多倍。

以上述六个方面为内容的新的技术革命，发展异常迅猛，新技术出现的间隔越来越短。例如 1942 年出现第一个原子反应堆；1947 年研制出第一台电子计算机；同年发明半导体晶体管；1957 年人造卫星上天；接着集成电路出现，激光诞生，遗传基因剪接、重组成功。新技术群、新产业群一个接一个相继问世，如雨后春笋。

1985 年中央专门召开了座谈会，要大家注意研究“世界新的技术革命和我们的对策”，要求集中专家研究出最佳方案和正确对策。

世界新的技术革命对我们既是个机会，也是一个挑战，

我们必须迎头赶上，应逐步缩小我们与主要发达国家的差距，而不应让他们把我们甩得更远。

新的技术革命是以微电子技术的飞跃发展为主要标志的。有人认为微电子技术是新技术的先导、带头的技术。它的发展为电子计算机的应用渗透到生产经济和社会生活的一切领域开辟了广阔道路。

微电子技术和计算机技术的发展经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路等四代（见表1-1）。

表1-1 计算机技术发展历程

代 别	使 用 电 路	年 度	系 统 软 件
第一代	电子管电路	1945~1958	手编程序
第二代	晶体管电路	1957~1966	汇编程序、语言及操作系统
第三代	集 成 电 路	1964~1978	高级语言、操作系统、虚拟存储
第四代	大规模集成电路 (超大规模集成电路)	1978~	数据库、计算机网、人工智能、逻辑推理语言、知识库、自然语言及图像识别、高级人工智能

从表1-1看出，几乎10年要换一代。30年来计算机运转速度增加30多万倍，价格降到原来的万分之一，体积缩小到三万分之一。集成电路芯片的集成度每年增加一倍，成本每两年降低一半，原材料、设备、工艺，每三年更新换代一次。微处理机的出现使计算机及其控制系统的设计大为简化，为计算机的普及应用和机电一体化技术的发展，打下了基础。

在信息技术中，通信技术也在迅速地更新换代，数据通信、卫星通信、光纤通信，可视电话等新的技术不断涌现出来。微电子技术、计算机技术与通信技术结合，信息处理系

统同信息传输系统融为一体，使社会的生产、分配、交换、消费等经济环节有机联系起来，大大加强了世界范围的联系，为人类社会带来了巨大的效益。

微电子技术（包括通信技术、计算机技术）和机械技术相结合，迅速出现一系列机电一体化产品。如数控机床和机器人是典型的机电一体化产品。此外，如量具、量仪等自动化测试装置、仪器和仪表、计算机辅助设计系统（CAD）、计算机辅助制造系统（CAM）、材料和毛坯处理、加工和控制系统、自动化运输车、自动化仓库、柔性生产单元（FMC）、柔性生产系统（FMS）以及自动化无人化工厂（FA）等都是利用电子技术和机械技术结合创造的结晶，它们是机械工业提高水平、大幅度提高生产率、提高质量、缩短生产周期、降低成本的主要装备和手段。

我们知道，科学革命是人们对客观世界认识上的飞跃，如16世纪哥白尼的日心说，17世纪的牛顿力学，19世纪的三个划时代的发现（细胞的发现、能量转换和生物进化），之后又有电磁场、电磁波理论、电子学、相对论、量子力学、量子场论等。人们在改造客观世界方面的飞跃则是技术革命。例如蒸汽机出现；电力、无线电和航空技术的出现；近来晶体管、集成电路、电子计算机的出现；还有生物技术、激光技术、光纤通信、核技术、航天技术、海洋工程、系统工程等新技术群体的出现，都是技术革命。至于产业革命就不是指哪个局部的飞跃，而是指全局性、整个生产体系的飞跃性变化，即整个生产体系的组织结构和经济结构的飞跃性变化。第一次产业革命是18世纪60年代以蒸汽机的应用为标志开始的，第二次产业革命始于19世纪70年代，是以马克思韦的电磁学说导致电力工业发展为标志的，第三次产业革

命始于 20 世纪初，它以原子能、电子计算机、空间技术的发展为主要标志，是在 19 世纪末放射性元素及电子的发现、相对论和量子理论的创立为基础发展起来的。它使人类进入了电子时代，使许多国家大大提高了劳动生产率，达到了高度工业化、现代化。

这次是第四次技术革命和产业革命，是在控制论、信息论、系统论等科学上的飞跃发展为基础的新的技术革命。

可见，技术革命是以科学革命为前导，并且导致产业革命的。

面对这样的形势，我们必须根据我国国情，有重点、多层次、分步骤地进行扎实的工作。重点和主攻方向应该在如下三个方面：

- 以微电子、计算机、激光、机电一体化、光纤通信等为主要内容的信息技术；

- 生物技术；

- 新型材料。

由此可见，机电一体化技术在新技术革命、产业革命中的重要地位了。

第二节 机电一体化技术的崛起加速了机械装备的 现代化和机械制造工艺水平的提高

机电一体化技术，美国发展最早，日本是后来居上。目前，日本的机械电子产品在世界上是一流水平，这是有一定原因的。因为日本资源、能源缺乏，人口密度高，客观上更需要着重发展这些省能源、省资源、高性能、高可靠性、高净产值和高附加产值的技术密集型产品。所以，近年来，特别是世界性能源危机后，日本发展机械电子技术最热心、最积极，

成效也最大。

所谓机电一体化产品是机械技术和电子技术这两种技术有机结合的产物。产品是一个系统，至于哪些部分采用机械技术，哪些采用电子技术，它们之间如何连接成一体是要全面考虑，要以达到最优化目的为设计目标的。

近来机械电子技术迅速发展起来，并得到欢迎。这是因为它具有更好的功能和更高的经济效益。具体说有以下几点：

1. 能提高生产率：因机械电子产品的控制系统，如数字程序控制系统有记忆、计算、处理信息、屏幕显示和反馈控制等功能，可大大提高测试、控制灵敏度、精度和分辨能力，可实现自动化、无人化，所以生产率可以大幅度提高。例如，在普通车床上，切削时间只占整个加工时间的 20%~40%，其余均花费在装夹零件、看图纸、测量检查等辅助时间上。用数控车床，由于可缩短辅助时间，则可使整个加工时间减少到一半或三分之一。

2. 能提高精度、保证质量：如采用数控装置，可实现自动上、下料、自动调速、自动进给、自动校正、自动测量、自动补偿、监控等功能，这可大大提高加工制造精度，减小误差，加工一致性好，可保证互换，减少废次品。有时加工精度可提高一到两个数量级。

3. 能提高柔性，实现多品种，大、中、小各种批量生产的自动化。

这就造成一种现实的可能性，使各企业可根据社会需求的变化，及时对产品结构和生产过程作必要的调整，几乎不需要重新设计、制造和验证工艺装备，这就不仅可以大大缩短生产过程中非切削的辅助时间（调整、装卸工件、换、调刀具和量检具、检测工件等）与储运时间，还可以大大缩短、节

约生产准备和生产制造加工的时间。日本近年来出口欧美的机床产品，能当年订货，当年交货。包括设计、制造、包装发运，只有半年多时间，再加上物美价廉，服务周到，这就大大提高了它在国际市场上的竞争能力。为什么能做到交货这么快，市场应变能力这样强呢？主要是靠数控机床、柔性生产线、工业机器人、电子计算机应用于生产和管理过程的结果。当然，产品设计的标准化、模块化、广泛的专业化生产协作，也大有关系，但主要还是靠生产工艺装备的数控化和柔性化。

4. 能提高可靠性、减少公害、提高安全性。由于计算机、电子元器件的寿命和可靠性大幅度提高，整个机械电子产品可靠性也极高，加上这些产品上往往具有自动监测、诊断功能，遇到过载、失速和停电能自动采取对策，防止事故。由于元件和整机结构小型化能大大降低能耗、改善操作性能（如减少手轮、拨杆，普遍采用数字显示和屏幕显示）和维修性能（标准化、模块化、采用伺服电机、主轴电机，大量减少了齿轮传动机构）还可大幅度降低劳动强度和生产成本。

第三节 应用机电一体化技术改造传统机械工业

当今世界上新的技术革命，微电子、光电子技术、计算机技术、机械电子技术等高技术群体，正在迅速发展。但高技术、高技术产业的发展，必须与传统的工业及其它产业（如交通运输业、农林牧渔业等）的技术改造结合起来才会有活力，才会有更大的发展潜力。

机械工业是一个重要的基础工业部门，也是一个传统工业部门。它担负着用先进技术装备整个国民经济和现代化国

防的任务。此外还担负着扩大机电产品出口，为国家积累资金，增加外汇的任务。机床工具行业是机械工业的“总工艺师”，是一个重要的基础机械部门，更是首当其冲。其重要性是显而易见的，所谓“工欲善其事，必先利其器”。所有先进的工艺方法，没有相应的机械设备都是无法实现的。

此外，机械工业在整个国民经济发展中还有个提前期问题，国民经济发展速度同机械工业在国民经济中所占的比例，关系重大。为了使国民经济发展速度加快，机械工业占的比例就要更大些，并且要提前投资，因为从投资到发挥效能有个周期，机床工具行业对机械工业的关系也是如此。

我国机械工业自建国以来，从无到有，从小到大，从解放前基本上没有机械制造业到如今已建成一个门类齐全，有10万个企业，1000万职工基本上能满足我国国民经济和国防建设的需要的强大工业体系，但过去30年，我们在经济建设上基本上走了一条高积累、低消费、重生产轻技术、重基建轻改造，重外延轻内涵的基本建设路子，再加上政治上搞“以阶级斗争为纲”，“文化大革命”，在经济、科学技术上搞闭关自守等原因，现在我国经济在技术水平、经济效益方面，比起工业发达国家都相当落后了。突出表现为产品和设备陈旧老化、工艺技术水平和管理水平低、劳动生产率低（美国是我国的10倍）、材料、能源消耗多，浪费大，效益低。要迅速改变这种状况，主要依靠技术进步，大搞技术改造。

技术改造应该贯彻“以产品为龙头，以工艺（和工艺装备）为基础，以经济和社会效益为准则”的方针。目标是在一定时间内，提高企业在国内和国际两个市场的竞争力。即一是产品性能、质量优良、过硬、符合市场需求；二是价格合理；三是交货及时；四是服务周到。总之要三上（上质

量, 上品种, 上水平) 一提高 (提高经济和社会效益), 以优质取胜。例如日本汽车近几年由于物美 (轻小、省油、舒适) 价廉而大量涌入国际市场, 连美国几个大汽车公司都败下阵来。关键就是上面四条。为此, 必须在制造工艺和所用装备方面采取措施, 以确保质量而又能缩短制造周期。要求这些设备一是加工精度高、质量好, 二是生产效率高, 三是柔性即灵活性、可变性、适应性好。现在国际机床技术发展趋势是高速 (切削速度, 主轴转速有的高达几万 r/min)、高精度 (达 $10\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$)、高自动化、柔性、多功能。

为此, 最基本的是大力推广应用数控机床; 进而在其基础上加数控工业机器人、料架等组成柔性制造单元 FMC, 根据需要把不同功能的 FMC 构成 FMS——柔性制造系统或 FML 柔性生产线; 在 FMS 基础上加上自动化仓库、自动运输系统以及 CAD/CAM (计算机辅助设计、制造)、CAE (辅助管理)、AMH (自动化材料管理)、GT (成组技术)、CIM (Computer Integrated Manufacture 自动检测监视系统构成集成制造系统) 实际上即自动化工厂 FA。这就是数控机床——机器人——FMC——FMS——CAD/CAM/CAE——CIM (FA)。这些都是机电一体化技术在不同范围内的应用。

数控机床和数控技术是一种技术密集型的 product 和技术。它是微电子计算机技术同传统机械技术相结合的产物。数控技术发展很快, 目前装有微型机、小型机的 CNC (Computer Numerical Control) 数控系统已得到广泛应用。

从功能分类, CNC 可分三类: 一是经济型; 二是全功能高级型; 三是介于两者之间的中级型。据统计 70% 数控机床属中级型。其典型代表是 FANUC CNC 系统 6T、0T, 这是数