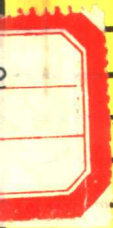


马之行 敬刚

机电一体化技术

四川科学技术出版社



机电一体化技术

马之行 敬刚

四川科学技术出版社

1986·成都

责任编辑：刘阳青

封面设计：韩健勇

版面设计：史兰英

机电一体化技术

马之行 敬 刚

出版：四川科学技术出版社

印刷：重庆新华印刷厂

发行：新华书店重庆发行所

开本：787×1092 毫米1/32

印张：10.5 插页：

字数：235千

印数：1—5,200

版次：1988年2月 第一版

印次：1988年2月第一次印刷

ISBN7-5364-0311-9/TH.10

科技新书目：165—252

定价：2.60元

前 言

“机电一体化”，是机电一体化技术和机电一体化产品的总称。机电一体化技术，用来设计和开发机电一体化产品。本书系统介绍机电一体化技术的基本知识，适合从事这方面工作的教学和工程技术人员阅读。本书论述了机电一体化技术的主要内容：机电一体化技术的基本概念；机电一体化系统(或产品)的组成和设计方法；机电一体化系统中各组成要素和接口的技术内容；机电一体化系统的优化方法和保证可靠性的技术措施；最后还收集了一些机电一体化系统的典型实例，供读者参考。

本书第一、二、四章由马之行执笔编写，第三、五章由敬刚执笔编写。

本书在收集资料和编写过程中，得到周进明同志的许多帮助，在此表示感谢。

机电一体化技术是一门新兴的学科，由于编者学识水平有限，难免有错误和不足之处，请读者批评指正。

编 者

1987年5月

目 录

第一章 导论	1
§1.1 机电一体化的基本概念	1
§1.2 机电一体化的效果	3
§1.3 机器系统的组成	4
§1.4 实现机电一体化的方法	9
§1.5 机电一体化相关技术	11
§1.6 机电一体化产品设计	14
第二章 基本组成要素及接口	18
§2.1 执行器及传动机构	18
§2.2 驱动器与驱动接口	29
§2.3 检测系统	45
§2.4 控制系统	58
§2.5 机体及整机结构	79
第三章 机电一体化系统的优化	81
§3.1 评价指标	81
§3.2 评价算法	83
§3.3 优化方法	96
§3.4 优化实例	103
第四章 机电一体化系统的可靠性	147
§4.1 可靠性的基本概念	147
§4.2 系统可靠性计算	159
§4.3 保证产品可靠性的方法	165

§4.4	干扰与抗干扰	176
第五章	机电一体化实例	204
§5.1	数控机床	204
§5.2	工业机器人	232
§5.3	柔性制造系统	262
§5.4	其它机电一体化产品	283
§5.5	微机在机床改造中的应用	307

第一章 导 论

§1.1 机电一体化的基本概念

“机电一体化”在国外亦称“机械电子学”。它是本世纪50年代以来，在传统机械技术的基础上，随着电子技术、计算机技术，特别是微电子技术和信息技术的发展而发展起来的。这一名称的发源地在日本，随后就为欧美等国所接受。由于处于成长过程之中，所以还没有一个公认的定义。下面举日本几个组织和学者的定义为例：

1) “指采用机械与电子装置在适当部位以适当元部件所组成的机械装置；或指机电一体、机信一体的新趋势”(机电振兴协会经济研究所)。

2) “在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进了电子技术，并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成系统的总称”(机械振兴协会机械研究所)。

3) “电子技术的电子学与机械技术的机械学相结合的技术进步的总称”(日经产业新闻)。

4) “将机械学和电子学有机结合而提供的更为优越的技术”(富士通法纳克公司技术管理部长小岛利夫)。

5) “机械电子学一词，意味着机电一体化技术或者机电、机信一体化技术。由于把电子学应用到机械系统中，可望从硬件和软件两方面实现高度化的机械功能，甚至达到赋与全

新功能的目的”(机械技术研究所 井上英夫)。

这些定义,由于各自的出发点和着重点不同而有所区别,但总的方面是一致的。归纳起来,包含下列两方面的含义:

1) 机电一体化技术是机械技术和电子技术有机结合而成的一种高级技术。它既包含机械技术的内容,又包含电子技术的内容,但不是简单地用电子设备代替部分机械结构,也不是孤立地发挥两种技术各自的长处,而是利用两种技术的结合来产生新的思想方法和技术手段。例如机器中的精密定位,在机械技术中只能通过提高齿轮和丝杆螺母等传动机构的加工和安装精度来实现,其实际定位精度则利用传感器进行检测。定位精度的提高,受到机械传动机构精度的限制。采用机电一体化技术,就可利用传感器对定位过程和定位误差进行动态检测,把这个信息反馈到具有信息处理功能的控制器,再利用控制手段对定位误差进行“修正”或“补偿”,从而达到提高定位精度的目的。如果考虑到机电一体化技术对机械传动机构的简化,定位精度还可进一步提高。

2) 由硬件和软件共同组成的信息处理技术,是机电一体化技术中必不可少的部分。在机电一体化的最初阶段,通常是用电子技术代替机械结构实现某些功能或增加新的功能,这就是所谓的“机械电子化”,从广义来讲,也可称为机电一体化。但电子技术发展到计算机阶段,形成了由硬件和软件组成的完整的信息处理技术,才为机电一体化技术开拓了更为广阔的前景。例如在机床中,可以采用电子技术使主运动的驱动器实现无级变速以代替机械无级变速机构,从而实现“机械电子化”,这可简化机械结构并便于自动化操作。然而,只有当采用了专用计算机(数控装置)作为控制器后,才称得上是典型的机电一体化设备。这时用电子线路(硬件)实现插补

等运算，用加工程序(软件)来适应不同工件的加工过程。后来发展到计算机数控(CNC)阶段，插补等运算也由软件来实现，更提高了机床加工的灵活性(即柔性)。可见在信息处理中发挥软件的优势，也是机电一体化技术的一个特征。

总之，机电一体化技术是一种机械技术同电子技术，特别是同微电子技术和信息技术相结合而成的新的综合性技术。它的内容包括以什么方法、利用哪些技术手段来组成什么样的机器系统等问题。

§1.2 机电一体化效果

机电一体化技术可用来设计新型的机电一体化产品，改进旧的机电产品，也可用来对旧设备进行技术改造，通常可以取得以下一项或几项技术效果和经济效益：

- 1) 简化机械结构，从而作到体积小，重量轻，并提高运转的可靠性；
- 2) 提高产品或设备性能，使其在动态和静态精度、效率、操作性、节能等各方面得到改善；
- 3) 增加功能，扩大用途；
- 4) 提高自动化程度。不仅代替人的体力劳动，而且更多地代替脑力劳动；
- 5) 获得柔性(灵活性)，即利用软件来改变机器的工作程序，以满足不同的需要。
- 6) 智能化，即对环境变化具有一定主动适应能力；
- 7) 系统化。不仅组成单机系统，而且能组成多机综合系统，完成复杂的生产任务。例如柔性制造系统(FMS)、集成制造系统(IMS)等。

下面，概述机电一体化技术的主要内容：机器系统的组成，实现机电一体化的方法及其相关技术。

§1.3 机器系统的组成

1.3.1 机器的性能和分类

机器系统是由若干具有特定功能的要素所组成的有机整体，可以满足人们对它提出的某种使用要求。这种满足使用要求的能力，称为机器的性能。

根据不同的使用目的，人们总是要求机器提供某种形态的物质、能量或信息，作为机器的输出。为了得到这些输出，就必须输入作为原始形态的物质、能量和信息。机器的性能不过是完成它们(输入和输出)之间的转换而已(见图1.1)。多机系统也是一样(见图1.2)。

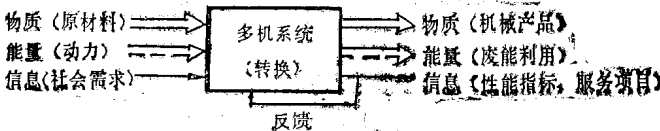
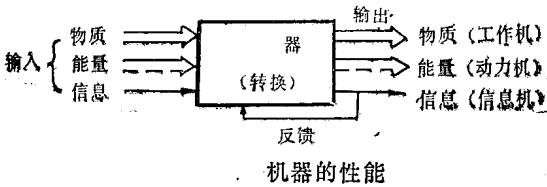


图1.2 多机系统的性能

以物料加工为主，输入物质(原材料，毛坯)，能量(如电能、水能等)和信息(操作、控制指令)，主要输出改变了形态

的物质的，为工作机。它的性能是使输入的物质改变形状、状态、位置或机械特性等。例如各种机床（如锻压、切削、电加工、高频淬火等），交通运输机械，起重机械，工程机械，食品加工机械，纺织缝纫机械等。

以能量转换为主，输入能量（或物质）和信息，输出某种形式的能量的，为动力机。其中输出机械能的，为原动机。例如电动机，油缸，气缸，水轮机，内燃机等。

以信息处理为主，输入信息和能量，主要输出某种（如数据、图像、文字、声音等）信息的，为信息机。例如各种仪器、仪表、钟表、电子计算机等。

1.3.2 机器的组成要素

工作机、原动机和信息机的组成结构各不相同，本书主要论述工作机的组成。检测仪器、仪表和计算机等信息机的系统组成，将在第二章中论及。至于原动机，由于工作原理和结构多种多样，涉及各种专门知识领域，对其组成难以作统一的描述，本书将不予论述，而把它看成一个独立的模块，作为工作机的驱动器来对待。

工作机的组成要素如图1.3。以普通六角车床（图1.4）为例，主轴部件和刀架拖板为执行器，用来改变工件的形状（主功能）；电动机为驱动器，用来提供动能；刻度盘和行程挡块为检测器，用来检测刀具的实际位置；控制电路、操作装置和自动停车装置为控制器，用来输入人的指令并控制整机的动作。床身为机体，用来形成各组成部分的构架。这也就是一般工作机的典型组成结构。执行器、驱动器、检测器、控制器与机体称为机器系统的组成要素，要素之间的连接部分（图1.3用箭线表示），称为接口。如要素之间能直接匹配，

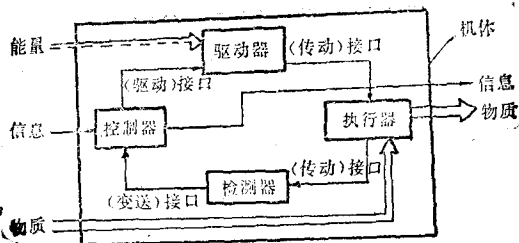


图1.3 工作机的组成要素

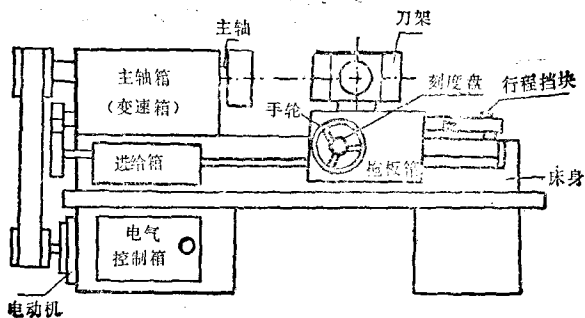


图1.4 六角车床的组成结构

则接口只起连接作用，如不相匹配，则接口除连接作用外，还须起某种转换作用。例如上述六角车床，主运动驱动器(电动机)与执行器(主轴)之间的接口(变速箱)，要起运动速度和转矩变换的作用；进给运动驱动器(电动机)与执行器(刀架拖板)之间的接口(进给箱和拖板箱)，要起转换运动速度和运动形式(旋转变直线运动)的作用。

上面举例的普通六角车床，是一种非自动化的工作机，其检测器和控制器要在人的参与下，才能实现其功能。自动化的工作机，其检测器和控制器都能独立完成任务，只有在改变工作程序时，才需要人的参与。在机电一体化设备中，通常

采用电子计算机作控制器。在本书中所提到的计算机，一般指数字式计算机。

上述五要素，是按其功能划分的属于一个基本系统的组成部分。一些简单的机器，可能缺少其中个别的要素，例如不用检测器。复杂的机器则可以包含若干子系统，而每个子系统又包含了上述基本组成要素。例如一台闭环数控车床，可划分为主运动、x座标进给运动、z座标进给运动和控制系四个子系统（见图1.5），而这里的控制系统要求有存储、运算和控制等多种功能，相当于一台简单的电子计算机。

具有特别意义的是，一种机器的组成要素，可由其它种类的机器来担任，即机中有机。例如上述工作机的驱动器，一般由原动机（如电动机）担

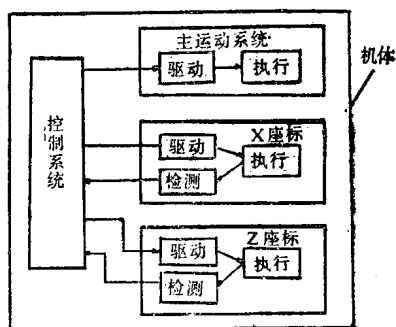


图1.5 数控机床系统的组成

表1.1 人机对比

机器组成要素	功能	人的组成要素
执行器	改变物质的形状、状态、位置、性质	四肢
检测器	信息的收集和变换	感官
驱动器	能量形式的转换，提供动能	内脏
控制器	信息的存储、处理和传输	头脑、神经
机体	把各要素联成一体(支持、定位)	躯体、骨架

任，检测器由信息机(传感器、仪器、仪表)担任；而控制器采用可编程控制器(PC)及微型计算机(uc)时，也是信息机。

可以把工作机的组成要素按其功能比作人的相应组成要素，如表1.1。这就不难理解为什么机器能代替人的体力和脑力劳动了。

1.3.3 功能模块

由上所述，工作机可设计成由相应于五种要素的各功能部件组成，也可由若干功能子系统组成，而每个子系统又各包含若干组成要素。这些功能部件或功能子系统如能标准化、通用化，甚至系列化，则称为功能模块。每一功能模块可视为一个独立体，只需了解其性能规格，按其功能来使用，而不必掌握其具体结构。

前面提到的形成工作机要素的电动机、传感器和微型计算机等，都是功能模块的实例。再如多坐标数控机床的每一坐标子系统，可由一通用的伺服功能模块来驱动，而这个模块又由驱动器(伺服电机)、检测器(传感器)和控制器(单片微型机)三要素组成(见图1.6)。这种功能模块还可作成机电一体化化的整体部件。

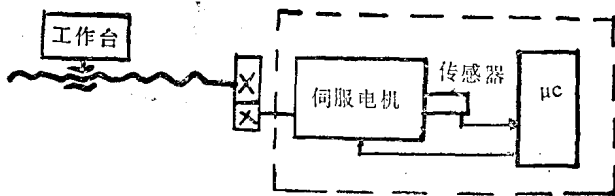


图1.6 伺服功能模块

1.3.4 多机系统

机器系统的结构是多层次的，不仅一台机器的内部可划分成若干子系统，而且可由多台机器组成一个大系统中的若干子系统，这就是多机系统。例如一个柔性制造系统(FMS)可划分成基本设备(多台数控机床和/或加工中心)、辅助设备(传送设备和/或工业机器人等)、信息(检测系统、通讯网络和分级控制计算机)和动力(供能)等子系统，其结构框图如图1.7。这种大系统还可以模块化，例如建成柔性制造单元(如车削加工单元、磨削加工单元、装配单元，或某类零件制造单元等)，并由这些单元组成更大的系统。

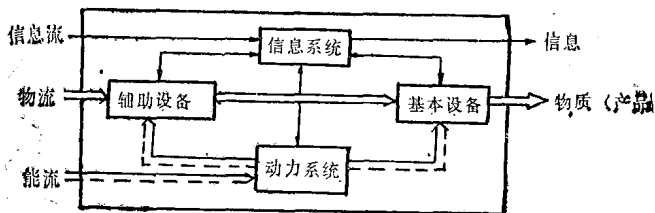


图1.7 多机系统框图

§1.4 实现机电一体化的方法

实现机电一体化的方法，就是如何综合利用机械技术和电子技术各自的特长，在适当的地方用适当的元部件，来组成最优机器系统的问题。具体方法可归纳为以下三种。

1.4.1 取代法

这种方法是在以机械结构、强电控制为基础的机器中，用适当的通用或专用电子设备取代其中某些功能部件或功能

子系统。改进老产品时常用此法。

在一般工作机中，最易采用取代法的功能部件是控制器。用可编程控制器和微型计算机等来代替机械式的凸轮、离合器、脱落蜗杆等控制机构，代替气动、液压控制系统，代替插销板，拔码盘、步进开关、程序鼓、时间继电器等继电器接触式强电控制器，不但能单化机械结构，而且可提高产品的性能和质量。

如果采用电子式传感器，例如光电式(光栅，光码盘，光电开关等)，电磁式(感应同步器，磁尺，旋转变压器等)或其它电动式(电阻式，电感式，电容式，压电式)的传感器作检测器时，就容易同电子式的控制器相匹配。这些传感器能把非电量的位移、压力、温度等信号转换为电信号，从而便于采用电子技术。用电子式检测器来取代机械挡块，刻度盘和行程开关等，在提高检测精确度和灵敏度方面，也是有利的。

1·4·2 结合(融合)法

在新产品设计中常用此法。通常把各功能部件或子系统都设计成该机器系统所专用的，因此各要素之间的匹配问题已得到充分考虑，接口很简单，甚至可能互相融为一体。

金属切削机床中把电动机与主轴部件作成一体，就是驱动器与执行器相结合的一例。某些高速内圆磨床就是如此，它们的电动机转子与主轴融合在一起。国外已有把电动机(驱动器)与其控制器作成一体的产品出售。在大规模集成电路和微型计算机普及的今天，集成电路检测器能与微型机系统相兼容。因此，完全能够设计出执行、驱动、检测、控制与机体五要素融合为一体的新产品。

1.4.3 组合(积木)法

如把用结合法构成的功能模块象积木块一样用来组合成各种机器系统,则称组合法。这样一来,同样的功能模块可用来组合成不同的机器。例如把工业机器人各关节的驱动器、检测器和控制器作成机电一体化的驱动功能模块,可以用来驱动不同的关节。还可形成机器人的机身回转、肩部关节、臂部伸缩、肘部弯曲、腕部旋转、腕部弯曲、手部俯仰等各部位的功能模块系列,用来组合成结构和用途各不相同的机器人,如圆柱坐标式、球坐标式、关节式及自由度多少不等的各式工业机器人。在新产品系列设计和设备技术改造中用这种方法,对缩短设计、研制周期,节约工装设备费用,利于生产管理和便于使用、维修等各方面都有好处。

§1.5 机电一体化相关技术

机电一体化技术是一门正在发展中的边缘技术学科,究竟应该是什么样的学科体系,目前尚未定型。不过它也不是凭空设想出来的,而是根据生产实际的需要,在传统技术的基础上,与一些新兴技术相结合而发展起来的。因此有可能举出它的基本内容及其相关技术,作为建立学科体系的依据。

1.5.1 系统工程及自动控制理论

机电一体化产品的性能和结构是否合理,要作为一个整体来分析和评价。机器系统的组成、优化、自动化、可靠性、可行性和经济性等的分析和决策,涉及系统工程的应用问题;而如何使这些决策付诸实施,使机器系统正常运行,又涉及