

# 机电一体化 技术与系统

哈尔滨工业大学威海分校 梁景凯 主编

高等专科学校机电一体化专业系列教材

机械工业出版社

高等专科学校机电一体化专业系列教材

# 机电一体化技术与系统

主 编 梁景凯  
副主编 曹 风  
参 编 李焕峰 盖玉先 丁又青 唐唤清  
主 审 程崇恭



机械工业出版社

本书比较系统地介绍了机电一体化技术与系统。内容包括：机电一体化的机械传动与支承技术、伺服传动技术、计算机控制技术、可靠性和抗干扰技术、简单机电一体化系统、工业机器人、柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）等。

本书可用作高等专科学校机电工程、机械制造及相关专业的教材，也可供夜大、函大、职大及技术培训班等成人教育相关专业使用，还可供从事机电一体化设计制造的工程技术人员参考。

## 机电一体化技术与系统

哈尔滨工业大学威海分校 梁景凯 主编

\*

责任编辑：高文龙 版式设计：张世琴

封面设计：姚毅 责任校对：刘志文

责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

· 邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张 13.75·字数 334 千字

1997年5月第1版第1次印刷

印数 0 001—7 000 定价：16.50 元

\*

ISBN 7-111-05369-9/TP·416（课）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

## 序

随着微处理器和微型计算机的问世，电子计算机已深深介入机械制造的各个领域，诞生了一系列机、电、计算机一体化的新产品。为适应这个变化，迫切需要高等专科学校培养制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人才。有鉴于此，不少高等专科学校在多年探索机械制造专业改造并取得经验的基础上正在创办机电工程（机电一体化）专业，以满足社会的需要。但各校对新开专业缺乏经验，缺少教材和师资，在此形势下，1995年3月机械工业部教材编辑室在全国机械制造专业教材编审委员会和全国高等专科学校机械制造专业协会的协助下于南京召开了高等专科学校机电一体化教学与教材研讨会，研讨了机械行业技术发展的大趋势，认为办好机、电、计算机紧密结合的新机电工程专业，培养制造、调试、使用、维修机电一体化产品的机电一体化人才是非常必要的。为给机电一体化专业奠定物质基础，会议决定立即组织第一批急需的机电一体化专业系列教材，初步确定了各教材的主编、协编和主审人员。1995年4月机械工业部教材编辑室又在长沙召开了各课程编写大纲协调会，并进一步调整、落实了编审班子。会后各参编教师立即行动、认真撰写，在1995年9月威海召开的审稿会的基础上，历经了一年左右时间，这一套统编教材终于陆续交稿出版。

这批教材的出版是对机电工程（机电一体化）专业教学的一种尝试，希望它能满足各校的教学所需，这套教材在组织编写过程中得到了众多学校和老师的热心帮助，在这里特向吴善元、盛善权、黄鹤汀、易泓可等诸位老师表示衷心的感谢。

机械工业部教材编辑室

1995年11月

## 前 言

本书是高等专科学校机电一体化专业系列教材之一。它是以1995年4月在长沙召开的机电一体化系列教材编写大纲会议制定的编写大纲编写的。

机电一体化作为一门新兴学科,近年来发展迅速,从理论到实践日趋成熟。本书共分八章,前五章主要介绍机电一体化相关技术,内容包括:机械传动与支承技术、伺服传动技术、计算机控制技术、可靠性与抗干扰技术等;后三章主要介绍典型的机电一体化系统,内容包括:简单机电一体化系统、工业机器人、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等。检测传感技术和可编程序控制器(PLC)是机电一体化技术的重要组成部分,本应进行认真的探讨,鉴于各校本专业大部分设有“检测技术”和“电气控制与PLC”课程,为了避免重复,本书不再涉及。

本书可用作高等专科学校机电一体化专业、机械制造专业及相关专业的教材,也可供夜大、函大、职大及技术培训班等成人教育相关专业使用,还可供从事机电一体化设计制造的工程技术人员参考。

本书由哈尔滨工业大学威海分校梁景凯主编,成都电子高等专科学校曹风任副主编。第一、第四章梁景凯编写,第二、第五章曹风编写,第三章梁景凯、唐唤清编写,第六章丁又青、李焕峰编写,第七章盖玉先、丁又青编写,第八章李焕峰编写,全书由梁景凯统稿。

长沙大学程崇恭教授任本书主审,南京机械高等专科学校马铭驰教授和华北航天工业学院王文生教授参加了本书的审稿会。他们对本书作了严谨认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见。谨在此向他们表示衷心的感谢,同时向本书所引主要参考文献的作者致意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中定有不少疏漏和错误之处,恳切希望诸位读者给予批评和指正。

编 者

1996年7月

# 目 录

序

前言

第一章 绪论 .....	1	第三节 工业控制计算机简介 .....	108
第一节 机电一体化产生和发展 .....	1	第四节 计算机控制算法 .....	117
第二节 机电一体化相关技术 .....	2	第五章 可靠性和抗干扰技术 .....	129
第三节 典型机电一体化系统 .....	4	第一节 可靠性 .....	129
第四节 机电一体化系统设计简介 .....	10	第二节 抗干扰技术 .....	138
第二章 机械传动与支承技术 .....	13	第六章 简单机电一体化系统 .....	148
第一节 机械传动系统数学模型的建立 .....	13	第一节 全自动洗衣机 .....	148
第二节 机械结构因素对伺服系统性能的影响 .....	17	第二节 小型智能绘图机 .....	152
第三节 机械传动 .....	21	第三节 二维表面粗糙度自动量仪 .....	156
第四节 支承部件 .....	40	第七章 工业机器人 .....	160
第三章 伺服传动技术 .....	58	第一节 概述 .....	160
第一节 概述 .....	58	第二节 工业机器人操作机的机械结构 .....	164
第二节 直流伺服系统 .....	65	第三节 工业机器人运动学与力学分析 .....	173
第三节 交流伺服系统 .....	79	第四节 工业机器人的控制系统 .....	185
第四节 步进电动机控制系统 .....	83	第五节 工业机器人的应用 .....	191
第五节 电液伺服系统 .....	89	第八章 柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS) .....	198
第四章 计算机控制技术 .....	96	第一节 柔性制造系统(FMS) .....	198
第一节 概述 .....	96	第二节 计算机集成制造系统(CIMS) .....	206
第二节 计算机控制系统的接口技术 .....	99	参考文献 .....	214

# 第一章 绪 论

## 第一节 机电一体化产生和发展

人类将进入一个新的世纪——21世纪。回顾即将过去的20世纪，人类的经济和科学技术发展成果超过了过去所有世纪的总和。传统的学科正在脱胎换骨，新的学科不断问世，技术的融合程度比任何一次技术革命都高。机电一体化技术产生于这一背景之下，自然符合科技发展的规律，也是机械学科发展的必然结果。它使古老的机械工业焕发青春，也对社会的发展产生着极为深刻的影响。

机电一体化一词（メカトロニクス (Mechatronics)）最早（70年代初）起源于日本。它取英语 Mechanics（机械学）的前半部和 Electronics（电子学）的后半部拼合而成，字面上表示机械学与电子学两个学科的综合，我国通常称为机电一体化或机械电子学。但是，“机电一体化”并非是机械技术与电子技术的简单叠加，而是有着自身体系的新型学科。

目前，人们对“机电一体化”存在着各种不同的认识，随着生产和科学技术的发展“机电一体化”本身的涵义也还在被赋予新的内容。因此，“机电一体化”这一术语尚无统一的定义，不过其基本概念和涵义可概括为：机电一体化是从系统的观点出发，将机械技术、微电子技术、信息技术、控制技术等在系统工程的基础上有机地加以综合，实现整个机械系统最佳化而建立起来的一门新的科学技术。

机电一体化的产生与迅速发展的根本原因在于社会的发展和科学技术的进步。系统工程、控制论和信息论是机电一体化的理论基础，也是机电一体化技术的方法论。微电子技术的发展，半导体大规模集成电路制造技术的进步，则为机电一体化技术奠定了物质基础。1947年诞生了第一只晶体管。1959年出现了集成电路。70年代开发出微处理器芯片后，微电子技术获得了惊人的发展。1971年英特尔公司开发出第一片微处理器芯片（Intel 4004），当时集成度约2000器件/片，时钟频率1MHz，字长4位。经过7次技术换代之后，1995年英特尔公司生产的 Pentium（中文名“奔腾”，也称为80586）微处理器芯片，集成度约310万器件/片，时钟频率可达133MHz。1995年11月下一代微处理器已研制出来，并命名为 Pentium Pro（中文名“高能奔腾”，也称为P6或80686），集成度约550万器件/片，时钟频率可达300MHz。其功能比 Pentium 又翻了一番。与此同时，为实现各种功能的专用大规模集成电路芯片如雨后春笋不断涌现，可以说，现在几乎每天都有许多新型芯片问世。微电子技术的飞速发展，使大规模集成电路具有高集成度、高性能、高可靠性和低价格等优点。这无疑促进了机电一体化技术的发展。与此同时，机电一体化技术的发展也促进了微电子技术的发展。比如，大规模集成电路芯片的制造有赖于超精密机械加工，而超精加工设备本身又是一种计算机控制的自动化设备，即典型机电一体化系统。由此可见，机电一体化技术的产生即是机械技术与微电子技术发展的结果，又是系统工程、控制论和信息论付诸实践的结果。

机电一体化的发展有一个从自发状况向自为方向发展的过程。以汽车工业为例。60年代开始研究在汽车产品中应用电子技术，70年代前后实现了充电机电压调整器和点火装置的集

成电路化和电子控制的燃料喷射装置,70年代后期,由于计算机的发展,使汽车产品的机电一体化进入实用阶段。从汽车发动机系统看,安装在汽车上的微型计算机,可通过各个传感器检测出曲轴位置、气缸负压、冷却水温度和发动机转速、吸入空气量、排气中的氧浓度等参量,然后计算出最佳控制信号,控制执行机构调整发动机燃油与空气的混合比例、点火时间等,使发动机获得最佳技术经济性能。电子控制是汽车工业的产品技术改造的重要领域,电子技术和产品将会越来越广泛地应用到汽车发动机、悬架、转向、制动等各个部位,新型机电一体化的现代汽车在高速、安全可靠、操作方便舒适、低油耗和少污染以及易于维修等方面,将大幅度提高其性能,这被称为是汽车的一次革命性飞跃。

汽车工业的变革,一方面是汽车产品的机电一体化革命,另一方面,汽车的制造技术和装备也发生了巨大的变化。现代汽车生产大量使用数控机床、工业机器人、计算机控制系统等先进手段,以提高生产的自动化装备水平,使生产的产品真正与消费者所期望的优质、廉价、个性化等要求相一致。以工业机器人的使用为例,1961年,美国研究出第一台机器人。自日本人最先把它应用到汽车生产上以来,机器人在汽车生产线上,从加工、焊接、喷漆、工序间的运搬、部件装配和整车组装,以至仓储管理等,可谓无处不在。机器人的使用大大提高了生产效率和产品质量,同时也节约了劳动力,降低了成本。早在1980年,日本拥有的机器人就有10万台。1989年,日本汽车工业界拥有的机器人已达到27.5万台。80年代以来,世界各国的汽车制造业正处于从传统的“大批量、少品种”的生产方式,向着“多品种、中小批量”的生产方式转变,以适应现代社会对产品品种规格越来越多样化的要求。为满足市场的需要,制造厂家必须不断增加产品的品种、提高产品的质量和降低制造成本。为此,在汽车工业中开始使用柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System),并和CAD/CAPP/CAM及生产管理经营决策系统进行集成,把管理信息和制造活动借助计算机技术和网络技术有机联系起来,向计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)发展。实现“精益生产方式”,以谋求实现整个企业生产管理的现代化。总之,机电一体化的制造系统已经在现代制造产业中占据极为重要的地位。

现在,机电一体化产品和系统已经渗透到国民经济、社会生活的各个领域。诸如家用电器、办公自动化设备、机械制造工艺设备、汽车、石油化工设备、冶金设备、现代化武器、航天器……,机电一体化几乎达到“无孔不入”的地步。它促进了经济转型和社会的发展,同时也引起了各国为发展机电一体化技术的激烈竞争,从而反过来在全世界范围内更进一步推动机电一体化技术与系统向前迅速发展。

机电一体化的发展趋势可概括为以下三个方面:性能上,向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展;功能上,向小型化、轻型化、多功能方向发展;层次上,向系统化、复合集成化的方向发展。机电一体化的优势,在于它吸收了各相关学科之长,且综合利用各学科并加以整体优化。因此在机电一体化技术的研究与生产应用过程中,要特别强调技术融合、学科交叉的作用。机电一体化依赖于相关技术的发展,机电一体化的发展也促进了相关技术的发展。机电一体化必将以崭新的姿态进入21世纪并继续发展。

## 第二节 机电一体化的相关技术

机电一体化是各种技术相互渗透的结果,其主要的相关技术可以归纳为六个方面:机械



技术、检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术、系统总体技术。

### 1. 机械技术

机械技术是机电一体化基础。机电一体化的机械产品与传统机械产品间的区别在于：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的问题外，还应考虑采用新型复合材料和新型结构以及新型的制造工艺和工艺装置。

从机械产品设计来讲，开展可靠性设计及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；并在提高元器件可靠性水平的同时，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强度设计到动强度设计，也可采用损伤容限设计、动力优化设计、摩擦学设计、防蚀设计、低噪声设计等等。

### 2. 检测传感技术

检测传感装置是机电一体化系统的感觉器官，即从待测对象那里获取能反映待测对象特征与状态的信号。检测传感技术的内容，一是研究如何将各种物理量（如位置、位移、速度、加速度、力、温度、压力、流量、成分等等）转换成与之成比例的电量。二是研究对转换的电信号的加工处理，如放大、补偿、标度变换等等。

机电一体化系统要求检测传感装置能快速、精确、可靠地获取信息，并价格低廉。但是，目前检测传感技术的发展还难以满足控制系统的要求。不少机电一体化系统不能达到满意的效果或无法达到设计要求的关键原因在于没有合适的传感器。因此检测传感技术是机电一体化的关键技术。

### 3. 信息处理技术

信息处理技术包括信息的变换、存取、运算、判断和决策，信息处理大都是依靠计算机来进行的，因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。

计算机技术包括计算机软件技术、硬件技术和网络与通信技术等。机电一体化系统中主要采用工业控制机（包括可编程序控制器，单、多回路调节器，单片微控制器，总线式工业控制机，分布式计算机测控系统等等）进行信息处理。计算机技术的迅速发展已成为促进机电一体化系统技术发展和变革的最活跃因素。提高信息处理的速度，提高可靠性、加强智能化都是信息处理技术今后发展的方向。

### 4. 自动控制技术

自动控制技术的目的在于实现机电一体化系统的目标最佳化。自动控制所依据的理论和基础是自动控制原理，它可分为经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论主要研究单输入—单输出、线性定常系统的分析和设计问题。现代控制理论主要研究具有高性能、高精度的多变量系统的最优控制问题。自动控制技术还包括在控制理论指导下，对具体控制系统的设计、控制系统的仿真和现场调试等等。由于控制对象种类繁多，所以自动控制技术的内容极其丰富。机电一体化系统中自动控制技术主要包括位置控制、速度控制、最优控制、模糊控制、自适应控制……。

### 5. 伺服传动技术

“伺服”（Serve）即“伺候服侍”的意思，就是在控制指令的指挥下，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。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不同可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的性能更具有突出的优点。但液压系统需要增加液压动力源，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。而在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，具有控制灵活、费用较小、可靠性高等优点，缺点是低速时输出力矩不够大。近年来随着电机技术和电力电子技术的进步，促进了电气伺服系统的发展。

### 6. 系统总体技术

系统总体技术是以整体的概念，组织应用各种相关技术的应用技术。即从全局角度和系统目标出发，将系统分解成若干功能子系统，对于每个子系统的技术方案都首先从实现整个系统技术协调的观点来考虑，对于子系统与子系统之间的矛盾或子系统和系统整体之间的矛盾都要从总体协调的需要来选择解决方案。机电一体化系统是一个技术综合体，利用系统总体技术将各种有关技术协调配合、综合运用而达到整体系统的最佳化。

## 第三节 典型机电一体化系统

### 一、机电一体化系统的基本功能要素

机电一体化系统的形式多种多样，其功能也各不相同。但一般一个较完善的机电一体化系统应包括以下几个基本要素（子系统）：机械本体、动力部分、检测部分、执行机构、控制器、接口。这些要素的关系及功能如图 1-1 所示。

#### 1. 机械本体

机械本体包括机械传动装置和机械结构装置。机械子系统的主要功能是使构造系统的各子系统、零部件按照一定的空间和时间关系安置在一定的位置上，并保持特定的关系。为了充分发挥机电一体化的优点，必须使机械本体部分具有高精度、轻量化和高可

靠性。过去的机械均以钢铁为基础材料，要实现机械本体的高性能，除了采用钢铁材料以外，还必须采用复合材料或非金属材料。要求机械传动装置有高刚度、低惯量、较高的谐振频率和适当的阻尼性能，从而对机械系统的结构形式、制造材料、零件形状等方面都相应提出了特定的要求。机械结构是机电一体化系统的机体。各组成要素（子系统）均以机体为骨架进行合理布局，有机结合成一体，这不仅是系统内部结构的设计问题，而且也包括外部造型的设计问题。要求机电一体化的系统整体布局合理，使用、操作方便，造型美观，色调协调。

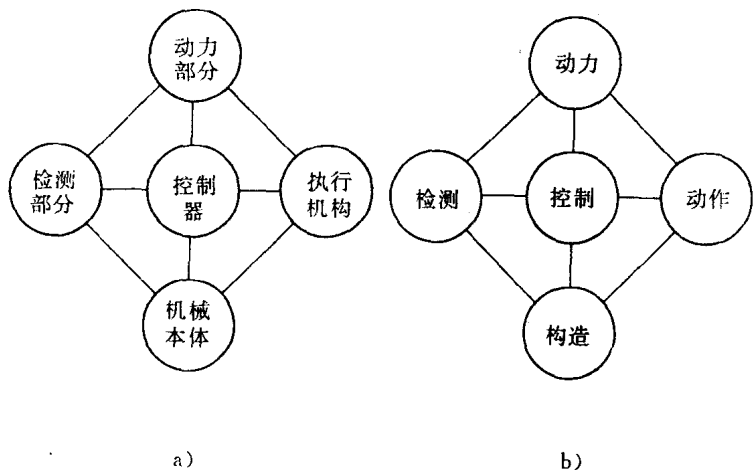


图 1-1 机电一体化系统的要素及功能

a) 机电一体化系统的要素 b) 机电一体化系统的功能

## 2. 动力部分

动力部分的功能应是按照机电一体化系统的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输出，是机电一体化系统的显著特征。

## 3. 检测部分

检测部分的功能是把系统运行过程中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测，变成可识别信号，送往控制装置，经过信息处理后产生相应的控制信息。

## 4. 执行机构

执行机构的功能应是根据控制信息和指令完成所要求的动作。执行机构是运动部件，它将输入的各种形式的能量转换为机械能。常用的执行机构可分两类：一是电气式执行部件，按运动方式的不同又可分为旋转运动元件和直线运动元件，旋转运动元件主要指各种电动机，直线运动元件有电磁铁、压电驱动器等等。二是液压式执行部件，主要包括液压缸和液压马达等执行元件。

## 5. 控制器

控制器是机电一体化系统的核心部分。它根据系统的状态信息和系统的目标，进行信息处理，按照一定的程序发出相应的控制信号，通过输出接口送往执行机构，控制整个系统有目的地运行，并达到预期的性能。控制器通常是由电子电路或计算机组成。

## 6. 接口

机电一体化系统由许多要素或子系统构成，各子系统之间必须能顺利进行物质、能量和信息的传递与交换，为此各要素或各子系统相接处必须具备一定的联系部件，这个部件就可称为接口，其基本功能主要有三个。一是交换，需要进行信息交换和传输的环节之间，由于信号的模式不同（如数字量与模拟量、串行码与并行码、连续脉冲与序列脉冲等等），无法直接实现信息或能量的交流，通过接口完成信号或能量的统一。二是放大，在两个信号强度相差悬殊的环节间，经接口放大，达到能量的匹配。三是传递，变换和放大后的信号在环节间能可靠、快速、准确地交换，必须遵循协调一致的时序、信号格式和逻辑规范。接口具有保证信息传递的逻辑控制功能，使信息按规定模式进行传递。

接口的作用使各要素或子系统联接成为一个有机整体，使各个功能环节有目的地协调一致运动，从而形成了机电一体化的系统工程。

## 二、典型机电一体化控制系统

机电一体化系统种类繁多，从控制的角度机电一体化系统可分为开环控制和闭环控制。开环控制系统是没有输出反馈的控制系统，如图 1-2a 所示，这种系统的输入直接送给控制器，并通过控制器对受控对象产生控制作用。几乎所有的家用电器，如洗衣机、电烤箱、微波炉、洗碗机等都是开环控制系统。开环控制系统的主要优点是简单、经济、容易维修，它的主要缺点是精度低，对环境变化和干扰十分敏感。在一些要求较高的应用领域，绝大多数控制系统的基本结构方案是由反馈原理组成

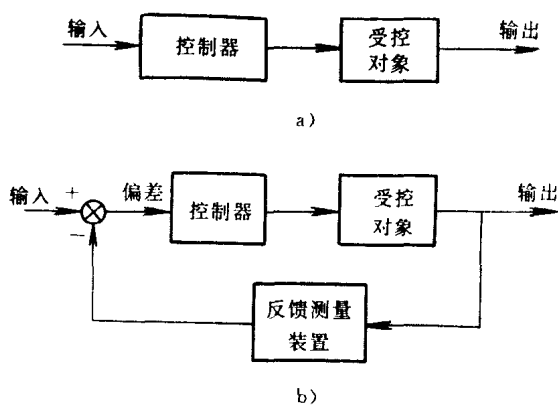


图 1-2 机电一体化控制系统类型

的，如图 1-2b 所示。其输出的全部或部分被反馈到输入端。注意，这里的反馈信号是反抗或退化输入作用的，这种反馈称为负反馈。输入与反馈信号比较后的偏差信号送给控制器，控制器对信号进行处理后产生控制信号，再控制被控对象的输出，从而形成了闭环回路。因此，称为闭环控制系统或反馈控制系统。闭环控制系统比较开环控制系统，具有精度高、动态性能好、抗干扰能力强等优点。它的缺点是结构比较复杂、价值比较昂贵、不容易维修等。

根据系统传递信号的性质，控制系统又可以分为连续控制系统和离散控制系统。信号在时间上是连续变化的系统称为连续控制系统。系统中某处或多处的信号为脉冲序列或数码形式，信号在时间上是离散的，此类系统称为离散控制系统。采用计算机作为控制器的控制系统即为离散控制系统，又称为计算机控制系统。在实际中选用何种控制系统取决于许多因素，如可靠性、精度、简单性、以及经济性等。

在机械工程领域中，大量的机电一体化系统以机械装置或机器为控制对象，以电子装置或计算机为控制器。这类系统的受控物理量通常是机械运动，如位移、速度、加速度、力（或力矩）、运动轨迹以及机器操作和加工过程等等。这些系统从控制的角度可划分为伺服传动系统、数字控制（NC）系统、顺序控制系统和过程控制系统等等。

### 1. 伺服传动系统

伺服传动系统（简称伺服系统）是基本的机电一体化控制系统。系统的输出量（被控制量）是机械位置和位移变化率。伺服传动系统主要用于机械设备的位置和速度的动态控制，在数控机床、工业机器人、坐标测量机以及自动导引车等自动化设备的制造、装配及检测设备中，已经获得非常广泛的应用。

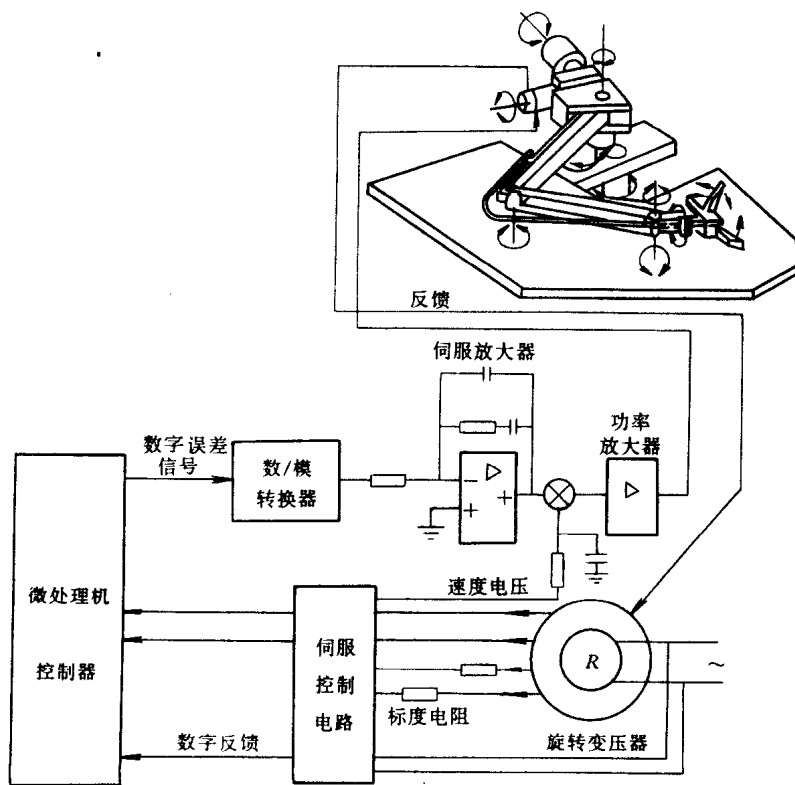


图 1-3 工业机器人的关节伺服传动系统

图 1-3 表示了工业机器人的一个关节伺服传动系统。主控计算机发出的关节运动参考信号是伺服传动系统的输入指令信号，系统控制目标是使关节的位置始终跟随关节运动参考信号而变化。

## 2. 数字控制系统

待加工零件的工艺流程、工艺参数以及机械运动要求等，以某种指令形式通过穿孔纸带、磁盘等记忆装置加以记录，然后输入到数控装置，再由数控装置生成数字形式的指令驱动机器运动，这种控制系统称为数字控制系统，简记为 NC (Numerical Control) 系统。当数控装置由计算机实现时又称为计算机数控系统，简记为 CNC (Computer Numerical Control)。CNC 系统的优点是高度柔性，凡采用 CNC 系统的机床或其它制造设备，都是可编程序的。只要改变程序，便可制造不同的工件。

图 1-4 表示了一种计算机数控机床的示意图。首先根据待加工零件的需要，应用数控语言编制加工程序，通过输入设备如穿孔纸带或键盘将程序输入，经过计算机处理后，区分为工艺数据和几何数据。工艺数据用于控制、工具选择以及切削液等有关工艺参数。几何数据经过插补计算，生成工具运动的指令信号，保证加工零件最终的几何尺寸。

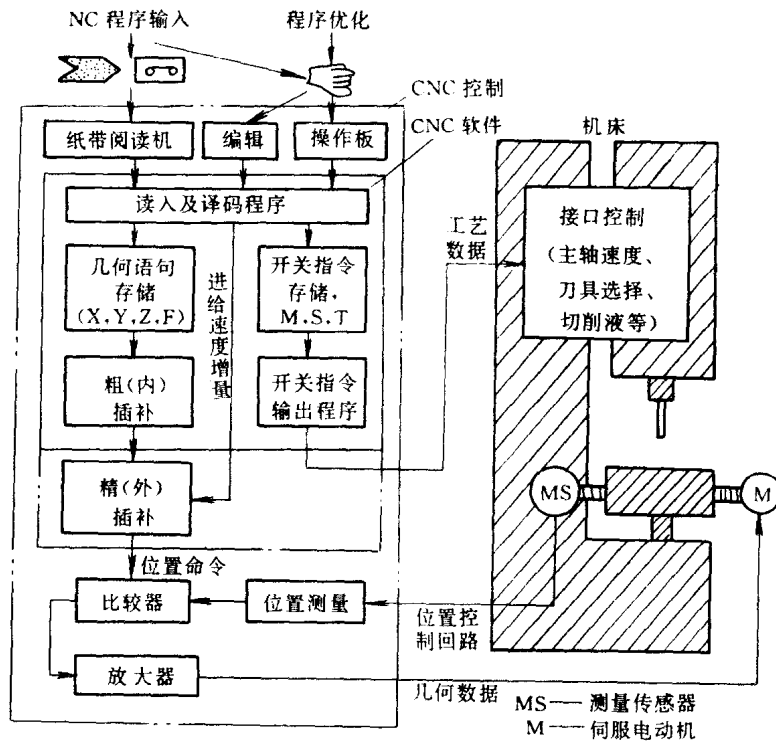


图 1-4 计算机数控机床

## 3. 顺序控制系统

使生产机械或生产过程按规定的时序而顺序动作，或在现场输入信号作用下按预定规律而顺序动作的控制系统称为顺序控制系统。简言之，按时序或事序规定工作的控制系统称为

顺序控制系统。

图 1-5 表示了一个简单的自动化制造单元。它由供料和卸料传送带、上料和下料机器人、加工机床、自动装配机以及编码转台等组成，这些设备之间是按顺序控制工作的。顺序控制装置根据各输入信号的状态，通过逻辑运算，决定各输出状态的变化，使相应设备启停，实现制造过程自动化。实现顺序控制功能可有多种手段，如继电器逻辑、固态集成电路、通用微型计算机等。当前，普遍应用的是用可编程序控制器（Programmable Logic Controller，简记为 PLC）作为顺序控制器。

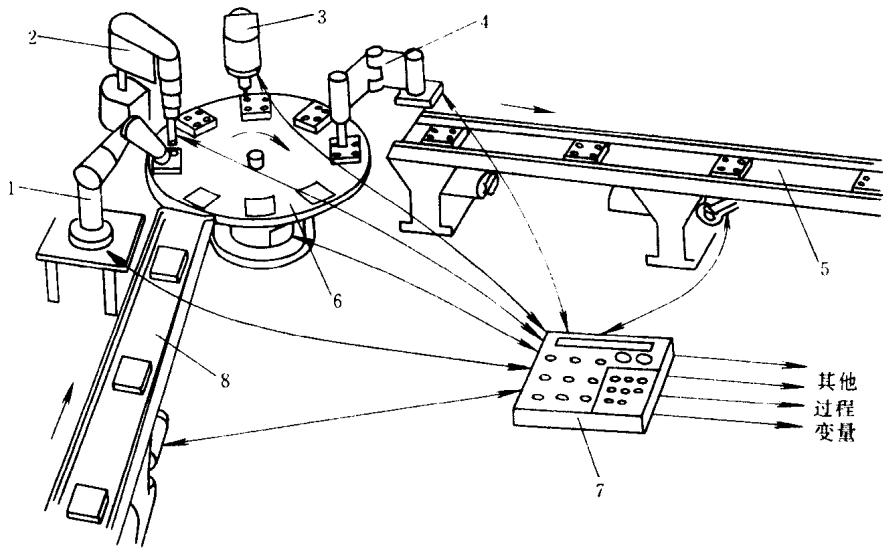


图 1-5 自动加工过程的顺序控制

1—装料机器人 2—加工机床 3—自动装配机 4—下料机器人 5—卸料传送带  
6—编码转台 7—可编程序控制器 8—供料传送带

#### 4. 过程控制系统

在机械、冶金、化工、电力、建材等生产过程中所采用的工业控制系统称为过程控制系统。柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）等自动化制造系统是典型的机械制造过程控制系统。

图 1-6 是一个柔性制造系统的示意图。该系统由两台数控机床、两台机器人、三辆自动导引车、一个刀具库以及一个装卸站等组成，并且由一台单元控制计算机统一控制生产过程和物流。单元控制计算机与各个设备之间通过局部网络（LAN）进行联系。它不但能实现信息流、物料流和加工过程的自动化，还能在一定范围内完成由一种零件加工到另一种零件加工的自动转换。简言之，FMS 是一种用计算机网络控制的机械加工自动线。所谓柔性，就是一种没有固定加工顺序和生产节拍，能在不停机调整的情况下，自动完成不同工件加工任务的功能特性。

### 三、机电一体化产品和系统的分类

机电一体化产品和系统种类繁多。随着科学技术的蓬勃发展，新的机电一体化产品和系统不断涌现出来。目前机电一体化产品和系统的分类如图 1-7 所示。

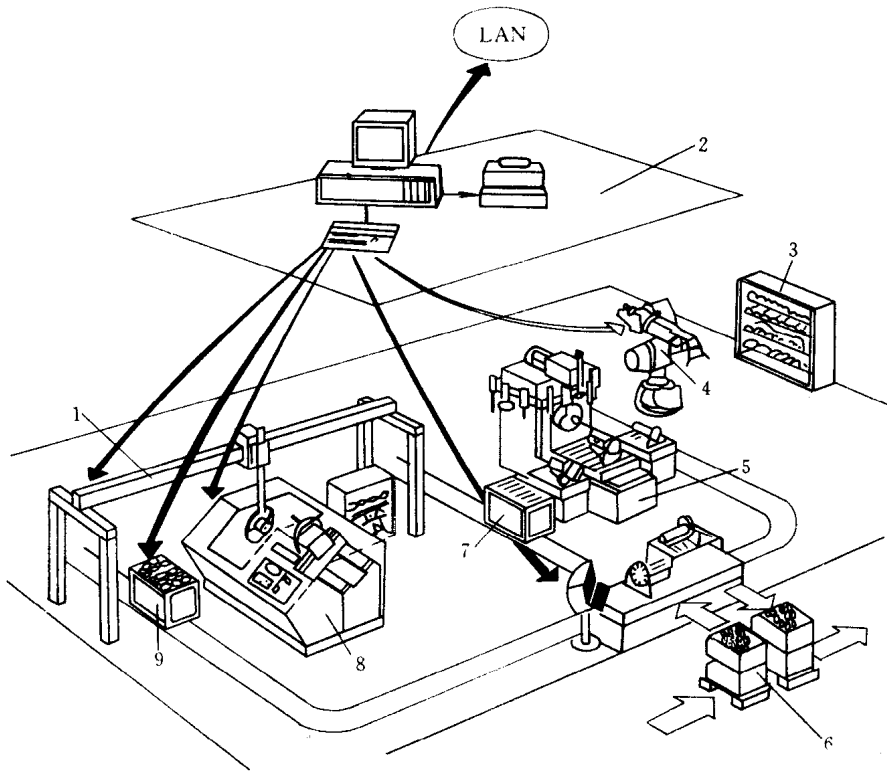


图 1-6 柔性制造系统

- 1—门吊式机器人 2—单元控制器 3—刀具库 4—机器人  
5—NC 加工中心 6—装卸站 7、9—自动小车 8—NC 车床

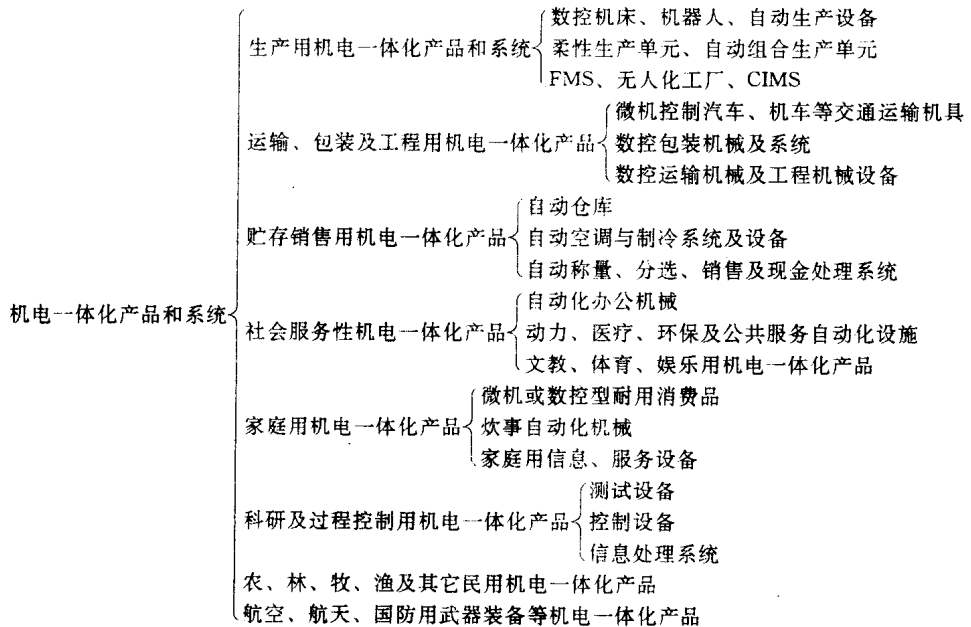


图 1-7 机电一体化产品和系统分类

## 第四节 机电一体化系统设计简介

机电一体化的优势，在于它吸收了各相关学科之长，综合利用而取得整体优化效果，因此在机电一体化系统（产品）的设计过程中，要特别强调技术融合，学科交叉的作用。机电一体化系统设计是一项多级别、多单元组成的系统工程。把系统的各单元有机的结合成系统后，各单元的功能不仅相互叠加，而且相互辅助、相互促进与提高，使整体的功能大于各单元功能的简单的和，即“整体大于部分的和”。当然，如果设计不当，由于各单元的差异性，在组成系统后会导致单元间的矛盾和摩擦，出现内耗，内耗过大，则可能出现整体小于部分之和的情况，从而失去了一体化的优势。因此，在设计过程中，自觉地运用系统的观念和方方法，把握好系统的组成和作用规律，是机电一体化系统设计关键之一。机电一体化系统设计过程也是一个反馈的过程，如图 1-8 所示。对系统的分析，是为了使我们的目的能够最好地实现，为如何构成系统提供必要的信息。在分析过程中，可以利用各种分析方法对系统进行模拟和计算，从而获得系统设计所必须的信息。所谓的系统综合，就是根据分析与评价的结果确定系统的构成和动作方式，作出系统的设计。设计要有多种方案，然后按评价标准从不同观点和角度反复进行综合评价，选出最优的设计。

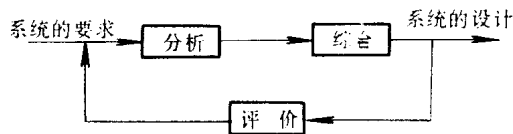


图 1-8 机电一体化系统设计

### 一、拟定机电一体化系统设计方案的常用方法

拟定机电一体化系统设计方案的方法通常有取代法、整体设计法和组合法。

#### 1. 取代法

这种方法就是用电气控制取代原系统中机械控制机构。这种方法是改造旧产品开发新产品或对原系统进行技术改造常用的方法。如用电气调速控制系统取代机械式变速机构，用可编程序控制器取代机械凸轮控制机构、插销板、步进开关、继电器等。这不但可以大大简化机械结构，而且提高了系统的性能。这种方法的缺点是跳不出原系统的框架，不利于开拓思路，尤其在开发全新的产品时更有局限性。

#### 2. 整体设计法

这种方法主要用于新系统（或产品）设计。在设计时完全从系统的整体目标考虑各子系统的设计，所以接口很简单，甚至可能互融一体。例如，某些机床的主轴就是将电动机转子与主轴合为一体；直线式伺服电动机的定子绕组埋藏在机床导轨之中；把电动机与传感器做成一体的产品等等。

#### 3. 组合法

就是选用各种标准功能模块组合设计成机电一体化系统。例如，设计一台数控机床，可



以从系统整体的角度选择工业系列产品,诸如数控单元、伺服传动单元、位置传感检测单元、主轴调速单元以及各种机械标准件或单元等等,然后进行接口设计,将各单元有机的结合起来融为一体。此方法开发设计机电一体化系统(产品),具有设计研制周期短、质量可靠、节约工装设备费用,有利于生产管理、使用和维修。

## 二、机电一体化系统(产品)设计的类型

机电一体化系统(产品)设计大致可分为开发性设计、适应性设计和变参数设计。

### 1. 开发性设计

在没有参考样板的情况下进行设计,根据抽象的设计原理和要求,设计出质量和性能方面满足目的要求的系统。最初的录像机、电视机的设计就属于开发性设计。

### 2. 适应性设计

在原理方案基本保持不变的情况下,对现有系统功能及结构进行重新设计,提高系统的性能和质量。例如,电子式照相机采用电子快门、自动曝光代替手动调整,使其小型化、智能化;汽车的电子式汽油喷射装置代替原来的机械控制汽油喷射装置等。

### 3. 变参数设计

在设计方案和结构不变的情况下,仅改变部分结构尺寸,使之适应于量的方面有所变更的要求。例如,由于传递扭矩或速比发生变化而需从新设计传动系统和结构尺寸的设计,就属于变参数设计。

## 三、机电一体化系统设计

所谓的系统设计,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。

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。综合可理解为各种解决问题要素的拼合的模型化过程,这是一种高度的创造行为。分析是综合的反行为,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、提高和评价作准备。综合与分析是相互作用的。当一种基本设想(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,直到一个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→因时制宜地选择各种具体的现代设计方法(如相似设计法、模拟设计法、有限元法、而可靠性设计法、动态分析法、优化设计法、模糊设计法等)→机电一体化系统设计质量的综合评价。现代设计方法还在不断发展,它必将为机电一体化系统设计提供了新颖而广阔的思路与视野。

## 四、机电一体化系统(产品)开发的工程路线

各种机电一体化系统(产品)开发和产品化过程也各自有其具体特点,归纳其基本规律,机电一体化系统开发的工程路线如图 1-9 所示。