



全国高等教育自学考试指定教材 机电一体化工程专业(独立本科段)

# 机电一体化系统设计

附：机电一体化系统设计自学考试大纲

课程代码  
2245  
[2007年版]

组编 / 全国高等教育自学考试指导委员会  
编 / 董景新 赵长德

机械工业出版社

全国高等教育自学考试指定教材  
机电一体化工程专业（独立本科段）

# 机电一体化系统设计

（附：机电一体化系统设计自学考试大纲）

全国高等教育自学考试指导委员会组编

董景新 赵长德 编

江苏工业学院图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本教材是根据高等教育自学考试机械类专业委员会的决定，依照“机电一体化系统设计”课程自学考试大纲修订意见，在高钟毓教授主编的《机电一体化系统设计》教材的基础上修订编写的。

本教材内容包括：概论、机械受控模块、测量模块、电动机及其驱动电路、步进电动机运动控制系统、闭环伺服系统、机器运动控制指令生成、顺序控制系统。

本教材是机电一体化工程专业（独立本科段）的指定教材，适用于全日制高等学校机械工程专业高年级学生，对于机电一体化专业的工程技术人员，也是适用的培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化系统设计：附：机电一体化系统设计自学考试大纲/董景新，赵长德编. —北京：机械工业出版社，2007.8

全国高等教育自学考试指定教材. 机电一体化工程专业. 独立本科段

ISBN 978-7-111-22154-8

I. 机… II. ①董…②赵… III. 机电一体化-系统设计-高等教育-自学考试-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 124458 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：林松 刘小慧

责任编辑：李书全 版式设计：霍永明

责任校对：魏俊云

北京市鑫霸印务有限公司印刷

2007 年 9 月第 1 版

2008 年 1 月第 2 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·507 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-22154-8

定价：31.00 元

本书如有质量问题，请与教材供应部门联系。

## 组 编 前 言

21 世纪是一个变幻莫测的世纪，是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展，知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战，随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇，寻求发展，迎接挑战，适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习、终生学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试，其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问，这种教材应当适合自学，应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息，有利于学习者增强创新意识、培养实践能力、形成自学能力，也有利于学习者学以致用、解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书，我们虽然沿用了“教材”这个概念，但它与那种仅供教师讲、学生听，教师不讲、学生不懂，以“教”为中心的教科书相比，已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解，以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念，不断探索适合自己的学习方法，充分利用已有的知识基础和实际工作经验，最大限度地发挥自己的潜能达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

2007 年 7 月

## 编者的话

本教材是根据高等教育自学考试机械类专业委员会的决定，依照“机电一体化系统设计”课程自学考试大纲修订意见，在高钟毓教授主编的《机电一体化系统设计》教材的基础上修订编写的，由董景新教授和赵长德教授合编。

为了教学的传承性，本教材保留原教材的框架和主要内容，在原书的基础上各章都作了或多或少的补充和修改。主要是删去一些难度偏大的内容；增添补充了一些适应新技术发展的内容，包括并联机构、超声波电动机、MEMS 传感器、滚动导轨，在后面几章，加入了典型机电系统的应用实验，如步进电动机驱动的 XY 工作台、激光雕刻机、计算机控制的伺服系统等，程序全用读者学过的 C 语言或 8086 汇编语言。同时为了便于学员自学，每章都增加了一些例题和习题。

2007 年 4 月 13 日专业委员会秘书长梅雪松教授在北京主持了教材审稿会，北京机床研究所研究员谭汝谋、北京理工大学教授焦振学、北京工业大学教授范晋伟等参加审稿并提出了重要修改意见，编者按照审稿会专家提出的修改意见和建议对教材进行了进一步的修改和补充，在此对上述专家表示衷心感谢。

编者

2007 年 7 月

# 目 录

第一章 概论	1	例题与习题	159
第一节 机电一体化系统的发展及其基本概念	1	第五章 步进电动机运动控制系统	166
第二节 典型机电一体化系统	4	第一节 步进电动机运动控制系统的组成	166
第三节 系统结构与模块	12	第二节 步进电动机原理与特性	167
第四节 设计依据与评价标准	14	第三节 步进电动机驱动电路	172
第五节 设计思想与方法	16	第四节 脉冲分配器	177
第六节 设计过程	20	第五节 DDA 法运动控制	182
例题与习题	25	第六节 步进电动机驱动的运动控制系统设计举例	185
第二章 机械受控模块	27	例题与习题	192
第一节 齿轮系及蜗杆副	27	第六章 闭环伺服系统	195
第二节 滚珠丝杠螺母副	33	第一节 闭环伺服系统组成方案	195
第三节 谐波齿轮减速器	38	第二节 闭环伺服系统的数学模型	201
第四节 轴系	44	第三节 性能分析	204
第五节 导轨及支承件	49	第四节 模拟伺服系统设计	210
第六节 并联机构	56	第五节 数字控制器设计与实时控制算法	215
第七节 数学模型和设计要 求	58	第六节 计算机控制的位置伺服系统	219
例题与习题	64	例题与习题	225
第三章 测量模块	70	第七章 数控机器运动控制指令生成	232
第一节 机械量传感器分类	70	第一节 运动控制分类	232
第二节 性能指标	72	第二节 运动控制与插补原理	235
第三节 位移传感器	75	第三节 直线与圆弧轨迹插补的实现	243
第四节 速度传感器	83	第四节 样条函数轨迹规划器	251
第五节 加速度传感器	85	例题与习题	257
第六节 力、转矩和压力传感器	88	第八章 顺序控制系统	262
第七节 霍尔式电流传感器	93	第一节 PLC 基本工作原理	262
第八节 信号调理电路	97	第二节 常用 PLC 介绍	264
第九节 数据采集系统	105	第三节 顺序逻辑表示法	266
例题与习题	121	第四节 CX-Programmer 编程软件介绍	275
第四章 电动机及其驱动电路	127	第五节 简单应用实例	277
第一节 电动机基本知识	127	第六节 综合应用实例	284
第二节 直流电动机	130	例题与习题	289
第三节 永磁同步(直流无刷)电动机	140	主要参考文献	295
第四节 交流感应电动机	144	后记	297
第五节 超声波电动机	149	机电一体化系统设计自学考试大纲	
第六节 电动机的选择	155		

# 第一章 概 论

随着机电一体化技术的迅速发展,新的机电一体化产品竞相出现。面对国际市场日益激烈的竞争,以及对知识产权的高度重视,单纯靠引进和仿制国外产品将使企业失去市场竞争力。只有通过产品创新,才能从根本上解决企业的生存与发展问题。学习机电一体化系统的设计理论、方法和应用,是适应技术新潮流的需要,是自主创新的需要,关系到我国能否开发更多的具有自主知识产权的产品,由机械制造大国转变为世界机械制造强国。

本章介绍了关于机电一体化系统的发展历史和基本概念,说明了一些名词和术语;列举了一些常见的典型机电一体化系统实例,其中,包括伺服系统、数控机床、工业机器人、自动导引车、顺序控制系统、柔性制造系统以及计算机集成制造系统;阐述了机电一体化系统的一般性模块结构,定义了各组成模块的功能;论述了机电一体化系统设计指标和评价准则;讨论了机电一体化设计思想和方法,着重说明了它与传统机械产品设计的区别。最后,说明了机电一体化系统设计的全过程。

## 第一节 机电一体化系统的发展及其基本概念

### 一、机电一体化系统的发展

机电一体化(mechatronics)这一概念是于1971年由日本学者首次提出来的,在几十年的发展过程中,其内涵在不断变化更新。起初,机电一体化主要是指机械与电子的简单结合,产品也较简单,主要涉及高性能的伺服技术等。在20世纪80年代,高性能微处理器在机电一体化产品中的应用,提高了机电一体化产品的自动化和智能化程度,数控机床、工业机器人等获得很大发展。到20世纪90年代,计算机网络和通信技术在机电一体化系统中的应用,使机电一体化成为机械学科和信息学科的高度融合。进入21世纪,机电一体化产品也更加多样化、个性化、柔性化、智能化,应用更加广泛。一方面借助现场总线等技术,资源共享,使机电一体化系统越来越大,另一方面,通过机械和微电子的交叉融合微型化而形成微机电系统(MEMS)。

现代科技的发展对机电一体化系统的发展起着巨大的推动作用,其中影响较大的包括微计算机、微控制器及数字信号处理(DSP),网络通信技术,自动控制技术,现代机构学, MEMS技术等。

起初,机电一体化系统设计主要是设计参数的选择与优化,系统性能及行为的仿真,从系统的角度研究机电一体化系统,所涉及的设计理论主要包括:①整体最优化理论——着眼系统,综合机械技术、电子技术、信息技术等,实现整体最优化;②智能化设计理论——使系统具有学习功能和自动决策功能;③柔性化设计理论——在可能的部分用软件功能代替硬件功能;④网络化设计理论——形成各种远程控制和监视技术,同时远程控制的终端设备本身也是机电一体化产品;⑤融合原理——各种异构产品的相互集成与融合;⑥可靠性原理——引入各种故障识别和保护。

20世纪90年代后半期以来,我国对机电一体化系统的研究从接受国外概念设计着重详细设计阶段、改进设计阶段,发展到从概念设计阶段到开始进行创新设计。机电一体化系统在物理上的组成和逻辑上的构成方式将直接影响到系统的设计方法和设计过程。

## 二、基本概念

下面说明“机电一体化系统”的几个基本概念。

1. 系统  
系统至今尚没有一个统一的定义。系统论创始人 L. V. 贝塔朗菲对系统的定义是:相互作用的诸要素的集合体。国际标准化组织技术委员会 (ISOTC) 对系统的定义是:能完成一组特定功能的,由人、机器以及各种方法构成的有机集合体。美国国家标准协会 (ANSI) 对系统的定义是:各种方法、过程或技术结合到一块,按一定的规律相互作用,以构成一个有机的整体。美国韦氏 (Webster) 大辞典对系统的定义是:有组织的或被组织化的整体;结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合;等等。

日本的 JIS 标准对系统的定义为:许多组成要素保持有机的秩序,向同一目的行动的集合体。

《中国大百科全书·自动控制与系统工程》对系统的定义为:由相互制约、相互作用的一些部分组成的具有某种功能的有机整体。

系统从广义上可以定义为两个或两个以上事物组成的相互依存、相互作用,共同完成某种特定功能或形成某种事物现象的一个统一整体的总称。在工程领域,系统可以是机械的、电力的、电子的,其他物理的(声、光、热等)、化学的、生物的、医学的……或者是这些系统的某种组合。例如,机电系统是机与电的组合系统,特别是精密机械与微电子的综合集成系统。

大系统可以分解为若干小系统来进行研究,小系统可以组合成大系统,完成更为复杂的功能。

对于实际应用,系统一般可以定义为任何存在某种因果关系的一组物理元件。其因称为激励或输入,其果叫做响应或输出。通常,输入和输出都是物理变量。例如位移、速度、温度、压力、电压、电流等。

描述决定系统输入与输出之间关系的数学方程式,称为系统的数学模型。不同的系统特性,有不同的数学模型。根据数学模型的不同,可以分为静态的或动态的,线性的或非线性的,定常的或时变的,确定性的或随机的,等等。静态系统实时输出只与当时的输入有关,描写静态系统的数学模型是代数方程。动态系统的实时输出不仅与当时的输入有关,而且与过去的输入和输出有关,描写动态系统的数学模型是微分方程组。输入和输出满足线性叠加原理的系统称为线性系统,不满足线性叠加原理的系统则为非线性系统。数学模型中的所有系数都为与时间无关的常量的系统称为定常系统(时不变系统),否则称为时变系统。在已知输出初值和给定输入的条件下,未来输出可以按照数学模型唯一确定的系统称为确定性系统,否则为随机系统。

本教材主要集中讨论线性、定常、确定性、动态系统。通常,根据系统工作的物理



原理或通过实验,可以直接列写和推导出线性定常确定性动态系统的数学模型。该数学模型一般为常系数线性微分方程组,并进一步通过拉氏变换,导出系统传递函数。传递函数可以描述线性定常确定性动态系统的特性,因而成为研究这类系统的最常用和有效的数学工具。

## 2. 机电一体化

“机电一体化”一词来源于英文名词“Mechatronics”。这是由日本人于20世纪70年代初期首创的,它取了“Mechanics(机械学)”的前五个字母和“Electronics(电子学)”的后七个字母组合而成。其涵义是机械与电子的集成技术。在我国通常译为“机电一体化”,或者“机械电子工程”。机电一体化是微电子技术、信息技术的快速发展并向传统机械产品渗透与融合的结果。欧洲经济共同体内部,把“机电一体化”定义为“在设计产品或制造系统时所思考的精密机械工程、电子控制以及系统的最佳协同组合”。

无论从“机电一体化”涵义,或者从欧共体的定义,“机电一体化”不能被认为学科分类的定义。换言之,它不是一个独立的工程学科,而是在设计过程中集成多种学科的方法或技术。它的核心学科是机械工程、电子工程,以及信息与控制技术。日本机械振兴协会经济研究所于1981年提出:“机电一体化这个名词乃是在机构的主功能、动力功能、信息与控制功能上引进了电子技术,并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成的系统总称”。也就是说,机电一体化不是机械和电器简单的结合,而是两者有机的融合,即功能上和结构设计上巧妙地结合在一起。例如当今数控机床用的电主轴、电螺母丝杠副、自动照相机等,便是其典型代表。广义的机电一体化涵盖了机电液一体化、机电光一体化等概念。

## 3. 机电一体化系统

按照系统和机电一体化的定义,所有的机电一体化产品,例如数控机床、传真打印机……以及这些产品的集成体,都可称为机电一体化系统。

德国 Darmstadt 大学的学者 Rolf Isermann 提出机电一体化系统是由控制功能、动力功能、传感检测功能、操作功能和构造功能五大功能模块组成。将机电一体化系统通俗地类比于人的大脑、内脏、五官、四肢及躯体。丹麦理工大学的学者 Jacob Burr 提出机械、电子、软件三个相关圆环,以此表示机电一体化系统的组成和相互关联。挪威科技大学的学者 Bassam, A. Hussein 将机电一体化系统划分为物理系统与控制系统两大子系统。物理系统包括各种驱动装置、执行机构、传感器等,控制系统包括软、硬件。

机电一体化系统不同于传统的机电产品或机械制造系统,它们或多或少将部分复杂的功能由机械转移到电子而实现,比纯机械对应物更简单,涉及的零件和机械传动部件更少。

机电一体化系统现已被广泛应用于工厂自动化、办公自动化、家庭自动化以及社会服务自动化(所谓“4A革命”)等各种自动化环境条件下中。

当今正在不断发展的机电一体化制造系统,充分利用了现代信息技术,改善了制造能力。机电一体化制造系统还具有协调工程设计和制造技术的能力,提高了生产效率和柔性,改善了产品质量,能适应快速变化的市场需求,从而提高了产品在市场中的竞争能力。机电一体化使得产品向数字化、高效化、复合化和智能化发展。随着网络的发展,资源共享和系统集成使得机电一体化系统使系统从简单到复杂、从小规模向更大的规模发展,即由点向线、面、体发展,例如相继出现数控机床(NC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS),网络制造等,成为机电一体化大系统的实际体现。

4. 系统的数学模型

建立控制系统的数学模型，并在此基础上对控制系统进行分析、综合，是机电一体化系统重要的分析和设计方法。对于机电一体化系统，在输入作用下有什么运动规律，我们不仅希望了解其稳态情况，更重要的是要了解其动态过程，即不仅要了解系统的静态数学模型，更重要的要对其动态特性建模。如果将机电一体化系统在信号传递过程中的这一动态特性用数学表达式描述出来，就得到了组成机电一体化系统的数学模型。系统数学模型既是分析系统的基础，又是综合设计系统的依据。

经典控制理论采用的数学模型主要以传递函数为基础，包括函数方块图、频率特性等形式。而现代控制理论采用的数学模型主要以状态空间方程为基础。而以物理定律及实验规律为依据的微分方程又是最基本的数学模型，是列写传递函数和状态空间方程的基础。

系统数学模型建立起来后，通常利用计算机对机电一体化系统进行仿真，更好地分析和设计综合系统。

## 第二节 典型机电一体化系统

从传统的机电系统向机电一体化系统的过渡主要是依靠引用不断完善控制技术加以实现的，其范围包括监控、开环控制、闭环控制、自适应控制、模糊控制以及智能控制等。但是控制技术和机电一体化技术两者之间存在着基本的区别，机电一体化伴随着机械系统的再设计，机电一体化系统往往是将复杂的功能，如精密定位，由机械转移给电子，从而产生更加简单的机械系统。

根据机电一体化系统的定义概念，在工厂自动化中，典型的机电一体化系统有以下几种形式。

### 一、机械手关节伺服系统

图 1-1 是机械手的一个关节伺服系统，它的受控过程是机器人的关节运动。伺服系统 (Servosystem) 又称作随动系统，它是一种反馈控制系统，它的受控变量是机械运动，如位置、速度及加速度。多数伺服系统用来控制运动机械的输出位置紧紧跟随电的输入参考信号。关节伺服系统可采用微处理器作为控制器，关节轴的实际位置由旋转变压器测量，转换为电的数字信号后，反馈给微处理器控制器。微处理器经过控制算法运算后，输出控制指令，再经过数模转换和伺服功率放大，供给关节轴上的伺服电动机。伺服电动机根据控制指令驱动关节轴转动，直至机器人手爪到达输入参考信号设定的希望位置为止。

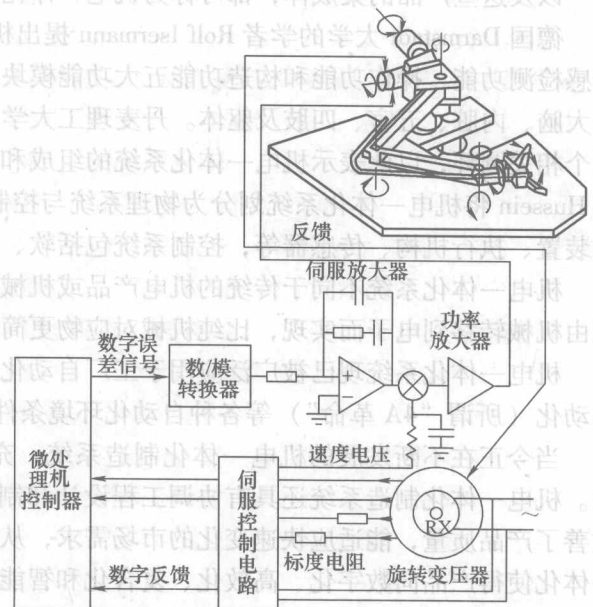


图 1-1 机械手关节伺服系统

## 二、数控机床

通过数字控制系统控制加工过程的机床称为数控机床。数控系统是一种利用预先决定的指令控制一系列加工作业系统。指令以数码的形式储存在某种形式的输入介质上，如磁带、磁卡等。指令确定位置、方向、速度、以及切割速度等。零件程序包含加工零件所要求的全部指令。数控机床可以形成镗、钻、磨、铣、冲、锯、车、绕（线）、编织（服装）、铆、弯、焊以及特种加工等加工作业。

数控（NC）通过编制程序以替代原机械凸轮、模具及样板等，显示出柔性及机电一体化的优越性。同一数控机床采用不同的程序可以生产各种不同的零件。数控加工最适合在同一机床上加工大量不同的零件，而极少在同一机床上连续生产单一零件。当一个零件或一个加工过程能由数学定义的时候，数控是最理想的。随着计算机辅助设计（CAD）的应用日益增加，由数学定义的过程和产品愈来愈多。

图 1-2 表示了一种三坐标闭环数控机床。它利用闭环系统控制  $x$ 、 $y$  及  $z$  三个坐标位置。 $x$  位置控制器沿  $x$  方向水平移动工件。 $y$  位置控制器沿  $y$  方向水平移动铣床头。 $z$  位置控制器沿  $z$  方向垂直运动铣刀。图中，箭头表示改变  $x$  位置的信息传递过程：①机床控制单元读取程序中的一条指令，确定  $x$  位置改变  $+0.4\text{mm}$ ；②控制单元传送一个脉冲给机床伺服电动机；③伺服电动机转动丝杠螺母副，并且进给  $x$  轴位置  $+0.001\text{mm}$ ；④位置传感器测量  $x$  轴位置的  $+0.001\text{mm}$  变化，并且把这一信息反馈给控制器；⑤控制器比较  $+0.4\text{mm}$  的希望运动和  $+0.001\text{mm}$  的测量运动，然后传送出另一个脉冲；重复步骤①~⑤，直到测量运动等于希望的  $+0.4\text{mm}$  为止。

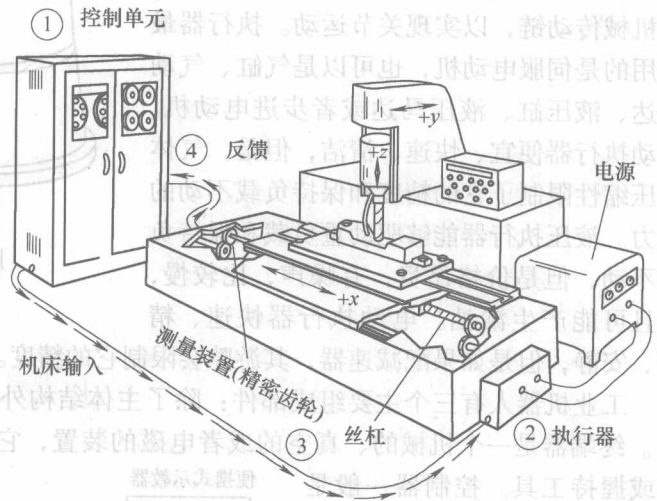


图 1-2 三坐标数控机床

NC 加工以一份程序清单（工程图或数学定义）开始，该清单完全定义了希望零件或过程。程序设计器根据这份清单，决定加工零件或实现过程所必要的一系列操作，确定需要使用的工具、切割速度以及进给速度。程序设计器使用特定的程序语言准备符号程序。APT（Automatically Programmed Tools）是用于这一目的的一种语言。计算机转换符号程序为零件程序或者机器程序。零件或机器程序存储在磁带或磁卡上。数控机床操作人员将数据输入机床，并且监视操作。如果需要改变，必须编制新程序。现在，可以把程序储存在公共数据库内，按需要分配给数控机床。加工中心的图形终端容许操作人员审阅程序，必要时可以加以修改。

## 三、工业机器人

工业机器人是另一类数控机器。它是可编程多自由度的，用来通过一系列动作，搬运物料、零件、工具，或者其他装置，以实现给定的任务。工业机器人有能力移动零件，加载

NC 机床, 操作压铸机, 装配产品, 焊接、喷漆、打毛刺, 以及包装产品。最典型的工业机器人是具有六个自由度的机械手, 如图 1-3 所示。

图中, 六个运动自由度是:

- (1) 手臂扫掠 (腰左转或右转);
- (2) 肩旋转 (肩向上或向下);
- (3) 肘伸展 (肘缩进或伸出);
- (4) 俯仰 (手腕上转或下转);
- (5) 偏航 (手腕左转或右转);
- (6) 横滚 (手腕顺时针转或反时针转)。



图 1-3 六自由度工业机器人

每一个运动轴都有自己的执行器, 连接到机械传动链, 以实现关节运动。执行器最常用的是伺服电动机, 也可以是气缸、气动马达、液压缸、液压马达或者步进电动机。气动执行器便宜、快速、清洁, 但是, 气体可压缩性限制了它的精度和保持负载不动的能力。液压执行器能够驱动重负载和保持负载不动, 但是价格昂贵, 有噪声, 比较慢, 并且可能产生漏油。电动执行器快速、精密、安静, 但是如果配减速器, 其游隙会限制它的精度。

工业机器人有三个主要组成部件: 除了主体结构外, 还有终端器和控制器 (参见图 1-4)。

终端器是一个机械的、真空的或者电磁的装置, 它安装在机械手的腕上, 用来抓取零件或握持工具。控制器一般是一台计算机。在任何情况下, 控制器在存储器中都存有一系列定位数据。按照给定的操作次序, 它启动和停止机械手的运动。控制器可以与主机通信, 卸载程序和提供管理信息。每一个运动轴都由一个开环或闭环控制系统控制。

最简单的机器人是开环搬运 (PNP) 机器人。PNP 机器人搬取一个物件并将它运到另一个地方。机器人的运动可以

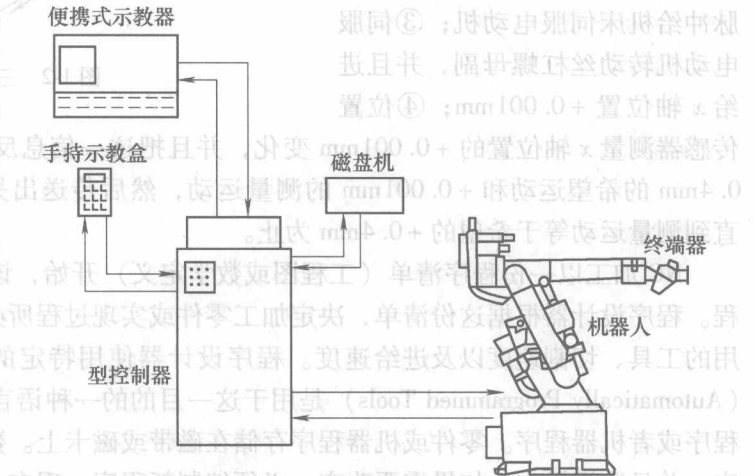


图 1-4 机器人控制的硬件组成

由限位开关、凸轮作用阀或者机械档块控制的气动执行器实现。控制器以事件驱动顺序按时启动沿着一轴的运动。每一个运动一直继续到限位开关断开才停止。然后, 控制器再依次启动下一个轴的运动。典型应用包括机床加载或卸载、堆垛、以及一般的物料处理任务。开环的 PNP 机器人是相当精确的, 但是缺少各个轴的协调。

第二类工业机器人是多轴伺服控制的，能够编程从一点运动到另一点。路径不是关键的机器人称为点位式（PTP）工业机器人；如果路径是关键，则叫做连续路径（CP）工业机器人。PTP 机器人从一点运动到另一点，在每一点上完成一定的功能。典型的功能包括点焊、粘接、钻孔、去毛刺等。CP 机器人沿给定的路径从一点运动到另一点，一边运动一边完成作业。典型的 CP 应用包括喷漆、缝焊、切割以及检查。这类机器人控制器或者是可编程序控制器，或者是小型计算机。它们依靠悬挂式示教操作台，采用示教方法编制机器人程序。

第三类工业机器人也是可编程序的，由点到点运动，或者沿连续路径运动。但是，除了利用示教操作台实时编程外，它们还可以利用键盘和 CRT 离线编程。这些机器人可以与主机通信。它们利用高级语言和人工智能处理 CAD/CAE 数据库的信息。

机器人伺服控制系统利用位置和速度反馈信号控制机械手运动。位置信号可以是绝对的或者增量的。机器人控制器将设定点信号送给每一个伺服系统，使得它的轴运动到给定位置（绝对位置），或者运动给定距离（增量位置）。位置和速度作为伺服控制回路的内反馈信号。机器人控制器还有其他传感器输入（伺服回路以外）。这些外部输入包括视觉、触觉以及语音识别。控制器利用这些信号检测目标外貌、目标尺寸以及目标个性。

#### 四、自动导引车

自动导引车（Automatic Guided Vehicle，简记为 AGV）是另一种形式的移动工业机器人。它能够跟踪编程路径，在工厂内将零件从一个地方运送到另一个地方。在汽车工业、电子产品加工工业以及柔性制造系统中，自动导引车物料运输系统已经得到广泛使用。

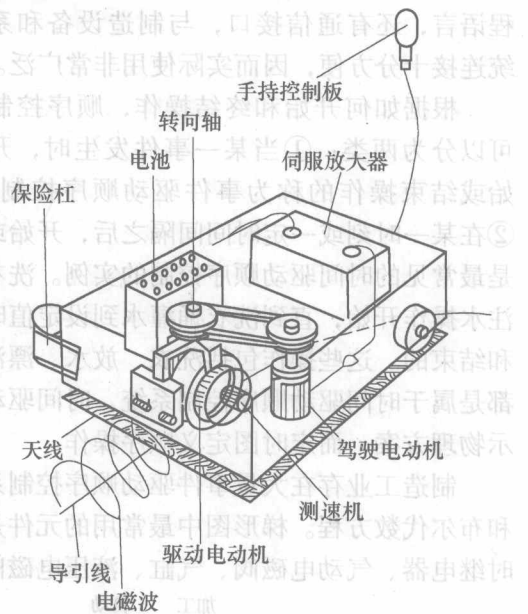


图 1-5 感应导线式自动导引车原理图

图 1-5 表示了一种感应导线式 AGV。该车采用单驱动轮/驾驶机构，即前轮为驱动轮，它能够绕驾驶轴转动，因而又是驾驶轮。两个后轮安装在固定轴上，允许沿车身纵轴方向滚动。导引线是  $\phi 1\text{mm}$  的绝缘电线，铺设在  $(6 \times 20)\text{mm}$  的地板槽内，表面用树脂密封。导线中通以低频（ $< 15\text{kHz}$ ）、低压（ $< 40\text{V}$ ）、小于  $400\text{mA}$  的交流电流，在导线周围形成交变磁场。安装在车身前部的一个弓形天线跨在导引线的上方。在导线的交变磁场作用下，天线的两个对称线圈中感应电压的差值代表车辆偏离轨道的误差信号。误差信号经过伺服放大后，驱动驾驶电动机，使前轮偏转。前轮偏转后，改变车辆运动轨迹，直至其沿正确轨道行驶，从而实现了自动驾驶功能。

AGV、地面控制柜、地面导引线以及通信控制设备组成了自动导引车系统，在自动化制造环境下，可作为自动物料运输系统。它可以有多辆 AGV，而且，在沿导引线的线路上可以设置多个停靠站，同时由一个地面控制柜控制和管理。一个简化的自动导引车系统如图 1-6 所示。

### 五、顺序控制系统

顺序控制系统是按照预先规定的次序完成一系列操作的系统。在顺序控制系统中，每一步操作是一个简单的二进制作，如电源开关的通断或制造设备专用控制器的启停等。实现顺序控制功能可有多种手段，如继电器逻辑、集成电路、通用微计算机等。当前，普遍采用可编程逻辑控制器（Programming Logical Controller，简记为 PLC）作为顺序控制器。PLC 具有足够数量的输入/输出（I/O）端口，带有专用的逻辑编程语言，还有通信接口，与制造设备和系统连接十分方便，因而实际使用非常广泛。

根据如何开始和终结操作，顺序控制可以分为两类：①当某一事件发生时，开始或结束操作的称为事件驱动顺序控制；②在某一时刻或一定时间间隔之后，开始或结束操作的称为时间驱动顺序控制。自动洗衣机是最常见的的时间驱动顺序控制的实例。洗衣周期以某一操作开始，当某人按压启动按钮时，注水操作开始，直到洗衣桶灌水到设定值时结束。而后，剩下的所有操作都是按计时器开始和结束的。这些操作包括洗衣、放水、漂清以及甩干等全部操作过程。多数批处理控制系统都是属于时间驱动顺序控制系统。时间驱动顺序控制系统由示意图和定时图描写。示意图表示物理方案，而定时图定义顺序操作。

制造业存在大量事件驱动顺序控制系统。描写事件驱动顺序控制逻辑常用的是梯形图和布尔代数方程。梯形图中最常用的元件是开关、触点、继电器、接触器、马达起动机、延时继电器、气动电磁阀、气缸、液压电磁阀以及液压缸等。

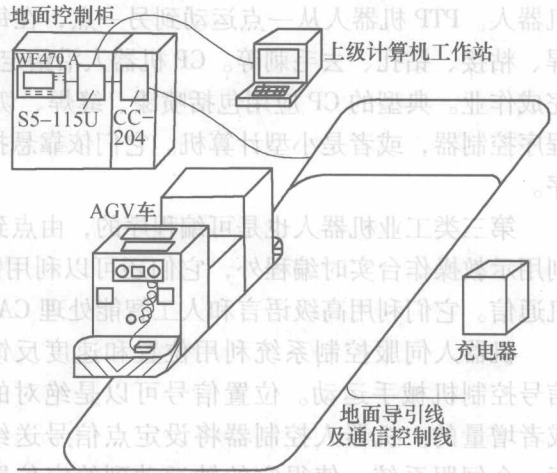


图 1-6 自动导引车系统组成

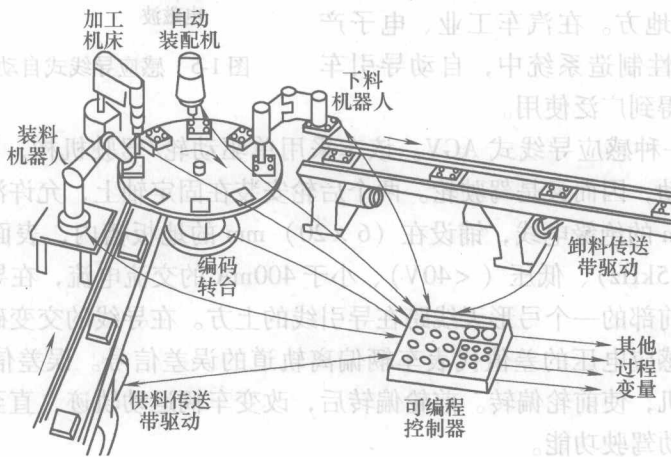


图 1-7 加工过程顺序控制系统

图 1-7 表示了一个自动加工过程的事件驱动顺序控制系统。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制造设备组成。这些制造设备都与可编程序逻辑控制器（PLC）相联，进行输入/输出信息交换。PLC 根据各个输入、输出状态，通过逻辑运算，决定各个输出状态的变化，控制相应设备的启停，从而实现制造过程的自动化。图 1-7 所示的顺序控制循环过程如下：

上料机器人从送料传送带取下零件毛坯，送入加工机床。零件加工完毕后，由编码转台将其转到自动装配机下方。装配完毕后，编码转台将成品转到下料机器人下方。然后，由下料机器人搬运成品到卸料传送带上，传送带将其输送到成品库。

## 六、数控自动化制造系统

在制造工业中，要求生产系统有能力适应不断变化的市场，以很短的周期生产出各种形式的小批量新产品。不管是手工生产，或者是大批量生产线，都是不能满足这些要求的。前者虽然适应性强，但是生产率低；后者固有的装配与传送线缺少柔性，改变起来耗费时间和代价。这种在制造过程中增加柔性的要求，必然导致柔性制造系统概念的发展。

### 1. 柔性制造系统（FMS）

在柔性制造系统中，将计算机数控机床、工业机器人以及自动导引车连接起来，以适应加工成组产品。图 1-8 表示了一个柔性制造系统。它由两台数控机床、两台工业机器人、三辆自动导引车以及装卸站与刀具库等组成，并通过单元控制器与局域网（LAN）相连，以实现各个独立设备之间的通信。这样的制造系统可以独立应用，也可作为生产线中的一个独立的自动化制造岛。它是机电一体化系统在工厂自动化中应用的范例。

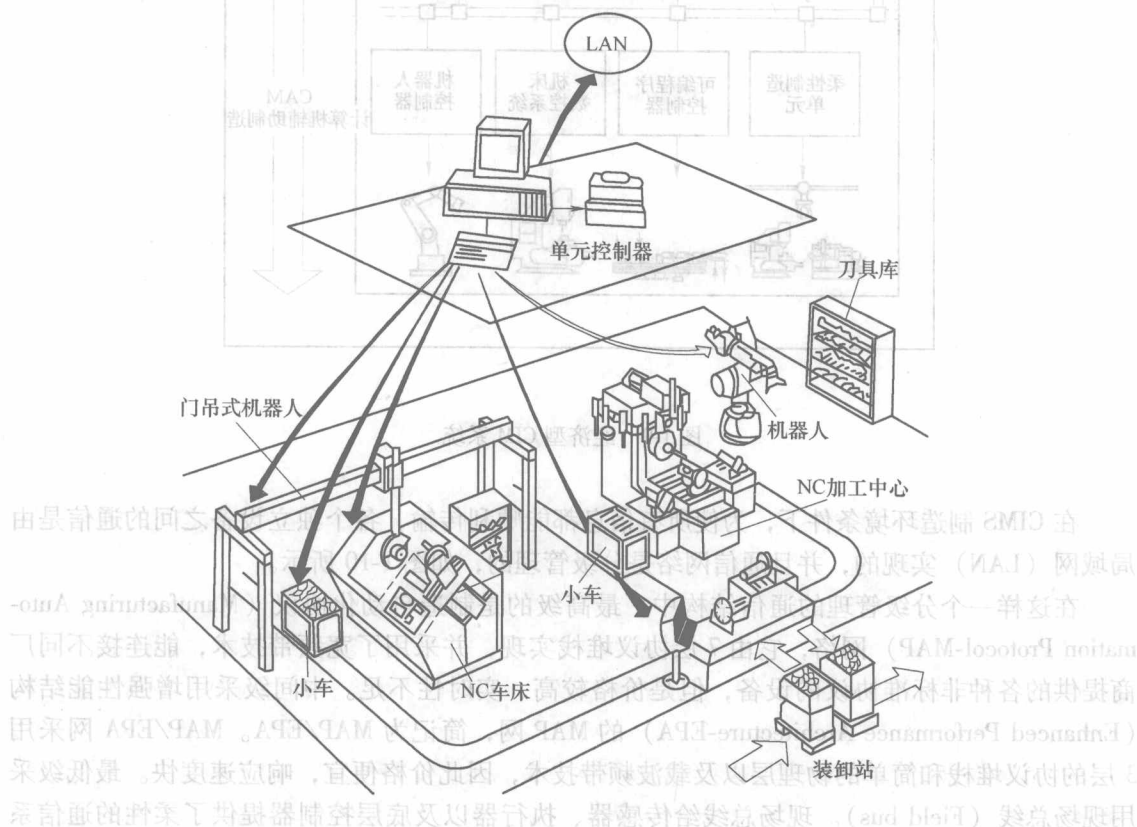


图 1-8 柔性制造系统

2. 计算机集成制造系统 (CIMS)

图 1-9 表示了一个经济型计算机集成制造系统的组成。它通过计算机网络, 将计算机辅助设计、计算机辅助规划以及计算机辅助制造, 统一连接成一个大系统, 实现了全厂的自动化。

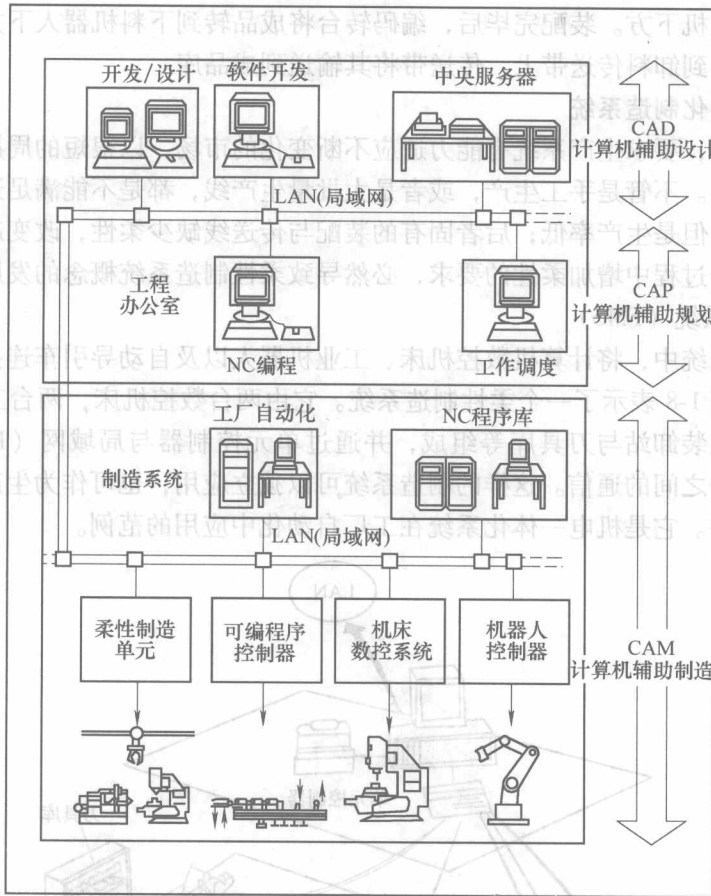


图 1-9 经济型 CIM 系统

在 CIMS 制造环境条件下, 为使所有信息都能顺利传输, 各个独立设备之间的通信是由局域网 (LAN) 实现的, 并且通信网络是分级管理的, 如图 1-10 所示。

在这样一个分级管理的通信结构中, 最高级的是制造自动化协议 (Manufacturing Automation Protocol-MAP) 网络, 它由 7 层协议堆栈实现, 并采用了宽频带技术, 能连接不同厂商提供的各种非标准协议的的设备, 但是价格较高、实时性不足。中间级采用增强性能结构 (Enhanced Performance Architecture-EPA) 的 MAP 网, 简记为 MAP/EPA。MAP/EPA 网采用 3 层的协议堆栈和简单的物理层以及载波频带技术, 因此价格便宜, 响应速度快。最低级采用现场总线 (Field bus)。现场总线给传感器、执行器以及底层控制器提供了柔性的通信系统。



随着系统越来越复杂，同时技术上进入数字化后，机电一体化的规模越来越大，各厂家便开始独立创建相互关联产品相互连接的专有协议。不同厂家的产品由于协议不同而缺乏互操作性，这样就出现了一系列新问题。由于很难有单独厂家能不依赖别的厂家提供所有产品来满足应用工厂的全部需求，同时任何厂家都不可能所有产品方面都是最好的，因此常常需要选择一些其他厂家的产品。由于不同厂家设备采用不兼容的协议，导致将各个部分集成于同一网络成为不可能，这就形成了自动化生产的一个个“孤岛”。由于协议的不同，造成了现场仪表不能与系统集成而进一步发挥仪表的智能。

解决以上矛盾的出路就是制定一种独立于卖方的系统集成标准，因此标准化的总线网络顺势而生。网络是一个开放式系统的关键要素，在此基础上进一步开发出具有互操作性的现场总线。

现场总线于 20 世纪 80 年代开始发展，专家们开发新技术作为标准的国际通行的现场总线，以满足总线供电、安全运行、远距离通信等要求，不少系统的供应商都参加了标准的开发。尽管全世界还无法一致认可一个标准协议，但也形成了一些大家相对认可的标准，包括基金会现场总线（Fieldbus Foundation, FF）、过程现场总线（PROcess Field BUS, PROFIBUS）、可寻址远程传感器数据通路（Highway Addressable Remote Transducer, HART）、控制器区域网（Controller Area Network, CAN）、局部操作网络（Local operating network, Lon Works）和世界工厂仪表协议（World Factory Instrument Protocol, WorldFIP）。各种协议并不相互兼容。

七、微机电系统

机电一体化在微型化领域的发展产生了微机电系统（MicroElectroMechanical Systems, 简记作 MEMS）。微机电系统名称的首次正式问世是在 1989 年美国盐湖城一次有关微型遥控机器人的会议（Micro-Tele-Operated Robotics Workshop）上，由加利福尼亚大学伯克利分校的 Roger Howe 教授宣布的。关于微机电系统（MEMS）一个较普遍的定义为：“微机电系统是电子和机械元件相结合的微装置或系统，采用与集成电路（IC）兼容的批加工技术制造，尺寸可从毫米到微米量级范围内变化。这些系统结合了传感和执行功能并进行运算处理，改变了我们感知和控制物理世界的方式。”这一新的领域在欧洲多称为微系统技术（MicroSystems Technology, 简记作 MST），这一称谓更强调系统的观点，即如何将多个微型化的传感器、执行器、处理电路等元部件集成为一个智能化的有机整体。该领域在精密机械加工方面有传统优势的日本则称之为微机器（Micro-Machine）。

20 世纪 80 年代中后期以来，以集成电路工艺和微机械加工工艺为基础制造的微机电系统（MEMS）（平均年增长率达到 30%。MEMS 是尺寸从毫米到微米级的将电子元件和机械元件集成到一起的机电一体化系统，可以对微小尺寸进行感知、控制、驱动，单独地或配合地

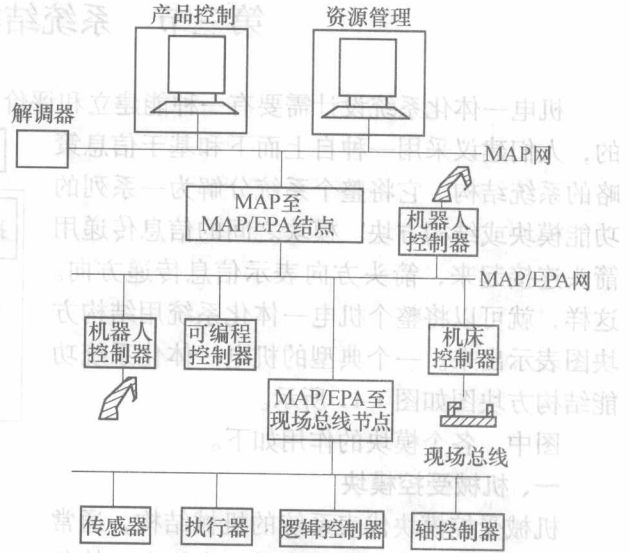


图 1-10 制造系统通信网络分级管理