

# 机电一体化技术

陈瑜 编著

机械工业出版社

# 机电一体化技术

陈瑜 编著



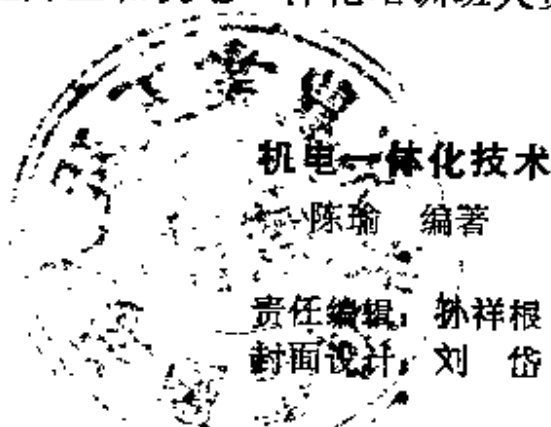
机械工业出版社

ZR71/15

## 内容简介

本书共十一章。分别论述机电一体化概念、相关技术、典型产品以及对机械产品的影响；机电一体化产品中常用集成电路；微型机与机械设备连接技术；基本接口电路设计；固态继电器及应用；感应电机调速方法；直流伺服控制技术的设计要点；步进电机开环控制技术；电磁铁及其控制；机械量检测用传感器及接口电路；机电一体化产品实例。

全书内容新颖，实用性强，各章都附有许多实例。适合广大从事机电一体化工程、自动控制、微型机应用和传统工业技术改造的科研、生产、教学人员阅读，也可作大专院校有关专业师生和机电一体化培训班人员的参考书。



机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张10·<sup>1</sup>/<sub>8</sub>·字数227千字  
1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷  
印数 00.001—5000·定价：2.65元

统一书号：15033·6697H

## 编者的话

这本小册子是作者近几年在机电一体化讲习班讲稿的基础上，参考了国外有关资料编写而成的。它较全面地介绍了机电一体化技术，可供从事机电一体化产品开发和传统工业技术改造的工程技术人员参考。

机电一体化技术是一门综合性很强的技术，牵涉的专业面宽，目前正处于蓬勃发展阶段，新产品不断涌现，波及的行业也越来越多。因此，尽管作者力图写得全面，恐怕还是挂一漏万，再加上作者学识有限，书中缺点与错误之处敬请读者批评指正。

本书得到了机械委高级工程师许莘同志、北京机械工业管理学院朱骥北副教授、马保麟工程师和机械委教材编辑室高级工程师孙祥根同志的大力支持与协作，深表感谢。

# 目 录

## 第一章 机电一体化

- § 1—1 概况…………… ( 1 )
- § 1—2 机电一体化的相关技术…………… ( 3 )
- § 1—3 机电一体化对机械产品的影响…………… ( 7 )
- § 1—4 机电一体化典型产品介绍…………… ( 10 )

## 第二章 机电一体化产品中常用集成电路

- § 2—1 数字集成电路使用基础…………… ( 16 )
- § 2—2 触发器 (FF) 及其应用…………… ( 23 )
- § 2—3 常用中规模集成电路及其应用…………… ( 29 )

## 第三章 微型机与机械设备的连接

- § 3—1 微型机与机械设备的连接…………… ( 56 )
- § 3—2 接口电路的种类…………… ( 57 )

## 第四章 基本接口电路及其使用方法

- § 4—1 PPI (8255 A) 概述…………… ( 73 )
- § 4—2 I/O寻址问题…………… ( 78 )
- § 4—3 使用PPI的程序…………… ( 83 )
- § 4—4 应用举例…………… ( 87 )

## 第五章 固态继电器SSR

- § 5—1 执行机构及其应用…………… ( 94 )
- § 5—2 固态继电器SSR及其应用…………… ( 95 )
- § 5—3 SSR的种类…………… ( 96 )
- § 5—4 过零型SSR…………… ( 98 )
- § 5—5 SSR主要优缺点…………… ( 100 )

§ 5—6	SSR使用注意事项 .....	( 101 )
§ 5—7	SSR主要用途及其实例 .....	( 103 )
<b>第六章 交流感应电机及其控制</b>		
§ 6—1	交流感应电机 .....	( 107 )
§ 6—2	感应电机的正/反转控制 .....	( 108 )
§ 6—3	三相感应电机通/断控制 .....	( 111 )
§ 6—4	三相感应电机的正/反转控制 .....	( 112 )
§ 6—5	感应电机的速度控制 .....	( 113 )
§ 6—6	频率变换器 .....	( 118 )
<b>第七章 直流伺服电机微电子控制</b>		
§ 7—1	直流电机的特性 .....	( 136 )
§ 7—2	微型机与电机的接口技巧 .....	( 165 )
§ 7—3	直流伺服电机的应用机构 .....	( 173 )
<b>第八章 步进电机及其控制</b>		
§ 8—1	前言 .....	( 184 )
§ 8—2	步进电机的种类 .....	( 185 )
§ 8—3	步进电机工作原理 .....	( 188 )
§ 8—4	驱动电路与阻尼 .....	( 191 )
§ 8—5	步进电机控制电路 .....	( 195 )
§ 8—6	步进电机的应用实例 .....	( 222 )
<b>第九章 电磁阀及其应用</b>		
§ 9—1	电磁阀与电磁铁控制 .....	( 229 )
§ 9—2	电磁阀的应用举例 .....	( 244 )
<b>第十章 机械量检测传感器及其应用</b>		
§ 10—1	位置检测传感器 .....	( 254 )
§ 10—2	位移与角度传感器 .....	( 263 )
§ 10—3	速度与角速度的测量 .....	( 273 )
§ 10—4	加速度传感器 .....	( 278 )
§ 10—5	力与压力传感器 .....	( 279 )

## 第十一章 应用举例

§ 11—1	机床的时序控制.....	( 288 )
§ 11—2	简易数控机床.....	( 294 )
§ 11—3	简易数控铣床.....	( 305 )
§ 11—4	数控插齿机床.....	( 315 )
§ 11—5	数控滚齿机床.....	( 317 )
§ 11—6	冲压加工微机监控系统.....	( 319 )

## 主要参考文献

# 第一章 机电一体化

## § 1-1 概 况

当前世界正在进行着一场新技术革命，在这场革命中，以集成电路为中心的微电子技术首当其冲，影响面最广。从1959年集成电路的出现到现在短短廿几年的时间，集成度已从最初的几十个元件的小规模发展到几千、几万、十万、一百万以上元件的大规模LSI和超大规模VLSI。与此同时，在应用方面相继开拓了许多新的领域，给社会生活和工业结构带来了极大影响。例如：（1）集成电路用于计算机上，使处理运算能力飞速提高，成本急剧下降，应用迅速普及起来。除此而外，计算机的体积、重量、功耗等指标都变得很小，可靠性大大提高。（2）集成电路用于办公自动化、工厂自动化和家庭自动化方面的机器正在迅速发展。（3）集成电路用于钟表上，使这一行业的结构发生了变革性的变化。（4）集成电路用于汽车，带来了汽车电子工业的兴起，使汽车的行驶性、安全性、节能、防污染、舒适性方面都有明显的改善。（5）集成电路与机械制造业结合诞生了机电一体化。从此，机械工业进入了升级换代的发展时期。

（6）集成电路用于工业过程控制和管理，不仅可以提高生产效率，而且也是实现生产过程自动化和无人化的重要途径。



在科学技术飞速发展的今天，任何一项新技术的产生，都不是孤立的，而是各种技术互相渗透的结果。机电一体化就是在这种形势下诞生的一种复合化技术。尽管目前对机电一体化尚无统一的定义，它仍属于发展中的技术，但它包括的内容是一致的，即机械学、微电子学和信息科学三者如何进行有机的结合，构成一种优化技术。应用这种技术制造出来的机械产品（包括机械、电工、仪表、汽车、农机具、船舶、电站设备等等），即机电一体化的产品，它的特点是以省力化、高功能化、结构简化、节能著称，产品常常以轻、薄、短、小化出现。

近年来，由于微电子技术的蓬勃发展，机电一体化的产品如雨后春笋般地涌现出来了。从目前的发展势头来看，我们可以归纳成两大类：

第一类属于机械电子化的产品，这类产品是机电一体化的初级形式，即原有的机械产品采用了电子技术之后，其性能和功能都有了提高，甚至在结构上也发生了变化。这类产品为数不少，如果我们细分又可分成：

（1）机械本身的主要功能被电子取代，如采用微机与激光连续加工代替了传统方式的电火花加工的线切割机床；电子照相机的电子快门、自动曝光、自动对焦代替传统的机械式照相机等。

（2）机械式信息处理机构被电子代替，如电子钟表、电子计算器、电子交换机、电子秤等。

（3）机械式控制机构被电子式的代替，如缝纫机当中的凸轮机构被微型机代替；在燃料喷射装置中、加热炉中采用微机进行程序控制等。

（4）采用电子技术增加了控制功能，如数控机床、

汽车防滑制动装置、微机控制的电机调速装置、微机控制的播种机、微机控制的联合收割机、微机控制的孵化器和育雏机等。

第二类属于机械与电子融合的产品，这类产品属于机电一体化的高级形式，如工业机器人、传真复印机、声音合成装置、电子式自动售货机、计算机断层摄影装置、液晶式打字机、彩色复印机、自动探伤仪、形状识别装置、字词处理机、磁式无胶片照相机、分时计价电度表等等。这些产品单靠机械或单靠电子都是无法实现的，而必须靠机械与电子进行有机的结合才能完成。要求设计者进行通盘考虑，哪些该采用机械技术、哪些该采用电子技术，才能使产品优化。

随着大规模集成电路和传感技术的发展，这类高档机电一体化产品必将成为今后机械产品的发展主流。因此，建议我们的有关高等学校和研究单位在培养专门人才上把注意力转移到机电一体化方面来。

## § 1-2 机电一体化的相关技术

机电一体化并不是简单地把机械与电子结合在一起，而是由信息处理、检测、控制、系统等进行有机的结合。尽管机电一体化的产品大小不一、功能各异、结构有别，但是我们仍可以把它分成五个部分，如图1-1所示。机械本体、检测、信息处理、执行机构和接口五个部分。

1. 机械本体部分 这部分基本上是原来的机械结构，或者作了些改进。从机电一体化产品的角度要求，机械部分应当具有：

(1) 减轻重量、降低功耗。从目前以钢铁为主要材料

发展到以非金属复合材料为主。同时在结构上打破传统的设计方法，做到体小量轻。只有机械本体的重量减轻下来，才能发挥驱动机构小型化，控制方面才能改善响应特性、减少耗能量、提高效率。

(2) 提高刚性。不能因为使用非金属复合材料而降低刚性，当然指的是静、动态的刚性和热刚性。在不降低刚性的前提下减轻重量。

(3) 实现标准化、系列化和组合化，提高装配效率和维修水平。

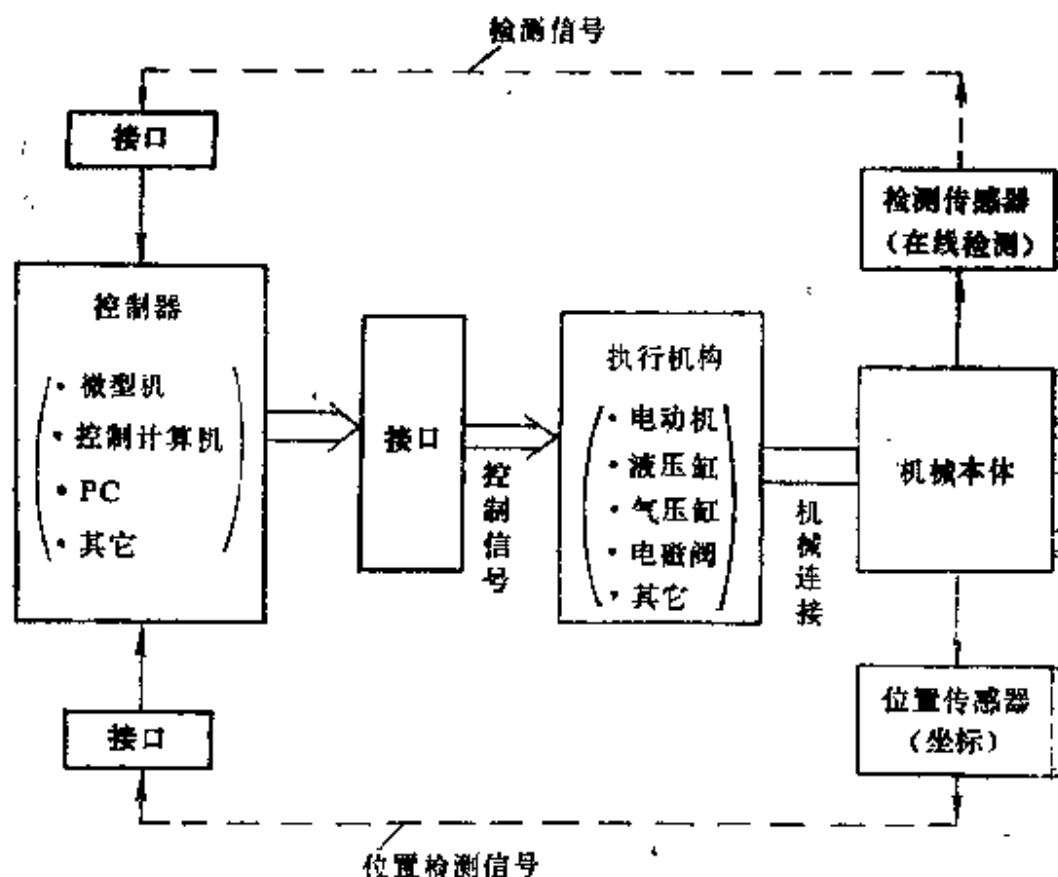


图 1-1 机电一体化组成要素

(4) 提高整体系统的可靠性，建立便于维修保养和查

找故障点的部位和环节。

2. 检测部分 传感器是检测部分的核心，它相当于人的感觉器官。自动控制和检测要由它来实现，例如，机械在加工过程中需要把自身的和外界的许多有关参数、状态等信息检测出来，送给信息处理部分，进行运算、比较判断或送出显示、控制等信号，完成预定的加工控制。例如，数控机床在加工过程中，利用在线传感器（压力传感器和位置传感器等），将刀具磨损情况检测出来，通过接口部分传送给信息处理部分，在那里进行信息加工，与给定的值进行比较。当刀具磨损到引起负荷转矩增大并超过规定的最大允许值时，信息处理部分便发出命令，通过输出接口去控制驱动机构，使机械手自动地与刀库内的备用刀具进行更换。

机电一体化产品中使用的传感器种类很多，用量较大的有位置、温度、湿度、压力、流量、累计量、气体成份分析等。基于半导体的传感器优点很多，国际上正在注意发展集成传感器，已经成熟的产品有集成温度传感器、集成光电传感器、霍尔集成传感器、集成压力传感器等。除此之外，比集成传感器更高一级的（也更复杂）智能传感器，也开始采用。所谓智能传感器就是在传感器单元中集成了信息处理元件。智能传感器可以减轻中央处理机的负担，有利于进行实时处理和分散控制。

3. 信息处理部分 这部分相当于人的头脑，它可以由微型机、单片机、单板机、可编程控制器或其它电子装置来承担。在加工过程中，从设在各种部位的传感器把信号检测出来，送到这里进行存贮、运算、变换等，然后通过相应的接口电路向执行机构发出命令，完成必要的动作。信息处理部分带自动诊断功能的可以实现处理单元的智能化，如数控

机床在加工过程中，当刀具接触工件前，以高于切削的速度快速进给，而一旦刀具接触工件，便立即改变切削速度，这样的加工无疑会提高效率。如果采用人一机会话接口，还可以进行声音识别控制。这不仅可缩短编程时间，而且还可充分发挥熟练工人的经验和技能，提高加工质量。

4. 执行机构部分 这部分相当于人之手足，当它接收到了来自信息处理方面的命令后，就要立即完成所规定的动作。例如，执行机构是个步进电动机，当它接受到了一个脉冲之后，就转动一个角度。如果电机的轴与丝杠连在一起，那么，转动的角度就可变成位移。因此，脉冲→转角→位移的变换，就是步进电机这个执行机构的作用，利用它可以完成各种物件的定位。其它的执行机构尚有伺服电机、感应电机、电磁阀、液压缸、汽压缸，等等。

5. 接口部分 机电一体化产品中，接口电路相当于联络员，没有相应的接口电路就难以把上面的四个部分统一起来，无法构成一个系统。接口电路要完成两部分的作用，其一是信息交换，指的是工作速度快的计算机与工作速度慢的外部设备之间进行信息交换时所需要的接口。另一种接口是电平转换电路，指的是不同类型元器件之间进行连接时所需要的接口。除此而外，需要解决统一接口问题，即接口的标准化。需要研究发展低成本，高速串行接口，解决信号电缆非接触化问题，光导纤维大容量化光电耦合器等。接口问题是个复杂的问题，需要发展专用集成电路，特别是注重发展逻辑电路与功率集成电路相容的电路和数字与模拟电路相容的专用集成电路。

## § 1-3 机电一体化对机械产品的影响

机电一体化是在微电子技术蓬勃发展的基础上发展起来的，它的出现和发展，从根本上改变了机械产品的面貌，是机械工业的一次革命。它对机械产品的影响归纳起来可以有以下几个方面。

1. 增强了产品的功能，改善了性能/价格比 大多数机电一体化产品因为具有检测、记忆、运算、比较判断、反馈控制、显示等一系列功能，用户可以根据需要把它作为计算机分级管理的控制单元，推进工厂的计算机全面管理，实现设备和系统的优化控制，进而实现生产过程的自动化和无人化。

机械产品采用了微电子技术之后，所带来的显著效果，就是提高了性能，降低了成本。如数控机床由于实现了“软线化”，大大加强了它的灵活性，很适合多品种小批量的生产。

2. 提高了可靠性，改善了操作性 机电一体化产品由于采用了集成度很高的大规模集成电路，减少了元件数量和焊接点数，大大提高了可靠性，设备的故障明显下降。当遇到过载、短路、停电和失控的情况时，通过机电一体化产品本身所具备的监视、自诊断等功能，可以迅速查找到故障并予以排除，这就提高了设备的安全性。这对于大型、精密设备意义就更大。例如，装有微型机控制的电动机，不但能够在空载或轻载时自动进行功率因数的补偿，以获得很好的节能效果，而且还具有软起动以及缺相、过载、过流保护的功能。在操作性方面，由于机电一体化产品普遍都采用数字和

文字的显示。所以，操作人员只要操纵按钮、敲打键就能进行作业活动，而过程的演变趋势都可通过指示灯和显示器等表露出来。从而减轻了工人的劳动强度，并相应地降低了对工人技术等级的要求。

3. 缩小了体积、减轻了重量，增加了结构设计的自由度  
机电一体化的产品更换了原有笨重的电气柜和驱动装置，从而使它体小、重量轻、结构紧凑，节省了空间、增加了设计的自由度。这就为机械产品实现标准化、单元化、模块组件化的采用提高了有利条件。从而缩短了产品的设计周期和制造安装时间。

4. 增加了柔性 所谓柔性生产，就是灵活性的生产，指的是采用计算机，工业机器人和自动传送装置，通过程序来变更产品结构和生产过程作相应的调整，而不需要更换设备，做到一机多用。

5. 节约能源，降低材料消耗 机电一体化的产品可以做到节约能源和降低材料消耗。如在汽车上装有电子燃料喷射装置之后，由于燃料和空气按照合理配比进行燃烧，不但可以节省燃料，而且降低污染的排放。

6. 提高机械加工精度 说到机械加工精度或机械产品的精度，要求越高越好。以往采用的方法是机械式的，即要求机械传动的各个组成要素的精度要高，才能保证精确的加工。现在采用微型机进行控制，把机械精度的控制状态进行数字化，而后变成数值控制。这过程可以这样来描述：利用传感器对控制状态或产品状态进行正确的监视，不断地控制机械自身朝着提高精度的方向来变化，从而达到预期的精度要求。在没有出现微型机之前，采用的是小型机或中型机，由于成本很高，难于推广开来。微型机的出现，改变了

这一局面，成本问题和空间问题一举都解决了，现在微机控制的机床普及起来了。过去用机械的办法无法解决的精度问题，一下子也解决了。由于环境条件特别是周围温度的变化，或者由于机械运转而引起的发热问题，或者因重力或其它力所产生的机械形变问题，大大影响了精度的提高。那么，现在可以通过温度传感器把必要的温度信息读入微型机中来，对温度进行必要的控制，从而消除温度对精度的影响。而重力或其它力的影响，可以通过微型机的程序进行相应的控制，消除对精度的影响。

随着数值控制的采用，首先必须把所有控制信息进行二进制数字处理，然后通过微型机的运算对温度变化和形变进行跟踪控制，这样很容易保证提高精度。

7. 简化机械结构设计 以往的机械设计是采用滑轮、皮带、齿轮、连杆、偏心轮等将动力源产生的动力进行机械传动，把所有的一切的动作都仔细定时、动作适量来加以考虑，这样的机械机构只有一个动作源，是个优点。但机械机构越复杂，动力传动机构就要相应的增加。同时，为了与其它机械装置动作定时与同步的机构也要增加。因此，动力源的力要传到终端驱动装置上需要许多机械部件。

因此，由传感器把定时动作检测出来，将它做基准。把电动机、电磁阀、液压缸、汽压缸及其它执行机构作为终端驱动元件使用。通过微型机编程来直接控制这些机构，这样的办法可以大大简化机械装置，机械设计变得简单多了。出色的执行机构会使机械设计变得越发的简单，例如步进电动机的出现，就是例证。步进电动机采用微型机控制做为执行机构已被广泛采用，每给一个脉冲，它就转动一个角度，而最终不产生累积误差，是一个出色的执行机构。另外一个实



例就是电子英文打字机，它用微型机和一些专用接口电路取代了很复杂的机械机构。更有趣的实例莫过于电子手表了，众多的齿轮、发条、昂贵的宝石轴承，一下子被电子器件所取代了，这里简直取消了任何机械设计。手表设计师变成了集成电路设计师了。随着集成电路向着纵深方向发展，机电一体化技术的不断深化，会使越来越多的机械机构被电子器件所取代，机械设计师面临着一个学习微电子技术的新课题。

## § 1-4 机电一体化典型产品介绍

### 1. 数控机床

数控机床是1952年美国人发明的，最早的数控机床其数控柜与机床本体并排放置，用驱动机构把它们连接起来。近年来，微型机的出现，实现了“数控软线化”，即通过微型机实现控制内容的多功能化，例如输入输出控制功能、运算处理功能、控制修正功能、检测诊断功能等。

如果数控机床只是把手柄操作改为自动操作，这是不够的，还必须引进检测、传感技术，采用自适应控制，实现优化；并附有诊断功能，提高系统的可靠性；采用会话形式编程序，不仅可缩短编程时间，而且尚可充分利用熟练工人的经验，达到提高加工质量的目的。在电动机驱动方面，数控机床一般使用的电动机有：定位用的伺服电动机或不需定位控制但要求变速控制并能进行挡块进给控制的伺服电机和主轴驱动用的电动机。

进给控制用伺服电动机，目前都采用直流伺服电动机，它的控制方式采用大功率晶体管PWM。因此比原来的控制方式提高了频响特性和控制功能，不仅获得了良好的切削表