第 1 章 综 述

1.1 微电子技术产生的技术背景

在机械技术发展史上，技术复合把机械技术推向一个又一个新的发展阶段。瓦特发明了蒸汽机，机械技术与蒸汽动力技术复合，出现了火车、轮船、由动力驱动的纺织机械和金属切削机床等，产生了第一次技术革命。1867年德国人发明了直流发电机，1889年俄国人发明了三相异步电动机和三相变压器，机械技术与电气技术、自动化技术复合，产生了第二次技术革命。这个阶段持续了百余年，各项技术日臻成熟，特别是电子管、晶体管和电力电子器件的出现和发展，使生产自动化取得了新的发展。这个阶段的机械主要处理的对象是物质和能量，由于缺乏存储和灵活处理信息的能力，未能在取代人的智能方面取得突破，自动化程度一直未摆脱“刚性”的特征。同时由于控制装置复杂、笨重和昂贵，自动化水平的提高受到了限制，应用也难于普及。

近二十多年来，微电子技术的迅速发展和推广使用，机械技术与微电子技术、信息技术相复合，产生了第三次技术革命，或称第三次浪潮。

“微电子技术”是对电子元器件和电子线路的微小型化进行研制、生产以及用它们来实现电子系统功能的技术领域，它仍属于电子技术的范畴。可以将微电子技术通俗地称为“微小型化的电子技术”。这种微小型化技术不是简单地将电子元器件的几何尺寸做得小一些，因为这样做可以缩小的尺寸是非常有限的。微电子技术是在新的概念、新的结构和新的工艺技术的基础上实现的，是专门研究如何利用固体物质内部的微观特性和一些特殊工艺，将整个复杂的电子线路和其包含的元器件做在一块硅片上，制成所谓的集成电路，以达到微小型化的目的。微电子技术除了包括上述集成电路的设计和制作技术外，还包括集成电路及由集成电路构成的微电子系统及其产品在内，尤其是微型计算机的应用。

50年代末，世界上出现的第一块集成电路只包含四个元器件。随着集成化程度的不断提高，1970年出现了一种包括算术逻辑运算器、寄存器和控制器（包括时钟发生器）在内的可编程序的四位计算机芯片，在一块 $12cm^2$ 的芯片上集成了2250个晶体管，称之为微处理器（Central Processing Unit，简称CPU）。与此同时相继出现了另两块大规模集成电路芯片：存储数据或指令用的存储器芯片和输入／输出接口电路芯片。将上述三块大规模集成电路芯片焊接在一块印刷线路板上，构成了世界上第一台微型计算机（MCS-4）。这种四位单板机体积小、重量轻、价格便宜、使用方便灵活，大大受到欢迎，应用到许多工业控制系统中。

继这以后，随着大规模和超大规模集成电路集成化程度的不断提高，微型计算机平均每三年左右更新换代一次，至今微型计算机的功能不断提高，已经超过十年前小型机甚至大型机的处理数据的能力。

在微处理器和微型计算机发展的同时，单片微型计算机也发展迅速。单片机是将组成

需要全本请访问 www.ertongbook.com

计算机的微处理器、存储器和输入／输出接口电路全部集成在一块芯片上。集成度常达几百万个晶体管。

目前微型计算机几乎是无孔不入地进入到工业、科学研究、国防、社会和家庭中。其所以能够发展如此迅速，是因为它不仅具有一般电子计算机所共有的特点，尚有下列独特的优点：

①体小价廉。体积小的特点使微型计算机可很方便地附属在各种工业设备中，使各种类型和不同大小的传统工业设备采用微电子技术进行改造成为可能。价格低廉的特点使微型计算机广泛地应用于价格低的机组上成为可行。

②应用灵活。组成微型计算机或其控制系统的各个功能部件大多数可以采用市场上可以购买到的标准模板和元器件，它们之间只需很少导线就可以彼此连接起来，硬件的设计和制造均很方便。此外，同样的硬件采用不同的软件就可以灵活地适应不同的应用场

③多机组合、集小成大。与小型计算机相比，微型计算机的功能和速度是有限的，但它可以组合起来构成一个微机网络系统，它不仅有微型计算机的优点，而且可以完成小型机甚至大型机的任务。

1.2 微电子技术改造传统产业

用微电子技术改造传统产业是当前企业适应社会主义市场经济环境，进一步搞活和提高经济效益的有效措施。

所谓“传统产业”是指盖上了第二次技术革命时期的烙印的产业。在这个时期大量地采用机器生产。为了提高生产效率，尽量减少产品的品种，增加生产批量，以形成“规模经济”，出现了专业化分工越来越细，对市场的响应能力越来越差的情况。具体表现在：

①这个阶段的生产设备是“刚性”的，即只能按固定的程序工作，改变工作程序十分困难，因此更新产品慢，生产批量也不宜太小。

②机械主要是用来代替和放大人的体力，其工作比人更加熟练和精确，并有一定的自动化程度。但由于控制装置复杂、笨重、昂贵和可靠性差，自动化水平的提高受到了限制，应用也难于普及。

③由于缺乏存储和灵活处理信息的能力，未能在取代人的智能方面取得突破。

传统产业在我国还具有另外的特征，这就是长期以来我国是以计划经济的模式发展生产。工厂是根据国家的计划安排生产的，生产所需的原材料由国家拨给，生产出来的产品由国家统一调拨。工厂生产的产品可以许多年不变，质量好坏不影响产品出厂，经济效益与企业的生存无关，一切由国家包下来。长期以来发展生产的习惯做法就是向国家要投资，盖厂房，购买设备和增加职工，即所谓的从“外延”上做文章。这样做，厂房和设备是新的，但所生产的产品和采用的工艺和管理仍然是传统落后的，产品的产量和质量尽管有所提高，但企业的经济效益与素质提高不大。

采用上述发展生产的模式，我国的煤、石油、钢、电力、水泥、化肥和棉布等的产量尽管居世界前列，但这是用高于发达国家三倍以上的能源和原材料消耗换来的；我国的

劳动生产率仅是发达国家的三十分之一；投资效益低，引进的技术不能很好地消化吸收，往往若干年后再来第二次引进；产品的更新换代慢，技术档次低，在市场上缺乏竞争力。

上述生产模式不适应当前改革开放的形势。现在我国实行的是社会主义市场经济模式，企业有较大的自主权，可根据市场的需求确定产品的类型和生产规模，是根据订货合同组织生产的。企业要搞活，必须拿到足够多的订货，取得较大的利润。继续按以前的一套传统的生产模式去组织生产，往往是生产出来的产品市场不需要，市场急需的产品一下子又生产不出来，等到磨磨蹭蹭地开发出来了，生产的批量一下子又上不去，利润很少甚至赔钱，或者市场的需求又变了，企业始终处于消极被动的困境。要适应改革开放的形势，在技术上企业应该进行以下四方面的改造：

①企业应该进行产品结构的调整，开发出新一代的机电一体化产品，增强产品在国内外市场上的竞争能力。

② 企业应具有根据市场需要快速更新产品和开发新产品的能力。用 CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing）即计算机辅助设计和计算机辅助制造技术等现代化设计和制造手段，可以有效地改善新产品开发质量，缩短开发周期，提高一次试制成功率，使新产品迅速占领市场。

③为更好地适应市场经济的需要，企业的生产装备应在技术上和经济上适应多品种、小批量生产和经常更新品种的需要。要达到这一目的，需用微电子技术改造传统落后的生产装备，使其具有“柔性化”、“自动化”和“精密化”的特点。

④企业的管理模式应适应上述多品种、小批量和经常更新产品的生产模式，采用计算机充分和及时地采集和利用各方面的信息，可以正确作出决策，有效合理地利用企业内部各方面的资源，改善经营管理，提高经济效益。

⑤ 企业职工的技术素质应适应新技术革命的需要。

要做到上述各个方面，只有依靠技术进步。国外少数几个发达国家较多的是采用大规模更新生产设备的办法来完成这种改造，这样做需要投入大量的资金。许多国家和企业拿不出这么多资金来，采用的办法是用微电子技术对传统产业进行综合改造，从企业的“内涵”上下功夫，当然这样做并不排斥添置和更新一些关键设备。

不管是添置和更新设备，或者对老设备进行改造，均大量采用微电子技术。采用微电子技术可以较好地使企业具备上面提出的各项运行机制。国内外大量的实践证明，用微电子技术对企业进行改造可以较少的投入，大幅度地提高劳动生产率和产品质量，降低成本，改善经营，提高企业在国内外市场上的应变能力和竞争能力，取得稳定和高的经济效益，这是当前我国许多企业摆脱困境走出低谷的有效措施。

1.3 微电子技术改造传统产业的总体目标和基本内容

微电子技术改造传统产业的总体目标是突破传统的生产和管理模式，广泛采用微电子技术逐步实现生产和管理的现代化，提高企业的技术素质，增强企业在国内外市场竞争中的应变能力。

基本内容包括下述几个方面。

1.3.1 产品结构的调整和机电一体化

采用微电子技术提高产品的性能、质量和技术附加值，开发出新一代的机电一体化产品，缩短与国外先进同类型产品之间的差距，进一步占领和扩大国内外市场，是企业进行微电子技术改造的基本目的。

机械工业的某些产品，到了用户部门就变成了生产设备。如果这些产品不是机电一体化的，不久就将成为被改造的对象。所以对于这些产品首先应该进行改造。

新一代的机电一体化产品是在机械产品的基础上，综合地应用微电子技术、检测传感技术、信息处理技术，自动控制和电力电子等技术，按系统工程和整体优化方法有机地组成的最佳系统。机电一体化系统和产品通常结构是机械的，用传感器检测来自各方面的信息，由计算机进行处理，经控制系统由液压、气动或电动执行元件对外界进行操作。故设计机电一体化产品要充分考虑机械、液压、气动、电力电子、计算机硬件和软件的特点，充分发挥各自的特点，进行合理的功能搭配，将不同类型的元件和子系统用“接口”连接起来，构成一个完整的系统。这个系统应该是功能强、质量好和故障率低、节能和节材、性能价格比高；具有足够的“柔性”，即各子系统模块化程度高，通过对硬件和软件作少量修改可以改变产品的功能等。

用微电子技术改造产品可以获得的功能包括下述几方面。

1. 对机器或机组系统的运行参数进行巡检或控制

这类运行参数包括压力、流量、温度、转速、物料成分等。将巡检测得的参数与设定值进行比较，如果超出许可范围，可采用显示、报警等方式通知操作者，进行操作指导，或提示操作者故障在什么地方，也可由系统自动控制运行条件，使各项运行参数恢复正常。

2. 对机器或机组系统工作程序的控制

现代自动化机械的动作十分复杂，传统的控制系统是采用大量的继电器，装置笨重、可靠性差、耗能多。采用可编程序控制器或单片机系统可以方便地实现上述控制任务，并可明显地提高控制系统的智能化程度和可靠性，也可以提高系统的“柔性”，即通过修改软件可以方便地改变系统的运行功能。

3. 用电子技术代替传统产品中机械部件完成的功能，简化产品的机械结构

例如采用电力电子技术代替机床的变速箱，用数控系统代替原来机械、液压的刀架驱动系统等。未来产品的结构特点是机械结构越来越简单，而电子系统越来越复杂。这样的结构具有较高的可靠性、维修方便、便于组织社会化的大生产。

4. 节材方面的考虑

我国产品设计水平低，选取的安全系数大，使得产品肥头大耳，造成所谓的结构性浪费；又由于工艺水平落后，铸造过程中金属回收率低，毛坯的加工余量大，不仅浪费了原材料，也浪费了加工工时和能源，造成所谓的工艺性浪费。采用现代设计法改进产品的结构，采用先进的工艺装备提高材料的利用率是必要的。

5. 节能方面的考虑

例如采用变频调速电机改造风机和泵类，可节省电能 30%～40% ；采用电力负荷控制系统，可以实现移峰填谷优化电网调度，减少拉闸限电次数，挽回电网内的经济损失；工业炉窑采用电子系统进行热工控制，可提高其热效率，降低能源消耗等。

不同产品应用微电子技术的程度不能千篇一律，应根据产品的复杂程度、控制要求和用户可以接受的价格分别采用简单的电子系统、单片机、可编程序控制器、工业控制计算机和集散型控制系统等对产品进行改造。

开发机电一体化产品，可以采用以下五种模式：

①传统产品改造式。用电子装置替代原由机械实现的某些功能，或采用微电子技术使传统的产品升级换代。

②自主开发式。在多年来取得的科技成果的基础上，不断完善提高，转换成机电一体化产品，形成现实的生产力。

③引进—消化—创新式。通过引进，可以提高起步点高度。引进后必须对引进项目进行消化，并在消化的基础上有所创新，形成具有自己特色的产品。切不能走引进一仿制—落后—再引进一再仿制一再落后的老路。

④国内外合作开发式。世界先进国家的产品大都是博采众国之长的“万国牌”产品。要走出国门，寻找合作伙伴，实现国际范围内的最佳分工，不要片面地追求百分之百的国产化。这是加速我国机电一体化产品开发，提高我国机电一体化产品水平行之有效的途径之一.

⑤国外散件国内组装式。在国内市场急需，短期内又开发不出用户满意的机电一体化产品的情况下，采用国外散件国内组装的方式，既可以满足用户的急需，又可以节省外汇，是可行的。但要注意，国外允许引进散件的产品，一般是国外将要淘汰或已经淘汰的产品，要在引进散件组装的同时，积极开发自己的产品。

1.3.2 CAD/CAE/CAM 技术的应用

要改变传统落后的经验设计方法，采用现代化设计手段改善设计质量，缩短设计周期，提高一次设计成功率。现代化设计手段大量采用计算机，内容包括有限元分析、优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、计算机模拟仿真技术等。

计算机辅助设计是研究产品对象的描述、分析计算机优化、总体设计和结构设计、模拟仿真等的理论与方法。采用计算机有可能改变传统的经验设计方法，由静态和线性分析向动态和非线性分析，由可行性设计向最佳设计过渡。

现代化制造系统中，设计与制造是两个不可分割的整体，许多信息和数据是相同的。实践证明将 CAD 和 CAM 作为一个整体来规划和开发可以取得更明显的效益。

CAM 包括工艺规程的编制、数控机床程序编制、对生产过程进行监测和控制、对产品及其结构进行检验和试验。采用 CAM 可以大大加快生产准备的速度，缩短新产品开发周期，为计算机辅助生产管理提供必要的信息等。

作为开发新产品的全过程尚应包括产品试制出来后，经过测试、生产验证、发现问题和进一步修改设计等内容。这种传统的做法是一个既费时间又耗资大的作业。随着计算机硬软件技术的日臻完善，有可能从产品的方案设计（概念设计）起，在计算机上建立产品的整体系统模型，按照实际使用工况进行模拟仿真，预测其性能并加以改进。这样做可以大大降低产品试制的成本，缩短产品的设计开发周期。这就是所谓的“计算机辅助工程”（Computer Aided Engineering，简称 CAE）。其核心技术是正确建立产品的计算模型，和进行结构各项性能分析的数值计算方法。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

如果 CAD/CAE/CAM 技术与企业的管理信息系统进一步集成起来，将大大提高企业的素质，取得更加明显的经济效益和市场竞争能力。

1.3.3 对传统落后的生产装备的改造

进行技术改造应在整顿和提高常规工艺和设备的基础上，积极采用新工艺，推广应用成熟的微电子技术成果，改造部分老设备，提高设备的功能、工作效率和水平，提高劳动生产率，增强企业对国内外市场变化的应变能力，降低能耗，节省原材料。

改造生产装备首先从机械加工车间入手。目前大多数企业机械加工车间基本上采用的是普通机床加专用工装和少量专用机床为主体的低效、“刚性”的生产装备，少量的数控机床由于多方面的原因普遍用得不好。因此采用微电子技术改造传统落后的生产装备应放在重要的位置。改造后的生产装备应具有柔性化、自动化、数字化和精密化的特点，以适应不同批量条件下根据市场需求灵活地更换和改进产品、组织生产的需要。

为实现生产的自动化和柔性化，高级的方式是采用柔性制造单元或系统，不同类型的零件可以同时上线，实现混流加工。这种改造方式投资大、周期也长，使用维护涉及的技术难度大，即使在发达资本主义国家目前也没有达到普遍采用的程度，而是通过仔细的经济分析认为有利可图时才考虑采用。在我国当前对柔性制造技术，甚至数控技术还没有完全掌握的情况下，只能有计划地在一些技术条件较好的企业作试验性的尝试。这意思并不是说生产装备改造可不遵循柔性化和自动化的原则。

结合我国的情况，中、小批量生产企业采用的柔性自动化生产方式，通常由三部分不同类型的生产装备配置而成：

①少量的柔性制造单元或加工中心、数控机床完成一些关键零件或工序的加工。

② 一批可调整的专用机床（包括组合机床）及其组成的生产线完成一些批量较大、工艺要求比较高的零件加工。机床经过调整可以加工不同的零件。调整方法可采用备用主轴、位置可调主轴、工夹量具成组化、工作程序软件化和部分动作实现数控化等。

③对传统的生产装备用微电子技术，例如数控和数显技术、可编程序控制器、工业控制计算机等进行改造，使其具备自动化、柔性化和数字化的功能。在改造前必须首先对原有装备进行大修和精化，以便充分发挥微电子技术控制的功能。

改造应根据工厂生产的特点，如产品品种规格的多寡，产品系列化、通用化和标准化的程度，精度要求和批量大小等，有区别地采用不同模式进行改造。对于多品种、中小批量轮番生产的工厂可采用可调整的专用机床及其生产线解决一些主要零件的加工；对于产品品种繁杂、单件小批量生产的工厂宜采用数控机床为主，可以适当地购置一些数控机床完成关键零件和工序的加工，大量的应采用微电子技术将传统机床进行改造。

机加工车间的改造应分层次地进行，根据不同的加工对象，原有的生产条件，应首先对生产工艺进行改进和调整，以整条生产线进行规划和改造。也可以在规划的指导下，对生产线中的一段或单台设备进行改造。选择改造的项目应是生产中的簿弱环节。在改造设备的同时，应调整生产组织和设备布局。三化程度较高的工厂可采用成组技术，采用计算机进行作业计划调度，以减少在制品的数量，提高每台机床的负荷率，保证生产均衡地进行。

工业锅炉和窑炉是传统产业中的主要耗能设备。据统计，我国现有工业炉窑 40 多万座：

其中电炉 10 余万座,耗电量 200亿千瓦小时；工业锅炉 25 万多座,消耗原煤 2 亿t／年,约占我国原煤产量的三分之一；其它炉窑 11 万座，消耗原煤 1.6 亿 t/年。由于设备陈旧、技术落后，多数炉窑效率很低，比发达国家单位能耗高 40％～50％ ，总能耗约占全国总能耗量的 50％。因此重视工业炉窑的微电子技术改造，对节能和减少污染具有十分重要的意义，而且还可以延长炉龄、减少烧损、优化配料等。

工业炉窑集中在冶金、化工、建材、轻工、机械等工业部门。炉窑的种类繁多，大小悬殊。烧结、焦化、炼铁、炼钢、电石等炉窑大多是专用设备，各种类型的热处理炉、加热炉、井式炉、隧道炉、电阻炉、冲天炉和玻璃熔炉等为各行业通用，是微电子技术改造的重点。

计算机用于生产过程控制是传统产业改造的一个重要方面，一般均能做到投资少、大幅度地提高产品质量、降低成本，有较大的经济效益。生产过程或按连续方式，或按批量方式进行。在前者情况下，材料流连续地从一个加工设备到另一个设备直到制品完成。在每个阶段完成不同的操作，例如加热、冷却、混合、化学反应、蒸馏、干燥和加压等。一般来说每个阶段要求在最佳的工况下运行。在后者批量生产情况下，待加工的材料停留在某场所，例如反应器内或机床上，加工是在批量（或节奏）周期内进行。对于大规模生产应尽可能采用连续生产方式。因为这种方式容易进行测量和控制，需要的劳动力也较少，与批量生产方式相比，可节省两个批量生产周期之间容器倒空、清洗、再充填和装夹等的操作时间。

用微电子技术控制生产过程可以实现如下一些功能：

①控制材料、零部件和产品在工位或装置间的传送；

②控制温度、压力和流量等的流程参数；

③材料的成形、切削、混合和填充；

④将零件装配成组件或成品；

⑤ 通过对各个生产阶段的检查、测试和分析，控制产品的质量；

⑥ 组织生产流程，包括设计、库存、调度、机器维修、计划调度等。

1.3.4 计算机辅助管理

我国的经济体制正在由原来的完全依靠指令性计划和行政命令的直接控制方式转向依靠政策、法令、指导性计划和市场调节机制的间接控制方式相结合的模式。市场调节机制的作用日益增加，企业将得到更多的独立自主权。生产什么，生产多少，都由企业自己决定。在这种新的经济体制下，企业必须对国内外市场有关的信息及时、准确地进行收集、处理和分析，形成有用的决策依据，及时推出市场需要的产品，改善经营管理和服务质量，提高经济效益。

据统计，目前企业在生产过程中，从原材料进厂到产品出厂，工件加工时间只占生产周期的 5％，最高的也只占 25％。也就是说，75％ 以上的时间是在等待加工，占用了大量的流动资金。另外，随着科学技术和社会生产力的发展以及社会消费观念的变化，产品的生命周期不断缩短，产品的品种多样性和复杂性不断提高，质量要求越来越严格，顾客对产品的性能、结构新颖、价格和质量的要求越来越苛刻。为了适应这种情况，企业要积极采用计算机辅助管理，进行市场预测、加快产品设计开发速度、生产出花色品种繁多的、适

销对路的产品，根据市场的变化及时采取措施，增强企业对市场的应变能力。

目前许多工厂用计算机进行管理主要以事务性的数据处理为主要内容，包括统计、财会、人事、工资、库存和合同管理等以制表为主的单项职能的事务数据处理业务，代替人工操作以节省人力、时间和减少错误。

有条件的企业应在上述工作的基础上，进一步用计算机对管理信息进行收集、存储、加工、传输、维护和使用，使企业能随时获得反映企业当前实际活动的信息，利用过去的数据预测未来，从全局出发辅助企业进行决策，控制企业行为，帮助企业实现既定目标。

一般计算机辅助管理分为三层：操作级管理、中层管理和高层管理。高层管理的任务是根据客观情况，制订长远的目标及政策。中层管理的任务是根据高层管理确定的总目标，具体安排所拥有的各种资源，订出资源分配计划及进度表，组织基层单位完成计划。中层管理应从基层得到详细的执行情况，并向高层管理报告根据监督所得的计划执行情况及需要调整的问题。操作级管理是按照中层管理制订的计划，具体组织人力去完成计划，并向中层管理报告计划执行的情况。

制造业企业计算机辅助管理信息系统通常称之为 MRP-Ⅱ（Manufacturing Resources Planning——制造资源系统）。MRP-Ⅱ是一种管理的哲学思想，它为制造业企业提供了一套完整的、科学的管理思想和处理逻辑，向企业提供信息以支持企业生产经营活动的运行，对整个企业的生产制造资源（五大资源：物料、设备、人力、资金、信息）进行全面规划和优化控制，把企业的产、供、销、人、财、物各种生产经营活动联成一个有机的整体，形成一个人—机结合的闭环反馈控制系统，在有限资源条件下，使企业取得最大的经济效益。

1.3.5 设计、工艺、生产与管理信息的一体化

要注意将全厂设计、工艺、生产和管理方面的信息在统一的规划下，通过全厂的计算机网络系统，逐步实现信息流的一体化。也就是说产品由计算机进行辅助设计，并将有关的产品信息存放在数据库中，形成制造产品所需的重要依据。这些信息可用来进行计算机辅助工艺规程的编制，工夹量具的选用或设计，计算工时和材料定额，编制数控机床的加工程序等。管理部门则通过计算机网络，从设计和工艺部门取得有关信息，由计算机辅助编制生产计划、作业调度计划。按照制订的生产计划组织生产活动，包括及时进行备料和物料的采购，及时地向机床提供毛坯或待制品、和所需的工夹量具。与此同时，零件加工用的数控程序也已由计算机编制完成，并传输到机床。在加工和装配过程中，有关加工、装配和物料搬运中的数据反馈回计算机系统，以便进行监控和工业过程的自动校正。加工或装配完的零部件在计算机控制的测量机或试验台上进行检测。测量机或试验台是按照计算机中的测量程序进行工作的。此外，向仓库和工艺过程内缓冲存储区供应毛坯的工作也是由计算机监控的。

上述过程就是所谓的 CAD/CAM 一体化系统，或称 CAD/CAM 集成系统。

但是目前有些计算机应用得较多的企业内部，各计算机应用项目是相互孤立存在的，出现所谓的自动化“孤岛”现象。由于各计算机应用项目的开发缺乏一个总体规划的指导，导致各“孤岛”之间的信息交换，在内容上供需不配套，数据格式不规范，较难通过计算机通信网络实现信息传输等。这样做，各个计算机的单项应用，例如 CAD、计算机辅助工艺规程的编制（Computer Aided Process Planning，简称 CAPP）、数控编程、质量控制和生

产计划管理等，尽管可以在其局部范围内取得一定的收益，但不能从整体上提高企业的技术素质，取得计算机应用的总体效果。对于上述企业今后的任务是在仔细分析研究的基础上，着手将这些“孤岛”集成为更有效的 CAD/CAM 一体化系统。为保证集成的质量，调整某些硬件的配置，修改甚至重写某些应用软件是不可避免的。

为实现信息流一体化，可建立全厂统一的计算机网络系统，将厂长室、各业务科室和车间，到每个操作部位的计算机联接到一个统一的网络内。要提高企业内部通信技术现代化程度，将电话通信、计算机通信、生产调度指挥系统等语音、图象和数据等的信息传输进行统一的规划。

对管理层次较多，规模较大的企业可推广办公自动化技术。

1.3.6 企业职工技术素质的提高

用微电子技术进行企业的技术改造能否取得成效，取得成效后能否巩固，关键在领导的认识和企业职工队伍的技术素质。故技术培训应比改造工作先行一步，根据不同的工作性质、不同层次的人员制订培训规划。对于厂级、处级和车间的技术领导干部应通过培训普及微电子技术应用方面的知识，了解国内外技术发展情况，提高他们在新技术革命形势下的认识水平和决策能力，进行观念形态的转变。对于工作在微电子技术改造第一线的科技人员，应结合工作深入学习有关的新技术，使自己的知识结构复合化。对于操作、维修人员也应组织相应的培训，达到上岗的要求。培训工作可采取多种形式，如出国培训、送高等学府深造、厂内脱产或在岗培训等。其中在职培训应是主要的形式。

1.4 微电子技术改造传统产业的指导思想

微电子技术改造传统产业的指导思想是：以企业为主体，以成熟的电子技术为基础，以节能、节材、提高产品质量和提高生产效率为重点，以提高经济效益为中心，结合企业的技术改造，全面规划、突出重点、区分层次、有限目标、分步实施。

①微电子技术改造传统产业要进行全面规划，综合地进行改造。

目前我国用微电子技术改造传统产业已初步打开了局面。但许多企业缺乏全面规划，往往是单个项目孤立地进行改造。例如改造几台经济型数控机床，用几台微机搞些管理，花巨额外汇引进 CAD 工作站、数控机床和加工中心等。由于相应的环境条件尚未形成，旧的生产模式、管理体制以及政策法规不配套，配套技术和职工的素质跟不上，改造后见效有限，甚至不见效。使一些企业对微电子技术改造由开始的积极主动变为消极被动。根据企业的实际情况，制订微电子技术改造的全面规划，综合地进行改造，才能避免上述情况的发生，使改造稳步地取得进展。

②用系统工程的观点和方法，制订微电子技术改造的全面规划，突出重点，区分层次，有限目标，分步实施。

企业进行微电子技术改造是一项系统工程，涉及面广。其中有技术方面的问题，也有管理、体制，甚至观念形态方面的问题。改造的总体目标要明确，并有一定的高度，具体实施则分步进行。上哪些项目，每个项目的目标、技术路线、投资强度、计划进度等均应在统一的规划指导下进行，减少盲目性。要突出重点，不能所有项目一起上，应仔细分析

各个项目之间的内在联系，确定哪些项目应先上，每个项目需要哪些技术与其配套，短期见效的项目和属于技术储备的项目如何搭配等。例如企业有了足够数量的数控机床，才有必要考虑开发自动编程技术。又如要开展产品的 CAD，必须首先提高产品的系列化、通用化和标准化程度，对产品的工作机理、主要参数的确定有可靠的依据。又如计算机辅助工艺规程的编制（CAPP）是联结 CAD，CAM 甚至 MIS（Management Information System）即管理信息系统的重要纽带。由于其技术难度较大，达到实用化程度有一段过程，需要适当超前一些进行开发等。只有这样，才能使企业在改造资金的周转和人们对微电子技术改造的认识上形成良性循环。即除了投入必要的起步资金外，微电子技术改造所需的资金主要来自改造本身产生的效益，人们见到改造取得实效，就更加支持进一步改造。

③制订规划应从我国的国情和企业的实际情况出发，以提高企业的经济效益为主要出发点。

微电子技术改造的目的是为了提高企业的技术素质和劳动生产率，增加产品品种和产量，降低能源和原材料消耗，提高产品的技术水平和质量。要讲究实效，力戒赶潮流和摆花架子，以免浪费人力和财力，又挫伤了群众的积极性。

我国的国情是劳动力素质低、工资低、生产模式落后、市场竞争机制不健全、管理比较落后、基础元器件不过关、维修配套能力差、资金短缺，尤其是外汇使用受到控制，因此进行企业技术改造不能照搬发达国家的做法，如大量地更新设备，片面地追求自动化和柔性化程度等。

根据各个企业的实际情况，微电子技术改造的起步和投资重点可以是很不一样的。例如有的企业产品的标准化程度较高，生产批量较大，要求制造设备的自动化程度较高，建议首先实现制造过程的自动化，建立自动化加工和装配单元；有些企业的产品结构和品种根据用户和市场的需要经常变化，设计工作量和花费较大，通常可从 CAD 和 CAPP 起步，与其同时或紧接着是推广数控机床的应用，以便完成 CAD/CAM 的初步集成 如果企业的产品结构比较稳定或简单，但是品种繁多或批量较小，如何提高设备的利用率、缩短生产周期、压缩在制品和库存、减少流动资金的占用量成为企业的主要矛盾，在这种情况下以生产管理信息系统作为起步是有利的。

所有的企业都应该重视产品结构的调整和机电一体化。当然企业现有的技术基础和职工素质等对于企业的改造模式具有十分重要的影响。

④尽可能采用国内外微电子技术应用方面的优选产品和成熟技术，以减少低水平的重复开发，缩短改造周期，提高改造项目的成功率和可靠性，促进国内外优选产品和成熟技术的推广使用。有些成熟技术可以拿来就用，但大部分技术需要经过移植、改造和提高后，才能产生较好的效果，反过来也可促进这些技术取得进一步完善。

⑤微电子技术改造应与企业的技术发展规划互相衔接和支持。企业的技术发展规划中大部分的经费用于固定资产的投资，例如修建厂房、购置设备、引进成套生产技术等。应该从企业技术发展资金中至少拿出 5%～10% 用于微电子技术改造，即对原有产品和设备进行改造。两者的目标是一致的，后者有助于使企业技术发展资金的投资效益更好。

⑥微电子技术改造涉及到多种学科，技术难度较大，单纯依靠企业自身的技术力量是难以完成的。应充分利用高等院校、科研院所雄厚的技术力量，进行厂、校、所深层次的

合作，是改造取得成功的关键。厂、校、所应充分发挥各自的优势，取长补短，互利互惠，在科技开发、信息交流和人才培训等多方面进行全面合作。

⑦ 微电子技术改造应和企业职工的技术培训同步进行。没有一支技术素质好的职工队伍，新技术很难在工厂真正扎根，形成实际的生产能力，相反往往会中途夭折。微电子技术也应与管理和体制改革结合起来，及时制订相应的政策法规，促进新技术的推广应用。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 2 章　传感与检测技术及其应用

2.1　概述

2.1.1　传感器的定义与概念

目前国内外对传感器尚无统一定义，而且同义词也比较多。如中国除称传感器外也有称变换器、敏感元件、换能器、一次仪表等。英语相当于传感器的词有 Sensor，Transducer，Detecter，Pick-up，Detecting Element 等。

我国原一机部、七机部在 QJ30-81 标准中对传感器曾定义为“为测量的目的将感受的物理量（一般为非电量），按着相应的关系转化成另一种物理量（一般为电量）输出的装置，叫传感器”。这个定义只是提到物理量之间的转换，没有包含其它量（如化学量、生物理化量等）的转换。显然比较狭窄。但仍不失为一个比较权威的定义。

传感器与一般测量仪器（如普通电压表、电流表、压力表等）不同的是传感器一般都具有输入输出端子，能进行信息变换与能量变换。当然传感器与测试仪表有时并不是泾渭分明的，有些现代化仪表的核心部分往往就包括传感器，如电子秤中就含有精密称重传感器，硅集成压力表中就有压阻式压力传感器等。

一般来说，传感器具有以下特征：

①敏感元件是利用某种物理、化学、生物效应等原理制成，并加上输入输出端子；

②结构简单紧凑，多为“物性型”，没有工业仪表的可动件如杠杆、连杆、齿轮等；

③精度高、灵敏度高，有的传感器分辨率可达最大量程的 10^{-8} 以上；

④电信号传输，便于处理；

⑤成本高、工艺复杂。

2.1.2　传感器在工程领域的地位与作用

随着现代科学技术的飞跃发展，传感器及其检测、监控技术也越来越发挥着重要的作用，它已渗透到现代社会各个领域并为更多的人们所重视，进行着研究、开发与应用。如果把电子计算机称为电脑的话，那么传感器可谓“电五官”了。因此，凡是需要检测，特别是在高速、精密、自动化检测与监控的地方都需要传感器。

当你走进一座现代化的工厂，首先看到的是各种自动化生产设备，如数控机床和加工中心、物料输送系统、和各种工业机器人等。特别是在无人化工厂内，车间可以不点灯，只有机器在自动地进行作业，不需人员参与。这些设备之所以能自动和高速准确地进行生产，其中的关键就是检测与控制系统，而担任各种自动检测任务的正是各式各样的传感器。如一台加工中心仅是应用在工具监控系统上就有刀号识别、判断刀具有无、刀具位置、刀具切削状态（如刀具磨损与破损等）、切削力与扭矩、切削功率检测等多种传感器。一台用于柔性制造系统的自动导向输送车（AGV）上就可能有视觉、触觉、接近觉、防碰撞、工件

种类识别、工位识别、库位识别等传感器。有的仅在一个机器人的手上就有多维触觉传感器、红外测温传感器、超声波接近觉传感器、测位 电位差计、多维测力传感器等。通过这些传感器可以获得接触图象信息、压力分布信息、滑动信息、接近状况、负荷状况等信息。机器人就是根据上述各种信息实现动作程序控制、装配力控制、伺服控制、 连迹 控制、回避障碍物以及紧急制动等控制。在化工行业，为了实现生产自动化，对物料称量、料位测量、流速、压力、温度控制、反应过程监控等也都需要各种相应的传感器。

2.1.3 传感器在高新科技领域的应用

其实许多传感器本身就属于高新技术产品。至于它在高新科技领域的应用就更为重要和广泛了。如果说在一般工程部门没有传感器也尚能勉强维持的话，那么在高科技领域缺少传感器就寸步难行。如美国的阿波罗宇宙飞船中，单火箭部位就有 2077 个传感器，其中温度传感器 559 个，压力传感器 140 个，信号传感器 501 个，遥感传感器 142 个；飞船部位有传感器 1218 个，其中离散信号传感器 392 个，可以毫不夸张地说：整个飞船就是一个高性能传感器的集合体。这个耗资 300 亿美元，共有 40 万人参加的阿波罗计划，竟然有一半以上的人力和物力花费在传感、遥控、遥测等高新技术开发上。

另外，在基础科学领域中，从宏观的上千亿光年的宇宙空间到微观的 10^{-13}cm 的微粒子，时间上从数十亿年的天体演变到 10^{-24}s 的超瞬变，温度上从高达 1 亿度的等离子体到接近绝对零度的 −0.01K 超导体，压力上从高达 3×10^{8}Pa 到 10^{-13}Pa 的超真空，这些超大量程的物理量远非人的感官和一般量器所能胜任，都必须有相应的高技术性能的传感器才能完成。

2.1.4 传感器与人们的日常生活

随着人类社会的现代化和地球环境的恶化，传感器与人们的衣食住行的关系也越来越密切，也可以说传感器进入了千家万户。为了实现环境保护，需要对环境噪声、大气污染、水质污染、地基下沉、烟尘、CO_2、恶臭等威协人类健康与生存的因素进行控制，这都必须有相应的传感器随时进行监测。从交通运输、通讯到家用电器，各式各样传感器的应用越来越多。仅就一台全自动洗衣机就有水位、温度、衣量、时间、洁净度、程度控制等十多种传感器。

总之，从茫茫太空到浩翰的海洋，从各种工程系统到人们的衣食住行，几乎每种现代项目都离不开传感器。难怪有人说：“没有传感器便没有现代测试与科研”。也有人把传感器称为“信息社会两大支柱（电子计算机与传感器）之一”。而且根据世界发达国家的科学预测表明：在未来的年代里传感器将越来越发挥出巨大作用。如日本科学技术厅对 2000 年的科学预测中，在宇宙开发、海洋开发、环境科学、能源、保健医疗、安全等六大领域中，在按其重要性排列的前十个课题中，与传感器直接相关的课题占 50%～90%。世界技术先进国家对传感器研究开发的投入也是在逐年增加，如日本 1982 年投入 1300 亿日元，此后每年以 40%的速度递增。再如西德前几年电子工业投入了 51 亿马克，仅用于传感器开发就达 15 亿马克。我国在“七五”期间，传感器专项拨款 4700 万元(人民币)，在“八五”期间更有较大增长。

2.2 机电类传感器的基本原理与特点

2.2.1 传感器的分类

对几千种传感器进行分类也是一门学问，常用有以下几种分类法：

①按工作机理分有：结构型和物性型。

②按能量关系分有：能量控制型（光电效应）、能量转换型（压电、热电等）。

③按物理效应分有：应变式、电容式、压阻式、电动式等。

④按使用要求分有：位移、压力、力、温度、振动等。

⑤按功能分有：视觉（光→电）、听觉（位移→电）、触觉（力→电、热→电）、嗅觉（湿→电、气→电）、味觉等。

⑥ 按物理量分有：几何量、运动学量、力学量、流体量、热学量、光学量、放射线量等。

一般工程界多是按物理量和使用要求分类，而学术界多是按传感器原理、效应进行分类。

下面介绍机电工程常用的几种典型的传感器。

2.2.2 几何量传感器

几何量包括长度量（长度、位置、距离）和角度量（角位移、回转）。下面以差动变压器式位移传感器为例介绍其工作原理和特点。图 2.1（a）为该传感器的结构。这是采用电感原理做成的“结构型”传感器。图中Ⅰ为初级线圈，由交流电激励。Ⅰ、Ⅱ为次级线圈，

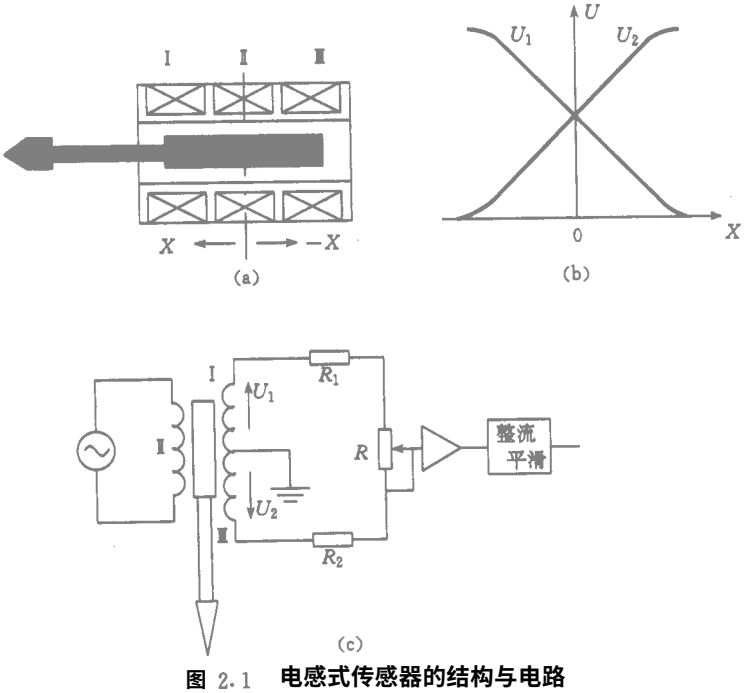


图 2.1 电感式传感器的结构与电路

三者构成如图 2.1（c）所示的变压器电桥回路。当铁心处在线圈的中位时，Ⅰ、Ⅱ线圈内感应产生的电压相等，方向相反，电桥平衡，在次级线圈电路内无电流。否则，Ⅰ、Ⅱ线圈感应产生的电压不相等，而且铁心离中心位置的位移量与两线圈感应产生电压差成正比（见图 2.1（b）），次级线圈电路内产生与铁心位移成正比的电流来。这种传感器的特点是：

①结构简单、线性良好；

②分辨率较高，可达到 0.01μm；

③响应特性取决于激振频率，使用频率范围小于几千赫，响应时间最小为 10ms 左右；

④ 使用、维护方便。

涡流位移传感器是一种无接触式位移量传感器，它实际是一个产生交变磁力线的主动线圈。当主动线圈与被测对象（必须本身是导体或贴有一块导体）间的间隔发生变化时，在被测对象的导体中由交变磁力线产生的涡流强度也将随之变化，其结果使主动线圈的阻抗发生变化，从而将主动线圈与被测对象间的间隔变化转换成电量的变化，可用作非接触型位移传感器的敏感元件。线圈与被测对象的距离与线圈的阻抗变化成反比例关系。同时，线圈阻抗也受被测对象的电导率，磁导率等影响。传感器的量程取决于线圈的形状和尺寸，至多只有数毫米左右，其灵敏度最小可达到 0.1μm。

此外，常用的非接触式位移测量还有如气动量仪、光导纤维、光电位移开关、差动光电传感器、CCD（Charge Coupled Device，电荷耦合器件）检测系统等。

测量角度的传感器有：采用光杠杆原理测量微小角度变化的角位移传感器、采用变压器电桥和光电元件的光电水平仪、自整角机（旋转变压器）、角度电位器（分压器）、圆型光栅、圆型磁栅和感应同步器等。

2.2.3 力学量传感器

力学量传感器用于测量力、压力、速度和加速度等，是科研与工程上常用的传感器之一，这里重点介绍压电式测力传感器、压阻式压力传感器和加速度传感器。因为它们在力学量传感器中具有代表性和方向性。

①压电式测力传感器

压电式测力传感器是利用压电效应制成的敏感器件。压电效应就是当晶体受到机械应力作用时，在其表面就产生电荷，其电荷密度大小与所施加的外力的大小成严格的线性关系。这种由力到电的转化称为压电效应。常用的晶体有石英单晶和压电陶瓷。

通常，测力元件采用如下三种压电效应，即纵向效应、横向效应和剪切效应，如图 2.2

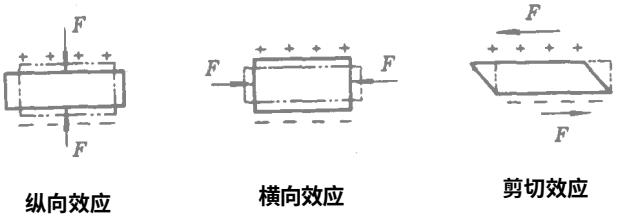


图 2.2 常采用的几种压电效应

所示。这些也是在石英晶体内通过不同切型而观测到的几种压电效应。

石英晶体是各向异性，在 XYZ 坐标系中，沿着不同的方向进行切割，就产生不同的几何切型（见图 2.3）。作为力传感器，常用的几何切型有两种：即垂直于 X 轴切割的 $X0°$切型和垂直 Y 轴切割的 $Y0°$切型。$X0°$切型的石英晶片具有纵向压电效应，$Y0°$切型具有切向效应。根据不同需要对 $X0°$和 $Y0°$切型不同组合，就可以制成不同类型的力传感器。

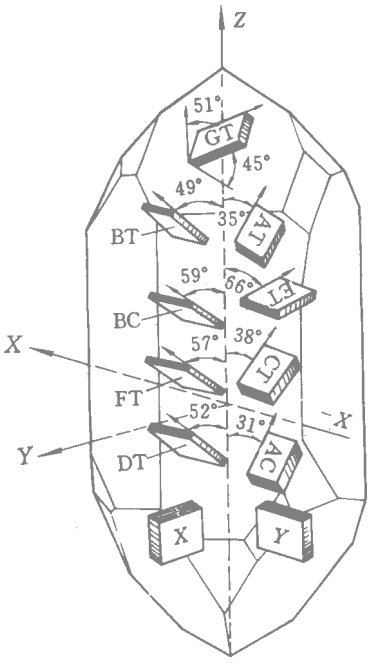


图 2.3　石英晶体的几何切型

①单向力传感器　单向拉压式力传感器最好选择具有纵向压电效应的 $X0°$切型，其次选择晶片的组合方式。为了提高力电转换效率和便于绝缘与屏蔽，采用两晶片极性相对的组合方式。传感器外壳要满足力的有效传递和晶体的保护与屏蔽。

②三向力传感器　三向力传感器（如图 2.4）的关键是组合晶片的切型，为测 X 向拉压力必须选择一对 $X0°$切型晶片；为测 Y 向和 Z 向剪切应力必须各选择一对 $Y0°$切型晶片，然后将三组共六片晶片按一定方位精确地组合在一起，中间夹上电极。对于多向力传感器设计的另一个重要问题是尽量减少各向间的横向干扰（即交叉灵敏度）。

应用压电力传感器最多的是在测力仪和测力系统上。图 2.5 为三向压电力传感器在车削测力仪上的应用实例。传感器的极螺钉紧固在测力仪的弹性变形环节之内。当切削力作用在其上时，便自动分解成 X，Y，Z 三个方向分力输出。

②压阻式压力传感器

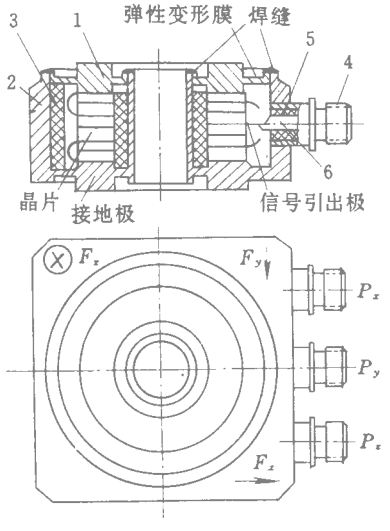


图 2.4　压电三向力传感器

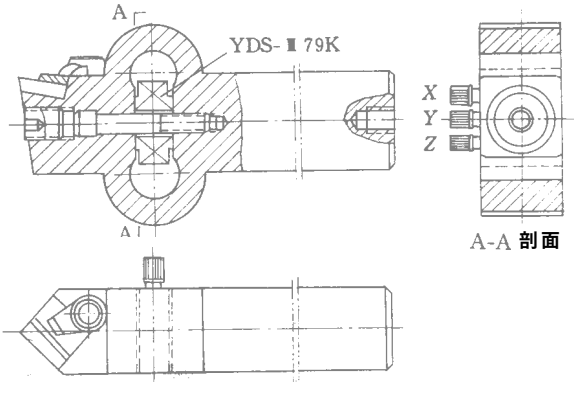


图 2.5　压电式车削测力仪（三向）

在半导体晶体上施加应力，使晶体不同晶向电阻发生变化的现象称为压阻效应，其中单晶硅具有良好的弹性形变性能和显著的压阻效应。采用压阻效应制成的传感器叫做压阻式或半导体式传感器。这种传感器的特点是：

①属于物性型传感器，主要效应发生在原子内部，变换作用在较低能量水平，因此灵敏度高、响应快，寿命及可靠性都很高。

②采用半导体制造工艺，一般在超净、超纯、超精密的环境下进行，工艺先进可靠。特别是采用超精密加工技术如离子刻蚀、扩散掺杂、离子注入、电子束曝光、激光淬火等先进技术，在 $5mm^2$ 硅片上，一次可制成 2000 个半导体压力传感器芯片，成本可以大大降低。

③便于小型化、集成化和智能化。这是现代传感器今后发展的主要方向。

压阻式传感器主要缺点是：一种材料对多种输入敏感，温度影响明显、不适合在低温及高温、强电磁场、强辐射场下工作。

应用压阻效应制成的传感器种类很多，常用的是压阻式压力传感器。从 70 年代开始，硅杯式扩散型压力传感器获得很大发展。所谓硅杯，就是将 N 型单晶硅用机械加工方法做成杯形，这可在图 2.6 所示的压阻式压力传感器中找到。在硅杯底部用扩散掺杂的办法，按照一定的晶向形成 P 型硅微型电阻栅条，形成纵向或横向压阻元件。在正负应力区内任选两组构成电桥，从而构成压阻式压力传感器。

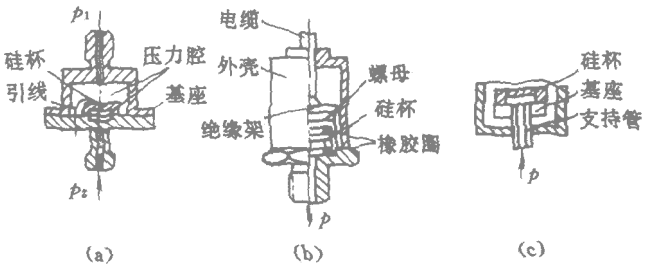


图 2.6　压阻式压力传感器

这类压阻式压力传感器的主要特点是：

①灵敏度高。其压阻系数比金属丝应变系数大 50～100 倍，一般可不用放大器，直接驱动记录仪表。如 Kulite 公司 IPT-2000 压力传感器，灵敏度竟达到 $50mV/N \cdot cm^{-2}$。

②电阻与基础接触良好，滞后和蠕变小，不易老化。

③可靠性和寿命都很高，而且便于小型、精密和集成化。

图 2.7 为大连仪表厂与日本日立公司合作生产的 EDR 系列扩散硅电子式差压、压力变送器的结构示意。

3. 加速度传感器

加速度传感器又称加速度计，用来测量振动参数。几乎所有的工程测振，如导弹、飞行器、船舶、汽车、桥梁、建筑、堤坝等振动都是用加速度计测量的。加速度计的种类繁多，有应变式、压电式、压阻式、电容式、电位计式、差动变压器式等。其中以压电式应用最为广泛，压阻式的应用也越来越多。

图 2.8 为应变式加速度传感器。质量块在加速度所形成的惯性力作用下使悬臂梁振动，贴在悬臂梁上的应变片便产生与被测信号成正比的信号。此信号由电桥进行测量。

需要全本请访问 www.ertongbook.com