

国外
机电一体化产品及技术

周琳 编

机械工业部北京机械工业自动化研究所
中国机械工程学会机械工业自动化学会

一九八四年五月

一、概述

目前微电子技术以惊人的速度发展,迅速渗透到工业各个领域。在机械工业中,电子技术与机械产品的结合,使产品增加了过去没有的信息处理功能。机械和电子发挥各自的特长,使一些过去由机械完成的功能为电子线路所取代,使原有产品在性能、功能、效率、节能等方面都向更高水平发展,因此也必将使机械工业的面貌改观。

计算机技术和大规模集成电路的发展,为机械产品的技术改造提供了雄厚的物质基础,70年代初微型机问世以来,经过了几代的变革,已成为工艺和产品技术改造的有力工具。并且由于其体小、价廉、灵活、多功能等特点,开拓了许多新的应用领域,出现了一种被誉为“智能”的新品种。

微电子技术也给产品结构带来了新的变化,大规模集成电路已能在一块芯片上集成部分或全部系统,它们可以装在机器体内,形成一体化结构。还有的产品将多种功能作成标准化模块化结构,如美国GE公司82年新推出的Mark Century 2000 CNC数控系统,软硬件都是模块化结构,软件一个功能一个模块,便于以后改进和增补。

这种机械和电子的结合,国外引入“mechatronics”一词来表示,我们称之为“机电一体化”或“机械电子学”,其中心内容是要确立以机械技术为中心,机械与电子相结合的崭新机械产品。

CAD(计算机辅助设计)和CAM(计算机辅助制造)技术也是发展机电一体化不可缺少的一环,这一方面是由于功能复杂的大规模集成电路芯片集成度越来越高,传统的手工设计方式已无法胜任,另一方面也是由于世界市场的激烈竞争,新产品要在国际市场上站稳脚跟,只有缩短新产品的设计周期才能打入瞬息万变的国际市场,CAD技术正适应了这方面的要求,取得了迅速的发展。

在微电子技术的冲击波影响下,世界上也掀起了一股应用机器人的热潮,这是由于它除了可用于恶劣环境及人力所不及的场合外,还可以提高技术能力,完成一些高精度的工作,另一方面工业机器人可以做得越来越小,可靠性提高、价格下降,与资本主义国家工人工资相比被认为是合算的(日本已有售价800万日元的⁽¹⁾弧焊机器人出售,若租用,每月租费20~40万日元)。因此一些中、小企业也大量采用,日本法纳克富士工厂是世界闻名的用机器人生产的无人化工厂,于80年12月建成,它由机床和机器人组成加工单元,形成柔性加工系统(FMS),生产机器人和放电加工设备。但是,虽然机器人的硬件成本下降,但软件价格往往数倍于硬件。国外有些中、小企业,由于忽视软件,使硬件不能充分利用,这种倾向在我国的新技术革命进程中应加以避免。

我国面对世界应用微电子技术和计算机技术的浪潮,起步已晚,只能跳跃某些阶段,重点突破,缩小差距。许多工业先进国家在这方面是有教训的,如瑞士曾是钟表王国,但是由于它的石英技术及微电子技术落后于日本,使日本以精度为年差数秒的数字钟表夺走了钟表王国的宝座。西德在高级照相机方面的优势也由于微电子技术的落后而让位于日本。在机床方面,日本的数控机床也比欧美各国领先了一步,使得过去在机床技术方面领先的西德不得不

向日本引进数控技术。由于这些原因,日本和欧美各国都十分重视电子技术的发展,认为它是获得工业和企业活力的有效手段。

与机电一体化相关的技术与产品很多,本文重点谈谈CAD与CAM、微电子元件,以及部分机械工业产品电子化的情况。

二、与机电一体化相关的技术与元件

1. 国外CAD/CAM技术的发展

近年来,计算机辅助设计和辅助制造已应用到机械、电子、航空与航天、建筑、冶金、化工等许多工业领域中,并且每年约以30%的惊人速度在增长,据估计,在今后十年内仍将保持这种飞跃发展的速度,这是由于随着产品的复杂化,设计时的信息数据越来越多,迫使产品设计必须采用计算机辅助设计。特别是机械工业,它是CAD/CAM技术应用最广泛的市场,其发展速度更为迅速,尽管比电子、建筑等工业应用CAD/CAM技术都迟几年,但其应用的发展有超越一切其它工业领域的趋势,其中美国最为突出,其CAD/CAM技术在机械工业中的应用总数占一半左右。81年美国安装总台数4562台,其中机械设计用有1744台。这是因为机械产品设计中约有80%的时间是消耗在绘图工作上,采用CAD以后,一般可使设计效率提高2~3倍。CAD与CAM技术的结合,不仅可以缩短从设计到制造的周期,也提高了制造系统对多品种产品的适应能力。

目前CAD/CAM技术已从单项绘图、制表、设计计算系统,发展成为以数据库为中心的,以2~3维交互式图形显示为重要手段的成套系统,并已从被大型企业垄断的昂贵系统,发展到适于中小型企业需要的小型低成本成套系统,目前小型系统发展较快,1981年占总销售额的5%,预计到1986年时将达到20%⁽²⁾。

CAD的应用主要在两大领域⁽³⁾,一是产品设计,包括机械产品,大规模集成电路等;一是工程设计,如机械、电站、建筑、石化等。采用CAD以后,不但可使设计图缩放、分离、组合、转动,而且还能动态模拟分析,如显示出齿轮连接后的间隙与误差,大大提高了设计质量。美国通用汽车公司有三台IBM3081系统和29套CV公司的CAD系统,共有400多台CAD工作站,是一个把产品设计、制造、模拟试验、现场检查和控制结合起来的一体化集成系统。它可使设计周期由5年以上缩短到3~4年。意大利Olivetti公司使用冲模CAD技术,设计时间缩短60%,冲压件成本减少20%总成本下降30%,生产效率提高60%。此外简易型CAD/CAM系统也在大量应用,如西德的LPKF101简易型印刷电路板CAD/CAM系统,只需占用2×0.7米的面积,不仅可以进行计算机辅助的印刷电路板的设计修改、存贮、显示,还可在计算机控制下用铣/钻刀具在设计数据进入计算机后数分钟内制出线路板⁽⁴⁾。

据估计,今后5年中,CAD的应用将发生一些变化,从81~85年,机械零件设计应用由42%增加到49%,在电子电路绘制方面将由28%下降到20%,土建将由17%增加到19%,地形绘图由11%下降到8%,其它应用由2%增加到31%⁽⁵⁾。

在CAD的供应厂家中,以美国的Computervision公司占压倒优势,1980年的营业额占34%,它最近问世的Designer M是面向中小型企业或设计室的系统,它能支援两个图形装

置, 处理高性能的系统的全部软件(包括土建、管道设计、绘制集成电路及机械制造图等)。

其它约2/3市场由IMB公司、Applicon及Calma公司分摊。其中Calma公司是制造“成套供应”系统的专业厂家, 在集成电路的CAD方面它的地位十分突出。几乎所有的电路制造厂家都订购了Calma系统。包括用于设计集成电路的CHIPS软件包, 设计印刷电路的CARDS软件包, 及用于机械制造的DDM软件包等⁽⁵⁾。

2. 微电子元件

近20年来, 半导体工艺技术向更高水平发展, 一块芯片上已能集成60万个元件, 82年世界集成电路的总销售额已达105亿美元, 64k位的动态随机存储器及32位的微处理器及外围支持芯片已商品化。促进集成度提高的重要推动力之一, 是微处理器的需要, 从71年微处理器问世以来, 已由4位、8位发展到16位、32位, 现在16位微处理器已进入普及时期, 32位机也开始实用化, 它们已使微型机向小型机的应用领域扩展, 可用于精密分析仪器、机床控制、生产自动线控制等。它的应用已深入到工业各个角落, 成为开展新技术革命的核心部件, 它的发展给产品设计带来一种新的概念, 即附加的复杂功能可用固定硬件结构靠编制的程序来实现, 而硬件成本不增加, 如在产品中增加测试程序可大大减少对昂贵的自动测试设备的需求。

由于微型机的普及, 大大提高了劳动生产率, 可以为国民经济中其它各行各业服务。微型机带来的另一大好处是节约能源, 用它调节发动机, 可使喷气发动机比旧的节油30%, 用于锅炉控制, 普通锅炉可节省2~5%的燃料⁽⁶⁾。

微型机是人们比较熟悉的一种电子器件, 当它应用到某些特定功能时, 往往功能冗余。本文重点介绍我国尚属空白或刚刚起步的一些新开发微电子元件。

(1) 专用集成电路

专用电路是针对用户对某种特殊用途的要求而专门设计的具有专门功能和特性的电路, 它能以最少的外接元件, 最适于用户的设计方法, 圆满地完成精确度很高的产品要求。它的优点是保密性强, 很难被仿制(这对于今天激烈竞争的市场是十分重要的), 可靠性高, 集成度高, 可以在一块芯片上实现一个完整的系统, 也可以在同一芯片上集成模拟与数字电路。它的成本在大批量生产时是合算的, 性能/价格比优于微处理器, 这也是专用电路面对强劲对手能站住脚的原因之一。据AMI公司估计, 到86年MOS电路市场中的专用电路部分将由目前的18%提高到50%⁽⁷⁾。机械工业中所用的部分仪表及电机控制专用电路芯片见表6及表11。但是专用电路也具有很大局限性, 它的研制费用高、周期长、在芯片制作过程每一块掩模都需专门设计, 而且必须保证用户大量订购。这些要求往往不能满足目前多品种小批量生产及寿命周期短的产品需要。因此, 它逐步被半专用方法所取代。

半专用集成电路包括未定逻辑陈列(ULA), 标准单元及单片微型机等。未定逻辑阵列指在硅片上作好大量门电路或者元件而未进行电气连接的硅片, 它包括元件阵列(将晶体管和电阻等作成基本单元)及门阵列(基本单元为具有逻辑功能的门), 用户只需要按需要完成布线工序即可使用。现将上述几种电路分述于后:

(2) 门阵列(表1)⁽⁸⁾

它是近年来增长最快的元件之一, 82年生产厂家已由前几年的几家增加到30家, 生产类型400种。它由厂家预先在硅片上扩散形成结构相同的门矩阵的基本单元, 然后根据用户特

CMOS与TTL兼容门阵列

公 司	属 类	最小阵列 (门)	最大阵列 (门)	门 延 时	说 明
AMI	UA	300	1260	5—10ns	3—12v 5 μ m CMOS
	GA	500	2500	} 2~3ns	3 μ m单层金属
	GA—D	2000	5000		3 μ m单层金属
Ferranti	ULA RA	500	4000	2.5ns	83年有10000门产品 供应
	RB	450	4000	7.5ns	
	RC	500	4000	15ns	
	RD	450	4000	50ns	
富士通	B	750	3000	2ns	低功耗肖特基
	C	1275	3900	5—15ns	CMOS
日 立	HD27	648	2520	4ns	LS/TTL系列
	HD61	1200	3000	5ns	正在研制CMOS— 2500门
LSI逻辑	3100	300	1782	10—15ns	硅栅HCMOS
	5000	880	6000	2.5ns	3 μ mHCMOS 2层金 属
	7000	880	10000	1.5ns	2 μ mHCMOS 2层金 属
Mostek	MK6X000	300	2688	2.3ns	3 μ 双层金属CMOS
MEDL	MA85XX	560	1440	4ns	单层金属
	MA20XX	1040	3536		4 μ 双层金属

LS: 低功耗肖特基

定的逻辑设计,用一层或多层互连线形成所需电路,一共只需一两块掩模,既有制作工艺通用性的优点,又能适应专门用途的需要,故称为“半专用电路”。由于用户最后只需完成布线工艺,所以其错误率低,而且由于每个单元的排列方式相同,易于采用CAD技术,使研制周期大为缩短。

门电路是近两年除微处理器及存储器外发展最快的大规模集成电路,目前几乎没有一家半导体公司不在研制。它的发展归功于大规模集成电路工艺、CAD技术及测试系统的发展。门电路的规模由200门到几千门,83年已公布的最大阵列⁽⁹⁾为日本富士通8000门,英Ferranti 1万门,美加州器件公司1万门,据称日本东芝电气综合研究所已研制出2万门、传输延迟时间1.5毫微秒的门电路。

所用工艺技术多是TTL和CMOS,快速阵列多用ECL电路。CMOS由于其固有的低功耗、易于集成以及今后提高速度的可能性,吸引着大多数制造厂商。日本富士通82年作出的集成度为8000门的CMOS门电路,门延时2.5毫微秒,是截止83年CMOS电路的先进水平。

门电路的应用面很广,适用于任何数字装置,包括中小型数据处理装置、计算机外围设备、各种检测仪器及各种机械控制装置等。如东芝公司的LSI门电路大约相当200个TTL电

路的功能, 该公司打算将它用于计算机、机床、工业机器人的控制部件及计量仪器等。(10)

(2) 元件阵列

元件阵列是将电阻、晶体管等作在芯片上, 经过最后的金属互连, 可形成模拟即线性半专用电路, 也是半专用电路的一个组成部分。模拟电路提高集成度要困难得多, 因为它们的可变因素更多, 有更多的干扰及串音等。用半专用方法可以大大简化设计程序, 多数与数字电路组合在一起, 现已应用到从家用电器到复杂的信号处理和数据转换应用之中, 由元件阵列可组成多种应用电路其实例见表2⁽⁸⁾。虽然目前硅片上元件的利用率还不高(不到80%), 通过计算机辅助设计方法将逐步得到改进。

表2

线性阵列

公司 (类型)	工 艺	片 上 元 件	说 明
Cherry (新创)	双 极	小信号晶体管48~145npn, 15~56pnp, 功率晶体管8, 无源元件592	装有封在透明壳内的光检测组件
Corin Tech LD系列	Si栅 CMOS	晶体管和触发器矩阵, MOS晶体管, 齐纳二极管电阻器等	应用在A/D, D/A DSP (数字信号处理) 83年底提供
EG&G Reticon SCF	双 极	开关电容滤波器, 5个运放器、比较器阵列, 30~40数字单元 + I/O缓冲器	用滤波器单元与片上放大器及数字控制元件构成多种滤波系统
Ferranti ULA	双 极	数字/线性结合元件, 100~730门电路, 356~1644有源元件, 531~2660无源元件, 16~48I/O	包括基准电源调节器, 电容器, 驱动器 (100mA) 晶体管, 提供一个基础电路可用于照相机及复杂系统中
MOX	双 极	22~149npn, 8~56pnp, 13~608R及14~28I/O	用于高性能放大器振荡器等,
SGS Zodiac	双 极	线性/数字混合设计, 类似标准单元方法, 用CAD系统设计	此电路已成功用于几种马达驱动电路
Telmos TM5000	CMOS	8个300伏漏极开路功率元件, 触发器(40)未定门电路 (338),	用于数字驱动的线性功率系统
	DMOS	缓冲器	
TM6000	CMOS	结合模拟/数字阵列门电路, 触发器, pMOS和nMOS晶体管, 齐纳二极管, 电阻	用于DSP及仪表

(3) 标准单元

它是介于全专用电路与未定逻辑阵列之间的元件, 基本上采用专门设计, 全专用电路需要一整套掩模, 而标准单元则从CAD数据库中取出单元电路 (如换流器、JK触发器等) 的信息, 按规则绘制图形, 然后按自动路经选择程序连接这些单元, 完成设计过程。这种过程比设计全专用电路快得多, 也可以提高硅片利用率。但因这种方法全是CAD技术发展的结果, 因此它在CAD设备和程序费用方面成本高昂, 随着CAD技术的发展, 将会使这种技术增加吸引力。

目前市售的两种主要半专用电路是门阵列和标准单元, 主要是门阵列, 供应标准单元的

厂商不到10%，主要生产厂家有美国微系统公司（AMI）它自称是世界第一号专用电路厂家，从全专用电路（MOS工艺）到标准单元（nMOS及CMOS）和ULA（CMOS）提供广泛的研究支援和加工服务，它鼓励用户自己进行设计，这部分大概占它产品的45%。英国Ferranti是第一个生产ULA的厂家之一，已有十年的设计经验，它采用集电极扩散隔离（CDI）工艺，尽管生产门电路的各大厂商都将注意力集中到CMOS工艺上，但Ferranti却对它不感兴趣，认为它自己的产品能有双极工艺的速度和CMOS的功耗。(11)

(4) 单片微型机⁽¹²⁾ 这是一种半专用电路，它将CPU、一定容量的ROM及RAM及若干输入/输出接口作在一块芯片上，只需极少的外部电路元件，就能构成一台执行某种特定程序的微型计算机。因为它一般使用掩模只读存储器作为程序存储器，所以要求用户预先提出程序内容，厂家再根据用户要求制作掩模，生产出适合专门用途的芯片，因此它也是一种专用集成电路。它最适合用于顺序操作控制，或者用于输出随以前的事件而定的控制应用，以及简单的计算中。这种电路制作简单，使用方便，体小价廉，在大批量生产时，单台价格最低仅1~2美元。

单片微型机存储程序的ROM一般容量为2~4K，作为工作单元的RAM64~128单元，有20~30条输入/输出线，具有中断能力。为适应较大容量的应用，有些芯片具有外部ROM及RAM扩充，有些芯片上附加尽量多的I/O功能和系统外围电路如D/A，A/D转换器，串行接口，定时/计数器等。有的片上不带ROM，而将EPROM附在外部，作成背驮式（Piggyback），它虽比掩模式ROM贵，但用户可通过它修改程序，再重新写入，大大方便用户进行样机试验及小批量试生产。

4位单片微型机中占统治地位的是德克萨斯公司的TMS1000系列，2000系列。但日本厂商已后来居上，占据了消费市场。8位机（表3）⁽¹²⁾则更适于控制应用。如Intel公司的8085AH是专用于控制应用的芯片，用HMOSⅡ工艺制作，集成度高，可与8048及8049兼容。该公司的片上无ROM的8061单片微型机也已投入市场，售给福特汽车公司用于发动机控制。德克萨斯公司则是16位单片微型机的供应者。此外如西德西门子公司82年推出的SAB80215，在芯片上集成了计数器及A/D转换器等，方便了应用。再有如美Cybernetic Micro System公司的CY500⁽¹³⁾步进电机控制器，实际上是一个普通的8位单片微型机，其存储器内编有专门的步进电机控制程序并可按照指令执行半步或全步操作，每秒超过3300步。

日本〈电子科学〉81年第10期曾比较了通用集成电路，半专用集成电路及全专用电路三者的优缺点，见表4。

表3

八 位 单 片 微 型 机

厂 家 (型号)	工 艺	ROM (KB)	RAM (B)	I/O 线数	中断数目	指令数目	说 明
RCA 1804	CMOS	2	64	13	1	113	可与1802码兼容, 有无ROM的类型
Mostek SGS 3870	nMOS	2/4	64/128	32	6	70	串行I/O型, 有背驮式EPROM插口型
日 立 6301 6305	CMOS	4	128	29	2个外部 5个1内部	89	采用管线结构改进性能 8位A/D转换器 LC驱动
	CMOS	4	64	20		59	
Rockwell 6500/I-11 6500/I-41	nMOS	3	192	32/56	10	60	全双工串行背驮式 新型
	nMOS	1.5	64	42	8	60	
TI 7000	nMOS	2/4	128	16 + 8入8出	2	91	微编程, 硬件乘法器
NEC 7801	nMOS	4/6	64/128/256		2 内 3 外	140	串行接口, 有带A/D变换器的 硬件乘法器及 16位寄存器, 有串行接口
78C05/6	CMOS	4	128		1 内 3 外	100	
Motorola 6805	nMOS	1.1/1.8	64/112	20/24	1	59	有4/8位A/D EPROM
	HMOS	2/3.6	96	32			
	CMOS	0/1.1 3.6	64/112	16/20 32	1	59	8KROM外部选 址, 带有串行I/O

表4

几种微型电子元件性能比较

	通用IC	半专用IC	全专用IC
研 制 周 期	—	中 (∼3个月)	大 (∼1年)
研 制 费 用	—	中 (∼500万日元)	大 (∼1000万日元)
电 路 设 计 技 术	易	中	稍难
变 更 电 路 的 适 应 性	大	稍难	难
总 生 产 数	—	稍多	极大
寿 命 周 期	长	中	短
电 路 规 模 大 小	—	200∼4000门	无限制
电 路 种 类	数字/线性	数字为主	数字/线性
功 能 冗 余 度	大	中	少
互 换 性	易	稍难	难

三、机械工业产品的电子化情况

1. 机床⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

机床是最早采用半导体技术的领域之一,从50年代美国出现数控铣床以来,电子技术广泛应用于控制系统,并扩展到搬运及上下料装置、测量装置等。75年以后大量生产采用微型机的CNC系统,这是数控机床的第五代产品。数控技术的发展,突出显示了电子技术的应用效果。目前在国外以微型机为基础的数控机床产品已占压倒优势,近年来五代CNC的发展有以下几个方面:

(1) 结构:随着大规模及超大规模集成电路的发展,数控机床结构日趋简化,如日本法纳克的数控装置,由使用300块左右的印刷电路板,减到76年的2块板(1块为微处理器,一块为专用大规模集成电路),79年又采用超大规模集成电路使印刷电路板的数目减至1块。这种电路板数目的锐减,也使数控机床的结构发生了大变化。许多机床采用了模块式控制单元及分装结构,即将伺服驱动部分、控制电源部分、接口等分装成独立的不包装结构,用模块式控制单元代替常见的控制柜,有些控制部分装在机床本体形成一体化结构,节省了厂房面积。

(2) 应用范围:由于微处理器价格不断下降,操作及编程简化,不但使原来主要用于中小批量、多品种复杂形状加工的数控装置开始用于大批量生产,并随着软件功能的增强,扩展到应用到各类车床和锻压机械上。

(3) 编程简化:手动输入数据(MDI)增多,可现场编程,还可利用CRT进行改进和校正,及通过软件将操作指令存储下来,美国辛辛那提公司的CNC系统采用可变功能的九键盘输入,由操作人员选择和规定每个键盘的功能。目前NC装置带自动编程器的也很普遍,已商品化。编好的程序作为刀具轨迹可立刻显示在CRT或x-y记录仪上,当操作人员证实轨迹准确时就可输入存储装置。美国Olofsson公司⁽¹⁷⁾将机床控制部分装入机床控制板内,不占据车间面积,编程时将编程器插入控制器插口内,如车间配置相同的机床,只需配置一台编程器。操作人员可通过它输入测试和最佳程序,检查机器状态和存储测试程序。

(4) 存储装置的更新:目前已实现无带运转,广泛采用软塑料磁盘,每盘相当于300到600米穿孔带的存储量。对多座标轮廓加工的复杂零件可以添加附加的磁盘。79年起日本法纳克在它的CNC上采用了磁泡存储器,它的优点是不消失记忆,不需备用电源,可存储几天以至数月的多种工件加工数据,存储密度高,容量大,可在恶劣的环境下工作。而且使设备故障率大为降低,由于存储容量的增加,可以简化输入程序。所需加工程序可在数控装置内部计算,用户也可将多种零件的加工数据及各种补偿量事先存入,大大简化了操作。

(5) 采用多微处理器的分布处理结构,将计算插补、产生进给率、数据译码和分配,数据传送、各座标控制及监控等任务分配给若干个微处理器来完成,由一台主微处理器协调各项任务。日本三菱的Meldas CNC及美K&T公司的KTGEMINI均采用这种结构。

(6) 加工中测量及自动诊断技术广泛采用。

表5为国外最新的五代NC机床及其特点。

八十年代以来,数控技术又有了新的发展,机床的数控化率更高,81年日本数控机床产量

表5

最新机床数控装置

产品型号及厂家	特 点	注
美GE Mark Centry 1050HM	多微机控制, 组件化结构, 有多种输入方式, 自我诊断功能, 有通用显示器, 实现机电一体化	控制板可装入机床内, 可任选输入程序
2000	分布式多微机控制系统, 有12个CPU, 模块化软件结构磁泡存储器	MTBF达1万小时
美辛辛那提 Acramatic 900 TC, MC	机电一体化, 软件内有50~60个功能的菜单, 有可变程序的键盘, 带故障诊断系统	
美本迪克斯 Dyna Path 系统10	用于2~3轴铣床, 完全轮廓控制, 有手动数据输入, 可用车间熟悉的语言编程, 实现模块化	
日本法纳克 6系列, 8系列	采用VLSI, 只用一块电路板, 用磁泡存储器, 6系列存储量相当320米纸带, 8系列640米, 6系列实现分装结构	
3F系列	会话型, 性能高于6系列, 数控操作与编程操作同时进行, 为新品种	
日本大隈铁工所 OSP 5000	会话型, 系统中存有44种切削工序, 8种标准材料的切削条件,	
日三菱 Meldas L1 M1	多处理器控制, PWM调速伺服驱动系统 适于小型加工中心的加工控制	
M2	有彩色CRT会话型系统, 有FMS接口及刀具管理系统	

为25926台, 占66.2%。在技术上追求高可靠性, 高性能和简化操作、编程、维修, 以提高加工效率。柔性制造系统(FMS)已从试验阶段发展为商品。主要进展有以下几方面:

(1) 带自动编程功能的CRT对话方式: 编程时工作人员一面看图纸一面回答CRT示出的问题如材料、外形、加工形状等的的数据, 这种方法大幅度减少从编程到加工的时间, 随着微处理器的发展, 这种编程装置目前向3维及彩色图象处理方向发展。日本大隈铁工所81年5月发表的MAZAROL-M-1加工中心, 可通过CRT与操作人员对话, 并将编好程序的工件外形显示在CRT上, 同时刀具可以选择最佳切削用量的轨迹加工。这种类似CAD/CAM的功能特别有利于新产品的试制。

日法纳克公司在系统6之后, 又开发了系统3F, 是会话型系统, 性能优于系统6, 它不仅能显示毛坯形状, 描述加工路径, 还能对程序数值进行自动计算和程序自动设定, 操作者用键盘可对切削条件和材质类别进行选择。

(2) 由单一机床向柔性加工系统(FMS)方向发展: 由于市场对品种更新的需求, 批量在50件以下的金属加工件在美国占75%, 日本占70%。促使生产方式灵活、对市场需求变化能迅速响应的FMS系统进入实用化阶段。FMS以计算机为核心进行系统管理, 用数控技术

实现加工自动化,用机器人实现自动装卸,可加工多种零件。据日本20台FMS的统计,每台系统配备机床数由2~22台,工件种类4~1500,批量3~300,大部分用于机械加工。

目前FMS的发展趋势,一是包括装配工序及检验工序的大型系统,另一方面积极研究低价、能普及到中小企业的系统,特别是简易型柔性加工单元(FMC),是一个发展方向。FMC结构包括2~3台机床,内部输送装置及上述设备的控制装置,它的设备及运行成本较低,而且当组成大型FMS系统时,制造单元还可作为一个基本模块。它的生产厂家以K&T公司为代表,日本也在逐渐增多⁽¹⁸⁾。

(3) 软件技术:随着CNC的普及,各个厂家设计的CNC基本系统是十分相似的,因此在竞争中愈来愈将注意力转移到CNC的软件上来。CNC软件用来处理输入信息,通过插补运算功能和控制伺服回路,实现机床的控制。软件功能也可由专用大规模集成电路芯片代替,如日本法纳克机床上用的TOKO公司推出的CMOS芯片⁽¹⁹⁾,可完成通常由软件完成的轮廓切削的计算和闭环伺服功能。KM3701插补脉冲发生器可从一台8位微型机接收中点及端点坐标值,微型机向芯片发送指令,规定了直线、圆弧、对数、指数曲线或抛物线轮廓切削,芯片照微型机所选择的功能产生沿X及Y坐标轴的脉冲,再送到作为累加寄存器的KM3702中,日本富士通专为机床数控装置设计了三种专用电路:HB46051插补器,MB8720位置控制器和专用接口。

此外,目前大量使用的直流伺服电机可进行高精度切削和高速度定位,但具有炭刷易损坏的缺点,目前世界各国研究采用的交流伺服电机可省掉电刷维护,节约能源,可用微处理器调节,改变频率达到调速目的。目前日法纳克已研究出从0.02瓩到2.8瓩的10个交流伺服电机品种,计划在83年3月起在机床上使用。

2、仪器仪表

电子技术在仪器仪表中的应用从五十年代就开始了,六十年代已开始进入集成电路时期,七十年代大规模集成电路及微型机迅猛发展,加之各种新技术,新材料的出现,加速了仪表的变革,从给仪表提供某些电路元件到作为具有某种专门功能的独立部件,开始打破元件和仪表的界限。1970年以后迅速发展了数字式面板仪表,它的精度高、灵敏度高,直接用数字显示,已发展成定型通用产品。微处理器出现以后,使计算机的功能有可能赋予单个仪表,出现了一代新的“智能化仪表”,目前已发展到一千余种,这种仪表,用微处理器进行控制,它可按预编程序自动操作,可对数据进行整理、分析、判断和转换,可通过更换软件或软件模块,扩展和改变仪器性能。

以下从仪表专用电路,传感器、微处理器在仪表中的应用及一体化仪表等几方面谈谈电子技术在仪表中的应用。

(1) 仪表专用集成电路

随着大规模集成电路的成本下降,今天已成为仪器仪表的基础元件之一,一些仪表专用电路已成为仪表的重要组成部分,开始向线路设计,元件和装配一体化方向发展。

仪表专用电路有整机专用电路及将某些电子线路集成在一块芯片上的电路。除已成熟的通用仪表数字电路外,模拟电路是发展最快的仪表电路,目前已有相当高的水平,在性能、精度和价格方面已取得很大进展。由于它的品种多、用途广,发展速度已超过了数字电路,美国模拟器件公司⁽²⁰⁾是生产仪表电路的专门厂家,它研制的接口电路系列,成功地将工业

表6

最新仪表工业专用集成电路

工业用隔离放大器 AD293 AD294	Analog Devices	81 年 报 导	变压器隔离混合电路, 电阻增益可编程输入1—100v/v, 输出1—10v/v, $\pm 0.05\%$ 或0.1%非线性, AD293, $\pm 2.5\text{kv}$ 共模电压型AD294, $\pm 8\text{kv}$ 型
数/模转换器 AD7111系列	Analog Devices	81	8位, CMOS单片电路, 乘法型, 包括与微处理器兼容的输入寄存器, 三态驱动器、升/降计数器及数据读回, 增减, 及左右格式对齐的控制逻辑电路
数/模转换器 AD7527系列	Analog Devices	81	10位, CMOS单片电路, 乘法型, 双缓冲, 包括一对相等相匹配的电阻器以产生4~20mA电流回路输出, 28脚DIP
仪表放大器 INA101系列	BURR—BROWN	81	单片电路, 差动输入, 增益可从1—1000v/v编程, TO—100金属封装
程控增益运算放大器 PAG100系列	BURR—BROWN	81	混合电路, 8通道, 数字式控制, 最大增益误差 ± 0.02 或 ± 0.08
仪表放大器 AM543 AM542	Datel—Intersil	81	混合电路, 差动输入, 数字程控, 增益为: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 增益为: 1~128加256, 512, 1024
低电平差动多路调制器 HI—539系列	Haris Semiconductor	81	单片CMOS电路, 四个输入通道
红外遥控系统前置放大器	ITT Semiconductor	81	用于PIN二极管检波器, 75dB动态范围, 80dB典型增益, 200伏工作电压1.5mA电流, 14脚DIP
仪表放大器LM363H	National Semicon	81	单片电路, 差动输入, 固定增益型10, 100, 500, TO—5金属封装
程控增益运算放大器 LH0086	National Semicon	81	单片, 场效应晶体管输入, 数字程控, 增益1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200v/v, 14脚金属DIP封装
模/数转换器ADC0833系列	National Semicon	81	8位, 单片电路, 包括4通道输入多路调制器, 串行I/O, 内装电压调节器,
数/模转换器DAC—78	Precision Monolithics	81	8位, 单片电路, 压扩型给出对数曲线直线近似, 72dB动态范围
红外光束接收器 SN76832A	Texas Instruments	81	与SN76881/SN76882发射器成对, 高阻抗输入
红外光束遥控发射器 SN76881, SN76882	Texas Instruments	81	与SN76832A成对, SN76881为30通道, 16脚DIP SN76882 128通道, 24脚DIP
线性可变差接变压器 (LVDT) 芯片NE5520	Signetics	81	激励和解调LVDT, 包括1~20KHz正弦波振荡, 同步解调器, 放大器, 要求外部5~25V参考电压, 14脚DIP
单片温度传感器芯片 ICL 8073 (摄氏) ICL 8074 (华氏)	Intersil	81	单片电路, 0~70℃, -25~+85℃, -55~125℃, 包括所有必要的补偿和参考电路

信号送到计算机, 现已发展成世界性的大公司, 已生产的仪器仪表电路达300余种, 典型类型有运算放大器、基准电源、转换器、乘法器、显示驱动器等。

近年来微处理器的发展和仪表的数字化, 要求多种 D/A 及 A/D 转换器速度快、精度高与微处理器兼容, 更促进了它的发展。82 年最新产品有 Teledyne⁽²¹⁾ 半导体公司的 7109 型 CMOS 13 位 A/D 转换器。它能直接与处理器接口, 具有高精度和低噪音, 可用于远距离数据记录及桥式传感器如应变计、压力计、温度传感器等。D/A 转换器正继续向更高位数, 更易于使用的方向发展。81 年模拟器件公司推出新的 16 位分辨率的 D/A 转换器 AD7546⁽²²⁾, 它完全作在一块芯片上, 而过去 16 位分辨率的产品须用混合式或模块方式制作。预计 83 年将向速度更快、位数更高以及具有更高集成度的方向发展。并将发展模拟与数字电路作在一块芯片上的器件。

表 6⁽²²⁾ 为 81 年前后发表的数据采集及过程控制用的专用单片及混合集成电路, 从表中可看出, 近期发展已突破了工业温度范围 ($-25 \sim +85^{\circ}\text{C}$), 开发了一些经改进的信号调节元件及传感器, 以及与微处理器有更好兼容性的电路。如 Inetersil 的 ICL8033 (摄氏) 及 ICL8074 (华氏) 单片温度传感器芯片, 81 年 9 月推出, 它可将温度直接转换成输出电压, 片上有补偿及基准电路。敏感元件采集的差分信号, 无须进一步调节, 可直接馈给 A/D 转换器。这组芯片不仅高度线性和精确, 还有互换性。英 Ferranti 的 ZN451 数字伏特计芯片⁽²³⁾, 可测极小电压, 可消除外部信号调节电路的零误差, 适用于低输出传感器如热电偶, 压力传感器及应变计接口。

模拟电路也发展了半专用电路的标准单元和线性阵列, 不用一个一个地设计晶体管而是通过预先设计好的功能块构成电路。标准单元包括运放器, 功率晶体管及驱动器, 自动增益控制电路, 电压基准及 I/O 等。线性阵列见表 2。83 年将迅速发展模拟与数字电路混合集成的大规模集成电路, 如可使模拟接口与数字处理器作在一起。英 Ferranti 公司的数字/线性电路, 其中心为数字电路门阵列, 周围围绕着晶体管、电阻器及一些专用元件的单元。

(2) 传感器⁽²⁴⁾ (25)

传感器是实现信息检测、转换和传输的元件, 通过它可将各种非电量变成电量, 构成仪表的重要构件。近年来电子技术的发展往往由于缺乏低价精确的传感器, 使它在非电量领域的应用受到限制, 因而国外十分重视传感技术的研究。近年利用成熟的生产集成电路的硅平面工艺, 研制出新型传感器, 它的精度一般在 $0.1\% \sim 0.01\%$, 比机械式的高一个数量级以上, 它的灵敏度高、动态响应快, 扩大了仪表的测量范围。最普及的是硅扩散压力传感器, 检测压力的元件为硅膜片, 它是把硅晶体中央部分变薄, 形成因压力而产生挠曲的膜片, 在其表面扩散成电阻电桥。它可以和信号处理电路、运算及存储电路等作在一起, 如近年发展起来的集成传感器, 将敏感元件与线性放大器、补偿电路、调制电路及接口电路集成一片, 具有高精度、线性好等优点。表 7 为集成电路化的温度传感器, 表 8 示出部分结合固体电路技术的传感器。

(3) 微型机在仪器仪表中的应用

微型机在仪表中的应用以每年35%以上的速度在增长, 构成许多便携式、多功能、高效、高精度的仪器仪表。如微型机与电子测试仪器结合构成新型的测试系统。除对仪器进行控制外, 还可以采集和处理数据。内装微处理器的仪表还可实现自动调零、自选量程、自动平衡、自动校准和自动诊断故障等。特别是单片微型机非常适合于批量大而系统规模小的仪表应用领域, 可由半导体生产厂批量生产。由于仪表均有其特定的功能, 如输入、处理、计算、显示、控制等, 这些任务可由单片微型机来完成, 而将计算程序或控制程序等预先固化在ROM或EPROM中。使用时不需复杂的外部设备就能像常规仪表一样使用, 其性能价格比很高。如美AMI公司82年9月推出的16位CMOS单片微型机⁽²⁸⁾, 具有易于更换的存储器和I/O接口, 特别适于控制系统与便携仪表的应用。Solartron公司的7150万用表⁽⁴⁾, 用两块单片微型机, 一个控制A/D转换器, 另一个控制显示格式编排、面板键盘及IEEE 488遥控接口。

表 7

IC温度传感器

厂家型号	年	特 点
日本电气公司 μPC 616A 616C 3911C	79	- 40~+125℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器 - 25~+85℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器 - 25~+85℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器
National Semico- nductor LX 5600 LX 5700 LM 3911 LM 134	79	- 55~+85℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器 - 25~+85℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器 - 25~+85℃, 电压输出, 10mv/℃, 内装缓冲放大器 - 55~+125℃, 电流输出, 1μA/℃, 内装可编程定电流源 0~+70℃ 电流输出
Analog Devices AD 590	79	- 55~+150℃, 电流输出, 1μA/℃,
Precision Monolithics REF-02	79	- 55~+125℃, 电压输出, 2.1mv/℃, 原是基准电源
Intercil 单芯片温度传感器 ICL 8073(摄) ICL 8074(华)	81	单片电路, 可直接将温度转换成电压输出, 所有的补偿电路 基准电路都作在芯片上,

表 8

部分新型传感器

名称厂家型号	说 明	特 点
扩散硅差压传感器 411系列 Honeywell	由扩散硅应变片和IC组合而成, 有传感器及电路两部分, 适用于流量、液位测量及传送	比机械式传感器尺寸减小, 消除了传统的机械连接问题, 提高精度和稳定性
扩散硅数字式压力表 DPI500, 501 Druck	412 扩散硅过程压力传感器 413 扩散硅液位传感器 414 扩散硅差压传感器 配有微处理器的标准扩散硅压力计	可代替一级标准活塞压力计
单片压力传感器IPT 美Honeywell	将运放器, 线性电路、应变仪压力传感器等作在同一硅片上, 可测0~15磅/时 ² 的压力, 传感元件是一块离子注入电阻的硅膜片。	集成温度补偿电路电压调节和放大电路全部单片集成 提高灵敏度, 降低成本, 缩小体积
湿度传感器 日立制作所 相对湿度控制器 美Honeywell RT088	有机高分子感湿膜与半导体基片作成一体, 有高分辨率, 由敏感元件阻值构成桥路, 检测湿度变化	

电子测试仪器采用微处理器可使测量速度提高, 精度改善, 并具有多种功能, 可测传统测值范围以外的参数, 如万用表可测电容、温度、百分比偏差等, 并备有标准接口便于在自动测试系统中使用, 还可用软件改换仪表功能。如HP公司的1980A/B型示波器, 是1982年的新产品^(2.6), 微处理器根据存储在ROM中的程序, 自动控制整个仪器工作, 通过HP—IB标准接口可使该仪器与其它设备一起组成自动测试系统, 操作单元中的ROM不但存储有例行测试程序, 还存有其它辅助程序。Solartron 7081型高精度数字式伏特计⁽⁴⁾, 有8½位读位长度, 分辨率达10毫微伏。有17种不同的数据处理程序, 用来计算各种参量, 如测量的平均值、标准偏差以及方差, 或者根据预定界限检查结果。此外有可记录1500项结果的历史文件存储器, 有内装式IEEE 488 和RS 232 接口。

分析仪器中, 81年配有微处理器的产品已占分析市场的70%。美Perkin—Elmer 公司从78年开始已在它所生产的原子吸收分光光度计和红外分光光度计中装有微处理器。电子技术的发展, 促使分析仪表不断变革, 六十年代以手动笔录为主的型式, 发展到七十年代采用微处理器控制、操作和数据处理, 而微处理器和键盘显示器作为仪表的选配件通过接口连接起来。而到了八十年代, 微处理器已成为在仪器内部的部件, 大多为仪器制造厂家自行制造。这些改革促使了分析仪表的小型化并提高了精度和稳定性。83年多国仪器仪表展览会上的分析仪器中已广泛实现智能化。美国Perkin—Elmer 983 型红外分光光度计^(2.7)波长范围宽,

内存2000多张图谱,便于定性分析。英国Pye—Unicam公司的PV9000原子吸收分光光度计是可进行人机对话的全自动智能化仪器。

大规模集成电路特别是模/数转换器及微处理器性能价格比的提高,也加速了它在工业记录仪表中⁽⁷⁾的应用。并且出现了瞬态记录仪及数字存储示波器等新的类型,如HP公司的5180波形记录仪,有8K字存储器及10位分辨率,能以20兆赫的速率将模拟波形数字化,适于测量动态特性,能自动记录32个瞬变过程。Tektronix公司的468数字存储示波器,采用25MHz 8位转换器,利用内插显示技术达到10MHz的最大存储带宽。Microdata的便携记录仪用两块CMOS微处理器控制20个通路,其温度记录系统能记录1000个热电偶输入,输出是24列静电打印机,也可通过串行插口存储,供以后分析用。

温度测量仪表当前的特点是采用红外技术、带微处理器、数字化、小型化。美国Wahl和Raytek公司在上海多国仪表展览会上均展出了用红外方法检测温度的仪器。Wahl的产品有带手提式热电偶和显示仪器的校正器,带微处理器及内存七种热电偶的分度表,一致性达0.1℃。82年新发表的Casper Integrated Systems公司的TCK—1500 K型数据热电偶和数据记录器⁽²⁸⁾结合在一个手持仪器中,内装微机,可存32个读数,可定时记录,也可在压下按钮时记录。能连续五天无人自动运行,而且在电源切断时能保存数据。

微处理器和微型计算机迅速地使工业控制装置转入数字领域。发展最迅速的有分散式过程控制系统及可编程序控制器。分散控制系统从75年美Honeywell推出以16位处理器为基础的TDC 2000 8回路分散式控制系统以后,到80年底美国已有十种不同的以微处理器为基础的分散式过程控制系统,并发展了分散更细、操作灵活的单回路数字调节系统。82年开始又向集中监视控制和运算控制装置完全与开的分离型控制系统发展。

可编程序控制器⁽²⁹⁾分为用于仪表及电控装置两大类,仪表用PC主要用于数据处理及PID调节,控制用PC则主要用于顺序控制。目前多数都是以微处理器为基础,能够进行算术运算、接受和输出数字与模拟信号,进行数据操作、远距离输入输出、监控及打印。83年美国销售额已达6亿美元,占全部工业控制用产品销售额的十分之一。

目前的发展趋势是0.5K字节以下的超小型台数激增,日本81年下半年已达3万台左右,超过了其它类型。这种超小型结构追求低价和小形化,其结构与安装方法也与过去不同,安装到变电盘中的居多,形成了新的可编程序控制器类型。另一方面存储容量在4K字以上的大型结构增多,从81年开始陆续发展面向高级生产系统的高性能大型可编程序控制器。存储容量有8K~32K字节的,它们具有数据处理等多种功能。存储容量在1K、2K字左右的中小容量生产台数稳定增长,但功能中引入一些高级功能,结构方面追求薄形、一体化。

在结构方面有以下4种趋向:①2~3年前,PC结构多为组件式,由CPU、I/O、及备用模块等组合而成,现在趋于将CPU与I/O作成一体形结构,全体作成平板薄形,以追求低价为目的。②作成便于安装在机器内的薄形结构,③有许多不用外壳,作成插件,以降低售价④编程板可装卸,用户往往在同一现场有多台同种PC,这种编程板可以多台共用。

各类以微处理器为基础的仪表见表9⁽³⁰⁾⁽⁷⁾⁽³¹⁾。最新可编程序控制器见表10

(4) 一体化仪表

大规模及超大规模集成电路已可将仪表的全部或部分功能集成在一块芯片上,这种“单片功能电路”已开始实用化,这方面的实例如西门子公司的PSB7510控制器⁽³²⁾,它是微型机的外围控制芯片,它可以完成所有20位7段的液晶显示功能,所有的控制和驱动电路都

表 9

各类以微处理器为基的仪表

产品名称, 厂家	推出日期	特 点
Solartron 7081 高精度伏特计	82	8½位, 分辨率10nV, 除DC电压外, 还可测交流电压, 分辨率6×9, 电阻可高达1400MΩ, 灵敏度10μΩ, 此外有17种不同的数据处理程序用来计算各种参量, 还设有一个可记录1500项结果的历史文件存储器,
7150 数字万用表		可测DC电压(0.1μV~1000V), 电流(交直流2安培以下), 电阻(1mΩ~20MΩ), 精度0.002%, 具有系统能力, 有IEEE 488接口
英Racal-Dana 6000系列数字万用表	78	1/6位, 用μP控制, 除一般功能外, 还有计算和自校验自诊断功能
武田理研 TR5840 计时/计数器	79	通用型, 可测频率周期, 单次和平均时间间隔, 比率和相位, 单次脉冲时间间隔, 分辨率可达100PS, 具有统计运算处理功能, 并能通过接口母线监控
HP公司 5355A型 频率计数器插件	79	用μP控制, 可在0.4~26.5GHz的频率范围内测量连续波信号和脉冲信号, 2ns的单次时间间隔
美EPSCO公司 EP250C 信号发生器	79	插入式固体信号发生器, 在0.2~1.26GHz频率范围内, 其连续功率可达250瓦
英Bausch & Lomb 双光束分光光度计Spectronic 2000	79	适用紫外到可见光范围, 以μP为基, 有打印机, 可读出透光率、浓度和吸光率
Perkin-Elmer 分光光度计 983		配有快速数据处理系统, μP控制的驱动系统及VDU显示单元
美Backman 红外分光光度计 microbab WX	82	全计算机控制, 可自动选择最佳扫描参数并算出答案, 一次分析可测6种组分
Cristie CD6 数据记录仪		用内部电池操作, 能控制9个输入(其中一个能用作监测热电偶冷端)