

工业检测传感器

论文集

浙江省仪器仪表学会 上海市仪器仪表学会
杭州市仪器仪表学会 江苏省航空学会
中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会

1986. 6.

前 言

近几年来，传感器在发展国民经济和开发科学技术中的作用，已逐步在为人们所重视，一股国际上的“传感器热”也逐渐在我国出现。一些高等院校、科研机构、工厂都在为发展我国的传感器工业作出贡献，不断研制出一些新型的传感器。但是与四化建设的需要来看，还远远不能满足，与国际先进水平相比，还有相当大的距离，所以是任重而道远，有待于我们去艰苦奋斗，努力工作。

传感器一般来说，体积小，重量轻。材料用得不多，但是所采用的材料却包括了黑色金属，有色金属，工程塑料，陶瓷材料，半导体材料以及各种特殊材料（如恒弹性材料，高磁导率材料，高分子材料，生物功能材料等）；从工艺上看，也包括了机械加工，电加工，化学加工以及各种特殊工艺（如电子束焊，贴片，绕线等）；从原理来看，涉及到各种物理效应，化学反应和生物功能。所以要研究一只新型的或者高质量的传感器，需要付出很大的劳动代价，所化的精力、时间并不低于一台普通的仪表。

因此，在发展传感器的工作中，要发挥我国社会主义制度的优越性，同行者要互通信息，交流经验，进行协作，这样可以少走弯路，加快研制速度，并迅速地将科技成果转化为生产力，从而使我国的传感器工业能以较快的速度发展，来满足四化建设的需要，缩短与国际先进水平间的差距。

鉴于上述目的，中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会传感器专业委员会与上海市仪器仪表学会、江苏省航空学会、浙江省仪器仪表学会、杭州市仪器仪表学会联合举办一次全国性的传感器学术讨论会，并编印了这一本学术论文集，由于时间和经费的限制，选编了55篇刊登全文，其它刊登了题目和摘要，我们希望这一论文集能起到互通信息，交流经验的作用。

最后，希望我们从事传感器工作的同志们，能团结一致，共同奋斗，不断创新，为发展我国的传感器工业作出贡献。

传感器专业委员会主任委员

浙江省仪器仪表学会理事长

譚祖根

一九八六年六月

目 录

1、传感器技术——信息科学的尖兵·····	朱寒炎	(1)
2、现代测试技术与传感器·····	严仲豪	(9)
3、传感器的智能化概论·····	胡坤堂	(15)
4、半导体压力传感器在医疗器械工业上的发展·····	陆本夫 周劲伟	(19)
5、利用硅横向压阻效应的压力传感器·····	鲍敏杭 王 言 吴宪平	(23)
6、集成化温度传感器的研究·····	方培生	(27)
7、非晶碳化硅薄膜温度传感器·····	陶明德 谭 辉 曲凤钦	(31)
8、半导体集成温度传感器的介绍·····	金建民	(39)
9、扩散硅压力传感器在测厚技术中的应用·····	陈正发 朱敬忠	(45)
10、流速流量检测中的微差压传感器·····	王文襄	(54)
11、GCK-120型投入式扩散硅差压传感器·····	侯宗汉	(57)
12、4DH2型恒流管在扩散硅压敏传感器中的应用·····	张浙源 竺树声	(60)
13、应用电子计算机对压电式传感器动态特性的研究·····	单成祥	(66)
14、消除硅压阻式传感器温度误差的方案·····	赵 敏 王厚枢	(72)
15、快速精确测算压力传感器的桥臂电阻值·····	顾 璠 孙向晖	(78)
16、信息处理型光传感器·····	周培森	(82)
17、HCGS-02固体扫描器·····	郑树德 鄢关林 魏 明	(87)
18、150元BCCPD线阵图象传感器·····	张忠堂 汤学新 张 权 董建民	(93)
19、用激光传感技术及微机实时处理在线检测板材厚度·····	华伟亢	(99)
20、光纤溶液浓度测量仪·····	吴冠群 沈彭年 王德宁 吴国炎 陈莲勇 盛娟娟 薛明琪	(105)
21、光纤液面传感器的研制·····	冯圣一	(110)
22、光电传感器在电子天平中的应用·····	朱锦良 蔡仁康 张金祥 王明宏 夏仲仪	(112)
23、侧向扩散光电探测器的几个参数探讨·····	朱锦良 张冶齐 蒋新元	(118)
24、光纤传感器在流量测量中的应用探讨·····	范德林	(124)
25、对极型管式电极极谱反应器测量水中残余氯浓度的方法和仪器·····	甘兰禧	(129)
26、烟气成份自动分析装置研究·····	劳力云 赵 阳	(134)
27、 TiO_2-SnO_2 系新型湿敏元件的研制·····	李云鹏 肖森荣 孙承松 周立军	(142)
28、薄膜型 SnO_2 气敏元件测量及应用中的一个重要问题——选定适当的工作温度·····	张耀华 刘锦淮	(150)

29、离子敏感场效应晶体管的测试·	牛文成 赖 群 钱其璩	(157)
30、一种新型的半导体离子敏感器件·	黄德培	(163)
31、钛合金在低量程压力传感器中的应用·	裴锡安	(171)
32、电容式差压变送器极板形状对非线性的影响·	邱嗣鑫	(179)
33、一种抗高过载的电容式高压传感器·	杨俊义	(191)
34、新型差动电容式位置发送器·	吴兆智	(197)
35、压电加速计预紧力与灵敏度探讨·	韩 军 许忠良	(204)
36、一种新型单质量三向压电加速度传感器·	王玉田 史锦珊 王树山	(211)
37、医用蛛丝压力传感器稳定性的探讨·	徐蔚林	(219)
38、厚壁等圆环弹性体的设计计量·	李 劭	(226)
39、气动传感器及其在对称度误差检测上的应用·	石 森	(240)
40、高灵敏度石英 α_1 系列小力值传感器的研讨·	王根兴 王素莉	(247)
41、变厚膜片式应变传感器的优化设计·	阮米芳 谭祖根	(251)
42、SX-1型心音传感器·	钱宝根	(259)
43、金属薄膜型磁敏电阻制造的材料与工艺研究·	孟庆波	(266)
44、超微粒材料与陶瓷敏感元件(综述)·	谢 讯	(269)
45、钒-氧敏感薄膜的研制·	殷志强 苗 芳 严樟根	(274)
46、光纤用多组分高透过芯皮玻璃及其性能·	王佩珍	(278)
47、采用硅平面工艺研制叠电堆红外探测器·	隋兆文 卢建国 熊 斌 陈芬扣 王渭源	(282)
48、材料的弹性模量补偿与传感器的蠕变特性·	姜南雁	(289)
49、智能传感器的硬件设计·	余瑞芬 毛万华	(292)
50、JLR型微处理机饱和水蒸汽流量、热流积算仪·	仲翔平 俞美英	(296)
51、新型有机膜湿敏元件·	王年元 朱寅华	(303)
52、硫系玻璃红外光纤测温·	毛锡贵 杨佩红 刘建蓉	(306)
53、接触式轴承测振仪拾振系统的设计分析·	童钧芳 张征权	(311)
54、用于固态传感器制造的硅各向异性腐蚀·	吴宪平 鲍敏杭	(319)
55、工业检测传感器学术讨论会交流论文摘要·		(328)

传感器技术—信息科学的尖兵

宋宗炎

(航天部七〇四所一室)

(一) 传感器技术及其在科学技术中的地位

1. 传感器的基本含义

传感器是信息摄取的功能装置。随着现代技术的不断发展,传感器与人类的关系愈来愈密切。传感器这个名词已经渗透到人们的日常生活中。譬如,电冰箱中就有温度传感器。使用煤气炊具烹调时,常常使用气敏传感器监视煤气(CO)溢出,并予以报警,为了防止火灾,采用烟雾传感器等……。

那么,究竟什么是传感器呢?狭义的说,传感器是敏感于待测的各种非电量(物理量、化学量、生物量)并将其转换为电信号的装置。在这个领域中,常常有人用敏感元件来混淆传感器这个概念,实际上,敏感元件与传感器之间有着密切相关的关系,但却有着各自不同的含义。通常对敏感元件而言,指的是将一个被测的非电量转换成另外一种非电量,亦可以是电量统称为敏感元件。譬如,压力传感器中的弹性敏感元件——膜盒式包端管。它们就是将压力(一个非电物理量)转换成位移(另一个非电物理量);亦可以将一个非电量换成一个电量,通常一块压电陶瓷材料,它就是将压力或力转换成电荷(电量);而对于传感器而言,则必须将一个非电量转换成某种预定的能量形式的信号如电信号。

从广义上讲,转换成电信号在某种条件下,未必是唯一有利的能量转换形式,为了减小磁辐射等对电信号的干扰,是否可以用光信号来代替电信号,更为有利。这些都是在下一个发展阶段中如何发展传感器技术持有争议的问题。

总之,敏感元件包含于传感器之中,是传感器的主要组成部分。但敏感元件并不就是传感器。现阶段将非电量信号转换成电信号主要考虑从测量和控制技术这个角度;它最宜调制、放大、反馈、存储和传输,而且最易与计算机接口。

2. 传感器技术在科学技术发展中的地位和现况

传感器是信息摄取的功能装置,因此,它是信息技术的一个重要组成部分。由于计算机技术的突飞猛进和微处理机的兴起,致使国民经济中的任何一个部位中,各种物理量、化学量和生物量形态的信息有可能通过计算机或微机进行正确、及时地处理。反过来说,各种大规模集成电路计算机它都要通过传感器来转换信息。有人把计算机比喻为一个人的大脑,传感器则是人的五官(视、听、味、嗅、触)。目前,传感器技术与计算机技术的发展极不平衡,正如,日本人呼吁说:“机械工业已经进入了智能时代,尽管这种智能化发展速度非常快,但由于缺乏检测功能,结果今日之控制系统出现了头脑

(计算机非常发达, 感觉器官(敏感元件)非常迟钝的不平衡状态”。

国外预测, 21世纪世界重大科技发展项目为粮食资源、矿物资源、生命科学、保健医疗、能量和海洋开发, 而这些重要领域要广泛应用传感器技术。由于传感器技术的发展和计算机技术发展的不平衡状况直接影响对于重大科技发展项目的开发。因此, 国外对传感器技术的发展有一种危机感和紧迫感, 欧州有一种说法: “处理过剩, 信息不足”。提出了传感器技术是八十年代技术更新的重要技术乃至领先于大规模集成电路技术。

目前, 世界上近几年出现了“传感器热”, 在美、英、法、西德和日本每年都有一次规模很大的传感器学术与产品展览的国际性会议。近年来, 日本、美国又把固态敏感元件从传感器中分出来。八一年在美国的波士顿召开了首届固体敏感元件会议, 一九八三年第二届在荷兰迪费举办。在一年内 这种类型的会议先后在美、日、法、德、英举办六次之多, 说明了当前科技世界对于传感器的重视程度。

我国随着四化进程的加速, 对于信息科学的重视程度与日俱增, 对于传感器的需求量的增长速度亦达到了惊人的程度。六十年代传感器技术与制造比较集中在一些国防尖端部门与大专院校, 如当时的航空、航天、核工业及兵工常规等部门, 到了七十年代一些能源、热电、化工等行业应用传感器逐渐普遍。八十年代初则在农业以及轻纺和人们日常生活中的家用电器中应用传感器的需求量骤增, 形成了一个广宽的传感器市场。

一九八四年五月, 由国家经委、国家科委与中国仪器仪表学会联合举办了传感器技术学术交流与展览会, 与会学术界人士达七百余代表, 参展的研究所、院校与厂商达450余家, 展品三千多种。除西藏、台湾外, 遍及全国各省市, 第一次较全面地展示了我国传感器发展的水平与市场的需求状况, 和世界上新技术发展的潮流一样。在这次会议期间反映出国民经济各领域对传感器技术发展的迫切要求。

传感器就其发展的规律来分大体上可以分成三类:

第一类传感器称之为结构型传感器。它是基于各种物理学中的场的原理, 通过一系列精密机械与电子电路来实现感受信息后的能量转换。早期的结构型传感器以电位计式为代表, 诸如电感、电容、电阻、力平衡等原理, 这类传感器具有可靠、稳定、精确的特点, 但它的体积大, 价格昂贵。只是在航空与一些尖端学科中应用。

第二类传感器是物性传感器。它是基于物质特性的规律来实现感受外界信息后的能量转换。早期的物性传感器大多是一种复合结构, 物性敏感元件加上一个实现能量转换与传递的结构; 亦称复合型传感器。如应变式传感器, 它就是用金属丝拉伸引起的电阻变化来实现对于力、压力形变等物理量向电量转换。当然, 物性亦包括物质的化学、生物学特性的变化来转换能量, 实现信息的转换与传递。特别在六十年代后期固体物理与微电子技术的发展, 大量的半导体材料、功能陶瓷和功能有机聚合物, 为物性传感器的发展提供了坚实的物质基础, 更由于广宽的市场需求要有廉价的、大批的物性传感器, 刺激了物性敏感元件的发展, 这几年物性或复合型传感器的发展速度很快。它为传感器的小型化、廉价传感器开辟了途径。由于物性敏感元件的基础工艺要求高(如半导体大规模集成技术、超净、细微工艺), 且稳定性差, 在一些高可靠、高稳定要求的使用场合中, 尚不能普遍推广应用。

目前, 我国的传感器技术仍以结构型和少数物性敏感元件构成的复合型传感器为主

体。对于一些能源工业中用得十分普遍的，用量相当大的一些物性型传感器，如煤矿中的气氛（CO，甲烷等），石油工业中的井底测温、测压及井斜等参数，以及新掘起的生物医学工程参数，以及航天工业中未来的航天飞机和固体运载工具中使用的微型、高动态性能的传感器等都还有待开发。

（二）传感器的应用与国内外市场信息

1、传感器在各个领域中应用情况简介

传感器在航天与航空工程中的应用极为广泛，现举美国某些火箭、卫星遥测参数配套表中公布的传感器数量，可见宇航工程中传感器应用的广泛性：

表1 美国某些火箭、卫星遥测参数选用传感器配套表

序号	测量参数分类	丘辟 特工	朱诺 II	阿金 诺	土星 SA-1	土星 SA-525	阿波罗
1	位置、开关等高参数传感器	20	19	24	67	567	392
2	气动力和压力传感器	5	4	2	128	439	158
3	温度和热参数传感器	1	5	19	137	559	215
4	噪声、冲击加速度传感器	2	2	5	64	200	
5	流量传感器	5	4	2	48	53	
6	其它					40	200
		30	40	75	444	1858	965

这几年美国的航天飞机哥伦比亚号上仅就美国 Bendevco 公司一家提供的振动测量用小型晶体与压阻传感器总数超过500个之多，窥此一斑，足以见其全貌。现例举所用传感器型号于表2：

表2

测量参数	固体助推器振动	伺服机构与动力装置振动	涡轮泵振动
传感器型号与配套	2271A 系列	2271AM7 型	7704M2
数 量	36	450	18

在航空与航天飞行器的控制系统中的惯性平台、大气数据计算机、飞行空气动力参数以及动力系统的燃料耗尽、泵机运行等系统中都大量应用高可靠、高精度的压力、温度、液位、加速度、角度、位移等多种传感器。

汽车工业中的应用主要偏重于第一安全，第二节能，第三舒适。三者的效能与传感器有关。日本丰田小轿车中装有传感器少则20只，多则40~50只。美国通用汽车公司在每台汽车上配置36只传感器10种微处理机，其中九处传感器与微处理机并用。日本汽车界的某些人声称，从某种意义上讲，汽车的竞争是传感器的竞争。

对于农业的应用主要表现在利用传感器与计算机控制温室。日本的温室达三万公顷，占世界首位。传感器、计算机系统控制空气和土壤的温度、水分、光照等，使农作物在温室最大限度地发挥生理生态功能，使作物生长良好，减轻体力劳动，并节约能耗。

北京的四季青公社从日本引进四十亩地温室控制设备投资四十万元。

在节能方面统计数字亦是极其可观的。日本在一台烧重油的蒸气锅炉上装上空气量和燃油比例调节器，使锅炉中燃料完全燃烧，一台蒸气发生量为10吨/小时的锅炉年损耗燃料费可节约744万日元（人民币5.2万）。

青岛一家冷藏库选用了冷库数字温控计后，年耗电节约40万度，节省电费四万元。

粮食管理方面，对于粮库中的湿度、温度控制。在我国的大河之洲大型粮库中，一九七九年发生的进水事故中，由于采用了多点湿度遥测仪，避免了几百吨粮食的霉烂损耗。

这几年，传感器用于生物医药工程的开发工作十分活跃，主要用来代替人的感官对生物和人体的生态信息进行诊断。如心脏机能诊断仪、脉相仪、脑压传感器、电子血压计等已经投放国内市场。国外的一些医院中包括人的几十个生化参数亦都在几分钟内可做出结果。它都是传感器与计算机相结合的结果。

传感器的应用在国外主要表现在四个方面：第一是工业自动化检测，第二是家用电器，第三是防火防灾，第四是汽车。总之，它已经由尖端工业、大工业的领域渗透到人们的日常生活之中；日本家庭的煤气事故随着煤气报警装置的推广应用，由1968年的1000人次降低到1982年的350人次。

由此可知，传感器不仅和我国的四化建设和各新兴产业的起飞直接相关，更重要的是造福于人民，为人民的生活方便、舒适和身心健康带来了福音。

2、国外传感器市场信息

美国和欧州市场情况：

美国和欧州传感器市场投资总值的年增长率为32%；

欧州市场到一九八六年，传感器总投资为3.5亿美元；

美国市场到一九八六年，传感器总投资为4.8亿美元；

总计：超过8.0亿美元。

日本一九八二年传感器的总产值约为1300亿（日元），电子产品的总值为3490.3亿（日元）；占电子元器件总产值的3.72%，与一九八一年相比，传感器的年增长率：（30~40）%。

就美、日和一些西方发达国家传感器发展的速度可以从这些投资增长比率看出。

30%以上的年增长率是一个十分惊人的速度。由于七十年代初期，这些国家的决策人首先抓了计算机而对传感器技术略有偏废，如今尝到了由于传感器拖了后腿而使系统不能配套的苦头。因此，近几年掀起了一个传感器热潮，化大力气发展传感器，这是一个值得我国借鉴的经验。

(三) 传感器的技术特点和发展趋势

1、传感器待测参数一览表

表3

	分 类	待 测 量
非 电 量	机械量	长度、厚度、位移、速度、加速度、转角、角速度、质量、重量、力、压力、真空度、力矩、液面高度、流量、流速、振动等
	光	照度、光强度、颜色、光位、光位移、紫外线、红外线、x线等
	声响量	音压、噪声、声波等
	温 度	温度、热流量
	湿 度	湿度、露点、水分
	气体量	成分、浓度
	放射线	辐射剂量率、辐射剂量、放射线种类等
	化学量	纯度、离子、离子浓度、成分、PH值、粘度、粒度、比重、温度
	生物量	心音、血压、血流速度、脉搏、血流冲击量、血中气体成分、体温、细胞种类、尿素、血中蛋白、肌肉张力等
	磁 量	磁通、磁场、导磁率等
电 量	电 量	电流、电压、电场、电位、功率、电荷、阻抗、迁移率、电磁波等

显然，如果没有理想的敏感元件，如此繁多的非电量转换成电信号不但难以检测，更无法以信息原形进行各种处理（如调制、放大、传输、显示）。也就是说：若无适宜的传感器给现代信息处理的核心、电子计算机输入电信号，那么无论多么高明的电子计算机也只能面对非电量的“汪洋”而兴叹！这一点也正是在现代科学技术中占据重要地位的原因。

2、传感器技术的特点

(1) 传感器技术学科内容的多样性和离散性：

在前面二节中已经阐明的传感器所测的参数各自都列入一门独立的学科中，尽管同属一种物理量，但光和力的物理机理则大不一样，更何況物理量与化学量、生物量之间存在着“天壤之别”。传感器的品种繁多，往往一个被测量可以用多种传感器来检测。对于以物性为主的传感器涉及到多种功能材料和微电子工艺技术方面的基础知识；而对于结构型传感器则除了各种新型材料的应用与微电子技术外，突出的问题是工艺技术。国外，把传感器称之为工艺品，用“Know-How”来形象地表示传感器工艺技术，这些技术包罗万象，而且各自互不相干，表现出学科间很大的离散性。

(2) 学科的边缘性：

在第(1)条中，我们阐述了传感器技术学科的多样性，各种传感器的基本原理分属于多个学科，但在一个学科中它又表现出强烈的“边缘”特点。譬如，在结构型传感器发展初期，金属弹性敏感材料用来做各种测力，压力元件，对于弹性敏感材料就有一大批人从事研究，它不仅需要丰富的传感器知识，更要有扎实的金属材料、金相热处理知识，但又区别于专门从事材料研究的专业人材。如今半导体传感器问世，传感器技术的基础知识中又增添了微电子技术与固体物理的内容。因此，传感器技术在发展成“传感器工学”这门专业学科时，则必须集各科之大全于一点。而且不断引入各个学科的新发现与新定律，不断地补充这一学科的不足并予以完善。一个好的传感器研究中心，应该具有各个专业的人材，而不至于“近血缘结束”而使学科逐步萎缩。

(3) 题目小而基础大：

做一个传感器课题研究本身是一个小的题目，只需要一、二个人就可以做起来。但要做一个好的传感器往往要一个很大的基础为它服务。譬如，新型的半导体物性传感器，它需要备一整套集成电路的工艺装备与超净技术措施。在开发一个新传感器的过程中，往往要耗巨资去建立试验室，而在具备各种条件时，制造一个传感器则往往所需的投资是很少的。

(4) 传感器的需求特点是品种多，而批量小。除了一些大工业用的通用表头有较大的批量外，如航天、航空、核工业以及生物医学工程等领域内对传感器的需求往往是质量要求高、品种繁多、批量小、价格高、利润低。因此，往往动摇厂商的决心，更无心于投资开发。

(5) 传感器的工艺特点显明，开发一个好的产品要着力于工艺研究。

国外把传感器视为工艺品，注着于传感器制造的关键工艺研究。它直接关系到产品的稳定性与可靠性。计算机时代的传感器，对于性能稳定性则是第一位问题。而稳定性主要决定于传感器的工艺水平。对于物性传感器尤为突出，半导体传感器中的任何一道工序稍有不慎都会导致产品质量降低或稳定性变坏。在某种意义上讲，传感器的制造适合于精细的手工操作，工厂的组织人员不宜多，且技术密集，往往技术人员和高级工人结合在一起工作。国外的许多传感器专业工厂都在50~100人左右。

2、传感器的发展方向

(1) 微电子技术、微处理机与传感器的结合，新一代智能传感器将是传感器技术发展的一种新的趋势。所谓智能传感器不仅具有检测信息的能量转换功能外，而且具有测量、判断和处理信息的能力。由于微电子技术的发展，微型信号调节与微机接口电路、信号处理电路(包含微处理机)与传感器封装成一体，使得传感器不仅有检测信号，

同时有判断信号和处理信号的能力。只要传感器本身的性能稳定, 即使一个性能指标不高的传感器做成智能化传感器后则可大大提高传感器的精度。同时还可以作温度补偿、线性化处理等一系列传感器功能优化工作。

(2) 新型传感器材料的开发与引用是当前传感器开发工作的一项迫切任务。传感器由原来狭小的应用领域走向国民经济的各个领域, 要摄取信息又是那样多, 而走进人们生活中去的传感器又要求低廉的价格。因此, 开发新型传感器敏感元件, 特别是物性新型敏感材料, 如半导体材料、陶瓷材料以及高分子聚合材料, 根据传感器学科边缘性特点, 注意各个专业领域中萌发出来的新型材料引入传感器技术领域中来, 不断满足日益增加的各种物理、化学和生物学领域中提出来的新型传感器的需要和那种人民生活日益高涨提出越来越多的家用电器和生活、医学工程中各种优质廉价的传感器的需要。

(3) 开发新型的小型化、柔软、薄化的新型传感器。小型化工作对于尖端工业, 譬如航天飞机上成千上万个传感器, 减轻重量与减小安装尺寸都是十分迫切的任务。在一些生物医学工程中, 传感器安置到血管或有机体的各个功能器官中去的各种传感器除了要有微型化外, 经常遇到柔软的, 与人体的机体能致密结合的、薄化的要求。特别是一些电极材料、高分子聚合薄膜材料等的引用, 在国内还刚刚开始。

(4) 注意由点到面阵、体阵的阵列传感器的开发工作。在许多测量领域中, 一些参数的测量并不是孤立的, 而是连续的, 彼此不可分割的。譬如, 航天飞行器头部烧蚀的测量, 各点烧蚀厚度的差异甚大, 理想的测量应该是多点的、连续而且应该是可弯曲、柔绕的传感器。

(5) 结构型传感器直至今天, 仍然是大工业和航天、航空工业及许多领域中主要的测试手段, 仍然是传感器技术中的主线。利用微电子技术、新的工艺技术和微机技术改造各种结构型传感器, 仍然是传感器技术发展工作中的一大主要任务。发展新型的物性传感器应该成为和结构型传感器相辅相存的, 并行不悖的两大分支, 而决不是彼此替代。这也是传感器技术领域内曾经一度引起学术界思想混乱的一大问题。一九八四年度英国的 I·S·A 学术交流会与展览会, 法国、英国等传感器学术交流和展览会中, 展品仍然以结构型传感器为主体的这一事实, 已经作了充分的说明。

最后, 我们应该提醒那些各行各业中负责未来开发的领导人, 决不要因为传感器的体积“小”, 产值“低”, 而忽视了对传感器的开发, 并掉以轻心, 每当一个大系统研究成功时, 恰恰因为缺少一个信息检查的“五官”而事倍功半时“望洋而兴叹”悔之晚亦!

参考文献

- (1) 宋宗豪: “国内外传感器现状与发展趋势调查”, 1984年10月。
- (2) 夏德昌等五人: “日本传感器技术考察报告”, 《传感器技术》, 1984年第2期。
- (3) P.A. Payne, "Sensors and their applications", J. Phys. E. Sci. Instrum., Vol. 16, 1983.
- (4) "Industry Roundup", Transducer Technology, Oct. 1981.

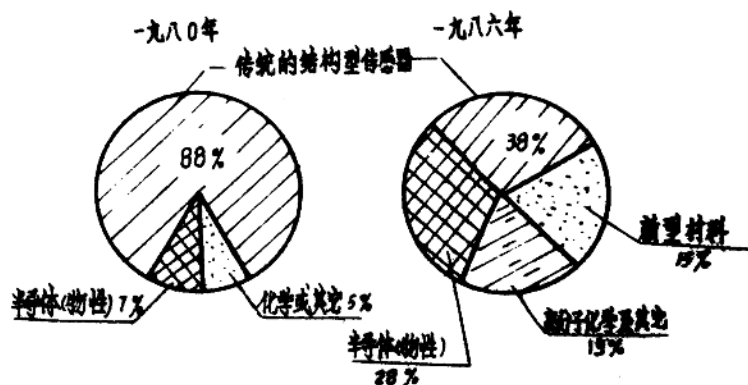


图1 各种类型传感器比例图

现代测试技术与传感器

严仲豪
(沈阳工业大学)

当代测试技术已经突破了传统的方法,广泛应用电子技术。七十年代中,随着微电子技术的飞快发展,在测试技术中又引进了微电子技术和计算机技术,出现了一次新的突破。可以这样来评价,测试技术引入了电子技术后,把测量从空间的限制中解放出来,从接触式测量发展为非接触式测量,或者远距离测量。引入微电子技术和计算机技术之后,又进一步把测量从时间的限制中解放出来,我们不仅可以实时的进行检测,而且可以把获得的信息存贮起来,在我们需要的时候来加以利用和处理,使得测试技术在现代化的生产和科学研究工作中的重要性和地位更加突出了。

各种物理量、化学量、生物量、...等所以可以用电子技术来进行测量,从理论上讲,这是由于它们与电量之间所具有的共性。一切动态系统,不论它们是机械的、热力的、生物学的,等等,还是电气的,都可以用各种形式的微分方程来描述,这就构成了它们之间的可以互相转换的共同基础。各种能量之间的转换和机电模拟理论等这些都已经是我们十分熟悉的。

在应用电子技术对各种非电量的测量中,传感器是非常重要的部件,因为它是实现把非电量转换为电量的关键部件。然而,在这种转换过程中,要求的并不是能量转换的效率,而是量值的正确传递。随着生产和科学技术的发展,对被测量的要求也在不断发展中,发展的趋势时传感器的要求是:提高传感器的性能,寻找新的传感原理,和正确的运用传感器。后者,特别是在测试系统中引入微电子技术和计算机技术之后,是值得人们十分重视的。因为,在现代测试系统中,传感器已经不再是一个孤立的部件,而是测试系统有机的一部份整体中,它们是相互渗透相辅相成的。诚然,传感器是测试系统赖以获得信息的器件,然而;在现代测试系统中,借助于电路设计和计算机技术,可以改善传感器的性能和扩展它的功能。

例如:

线性度是传感器的一项主要性能,利用电子技术来改善传感器线性并不是新的问题。在许多传感器所采用的差动工作的电桥电路是早已为人们所熟知,又如我们在研究采用感应同步器作为检测元件的长度(位移)测量装置中,感应同步器利用它的两个在空间位置正交的绕组的输出,从而获得很高的细分数。这种细分技术已经被广泛应用于测试技术中,然而,要得到高的细分精度,就要求这个绕组的输出有严格的正交关系。在感应同步器检测系统中,假设它的定尺激励信号为 $\sin \omega t$, 则它的两个滑尺绕组输出理论上应为

$$\cos\theta\cos\omega t, \sin\theta\cos\omega t$$

其中 θ 为滑尺与定尺的相对位移角。滑尺绕组的输出关系可以用图1来描述。如果我们将 $\cos$ 绕组的输出移相 90° ，然后与 $\sin$ 绕组的输出相加，就可得如下的关系式：

$$\cos\theta\sin\omega t + \sin\theta\cos\omega t = \sin(\omega t + \theta)$$

由此我们就可以从输出信号的相移来求得定尺绕组与滑尺绕组之间的相对位移，或者它的位置状态。然而，如图可见，这要求滑尺的两个绕组在空间位置上完全正交。如果它们存在着偏差，通过简单的数学运算，可以得到产生的误差为

$$\Delta = \frac{\delta(1 - \cos 2\theta)}{2 - \delta \sin 2\theta}$$

式中 δ 为不正交偏差， Δ 为测量误差。上式表明测量误差 Δ 与随感应同步器的相对位移角 θ 而变，其最大值等于不正交偏差 δ 。在高精度的测量中偏差 δ 就成为不可忽略的因素。例如，在要求 μm 级精度的直线位移测量中，感应同步器滑尺位置的精确度要求是 10^{-7}m 级。若仅从感应同步器的制作精度上来保证，显然是比较困难的，或者是不经济的。但是从电路设计上来采取措施，将是简单易行的。

当滑尺两绕组的位置存在着偏差 δ 时，它的输出信号可以改写为

$$\cos\theta\cos\omega t \text{ 和 } \sin(\theta + \delta)\cos\omega t$$

如前所述，它们的信号合成将变为

$$\begin{aligned} & \cos\theta\sin\omega t + \sin(\theta + \delta)\cos\omega t \\ &= \cos\theta\sin\omega t + \sin\theta\cos\delta\cos\omega t + \cos\theta\sin\delta\cos\omega t \end{aligned}$$

当 δ 值很小时，上式可改写为

$$\cos\theta\sin\omega t + \sin\theta\cos\omega t + \delta\cos\theta\cos\omega t$$

式中第三项是引起测量误差的因素。然而，在感应同步器制成后， δ 是一个定值。而 $\cos\theta\cos\omega t$ 则是一个绕组的输出，如果从这个输出中取它的 δ 分量，再与合成信号相减所得的结果就不再包含误差在内，而这些都是不难做到的。从而我们可以得到高精度的测量结果。

在测试系统中引入微电子技术和计算机技术之后，我们不仅可以在电路上采取非线性校正方法来改善传感器的线性度，还可以采用软件来改善非线性。因为，计算机具有运算功能，在某种程度上讲，利用软件校正有更大的灵活性和适应性。

微电子技术和计算机技术的一个特点是：它可以把获得的信息存贮起来，根据需要对信息进行处理。因此，在测试系统中引入微电子技术和计算机技术之后，测量不再仅仅是实时的测量，而是把测量从时间的限制中解放出来，从而扩展了传感器的功能。我们研制的橡胶磁化过程检测控制仪就是一个例子。

橡胶制品的硫化过程是橡胶制品生产中的主要工艺流程。过硫或欠硫都直接影响橡胶制品的质量。橡胶与硫化剂的反应速度随温度升高而加快。大体上服从范特霍夫 (Vanthoff) 定律, 其数学表达式为

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 \alpha^{0.1(T_2 - T_1)} \\ &= v_1 \alpha^{0.1 \Delta T} \end{aligned}$$

式中 v_1 、 v_2 为温度为 T_1 、 T_2 时的反应速度, α 为硫化温度系数。

上式表明, 橡胶硫化的反应速度, 换言之它的硫化时间, 是温度的函数。但是, 仅仅是检测硫化机的平板温度, 并不能有效的保证橡胶制品的硫化质量。因为, 不论是采用蒸汽或电加热的方式, 温度的稳定性难免会受到各种因素的影响。例如, 蒸汽加热其温度就会受到煤质、炉况、操作等因素的影响, 电加热也会因为电源电压的波动、负载变化等因素而影响平板硫化机的温度。假定温度偏高 (或偏低) 2°C , 而不修改硫化时间。橡胶将过硫 (或欠硫) 15%。因此, 橡胶的硫化过程不仅与温度有关, 而且与时间有关。

过去, 为了解决硫化质量问题, 主要是利用温度传感器来控制加热温度, 以及凭籍操作者的经验。耳公司还设计了一种硫化计算尺, 但是都不能有效的解决问题。

我们在研制橡胶硫化过程检测控制仪中, 运用了微电子技术和计算机技术的存贮、逻辑判断和快速运算功能。通过温度检测实现了硫化过程的控制。

在硫化控制仪中, 温度传感器仍是对硫化平板的温度进行实时检测。但是, 由于平板巨大的热惯性, 温度波动不存在突变, 只是一个缓变的过程。根据这个情况, 我们采用定时检测, 并按照橡胶硫化的数学模型, 将测得的温度数据转换为等效硫化时间。与此同时, 根据实时温度随时调节加热状态, 把温度波动控制在较窄的范围内。通过现场的运行试验, 达到了保证橡胶制品的硫化质量和节约能源的效果。

传感器的温度稳定性是普遍存在的问题, 在一般的测量要求中, 有时可以不于考虑。但是, 在高精确度的测量要求中, 温度的影响常常是不容许忽视的。传统的做法大都采用恒温或者元器件补偿等措施。这些做法往往或者不大容易实现, 或者不太经济和不十分理想。我们在数显表的研究中就有这样的例子。

感应同步器数显表的工作方式在原理上讲有两种: 鉴幅式和鉴相式。前者电路比较复杂, 后者则较为简单。但是, 我国目前生产的数显表普遍采用鉴幅式工作方式。过去也有些单位在鉴相式工作方式方面做过一些工作, 结果不十分理想。原因是鉴幅式有较好的抗干扰能力和稳定性。在鉴幅式电路中有一个幅值的门槛电路, 信号只有在大于门槛值时才能工作, 平时总是处于低电平状态。因此, 干扰和温度等环境的影响受到门槛的抑制。在鉴相式电路中, 移相的状态就反映位移状态。但是, 干扰和温度等环境的变化, 都会对感应同步器和电路带来相移, 从而造成了数字的闪动和漂移, 影响测量结果的准确性和使用。

在引入微电子技术和计算机技术后, 我们在微处理器数显表的研究中, 利用了微处理机的分时工作和选择工作的特点, 在每次测量过程中都经过两个步骤。校正和测量。

克服了上述缺点。也就是在每次测量时，先在没有信号输入的情况下检查一下整个测试系统的相移状态，然后接入信号测量它的相移。由于检测过程是十分短暂的，可以认为是同时进行。这样再用无信号时检测的数据来校正实际测量的结果，就消除了包括温度在内的各种环境因素的影响，得到了比较满意的结果。我们研制的鉴相型微机数显表经生产厂的核算，一台三个坐标、微米级和多功能数显表的价格大约只相当于单坐标数显表的130%，达到了低成本、高性能的目的。闪动和漂移的缺点也克服了。

目前传感器研究发展动向之一，是从单一功能向多功能、智能化方向发展。这一方面是微电子技术的发展为它创造了条件，另一方面计算机技术为它的实际应用提供了可能。

灵敏度分辨力是传感器的主要参数，提高传感器的灵敏度、分辨力常受到它的制造、原材料、噪声以及微弱信号检测技术的限制，运用电子技术来提高灵敏度是不乏先例的。典型的是应变片的全桥工作方式。我们在位移检测中，采用正余弦分解技术来提高分辨力都已经是十分成熟的。

然而，更进一步的限制来自噪声和微弱信号的检测能力，微电子技术和计算机技术的发展为这方面的工作提供了条件。

大多数传感器的输出信号是模拟信号。理论上在不考虑干扰的情况下，模拟信号有无限的分辨力。实际上由于刻线精度、人眼的分辨能力的限制，模拟信号的分辨力仍然是有限的。相对来说，数字信号有高的分辨率。但是，我们知道，一个A/D转换器的精确度不仅取决于它的位数，而且决定于它的基准电源的精确度和稳定度。在测试系统中引入微电子技术和计算机技术之后就可以相对的降低这些要求，为进一步提高灵敏度、分辨力创造了条件。

例如，在微机化测量仪表中的自校技术，它将一次测量过程分成校零、校满量程和测量被测量二个步骤，从而得到下列三个数据：

$$(1) \text{校零} \quad D_0 = KU_0 = KAe_r / (1+AF)$$

$$(2) \text{校满量程} \quad D_R = KU_R = KA(V_R + e_r) / (1+AF)$$

$$(3) \text{测量被测量} \quad D_1 = KU_1 = KA(V_1 + e_r) / (1+AF)$$

式中K为A/D转换器的变换系数， e_r 为测试系统中的等效零漂电压， V_R 为基准电压，A为测试回路前向通道的增益，F为反馈回路的反馈系数， V_1 为与被测量相对应的输入信号电压。经过下式的运算，可得

$$\frac{D_1 - D_0}{D_R - D_0} = \frac{V_1}{V_R}$$

上式中其它的不稳定因子，如 e_r 、A、F都被消除了。

自校技术原来的作用是消除 e_r 、A、F等的影响。然而，不难发现，在计算机的运算中，对 V_R 的值并不要求很严格。因为最后所求得对应 V_1 的数字量对于不同值的 V_R ，只不过是多一次运算而已（乘上一个系数）。为了保证测试结果的正的，所要求的只是基准电源的稳定性。

进一步分析可以发现，对基准电源的稳定性要求也不是十分严格的。我们只要将上

述运算过程增加一个步骤。即将上次测得较满量程数据（记为 D_{RN} ）与这次测得的满量程数据（记为 D_{RN+1} ）再作一次运算，如下：

$$\frac{D_{RN+1}-D_0}{D_{RN}-D_0} = \frac{V_{RN+1}}{V_{RN}}$$

我们就可以求得基准电源的偏差值，再加以校正，以求得正确的测量结果。这种做法的前提条件是在一次测量过程中和前后两次测量过程中外界条件是相对稳定的。这个条件一般来说是可以满足的。我们在研制微处理机油封径向力测定仪中采用了这一技术，效果是明显的。在传感器的结构和性能不变的条件下，测试的结果是精确度提高了一个数量级。

然而，最大困难还是噪声和干扰。当噪声和干扰淹没了信号时，检测将无法进行。长时期来，我们一直在探索如何提高微弱信号检测的能力，根据我们提出的确知弱信号瞬态检测的理论，在微电子技术和计算机技术的帮助下，在实验室中，目前我们可以做到在信噪比为 -10dB 的情况下，能够正确的接受信号。现在的这套装置还比较复杂，速度还较慢，离实际应用还有距离。但是，它展现着良好的前景。我们相信，随着微电子技术的不断发展，更大规模和更高运算速度的集成电路的出现，它将变为现实。

我们知道，对于被测量的信号，我们总是可以赋予一定的特征的，例如脉冲信号，正弦波信号……，信号波形前后存有规则的依从关系。而噪声，干扰波形的前后则是无规则的依从关系，这就说明信号波形与噪声干扰波形在瞬态上是有差别的。利用这种差别，我们就可以从噪声，干扰的淹没中将确知的弱信号分离出来，加以检测。

用数字形式来表达，我们可以把信号检测的过程归结为一个积分过程：

$$\int_{t_0}^t E(t) \cdot \varphi(t) dt$$

式中 $E(t)$ 是受检信号和噪声，干扰之和，即

$$E(t) = S(t) + Y(t)$$

$\varphi(t)$ 则是取决于检测方法的一个加权函数。同时，我们知道，计算机可以做数学上任何定义的函数的运算。因此，只要信号和噪声，干扰的特征不同，就可以将信号分辨出来。

已如前述，测试技术在应用了电子技术和计算机技术后，把测量从空间的限制中解放出来。非电量之所以可以用电子技术来进行测量，是由于它们可以用各种型式的微分方程来描。所以，在一个测试系统中，包括传感器在内的各个环节，都只是系统的微分方程式中的一个部分或分式。这就不难理解它们相互之间的相辅相成关系了。因此，在一个非电量的测量系统中，传感器是一个重要的部件。然而从系统的角度来看也只是一个环节。有如解一个方程组，孤立的一个方程式是不可能求解的。只有联系起来，才能求得正确的解。在现代的电路分析和设计中，已经出现这样一种方法，按照要求的数学模型，例如传递函数，选用相应的基本组件来构成需要的电路。现代测试系统，也同通