

传感器及其应用技术赴美考察报告

王 洪 业

摘 要 本文介绍了美国传感器技术的一般情况、技术发展动向及国内技术差距,提出了发展我国传感器技术的若干建议。

一、前 言

应B+F公司总裁尤金·弗朗克的邀请,湖南省传感器及其应用技术考察团一行(团长为省科委副主任张启人),于一九八五年二月二日至二十一日对美国进行考察,共参观考察七家生产应变、电感、压电、半导体等传感器厂家(Lebow、Celesco、Indikon、Monarch、PMC/BETA、Entran及PSI)及二家生产与传感器配套的计算机数据采集系统厂家(Acurex及Neff),受到了热情的接待与安排。通过听取情况介绍、阅读技术资料、现场参观及技术座谈等活动,对于美国传感器技术一般水平,应用状态,典型产品的结构、工艺、性能与发展动向有了进一步的了解。此外,考察期间还就引进国外产品的方式与项目与美方进行了初步洽谈。这次考察时间虽然较短,但百闻不如一见,收获是很大的:不仅掌握了一些通常途所不能掌握的情况,找到了国内、省内的差距,而且受到了启发,增强了信心。考察的成果将为我省进一步发展自动化技术,推广应用微计算机技术和加速工农业经济的发展起到应有的促进作用。

二、基本情况

现代计算机的飞速发展,信息处理功能有了巨大的提高,如何发展与电脑——计算机相适应的电五官——传感器,就成为一个迫切的需要。由于传感器直接关系到计算机的应用,因此普遍受到重视,技术水平、发展速度及应用领域日益扩大。通过这次考察,也深深感到作为一门新型综合技术的传感器有广泛发展前途。

1. 生产厂家不断增加 据统计,八十年代初美国共有生产九种典型工业控制参数(力、压力、应变、温度、速度、流量、位移、加速度及振动)372个大型类别的主要传感器厂家171家,而我们此次所考察的,几乎全不在上述统计之列,而是近几年来取得技术进步发展起来的,发展速度与规模十分迅速。以生产力矩、力与配套仪表近年来开始有名的Lebow公司为例,1984年资金额超过1000万美元(108人)。目前,除在美国国内有33个固定销售点外,产品还远销西德、日本、加拿大、法国等21个国家,占有28个销售点;从1980年后成为具有3亿美元资金Eaton跨国公司的一个分公司。又如

靠生产与传感器配套小型数据采集系统的Acurex公司,1984年年销售额已超过5000万美元(700人),亦是一典型例子。此外,根据世界权威性咨询公司(Mackintosh)的预测:1980年到1986年,除将增加15%比例的新型传感器厂外,总产值将增加四倍,达10亿美元左右。

2. 技术水平飞速提高 自动化技术广泛的需要,促使传感器从一般测量元件向量程广泛、可靠性高、体积适中及价格合理的过程控制元件发展,水平有了很大的提高。以Celesco公司的位移传感器为例,最长可测至二千英尺,精度高于0.1%。温度系数0.002%/°F并有长期可在水下工作的品种;体积最小的如Entran公司量程2~500磅/(英寸)³的压力传感器,尺寸只有 ϕ 1.27毫米,固有频率可达420千赫(该公司以一蜜蜂背上安置的传感器作广告宣传);而Acurex生产的传感器耦合装置则可于30,000g的加速度条件下工作;Indikon公司涡流位移传感器的长期稳定性为2.5微米/年,温漂为0~5微伏/°C(输出10伏);精度最高的是PSI公司的PS型标准数字压力传感器,重复性0.005%,滞后0.001%,温度误差0.0002%,已作为标准计量器使用。不仅是传感器,近年来还推出一系列配套仪表如:Neff公司的124A放大器,带宽100千赫,线性0.003%,噪声1微伏,增益1~2500倍;Neff620中700系列组件,速度100千赫,A/D16位,精度0.02%,全部程控等,上述产品都是国际上较为先进的指标。

3. 应用范围日益扩大 美国早期传感器技术多半具有较深的军事应用背景,如七十年代中仪表学会制定传感器有关国家标准的约80名著名人员中,1/4以上来自航天及陆、海、空三军研究单位。请我们访美的弗朗克先生,早就于NASA工作,此次参观的许多工厂尚生产着军用产品,并以此作为质量标志之一。但是,随着发展军工迅速向民用转移,应用范围急剧扩大。如颇具名声Neff公司的620数据采集系统,不但用于国内外的航天、航空、核电站,而且在各类工厂控制、实验室及民用运输部门得到应用。较620系统更为灵活,小型Acurex系统,1983年在总销售1200万美元中航天、航空占12.7%,能源占20.5%,非官方商业运用占68.3%比例。又如早期为海军导弹、空军战略轰炸机、核反应堆及航天飞机服务的Entran微型半导体传感器,目前也大量向农业、医学及南极开发等领域供货。考察中发现,每一厂家,每种传感器均有其固定的销售范围及用户,连最小一家Monarch公司的转速计,亦有200余固定的用户。按照国外市场预测,1990年,传感器产值比1986年将增加10倍达100亿美元。

4. 中小型企业具有强大生命力 传感器的投资通常是占整个设备投资中很小的一部分(按英国人统计约5%),但品种繁多(约17000余种),决定了高质量、多品种、少批量的生产条件。因此,中小型企业(20~2000人)比较合适。据考察观察,这些企业之所以具有活力,在激烈的竞争中发展,是有其特点的。

一是立足技术,结构合理。考察中许多公司的总裁或经理如Lebow公司的J.B.Hodges先生,Neff公司的G.A.Neff先生及Entran公司的W.F.Captan, John, W.G.Budd等本人就是有关的学者、专家,因此能较好地技术转化为生产力。此外,传感器属知识密集型开发产品,人员结构均有较高知识水平,以Acurex为例,生产数据系统的160人中有博士28人,硕士53人,学士63人,其他为16人。

二是市场观念,注意开发。以Lebow公司为例,1959年以前主要搞汽车咨询,后发现传感器潜在市场,即转向生产传感器,终于成功。目前每年都有5~6个新品转产。

除自身发展外，还取得10英里外Eaton公司一个250人开发中心的开发支持。又如Neff公司1956年成立时生产传感器，后发现配套系统有潜在市场，近十年转向生产数据采集系统，悉心研究终于成功。参观中许多公司都有详尽的用户卡，进行质量反馈。

此外，在商谈引进技术中，美方亦一再询问我方市场情况。

三是广泛协作、不搞大而全；在考察的全部厂中都是充分利用美国或其他国家专业化厂的特点开展协作，极大地提高了效率。如Acurex电路板由新加坡组装，Celesco公司传感器机械零件，Lebow及Indikon公司的电阻片，PCM/BETA公司的压电元件及PSI公司的振动筒等等均为外协件。本厂只组装、测试，既保证了质量又使于降低成本便于竞争，同时又都有各自特点的养厂产品。

三、技术动向

根据日本七十年末对美国进行大量调查后表明：工业应用传感器的发展方向是有源化、数字化和非接触化。这次通过实地考察确认了上述方向，下面分别就有源化、组合化（多功能）及智能化（系统）几方面作简介：

1. 有源化日趋成熟 由于大多数传感器输出电平都很低，增大输出的有源化是满足小信号，多参数长距离传输的主要手段。虽然早在晶体管发明后，国外即开始着手工作，但工业产品并不多见。这次考察中发现大多数传感器厂家在生产传统产品的同时，普遍均有符合国际电工委员会IEC标准化制式输出的有源式传感器，如：Celesco公司的PT420、PT510电位计式位移有源传感器，CP51~53电感式有源压力传感器，P2805、P4420应变式压力有源传感器；Entran公司的PI、PX及PV型半导体压阻式有源传感器等等。与有源以前相比，有的产品性能有较大提高甚至成为该厂独具一格的产品。如Indikon公司在其XL系列涡流位移传感器内有源化后可驱动3000英尺电缆，在A92及A93加速度计中实现有源化后，排除了电缆噪声的影响，保证-54℃~121℃温度下可靠工作。再为PMC/BETA公司440系列振动过载传感器，颇有特色，组合的基础仍是有源化为前提。

2. 出现组合及多功能化产品 用一个传感器同时测量数种参数是一种方向，但大量工业品种多功能的实例并了很多。这次考察，发现了一些有趣的实例，受到了启发也开扩了眼界。印象深的有下列产品。

一是Celesco公司的DV301型位移、速度组合传感器，它在一根拉线的作用下分别带动测量位移的精密电位计及测量线速度的测速发电机，从而实现从一个输入量中同时测量两个量的目的。

二是Lebow公司将应变式扭矩传感器、测速传感器及旋转变压器三者组合成无接触部件的功率传感器。考察中获悉，转速为1500~3500转/分，系统精度可达0.2%左右。

三是上面提及的PMC/BETA公司440振动过载传感器，它将压电传感器、有源电路及报警电路与过载继电器组合成一体，即用一个组合装置取代了整个系统，从而具有可标准输出、过载报警及继电器保护多种功能。

此外，PSI公司的ESP压力扫描阀，采用Foxboro集成压力传感器芯片和集成电

路电扫描组合方式代替全机械的压力扫描线, 获得低成本, 高性能(扫描速度 20 千赫)的指标。

3. 朝智能化及系统化发展 压缩信息传输量、采用系统校正方式改进指标以及实现灵活机动的分布式大中小系统的相容, 都必需朝利用计算机技术, 加入中央处理单元(CPU)的智能化方向发展, 这次考察中发现, 无论是传感器简单二次仪表, 还是有关系统确实向此发展, 并有工业产品问世。

传感器中典型的例子如 PSI 公司的 Sonix-P5 型标准数字式压力传感器: 它在一个不大 ($760 \times 760 \times 860$ 毫米) 的壳体内, 将英国 Solarton 公司的振筒式敏感元件、微处理器、计数分频器、I/O 电路及测温二极管等附属电路全部加以组合, 利用 CPU 对敏感元件输出高次非线性项, 以及环境变化所引起的微小影响, 加以校正和补偿, 使得传感器的滞后, 重复性高达 0.001% 水平, 同时又有多种输出(数字、模拟)方式。显然, 用传统设计工艺手段达到为此高指标是相当困难的。智能化后, 电路技术代替了复杂的设计、材料与工艺, 通过廉价的信号预处理技术极大地下降了成本。

在简单便携式显示仪器中智能化的例子, 如 Monarch 公司, 尺寸只有 $155 \times 90 \times 33$ 毫米的 Tach-IV 型光电转速计。除将发光、光电元件及有关电路装入外, 同样装入 CPU, 使得该仪器具有自动量程转换、极性显示、电源与时基测试及记忆存贮与自诊断的功能, 实现了其他一般硬件难以完成的功能。

小型测试系统中, 系统化的典型是 Acurex 公司包括 Netpac、Autograph、Autodata、Datalogger 等小型集合式作图、记录及控制系统。共同原理是基于大量传感器输入(Autograph 可达 50,000 个通道), 以微处理机为中心(内存与 PDP11 系列或 IBM PC-XT 相近可采用高级语言), 具有标准通信接口(RS232 或 RS422), 同时又将键盘、磁带、打印、显示或绘图同时纳入一个机箱的系统。它可组成大、中、小单台或多台结构形式, 与通常基于数学运算为主的微计算机 A/D、D/A 系统相比具有更大的适应性及灵活性。据美国权威方面(Fluke 公司)预测; 八十年代后是各类大、中、小现场控制中具有前途的最佳方案, 是目前世界市场中畅销的产品。我国无此类产品, 这一动向值得我国注意。美、英、日、西德诸国正在大力发展相互竞争发展之中。

四、主要技术差距

通过考察估计我国传感器技术, 就品种、质量、应用等方面而言, 还存在较大差距。国内航天、航空等军工部门虽然已有一支廿余年中发展起来的技术队伍, 能够提供不少高质量产品(正是由于这些产品才保证了我国尖端技术的发展)但产品产量少、生产周期长、成本高、难以形成大批量生产能力, 向民用转移慢, 一般工业产品还有较大的差距。就技术领域而言, 我们觉得主要有: 材料(包括元器件)、工艺(包括特种工艺)和设备(包括应用计算机)三个大的方面。

1. 材料方面 材料包括金属、非金属、化工、陶瓷、半导体等。国内冶金、化工现有条件下往往难以提供各类用量小、质量高、规格要求特殊的基础材料。即使能提供与国外近似的牌号, 但质量上多半也只能保证一般工业应用。如应变式传感器弹性元件 Lebow 公司主要用 17-4PH 不锈钢, SAE4140 钢、蒙乃尔合金及 2024 铝, 国内类似牌

号的化学,机械一致性就不如国外。国外在进一步要求时可采用双真空冶炼及定向处理,消除夹杂,国内更不可能。又如应变片和胶水,国外有专门化厂家和机构生产(Lebow选用M.M公司),国内就少有更多的选择余地,使得产品的蠕变和长期稳定性难以保证,也难以将材料问题和其余工艺问题区别开来。再如 Celesco 公司生产的电感式传感器骨架及密封胶是关键,国内无法按线胀系数选择,该公司的流体动力传感器, PZT压电陶瓷可从美(Channel Industries)、丹麦(Ferc-Perme公司)及日本(Kyocero公司)等进行大量选择。国内无法选择只得有啥用啥、勉强代用,性能必然受到影响。

不单材料,配套元器件亦大同小异,它们是有源化基础。如 Acurex 公司,可直接向有关厂提出要求生产单片电路,自身组装厚膜电路,结果体积小、抗冲振。国内连一个小阻值精密电阻都难以解决,仪表用线性集成电路系列空白甚多,也只能代用,结果严重影响传感器水平。

2. 工艺方面 它包括基础工艺及特殊工艺两方面。我国工业还不能完全解决诸如等离子、激光、电子束之类加工工艺;在特殊工艺上又常常被人忽视,不注意积累开发,受损同样巨大(在国外这些诀窍多属于本厂专利视为至宝)。以 Entran 公司为例,从考察可知其基础半导体应变片系采用与我国相似的气相扩散法,但半导体片的温度系数要比国产高一个数量级,考其关键,主要在工艺措施(片的质量高为基础,使该公司传感器产品精度指标为0.05%,比国内0.1%高出一个数量级)。又如 Celesco公司电感式传感器的一个关键是在线圈表面的一层0.05毫米膜的涂复技术。

稳定老化是提高传感器指标的关键工艺。由于机理复杂,至今尚无规律可循,国外往往开展长期工作积累经验。这次考察,在部分技术人员热情接待下,亦了解一些情况,如 Celesco 公司对于应变式传感器采用 $-80^{\circ}\text{C}\sim+280^{\circ}\text{C}$ 温度以 200~500% 过载压力下进行周期循环稳定老化传感器(军用品周期近一年,成本增至民品的数十倍)。

不少考察人员往往发现,国外厂家在接待中,颇愿介绍性能,结构甚至于关键材料,但对工艺往往守口如瓶,这与国内重理论、轻实践、重设计、轻工艺的习俗相反。

3. 设备方面 专用工具多通用机械自动化程度较高之外,国外厂家在专用测试设备及计算机应用上都花了大的功夫,如 Acurex 公司单元电路测试, Celesco 公司对半导体应变片的测试及传感器补偿用高低温设备均用专用设备,按程序循环,计算机打印参数输出,效率因之大为提高。而 Lebow 公司在面积约为三千平方米总面积的一半,安装着从 300~200,000 磅, 30,000~1500,000 磅英寸的大中小各式力及力矩非标准校验设备十余台,其中大部分都配有专用的处理计算机。对只有百余人小厂来说,按国内眼光看几乎是不可想象的。

各种设备中,计算机应用广泛也很突出,仍以 Celesco 公司为例,它生产的半导体应变片采用计算机进行补偿计算后即可提高精度约二个数量级(从考察中现场索取的一张打印数据表明,这种 PCC-100 压力传感器,补偿后的热零点为 $0.003\%/^{\circ}\text{F}$, 热灵敏度为 $0.0001\%/^{\circ}\text{F}$, 比国内约高二个数量级),此外,考察中还发现若干厂家已采用计算机辅助设计(CAD)。这样就为小批量、多品种的最佳方案提供了选择,增强了竞争能力。印象较深的是 Lebow 公司,车间到处都是各式各样不同结构不同类型数量很少的弹性元件。

除上述外,在文明生产(劳动纪律好,到处一尘不染)及企业管理(使用计算机)等也存在较多的差距,不一一介绍。

五、可发展或引进的几项产品

根据国内市场、技术水平及发展,我认为除应变式力传感器外应发展下列产品项目:

1. **线位移及线速度传感器** 位移特别是大位移测量,是国内尚待开发而有广泛应用的产品之一。Celesco公司传感器采用拉线电位计式结构,具有量程广、输出大和配套仪器简便的特点。整个结构比较紧凑,适合于具有较强机械加工能力的厂家生产。基本型PT101性能大致如下:量程0~2至0~750英寸,内阻500~1100欧,供电25伏,分辨率优于0.08%,精度优于0.25%,热效应优于0.002%/°F,可有两路输出,能在-65°C~+250°C温度下工作。从基本派生出的还有水下(300英尺)PT801型、有源恒流PT420型、有源恒压PT510型及数字编码PT510型等,并能组成VT201型速度计或DV301型位移/速度传感器。与位移传感器配套的显示装置为SE2000型。

2. **电感式压力传感器** 国内普遍采用的应变式压力传感器,缺点是结构脆弱、过载能力差(120%)。在不要求高精度、高频场合下,电感式是较好的选择。Celesco公司的P型产品,可直接用工频(美国制式115伏、60赫)供电,结构比较简单。CP51型有源产品,量程为0.1~1000磅/英尺,CP52型200~10000磅/英寸,过载能力200~250%,输出5伏,精度0.5%,温度系数约0.02%/°F,体积约为 $\phi 70 \times 100$ 毫米,其中派生出的为可换膜片CP53D型,可以通过更换膜片测量 $\pm 0.1 \sim \pm 5000$ 磅/英寸的压差,在国外亦不多见。用它组成的KP15传感器组件,共有 ± 1 、 ± 5 、 ± 25 、 ± 100 、及500磅/英寸五种量程膜片。

3. **应变式力矩传感器** 力矩是各类动力和工作机械效率的重要参数,除航天、航空外国内至今无合适的系列化产品。Lebow公司共有26个系列270余规格,占该厂标准生产品的一半以上。此外,该公司还生产速度计、集流环、旋转变压器等配件(Acurex公司用于旋转体非接触的调频式发射器,亦可纳入此系统并考虑中心频率为0.7兆赫,精度1%、响应0.5赫)。国内开展节能、机械产品更新的研究中具有广阔市场。

4. **振动过载传感器** 发展大型设备的在线检测是延长维修周期,提高效益及防止故障的重要措施。其中,振动过载是旋转机械故障的主要象征。就民用领域而言,国内几乎是空白。以大型轴承监测为例,至今绝大部分仍是工人用耳朵辨听凭经验处理。PMC/BETA公司400系列振动过载传感器可对30微米至4毫米频率120~60,000转/分的振幅异常或0.05~1英寸/秒的速度过载在3秒内实行报警或切断电路,适用于水轮机、气轮机、压缩机、大型电机、排风扇及齿轮箱或泵等系统使用。报警设定精度2%,工作温度有-30°C~60°C(传感器内藏)及-55°C~125°C两种,温度环境(1~100)%重1.6公斤。

5. **智能转速计** Monach Tach-IV转速计,将传感器及处理显示电路、微机单元合在一起,机械结构简单,但电路比较典型,合适于高等院校学生结合传感器、电路及计算机等课程内容勤工俭学,并为进一步开发此种产价(300美元)普及产品创造条

件。

6. 小型数据系统 除传感器外,一般微计算机用于控制的难点为接口电路,标准配件的成本可能超过微机。所以,发展以前端传感器为主的小型数据系统十分重要。外商已注意到我国这一领域的空白而开始推销产品。如前所述这次考察中 Acurex 产品有一定先进性,配套也较灵活。其中,Netpac 组件可接受电压、电流、热电偶、干簧管、热敏电阻及数字脉冲或二进制代码输入,总通道可达100以上,进行A/D转换后控制或输出并往RS232接口输出到Autodata或Autograph、Autograph以8088CPU为核心,并另具有90个输入通道电A/D14位,内存512K,可直接打印、报表、作图。Autodata则有显示、打印、磁带;硬化后软件可对七种热电偶,三种热敏电阻及应变式传感器进行线性化处理。测量结果可进行单位换算;另有64K(可扩)内存用于其他处理;总通道数可达1000(速度65次/秒),能自动调零;另外本身还有一精度为10微伏的标准电压源。该公司声称 Autadata Ten/50 已达世界水平并与各国相竞争。

六、若干建设

为进一步发展传感器技术,根据存在差距及考察期间与外商进行初步意向谈判的情况及体会,提出下列建议:

1. 加强规划,适当投资 传感器属于知识密集型发展中产品,技术难度大,产值高(Entran公司体积只有 $3.56 \times 3.56 \times 6.8$ 毫米的加速度计,每只出厂价2500美元),一次性投资也大,国外也多半采取统一规划和国家投资资助方式发展。如日本在半官方的工业振兴委员会下就设立了传感器的专门规划发展机构,西德政府1980年至1985年电子工业总共投资51亿马克中,10亿用于传感器,17亿用于计算机。我国是社会主义国家更应发挥计划指导性作用,加强规划,投入适当资金。在发展计算机同时,切不可忽视配套的传感器技术。

2. 立足技术,开展竞争 省内厂点技术比较薄弱,产品发展缓慢,主要属商业推销型结构,无国外市场,难以竞争。为此,建议有关院校内,设立传感器专业培养人材,同时利用人材流动机会,引入国内有关技术人员。切切实实立足技术、着眼开发,以产品、以质量求生存,在开拓中向国外发展。

3. 形成自己的发展中心 完全依靠工厂发展新品尚多困难,必需利用高等院校、研究单位的力量在咨询、攻关、协作和学术活动的基础上,照顾各单位特点,协同配合避免重复浪费走共同进步的道路。人员组合上,除传感器外,还可纳入材料、工艺、计算机及管理部门人员形成发展的智囊团。

4. 适当引进外资 缩短与国外差距 这次考察不少厂家如:Celesco、Lebow、Indikon、Monarch、PMC/BETA、Entnan及PSI公司均表示愿意合作的意向,是一个良好的开端,也是逐步进入国外市场的一种途径。当然,引进外资政策性强,必需落实责任,讲究经济效益,必需有专门班子研究落实;原则是:必需返销国外,只引进关键技术及设备,坚持改革方向打破大锅饭的现状。

上述总结不一定完整,不足处请批评、指正。