

流量仪表发展之路

Development of Flow Meter

文_高婷 曹江漫 《仪表世界》编辑部

流量是工业生产过程中一个十分重要的参数。

流量测量和控制是工业自动控制系统中的重要环节之一，

因此，流量仪表为各工业部门提高产品质量和降低生产成本所必需。

随着工业自动化水平的不断提高，流量测量和控制已由原先的保证稳定运行朝着最佳化控制过渡。

这样，流量仪表更成了不可缺少的检测仪表之一。

随着工业的发展，对流量测量的准确度和范围要求越来越高，

为了适应多种用途，各种类型的流量计相继问世，

广泛应用于石油天然气、石油化工、水处理、食品饮料、制药、能源、冶金、纸浆造纸和建筑材料等行业。

我国开展近代流量测量技术的工作较晚，

早期所需的流量仪表均从国外进口，直到20世纪30年代中期才出现自产流量仪表。

至今，我国已形成一个相当规模从事流量测量技术与仪表研究开发和生产的产业，

从事流量仪表研究和生产的单位众多。

我国现有流量仪表的品种、规格、精确度和可靠性尚不能满足国内市场需求，

一些新型流量计的技术水平与国际先进水平还有较大差距。

随着国内市场国际化和加入WTO，我国流量仪表工业面临着更加严峻的挑战。

因此，开展高性能流量仪表的研究、开发及产业化，

对促进我国流量仪表工业的发展和增强产品的国际竞争力，

具有十分重要的意义。

此次，《仪表世界》编辑部专门采访了纪纲、蔡武昌、武丽英三位专家，

为我们解读中国流量仪表发展中的一些问题。



纪纲（先生）

高级工程师，在上海同欣自动化仪表有限公司（上海宝科自动化仪表研究所）工作。研究方向为仪表产品开发和流量测量仪表应用开发。是一位集流量测量方案制定、设计与现场问题解决的综合型专家。公开发表论文40余篇，著有《数字显示调节仪表原理及维修》（合著）、《流量测量方法和仪表的选用》（合著）、《仪表常用数据手册》（合著）、《流量测量仪表应用技巧》、《流量测量系统远程诊断集锦》（合著）。

《仪表世界》：流量测量在国民经济和人民生活中的地位如何？

纪纲先生：流量测量虽然在两千年以前已经有应用实例，但是直到全球经济工业化和贸易事业的蓬勃发展，这门技术才获得了飞跃式的发展。它在国民经济的多个领域和人们生活中扮演着非常重要的角色。

我们国家现在正处在转变经济增长方式的重要时期。国民经济要实现可持续发展，就必须构建资源节约型、环境友好型社会，广泛开展节能活动，能源计量是流量仪表应用的最主要领域，它是能源审计、能源统计、能源利用状况分析的基础。能源分为一次能源（原油、天然气、煤层气、石油气等）、二次能源（城市煤气、成品油、液化石油气、蒸汽等）及载能工质（压缩空气、氧、氮、氢、水等），能源计量中使用的流量测量仪表数量极其庞大，没有这些测量仪表也就谈不上能源计量，更谈不上能源管理和节能降耗。

过程检测控制是流量测量仪表应用的另一个比较大的领域。流量测量与温度、压力、液位测量一起构成生产过程四大参数，被广泛应用于石油、化工、冶金、电力、建材、轻纺等各个行业，是节约能源、改进产品质量、提高经济效益和管理水平的重要工具。没有流量测量也就没有过程自动化，更谈不上现代化管理。

在环境保护工作中，也使用了大量的流量测量仪表。废气、废液、废水的排放严重污染大气和水资源，严重威胁人类生存环境，不仅造成巨大的经济损失而且酿成严重的社会问题，引起全社会的关注。环保机构对废物排放点进行实时监测并根据实际排放量的增减实行赏罚，需配置大量的流量测量仪表。

在公用事业中，供水、供气、供热单位将用户生产生活必需的流体、能量一刻不停地供出去，需对这些流体、能量进行精确计量，并根据计量结果收费，需配置大量的流量测量仪表，这些仪表的准确度对企业的经营管理至关重要，用于贸易结算的流量测量仪表，有时只要一套（主要用户）存在严重问题，就会引起一个企业在盈利和亏损之间的转换。

流量测量仪表在人们生活中的应用更是普遍，每个家庭都有水表、燃气表、北方地区许多家庭都用热能表，所以说人们生活离不开流量测量仪表。

除此之外，流量测量仪表在交通运输、科学实验等领域也都起着重要作用。

《仪表世界》：流量的准确测量为什么很困难？

纪纲先生：说流量测量很困难并非所有的测量任务都很困难，而是说其中一部分测量任务难度较高，甚至有一些直至现在还未真正解决。

流量测量是温度、压力、流量、液位四大参数测量中难度最高、有待解决的问题最多的一个。现在投向市场的流量测量仪表据称超过一百种，而且每年都还有新型的流量计问世，但是仍有一些测量任务解决不了，这是因为下列原因。

1、被测介质种类繁多，物理化学性质极其复杂，其中液体的凝固、结晶、气化、结垢、磨蚀、堵塞、高粘度、气体的冷凝、组份随时间而变化，腐蚀性介质对仪表的化学腐蚀，介质与电磁流量计电极的化学反应等，一直困扰着仪表工作者。

2、介质脏污、沉积，将检测件污染，使流量测量结果产生漂移，甚至完全无法工作。

3、被测介质的状态变化范围宽广，其中高压、高温、低静压、极低温，为流量测量带来极大的困难。

4、多相流测量对象，例如气液、液固、气固及气液固多相流，流量测量难度极高，其中只有一小部分得到解决。

5、大流量和微小流量测量。

6、现场环境条件恶劣，使流量仪表难以适应。

7、流动脉动对大多数原理的流量测量仪表产生影响，使之误差增大，这些脉动有些很容易被预测和感知，而另一些却很难被察觉。



《仪表世界》：我国流量仪表的发展经历了怎样的过程？现状如何？

纪纲先生：早在上世纪三十年代，我国已有私营小型流量仪表厂建立，最早是从流量仪表修配开始，后来发展到制造旋翼式水表、差压流量计等，其余流量仪表全靠进口。

新中国成立以后，前苏联援建的项目中，使用了很多苏联的流量计，上海一些仪表制造厂开始仿制这些产品，形成了一定的生产能力，主要产品有椭圆齿轮流量计、差压流量计等。从五十年代末到六十年代，在一机部的组织下，依靠自己的力量相继研发了玻璃转子流量计（浮子式流量计）、电磁流量计、涡轮流量计、腰轮流量计等。七十年代到八十年代，北京化工研究院、重庆工业自动化仪表研究所、上海自动化仪表九厂等先后研发了热式质量流量计、涡街流量计、旋进旋涡流量计、超声流量计、旋转活塞流量计、刮板流量计、远传转子流量计等流量仪表。九十年代以后，民营企业加入了流量仪表制造的队伍，而且开发新产品的热情特别高涨，多家单位推出了科里奥利质量流量计、双转子流量计、液体多声道超声流量计、带温度压力补偿的一体化流量计等。

关于现状可以用四句话来概括。

第一句话是民企、中外合资企业和外企唱主角。

我们国家改革开放之后，社会生产力得到大解放，人们的思想得到了大解放，民营企业得到了大发展。在所有制方面，国家对仪表类产品实行开放政策，国内流量仪表生产企业从原来的国企和集体所有制企业向民企转化，因此

民企数量迅速增加。另外，受中国经济持续高速发展和庞大的市场吸引，国外流量仪表制造企业纷纷在中国大陆成立独资企业，形成现在的民企、中外合资企业和外商独资企业唱主角的局面。其中，民企大多生产中低端产品，而外企生产技术含量高、附加值高的高端产品。有专家估计，中国大陆现有流量仪表生产企业约有600余家。

第二句话是新型流量计高歌猛进，传统流量计稳中有进。

封闭管道通用流量测量仪表一般分为九大类，其中差压式、容积式、浮子式、涡轮式称为传统流量计，投入工业应用已半个多世纪。其余为新技术流量计。

近年来，新技术流量计发展迅猛，精确度提高，功能增强，适用范围进一步扩大，市场占有率也逐年扩大。其中科氏力质量流量计用来测气体时，原来只能测量工况条件下密度大于一定限值的气体，经过多年研究，现在消除了这一限值，只要质量流量在可测范围之内，连氢气都能测量。

与此同时，传统流量计也并非无所作为，例如已经有一百多年历史的标准差压流量计，从1991年发布ISO 5167: 1991 (E) 以来经过进一步的研究，已发布ISO 5167: 2003 (E)，使流量系数不确定度只要雷诺数 ≥ 4000 就能达到0.5%，而且可膨胀性系数模型精确度也进一步提高。而差压装置与多变量变送器结合更使差压式流量计技术水平产生一次飞跃。

功夫不负有心人，传统流量计的发展使其守住了阵地，市场占有率虽有所下滑，但每年绝对销量并无明显变

化。

第三句话是软技术向流量测量仪表全面渗透。

半个世纪前的流量计全部是靠硬件解决问题，纯机械式或机电式，因为计算机技术还未进入流量仪表。

微电子技术、传感器技术、计算机技术、通讯技术的发展大大推动了流量测量仪表的发展。上世纪五十年代的差压计是纯机械式的，精确度等级只能做到1.5级，校验这些差压计的标准只有0.5级。软件技术进入流量计后，与其他先进技术相结合，将差压变送器精确度等级提高到0.065级和0.04级。

再例如涡街流量计，耐振能力是其必须应对的一个大问题，在引入软件处理方法之前，耐振指标连一倍加速度都很困难，引入软件处理技术后，两倍加速度也不在话下。

第四句话是产品品种进一步向深度和广度发展。

封闭管道通用流量测量仪表的研发，一般都是从中等口径规格开始，然后向大口径延伸和向小口径延伸，以满足各类测量对象的需要。因此，配齐大流量大口径和小流量小口径流量计是向广度发展的一个标志。

现在新型流量仪表都有了小流量小口径仪表，例如科里奥利质量流量计口径小到0.25~1mm（美国Micro Motion），满度流量可小达3.33g/min；超声流量计的口径小于20mm以前感到很困难，因为声程太短，现在最小口径可做到1mm，流量范围5~100ml/min。





《仪表世界》：您认为我国流量仪表的发展存在哪些问题？

纪纲先生：这一问题可从四个方面来说明。

1、发展处于初级阶段，竞争激烈。

我国流量仪表行业从所有制性质来看是国企、民企、中外合资企业和外商独资企业共存的局面。本土企业现在几乎能生产发达国家企业所能生产的全部产品，其中民企主要生产中、低端产品，而高端市场基本上被国外品牌占据。

在全部的600余家企业中，民企占绝大多数，而大多数民企技术力量相对薄弱，研发投入不多，产品低水平重复，具有发展初级阶段的特征。上海计量测试技术研究院能源所所长张进明认为，这种局面处于新兴市场的不稳定状态，需要经过市场的几轮淘汰，企业才能确定在流量仪表生产行业中的地位和市场的份额。

2、引进先进技术，更要自主创新。

在竞争激烈的国内流量仪表市场中，有一部分素质较好、经济技术实力雄厚、产品研发能力较强的企业，根据市场需要，脚踏实地不懈努力，开发出具有一定特色，技术水平较高的产品，并不断改进、优化这些产品，受到用户的欢迎。上海维思仪器仪表有限公司的多声道超声流量计就是一个典型的例子。但就产品研发而言，国内流量仪表行业现在仍然处于自发状态，缺少强有力的研发机构带头及领导机构进行规划

指导，全凭各个企业艰难地跟在发达国家著名品牌先进技术的后面分离追赶，而且研发经费投入也不足，这就阻碍了国内流量仪表行业技术水平的迅速提高、赶超国际先进水平。

3、个别企业诚信不够。

在竞争激烈的国内流量仪表市场中，各类企业都使出了浑身解数，绝大多数企业都以优良的品质、丰富的功能、先进的技术指标和合理的价格赢得用户的信任，但也有个别企业不是在提高质量上下功夫，而是靠夸大不实宣传忽悠用户，甚至捏造部分数据，欺骗用户，等到用户在实际使用后发现问题，已造成损失。因此，用户在听了有关厂商宣传后，要增强自我保护意识，一定要仔细分析或向有经验的人员咨询，谨慎决策，减少损失。另外也要劝诫有关厂商，科学技术是实事求是的事业，是要接受实践检验、经得起时间考验的，靠耍手法只能取得一时的效果，是不能持久的。

4、对流量仪表应用技术研究和普及不够。

流量测量技术复杂，流量计种类繁多，要做到合理选型、合理安装、正确调试投运以及正确维护不是一件容易的事。

流量计能用好的基础是制造厂提供的产品要性能优良，可靠性高，能满足测量任务的需要。要做到这一点非常不容易，于是研发机构和制造厂千方百计改进自己的产品并推出新产品。

其次，用户、设计院、制造厂都要开展流量测量仪表的应用研究，研究流量仪表使用中碰到的问题并找到解决方法，研究合理选型。

流量测量仪表是一种严重依赖现场安装的仪表。由于流量测量仪表种类繁多，技术复杂，与复杂多变的测量对象配合，难度很高，这就使得世界一流制造商所提供的一流品质的流量计，在有些使用现场却不能圆满地完成流量测量任务，影响生产和经营。对大量的实例进行调查、诊断、分析，结果表明，问题的症结大多数不在仪表本身而是系统问题。其中不合理的安装占了很大的

比例（达到70%~80%），除此之外，还存在许多其他问题，这又回到前面讨论过的困难，这些困难有的有办法解决，有的暂时还没找到解决办法。

人类对自然界的认识总是逐渐深入、不断提高的，流量测量中存在的困难得到解决的部分也会越来越多。

《仪表世界》：您认为我国流量仪表的发展趋势如何？

纪纲先生：我国流量仪表的水平与发达国家相比还有很大差距，发达国家的先进技术值得我们学习。下面谈谈几种流量计的发展趋势。

1、用科里奥利质量流量计测量气液两相流流量。

处于气液平衡状态的液体在管道内被输送，大多会因温度压力条件的变化而析出气体，使之变成气液两相流，这为流量测量带来极大的困难。

美国Micro Motion公司在用科里奥利质量流量计测量气液两相流方面取得了突破，目前的水平是可测的含气率上限达到30%（V/V），进一步的研究，含气率的适应范围有望进一步提高。

2、自诊断技术在智能流量计中的应用前景广阔。

每一种流量计都会有发生故障的时候，故障一旦发生，轻者使用不便或误差增大，重则丧失部分功能甚至完全不会工作。

例如科里奥利质量流量计测量管被磨损后，测量误差会相应增大，对振动管的刚度进行检测，能对磨损情况进行判断。

电磁流量计空管，引起一对电极感生很高的电动势，导致仪表指示满度，采用分时流量技术测量这对电极之间的介质电阻，从而对是否空管做出判断，并在空管后，采取置零措施，而且予以报警，从而消除因空管造成的隐患。

3、超声流量计用途更趋广泛

用超声脉冲在混合气体中的传播速度与气体平均分子量之间的关系，对混合气体的平均分子量进行测量，对火炬气等混合气体的流量测量有着特



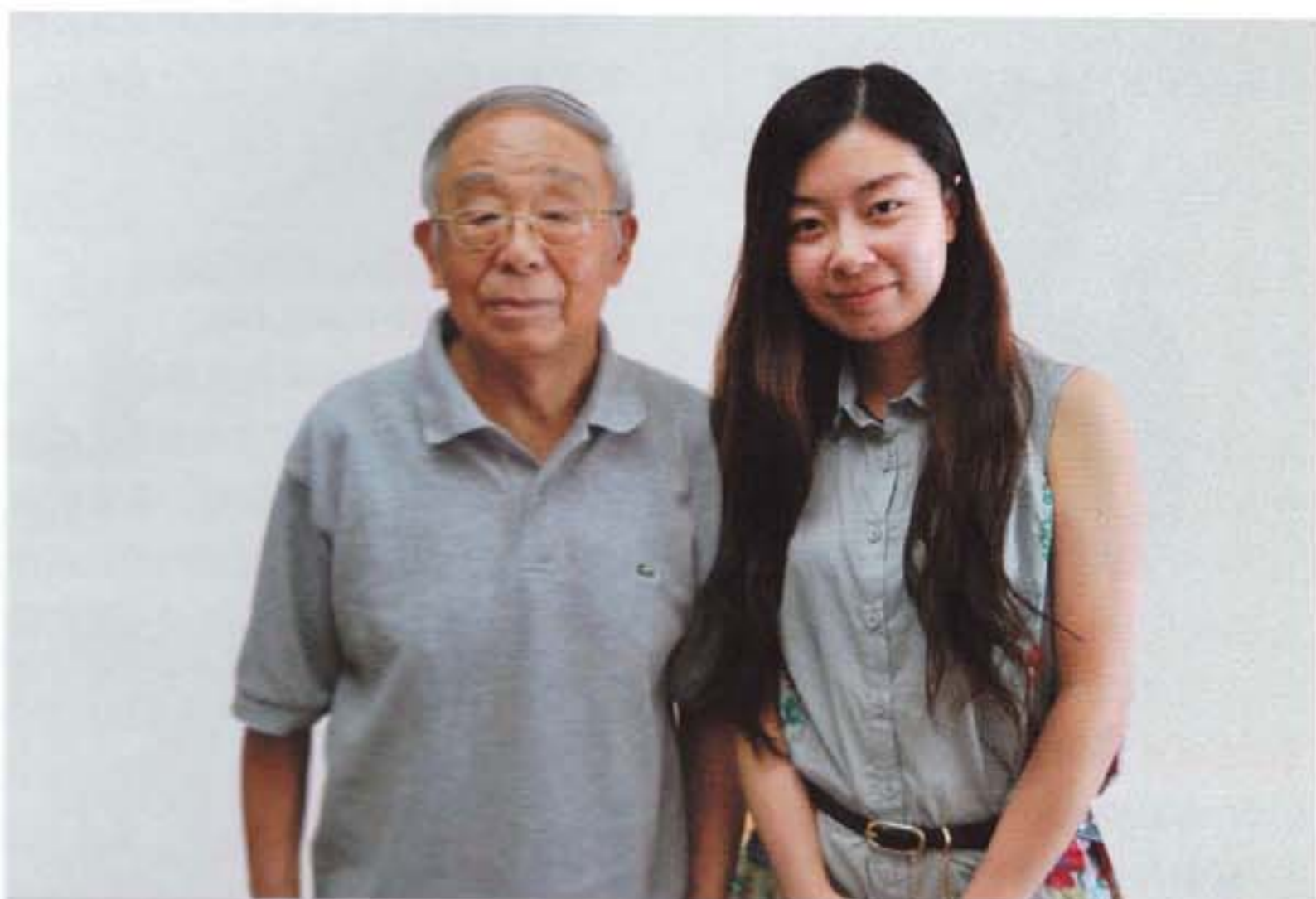
殊意义。因为来自各个生产装置进入火炬的气体，一般为阵发性排气，不同装置排出气体的组成都有其固有的特点，测出阵发性排气的平均分子量就可判断是哪个装置排出来的，这对生产调度管理意义特别重大，超声流量计在测量低速流动的气体方面具有显著的优越性，但在测量高速流动的气体方面，比较困难，这是因为气体在高速流动时会产生噪声，对被测信号造成干扰。美国GE Sensing公司在这方面的研究取得突破，最高可测气体流速达到80m/s。

4、一体化差压流量计

一百多年以来，差压式流量计都是分体式的，即组成系统的差压装置、差压变送器（差压计）、压力变送器、温度传感器、显示装置（流量计算机）等，在现场配管、组装，由于施工人员不像制造厂人员那样专业，再加上管线较长，组装要求高，存在问题的不在少数，造成差压信号传递失真，导致较大系数误差。

一体化差压流量计，由于差压信号管及组装均在制造厂完成，达到与技术标准的一致性，因而系统精确度更有保证。

由高低量程两台差压变送器与差压装置等组成的双量程差压流量计，提高了量程低段的流量测量精确度，使量程比得到拓宽，配套标定的一体化流量计，在引入误差校正技术后，配套使用，系统不确定度可优于0.5%。



蔡武昌（先生）

1951年毕业于大同大学（上海）电机系，原上海光华仪表厂总工程师，教授级高级工程师，长期从事流量仪表研究开发和生产技术等方面工作。社会职务现任中国仪器仪表行业协会流量工作委员会顾问。曾发表论文80余篇，获专利两项，出版有合作编著、主编《流量测量方法和仪表的选用》、《流量计应用指南电磁流量计》、《新型流量检测仪表》、《流量测量技术及仪表》。

《仪表世界》：流量测量技术与仪表的应用领域和类型有哪些？

蔡武昌先生：流量测量与仪表的应用领域可分三个层面说明：

第一层面划分：1、江河水文；2、流程工业和公用事业。流量仪表制造行业主要服务对象为流程工业和公用事业。

第二层面仅按流程工业和公用事业应用领域与类型划分，以图1说明。

第三层面按应用行业市场所占比例，据近年国外市场研究机构对全球流量仪表市场分析：化工占比25%以上；给排水、石油天然气、食品饮料占10%~20%；精炼业、制浆造纸业占5%~10%；生物医药、电力、矿山冶金占5%以下。我国产业分布大体相当，唯食品饮料、生物医药要低一些。

但也有企业涉足第一层面划分中所提及的服务与江河水文仪表，如上海一家仪表公司研发中的二维电磁流速仪。

《仪表世界》：流量的准确测量为什么那么难？

蔡武昌先生：因为有较多影响准确测量各种因素（源头）的附加误差，例如被测流体的流动状态、流体工况（压力、温度）和流体物性（密度、组分、黏度）变化、环境条件等。

现场流量测量是一个围绕着流量仪表的测量系统，测量准确度除了仪表基本误差外，还要加上各种影响量的附加误差。流量仪表的基本误差是在规定条件下设计的，或在符合规定要求流量标准装置上校准或量值传递的。现场安装的使用条件，往往偏离这些规定条件而带来附加误差。譬如0.5级准确度的仪表，现场测量误差会超过0.5%。各项条件较好，工作细致，误差可能在1%以内；如条件较差，工作粗糙（如管道内径与仪表内径不匹配，差别较大，连接处垫圈突入），测量误差可能会超过1%，甚至到5%。这其中也有仪表功能性附加误差，如超声流量计所测流量过低，处于湍流向层流转变过渡区