

流量仪表的现状与发展趋势

纪纲（上海同欣自动化仪表有限公司，上海 200070）

武因超 南京化学工业园公用事业有限责任公司（江苏南京 210047）

摘要：流量测量仪表在国民经济和日常生活中扮演着重要角色，因而受到人们的普遍关注。在温度、压力、流量、液位四大参数中，流量测量是难度最高、有待解决问题最多的一个。我国流量仪表开发、研究、制造，起步较晚，但发展较快。尤其是改革开放之后，民企、中外合资企业和外商独资企业蓬勃发展。新型流量计高歌猛进，传统流量计稳中有进，产品品种进一步向深度和广度发展。新技术、新工艺、新材料、新设备的应用推动技术水平的提高。尤其是软件技术向流量仪表的全面渗透，促进了仪表产品的智能化、现代化。但流量技术蓬勃发展的同时，也存在不少问题，如低水平重复、低价无序竞争较多，投资不足，自主创新较少，个别企业诚信不够。在技术进步方面，叙述了科里奥利质量流量计、超声流量计、电磁流量计、一体化差压流量计、声纳流量计等部分成果，重点对流量测量仪表应用技术进行了研究。最后指出从事产品研究和制造的工程师应足够重视现场应用和对被测流体物性的认识。

关键词：流量仪表；漂移；差压流量计；涡街流量计；传感器

中图分类号：TH814

文献标志码：A

0 引言

流量仪表在国民经济的多个领域和日常生活中扮演重要角色。

流量测量是温度、压力、流量、液位四大参数测量中难度最高、有待解决问题最多的一个。现在投向市场的流量测量仪表据称超过 100 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^[1]，主要原因如下。

- 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、高黏度，气体的冷凝、组分随时间而变化，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，污染检测件，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。大到江水流量，小到滴注液流。
- 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，而另一些却很难察觉。

1. 我国流量仪表的发展历史与现状

1.1 发展历程

早在 20 世纪 30 年代，我国已建立有私营小型流量仪表厂，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，使用了很多前苏联的流量计，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 20 世纪 50 年代末到 20 世纪 60 年代，在第一机械工业部的组织下，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。从 20 世纪 70 年代到 20 世纪 80 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。20 世纪 90 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。

1.2 现状

① 民企、中外合资企业和外企唱主角。

我们国家改革开放之后，社会生产力得到大提升，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，中国现有流量仪表生产企业约有 600 余家。

② 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，投入工业应用已达半个多世纪。其余为新技术流量计^[2]。

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，科里奥利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，就能测量。

与此同时，传统流量计也并非无所作为，例如已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，得到了进一步的研究。2003 年发布的 ISO 5167: 2003 (E)，只要雷诺数 ≥ 4000 ，就能使流量系数不确定度达到 0.5%^[3-4]，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得到了提升。

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^[5]。

③ 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靠硬件解决问题，流量计均为纯机械式或机电式，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、通信技术的发展大大推动了流量测量仪表的发展。20 世纪 50 年代的差压计是纯机械式的，精确度等级只能做到 1.5 级^[6]，校验这些差压计的标准器只有 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 0.055 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^[7]。

④ 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），满度流量可达 3.33g/min；超声流量计的口径小于 20mm 以前很难实现，因为声程太短。现在最小口径可做到 1mm，流量范围 5~100ml/min。

2. 我国流量仪表发展存在的问题

我国流量仪表发展主要存在四个方面的问题。

① 发展处于初级阶段，竞争无序。

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、竞争无序，具有发展初级阶段的特征。有专家认为，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在市场的份额。

② 自主创新能力不够。

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，没有一个强有力的研发机构带头，也没有一个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，严重阻碍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。

一个典型的例子是涡街流量传感器。中国现在自主品牌涡街流量计厂家有几十家，其中有两个品牌掌握了软件技术，上限流速能达到国际先进水平的（75~80）m/s，耐振性能也很好，其余品牌都停留在较低水平，流速高于 40m/s 就会出现“漏脉冲”现象^{[8][9]}。这其实仅差一步之遥，只要再努力一把，产品就可升高一个档次，卖价也可相应升高。

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，一个典型的例子是关于差压式流量计的。

曾经有家仪表公司在宣传其差压流量计时称，配用一台高精度差压变送器，来测量天然气流量，精确度等级 1.5 级，量程比可达 65 倍。殊不知在满量程流量 1/65 处，差压只有满量程差压的 1/4225。且不说气体温度压力等因素对系统不确定度的影响，仅差压测量不确定度的影响就已相当可观，即使采用的是当今世界上精确度等级最高的 0.04% 差压变送器，在差压为 0.024%FS 点，差压变送器输出为 0~0.064%FS 都有可能，这哪里还有精确度可言呢。

此类厂商的不实宣传惯用手法：一是毫无根据地杜撰技术指标，所提供的技术指标既无理论依据，也无试验数据支撑。另一是偷换概念，混淆视听，忽悠用户，例如混淆引用误差与示值误差的概念；用传感器的不确定度代替流量测量系统不确定度；用 3 倍量程比的不确定度代替 10 倍量程比的不确定度等。

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，并签订详细的技术协议。

④ 对流量仪表应用技术和普及不够。

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。

制造厂应重视产品的现场应用，避免产品经不起现

场考验。举一个例子。在电厂大型锅炉的供水管道上，都配有供水流量计，大多采用标准差压流量计。差压装置如图 1 所示。差压装置安装在水平管道上，配有三对取压口，主要用于联锁保护，也用于控制。仪表投运后普遍存在一个问题，即朝天的一对取压口输出的差压值越来越小。究其原因是这对取压口被错误地设置在水平线上方，不符合规程。因为锅炉进水中总是溶解有一定量的永久性气体，流水撞击在节流件上，有时会析出微量气体，钻进正端取压口，气体积累得多了之后，就使这对取压口输出的差压值趋小。正确的做法是将这对取压口移到水平线下方。所以差压装置设计人员应对产品的现场安装以及被测流体的物性有足够的认识。据说日本有的仪表公司，产品开发工程师和现场应用工程师，每几年轮换一次，这样，工程师们的经验会更趋全面，避免闭门造车，脱离实际。

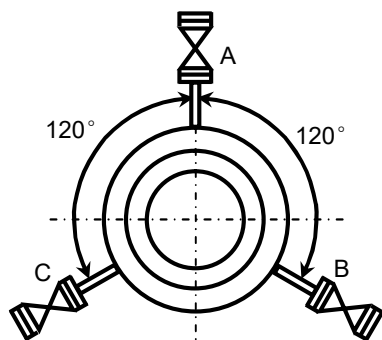


图 1 三对取压口在节流装置上的分布

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，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会越来越多。

3. 流量仪表的发展趋势

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 采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或部分气化，使之变成气液两相流。这给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)，进一步研究表明，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成果丰硕。

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。

在多声道超声流量计的声道诊断中，诊断结果的显示图形化，是软件技术渗透流量测量仪表的一大趋势。以前的流量计显示屏幕较小，只能用代码显示诊断结果，现在屏幕增大后用图形化显示，不仅简单明了，而且形象易懂，很受使用者的欢迎。给出了美国通用电气 (general electric, GE) 公司的 CUI 软件进行现场诊断的图形显示例子^[10]。各声道平均增益显示图、正常和故障状态下信号质量的比较图、整流器部分阻塞后的诊断结果显示图、整流器部分阻塞后的诊断结果显示图和 B 声道导演的 SOS 分布图如图 2~图 5 所示。

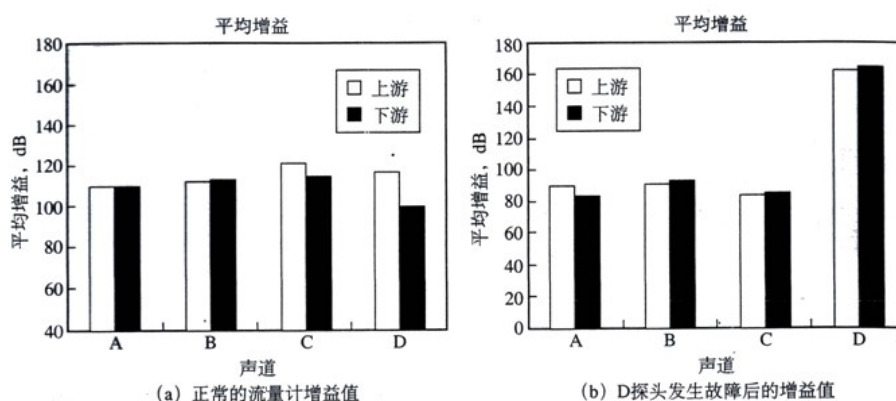


图 2 各声道平均增益显示图

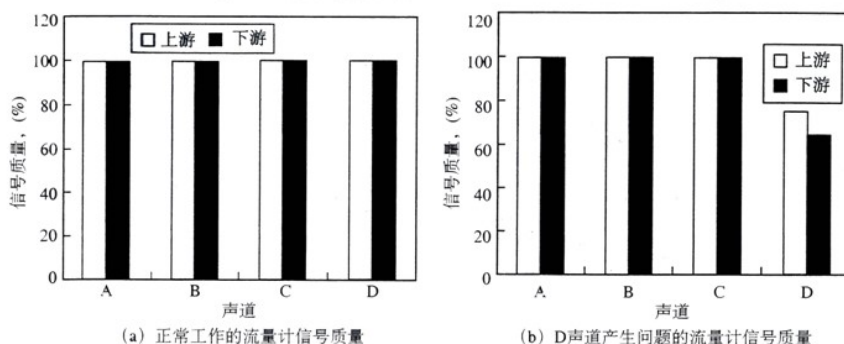
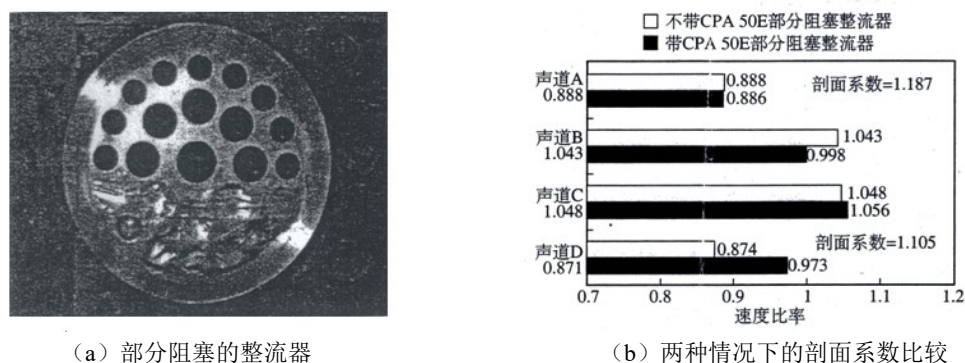


图 3 正常和故障状态下信号质量的比较图



(a) 部分阻塞的整流器

(b) 两种情况下的剖面系数比较

图 4 整流器部分阻塞后的诊断结果显示图

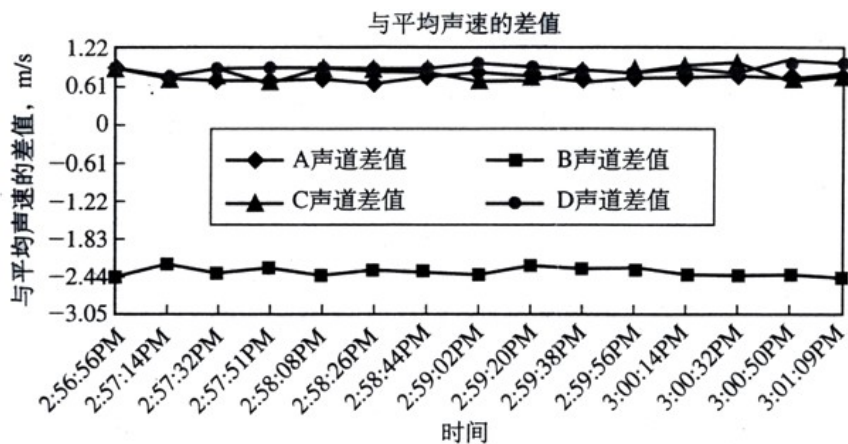


图5 B声道导演的SOS分布图

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，采用分时测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 非满管电磁流量计崭露头角。有一类像污水管道的流量测量对象，管内水流不充满是常态，这时就适合用非满管电磁流量计来测量。在这种流量计的传感器中，除了配有测量导电液体流速的电极之外，还带有集成电容液位测量系统。从液位高度计算流通截面积，再与流速相乘便得体积流量。

④ 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 85m/s。

在欧洲的一些国家，低价的超声流量计，在家用供暖热水以及燃气的计量中，也逐渐多了起来。

⑤ 差压流量计进展。

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，存在问题的不少，造成差压信号传递失真，导致较大测量误差。

现在有几家仪表公司相继推出多变量变送器，在此变送器中预置标准差压流量计的多种算法，并与标准差压装置组装为一体，组成一体化差压流量计，测量精确度更有保证，而且大大节省工程成本，很受用户欢迎。

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，在保证 1.0%系统不确定度的前提下，范围度可达 33 倍^[11-12]。

③ 涡街流量计的进展。

涡街流量传感器送出的脉冲信号 f 代表的是旋涡发生体出口处的体积流量，而旋涡发生体前后的差压 ΔP ，与流体密度 ρ 成正比，将此压差用一台差压变送器测量出来，并与 f 运算即得质量流量。用这种方法测量变组分气体质量流量，既准确又经济^[13]。

④ 新颖测量方法还在出现。

近些年来,随着科学技术的发展,科研人员开发出新颖测量原理的流量计,其中有声纳流量计、微波流量计等。

4 结论

流量测量仪表在国民经济的多个领域和人民生活中扮演着重要角色,因而受到人们的普遍关注。

我国自从改革开放以后,流量仪表工业获得了高速发展,民营企业、中外合资企业、外商独资企业蓬勃发展,促进了流量仪表的发展和自由竞争;民营企业主要占领中低端市场,外资企业主要占领高端市场。

随着国际上新技术、新方法、新材料、新设备的持续发展,尤其是软件技术全面渗透到流量仪表,新产品不断涌现,技术性能不断提高,特别是科里奥利质量流量计,超声流量计,电磁流量计,一体化差压流量计,涡街流量计等,成果丰硕。

流量仪表应用技术也是值得仪表公司重视的问题,很多品质一流的流量仪表在现场用不好,大多不是仪表本身的问题,而是因为使用问题,因此,从事仪表研发、制造和现场服务的工程师,要加深对流体物性的认识和仪表对复杂的使用条件的适应性研究。

参考文献: 请按序在文中标注引用。

- [1]蔡武昌,孙淮清,纪纲. 流量测量方法和仪表的选用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001:59.
- [2] 王池,王自和,张宝珠,等. 流量测量技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社,2012.
- [3]ISO. ISO 5167:2003 Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular Cross-Section Conduits Running Full[S]. Switzerland: ISO, 2003
- [4]上海工业自动化仪表研究所. GB/T 2624-2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 蔡武昌.流量仪表若干发展趋势和应用进展[J]. 中国仪器仪表, 2001 (2): 46-48.
- [6]上海工业自动化仪表研究所. 流量测量节流装置设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社,1966.
- [7]姜仲霞,姜川涛,刘桂芳. 涡街流量计[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [8]何志俊,殷胜军,纪波峰,等. 供热网 SCADA 系统中的管损统计及应用实例[J]. 自动化仪表, 2017,38(6): 93-95,99.
- [9] 纪纲,纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [10] 潘丕武,张明. 天然气计量技术基础[M]. 北京: 中国石油工业出版社, 2013:300-301.
- [11] 张宝良,纪波峰,纪纲. 提高孔板流量计精度的研究[J]. 石油化工自动化, 2017, 53(4): 52-56.
- [12]纪纲. 流量测量仪表应用技巧 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [13]宋文其,叶明,余厚林,等. 一种变组分气体流量计的研究[J]. 石油化工自动化, 2018,54(4):64-67

本文源自于一自动化仪表 2020.7