

用一体化定值喷嘴流量计计量 天然气流量

周国祥¹, 孙淮清²

(1. 北京博思达新世纪测控技术有限公司, 北京 100191; 2. 重庆自动化仪表研究所, 重庆 400700)

[摘要] 文章根据我国天然气流量计量仪表的现状, 分析了传统孔板流量计和涡轮流量计的特点及存在问题, 通过理论分析及实践的讨论, 提出了采用一体化定值喷嘴流量计计量天然气流量的方案, 为我国天然气流量计量提供了新的思路。

[关键词] 天然气流量计量; 一体化喷嘴流量计; 宽范围度; 定值喷嘴

[中图分类号] TB93

[文献标识码] B

[文章编号] 1002-1183 (2011) 04-0001-04

1 问题的提出

我国天然气的使用在超高速的发展, 西气东输一、二、三期工程建设及境外天然气输气管线的引进力度空前, 天然气用量连年翻番, 从 2000 年年用量约 200 亿 m^3 增至 2010 年年约 1000 亿 m^3 , 据称, 预计 2020 年达到 4000 亿 m^3 , 占能源份额约 10%, 但与国际上一般为 30% ~ 40% 相比仍然低得多。

天然气用户遍布全国, 输气管网及其配套流量计数量十分庞大, 终端用户城市有工矿企业及商业、民用用户, 情况十分复杂, 需求多种多样。如此量大面广的用户, 流量计的选型就显得特别重要, 不仅要考虑仪表计量准确度等技术要求, 还要考虑仪表的维护与校验的成本。据国际仪表权威机构综合分析, 天然气输气管线流量仪表应为三大主力仪表: 孔板流量计、涡轮流量计和气体超声流量计。理论分析和实践证明, 这三种仪表各项性能指标各有优劣, 本文试图通过孔板流量计、涡轮流量计仪表性能指标的比较, 根据 GB/T 18603—2001 《天然气计量系统技术要求》, 提出天然气流量计量仪表若干选型原则, 结合我国国情向用户推荐用一体化定值喷嘴流量计测量天然气流量。

2 历史的回顾

长期以来, 孔板流量计为天然气输气管线上的主要流量计, 20 世纪 70 年代后涡轮流量计成为仅次于孔板流量计的主力仪表, 只是在本世纪初气体超声流量计才在国际上推广。孔板、涡轮流量计标准、规范

已经成熟, 而气体超声流量计的国际标准尚在拟议中。由此可见, 我国天然气流量计量应该选用孔板和涡轮作为主要仪表。

孔板流量计在天然气流量测量中的应用已有一百多年历史, 可以不夸张地说, 正是天然气流量测量才使孔板流量计达到今天的技术成熟, 标准、规范丰富, 奠定了作为第一大类流量计的地位。20 世纪 70 年代以前孔板流量计已发展为标准型流量计, 其特点有三: (1) 结构形式和技术要求标准化; (2) 标准给出节流件的流出系数和可膨胀性系数及计算公式; (3) 现场影响量的试验广泛深入, 是国际上通用的。正是借助这些特点引出二大使用特性: (1) 节流件无须实流校准, 可根据节流件结构形状、技术要求、流体特性求得流量与信号的关系及其测量不确定度; (2) 流量计投用现场后, 如果使用条件偏离标准规定, 可利用影响量试验研究资料进行修正 (或补偿)。孔板流量计作为标准节流装置第一品种, 其标准规范在 ISO 5167: 2003 (E) 及 AGAN03 (HNSI/API2530) 中详细列举, 在全部流量计中它的标准及规范是最丰富、最完善的。目前其它已有国际标准的流量计, 如涡轮、电磁、涡街、质量等, 都没有上述三个特点, 因此, 亦不具有二大使用特性。近年 (20 世纪 90 年代后), 由于电子技术、计算机技术、新材料、新工艺的突破性进展, 新型流量计 (涡轮、涡街、电磁、超声、质量) 有长足发展, 在市场激烈竞争中, 标准节流式流量计市场份额不断下降, 此类流量计缺点成为人

[收稿日期] 2011-06-13

[作者简介] 周国祥 (1940-), 男, 四川安岳人, 高级工程师, 毕业于清华大学, 长期从事流量技术的研究与仪表的开发工作。

们评价重点,如测量准确度不高、范围度窄、压损大、安装条件苛刻、故障多等等,使标准节流式流量计似有被边缘化的危险。针对上述缺点,技术工作者经过长期的改进与创新,并借助二次仪表(差压变送器和流量计算机)的突破性进展,使全套标准节流式流量计性能焕然一新,如准确度可以满足 GB/T 18603—2001《天然气计量系统技术要求》A 级(1.0)和 GB 17167—2006《用能单位能源计量器具配备和管理通则》天然气(2.0)的规定,量程比达 10:1 或更宽;结构创新为一体化,消除安装瓶颈,故障大幅下降;压损大应考虑除孔板外的喷嘴或文丘里管等节流件等。已有业内人士建议应重新审视此类流量计,给予其正确的评价;标准节流式差压流量计应重新恢复其特有的地位。

在美国和欧洲涡轮流量计是仅次于孔板流量计占第二位的天然气流量计,涡轮流量计的主要特点为:高准确度,一般为 $\pm 1\% R \sim \pm 1.5\% R$,特殊专用的为 $\pm 0.5\% R \sim \pm 1.0\% R$,高重复性,短期重复性可达 $\pm 0.05\% \sim \pm 0.2\%$,正是由于良好的重复性,若经常校准或在线校准,可得高准确度,是贸易交接优先选用的流量计;输出为脉冲信号,适于总量计量及与计算机连接,无零点漂移,抗干扰能力强,信号分辨力强(频率达 3kHz ~ 4kHz),量程比宽,中大口径 40:1 ~ 10:1,小口径 6:1 ~ 5:1。结构紧凑轻巧,安装维护方便,流通能力大。应该指出,上述优良特性只在实验室参比工作条件下方能维持。在现场涡轮流量计是一种易受现场影响量干扰的流量计,现场影响量主要为二项:流动特性和流体物性。流体流动特性影响主要是流体受管道配件(阻流件)干扰而引起的速度分布畸变和涡流等,其它为非定常流干扰(脉动流等)。流体物性又分为流体物性(物理性质)和流体性状,流体物性主要影响因素为密度和粘度,对于天然气应特别注意密度的变化,密度影响在低流量区域较大,若密度低(压力下降),下限流量升高,亦即范围度变窄,线性度变差。在常压空气中校准的涡轮流量计应通过相关公式进行换算。流体性状指腐蚀、积垢、脏污、冻结、相变、混相等,它会改变管道壁粗糙度、流通面积、涡轮叶片及通道状况,流量计特性随之改变,不再维持实验室校准的特性,给流量计的正常工作带来恶劣影响,一般应增设过滤器,周期检查及校准等才能正常工作。应该指出我国天然气流量计量仪表数量十分庞大,需要定期检定的仪表以数万台计,而我国天然气实流标

准装置每年可标定的仪表仅在 1000 台左右,远不能满足需求(仪表用户常为送检仪表奔波而苦恼!)。因此,保证每台仪表的正常校准是一个现实又迫切的问题。

涡轮流量计作为通用型流量计其发展历史约半个世纪,在天然气计量领域为法定计量器具,具有完备的标准规范。以下介绍国际上主要标准规范:(1) ISO 9951《封闭管道气体流量测量——涡轮流量计》1993 年第一版。标准规定仪表结构、压力测试、流量特性、读数装置、现场校准、压力损失、管道布置等,它使各国产品技术参数协调一致,标准还规定干扰试验以适应现场安装的要求,仪表可在很短直管段(2D)下安装,为此各国产品皆设计专用整流器与仪表壳体组成一体,是有特色的专利部件。(2) PrEN12261《气体涡轮流量计》为欧洲标准,由 CEN/TC237 技术协会制定,CEN 成员国的法定标准。PrEN12261 和 ISO 9951 差别为对技术参数进行了详细规定,并且对测试的参数提出明确的测试工具和方法,对仪表安全特性亦有详细规定,如强度测试、密封性测试、扭矩测试、抗冲击测试、抗紫外线和腐蚀测试等。PrEN12261 是欧洲先进的制造业及天然气公司多年对涡轮流量计制造和应用的经验总结。(3) AGAN07 报告《涡轮流量计测量燃气》1980 年颁布。AGAN07 是一份技术报告,其内容非常丰富,是美国 20 世纪 60 ~ 70 年代气体涡轮流量计研发与应用的经验总结。上述三份文件基本代表气体涡轮流量计现代制造与使用的经验总结。

由上述孔板流量计和涡轮流量计的简述中我们发现它们有以下一些差别。

(1) 孔板流量计具有流量仪表标准节流件的三项特征,因此,其结构及应用是全世界通用的。涡轮流量计不是标准检测件,产品性能随企业而异,由此孔板流量计的二大使用特性涡轮流量计并不具备。涡轮流量计必须逐台校准以得到仪表系数,现场影响量的修正,孔板流量计可采用全世界流量界积累的丰富资料,而涡轮流量计只能依靠个别企业指导文件进行,两者的差别不可同日而语。

(2) 孔板流量计在测量准确度、范围度、结构设计、安装等方面已有突破性进展,可以满足 GB/T 18603—2001 和 GB 17167—2006 等国家法定规定的要求。因涡轮流量计的仪表特性是在有条件场所才能保证,一般而言,在输配气(门)站配备专用设备和专业人员来满足其要求,而普通用户不具备这些条件,定期的维护和检定亦存在实际困难。

3 喷嘴流量计

3.1 喷嘴流量计的优势

在节流式流量计使用中一般总是优先选用孔板流量计, 其实, 在一个时期内, 孔板流量计成为了标准节流装置的代表, 其它标准节流件如 ISA1932 喷嘴 (以下简称喷嘴)、文丘里管等未引起足够的重视 (早期喷嘴类的产品受到了加工工艺的限制), 使其特有的优势没有得到充分发挥。因此, 我们更应重视喷嘴流量计的应用。它具有孔板流量计的优点, 但又因喷嘴为廓形节流件, 无尖锐棱角, 结构形状耐高流速冲击与磨损, 故其流量特性保持长期稳定, 无孔板锐缘钝化之虞, 因而检定周期长 (四年), 且压损小。所以, 喷嘴应是比孔板更优越的节流件。

3.2 一体化定值喷嘴流量计

喷嘴流量计应用较少的一个重要原因是其廓形加工工艺复杂, 一只喷嘴要准备数块模板, 作为保证加工准确度及检验用。

为使节流件商品化, 多年前, 一些专家就提出了定值节流件的创意, 所谓定值节流件就是在一个管道公称口径下仅制造三种节流孔径的节流件 ($\beta = 0.4$ 、 0.5 、 0.6), 这样定值喷嘴如同标准机械零件一样, 可以形成批量生产。不仅易于保证加工精度, 降低成本, 也便于计量监督。

还有一个值得重视的问题, 就是目前使用的大量的孔板及喷嘴, 其直管段长度不满足标准要求, 而且在 $10D$ 范围内, 同心度、不圆度、粗糙度也不满足标准要求, 引起较大的附加误差, 因此带上经过精细加工的直管段是很有必要的。

所以, 以上提出的计量天然气的一体化定值喷嘴流量计的完整内容应是带 $10D$ 前直管段的一体化定值喷嘴流量计。

3.3 误差分析

用户很关心用一体化定值喷嘴流量计计量天然气, 计量的不确定度是多少? 确定流量测量不确定度可在天然气实流标准装置实标, 由于我国这类装置很少, 难以满足大量检定的要求, 所以不在重点考虑之列。现对以下两种方案做一介绍。

方案 1: 按 GB/T 2624—2006.3 计算喷嘴的流出系数及可膨胀系数, 按 GB/T 21446—2008 (或 SY/T 6143—2004) 计算天然气的密度, 其不确定度为

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \frac{\delta q_v}{q_v} = \left[\left(\frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \left(\frac{2\beta^2}{1-\beta^4} \right)^2 \left(\frac{\delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4} \right)^2 \left(\frac{\delta d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho}{\rho} \right)^2 \right]^{1/2}$$

现分析各项误差

(1) $\frac{\delta C}{C}$: 若节流孔径比 $\beta \leq 0.6$, 则该项的不确定度应为 0.8% ;

(2) $\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}$: 按 GB/T 2624—2006 中喷嘴的计算公式其不确定度为:

$$\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} = 2 \frac{\Delta p}{p} (\%)$$

若要使 $\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \leq 0.1\%$

只需 $\frac{\Delta p}{p} \leq 0.05$, 这是很容易做到的, 例如压力 (绝压) 为 0.2 MPa , 只需保证在最大流量下, 差压值小于 10000 Pa 即可。

(3) 管径及开孔径所带来的不确定度, 可以通过精确测量, 使其降至可忽略程度。

(4) $\frac{\delta \Delta p}{\Delta p}$: 根据 GB/T 21446—2008, 提供的换算公式, 将变送器的满度误差换算为示值误差

$$\frac{\delta \Delta p}{\Delta p} = \frac{2}{3} \xi \frac{\Delta p_K}{\Delta p_I}$$

式中: ξ 为变送器精度等级; Δp_K 为变送器量程; Δp_I 为差压示值。

例如: 变送器精度等级为 0.075 (即误差为 0.075%), 差压测量范围为 $1:25$, 则:

$$\frac{\delta \Delta p}{\Delta p} = \frac{2}{3} \xi \frac{\Delta p_K}{\Delta p_I} = \frac{2}{3} \times 0.075\% \times \frac{25}{1} = 1.25\%$$

(5) $\frac{\delta \rho}{\rho}$: 根据 GB/T 21446—2008

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \left[\left(\frac{\delta G}{G} \right)^2 + \left(\frac{\delta Z}{Z} \right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 + \left(\frac{\delta p_1}{p_1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

式中: $\frac{\delta G}{G}$ 为天然气相对密度测量不确定度为 0.3% ;

$\frac{\delta Z}{Z}$ 为压缩系数不确定度, 按 GB/G 17747.2—1999 计

算, 其值为 0.1% ; $\frac{\delta T}{T}$ 为设 t 由 -20°C 到 80°C , 温度变送器量程为 $-20^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$, 精度等级 0.5 。

根据 GB/T 21446—2008

$$\frac{\delta T}{T} = \frac{2}{3} \xi_t \frac{T_K}{T_I} = \frac{2}{3} \xi_t \frac{t_K T_K}{T_K T_I} = \frac{2}{3} \times 0.5\% \times \frac{120}{273.15 - 200} = 0.158\%$$

$\frac{\delta p_1}{p_1}$: 设压力变化范围为 $1:3$, 根据 GB/T 21446—

