

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2013.08.004

# 用标准喷嘴流量计测量天然气流量及标准的制定

□ 北京博思达新世纪测控技术有限公司(100191)周国祥

□ 重庆自动化仪表研究所(400700)孙淮清

**摘 要:** 本文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,提出了采用标准喷嘴流量计计量天然气流量的方案,介绍制定《用标准喷嘴流量计测量天然气流量》国家标准的有关情况,为我国天然气流量计量提出了新的思路。

**关键词:** 标准 天然气流量计量 一体化喷嘴流量计 宽量程 定值节流件

## 1 问题的提出

随着我国西气东输一、二、三期的建设及境外天然气输气管线建设的推进,我国天然气用量不断增长,输气管网日趋扩大、不同类型的配套流量计需求增加;终端用户有工矿企业、商业及民用用户,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工作量及成本。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3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3种仪表各项性能指标各有优劣,由于气体超声波流量计多用于输气门站的大流量计量,其用量相对较少,不在此讨论。本文仅对孔板流量计和涡轮流量计仪表性能指标比较,根据GB/T18603-2001《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,向天然气工业用户、城市燃气网中的商业用户,推荐采用具有检定周期长(4年)、维护量小、测量范围宽的新型标准喷嘴流量计测量天然气流量,与此同时推进相关国家标准的制定工作。

## 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两大使用特性:(1)节流件无须实流校准,可根据节流件结构形状及技术要求以及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ISO5167:2003(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3个特点,因此,亦不具有两大使用特性。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有所下降,此类流量计的缺点成为人们评价重点,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危机。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,准确度可以满足《天然气计量系统技术要求》GB/T18603-2001 A级(1.0)和《用能单位能源计量器具配备和管理通则》GB17167-2006 天然气(2.0)的规定,范围度达6:1~15:1或更宽;结构创新为一体化,消除安装瓶颈,故障大幅下降;压损大可考虑除孔板外的喷嘴或文丘里管等节流件,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。

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,可获得高准确度。范围度宽,中大口径10:1~40:1,小口径5:1~6:1。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,现场影响量主要为两项: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十万台计,而我国天然气实流标准装置每年仅可标定千余台的仪表,远不能满足实际需求。因此,保证每台仪表的正常校准是一个现实又迫切的问题。

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3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,由此孔板流量计的两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/T18603-2001和GB17167-2006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(4年),且压损小。所以,喷嘴应是比孔板更优越的节流件。

近年来,标准喷嘴流量计在其它领域(蒸汽和通用气体计量)得到广泛的应用,其工艺与结构更为成熟,同时也积累丰富的使用经验。因此,国家标准化委员会已于2012年批准制定《用标准喷嘴流量计测量天然气流量》国家标准,计划号为20121951-T-515。该标准将参考《用标准孔板流量计测量天然气流量》GB/T21446-2008等现行的国家标准,针对标准喷嘴的结构特点,对其制造、检验、安装及使用等做出规定。

### 3.2 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,一只喷嘴应准备数块模板,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3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,也便于计量管理和计量监督。

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。

### 3.3 不确定度分析

采用喷嘴流量计计量天然气,其计量的不确定度是多少?这是大家关心的问题。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需求,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/T2624-2006.3计算喷嘴的流出系数及可膨胀系数,按GB/T21446-2008(或SY/T6143-2004)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/T2624-2006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0.2MPa,只需保证在最大流量下,差压值小于10 000Pa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/T21446-2008,提供的换算公式,将变送器的满度误差换算为示值误差

$$\frac{\delta \Delta P}{\Delta P} = \frac{2}{3} \zeta \frac{\Delta P_k}{\Delta P_I}$$

式中:

$\zeta$ : 变送器精度等级

$\Delta P_k$ : 变送器量程

$\Delta P_I$ : 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1:36,则:

$$\frac{\delta \Delta P}{\Delta P} = \frac{2}{3} \zeta \frac{\Delta P_k}{\Delta P_I} = \frac{2}{3} \times 0.075 \times \frac{36}{1} = 1.8(\%)$$

(5)  $\frac{\delta \rho}{\rho}$ : 根据GB/T21446-2008

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \left[ \left( \frac{\delta G}{G} \right)^2 + \left( \frac{\delta Z}{Z} \right)^2 + \left( \frac{\delta T}{T} \right)^2 + \left( \frac{\delta P_1}{P_1} \right)^2 \right]^{0.5}$$

式中:

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

$\frac{\delta Z}{Z}$ : 压缩系数不确定度,按GB/G17747.2-1999计算,其值为0.1%

$\frac{\delta T}{T}$ : 设t由-20℃到80℃,温度变送器量程为-20℃~100℃,精度等级0.5

根据GB/T21446-2008

$$\frac{\delta T}{T} = \frac{2}{3} \zeta_r \frac{T_k}{T_l} = \frac{2}{3} \zeta_r \frac{t_k}{T_k} \frac{T_k}{T_l} = \frac{2}{3} \times 0.5 \times \frac{120}{273.15-200} = 0.158(\%)$$

$\frac{\delta P_1}{P_1}$ : 设压力变化范围为1: 3, 根据GB/T21446-2008

$$\frac{\delta P_1}{P_1} = \frac{2}{3} \zeta_p \frac{P_k}{P_1} \approx \frac{2}{3} \times 0.075 \times \frac{3}{1} = 0.15 (\%)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta \rho}{\rho} &= \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta Z}{Z} \right)^2 + \left( \frac{\delta T}{T} \right)^2 + \left( \frac{\delta P_1}{P_1} \right)^2 \right]^{0.5} \\ &= (0.3^2 + 0.1^2 + 0.158^2 + 0.15^2)^{0.5} = 0.384 (\%) \end{aligned}$$

在差压测量范围为1: 36条件下, 天然气流量测量不确定度为

$$\begin{aligned} \frac{\delta q_m}{q_m} = \frac{\delta q_v}{q_v} &= \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \left( \frac{2\beta^2}{1-\beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta D}{D} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. \left( \frac{2}{1-\beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \rho}{\rho} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[ 0.8^2 + 0.1^2 + \frac{1}{4} (1.8^2 + 0.384^2) \right]^{0.5} = 1.21 (\%) \end{aligned}$$

就是说: 用一台差压变送器, 量程范围1: 36, 则流量量程范围为1: 6时, 流量系统不确定度等级达到1.5级。若用两台差压变送器, 则可使流量量程范围达1: 36。

方案2:

在水标准装置上标定出喷嘴的流出系数, 而可膨胀系数按GB/T2624-2006计算。

现逐项分析误差的大小

(1)  $\frac{\delta C}{C}$ : 若水系统不确定度等级为0.1级, 则该项的不确定应为0.3%。

(2) 其余各项不确定度与方案1相同

在差压测量范围为1: 36条件下, 天然气流量测量不确定度为

$$\begin{aligned} \frac{\delta q_m}{q_m} = \frac{\delta q_v}{q_v} &= \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \left( \frac{2\beta^2}{1-\beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta D}{D} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. \left( \frac{2}{1-\beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \rho}{\rho} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[ 0.3^2 + 0.1^2 + \frac{1}{4} (1.8^2 + 0.384^2) \right]^{0.5} = 0.97 (\%) \end{aligned}$$

就是说, 用水系统标定出流出系数, 则流量测量范围为1: 6时, 流量不确定度等级为1级, 若用两台差压变送器, 流量测量范围为1: 36。

#### 4 结论

从以上分析可得出结论, 在严格按照标准加工、安装、使用的基础上, 引入定值节流件和必要的技术(宽测量范围运算, 变送器数字通讯等)手段, 喷嘴流量计完全可以满足天然气流量计量包括准确度在内各项技术要求, 由于这种仪表的结构牢固、检定周期长, 在减少维护量的同时, 大大减少运行成本; 具有较好的技术经济指标, 有理由认为它可以作为计量天然气流量的重点选型仪表之一。这不仅已是专业人员的共识, 也将成为广大用户的共识。

#### 参考文献

- 1 GB/T 21446-2008用标准孔板流量计测量天然气流量
- 2 GB/T 2624-2006用安装在充满流体的圆形截面管道中的差压装置测量流量
- 3 GB/T 17747-1999天然气压缩因子的计算
- 4 GB/T 18603-2001天然气计量系统技术要求

### 工程信息

## 邢台天然气门站球罐“体检”

为了做好城市安全基础管理工作, 作为城市燃气企业, 邢台燃气有限责任公司从2013年5月23日起, 对该市天然气第一门站天然气球罐进行开罐“体检”, 该市门站自2002年投运以来, 已实

现连续10年安全运行无事故, 此次是第二次大规模罐体安全“体检”, 质量技术监督部门也参与了“体检”工作。

(赵军峰)