

从天然气的经济价值谈如何准确计量

黄 和¹, 游 岚², 罗旭翠³, 杨春林⁴, 罗泽斌³

(1 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017; 2 四川石油管理局地质勘探开发研究院, 四川 成都 610051; 3 中国石油川西北气矿, 四川 江油 621709; 4 中国石油塔里木油田分公司塔中作业区, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要: 天然气作为燃料和化工原料有许多独特的优点, 它的经济价值在各工、农业部门和人们日常生活中不断提升, 如何准确计量天然气是有关企业和人们十分关心的问题。为了提高和确保计量准确度, 国际和国内有关机构和人员不断改进和研制高准确度的流量仪表, 制订了保证计量准确度的计量标准。阐述了天然气的经济价值, 介绍了天然气计量特点和计量标准的核心内容。

关键词: 天然气; 经济价值; 计量准确度; 特点; 标准; 计量系统; 配套仪表; 孔板流量计; 超声流量计; 物性参数

文章编号: 1006-5539(2007)02-0037-06

文献标识码: A

天然气作为燃料具有燃烧完全、单位发热量高、燃烧产物对环境的影响较小等一系列优点, 因而它在世界能源结构中的比例不断上升。作为化工原料使用的量也快速增长, 这种趋势在中东、南美和东南亚国家尤其明显。目前, 世界天然气化工产品的总量已达到每年约 1.5×10^8 t。

随着天然气的经济价值不断上升, 产量增加, 其国际贸易量也剧增, 20 世纪 80 年代末约 $3\,000 \times 10^8$ m³, 目前已达约 $4\,000 \times 10^8$ m³, 其中 75% 为管输天然气。预计未来 20 年中, 随着探明储量和产量的快速增加, 天然气将替代石油而成为本世纪的主要能源, 专家们普遍认为 21 世纪将是天然气世纪。

我国拥有较丰富的天然气资源, 远景储量达到 51×10^{12} m³, 探明储量约 5×10^{12} m³。经过 40 多年的勘探开发, 目前年产量超过 200×10^8 m³。随着天然气发电、天然气化工、城市民用气和天然气汽车等工业的发展, 天然气对优化能源结构、改善生态环境、提高生活质量、加快城市现代化步伐起着重要作用。近年来, 我国正与周边国家在天然气开发利用方面进行合作, 这标志着天然气工业的发展将

有更为广阔的前景^[1~3]。

但是, 由于天然气一般都埋藏在很深的地层中, 勘探开发的气井越来越深, 技术难度越来越大, 成本费用越来越高, 其价格拂摇直上。随着对天然气需求的增长, 价格必将进一步提升。由此可见天然气在开发、开采、处理、输送和配气(通称集输工程)中计量准确度高要求的重要性。

1 天然气计量的特点

天然气计量以流量计量为主, 围绕流量计量而进行有关物理量的计量。由于流量是由质量、长度、温度、时间等基本量的综合导出量, 是在流动过程中测得的, 具有导出性、综合性和动态性, 要测准它十分困难, 特别是气体具有压缩性和膨胀性。天然气流量测量是流体流量测量中最为难以测准的一种物质流量之一。

天然气在集输工程中的计量, 涉及介质成分复杂、易燃、易爆和量大、面广、线长等特点; 又是一种多参数的间接动态测量过程。应在掌握其特点后,

收稿日期: 2006-06-17

作者简介: 黄 和(1963-), 男, 四川资阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事石油天然气工艺设备及计量设计与研究工作。电话: (028) 86014469

分不同情况制定检测方案,实施测量和计量。

由于天然气通常含有硫化氢、二氧化碳、游离水、凝析烃和机械杂质等,这些物质在一定条件下会腐蚀管道,沉积污物对管道系统产生危害酿成事故。天然气与空气混合比达到下限约 5%,上限约 15%的范围时,便具有着火燃烧条件,在密闭空间中还会发生可怕的爆炸,因此天然气是易燃易爆物质。

天然气计量的量大有两层含义,一为总量大,二为流量变化范围大;面广有公司内部单位与单位之间的交接计量;也有公司与公司之间的贸易计量;线长指的是从采气、集输计量到输气管道首站进气计量,途中进气、输气和配气计量、末站配气计量,长达数百公里至数千公里甚至数万公里。

尽管天然气流量测量难度很大,但只要充分了解天然气计量的特点,恰当地选用与其相适应的流量计类型和规格,并严格执行有关天然气计量的标准,天然气计量完全可以达到应有的准确度要求。

2 天然气计量的标准

为了实时测准天然气流过输气管道某一横截面的流量、静压、热力学温度和天然气组分,中国石油天然气集团公司有关部门,先后编制了 GB/T 18603、SY/T6143、GB/T18604和 GB/T 11062、GB/T 17747、GB/T 13609和 GB/T13610等一系列天然气计量和组成分析、物性参数计算方法标准,为供需双方严格按标准贯彻实施提供了依据,确保天然气流量计量量值准确、可靠和统一,以达到准确计量天然气之目的。

2.1 GB/T18603《天然气计量系统技术要求》是确保计量准确可靠的准则^[3]

在流量测量中,人们逐渐认识到单一对流量计进行研究、改进和标准化,要提高流量计量的准确度是有限的。流量计前工艺管道布置、设备状况对流态的干扰往往大于流量计某一技术状况偏移对流量测量的影响。因此,天然气计量的准确度与流量计量系统的各个环节密切相关,必需从计量系统的设计、建设、验收、投产运行、维护、校准及检定等一系列工作中,系统地统筹考虑,从而更好地实现对天然气计量准确度的控制。国外近年来对天然气计量站

计量系统的设计、建设和使用制定了标准规定和要求。国际法制计量组织,流量计量技术委员会气体计量分会 OIML TC8/SC7 于 1997 年制定了《气体燃料计量系统》国际建议,并于 1998 年 10 月颁布了第 3 版;欧洲标准化组织,经过 20 多年的实验研究,于 1998 年发布了 EN1776 1998《供气系统·天然气计量站·功能要求》标准。这两个标准文献提出了天然气计量站计量系统的组成内容及辅助设备的具体技术要求,并按天然气计量站规模分级规定了系统配置要求。

为使天然气流量计量准确可靠,并为我国天然气计量标准与国际接轨,由国家质量检验检疫总局、中国石油天然气集团公司下达任务,参考 EN1776 标准,编制了 GB/T18603—2001《天然气计量系统技术要求》。

该标准共分十章六个附录,主要内容与 EN1776 1998 基本相同,规定了新建的天然气计量站计量系统的设计、建设、试运、验收、运行、维护、校准、检定及发热量测量的技术要求,同时对天然气体积流量、质量流量及能量流量的计算公式,对计量系统性能特征、流量计选型、二次仪表测试、档案和记录作出了基本的指导。

该标准适用于设计通过能力等于或大于 500 m³/h(标准参比条件下),工作压力不低于 0.1 MPa(表压)的天然气计量站的计量系统,输送的天然气气质应符合 GB17820 标准的要求。年输送量等于或小于 300 000 m³(标准参比条件下)可以不包括在本标准范围之内。

该标准的附录 A 表 A1 提供了不同流量规模的天然气计量站计量管路的设计准则,计量管路的计量系统准确度分为 A B C 三个等级,如表 1 所示。附录 A 表 A2 提供了不同准确度等级计量管路的计量系统,所要求配套仪表的准确度,如表 2 所示。

为了使新建和改建的天然气计量站规范化,使计量系统的设计、建设、投产运行和维护等各方面均符合统一的标准要求,须认真贯彻实施 GB/T 18603—2001《天然气计量系统技术要求》的各项规定。

计量站设计应确保满足在所规定的压力、温度和流量范围内正常工作,同时也应考虑气流中的杂质、灰尘和冷凝物对计量的影响。在工艺设计中须充分考虑和满足天然气计量的要求。

表 1 不同等级的计量系统

设计能力 $q_m/m^3 \cdot h$ (标准参比条件)	$q_m \geq 500$	$5\,000 \leq q_m \leq 50\,000$	$q_m \geq 50\,000$
1 用于测量的校验用系统 例如:串联标准流量计			
2 温度转换			
3 压力转换			
4 Z—转换			
5 发热量和气体质量的确定			
6 每一时间周期的流量记录			
7 密度测量(代替 2、3、4)			
准确度等级	C级(3.0)	B级(2.0)	A级(1.0)

注: 1. 规模较小的计量系统使用上述功能不受限制;
2. “√”建议配套内容。

表 2 计量系统配套仪表准确度

参数测量	计量系统准确度等级		
	A级(1.0)	B级(2.0)	C级(3.0)
温度/℃	0.5	0.5	1
压力	0.2%	0.5%	1.0%
密度	0.25%	0.75%	1.0%
压缩因子	0.25%	0.5%	0.5%
发热量*	0.5%	1.0%	1.0%
工作条件下体积流量	0.75%	1.0%	1.5%

注: * 当供用气双方用能量流量交接时需要配套的项目。

2.2 SY/T6143《用标准孔板流量计测量天然气流量》是流量测量的主要手段^[4]

在天然气工业生产,输配和销售中使用标准孔板流量计测量流量,目前仍占绝对多数。为了确保天然气计量准确可靠,必须在天然气流量测量中,设计、制造、安装、检验和使用等各个环节正确贯彻执行新修订的 SY/T6143—2004《用标准孔板流量计测量天然气流量》这一全国性的行业标准。

该标准是根据国标 ISO 5167《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》和 AGA N°3《天然气流体计量·同心直角边孔板流量计》的最新变化,采用 ISO 5167(2003 年版第 1、2 部分),参考 AGA N°3(2000 年版第 2 部分),修订 SY/T6143—1996《天然气流量的标准孔板计量方法》而成文。在编写格式上是按最新的 GB/T1.1—2000《标准化工作导则第 1 部分:标准的结构和编写规则》编写的,在内容和格式上与原标准均有较大差异。

针对新的 ISO5167 与 AGA N°3 报告的特点和要求,从标准先进性和适用性出发修订天然气孔板计量标准,主要考虑了两个原则:

a 采用国外最新试验研究成果,尽可能做到与国际先进标准接轨;

b 充分考虑天然气介质的特殊性 & 我国天然气计量长期实践的经验和做法。

由于我国是 ISO 及 OIML 的成员国,我国的计量标准原则上应向 ISO 有关标准靠拢或直接采用,然而目前单一引用 ISO 5167 或 AGA N°3 报告难于实现。ISO 5167 为通用标准,而 AGA N°3 报告为美国天然气孔板计量的专用标准。AGA N°3 报告(分四部分)标准化要求严格,编写格式与我国相关标准要求差异较大,所引用的是美国历史上的一些试验资料,对形位和尺寸公差及计算方法的处理很难,完全套用目前无法操作。考虑到标准修订既要吸收国外先进技术和经验,又要考虑国情及标准的连续性,同时还应考虑不能将国际上 ISO 5167 与 AGA N°3 报告的分歧引入国内。

在原天然气孔板计量标准 SY/T6143—1996 的基础上,对最新的 ISO 5167 标准与 AGA N°3 报告进行翻译、整理并分析;对我国主要天然气流量计量现场多年来实施 SY/T6143—1996 标准的实际情况进行调查研究,总结经验,做到执行标准的循序渐进性;通过对大量资料的收集和分析,在充分掌握第一手资料的基础上进行修订编制工作,同时了解 GB/T2624—93 的相关应用情况;结合我国天然气孔板计量的实际情况,非等效(或参考)采用 ISO 5167 标准与 AGA N°3 报告。主要处理办法是:

a 节流装置及一般要求以原 SY/T6143—1996 为基础,补充 ISO 5167—1、2 的最新技术要求;

b 安装要求采用 ISO 5167—1、2 的最新要求,同时参考 AGA N°3 报告;

c 操作条件下的天然气超压缩系数计算推荐使用我国标准 GB/T17747 对计量准确度要求不高的计量系统,可使用 AGA NX—19 方程;

d 流出系数公式采用 ISO 5167 的 ReaderHarrisesGallagher 公式即 API+ NEL 公式(新 RG 公式),并用法制计量单位推导天然气流量孔板计量的实用计算公式,公式形式采用 SY/T6143—1996 形式(即 AGA N°3 报告实用公式形式);

e 增加在线校准、流动调整器的技术规定及性能测试、天然气流量计算机系统基本技术要求等有关内容;

f为便于符号的统一,该标准符号在原 SY/T 6143—1996基础上略有变动。

该标准共分 9章 8个附录,规定了标准孔板的结构形式、技术要求;节流装置的取压方式、使用方法、安装和操作条件、检验要求;天然气标准参比条件下体积流量和能量流量、质量流量以及测量不确定度的计算方法。同时还给出了天然气主要物理参数确定和流量计算常用表、流动调整器性能测试、参数测量及讯号引线、节流装置在使用中出现部分偏离标准规定的处理、天然气孔板流量计计量系统的在线校准、天然气流量计算和设计计算实例、天然气流量计算和设计计算程序框图以及天然气流量计算机系统的基本技术要求等计算流量及其有关不确定度、计量系统等方面的必需资料。对用标准孔板流量计测量天然气流量的各方面进行了具体规定。

标准孔板流量计是国内外研究得最早、最细、试验数据最多、使用经验最丰富、标准化程度最高的流量测量手段。在天然气流量测量中,国内约占 90%,国外约占 60%。标准孔板流量计由标准孔板节流装置、信号引线和二次仪表组成,其标准孔板节流装置已经标准化,它是结构简单、制造加工和安装方便、使用和维护容易、组合灵活、应用广泛、可操作性强、价格低廉的流量测量仪表。标准孔板节流装置是标准孔板流量计的主体,当流体流过装置时应能正确、准确产生差压及相关参数信号,用配套的二次测量仪表正确、准确检测这些信号,然后通过标准文件规定的公式计算出流量来。当设计、制造、安装和使用完全符合 SY/T 6143—2004标准规定时,所得出的天然气流量测量不确定度不会超过按标准规定估算的流量测量不确定度,一般情况下不必单独标定。正因为这一优点而获得广泛应用。

2.3 GB/T 18604《用气体超声流量计测量天然气流量》是流量测量的新型仪表^[5]

长期以来,尽管孔板流量计在天然气流量测量中得到了广泛的应用,但存在着测量范围度小、准确度难以提高和压损大等缺点。随着人们对自然资源日益枯竭的关注,勘探、开发成本的提高,天然气价值和价格的不断提高,因此对流量计的要求也日益提高,特别是天然气流量计量一直是人们关心的主要课题。

随着压电声学技术的运用和流量电子处理技术的发展,为气体超声流量计的工业化开发及应用奠定了物质基础。近二十年来由于超声计量技术取得了关键技术领域的突破,由理论的研究步入了工业的应用阶段。

新型的气体超声流量计关键技术之一,是由于采用了多声道测量技术,能处理速度分布畸变及旋转流等不正常流动剖面的影响。依据不同使用场合的准确度要求,有单声道、双声道、三声道、四声道和五声道等。目前最多的已经做到六声道。但有文献报告多于四声道之后对改善准确度效果并不显著。超声流量计的主要性能及特点是:

a能实现双向流测量: $-30 \text{ m/s} \sim +30 \text{ m/s}$

b重复性很好: $\leq 5 \text{ mm/s}$

c流量计量无压损、节能效果极好;

d可准确测量脉动流流量;

e量程比很宽: 1:40/1:160

f对压力变化不敏感;

g前后直管段短,上游 10D 下游 5D 大口径减少占地面积;

h 换能器可以实现不停气更换,操作维护方便;

i多种声道及多种准确度选型,数字化输出技术,可提供 0.5% ~5.0%准确度等级产品;

j可作为理想的校准用标准流量计。

为配合气体超声流量计的工业应用,美国气体协会 AGA于 1998年批准出版了 AGA No. 9《用多声道气体超声流量计测量天然气流量》报告,实际上这是一个工业化产品的技术报告,为推荐的操作规程,在没有正式技术标准发布之前,可作为标准草案使用。与此同时,国际标准化组织 ISO也正在拟定气体超声流量计计量标准,1998年 12月发布了 ISO/TR 12765《用时间传播法超声流量计测量封闭管道内的流体流量》技术报告第一版。据悉近期通过了 CD文件,即标准草案。

我国流量界人士早就对气体超声流量计用于天然气流量测量有所预示,从理论上研究和收集的资料上分析,认为气体超声流量计用于测量天然气流量具有广阔的发展前景。“七五”期间,四川石油管理局根据总公司的安排,开设了“微机气体超声流量计”攻关课题(编号 75-53-02-006),其目的是要

研制一种适用于天然气流量测量新型的超声波节能流量仪表。研制的管径 $\varnothing 200 \sim \varnothing 400 \text{ mm}$, 流速 $2.5 \sim 25 \text{ m/s}$, 压力 $0.1 \sim 2.5 \text{ MPa}$, 比对准确度优于 $\pm 1\%$ (FS)。该课题历时近八年的研究, 通过了先后两次工业性现场试验, 一次工业性应用试验, 于 1990 年 2 月通过中国科学院技术成果鉴定。鉴定意见认为: 该流量测量系统在关键技术上有所突破, 设计先进、量程比大、可靠性好、抗干扰能力强、智能化系统完善、适用性强, 与孔板流量计比对结果达到国外同类仪表水平, 获得中科院颁发的科技成果一等奖。但是, 由于当时我国没有高压大流量的气体标准装置, 无法确定气体超声流量计的实际准确度 (即无法定标), 因此没有对它进一步研究, 没有形成产品和推广应用。

美国和荷兰的气体超声流量计生产厂家为了进入中国市场, 20 世纪 90 年代末荷兰的英斯卓美 (INSIROMET) 公司产品已获得中国计量部门的形式批准证书文件, 并已在西南油气田分公司天然气计量测试中心进行性能验证测试, 效果良好, 并进行了现场的运行性能试验和试用。随后美国丹尼尔 (DANIEL) 公司的超声流量计也进入中国市场, 我国各油、气田相继引进气体超声流量计产品, 如华北的地下储气库。大庆、中原等油气田已开始试用。为了解决流量计现场标定问题, 中国石油天然气股份公司西南油气田分公司天然气计量测试中心, 也购了车载式气体超声流量计作为标准校准用仪表。西南油气田分公司还引进了 10 台气体超声流量计试用于天然气外销口的贸易计量与标准孔板流量计串联比对。由于气体超声流量计的诸多优点, 目前设计建设的新疆输至上海的西气东输工程, 贸易计量的流量计口径为 DN250 以上的选为气体超声流量计。按我国计量部门的规定, 用于贸易计量的流量计应解决以下两个最基本的问题: 第一个问题需要解决配套的应用技术标准; 第二个问题需要解决配套的标准装置 (高压、大流量、大管径) 以便对工作流量计进行周期检定或仲裁检定。

鉴于此, 中国石油天然气集团公司质量与安全环保部请示国家质量检验检疫总局, 由国家质量检验检疫总局以质技标发 (2000) 101 号文下达给中国石油工程设计有限公司西南分公司要求编制《用气体超声流量计测量天然气流量》的应用技术标准。

同时为解决长输管道大口径高压流量计标定, 在南京建设高压、大流量、大管径的天然气流量标准装置。

编制《用气体超声流量计测量天然气流量》标准, 主要参考了美国 AGA No. 9 报告, 主要内容与其基本相同, 同时也参考了国际标准化组织 ISO/TR 12765 部分内容。由于 AGA No. 9 不是正式的标准, 而是一个推荐的操作规程, 根据我国对气体超声流量计的研究应用情况和有关标准要求, 该标准在 AGA No. 9 内容的基础上作了适当调整和增减, 并按 GB/T 1.1—1993 标准格式编写。

该标准共有十章正文三个标准的附录和三个提示的附录。其内容包括适用范围、引用标准、术语和符号、测量原理、工作条件、测量性能要求、安装要求、现场验证测试要求和流量计算方法及测量不确定度估算等主要内容, 同时给出了出厂测试要求、电子部件的检验测试、实流校准、具备的文件、上下游最短直管段长度要求和基本原理等方面必需资料。

应注意, 尽管气体超声流量计具有上述诸多优点, 但与其它流量计 (尤其是标准孔板流量计) 比较, 还显得年轻, 还需要走很长一段路。例如标准化问题、干标问题 (无需实流校准)、噪声干扰和其它影响因素等等, 需要对从实验室到现场的大量实验研究和使用经验进行分析总结, 在大量应用实践的基础上形成标准化的产品。

2.4 GB/T 11062、GB/T 17747 等是确保天然气物性参数准确一致的标准^[9]

GB/T 11062《天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》^[7] 对组成天然气组分 (几乎全部组分) 的摩尔质量和在流量计量中标准参比条件下的压缩因子、求和因子、理想摩尔发热量、理想质量发热量和理想体积发热量等用数据表给出, 同时给出了干空气的组成、在标准参比条件下的压缩因子、通用气体常数。对天然气的真实发热量、真实密度、真实相对密度和沃泊指数给出了具体的计算方法。

GB/T 17747《天然气压缩因子计算》^[8] 对天然气在各种不同操作条件下的压缩因子给出了具体的计算方法, 它分为三个部分: 第 1 部分为导论和总则, 第 2 部分是用摩尔组成分析结果计算天然气压

缩因子,第 3 部分是用物性测定结果计算天然气压缩因子。该标准等效采用 ISO/DIS12213—1994 标准编制的,对其计算公式、计算步骤、程序框图、例题等均作了规定,这样可用计算机编程,按相同的天然气组成或相同的天然气物性测量结果,在相同的操作条件下算出的压缩因子相同。

对于天然气组成分析、硫化氢分析、水分分析和密度测量,应首先获得具有代表性的天然气气样,因此天然气取样是非常重要的。因此,制订了 GB/T 13609《天然气取样导则》。该标准对现场取样的设备、流程、方法、操作等做出了具体规定,以确保取出具有代表性的天然气气样。

GB/T13610《天然气的组成分析气相色谱法》标准,对分析设备、分析方法、操作步骤和数据处理作了具体规定,以确保用气相色谱法分析的天然气组分正确和准确,不同的人 and 不同的气相色谱仪对同一气样分析出的组分在误差范围内一致。

由于在天然气取样、分析和物性参数计算均按统一的标准操作,以保证物性值的正确、准确和统一,进而就可确保天然气流量计算值的正确、准确和统一,达到流量计量在误差范围内的一致。

3 结语

随着天然气在能源结构中地位的不断上升,天

然气流量计量在销售和利用等方面都显得十分重要。天然气计量是生产企业和利用企业,在日常经营管理中一项最重要的技术基础工作。准确的计量可以适时地改进生产工艺、节约能源、降低成本、提高产品质量、确保安全生产、合理经营管理、提高经济效益和社会效益。因此,供需双方从事计量的工作者,在从事天然气计量的工作中应严格执行标准,克服倾向性计量,确保天然气计量量值的准确,以减少计量纠纷。

参考文献:

- [1] 中国石化集团公司经济技术研究院. EA 能源展望 [N]. 石油化工要闻, 2006—01—05
- [2] 中国石化集团公司经济技术研究院. 2005 年亚洲大型石化公司的经营状况 [N]. 石油化工要闻, 2006—04—06
- [3] GB/T18603—2001 天然气计量系统技术要求 [S].
- [4] SY/T6143—2004 用标准孔板流量计测量天然气流量 [S].
- [5] GB/T18604—2001 用气体超声流量计测量天然气流量 [S].
- [6] 唐 蒙. 天然气品质分类和天然气分析标准的比对研究 [M]. 成都: 四川石油管理局天然气研究院, 1999
- [7] GB/T11062—1998 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法 [S].
- [8] GB/T17747—1999 天然气压缩因子的计算方法 [S].