

引文: 任佳, 段继芹, 何敏. 天然气能量计量系统分级与不确定度评定 [J]. 天然气工业, 2022, 42(10): 115-122.

REN Jia, DUAN Jiqin, HE Min. Classification and uncertainty assessment of natural gas energy measurement system[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(10): 115-122.

天然气能量计量系统分级与不确定度评定

任 佳^{1,2,3} 段继芹^{1,2,3} 何 敏⁴

1. 国家石油天然气大流量计量站成都分站 2. 中国石油天然气质量控制和能量计量重点实验室
3. 中国石油西南油气田公司天然气研究院 4. 中国石油西南油气田公司

摘要: 在中国天然气管网即将推行能量计量方式的形势下, 天然气能量计量系统的合理建设和运行过程中合理评价天然气能量计量系统, 进而保障计量结果的准确可靠性已成为天然气贸易交接各相关方关注的焦点。为了科学合理建设和评价天然气能量计量系统, 对比分析了国内外相关天然气计量技术标准和规范, 结合国家石油天然气大流量计量站成都分站 (以下简称成都分站) 流量计检定数据和国内外实施实例, 以天然气贸易计量交接中 A 级计量系统为例, 进行了天然气能量计量系统最大允许误差和测量不确定度分析并提出了相关建议。研究结果表明: ①按照流量大小、最大允许误差进行中国天然气能量计量系统设计和建设的分级和配置具有可操作性; ②天然气能量计量系统设计建设时按照 GB/T 18603 进行配置, 虽然系统最大允许误差能够达到 A 级要求, 但在运行中需要控制不确定度带来的计量风险, 加强标准的执行宣贯和现场计量管理; ③国内相关标准和规范在计量系统分类、流量和发热量测量不确定度评定方面需要协调一致。结论认为, 通过对标分析和不确定度研究, 提出了中国天然气能量计量系统需要在天然气流量值溯源、标准制修订和计量管理等方面持续改进的建议。上述认识为中国下步实施天然气能量计量时计量系统设计建设和实际运行的性能评价提供了有益参考。

关键词: 天然气; 能量计量; 贸易计量; 计量系统; 分级; 最大允许误差; 测量不确定度; 技术标准

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2022.10.011

Classification and uncertainty assessment of natural gas energy measurement system

REN Jia^{1,2,3}, DUAN Jiqin^{1,2,3}, HE Min⁴

(1. Chengdu Verification Branch, National Oil and Gas Large Flowrate Measurement Station, Chengdu, Sichuan 610051, China; 2. CNPC Key Laboratory of Natural Gas Quality Control and Energy Measurement, Chengdu, Sichuan 610051, China; 3. Research Institute of Natural Gas Technology, PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan 610051, China; 4. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan 610051, China)

Natural Gas Industry, Vol.42, No.10, p.115-122, 10/25/2022. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Under the situation that energy measurement will be soon implemented in China's natural gas pipeline network, to reasonably construct a natural gas energy measurement system and reasonably evaluate the natural gas energy measurement system in the process of its operation so as to ensure the accuracy and reliability of the measurement results has already become the focus of the relevant parties of natural gas custody transfer. In order to construct and evaluate the natural gas energy measurement system scientifically and reasonably, this paper comparatively analyzes domestic and foreign technical standards and norms related to natural gas metering. Then, based on the flowmeter verification data acquired at Chengdu Verification Branch of National Oil and Gas Large Flowrate Measurement Station as well as domestic and foreign cases, the maximum permissible error and measurement uncertainty of natural gas energy measurement system are analyzed by taking the Class A measurement system of natural gas trade transfer as an example. Finally, some suggestions are proposed. And the following research results are obtained. First, it is feasible to classify and configure the design and construction of China's natural gas energy measurement system according to flow rate and maximum permissible error. Second, the natural gas energy measurement system is configured in accordance with GB/T 18603 during its design and construction, and its maximum permissible error can meet the requirement of Class A, but during its operation, it is necessary to control the metering risks caused by uncertainty and strengthen standard implementation and publicity and on-site metering management. Third, domestic related standards and norms shall be consistent in measurement system classification, flow rate and calorific measurement uncertainty assessment. In conclusion, based on benchmarking analysis and uncertainty study, it is suggested to improve China's natural gas energy measurement system continuously from the aspects of natural gas flow rate traceability, standard formulation & revision and metering management. The research results provide a useful reference for the design, construction and operation performance evaluation of energy measurement system operated in near future in China.

Keywords: Natural gas; Energy measurement; Trade metering; Measurement system; Classification; Maximum permissible error; Measurement uncertainty; Technical standard

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科研课题“天然气流量计量技术研究”(编号: 2021DJ2903)。

作者简介: 任佳, 1974 年生, 高级工程师; 主要从事天然气流量计量技术研究工作。地址: (610213) 四川省成都市天府新区华阳天
府路 218 号。ORCID: 0000-0002-1974-5702。E-mail: renjia@petrochina.com.cn

0 引言

欧美工业发达国家自 20 世纪 80 年代就实施天然气能量计量。随着中国天然气工业的快速发展^[1-2]，“十二五”以来，以中石油为代表的国内能源公司以及法定计量技术机构相继开展了大量的天然气能量计量技术和标准体系研究工作^[3-10]，截至“十三五”末已基本具备能量计量技术条件，并形成了以 GB/T 18603—2014《天然气计量系统技术要求》^[11]（以下简称 GB/T 18603）、GB/T 22723—2008《天然气能量的测定》^[12]（以下简称 GB/T 22723）和 GB/T 35186—2017《天然气计量系统性能评价》^[13]（以下简称 GB/T 35186）为核心的天然气能量计量标准体系，为天然气作为燃料实施能量计量更能体现优质、优价的商品价值奠定了重要的基础条件。

2019 年 5 月，国家发展与改革委员会同国家能源局、住房城乡建设部、市场监管总局发布了《油气管网设施公平开放监管办法》，该管理办法第十三条中明确提出国家推行天然气能量计量计价，并要求本办法施行之日起 24 个月内建立天然气能量计量计价体系。为此，国家质量监管总局也组织起草了国家计量技术规范《天然气能量计量技术规范》。

随着国内天然气贸易量的稳定增长，据预测，

“十四五”期间中国天然气年表观消费量将达到 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[14]。因此，天然气能量计量系统的合理建设和运行过程中合理评价天然气能量计量系统，保障计量结果的准确可靠成为天然气贸易交接各相关方关注的焦点。笔者结合国家计量技术规范和国家标准的相关要求，对国内外天然气能量计量系统技术要求的相关标准差异和测量不确定度评定进行了分析，提出了中国天然气能量计量系统相关标准修订建议，为下步实施天然气能量计量系统设计建设和运行提供借鉴。

1 国内外相关标准对比分析

1.1 天然气计量系统分级

目前国内外主要有国际建议 OIML R140:2007《燃气计量系统》^[15]（以下简称 OIML R140）、中国国家标准 GB/T 18603、《天然气能量计量技术规范》和欧盟标准 EN 1776:2015《燃气基础设施 燃气计量系统 功能要求》^[16]（以下简称 EN 1776）给出了天然气能量计量系统分级，对这 4 个标准和规范的现行有效版本中相关内容进行对比分析，结果如表 1 所示。

表 1 国内外标准规范中天然气计量系统分级要求对比分析表

项目	GB/T 18603 和 OIML R140	《天然气能量计量技术规范》	EN 1776
分级依据	每小时的标况体积流量	计量系统的最大允许误差	测量不确定度
分级情况	A 级： $q_v \geq 100\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ A 级或 B 级： $10\,000 \text{ m}^3/\text{h} \leq q_v < 100\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ B 级： $1\,000 \text{ m}^3/\text{h} \leq q_v < 10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大允许误差为 $\pm 2.0\%$ C 级： $q_v < 1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大允许误差为 $\pm 3.0\%$	A 级：最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ B 级：最大允许误差为 $\pm 2.0\%$ C 级：最大允许误差为 $\pm 3.0\%$ D 级：最大允许误差为 $\pm 5.0\%$	A 级：测量不确定度 $\leq 1.2\%$ B 级：测量不确定度介于 $1.2\% \sim 2.5\%$ C 级：测量不确定度介于 $2.5\% \sim 3.5\%$ D 级：测量不确定度介于 $3.5\% \sim 8.0\%$
备注	—	按计量系统实际运行的最大允许误差评定级别	贸易交接双方协商确定等级

注： q_v 表示标准参比条件下体积流量。

从表 1 的对比分析，结合欧美发达国家的实际实施情况^[17-18]及国内现状^[19-21]，可以得出以下结论：

1) GB/T 18603 规定了新建和改扩建天然气计量站贸易计量系统的设计、建设、投产运行、维护、停运方面的技术要求。其天然气计量系统分级要求和 OIML R140 一致，按照天然气计量系统的输气量（小时标况流量）提出 A、B、C 这 3 个等级的分级，与欧洲一些大型天然气管输公司按照标准体积流量进行天然气计量系统分级设计和建设类似，符合实际需求。

2) 《天然气能量计量技术规范》规定了用于贸易计量的天然气能量计量系统的评价、天然气能量计量结果的核验及其等级的评定方法，根据计量结果的最大允许误差来判定计量系统的级别。

3) EN 1776 按照实际运行中的计费周期内能量测量不确定度进行计量系统的分级，计量系统设计、建设、运行和维护中的详细技术要求由贸易交接合同双方通过合同约定，如果合同中没有相关详细技术要求，则按照 EN 1776 以及其他配套标准执行。

1.2 计量仪表配置要求

目前国内外标准中，GB/T 18603 和 OIML R140 给出了不同等级的天然气计量系统配套计量仪表的最大允许误差要求(表 2)。各个参数的要求比较明确，其中，在 OIML R140 明确了工况流量的最大允许误差不仅包括流量计本体的最大允许误差，还包括现场安装条件下流态的影响、检定（校准）压力及温度与实际使用时压力及温度不同带来的影响。因此，

可以理解为 A 级计量系统应配备准确度等级 0.5 级的流量计才能更好地满足 A 级计量系统的要求。同时，标准中给出的是最低要求，这两点应该在正在修订中的 GB/T 18603 中明确。EN 1776 中并未给出不同等级的天然气计量系统配套计量仪表的最大允许误差要求，但对计量系统配置提出了不同等级计量系统的最低技术要求。3 个标准对于计量仪表配置的要求对比分析如表 2 所示。

表 2 国内外标准中不同等级天然气计量系统仪表配置及最大允许误差要求表

参数	GB/T 18603 和 OIML R140			EN 1776		
	A 级计量系统配置要求	B 级计量系统配置要求	C 级计量系统配置要求	A 级计量系统配置要求	B 级计量系统配置要求	C 级或 D 级计量系统配置要求
工况体积流量	应配置测量仪表，流量计应进行误差修正，并配置一对一核查。最大允许误差为 ±0.7%	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±1.2%	应配置测量仪表，最大允许误差不大于 ±1.5%	应配置测量仪表，且应进行误差修正	应配置测量仪表，且应进行误差修正	应配置测量仪表，且应进行误差修正
发热量	在线测定，最大允许误差 ±0.5%。当计量周期内发热量变化小，可采用离线或赋值方法，最大允许误差为 ±0.6%	离线或赋值，最大允许误差为 ±1.25%。如采用在线测定，最大允许误差为 ±1.0%	离线或赋值，最大允许误差为 ±2.0%。如采用在线测定，最大允许误差为 ±1.0%	在线测定发热量	可在线连续取样、在线周期取样、远程赋值、文件化的公告发热量	文件化的公告发热量，并取结算周期内的平均值
压力	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±0.2%	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±0.5%	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±1.0%	应配置压力测量仪表		
温度	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±0.5℃	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±0.5℃	应配置测量仪表，最大允许误差为 ±1.0℃	应配置温度测量仪表		
密度	可配置密度测量仪表，代替压力和温度测量以及压缩因子计算。最大允许误差为 ±0.35%	可配置密度测量仪表，代替压力和温度测量以及压缩因子计算。最大允许误差为 ±0.7%	可配置密度测量仪表，代替压力和温度测量以及压缩因子计算。最大允许误差为 ±1.0%	可配置密度测量仪表，代替压力、温度测量，以及压缩因子计算		
压缩因子	应采用在线组成计算压缩因子，最大允许误差为 ±0.3%		可采用固定组成在线计算也可采用固定值，最大允许误差为 ±0.5%	应采用在线组成计算压缩因子	可采用固定组成在线计算压缩因子也可采用固定值	采用固定值

2 国内外标准 A 级天然气能量计量系统测量不确定度计算对比分析

目前国内外有 GB/T 35186、《天然气能量计量技术规范》和 EN 1776 给出了天然气能量计量系统测量不确定度评定方法和示例。以体积流量为例给出计算方法如下：

$$u_r(E) = u_r(E_m) = \sqrt{u_r^2(q_n) + u_r^2(H)} \tag{1}$$
$$u_r(q_n) = \sqrt{u_r^2(q_f) + u_r^2(p_f) + u_r^2(T_f) + u_r^2(Z_f) + u_r^2(Z_n)} \tag{2}$$

$$U_r(E) = k \cdot u_r(E) \tag{3}$$

式中 $u_r(E)$ 表示天然气能量的相对标准不确定度； $u_r(E_m)$ 表示贸易计量周期内各时段天然气能量的相对标准不确定度； $u_r(q_n)$ 表示标准参比条件下天然气体积流量的相对标准不确定度； $u_r(H)$ 表示天然气单位体积发热量的相对标准不确定度； $u_r(q_f)$ 表示操作条件下的体积流量测量标准不确定度； $u_r(p_f)$ 表示操作条件下的绝对静压测量标准不确定度； $u_r(T_f)$ 表示操作条件下的热力学温度测量标准不确定度； $u_r(Z_n)$ 表示标准参比条件下压缩因子的标准不确定度； $u_r(Z_f)$

表示操作条件下压缩因子的标准不确定度； $u_r(E)$ 表示天然气能量的相对扩展不确定度； k 表示包含因子，通常取值为 2。

采用以上 3 个标准规范中给出的计算方法和示

例数据，参考国内天然气能量计量系统不确定度评定相关文献^[22-24]，以 A 级计量系统为例，采用体积流量测量的计量系统能量不确定度计算结果如表 3 所示。

表 3 国内外标准规范中 A 级天然气能量计量系统测量不确定度计算对比分析表

不确定度分量	《天然气能量计量技术规范》		GB/T 35186		EN 1776	
	计算结果	计算说明	计算结果	计算说明	计算结果	计算说明
$u_r(Z_n)$	0.03%	依据 GB/T 11062 ^[25]	0.03%	依据 GB/T 11062	0.18%	按照比值计算，取值 0.05%
$u_r(Z_f)$	0.05%	按照 GB/T 17747 ^[26] 计算	0.05%	按照 GB/T 17747 计算	0.18%	按照比值计算，取值 0.05%
$u_r(T_f)$	0.10%	最大允许误差：±0.5℃	0.07%	A 级站通常采用 0.2℃ 一体化智能温度变送器	0.18%	标准不确定度 0.23℃，测量值 285.35 K
$u_r(p_f)$	0.20%	最大允许误差：±0.2%，根据量程和实测压力计算	0.25%	A 级站通常采用 0.1% 智能绝压变送器，按照满量程 10 MPa、实际使用压力 4 MPa 计算	0.18%	标准不确定度 0.085 5 kPa，测量值 61 kPa
$u_r(q_f)$	0.58%	最大允许误差：±1.0%，均匀分布	0.28%	按照检定校准结果的不确定度与重复性合成	0.15%	校准不确定度 0.1%，周期偏移 0.05%
$u_r(q_n)$	0.62%	—	0.38%	—	0.24%	—
$u_r(H)$	0.18%	依据 GB/T 11062，按照二级标准物质、甲烷差减法计算	0.10%	依据 GB/T 11062，按照二级标准物质、甲烷差减法计算	0.20%	标准中未给出详细计算方法
$U_r(E)$	1.29%	—	0.79%	—	0.62%	—

根据表 3 中的计算结果，可以得到以下结论：

1) 国内外技术标准和规范在测量不确定度评定的相同点包括：能量合成方法、压缩因子标准不确定度计算方法相同，时间测量不确定度可以忽略；

2) 国内外技术标准和规范在测量不确定度评定方面存在不同点：①《天然气能量计量技术规范》示例中采用 1.0 级流量计最大允许误差计算体积量标准不确定度；GB/T 35186 和 EN 1776 均按照流量计检定或校准证书给出的不确定度计算体积量标准不确定度。EN 1776 还考虑了流量计、压力温度测量仪表

的周期偏移（如：流量计 4～6 年为周期校准结果最大偏移限 0.3%；压力周期校准结果偏移限 0.15%；温度仪表周期校准结果偏移限 0.2 K），较为合理。依据成都分站开展的周期检定偏移量统计分析（图 1），流量计周期偏移带来的影响不容忽略。②《天然气能量计量技术规范》示例中采用二级标物、甲烷由差减法计算，合成压缩因子影响得到天然气发热量标准不确定度；GB/T 35186 采用二级标物、甲烷由差减法计算，合成压缩因子影响得到天然气发热量标准不确定度。但《天然气能量计量技术规范》按照在

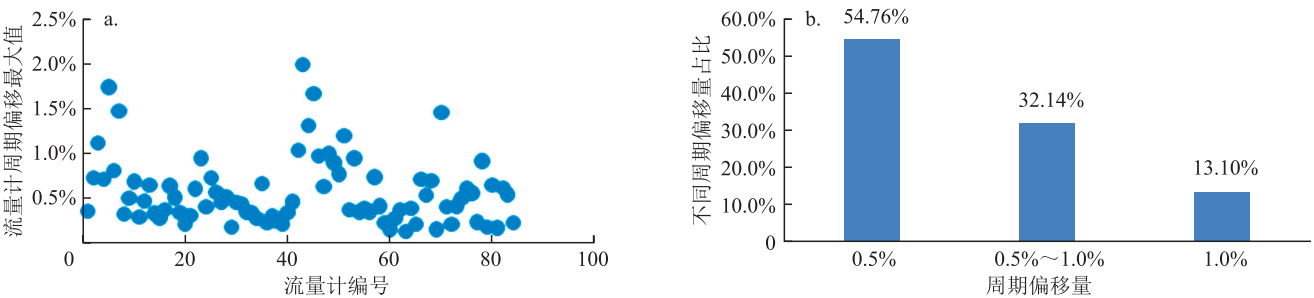


图 1 DN200 mm 及以上周检流量计周期偏移量统计分析图（成都分站 2020 年）

线气相色谱计量检定规程中相对标准偏差要求进行计算,因此计算结果大 1 倍左右。③针对 A 级计量系统,《天然气能量计量技术规范》与 EN 1776 的发热量测量不确定度计算结果较为接近。EN 1776 强调了在线发热量测定设备的期间核查。

3 天然气能量计量系统达到 A 级的可行性和测量不确定度评定示例

3.1 天然气能量计量系统等级评定原则

根据《天然气能量计量技术规范》,按照测量不确定度小于最大允许误差的原则,进行天然气能量计量系统等级评定。

3.2 符合 GB/T 18603 中 A 级站配置要求的能量计量系统测量不确定度评定示例

为分析中国天然气能量计量系统测量不确定度评定结果达到 A 级的可行性,结合目前天然气贸易计量系统仪表的实际和流量计检定数据统计分析结果,依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》^[27],按照以下 3 种情况对输气量达到 A 级的计量系统进行测量不确定度评定示例如下。

3.2.1 示例一

流量计用不确定度 0.33% 的计量标准校准,假设流量计周期偏移达到准确度等级 1.0 级要求,压力和温度测量仪表满足 GB/T 18603 给出的最低要求,能量计量系统测量不确定度计算见表 4。

表 4 天然气能量计量系统测量不确定度评定表(示例一)								
不确定度分量	$u_r(Z_n)$	$u_r(Z_f)$	$u_r(T_f)$	$u_r(p_f)$	$u_r(q_f)$	$u_r(q_n)$	$u_r(H)$	$U_r(E)$
评定结果	0.03%	0.05%	0.19%	0.26%	0.64%	0.71%	0.23%	1.50%
计算说明	依据 GB/T 11062	依据 GB/T 17747	依据 GB/T 35186 方法,根据 GB/T 18603 的配置要求,采用 0.5℃ 一体化智能温度变送器;同时根据 EN 1776 考虑周期偏移 0.5℃	依据 GB/T 35186 方法,根据 GB/T 18603 的配置要求,采用 0.2% 智能绝压变送器,按照满量程 10 MPa、实际使用压力 4 MPa 计算;同时根据 EN 1776 考虑周期偏移 0.2%	依据 GB/T 35186 方法,流量计校准不确定度 0.36% ($k=2$),重复性 0.2%。考虑 1.0 级流量计周期偏移 1.0% (均匀分布)	—	依据《天然气能量计量技术规范》的方法,采用二级标物,并依据 EN 1776 进行气相色谱仪每天校准和定期期间核查	—

3.2.2 示例二

当流量计用不确定度 0.25% 的计量标准(目前国内高水平天然气工作标准装置不确定度为 0.16%~0.25%)校准,假设流量计周期偏移达到准确

度等级 0.5 级要求,工况体积流量和发热量不确定度计算方法分别采用 GB/T 35186 和《天然气能量计量技术规范》,压力和温度测量仪表满足 GB/T 18603 给出的最低要求,能量计量系统测量不确定度计算如表 5 所示。

表 5 天然气能量计量系统测量不确定度评定表(示例二)								
不确定度分量	$u_r(Z_n)$	$u_r(Z_f)$	$u_r(T_f)$	$u_r(p_f)$	$u_r(q_f)$	$u_r(q_n)$	$u_r(H)$	$U_r(E)$
评定结果	0.03%	0.05%	0.19%	0.26%	0.37%	0.49%	0.23%	1.09%
计算说明	依据 GB/T 11062	依据 GB/T 17747	依据 GB/T 35186 方法,根据 GB/T 18603 的配置要求,采用 0.5℃ 一体化智能温度变送器;同时根据 EN 1776 考虑周期偏移 0.5℃	依据 GB/T 35186 方法,根据 GB/T 18603 的配置要求,采用 0.2% 智能绝压变送器,按照满量程 10 MPa、实际使用压力 4 MPa 计算;同时根据 EN 1776 考虑周期偏移 0.2%	依据 GB/T 35186 方法,流量计校准不确定度 0.26% ($k=2$),重复性 0.1%;同时考虑 0.5 级流量计周期偏移 0.5% (均匀分布)	—	依据《天然气能量计量技术规范》的方法,采用二级标物,并依据 EN 1776 进行气相色谱仪每天校准和定期期间核查	—

3.2.3 示例三

当流量计用不确定度 0.16% 的计量标准校准,

假设流量计周期偏移达到准确度等级 0.5 级要求,工况体积流量和发热量不确定度计算方法分别采用

GB/T 35186 和《天然气能量计量技术规范》，压力和温度测量仪表的配置根据目前国内长输管网实际使

用的技术参数（高于 GB/T 18603 给出的最低要求），能量计量系统测量不确定度计算见表 6。

表 6 天然气能量计量系统测量不确定度评定表（示例三）

不确定度分量	$u_r(Z_n)$	$u_r(Z_f)$	$u_r(T_f)$	$u_r(p_f)$	$u_r(q_f)$	$u_r(q_n)$	$u_r(H)$	$U_r(E)$
评定结果	0.03%	0.05%	0.08%	0.19%	0.32%	0.39%	0.23%	0.91%
计算说明	依据 GB/T 11062	依据 GB/T 17747	依据 GB/T 35186 方法，国内 A 级站通常采用最大允许误差 0.2℃ 一体化智能温度变送器；周期偏移 0.2℃	依据 GB/T 35186 方法，国内 A 级站通常采用最大允许误差 0.075% 智能绝压变送器，按照满量程 10 MPa、实际使用压力 4 MPa 计算；周期偏移 0.1%	依据 GB/T 35186 方法，校准不确定度 0.22%（ $k=2$ ），重复性 0.1%，周期偏移 0.5%（均匀分布）	—	《天然气能量计量技术规范》方法，采用二级标准物，并依据 EN 1776 进行气相色谱仪每天校准和定期期间核查	—

从表 4、5 的计算结果可以得到以下结论：

采用国内较为常用的二级标准物质用于天然气组成分析，若先用 1.0 级流量计，向不确定度 0.33% 左右的计量标准装置溯源，考虑使用过程中周期偏移、计量器具按照 GB/T 18603 规定的最低配置时，能量测量不确定度不能达到 1.0%（ $k=2$ ）。

采用国内较为常用的二级标准物质用于天然气组成分析，若先用 0.5 级流量计，向不确定度优于 0.25% 的计量标准装置溯源，考虑使用过程中周期偏移、计量器具按照较高技术参数配置时，同时在线色谱需定期核查，能量测量不确定度能够达到 1.0%（ $k=2$ ）。

要保证 A 级计量系统运行期间测量不确定度不超过最大允许误差，计量器具的稳定性和期间核查非常重要。

3.3 中国 A 级计量系统用流量计检定（校准）能力分析

从表 4～6 的分析可以看出，用于流量计量值

溯源的计量标准装置技术水平对流量计用于现场的测量不确定度具有较为重要的影响。全国目前已建、在建和筹建的天然气实流检定站共有 14 个^[28]。其中：中石油建有 4 个天然气实流检定机构（榆林在建）；中国石油天然气管网集团有限公司建有 6 个天然气实流检定机构（沈阳、贵阳 2 个在建）、2 个检定点；地方政府或省级燃气建有 3 个天然气实流检定机构（其中内蒙古自治区正筹建）与 1 个检定点。中国现有天然气实流检定（校准）站点中，具备 0.5 级流量计检定能力的站点见表 7。

从表 7 可以看出，目前中国仅有 3 个天然气实流检定站具备 0.5 级流量计的检定能力，下步全面实施能量计量后对于 0.5 级流量计的检定需求将会显著提升，这也说明中国天然气计量标准装置还需要进一步提高技术能力与水平，并逐步推进量值统一。同时，推进 GB/T 32201—2015《气体流量计》^[29]在天然气流量计型式评价中的指导作用。

表 7 国内现有准确度等级 0.5 级流量计天然气实流检定能力统计表

机构名称	流量标准名称	工作压力范围 / MPa	流量范围 / (m ³ ·h ⁻¹)	扩展不确定度 (k=2)	被检 0.5 级流量计公称通径 /mm
成都分站	音速喷嘴法次级标准	0.4～6.0	5～5 115	0.16～0.19	≤ DN400
南京分站	音速喷嘴法次级标准	6.0～7.0	8～3 160	0.16	≤ DN300
武汉分站	涡轮标准表法工作标准 (按压力和流量分为 2 套)	4.5～9.5	20～1 600	0.13	≤ DN200
		4.5～9.5	80～9 600	0.16	≤ DN500

4 结论和建议

4.1 结论

通过对中国技术标准和规范对天然气能量计量

系统分级和技术要求的对比分析，结合国外工业发达国家标准和实际运行、国内多年以来的运行经验，可得到以下结论：

1) GB/T 18603 主要参考 OIML R140，按照流

量大小分级可对能量计量系统的设计建设起到较好的指导作用，这也是欧洲工业发达国家大型管输公司采用的方式。

2) 应区别对待最大允许误差和测量不确定度要求，针对中国的情况，可将 GB/T 18603 作为能量计量系统设计时选型最低要求，按照《天然气能量计量技术规范》和 GB/T 35186 进行测量不确定度评定，作为系统建成初期和运行中的计量性能评估、监控。

3) 天然气能量计量系统设计建设时按照 GB/T 18603 进行配置和选型，虽然系统最大允许误差能够达到 A 级要求，但在运行中需要控制不确定度带来的计量风险，加强标准的执行宣贯和现场计量管理是非常重要的。

4) 目前 GB/T 18603 给出的工况体积量的最大允许误差不仅包括流量计本体，还包括检定/校准和实际运行时的压力、温度和流态变化等因素的影响。因此 A 级能量计量系统采用 0.5 级流量计，并配置核查流量计，是降低测量不确定度的重要保障。

4.2 建议

天然气能量计量不确定度主要由体积/质量不确定度和发热量不确定度组成，前者主要包括流量、压力和温度测量不确定度，后者主要包括标准物质和组成分析仪器的不确定度。因此，保证天然气能量计量系统的设计建设和实际运行能够真正满足预期的计量性能要求，需要在天然气流量值溯源、标准制修订和计量管理等方面持续改进。

在流量值溯源体系方面，持续改进提升榆林、塔里木、乌鲁木齐、沈阳、贵阳、广州分站音速喷嘴标准装置能力，具备开展 0.5 级流量计检定，使涡轮工作标准优于 0.25%；同时，定期开展量值比对，实现量值统一。

在标准制修订方面，GB/T 18603、GB/T 22723、GB/T 35186 等标准制修订时，与《天然气能量计量技术规范》在计量系统分类、流量和发热量测量不确定度评定方面协调一致；修订 GB/T 18603 时，结合 OIML R140 在计量系统最大允许误差计算、最大允许误差与测量不确定度关系等方面进行补充完善；完善 GB/T 35186 不确定度评定方法，如：考虑仪表检定（校准）期间稳定性等。

在计量管理方面，对于大型天然气能量计量系统，需加强流量、压力温度变送器和在线色谱分析仪、标准物质的实时核查或周期核查；加强流量计尤其是准确度等级 0.5 级流量计的型式评价技术要求和管

理；依据市场监管总局下达的《关于加强标准物质建设和管理的指导意见》及后续出台与标准物质相关的标准，加强气体标准物定值可靠性、气体标准物质生产商监管，并应用大数据、物联网技术提升现场计量管理水平，为智慧监管提供支撑等。

参 考 文 献

- [1] 李鹭光. 中国天然气工业发展回顾与前景展望[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 1-11.
LI Luguang. Development of natural gas industry in China: Review and prospect[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 1-11.
- [2] 周淑慧, 王军, 梁严. 碳中和背景下中国“十四五”天然气行业发展[J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 171-182.
ZHOU Shuhui, WANG Jun, LIANG Yan. Development of China's natural gas industry during the 14th Five-Year Plan in the background of carbon neutrality[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(2): 171-182.
- [3] 黄维和, 段继芹, 常宏岗, 等. 中国天然气能量计量体系建设探讨[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 186-193.
HUANG Weihe, DUAN Jiqin, CHANG Honggang, et al. Construction of natural gas energy-metering system in China: A discussion[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 186-193.
- [4] 常宏岗, 段继芹. 中国天然气计量技术及展望[J]. 天然气工业, 2020, 40(1): 110-118.
CHANG Honggang, DUAN Jiqin. Natural gas measurement technology system and its prospect in China[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(1): 110-118.
- [5] 刘丁发, 段继芹, 张强, 等. SY/T 6658—2006《用旋进旋涡流量计测量天然气流量》修订建议[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(2): 93-97.
LIU Dingfa, DUAN Jiqin, ZHANG Qiang, et al. Suggestions on the revision of SY/T 6658-2006 measurement of natural gas flow by vortex precession flowmeter[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2020, 49(1): 93-97.
- [6] 曾文平, 常宏岗, 罗勤, 等. 中俄东线天然气管道天然气质量分析与计量技术[J]. 天然气工业, 2020, 40(10): 111-119.
ZENG Wenping, CHANG Honggang, LUO Qin, et al. Quality analysis and flow measurement technologies for natural gas of the China-Russian Eastern Gas Pipeline[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(10): 111-119.
- [7] 曾文平, 王伟杰, 王晓琴, 等. 天然气中 C_6^+ 组成不同定量方式对发热量计算结果的影响[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(4): 95-100.
ZENG Wenping, WANG Weijie, WANG Xiaoqin, et al. Effect of different quantitative methods of C_6^+ composition in natural gas on the result of the calorific value[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2020, 49(4): 95-100.
- [8] 陆美彤, 毛平平, 赵仕浩, 等. 中俄东线天然气管道黑河首站计量系统管汇偏流分析[J]. 天然气工业, 2020, 40(10): 133-138.
LU Meitong, MAO Pingping, ZHAO Shihao, et al. Analysis on the bias current in the manifold of measurement system at the Heihe initial station of China-Russian Eastern Gas Pipeline[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(10): 133-138.
- [9] 唐平, 陈康良. 两种方法测定总硫含量结果的不确定度评定

- [J]. 石油与天然气化工, 2021, 50(1): 114-118.
TANG Ping, CHEN Gengliang. Uncertainty evaluation of total sulfur content determination results by two methods[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2021, 50(1): 114-118.
- [10] 周理, 王伟杰, 邢鹏飞, 等. 天然气总硫在线分析标准化研究[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(4): 83-89.
ZHOU Li, WANG Weijie, XING Pengfei, et al. Research on standardization of on-line analysis of total sulfur in natural gas[J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2020, 49(4): 83-89.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气计量系统技术要求: GB/T 18603—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC & Standardization Administration of the PRC. Technical requirements of measuring systems for natural gas: GB/T 18603-2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气能量的测定: GB/T 22723—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC & Standardization Administration of the PRC. Energy determination for natural gas: GB/T 22723-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气计量系统性能评价: GB/T 35186—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC & Standardization Administration of the PRC. Performance evaluation of measuring system for natural gas: GB/T 35186-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [14] 甄仟. 典型国家天然气消费结构分解与中国消费预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
ZHEN Qian. Decomposition of natural gas consumption structure in typical countries and China's consumption forecast[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- [15] Organisation Internationale de Metrologie Legale. Measuring systems for gaseous fuel: OIML R 140: 2007[S]. Paris: OIML, 2007.
- [16] Comite Europeen de Normalisation. Gas infrastructure-gas measuring systems-functional requirements: EN 1776: 2015[S]. Brussels: CEN, 2015.
- [17] MICKAN B. Requirements for gas metering systems in transport networks of Germany to achieve best balances[R]. Chengdu: Natural Gas Research Institute of PetroChina Southwest Oil & Gas field Company, 2018.
- [18] Anon. Guideline for the construction and operation of gas pressure regulating and measuring plants[EB/OL]. [2018-10-01]. https://www.gascade.de/fileadmin/downloads/netzanschluss/180801/01_Netzanschlussrichtlinie_2018_10_01.pdf.
- [19] 苏荣跃, 冉莉, 肖鹰, 等. 天然气能量计量及实施方案探讨[J]. 中国计量, 2003(11): 19-20.
SU Rongyue, RAN Li, XIAO Ying, et al. Discussion of natural gas energy measurement and implementation plan[J]. China Metrology, 2003(11): 19-20.
- [20] 常宏岗, 罗勤, 陈庚良. 天然气气质管理与能量计量[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 232-238.
CHANG Honggang, LUO Qin, CHEN Gengliang. The management of natural gas quality and energy measurement[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 232-238.
- [21] 王保群, 迟健飞, 王保登, 等. 浅析我国天然气能量计量必要性与可行性[J]. 石油规划设计, 2017, 28(5): 1-4.
WANG Baoqun, CHI Jianfei, WANG Baodeng, et al. Preliminary discussion on necessity and practicability of natural gas energy measurement in China[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2017, 28(5): 1-4.
- [22] 陈庚良. 对天然气能量计量溯源性的若干认识[J]. 石油与天然气化工, 2007, 36(2): 162-168.
CHEN Gengliang. An understanding of the traceability for natural gas energy measurement[J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2007, 36(2): 162-168.
- [23] 韩玲莉, 张福元. 天然气能量计量不确定度评定方法[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(2): 131-135.
HAN Lingli, ZHANG Fuyuan. Method for energy measuring uncertainty of natural gas[J]. Journal of China Jiliang University, 2012, 23(2): 131-135.
- [24] 郭珍, 冯春辉, 刘新华, 等. 浅谈天然气计量系统不确定度评定[J]. 中国计量, 2014(2): 96-98.
GUO Zhen, FENG Chunhui, LIU Xinhua, et al. Preliminary discussion of uncertainty of natural gas energy measurement system[J]. China Metrology, 2014(2): 96-98.
- [25] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法: GB/T 11062—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation & Standardization Administration of the PRC. Natural gas—calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition: GB/T 11062-2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气压缩因子的计算 第1部分: 导论和指南: GB/T 17747.1—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC & Standardization Administration of the PRC. Natural gas—calculation of compression factor—Part 1: Introduction and guidelines: GB/T 17747.1-2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC. Evaluation and expression of uncertainty in measurement: JJF 1059.1-2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [28] 肖迪. 油气计量技术及发展动态[R]. [出版地不详]: [出版社不详], 2021.
XIAO Di. Technology and its development dynamics of oil and gas measurement[R]. [S.l.]: [s.n.], 2021.
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 气体流量计: GB/T 32201—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC & Standardization Administration of the PRC. Gas meters: GB/T 32201-2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

(修改回稿日期 2022-08-12 编辑 何明)



本文互动