

# 中国天然气质量与计量技术建设现状与展望

黄黎明<sup>1,2</sup>

1. 中国石油西南油气田公司天然气研究院 2. 全国天然气标准化技术委员会

黄黎明. 中国天然气质量与计量技术建设现状与展望. 天然气工业, 2014, 34(2): 117-122.

**摘要** 天然气贸易过程中的质量和计量越来越受到政府和社会各界的高度关注, 合格的质量、准确的计量直接关系到国家、企业及消费者利益。为此, 从分析 ISO 13686《天然气质量指标》和 OIML/R140《气体燃料计量系统》入手, 提炼出天然气质量和计量的核心要求及主体技术。同时介绍了 GB 17820《天然气》和 GB/T 18603《天然气计量系统技术要求》这两个核心标准, 以及配套的测试技术与方法等; 指出了新形势下我国在量传溯源体系、分析测试技术、流量量值比对、流量检测等所面临的挑战; 并就推动实施天然气能量计量、积极推进参加国际能力验证和国际关键循环比对、提高我国装备自主化水平、进一步完善标准体系、主导制订和修订国际标准、完善测量技术等进行了展望。通过对天然气质量控制和计量技术的科技攻关, 加强标准化跟踪、研究和制修订等, 保证了我国天然气贸易计量的准确可靠和公平公正, 并为我国计量方式由体积计量向能量计量发展提供了有力的技术支撑。

**关键词** 中国 天然气 质量 计量 测量 技术 现状 体积计量 能量计量

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.02.019

## Status and prospect of natural gas quality and metering measurement technologies in China

Huang Liming<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Natural Gas Technology, Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610213, China; 2. China Natural Gas Standardization Technology Committee Secretariat, Chengdu, Sichuan 610213, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 2, pp.117-122, 2/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** Quality and measurement during natural gas trade have already aroused government and public concern in China because acceptable quality and accurate metering is directly related to the profits of a country, an enterprise, and a consumer. Therefore, by analyzing ISO 13686 Natural Gas Quality Designation and OIML/R140 Gas Fuels Metering System, we extracted the core requirements and main technologies for natural gas quality and metering. Also, we introduced regularly used gas measuring technologies and methodologies as well as the two main important standards in China: GB 17820 Natural Gas and GB/T 18603 Technical Requirements for Natural Gas Metering System. Then, we pointed out that many challenges still exist in the traceability and transferring chain, analysis and measurement techniques, flow volume comparison, flow detection, and so on, and presented the following proposals for enhancing the natural gas quality and metering to a high level such as implementing natural gas energy measurement, enhancing the international capacity identifying and key round comparisons, increasing the automation level of the employed apparatus and instruments, perfecting the standard system, leading drafting and revising international standards, and improving the analysis and measurement techniques. We should focus on tackling those bottlenecking problems in natural gas quality control and metering technologies and keeping on tracking, studying, formulating and revising the related standards in order to ensure the justice and reliability in natural gas trade in China and provide a robust technical support for China to transfer from volume metering to energy measuring.

**Keywords:** China, natural gas, quality, metering, measurement, technology, status quo, volume metering, energy measuring

**基金项目:** 2012 年国家质检公益科研专项项目“天然气互换性技术和标准研究”(编号: 201210235)。

**作者简介:** 黄黎明, 1965 年生, 教授级高级工程师, 博士生导师; 1986 年毕业于北京化工学院腐蚀与防护专业; 长期从事天然气开发相关研究工作, 现任中国石油西南油气田公司天然气研究院院长、全国天然气标准化技术委员会副主任、国际标准化组织天然气技术委员会上游领域分委员会(ISO/TC193/SC3)主席, 合作出版专著 2 部, 发表论文 10 余篇。地址: (610213) 四川省成都市天府新区华阳天研路中国石油西南油气田公司天然气研究院。电话: 13908223666。E-mail: huanglm@petrochina.com.cn

伴随着天然气工业的发展,我国政府及石油天然气企业紧紧围绕天然气质量控制和计量技术开展科技攻关,加强标准化跟踪、研究和制修订,保证了我国天然气贸易计量的准确可靠和公平公正,为我国计量方式由体积计量向能量计量发展提供了有力的技术支撑。

## 1 质量与计量是天然气工业发展的基础

2010 年全球一次能源消费总量为  $120 \times 10^8$  t 油当量,天然气占 23.8%,预计到 2030 年以前,天然气消费量将以年均 1.7% 的速度增长。到 2050 年,天然气将与石油持平成为第一能源,成为优化能源结构的第一选择。

进入新世纪以来,我国国民经济持续快速发展,对天然气的需求量不断增加,天然气产量快速攀升,进口量逐年递增,消费量持续增长。在此形势下,天然气贸易过程中的质量和计量越来越受到政府和社会各界的关注,提出了“科学、公正、准确、高效”的基本要求。合格的质量、准确的计量直接关系到国家、企业及消费者利益。为消费者提供安全、经济、满足期望的高品质天然气,保证公平交易,是生产和供应商的首要任务。

## 2 天然气质量与计量主体技术架构

### 2.1 质量要求和主体技术

国际标准化组织(ISO)于 1998 年发布 ISO 13686《天然气质量指标》,成为全世界天然气质量控制的指导性准则和各国之间签订天然气贸易合同的指南。该国际标准明确规定了天然气质量必须满足安全卫生、环境保护、经济利益 3 个方面要求。其对天然气质量控制参数、测量单位和测量方法标准进行了规定(图 1)<sup>[1]</sup>。

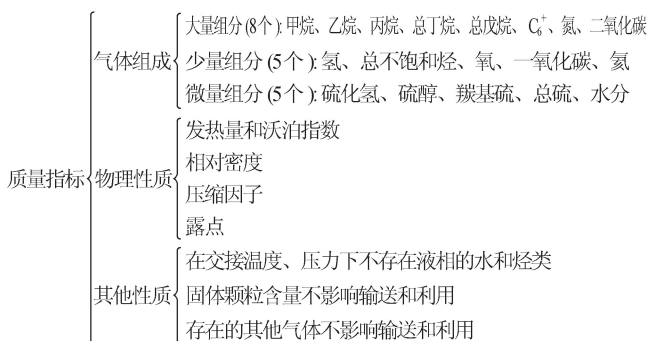


图 1 ISO 13686《天然气质量指标》图<sup>[1]</sup>

按照 ISO 13686 对天然气质量的总体要求和框架,需要形成以产品标准为核心的技术和方法标准体系,建立涵盖天然气取样,组成在线及离线分析,硫化物、汞、颗粒物等微量组分分析,水露点、烃露点、发热

量、密度等物性参数测量技术及计算方法,建设多组分烃及非烃类、硫化物等天然气分析用气体标准物质体系,建立包括烃及非烃类组成、水/烃露点、硫化物的天然气组成分析系统性能评价技术,形成量溯源链。

### 2.2 流量计量要求和主体技术架构

国际法制计量组织(OIML)于 1998 年发布 R140《气体燃料计量系统》<sup>[2]</sup>,作为天然气流量计量的指导性准则和各国签订天然气贸易合同的指南。该技术文件对天然气流量计量系统准确度等级和能量、质量、体积、参数换算、压力、温度、密度、压缩因子的测量最大允许误差等技术要求进行了详细规定(表 1)<sup>[2]</sup>。

表 1 OIML R140《气体燃料计量系统》表

测量最大允许误差	准确度等级		
	A	B	C
能量	1.0%	2.0%	3.0%
转换体积或转换质量	1.0%	1.5%	2.0%
在计量状态下的体积	0.70%	1.20%	1.5%
标况体积或质量转换	0.50%	1.00%	1.5%
能量转换	0.50%	1.00%	2.0%
温度	0.5 °C	0.5 °C	1 °C
压力	0.2%	0.5%	1%
密度	0.25%	0.7%	1%
压缩因子	0.3%	0.3%	0.5%

按照 OIML R140 要求需要形成以计量系统技术要求标准为核心的技术和方法标准体系、不同类型流量计应用技术和方法、不同工况条件下物性参数测试技术、管道内流场对流量计量的控制技术,以及天然气流量原级标准装置、天然气流量传递标准装置、天然气流量工作标准装置、流量计检定和校准技术。

## 3 我国天然气质量和计量技术建设现状

### 3.1 形成了我国天然气质量和计量两个核心标准

从 20 世纪 80 年代开始,经过对天然气产品质量控制指标、天然气计量系统技术要求和配套的检测技术、方法的长期研究,在 2000 年左右先后形成了 GB 17820《天然气》和 GB/T 18603《天然气计量系统技术要求》国家标准。以此为基础,形成了配套的测试技术与方法,以及完整的标准体系和量溯源体系。

#### 3.1.1 提出天然气质量强制性技术要求

GB 17820 规定了经过处理并通过管道输送的商品天然气分类和技术要求<sup>[3]</sup>,为天然气工业的发展制定了一个统一的产品要求(表 2)。其中发热量、总硫

表 2 GB 17820—2012《天然气》技术指标表<sup>[3]</sup>

项 目	一类	二类	三类
高位发热量/(MJ·m <sup>-3</sup> )	≥36.0	≥31.4	≥31.4
总硫质量含量(以硫计)/ (mg·m <sup>-3</sup> )	≤60	≤200	≤350
硫化氢质量含量/(mg·m <sup>-3</sup> )	≤6	≤20	≤350
二氧化碳摩尔分数	≤2.0%	≤3.0%	—
水露点/℃	在交接压力下,水露点应比输送条件下最低环境温度低 5℃		

注:1.本标准中气体体积的标准参比条件是 101.325 kPa,20℃;2.当输送条件下,管道管顶埋地温度为 0℃时,水露点应不高于-5℃;3.进入输气管道的天然气,水露点的压力应是最高输送压力

表 3 GB/T 18603 不同等级的计量系统技术要求表<sup>[4]</sup>

设计能力(Q <sub>nv</sub> )/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	Q <sub>nv</sub> ≥500	5 000≤Q <sub>nv</sub> <50 000	Q <sub>nv</sub> ≥50 000
用于测量的校验用系统(例如,串联标准流量计)	—	—	√
温度转换	√	√	√
压力转换	√	√	√
压缩因子(Z)转换	√	√	√
发热量和气体质量的确定	—	—	√
每个时间周期的流量记录	—	√	√
密度测量(替代温度、压力和 Z 值转换)	—	—	√
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 4 GB/T 18603 计量系统配置仪表准确度要求表<sup>[4]</sup>

参 数 测 量	计量系统配套仪表准确度等级		
	A 级(1.0)	B 级(2.0)	C 级(3.0)
温度	0.5℃	0.5℃	1.0℃
压力	0.2%	0.5%	1.0%
密度	0.35%	0.7%	1.0%
压缩因子	0.3%	0.3%	0.5%
在线发热量	0.5%	1.0%	1.0%
离线或赋值发热量	0.6%	1.25%	2.0%
工作条件下体积流量	0.7%	1.2%	1.5%
计量结果	1.0%	2.0%	3.0%

### 3.2 建立完善的技术标准体系

为配合 GB 17820《天然气》和 GB/T 18603《天然气计量系统技术要求》的实施,先后制定了天然气取样、组成分析、物性计算、能量测定、流量检测等 50 余项国家和行业标准(表 5),初步构建了以 GB 17820《天然气》和 GB/T 18603《天然气计量系统技术要求》为核心的质量和计量技术标准体系,整体达到国际先进水平。

含量、硫化氢含量、二氧化碳含量和水露点 5 项关键控制性技术指标体现安全卫生、环保和经济效益要求,而一类气指标与欧、美、俄处于同等水平,实现与国际接轨,保障了进口天然气质量,为天然气质量控制提供了依据。

#### 3.1.2 提出天然气计量系统技术要求

参考 OIML R140 和 EN1776,GB/T 18603 规定了新建和改扩建的天然气计量站贸易计量系统的设计、配置、建设、投产运行、维护方面的技术要求<sup>[4]</sup>(表 3),同时给出了计量系统仪表的准确度要求(表 4),成为计量站建设和运行维护的依据。

我们还积极承担国际标准的制定,“天然气中总硫含量氧化微库仑测定法”被接受为国际标准(ISO/FDIS16960),目前该标准已通过 DIS 文件投票阶段,进入最后的 FDIS 阶段。另外,还牵头承担 ISO/TC 193 WG6“天然气甲烷值的计算”工作,编制的《天然气甲烷值计算》国际技术报告即将出版。该技术报告是我国石油天然气工业领域牵头制定的第一个国际技术报告。为国际标准制修订所提出的 28 条技术建议得到了采纳,在完善天然气国际标准体系方面做出了贡献,充分表达了中国的话语权。

### 3.3 形成配套的测试技术和方法

通过自主研发,形成了天然气及相似气体取样、气质检测及评价技术,物性参数测试技术,水露点、发热量、压缩因子、相对密度、沃泊指数、硫化氢、颗粒物、烃露点、汞、甲醇和水等测定技术,净化厂气体分析技术,流量检测技术,流量计应用技术,基于 LDV 和 PIV 的天然气管道内流场微观测试技术,天然气管道内流场数值模拟技术等 40 余项配套的测试技术和方法,总体技术水平达到国际先进水平,部分技术国际领先。其中,天然气中总硫含量氧化微库仑测定法达到国际领

表 5 天然气质量和计量标准一览表

序号	标准编号	标准名称
1	GB/T 13609—2012	天然气取样导则
2	GB/T 19205—2008	天然气标准参比条件
3	GB/T 13610—2003	天然气的组成分析气相色谱法
4	GB/T 16781.1—2008	天然气汞含量的测定第 1 部分:碘化学吸附取样法
5	GB/T 16781.2—2010	天然气汞含量的测定第 2 部分:金—铂合金汞齐化取样法
6	GB/T 17281—1998	天然气中丁烷至十六烷烃类的测定气相色谱法
7	GB/T 18619.1—2002	天然气中水含量的测定卡尔费休—库仑法
8	GB/T 27894.1—2011	天然气在一定不确定度下用气相色谱法测定组成第 1 部分:分析导则
9	GB/T 18603—2001	天然气计量系统技术要求
10	GB/T 18604—2001	用气体超声流量计测量天然气流量
11	GB/T 21391—2008	用气体涡轮流量计测量天然气流量
12	GB/T 21446—2008	用孔板流量计测量天然气流量
13	SY/T 6658—2006	用旋进漩涡流量计测量天然气流量
14	SY/T 6659—2006	用科里奥利质量流量计测量天然气流量
15	SY/T 6660—2006	用旋转容积式流量计测量天然气流量
16	JJG1030—2008	超声流量计检定规程
.....	.....	.....

先水平,并转化为国际标准。

### 3.4 建设完整的量传溯源体系

20 世纪 80 年代,我国开始在四川成都建设天然气流量标准装置。1996 年通过自主研发,建成质量一时间法原级标准装置,达到“90 年代中期国际同类装置的先进水平”(亚洲一流)。目前,已建立 0.1% 的原级标准及配套的传递标准和工作标准装置,形成了完整的量传溯源体系(表 6)。

表 6 国内现有天然气流量量值溯源/传递体系表

机构名称	标准装置名称	最大流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	设计压力/ MPa	不确定度
国家站	工作级(涡轮+超声)	8 000	10.0	0.30%
成都分站	原级(mt 法)	320	4.0	0.10%
	工作级(音速喷嘴)	2 555	4.0	0.25%
重庆分站	原级(PVTt 法)	180	1.6	0.10%
	工作级(音速喷嘴)	1 500	1.6	0.50%
南京分站	原级(mt 法)	440	10.0	0.10%
	次级(音速喷嘴)	3 160	10.0	0.25%
	工作级(涡轮+超声)	12 000	10.0	0.32%

在现有天然气流量量传溯源体系的基础上,通过成都分站的扩容改造,进一步提高技术水平和能力,跻身国际先进行列。成都分站扩容改造后,将建立中低压(0.3~6.0 MPa)、质量流量不确定度为 0.05%~0.076% 的原级标准装置。新建的环道检测系统作为

工作标准,将现有临界流文丘里喷嘴次级标准装置从不确定度 0.33% 水平提高到小于等于 0.20%(表 7)。

表 7 扩容改造后的成都分站流量量值溯源/传递体系表

流量标准装置名称	设计压力/ MPa	流量范围/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	不确定度 ( $k=2$ )
mt 法原级标准	6.3	5~440	0.05%~0.076%
音速喷嘴次级标准	6.3	5~5 115	0.20%
涡轮工作标准	10.0	16~8 000	0.29%
超声移动标准	5.0	40~8 000	0.33%

同时,为保证天然气分析的准确性和溯源性,我们研制了天然气分析用国家一级标准物质 9 种、二级标准物质 10 余种,初步构建天然气组成分析量传溯源链。正在中国石油西南油气田公司天然气研究院建设的、达到国际先进水平的天然气分析用气体标准物质制备系统,将实现少量组分不确定度水平优于 0.5% 的天然气分析用气体标准物质体系的研发目标,以适应多气源、多品种天然气发展需求。

天然气作为燃料使用的关键技术参数是发热量。发热量直接测定是通过燃烧一定量的气体直接获得气体的发热量。其作为天然气发热量测定的标准方法已经得到世界各国的一致认可,是气相色谱间接测定法的核查和保证手段。目前,中国计量科学研究院已建

成水流式热量计气体燃料发热量直接测量装置,不确定度小于等于1.0%(纯甲烷,置信度 $U=0.95$ ,包含因子 $k=2$ )。另外,中国计量科学研究院新研制的氧弹法测量不确定度小于等于0.6%( $k=2$ ),而中国石油天然气股份有限公司正在研制的1级测量装置,测量不确定度为0.20%~0.25%( $k=2$ ),达到ISO 15971的1级水平<sup>[5]</sup>。

2009年,中国石油西南油气田公司天然气研究院天然气分析测试实验室作为牵头实验室,承担了中国合格评定国家认可委员会(CNAS)组织的全国性天然气组成分析能力验证活动<sup>[6]</sup>。这次能力验证活动有13个省市自治区的28家实验室参加,填补了全国天然气领域能力验证的空白。2010年,该实验室参加了由荷兰实验室间比对学会IIS组织的天然气组成分析国际能力验证活动,全部检测项目均一次通过验证。

2003年,国家石油天然气大流量成都分站与荷兰NMI、德国PTB Pigsar开展实验间的流量量值比对。2004年,成都分站建立双流量计比对组件,在国内开展天然气流量检定机构间的循环比对;2007年,利用南京分站比对组件,与南京分站、德国PTB Pigsar和美国CEESI开展实验间的比对;2012年,利用涡轮工作标准表与德国PTB Pigsar开展流量量值比对;2013年,成都分站新建两套比对组件,正按国际关键比对原则,开展与德国PTB Pigsar的实验室间量值比对。

这些能力验证和比对活动,不仅使我们对国际能力验证和关键比对的技术及管理要求有了全面系统的了解,而且无论是天然气组成分析,还是流量测定,其室间比对结果和比对差异均在可接受范围内,验证了我国天然气组成分析和流量测量量值溯源与传递能力的不确定度水平,表明我国量传溯源体系是完整和可靠的。

### 3.5 为实施能量计量奠定了基础

ISO 15112:2008《天然气能量的测定》规定了天然气能量采用以时间变化为基础的间接测定方法<sup>[7]</sup>。其要求建立发热量测定技术、能量测定标准和解决方案、能量计量用气体标准物质和发热量直接测定装置。

自2002年开始,研究建立并完善了天然气能量计量配套技术、体积流量计量技术、发热量测定技术、能量测定标准体系、能量测定量传溯源体系,非等效采用ISO 15112制定了GB/T 22723《天然气能量的测定》国家标准<sup>[8]</sup>和天然气能量计量实施细则,在中国石油西南油气田和西气东输一线、西气东输二线开展应用

实践,收集了数据,积累了经验,为能量计量的应用奠定了技术基础。

## 4 面临的挑战

2012年底,国家发布了《天然气发展“十二五”规划》<sup>[9]</sup>,到“十二五”末,我国将初步形成以西气东输、川气东送、陕京线和沿海主干道为大动脉,连接4大进口战略通道、主要生产区、消费区和储气库的全国主干管网,形成多气源供应、多方式调峰、平稳安全的供气格局。

2013年3月2日,国务院颁布计量发展规划(2013—2020年)<sup>[10]</sup>中明确:到2020年,计量科技基础更加坚实,量传溯源体系更加完善,计量法制建设更加健全,基本适应经济社会发展的需求。在科学技术领域,突破一批关键测试技术,为高技术产业、战略性新兴产业发展提供先进的计量检测技术手段;提升一批国家计量基标准、社会公用计量标准的服务和保障能力;研制一批新型的标准物质,保证重点领域检测、监测数据结果的溯源性、可比性和有效性;建设一批符合新领域发展要求的计量实验室,推动创新实验基地建设跨越式发展。

在上述发展形势和背景下,面临以下4个方面的挑战。

1)在量传溯源体系方面,与德国、法国、俄罗斯相比,气体发热量直接测定国际0级水平的测量装置未建立;未完整形成适应多品种、多气源天然气需求,满足天然气组成分析和能量计量要求的气体标准物质体系;天然气原级标准装置的不确定度水平距离0.064%的国际最高水平还有差距。

2)在分析测试技术方面,与国际先进水平相比,缺少针对上游领域天然气和微量组分的分析测试技术与检测标准方法。

3)在天然气流量量值比对方面,未能有效开展天然气流量量值国际关键循环比对,实验室的数据国际互认有待进一步加强。

4)在天然气流量检测方面,现有检测能力与国外先进水平相比还有一定差距,检测流量计的最大口径不能完全满足生产需求。

## 5 展望

我国天然气工业已迈入黄金发展时期。作为天然气产业工作者,为用户提供优质合格的产品,保证公平

公正交易,推进天然气质量与计量技术向更高水平提升,任重道远。

### 5.1 推动实施天然气能量计量,促进我国天然气计量方式转变

围绕达到国际先进水平的天然气能量计量体系建设开展科技攻关,形成不确定度优于0.1%的天然气发热量直接测定国际0级水平测量装置及测定技术、质量流量不确定度优于0.05%的mt法原级标准装置及测量技术、覆盖我国管输天然气气质、适应能量计量要求的气体标准物质体系。

### 5.2 积极推进参加国际能力验证和国际关键循环比对,提升我国在质量和计量领域地位与话语权

加入天然气流量国际关键循环比对行列;牵头组织天然气组成分析国际能力验证;开展中国与俄罗斯及中亚国家天然气流量和组成分析比对;实现我国天然气质量与流量量值国际互认。

### 5.3 推动天然气质量与计量技术进步,提高我国装备自主化水平

开展天然气分析领域的光学分析仪、传感器、新型取样和在线组成分析系统以及发热量测量装置研发;开展天然气流量计量领域的标准装置、检测评价系统、传感器、工业流量计以及流量自动测量系统研发。

### 5.4 进一步完善标准体系,积极主导制修订国际标准

积极参加国际标准化组织相关专业委员会的管理工作;加强天然气上游领域、湿气计量和非常规领域标准研究,提高自主创新能力;编制双语版及多语版国家标准,适应国际贸易需求;积极承担和参与国际标准制修订,提升我国在天然气领域的国际影响力。

### 5.5 完善测量技术

开展天然气分类和互换性、微量有毒有害物质测试、天然气上游领域中的取样、分析、分配和湿气测量技术及方法等研究,为天然气质量控制和评价提供技术基础,同时也为国际标准化提供技术支撑。

## 参 考 文 献

- [1] International Standards Organization, ISO/TC193 Work Group. ISO 13686:1998 Natural gas—Quality Designation [S]. Geneva: ISO, 1998.
- [2] OIML/TC8/SC7 Work Group. R140 Measuring system of gaseous fuel [S]. Paris: OIML, 1998.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. GB 17820—2012《天然气》

[S].北京:中国国家标准出版社,2012.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 17820-2012 Natural Gas [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

- [4] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 18603—2001 天然气计量系统技术要求 [S].北京:中国标准出版社,2001.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 18603-2001 Technical requirements of measuring systems for natural gas [S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [5] 黄维和,罗勤,黄黎明,等.天然气能量计量体系在中国的建设和发展[J].石油与天然气化工,2011,40(2):103-108.  
HUANG Weihe, LUO Qin, HUANG Liming, et al. Construction and development of natural gas energy measuring system in China [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2011, 40(2): 103-108.
- [6] 中国石油西南油气田公司天然气研究院. CNAS T0475 天然气组成分析能力验证计划工作总结 [R].成都:中国石油西南油气田公司天然气研究院,2010.  
Research Institute of Natural Gas Technology of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company. Work summary of CNAS T0475 natural gas composition analysis proficiency testing scheme [R]. Chengdu: Research Institute of Natural Gas Technology of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, 2010.
- [7] International Standards Organization, ISO/TC193. ISO 15112:2008 Natural gas—Determination of energy [S]. Geneva: ISO, 2008.
- [8] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22723—2008 天然气能量的测定 [S].北京:中国标准出版社,2008.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 22723-2008 Energy determination for natural gas [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [9] 国家发展和改革委员会. 天然气发展“十二五”规划 [R].北京:国家发展和改革委员会,2012.  
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Natural gas development in the Twelfth Five Year Plan [R]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2012.
- [10] 国务院. 计量发展规划(2013—2020年) [R].北京:中华人民共和国国务院,2013.  
The State Council of the People's Republic of China. 2012—2020 measurement development plan [R]. Beijing: The State Council of the People's Republic of China, 2013.

(收稿日期 2013-12-25 编辑 赵勤)