

国内外天然气流量计量检测技术现状及进展

黄 和, 徐 刚, 余汉成, 陈 凤

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 为了提高和确保计量准确度, 国内外都建立了天然气流量实流检定站。论述了国内外天然气流量计量检测技术现状, 阐明了天然气流量计量检测的直排和环道方案, 对国内天然气流量实流检定站能力进行了对比分析。

关键词: 天然气 流量; 检测; 量值溯源; 现状; 分析

文章编号: 1006-5539(2009)02-0042-06

文献标识码: A

1 概述

天然气流量计量是多参数、多组分气体的连续测量, 其量值测量具有不可回复性, 其测量准确度受众多因素影响。为了将其计量准确度控制在一个合法的、供需双方均能接受的、经济合理的范围内, 从国内外发展情况看, 都必须进行量值溯源, 其溯源方式可以是单参数量值溯源组合, 也可以是流量量值溯源, 其目的是使工作仪表与国家标准器建立起有效的溯源链, 确保计量量值的准确、可靠和统一。

从计量学的角度看, 在线实流检定或校准最符合流量量值的溯源特征, 它充分考虑了物性参数、操作条件、安装条件、环境条件等诸多影响, 保证检测条件与实际使用条件尽可能一致。无论是新版的有关标准孔板测量天然气流量的美国天然气协会 AGAN[®]3 号报告 (即 AP[®]530), 还是新发布的用超声流量计测量天然气流量的 AGAN[®]9^[1] 号报告, 都提出了尽可能在接近仪表操作条件下进行校准的技术要求, 国内 GB/T 18603^[2] 及 GB/T 18604^[3] 也提出了相应技术要求。这是今后天然气贸易计量仪表检定技术发展的一种趋势。因此, 采用实际介质在接近仪表操作条件下进行校准, 能够修正介质物性参数对流量计的影响, 能够修正运行参数对流量计的影响, 在接近其操作条件下对天然气流量计进行校准应是天然气贸易计量中优先推荐的方法。

2 国外现状

随着天然气工业的飞速发展, 特别是输气管网的大规模建设, 用于贸易计量的天然气流量仪表日益增多, 其工作压力不断提高, 流量范围也不断增大。为了尽可能在接近仪表操作条件下校准或检定流量计, 提高天然气流量计量的准确度, 世界各主要工业化国家都相继建成了具有较高准确度水平的天然气流量标准装置, 并建立了相应的天然气流量量值溯源体系或传递系统。在这些国家, 基本上实现了常用天然气仪表的天然气实流检定或校准^[4]。为了统一天然气流量量值, 还开展了国际间天然气流量标准装置间的循环比对。

在不同的输气规模、不同的发展过程、不同的管理模式、不同的技术要求等背景下, 各国天然气流量标准装置的规模和能力不尽相同, 天然气流量量值溯源体系更是各具特色, 表 1 列出国外主要天然气流量标准装置的详细情况。对这些天然气流量标准装置进行分析和对比, 可得出如下结论:

a 为了在工作压力下以天然气为介质对天然气流量计量仪表进行全量程的检定或校准, 许多工业化国家都针对其实际需求和具体情况, 建立了以天然气为介质的气体流量标准, 这也是加强法制计量管理和确保天然气贸易计量准确度的要求。

b 为了逐级扩大流量范围, 提高工作压力, 满

收稿日期: 2008-09-17

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

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

足量值溯源的需要,多数天然气流量计量检定机构都建有原级标准、次级标准和工作标准。构成原级标准的各基本量都溯源到相应的国家标准,天然气流量标准量值由原级标准传递到次级标准,再由次

级标准传递到工作标准。在美国 CEESI 加拿大 TCC等新建的高压大流量天然气流量标准中^[5],都增加了超声流量计作为核查标准,用以监测工作标准的计量性能,提高了所复现天然气流量的可靠性;

表 1 国外主要天然气流量标准装置

装置简称 或所在地	使用单位	国别	工作压力 /MPa		流量上限 /m ³ ·h ⁻¹	测试管径 /mm	不确定度 /(%)	工作标准	原级及 次级标准
			最小	最大					
Weserhofk	Nm i	荷兰	6.3	6.3	40 000	750	0.25	涡轮流量计	钟罩式装置,容积流量计
Pöggendorfer	Ruhrge	德国	1.4	5.0	6 500	300	0.25	涡轮流量计	活塞式装置,涡轮流量计
Bishopton	British Gas	英国	2.4	7.0	20 000	500	0.30	涡轮流量计、临界流喷嘴	在 Pöggendorfer NEL校准
Kragerø	StatOil	挪威	2.0	15.6	1 750	150	0.40	临界流喷嘴	在 NEL, CEESI 校准
GRIMRF	SWRI	美国	1.0	8.0	2 400	500	0.25	临界流喷嘴	m法装置
Clear Lake	CEESI	美国	7.0	7.0	34 000	600	0.40	涡轮流量计	PVT法装置,临界流喷嘴
Winnipeg	TCC	加拿大	6.5	6.5	49 000	750	0.25	涡轮流量计	旋转活塞流量计(在荷兰校准)
Groningen	Gasunie	荷兰	0.9	4.0	900	100	0.30	涡轮流量计	钟罩式装置,容积流量计
Bergum	Nm i	荷兰	0.9	5.0	2 500	200	0.30	涡轮流量计	钟罩式装置,容积流量计
Alfortville	GdF	法国	1.0	6.0	1 200	150	0.25	临界流喷嘴	PVT法装置

级标准传递到工作标准。在天然气流量原级标准中,能采用天然气作介质且在较高压力下工作的占多数,其中 m 法流量标准装置居多, PVT 法流量标准装置次之,只有 Ruhrge采用活塞式流量标准装置^[6]。这些高压天然气流量原级标准的结构形式、流量范围和工作压力差异较大,主要取决于实际需求、气源条件和操作经验,但流量测量的不确定度范围都在 0.1% ~0.2% 之间;

在天然气次级流量标准中,选用最多的是临界流喷嘴,其次为涡轮流量计或容积式流量计,但流量测量不确定度都在 0.15% ~0.25% 之间。在天然气流量工作标准中,一般都选用涡轮流量计,流量测量不确定度为 0.25% ~0.40%。在天然气流量核查标准中,在 CEESI TCC新建的天然气流量标准中都选用超声流量计。

3 国内现状

自 20 世纪 90 年代以来,我国天然气长输管道取得令人瞩目的发展,特别是在“十一五”期间天然气工业将成为我国国民经济新的增长点。因此,利用现代科学技术,通过更新观念,加强管理,提高天

然气现场计量准确度,维护企业的合法经济效益,才能从根本上消除商品天然气销售中的争议,从而达到与国际接轨水平。

“八五”以来,随着新技术的引进,为提高天然气计量准确度,国内在大庆和成都已建立了天然气流量计量的原级标准器具,相应地也建立了用于量传(或溯源)的次级标准计量器具。国家石油天然气大流量计量站的 10 m³钟罩,以空气为介质,流量范围为 5 ~1 500 m³/h 测量不确定度为 0.1%。目前国内以天然气为介质的流量计量检测除国家站成都天然气分站 m 系统外,还建成了国家原油大流量计量站重庆天然气分站一套 PVT 系统,其检测压力为 0.8 MPa 压缩机排量 6 m³/min。另外刚建成国家站南京天然气分站以天然气实流检测用于天然气贸易计量的流量仪表,并进行压力、温度、组分等量的测试,其系统检测压力依赖于西气东输管线操作压力,定为 4.7 ~9.6 MPa 检测流量计的口径定为 DN50 ~DN400 检测流量保证 DN400 气体超声流量计最大流量点的需要(时间不少于 30 min),其装置的不确定度为:原级标准为 0.1%,次级标准为 0.20%,工作级标准为 0.32%,核查级标准为 0.35%,移动式标准为 0.35%。

天然气流量量值可通过传递标准如音速喷嘴、气体超声流量计或涡轮流量计等将原级标准的量值传递到现场工作仪表,控制和改善现场计量仪表的

准确度。
目前国内主要天然气流量标准检测能力见表 2

表 2 目前国内主要天然气流量标准检测能力

项 目	国家石油天然气大流量计量站		国家站成都天然气分站		国家站重庆天然气分站		国家站南京天然气分站	
	原级标准	次级标准	原级标准	次级标准	原级标准	次级标准	原级标准	次级标准
流量标准类型	钟罩式	临界流喷嘴	m 法	临界流喷嘴	PVT法	临界流喷嘴	m 法	临界流喷嘴
流量测量不确定度 /(%)	0.1	0.25	0.1	0.25	0.2	0.5	0.1	0.25
工作介质	空气	空气、天然气	天然气	天然气	天然气	天然气	天然气	天然气
流量范围 /m ³ · h ⁻¹	5~1 500	1~4 600	5~320	5~2 555/5 115	0.5~400	1~1 500	8~443	8~3 160
最大检测口径		DN300		DN300		DN250	DN100	DN250
最高工作压力 /MPa	0.4	2.0	4.0	2.5	1.0	1.0	9.6	9.6

4 国内外流量检测方案

4.1 简述

国外对用于商品天然气贸易计量的流量仪表规定了严格的周期检测和校准制度,许多先进国家建立了较高水平的气体流量标准装置,并建立了相应的气体流量量值的传递系统。随着技术的发展,我国为了天然气计量与国际接轨,也逐渐建立完善和发展天然气流量计量的气体标准装置及其相应的气体流量量值传递系统。据有关资料介绍,气体流量检测方案有直排和环道两种方式,直排方案占据主要份额。

4.2 直排方案

所谓直排方案就是利用输气管线上游的自身压力和气量,经检测后,其气体进入低压管线或下游低压区(管线中间设调节阀),或建立高低压储气库实现。国外美国 Chevron公司 Venice计量站和加拿大 TCC等,国内国家站成都天然气分站、刚建成的国家站南京天然气分站所建的检测系统均为直排式,直排式为天然气计量站优先采用的方案。

4.3 环道方案

环道方案的基本流程是利用增压机将检测区排出的低压气增压、冷却后重新返回检测区的入口,因而整个检测回路形成一个增压环形通道。该方案较早在国外一些大学的流体实验室使用,其后美国洛克威尔公司杜波伊斯实验室建了一套比较正式的气

体流量检测环道装置。

SwRIGR是世界有名的流量检测和研究技术机构^[5],其计量研究装置于 20 世纪 90 年代初建成并投运,由高、低压两套环路和民用气测试系统组成,每套系统均有原级标准(质量—时间法标准装置)、次级标准(组合喷嘴)和工作标准(涡轮流量计),主要用于气体流量计量研究和流量计的校准,高压环路工作压力范围为 1.035~8.275 MPa,最大校准流量为 2 380 m³/h 被校流量计口径为 DN50~DN500,低压环路工作压力范围为 0.14~1.45 MPa,最大校准流量为 900 m³/h 被校流量计口径为 DN25~DN200。

该环道装置采用燃气轮机驱动的离心式压缩机,基本动力不依靠外部电源,因而运行上具有一定的独立性。根据当时天然气流量仪表的准确度水平,在方案上,环道采用临界流文丘里喷嘴作为标准,对不同的被检测仪表进行检测。根据燃气轮机驱动离心式压缩机的一些特点,可得知该装置运行方面存在的一些问题:

- a)燃气轮机转速调整准确度较差,在低负荷下,效率极低,同时也受环境温度影响;
- b)燃气轮机的运行还会产生一系列的环保问题;
- c)由于采用临界流文丘里喷嘴作为标准,故压损大,能耗高,温控要求难度大;
- d)电动机驱动和燃气轮机驱动都可以实现自动控制功能。电动机驱动的启动和停机再启动快速且容易;燃气轮机则相对较慢,并且不能实现自动再启动;
- e)燃气轮机驱动方式的设备转动和活动部件较

多,主要部件受高温及气质腐蚀的影响,日常维护的工作量较大;

f燃气轮机驱动方式其动力不依靠外部电源,但设备需进行定期检查和 大修,大修周期约为 30 000 ~40 000 h若频繁起停则寿命可能减半。

中国台湾在 20 世纪 90 年代中期建成一套环道装置^[7](见图 1 环道装置流程图),该装置和 SwRI 的不同在于采用多台高压离心机覆盖流量检测范围,并采用涡轮流量计作为标准,因而压损小,故运行方式较简单一些,同时也具有较大的流量覆盖范围。同时环道方案可降低检测标定站对外部气源的依赖性,建设环道在利用外部气源进行直排方案检测的前提下,还可使检测标定站具有一定的独立性。

欧洲环道 (Euroloop)已完成设计,目前正在建

设中。该环道设计了 8 条检测管路 DN50 ~ DN400 其中 5 条检测管路为 DN400 可检测工况小流量为 3 000 m³/h 大流量可达 32 500 m³/h

5 国内检测中心实流检测能力对比

根据国内外天然气流量计量检测技术现状及发展,天然气流量计量检测必须覆盖天然气行业的大部分商品贸易交接流量计,将天然气流量标准装置的标准量值传递至流量计,确保流量测量的准确度,保证计量的公正与准确,减少供需双方的计量纠纷。目前国内可进行天然气流量实流检定的计量检定站有国家站南京天然气分站^[8]和国家站成都天然气分站,其能力见表 3

表 3 国内已建和拟建计量测试中心能力对比表

能 力	国家站南京天然气分站	拟扩建的成都天然气分站	国家站成都天然气分站
方 案	直排方案	直排+环道方案	直排方案
设计能力	a 设计压力: 10 MPa b 检测操作压力: 2.5 ~7.6/9.6 MPa c 操作温度: 10 ~16℃; d 工况检测流量: 8 ~12 000 m ³ /h e 被检测流量计: a) 准确度等级: 0.5 级以下; b) 被检流量计口径: DN50 ~ DN400	a 设计压力: 6.3 MPa b 检测操作压力: 0.3 ~4.0 MPa c 操作温度: 15 ~25℃; d 工况检测流量: 10 ~8 000 m ³ /h e 被检测流量计: a) 准确度等级: 0.5 级以下; b) 被检流量计口径: DN50 ~ DN300/ DN400	a 设计压力: 4.0 MPa b 实际检测操作压力: 2.5 MPa 以下; c 操作温度: 5 ~20℃; d 工况检测流量: 5 ~2 555 m ³ /h e 被检测流量计: a) 准确度等级: 0.5 级以下; b) 被检流量计口径: DN50 ~ DN300
原级标准装置	a 采用 m 法标准装置; b 工况流量: 8 ~443 m ³ /h c 被检流量计口径: DN100 d 测量不确定度: 0.10%。	a 采用 m 法标准装置; b 工况流量: 5 ~320 m ³ /h c 被检流量计口径: DN100 d 测量不确定度: 0.10%。	a 采用 m 法标准装置; b 工况流量 5 ~320 m ³ /h c 被检流量计口径: DN100 d 测量不确定度: 0.10%。
次级标准装置	a 临界流文丘里喷嘴组; b 工况流量: 8 ~3 160 m ³ /h c 被检流量计口径: DN50 ~ DN250 d 测量不确定度: 0.20%。	a 临界流文丘里喷嘴组; b 工况流量: 5 ~2 555/5 115 m ³ /h c 被检流量计口径: DN50 ~ DN300/ DN400 d 测量不确定度: 0.25%。	a 临界流文丘里喷嘴组; b 工况流量: 5 ~2 555 m ³ /h c 被检流量计口径: DN50 ~ DN300 d 测量不确定度: 0.25%。
工作标准装置	a 涡轮流量计; b 工况流量: 8 ~12 000 m ³ /h c 最大被检流量计口径: DN400 e 测量不确定度: 0.32%。	a 涡轮流量计; b 工况流量: 10 ~8 000 m ³ /h c 最大被检流量计口径: DN300/ DN400 d 测量不确定度: 0.33%。	无
核查标准装置	a 超声流量计; b 工况流量: 20 ~12 000 m ³ /h c 测量不确定度: 0.35%。	a 超声流量计; b 工况流量: 20 ~8 000 m ³ /h c 测量不确定度: 0.38%。	无
移动标准装置	a 超声及涡轮流量计; b 工况流量: 80 ~8 000 m ³ /h c 最大被检流量计口径: DN300 d 测量不确定度: 0.35%。	a 超声流量计; b 工况流量: 40 ~8 000 m ³ /h c 最大被检流量计口径: DN300/ DN400 d 测量不确定度: 0.35% ~ 0.40%。	a 超声流量计; b 工况流量: 40 ~8 000 m ³ /h c 最大被检流量计口径: DN300 d 测量不确定度: 0.35% ~ 0.40%。

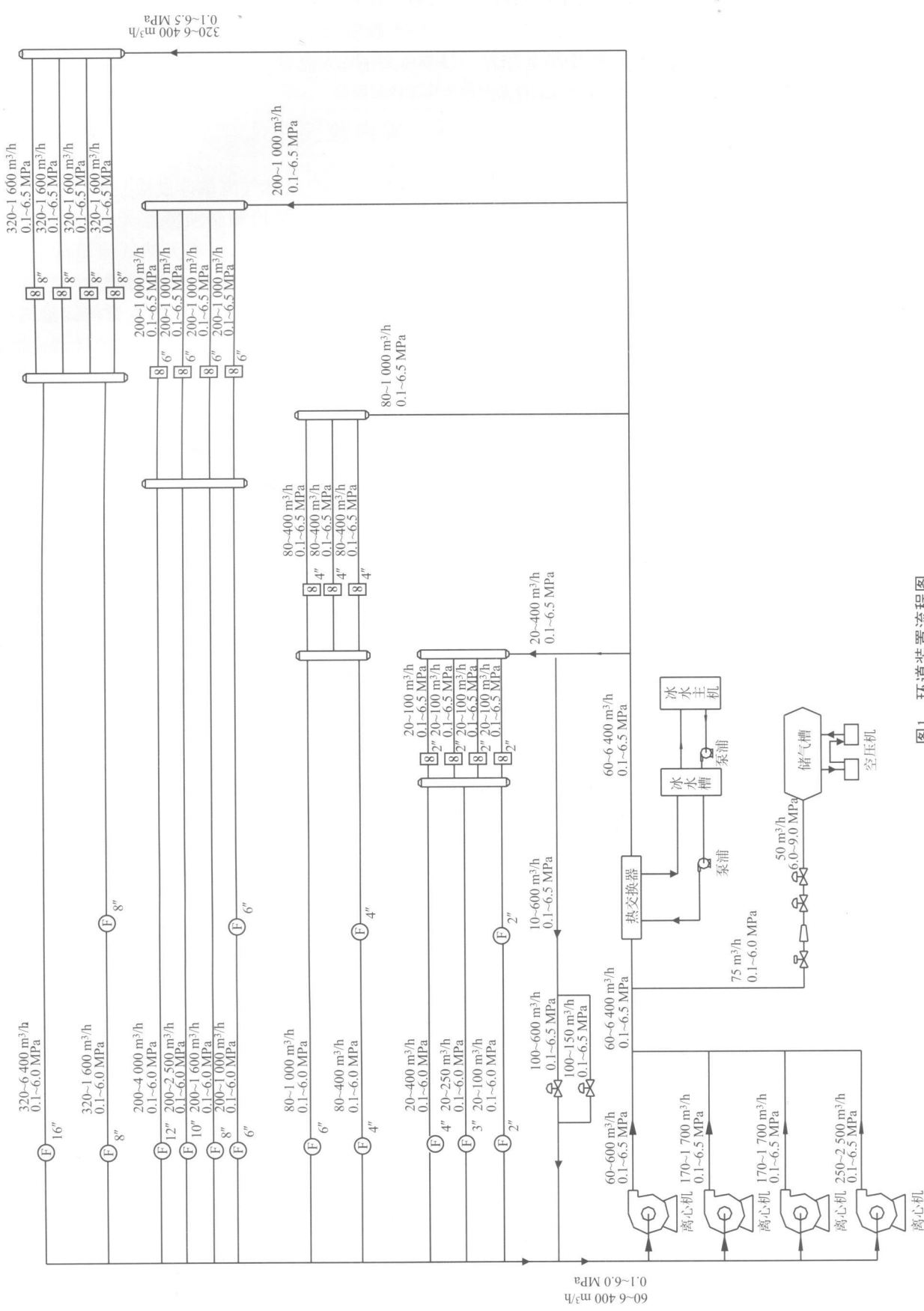


图1 环道装置流程图

从表 3 及前述可看出,国内在天然气流量计量检测技术方面近十年来取得了较大发展,1996 年建成的国家石油天然气大流量计量站成都天然气流量分站(即华阳天然气计量检测中心)是国内近十几年来唯一以天然气实际流体为介质的、具有当时世界水平的 m 法原级标准和临界流文丘里喷嘴次级标准,满足了近十年来要求天然气流量计检测的需要;国家石油天然气大流量计量站南京天然气流量分站(即西气东输南京计量测试中心),进一步提高了国内天然气流量计量检测技术水平和能力;由于华阳天然气计量检测中心的检测气源的变化,使其检测压力较低,不能达到国家授权要求 4.0 MPa ,今年即将对其进行扩容改造,建成后将与南京中心一起构成国内完善的天然气流量量值溯源体系,使国内天然气流量实流检定技术能力覆盖天然气行业的大部分商品贸易交接流量计 $0.3\sim 10.0\text{ MPa}$,技术上达到国际先进水平,提高国内天然气贸易计量的准确度。

参考文献:

- [1] AGA No. 9—2007, Measurement of Gas by Multi-Path Ultrasonic Meters [S].
- [2] GB/T 18603—2001, 天然气计量系统技术要求 [S].
- [3] GB/T 18604—2001, 用气体超声流量计测量天然气流量 [S].
- [4] 郑琦. 有关油气计量的几项专题研究 [R]. 大庆: 国家石油天然气大流量计量站, 2003.
- [5] 段继芹. 2005 年赴美天然气流量计量检测技术培训报告 [R]. 成都: 国家石油天然气大流量计量站成都天然气流量分站, 2005.
- [6] 李万俊. 2006 年赴德天然气流量计量技术与管理培训报告 [R]. 成都: 国家石油天然气大流量计量站成都天然气流量分站, 2006.
- [7] 杨正财, 苏峻民, 陈逸正. 台湾能源流体计量标准追溯与未来发展 [A]. 中国计量测试学会. 第七海峡两岸计量与质量研讨会论文集 [C]. 杭州: 中国计量测试学会, 2008.
- [8] 国明昌. 高压天然气流量标准装置 [R]. 南京: 国家石油天然气大流量计量站南京分站, 2008.