

# 高压气体流量计量标准装置研制

赵普俊 熊茂涛 雷励 张宗平  
中国测试技术研究院

赵普俊等.高压气体流量计量标准装置研制.天然气工业,2010,30(9):78-81.

**摘 要** 随着我国CNG等高压气体应用产业的快速发展,迫切需要提高和确保计量的准确度,因而建立高压气体流量计量标准装置已是当务之急。为此,以国内高压气体流量计量检定能力现状为切入点,对比研究了国内高压气体流量计量产品和检测技术,分析了建立高压气体流量计量标准装置的意义及量值传递框图,选定了高压气体流量计量标准装置拟采用的测定方法和技术指标,提出了关键技术措施。据此研制建立的高压气体流量计量标准装置不仅可以进行高压气体流量领域中相关理论研究,而且还可以直接以空气为介质对CNG加气机系列产品、CNG加气机现场检定装置及高压气体流量计进行检定或校准,具有良好的经济效益和社会效益。

**关键词** 高压气体 计量标准装置 量值溯源体系 CNG加气机 质量流量计

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.09.020

按照国家规划,2012年我国天然气汽车将发展到 $100 \times 10^4$ 辆,用气量将达 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,替代 $640 \times 10^4$ t汽油和柴油,2020年更将达到 $300 \times 10^4$ 辆。作为天然气汽车产业的配套设备,对CNG进行计量的CNG加气机系列产品、CNG加气机现场检定装置以及相应的高压气体流量计必将会有一个大的发展。

## 1 高压气体流量计量标准

### 1.1 研究背景

按照中国《计量法》的规定,CNG加气机及用于贸易交接的高压气体流量计量仪表应依法纳入强制管理范围。因此必须对其进行型式评价、首次检定、后续检定及使用中检验<sup>[1-2]</sup>。

质量流量计精确度高( $\pm 0.2\% \sim \pm 0.1\%$ ),量程比宽(50:1~100:1),适用于各种气体、液体及两相流介质,对流体速度分布不敏感,还可以测量流体密度。相应实验研究表明,由于检定和使用条件不同,特别是所使用的介质不同,水和气体对质量流量计误差的影响是不一样的。如用水实流标定高压质量流量计误差为0.2%,用于气体介质标定时,其误差就可能达到0.5%。因此对气体质量流量计采用压缩空气进行标定符合CNG加气机及高压气体流量计实际工作条

件,精度也更高。

### 1.2 研究现状

国内现有高压气体检定装置是10a前研制的,装置的检测范围只有 $0.5 \sim 25 \text{ kg/min}$ ,已经不能满足当前流量计量领域对大流量和高精度的要求。国内现有的高压气体流量标准装置情况如表1所示。

我国尚未建立高压气体流量计量国家标准,迫切需要建立作为科研服务和量值传递标准的高压气体流量计量标准装置,并在此基础上建立CNG加气机及高压气体流量计量检测中心,以满足我国对高压气体流量计量检定的需要,也为国际天然气贸易结算的公平、公正计量提供有力的检测手段<sup>[3-6]</sup>。表2给出了国外主要CNG加气机用高压气体质量流量计的生产厂家及产品技术指标。

### 1.3 建设目标

为了把贸易结算中的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,必须进行量值溯源,其目的是使工作仪表与国家标准仪器建立起有效的溯源链,确保计量量值的准确、可靠和统一。为了满足量值溯源的需要,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<sup>[7-8]</sup>。

表 1 国内现有高压气体流量计量标准装置主要技术指标表

机构名称	装置名称	准确度/ 级	压力范围/ MPa	检测范围/ kg/min	可检测设备
重庆市计量质量检测研究院(重庆市流量检测技术研究所、国家原油大流量计量站重庆天然气流量分站)	称重法气体流量标准装置	0.1	0~25.0	0.5~25.0	0.5级(或0.5级以下)的CNG加气机 0.2级(或0.2级以下)的气体质量流量计
北京首科实华自动化设备有限公司(北京首科石化自动化设备有限公司)	高压气体质量流量在线监测检定装置	0.5	0~25.0	2.0~20.0	气体质量流量计
中国测试技术研究院流量研究所	CNG加气机现场检定装置	0.2	0~25.0	1.0~20.0	0.5级(或0.5级以下)的CNG加气机

表 2 国外主要 CNG 加气机用高压质量流量计主要技术指标表

生产厂家	型号	管径/ mm	精度	质量流量范围/ kg·min <sup>-1</sup>	工作压力/ MPa
Endress+Hauser(恩德斯豪斯, 简称 E+H 公司)	CNGmass	15.0	测量值的 0.5%	1~80	35.0
	CNGmass	20.0	测量值的 0.5%	1~150	
Micro Motion(艾默生高准公司)	CNG050	12.7	测量值的 0.5%	1~100	34.5
KROHNE(德国科隆公司)	OPTIGAS 5050/5010 C	15.0	测量值的 0.5%	1~50	34.5
	OPTIGAS 5050/5010 C	25.0	测量值的 0.5%	1~120	

因此,为了统一高压气体流量计量量值,以便于开展国际高压流量计量标准间的循环比对,迫切需要建立 1 套计量扩展不确定度为 0.065% (为目前国内最先进技术水平)的大流量高压气体流量计量标准装置,承担高压气体流量计量的量值传递和标准比对工作,CNG 加气机系列产品、CNG 加气机现场检定装置及高压气体质量流量计的计量性能和安全性能的检测任务。

同时,由于空气介质的组分固定,物性参数计算准确度高,以空气为介质的气体流量原级标准的稳定性好、可靠性高,适合于进行有关气体计量的科学研究,可用作高压气体流量计量标准的参考,开展高压气体流量计量仪表的量值传递。高压气体流量计量标准的量值传递见图 1,其量值传递链短,可溯源至国家的质

量标准,这对于保证我国高压气体流量计量的准确可靠性是十分必要的。

## 2 高压气体流量计量标准装置研制

### 2.1 工作原理

通过比较国内外 CNG 加气机及高压气体流量计的测定方法,决定采用最可靠的称量法进行测定。称量法流量标准装置被国际标准 ISO 4185 认为“是所有流量测量方法中最精确的方法”,其核心是称重衡器<sup>[9]</sup>。

高压气体流量计量标准装置根据 JJG 996—2005 《压缩天然气加气机》国家计量检定规程的方法,在称量气瓶中充入一定量的空气,由两次称量的电子天平读数之差确定充入气瓶内空气的质量,再与检测设备的读数比较。“高区”检定时,用气量约 80 kg;“低区”检定时,用气量约 6 kg。由于称量的是气体质量,不受温度、大气压力等因素影响,产生误差的因素也比其他方法要少,因而准确度高,不仅直观和可靠,而且溯源也比较容易。

### 2.2 误差计算

高压气体流量计量标准装置的相对误差采用式(1)计算:

$$E_m = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $m_i$  为检定设备显示的质量流量示值; $m_s$  为气体

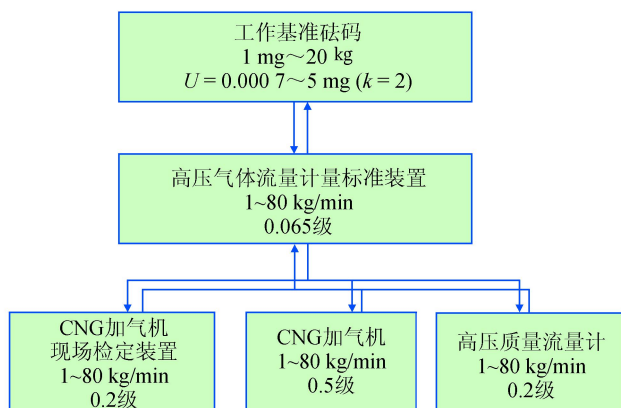


图 1 高压气体流量计量标准量值溯源和传递系统框图

流量计量标准装置给出的实际质量示值。

采用式(2)计算测量重复性:

$$E_r = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{d_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $E_{\max}$  和  $E_{\min}$  分别为规定流量下,测量示值相对误差的最大值和最小值; $d_n$  为极差系数(当测量次数  $n=3$  时, $d_n=1.69$ )。

### 2.3 主要技术指标

高压气体流量计量标准装置由高压空气压缩机、高精度工业电子天平称量系统、地下高压储气井、中央控制系统及管理软件等组成。其主要技术指标如下:

- 1)装置扩展不确定度  $U=0.065\%$  (包含因子  $k=2$ )。
- 2)检定介质为压缩空气。
- 3)气源质量流量为  $1\sim 80\text{ kg/min}$ ;体积流量为  $85\sim 5\ 100\text{ m}^3/\text{h}$ (换算为天然气体积)。
- 4)最大工作压力为  $25\text{ MPa}$ 。
- 5)标准衡器(高精度工业电子天平)称量范围为  $0\sim 150\text{ kg}$  时分度值为  $1\text{ g}$ ;称量范围为  $0\sim 600\text{ kg}$  时分度值为  $2\text{ g}$ 。
- 6)使用环境大气压力为  $86\sim 106\text{ kPa}$ 。
- 7)环境温度为  $-10\sim 55\text{ }^\circ\text{C}$ 。
- 8)相对湿度为  $30\%\sim 90\%$ 。
- 9)防爆等级为 ExibIIBT4。

### 2.4 关键技术措施

1)建立高压储气系统,制备高压气体并保持  $25\text{ MPa}$  压力,建造 3 口高压地下储气井,其总水容积为  $6\text{ m}^3$ 。地下高压储气井是利用符合美国石油学会(API)标准与行业标准的进口石油套管(其具有较高的防腐能力和强度)在地下打井后,按其固井工艺将套管固定好形成的储气装置。其套管的管口、管底采用特殊的结

构形式封闭。高压地下储气井的优点是储气装置占地少且地下储气相对地面上储气安全,不足之处是装置建设投资较大。高压地下储气井主要技术参数为:单井井深为  $103.2\text{ m}$ ,单井水容积为  $2.0\text{ m}^3$ ,井数为 3 口,井管规格为  $\varnothing 177.8\text{ mm}\times 10.36\text{ mm}$ ,总水容积为  $6\text{ m}^3$ ,总储气量为  $1500\text{ m}^3$ 。

2)按照检定规程的要求,利用压力控制柜输送高压气体,通过高压管路和被检高压气体流量仪表或者 CNG 加气机系列产品以及 CNG 加气机现场检定装置,注入一组计量高压储气瓶。

3)利用高精度工业电子天平称量,其称量值与被检高压气体流量仪表或者 CNG 加气机及 CNG 加气机现场检定装置的显示值进行比较,通过数据处理系统得出扩展不确定度和重复性。工业电子天平主要技术参数见表 3。

表 3 高精度工业电子天平主要技术参数表

项 目	技术参数
型号	秤台 IS300IGG-H+VF2752,仪表 C1SL1.A7.M41
量程/kg	150~600
精度/g	1~2
秤盘尺寸/mm	800×600
RS485 接口	A3

4)根据网络化管理的需要,利用中央控制系统(SCADA 系统)实现高压气体流量标准装置的运行和维护管理,不仅能够减轻现场操作人员的劳动强度,保存实时数据,减少事故隐患,确保高压气体流量标准装置的安全运行,而且使得装置能实现安全的计算机监控和远程操作见图 2。

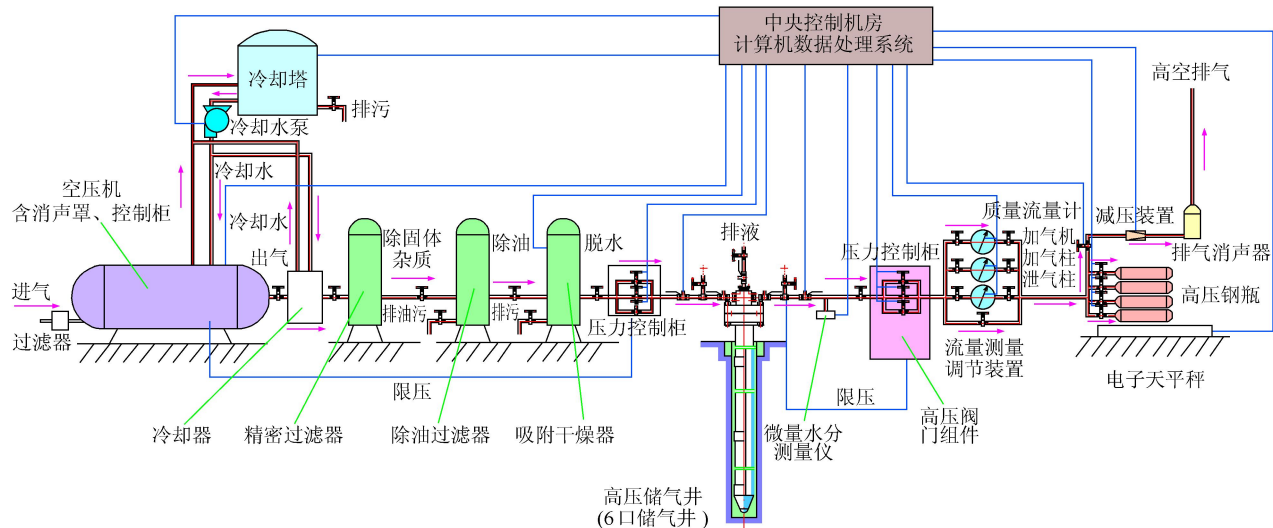


图 2 高压气体流量计量标准装置原理简图

### 3 结束语

利用高压气体流量计量标准装置可以开展高压流量计量领域多方面的理论研究。作为国家法定计量技术机构的中国测试技术研究院,可以利用此高压气体流量计量标准装置,组建社会公用计量标准,填补国家高压、大流量气体流量计量检定的空白,完善国家的高压气体流量量值溯源体系。同时,还可以利用此装置在全国范围内对 CNG 加气机系列产品及高压质量流量计开展检定和校准工作,这对提高 CNG 加气机及高压质量流量计产品的质量有着积极重大的意义。目前此高压气体流量计量标准装置项目已经通过方案论证,被中国测试技术研究院确立为“十二五”重点科研项目,建成后必将产生良好的经济效益和社会效益,为将来建成为高压气体流量计量国家标准奠定坚实的基础。

#### 参 考 文 献

[1] 王自和,范砧.气体流量标准装置[M].北京:中国计量出版

社,2005.

- [2] 纪建英.流量容量计量标准技术报告[M].北京:中国计量出版社,2009.
- [3] 刘辰魁,李同波,张红刚,等.气体流量标准装置的研制[J].计量学报,2008,29(5):454-456.
- [4] 丁建林,国明昌,邱惠,等.高压天然气流量标准装置[J].计量学报,2008,29(5):479-483.
- [5] 孙延祚,KOOS VAN HELDEN.国际气体流量测量技术的新进展[J].天然气工业,2001,21(1):79-99.
- [6] 罗勤,杨果,郑琦,等.俄罗斯天然气产品测量、计量保障体系简介[J].天然气工业,2009,29(4):86-88.
- [7] 王池,段慧明,李芳,等.CNG 加气机在线检测装置的研制[J].中国计量,2003(8):42-43.
- [8] 何太碧,黄海波,谭金会,等.CNG 加气机技术水平评价指标体系[J].天然气工业,2005,25(3):144-147.
- [9] 赵普俊,黄锦才.气体大流量标准装置的扩展不确定度评定[J].中国测试技术,2005,31(5):6-12.

(修改回稿日期 2010-07-14 编辑 何 明)