

LNG 加气机现场检定方法的研究

杨修杰 赵普俊 张宗平 陈艳 雷励

中国测试技术研究院

杨修杰等.LNG 加气机现场检定方法的研究.天然气工业,2011,31(11):96-99.

摘 要 LNG 加气机作为一种尚处于发展阶段的新的计量器具,其现场检定较为困难。为此,介绍了 LNG 的物理特性和计量难点,剖析了 LNG 加气机的结构和工作流程,对比分析了称重法和标准表法(又分为启停法和动态法)的优缺点和现场可操作性。实验数据表明,采用标准表法(尤其是动态检定法)对 LNG 加气机进行现场检定更为合理可行。在此基础上研制了一套实用的标准表法 LNG 加气机现场检定装置,该装置测量结果可靠,现场可操作性强,符合 LNG 加气机的现场检定校准要求。

关键词 液化天然气 LNG 加气机 现场检定 称重法 标准表法 动态

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.11.024

液化天然气(LNG)作为动力燃料已在我国部分城市公交汽车和长途运输车上广泛使用,成为继压缩天然气(CNG)后又一种清洁型汽车动力燃料^[1-4]。LNG 加气机主要用于为 LNG 汽车加注 LNG 并对加注量进行计量^[5-6]。按照我国计量法规定,LNG 加气机作为一种贸易结算的计量器具,必须定期进行周期检定。由于 LNG 加气机是一种尚处于发展阶段的新的计量器具,目前尚无国家计量检定规程,国内外都没有成熟的现场检定方法,LNG 加气机的检定工作成为空白。中国测试技术研究院 LNG 课题组对 LNG 加气机检定方法做了大量研究,提出了一种较为可行的 LNG 加气机现场检定方法。

用双流量计,典型的 LNG 双流量计加气机的基本结构如图 1 所示,主要由加液通路、回气通路和控制阀组成。

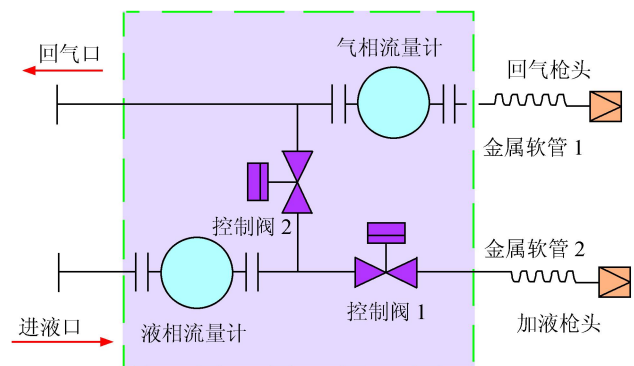


图 1 LNG 双流量计加气机的基本结构图

1 LNG 加气机的结构及工作流程

1.1 LNG 加气机内部结构

LNG 为超低温液体,其温度一般在 -140°C 以下,且极易气化,在加注过程中部分液体不断气化,这对贸易交接中 LNG 的准确计量和将 LNG 顺利加注到储气罐中提出了极大的挑战。LNG 加气机一般分为双流量计(包括液相和气相流量计)系统和单流量计(无气相流量计)系统。目前,主流的 LNG 加气机采

1.1.1 加液通路

LNG 加气机通过加液通路将 LNG 加注到汽车储气罐中,同时完成对加注量的计量。流量计是 LNG 加气机的核心计量部件,LNG 的超低温特性决定了其对流量计的选择较为苛刻。目前 LNG 加气机采用基于科里奥利力原理的质量流量计,由液相流量计负责计量加气站加注到汽车储气罐中的 LNG 质量。

基金项目 :2011 年四川省科技支撑计划项目“液化天然气(LNG)加气机现场检定装置研制”(编号:2011GZ0011)。

作者简介 :杨修杰,1981 年生,工程师,硕士;主要从事流量检测技术研究工作。地址:(610021)四川省成都市玉双路 10 号。电话:(028)84404400,15928680753。E-mail:yxj284@163.com

1.1.2 回气通路

加气机回气通路的存在是由 LNG 的超低温和易气化特性决定的。在 LNG 加气机的使用过程中,当加气机通过加液枪头将 LNG 加注到汽车储气罐时,将有少量液体气化,如果没有回气通路,汽车储气罐内部压力将不断升高,当达到一定程度时,加气机将无法为汽车储气罐加注 LNG。回气通路的作用就是将汽车储气罐中气化的天然气回流到加气站,以降低汽车储气罐的内部压力,确保加气机能够将 LNG 顺利加注到汽车储气罐中^[7]。实验表明,一次 LNG 加注过程的回气量约为加气机总加注量的 5% 左右。回气通路上同样安装有流量计,由气相流量计负责计量从汽车储气罐中回到加气站的气态天然气质量,液相流量计和气相流量计的计量结果之差即为加气站实际加注到汽车储气罐中的天然气质量。

1.1.3 控制阀

控制阀 1 和控制阀 2 的存在同样是由 LNG 易气化的特性决定的。LNG 加气机为汽车储气罐加气过程的前期,由于热交换的原因部分天然气发生气化,流过液相流量计的天然气处于气液两相状态,因此质量流量计测量的流量数据是不准确的,无法保证加气机计量的准确性。通过调节控制阀 1 和控制阀 2 的开启顺序,使在计量过程中流过液相流量计的天然气一直处于液态,这样就能够有效地保证 LNG 加气机的计量准确性。图 2 为 LNG 加气机使用过程中通过液相质量流量计流体的瞬时流量、密度和加气时间的对应曲线。为了能够将密度和瞬时流量在同一坐标系表示,图 2 中将密度值缩小了 10 倍。

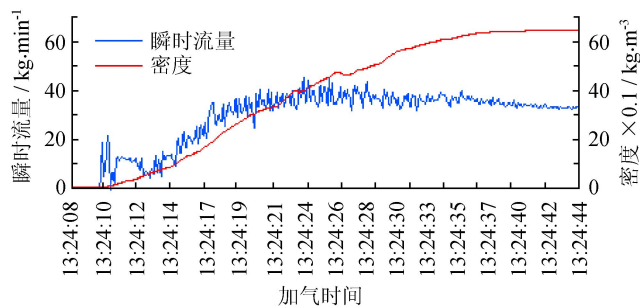


图 2 通过液相质量流量计流体的瞬时流量、密度与加气时间的对应曲线图

从图 2 中可以看到加气机从加气开始,瞬时流量快速波动上升,而密度以一定斜率缓慢上升。从 13:24:10 开始加气到 13:24:35 密度趋于稳定,约有 20 s 时间流量计流过的介质处于气液两相流状态。加气机通过控制控制阀 1 和控制阀 2 的动作顺序可以有效避

免由于测量介质存在气液两相而造成的计量不准问题,具体工作原理为:当加气机开始加气时,控制阀 1 关闭,控制阀 2 打开,此时流量计测量流体状态,但不参与计量;当流体状态达到测量要求时,控制阀 2 关闭,同时打开控制阀 1,测试流量计开始计量,完成加注任务。

由于实验中需要将大量气体排放到空气中,如果直接采用 LNG 作为实验介质,将会造成大量的 LNG 在空气中变成气态,污染空气,浪费能源,且容易引起安全隐患,因此实验中采用液氮来替代 LNG 作为测试介质。液氮通常温度为 $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,和 LNG 具有相同的超低温和易气化的特性,能够满足实验要求。文中所有测试数据均以液氮为测量介质所得,采样周期为 100 ms。

1.2 LNG 加气机的工作流程

加气机的工作流程是根据流过加气机的流体状态而确定的,具体为:将加液枪头和回气枪头分别安插到汽车储气罐的进液口和出气口上,启动加气机开始加注 LNG,加注过程中加气机首先进行小循环,此时流经液相流量计的 LNG 处于气液两相状态,流量计无法将其准确计量,控制阀 2 开启,控制阀 1 关闭,LNG 经液相流量计、控制阀 2 回到加气站中,此时流量计主要用于测量流体状态,不参与计量工作;当流过液相流量计的 LNG 为全液态时,控制阀 2 关闭,控制阀 1 开启,开始向汽车储气罐中加注 LNG;小循环的时间长短由流过液相流量计的流体状态决定。LNG 加气机的工作流程如图 3 所示。

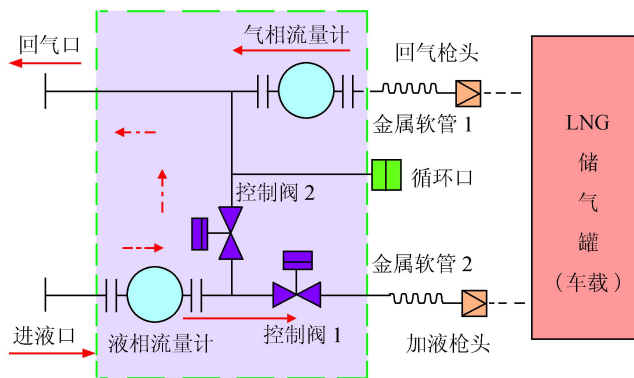


图 3 LNG 加气机的工作流程图

2 LNG 加气机的现场检定方法的对比分析

由量值溯源原理及 LNG 的特性可知,对 LNG 加气机的准确度判定可采用称重法和标准表法两种方法,两

种方法各有利弊,根据需 要及实际情况可酌情选择^[8-9]。

2.1 称重法

目前 LNG 加气机采用质量流量计作为计量元件,单从理论上讲,该方法直接溯源到质量,采用电子秤对 LNG 加气机直接检定应为首选,但由于 LNG 温度非常低,可燃且易气化,对 LNG 加气机检定的实际操作中存在许多难以处理的问题,如在检定过程中要回收 LNG 加气机加注出来的 LNG 较为困难,最理想

的办法是将其放空,这不仅较为浪费且容易引起安全隐患和空气污染。该方法适用于实验室检定,不适用于 LNG 加气机的现场检定。

2.2 标准表法

考虑到称重法的弱点,现场检定 LNG 加气机优先选用标准表法。根据实际操作过程,标准表法又可进一步分为启停法和动态法。标准表法检定 LNG 加气机的工作原理图如图 4 所示。

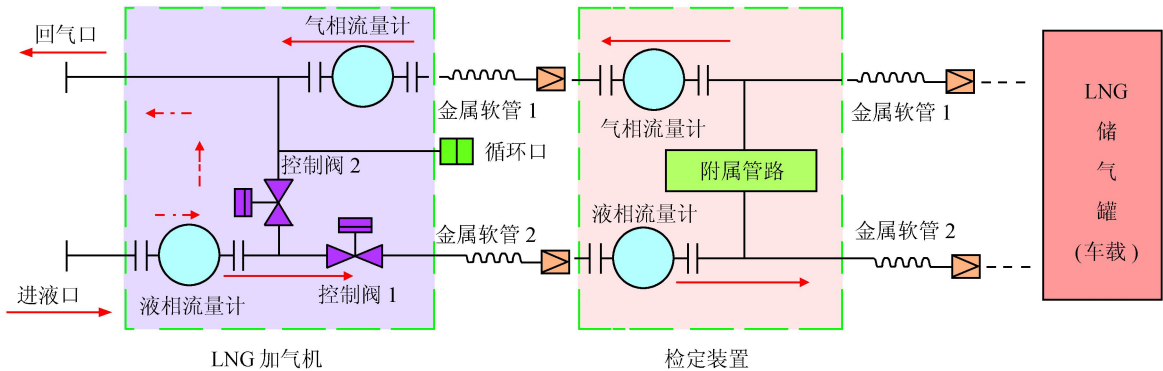


图 4 标准表法检定 LNG 加气机的工作原理图

2.2.1 启停法

启停法是将加气机和检定装置同时启动计量和停止计量,比较两者数据的差异即可获得加气机的测量误差。目前 CNG 加气机采用启停法检定,通过阀门控制,在检定装置处憋压,实现加气机和检定装置同步启动计量和停止计量,对加气过程进行全程检定^[10-11]。但对于 LNG 加气机而言,一方面由于 LNG 具有极易气化的特性,采用启停法不能出现憋压现象,无法实现 LNG 加气机和检定装置同步启动计量和停止计量;另一方面由于在 LNG 加气机内部存在小循环结构,而检定装置内部却不能出现类似的小循环结构,流量计在计量前期测量的流体可能没有处于满足准确测量要求的状态,对准确计量存在较大影响。大量实验测试表明,采用标准表法检定 LNG 加气机的过程中,检定装置内部流体状态在检定前期有 5~30 s 时长处于非准确测量状态,启停法检定 LNG 加气机在实际检定中存在一定的困难。

2.2.2 动态法

动态法由启停法发展而来,其检定 LNG 加气机的作业框图如图 5 所示。

动态法检定 LNG 加气机的过程中,当 LNG 加气机启动后,立即启动计算机软件,实时监测检定装置中流量计的工作状态,当流过检定装置内部流量计的流体满足计量要求时,启动工业相机抓拍被检 LNG 加

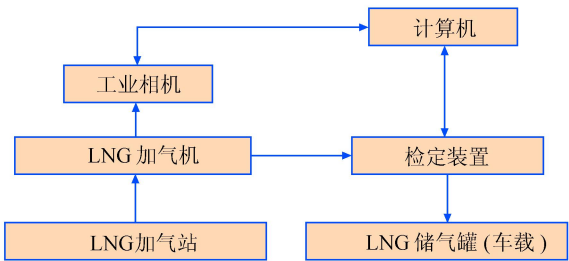


图 5 动态法检定 LNG 加气机的作业框图

气机显示屏上的累计流量 A_1 ,同时读取检定装置流量计的累计流量 B_1 ,此时检定开始。LNG 加气机持续加气大于 1 min 以后,启动工业相机抓拍被检 LNG 加气机显示屏上的累计流量 A_2 ,同时读取检定装置流量计的累计流量 B_2 ,此时检定结束,停止 LNG 加气机的加气作业。整个检定过程共需采集 4 个数据。

在检定过程中流过被检 LNG 加气机的累计质量流量(m_1)为:

$$m_1 = A_2 - A_1 \tag{1}$$

流过检定装置的累计流量(m_2)为:

$$m_2 = B_2 - B_1 \tag{2}$$

被检 LNG 加气机的绝对误差(Δm)为:

$$\Delta m = m_1 - m_2 \tag{3}$$

被检 LNG 加气机的相对误差(δ)为:

$$\delta = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \tag{4}$$

通过数据 A_1 、 A_2 、 B_1 和 B_2 可以计算出被检加气机的测量不确定度。表 1 为采用称重法检定 LNG 加气机的 3 组实测数据,表 2 为采用动态法检定同一台 LNG 加气机的 3 次实测数据。

表 1、2 的数据表明采用动态法检定 LNG 加气机的结果与采用称重法检定 LNG 加气机的结果基本一

表 1 采用称重法检定 LNG 加气机的实测数据表

加气机读数	电子秤读数	绝对误差	相对误差	平均误差	重复性
50.28	50.40	-0.12	-0.24%		
50.41	50.55	-0.14	-0.28%	-0.29%	0.07%
50.35	50.53	-0.18	-0.36%		

表 2 采用动态法检定 LNG 加气机的实测数据表

A_1	A_2	m_1	B_1	B_2	m_2	Δm	δ	平均误差	重复性
11.13	60.81	49.68	10.85	60.67	49.82	-0.14	-0.28%		
8.45	58.84	50.39	8.68	59.16	50.48	-0.09	-0.19%	-0.24%	0.061%
7.49	60.33	52.84	7.50	60.48	52.98	-0.14	-0.26%		

致,但是,该方法只对加气过程中状态最稳定时的 LNG 加气机的计量准确度进行检定,未能对加气全过程数据进行判断,因此也存在一定的局限性。

3 结束语

LNG 的超低温和易气化特性为 LNG 的准确计量造成诸多困难。目前对于如何提高 LNG 加气机的计量准确度及相应的检定方法,尚有许多工作及课题需要开展。笔者对 LNG 加气机的 3 种检定方法进行了初步分析,相对来讲动态检定法能够较好地加气站现场对 LNG 加气机进行检定校准,有助于促进 LNG 的公平贸易和广泛推广使用。

参 考 文 献

[1] 乔国发,李玉星,冯叔初,等.LNG 在汽车代用燃料中的优势[J].油气储运,2004,23(2):46-49.
[2] 胡军军,张武高,黄震,等.液化天然气公交车应用研究[J].天然气工业,2004,24(7):96-97.
[3] 敬加强,梁光川,蒋宏业.液化天然气技术问答[M].北京:

化学工业出版社,2007.
[4] 顾安忠.迎向“十二五”中国 LNG 的新发展[J].天然气工业,2011,31(6):1-11.
[5] 熊茂涛,赵普俊,张宗平,等.中国 LNG 加气机的市场、技术现状与发展方向[J].天然气工业,2011,31(6):103-106.
[6] 何太碧,黄海波,林秀兰,等.中国 LNG 汽车及加气站技术应用分析及推广建议[J].天然气工业,2010,30(9):82-86.
[7] 张嘉祥.层流流量计计算数学模型和标定方法的研究[J].中国测试,2009,35(5):14-17.
[8] 关进伟,杨有涛.液化石油气(LPG)加气机的检定与检定方法[J].中国计量,2002,7(11):50-51.
[9] 段慧明.液体流量标准装置和标准表法流量标准装置[M].北京:中国计量出版社,2007.
[10] 王自和,范砧.气体流量标准装置[M].北京:中国计量出版社,2005.
[11] 张则年,朱光,廖华.压缩天然气(CNG)加气机现场检定[J].计量与测试技术,2010,37(1):15-16.

(修改回稿日期 2011-09-12 编辑 何 明)