

橇装式 LNG 加气机加气系统及计量系统的优化设计

殷劲松¹ 谢福寿² 陈叔平² 张建红¹ 王志贤¹

1. 张家港富瑞特种装备股份有限公司 2. 兰州理工大学石油化工学院

殷劲松等. 橇装式 LNG 加气机加气系统及计量系统的优化设计. 天然气工业, 2012, 32(3): 105-108.

摘 要 针对目前橇装式 LNG 汽车加气站加气时 LNG 损失量大和计量不准的问题, 对 LNG 加气站的加气系统和计量系统进行了优化设计; 加气机设有加气枪接口、加气枪回流接口和回气枪接口, 按照“LNG 损失量最小”的设计理念, 分别设计了待机模式、加注模式下的加气操作流程; 应用双流量计计量法设计了加气计量系统, 并用质量检定法验证了该系统的精度。试验验证结果表明: 该橇装式 LNG 汽车加气站加气系统运行稳定, 计量误差小于 1%, 能满足计量要求, 可在实际工程中推广应用。

关键词 LNG 汽车 橇装式加气站 加气系统 计量系统 双流量计计量法 质量检定法

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.03.023

橇装式 LNG 汽车加气站是将压力为 1.2 MPa、温度为 -163 °C 的 LNG 经管路、低温泵、加气机等加注到 LNG 车载气瓶中的专用加气装置, 其设备简单、建站周期短、运行费用低、投资成本和占地面积小, 非常适合用汽车搬运, 可根据市场需求改变加气地点, 很适宜在城市推广^[1-10]。

针对目前橇装式 LNG 汽车加气站加气时 LNG 损失量大和计量不准的问题, 笔者对 LNG 加气站的加气系统和计量系统进行了优化设计。

1 LNG 加气站总体设计

1.1 LNG 加气站结构

LNG 加气站为高度集成的组合设备, 对整台设备进行橇装化设计, 分为主橇、辅助控制电气系统和加气机 3 部分, 主要设备包括 LNG 储罐、LNG 低温泵、LNG 调压气化器、LNG 加气机、橇座等^[11-13]。

1.2 工艺流程

LNG 加气站工艺流程主要分为卸车、加气和调压 3 种基本流程^[14]。

1.2.1 卸车流程

从 LNG 液化厂用低温运输槽车将 LNG 运至 LNG 汽车加气站, 通过 LNG 加气站卸车接口、真空管

道、潜液泵、阀门等将 LNG 灌注到 LNG 加气站的低温储罐中。

1.2.2 汽车加气流程

给车辆加气时, 先将 LNG 输送到低温潜液泵中, 通过 LNG 加气机来控制输送的流量, 同时用 LNG 流量计计量输出的 LNG, 在控制面板上显示出所加注 LNG 的质量(或立方数)和价格。

1.2.3 调压流程

卸车后, 用 LNG 低压泵将储罐中的部分 LNG 输送到气化器, LNG 气化后通过气相管路返回储罐, 直到罐内压力达到设定的工作压力。该流程具有自动调节储罐压力至饱和的功能, 可以增加 LNG 的温度, 以提高储罐的压力。

1.2.4 泄压流程

LNG 储罐内气相压力高于安全阀设定压力, 安全阀自动泄压。

1.2.5 待机状态

在正常待机状态下, 系统处于关闭状态, 具备随时加气的条件。

1.3 主要设备技术参数

橇装式 LNG 汽车加气站主要设备的技术参数见表 1。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(编号: 2008AA11A132)。

作者简介: 殷劲松, 1971 年生, 高级工程师; 主要从事 LNG 应用技术装备研究开发工作。地址: (215637) 江苏省张家港市杨舍镇晨新路 19 号张家港富瑞特种装备股份有限公司。电话: (0512) 58746192。E-mail: yjs@furuise.com

表 1 撬装式 LNG 汽车加气站技术参数表

项 目	参 数
设计储罐容积/ m^3	60
储罐最大工作压力/MPa	1.2
设计温度/ $^{\circ}\text{C}$	-196~60
蒸发率	$\leq 0.2\%$
噪音/dB	≤ 55
无故障工作时间/h	$\geq 5\ 000$
加气系统计量误差	$\leq 1.0\%$
真空管路的真空度/Pa	$\leq 1 \times 10^{-3}$

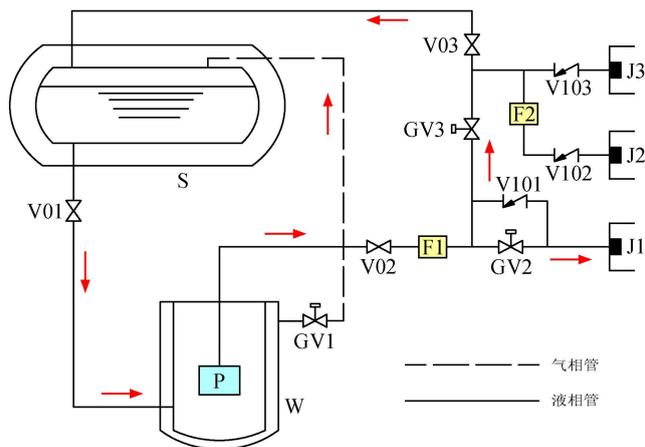


图 1 LNG 加气站加气计量系统的工艺流程图

注:V01、V02、V03 为截止阀;GV1、GV2、GV3 为自力式调节阀;V101、V102、V103 为止回阀;S 为 LNG 储罐;W 为泵池;P 为泵;F1 为进液流量计;F2 为回气流量计;J1 为加气枪;J2 为回气枪;J3 为加气枪回流口

2 LNG 加气机的加气及计量系统

2.1 LNG 加气机的结构

LNG 加气机主要完成 LNG 从储罐到车载气瓶的计量工作。作为供需双方贸易结算的最终计量器具,LNG 加气机是 LNG 汽车产业的重要组成部分。LNG 加气机主要由 3 大部分组成:①质量流量计(质量流量传感器和质量流量变送器);②测控系统(微电脑系统、控制单元、防爆电源箱、显示单元和操作键盘);③阀件(电磁阀、单流阀、高压球阀、压力传感器、压力仪表和拉断阀等)。

2.2 LNG 加气机的加气系统

该 LNG 加气机的加气系统有 3 个接口,分别为加气枪接口、加气枪回流接口和回气枪接口,其作用为:①加气枪接口主要是连接加气枪软管和加气枪,以便对车载气瓶加气口实现加气;②在刚开始加气时整个加气系统需要一个预冷过程,加气枪回流口主要是用于把加气枪插入加气枪回流口实现循环预冷,减少 LNG 损失,提高 LNG 加气经营商的经济效益;③回气枪接口主要是当车载气瓶的压力较高时(一般超过 1.0 MPa),需要把车载气瓶内的天然气输送到 LNG 储罐内,以实现车载气瓶与 LNG 储罐的压力平衡,同时收集残余天然气,降低用户的加气费用。为了不使压力平衡过程中 LNG 储罐的压力升高,车载气瓶的回气都回到 LNG 储罐的液相中,使气体液化。回气枪只在车载气瓶压力高时使用。

LNG 加气系统工艺流程总体贯彻了 LNG 损失量最小的设计理念,其具体流程为(图 1)。

1)在待机模式下,如果潜液泵满足设定的条件后(要求温度低于 -110°C ,延时 5 min,以确保潜液泵完全冷却),启动潜液泵,液体从 V01→F1→GV3→V03

→LNG 储罐,从泵的出口到 LNG 储罐底部形成一个循环,对流量计管路进行预冷,满足条件后自动停机。

2)在加注模式下,先要对加气枪进行预冷,流程为 V01→F1→GV2→加气枪接口→加气枪→加气枪回流口→止回阀→V03→LNG 储罐,此状态下 GV3 是关闭的。加气枪预冷后,GV2 关闭,GV3 自动打开。

3)加气枪预冷完后,把加气枪插入车载气瓶加气接口,按加气按钮进行加气。当车载气瓶加满气后,自动停止加气。

2.3 LNG 加气机的计量系统

为了提高 LNG 加气站加气系统的计量精度^[15-16],采用双流量计计量法对加气系统进行计量(图 1),其工艺流程为:

1)当车载气瓶内压力小于等于 1.0 MPa 时,直接接加气枪加气,由进液流量计(F1)进行计量。

2)当车载气瓶内压力大于等于 1.0 MPa 时,先接回气口进行回气,由回气流量计(F2)进行计量,再接加气枪加气,由进液流量计(F1)进行计量。实际流量为 F1 所计流量减去 F2 所计流量。

2.4 LNG 加气机的主要设备

2.4.1 加气枪

加气枪采用美国进口卡特品牌加气枪。

2.4.2 流量计

加气时选用 CMF-100 流量计实现液体加注计量功能,回气时选用 CMF-025 流量计实现精确计量。

3 加气机的计量检定系统

由于 LNG 加气机这一加气技术在中国发展较晚,目前还没有 LNG 加气机的国家计量检定规程。针对使用质量流量计的 LNG 加气机,常用的计量检定方法有质量法和标准表法两种^[17]。笔者采用质量法来检定 LNG 加气机的加气精度。

3.1 质量检定法

质量检定法就是测量通过 LNG 加气机的液体质量,与标准容器的液体质量进行直接对比,以得到 LNG 加气机的计量准确度^[18-19](图 2)。

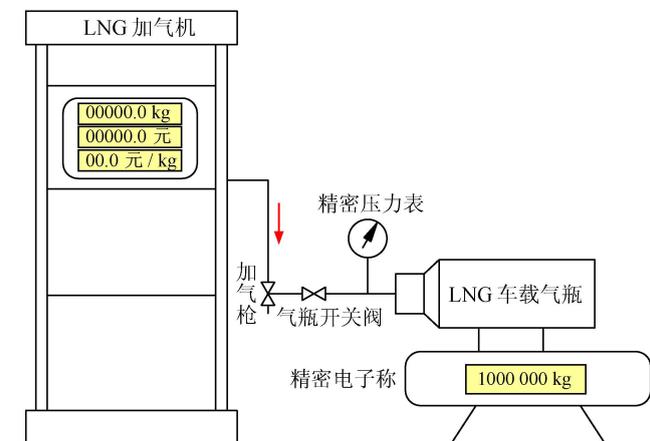


图 2 质量法检定示意图

首先精确测量标准空容器的质量 (M_{i1}),然后将 LNG 加气机计数器清零,将 LNG 加气枪接入标准容器,开启 LNG 加气机加气,当容器质量达到规定称量点时,关闭 LNG 加气枪,取下 LNG 加气枪,再次测量标准容器的质量 (M_{i2}),同时,读取 LNG 加气机显示的加气质量 (M_{ji}),则通过 LNG 加气机的气体质量 (M_i)为:

$$M_i = M_{i2} - M_{i1} \quad (1)$$

LNG 加气机的示值误差 (E_i)为:

$$E_i = \frac{M_{ji} - M_i}{M_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中 M_i 为第 i 次通过 LNG 加气机的气体质量,kg; M_{i2} 为第 i 次加气后标准容器的质量,kg; M_{i1} 为第 i 次加气前标准容器的质量,kg; M_{ji} 为加气机第 i 次检定指示质量,kg。

3.2 实验验证

为了确保 LNG 加气站加气系统的计量精度,采用质量检定法对 CP275 型、CP335 型和 CP375 型 LNG 车载气瓶在不同的加气状态和不同的加气方式下作了验证实验,结果如表 2 所示。由表 2 可知,该 LNG 加气机的加气计量系统在不同 LNG 车载气瓶型号、加气状态和加气方式下,计量误差均小于 1%,满足工程应用指标。

表 2 不同型号 LNG 车载气瓶在不同加气状态和加气方式下的实验数据表

气瓶规格	加气压力/MPa	加气方式	充装次数/次	加气前瓶重/kg	加气后瓶总重/kg	实际加气称重量/kg	显示重量/kg	误差	充装率
CP275	1.0	回气	1	197.0	358.0	161.0	161.7	0.435%	87.37%
			1	197.0	355.0	158.0	158.0	0.501%	85.86%
	1.2	回气	2	196.0	351.0	155.0	155.3	0.194%	83.84%
			1	186.0	359.0	173.0	173.6	0.347%	87.88%
		闷充	2	188.0	358.0	170.0	170.7	0.412%	87.37%
			1	185.0	365.0	180.0	180.5	0.278%	90.90%
CP335	1.0	回气	2	185.0	359.0	174.0	174.3	0.173%	87.88%
			1	258.0	463.0	205.0	205.8	0.390%	88.31%
		闷充	2	260.0	468.0	208.0	209.3	0.625%	90.38%
			1	255.5	459.4	203.9	204.1	0.098%	86.82%
	1.2	回气	2	271.0	465.0	194.0	193.7	-0.156%	89.14%
			1	253.0	471.0	218.0	218.6	0.275%	91.63%
		闷充	2	255.0	470.0	215.0	215.7	0.326%	91.21%
			1	256.0	471.0	215.0	216.1	0.512%	91.63%
CP375	1.2	回气	2	254.0	473.0	219.0	219.9	0.411%	92.45%
			1	279.0	515.0	236.0	236.6	0.254%	87.78%
		闷充	2	283.0	515.0	232.0	233.6	0.689%	87.78%
			1	278.0	513.0	235.0	234.5	-0.213%	87.03%
		回气	2	279.0	519.0	240.0	238.5	-0.625%	89.25%
			1	279.0	519.0	240.0	238.5	-0.625%	89.25%

4 结束语

该橇装式 LNG 汽车加气站加气系统总体贯彻了 LNG 损失量小、计量准确的设计理念,既保障了生产安全,又提高了经济效益。双流量计计量法可确保该加气计量系统的误差小于 1%,有助于提高 LNG 加气站加气系统的计量准确度。

参 考 文 献

- [1] 陈叔平,任永平,鄢品芳.橇装式 LNG 汽车加气站结构设计[J].低温技术,2009,38(1):20-25.
- [2] 陈叔平,谢高峰,李秋英,等.LNG、L-CNG、CNG 加气站的比较[J].煤气与热力,2007,27(7):27-30.
- [3] GEORGE E, GOVERNOR P. Report on issues regarding the exiting New York Liquefied Natural Gas Moratorium [R]. New York: New York State Energy Planning Board, 1998.
- [4] 刘建辉,杨宏军,徐文东,等.小型移动式天然气临时供应装置及应用示范[J].天然气工业,2011,31(8):101-105.
- [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] 罗东晓,林越玲.L-CNG 加气站的推广应用前景[J].天然气工业,2007,27(4):123-125.
- [8] 苏欣,杨君,袁宗明,等.我国液化天然气汽车研究现状[J].天然气工业,2006,26(8):145-148.
- [9] 赖元楷.LNG 燃料汽车的发展前景[J].天然气工业,2005,25(11):104-106.
- [10] 乔国发,张孔明,李多金,等.橇装式 LNG/CNG 汽车加气站[J].天然气工业,2005,25(3):148-150.
- [11] 陈福洋.LNG 汽车加气站设计中的几个问题[J].煤气与热力,2009,29(7):7-11.
- [12] 徐婷,罗东晓.LNG 汽车产业技术标准分析[J].天然气工业,2007,27(11):110-112.
- [13] 杨尚宾.液化天然气汽车(LNGV)技术及系统维护[J].石油与天然气化工,2009,38(5):390-392.
- [14] 乔国发,张孔明,李多金.橇装式 LNG/CNG 汽车加气站[J].天然气工业,2005,25(3):148-152.
- [15] 张福元,王劲松,孙青峰,等.液化天然气的计量方法及其标准化[J].石油与天然气化工,2007,36(2):157-161.
- [16] 赵普俊,熊茂涛,雷励,等.高压气体流量计量标准装置研制[J].天然气工业,2010,30(9):78-81.
- [17] 杨修杰,赵普俊,张宗平,等.LNG 加气机现场检定方法研究[J].天然气工业,2011,31(11):96-99.
- [18] 邓立三,胡绪美,肖兴达.CNG 加气机计量检定方法探讨[J].城市燃气,2005,17(1):10-14.
- [19] 苏昌林,刘缙林,邱东利,等.智能型压缩天然气加气机[J].中国测试技术,2008,34(6):138-141.

(修改回稿日期 2012-01-21 编辑 何 明)