

美国液化天然气车辆燃料系统应用现状

魏蔚 汪荣顺 石玉美

(上海交通大学制冷与低温工程研究所)

魏蔚等.美国液化天然气车辆燃料系统应用现状.天然气工业,2005;25(5):106~108

摘要 面对我国大量引进 LNG 的现实,天然气汽车(LNGV)必将逐渐发展起来,前景可观。为此,介绍了美国液化天然气车辆燃料系统的工作原理和燃料罐产品的规格型号,在设计、制造和应用液化天然气车辆燃料系统过程中适用的规范和标准,以及美国在该系列产品方面所持有的技术专利等。综合分析液化天然气车辆燃料系统后认为,其技术仍有待于进一步完善与发展。

关键词 美国 液化天然气 汽车 燃料 系统 理论 标准 专利

目前,全世界 43 个国家的天然气车辆(NGV)总数已达 100 万辆以上^[1]。随着许多国家加速天然气车辆工业发展计划的实施,未来天然气车辆的数量将会大幅度增长,到 2010 年,美国 NGV 总数就将达到 200 万辆。NGV 携带的燃料分为 CNG 和 LNG。后者具有燃料储罐重量轻、工作压力低、燃料体积能量密度大等优点,因而应用越来越广泛。LNGV(液化天然气车辆)技术发展较快的国家是美国,除了 LNG 车用发动机技术得到迅速的发展以外,LNG 汽车燃料储存设备及 LNG 燃料加注设备也相应得到了发展和完善。1993 年美国能源部(US-DOE)启动了一个名为“清洁城市”的计划,在局部地域范围内鼓励公私合股优先购买和使用替代燃料汽车技术;在西部地区实施一个州际的清洁运输走廊(IC-TC)计划,沿主要交通干线建立 LNG 汽车燃料加注站,并形成比较完整的网络。自 1995 年开始,美国就已经有了商业运营的 LNG 车辆,并形成了一定的规模,主要应用于重型汽车如大型集装箱卡车、城市公交巴士、校车和环卫运输车等。

一、系统工作原理

美国查特公司生产的 LNGV 燃料系统的主要组成部分如彩色图版 5 所示^[2]。除此之外,燃料罐及其附属管路上还有充注适配器、单向充注阀、限流阀、燃料限流阀、止回阀、双安全阀、压力表等安全保

护设施和附件。

1. 燃料加注

当加注站的燃料喷嘴卡入燃料罐的接收口后,一个提升阀会自动打开。接收口设有匹配锁定装置,保证燃料加注过程中接收口与燃料喷嘴密封紧固。加注过程中,加注站燃料喷嘴锁定在罐体燃料加注口的准确位置后,加注口上的充注适配器打开,LNG 由喷嘴流出,经过单向充注阀由顶部加注管喷淋进入燃料罐内。喷淋的冷液雾使罐内的蒸气迅速凝结,罐内压力降低。随着压降的发生,LNG 不断注入,燃料液面升高,直至液面达到加注管喷淋头。随着液面接近喷淋头,液雾对蒸气部分的冷凝作用也越来越小。当液面达到喷淋头,罐内压力迅速升高,加注站感知此压力后将关闭燃料供应。从驾驶台的燃料指示表可看出燃料罐内 LNG 的存量。

罐体内上部保留有蒸气腔,称为过剩空间。蒸气腔靠近罐体顶部有一小孔,可吸收过剩蒸气压力。当车辆长时间停用时,燃料罐内 LNG 吸热汽化罐内压力升高,此时可利用此空间延长燃料罐内 LNG 的储存时间。

为安全起见,燃料加注管路上设有单向充注阀。当充注适配器失效或车辆在喷嘴还未断开连接就开走时,单向充注阀可防止 LNG 返流漏出。

2. 燃料流程

当发动机起动,罐内 LNG 通过控制阀和燃料限

作者简介:魏蔚,女,1973 年生;上海交通大学在读博士研究生;主要从事低温绝热和移动式低温压力容器方面的研究。
地址:(200030)上海市华山路 1954 号。电话:(021)62932602。E-mail:weiwei061@sjtu.edu.cn

流阀进入换热器。燃料进入换热器后受发动机循环冷却水的加热,蒸发成气体。所有的天然气发动机都需要特定压力范围(一般为620~970 kPa)的气态天然气作为燃料,该压力通过换热器后面供气管路上的压力调节阀来控制,确保气体燃料的压力不超过发动机规定的压力。在LNG汽车的供气管路上,还装有缓冲箱,目的是为了增加供气管路上的气体容量,在发动机负荷发生变化时,保持供气压力的相对稳定。一般缓冲箱的容积为14.7 L,长度为500 mm。

燃料罐内压力高于发动机工作压力,因此无需燃料泵。如果燃料罐和发动机之间的燃料管路破裂或其他原因导致LNG大量泄漏,燃料限流阀会感知到非正常的大流量燃料流过而自动关闭,以防止罐内液体燃料继续泄漏。供气管路上还装有止回阀和截止阀,止回阀是为了防止换热器内蒸发后的高压燃料倒流回燃料罐,而截止阀在当车辆维修时关闭以切断燃料供应。

3. 压力平衡

如果燃料罐内的压力超过了节能调节阀设置的数值,节能调节阀打开,允许燃料罐内的蒸气进入燃料管,以快速降压。当罐内压力降至节能调节阀的

设置压力,节能调节阀关闭,仅允许液体流入换热器。这一设置将会使得燃料罐的储存时间增加7~10 d同时使每升LNG的行使公里数最大化。为了防止罐内压力过高,罐体设有2个泄放安全阀。如果车辆一段时间不用,LNG吸热膨胀导致罐内压力升高。主安全阀打开排放蒸气至大气以泄放过余压力。为了安全起见,主安全阀垂直安放,泄放口远离车辆。如果主安全阀故障或其铅封被阻断导致主安全阀无法打开,罐内压力会继续升高至第二安全阀的设置压力,第二安全阀打开,泄放过余压力。

二、美国的LNG汽车燃料储罐产品

美国查特公司^[2](Chart Industries Inc.)全程提供LNG液化、储存、运输和分配技术,是世界上规模最大技术最先进的LNG基础产业供应商,产品包括LNG液化装置、车辆燃料储罐和加注站。过去的10年间,该公司设计、建造的LNG加注站和生产的LNG燃料储罐数量居世界第一位。

除了查特公司外,泰勒华顿(Taylor-Wharton)也是美国另外一家国际知名的LNG燃料储罐供应商^[3]。两家公司主要产品的技术参数分别见表1、表2。

表1 美国查特公司LNGV燃料罐技术参数表

型号	瓶体直径(mm)	长度(mm)	有效容积(L)	总容积(L)	空瓶自重(kg)	满载重量(kg)
HLNG-52	508	1805	177	196	110	185
HLNG-63	610	1270	215	240	125	215
HLNG-72	610	1450	245	275	145	250
HLNG-97	610	1830	335	365	200	340
HLNG-119	660	1930	410	450	230	400
HLNG-150	660	2285	511	468	280	483

表2 美国泰莱华顿公司LNGV燃料罐技术参数表

型号	有效容积(L)	瓶体直径(mm)	长度(mm)	空瓶自重(kg)	最高工作压力/安全阀泄放压力	二次泄放压力
LNG-72V	270	660	1320	177	1.59 MPa	20.7 MPa
LNG-90V	340		1555	202		
LNG-119V	450		1930	241		
LNG-150V	570		2346	284		

三、美国LNGV燃料系统的规范、标准和条例

天然气属于易燃易爆的危险品,而液化后的体积能量密度比气体要大几百倍,因此对LNGV的安

全要求更为苛刻。美国对LNGV燃料系统提出要求 and 限制的规范 and 标准主要有美国运输部移动式运输危险品设备标准(DOT法规)以及美国国家标准学会(ANSI)ANSI移动式压力容器标准体系^[4]。LNG车辆在运行中,还应遵循美国国家防火法规的

要求。此外,美国生产的产品在不同地域使用时还受到加拿大标准体系(CSA)和美国各州地方规范和条例的限制。

1. 有关的 DOT 法规

第 177 部分:公路运输。概述了对公路运输危险品的要求,共包括 5 个子部。其中 B 子部—装货与卸货中“3 级(易燃液体)物品”(177.837)及 C 子部的“危险品的隔离”。

第 178 部分:包装规格。与燃料罐有关的 DOT 规格化包装有:盛装瓶(C 子部);便携式储罐(H 子部)。DOT 规格化包装为制造商提供了很多程序及对包装物的试验。UN 性能—指向包装包括非大容量(L 子部)及其试验要求(M 子部)。

2. 有关的 ANSI 标准体系

ANSI 是非赢利性质的民间标准化团体,实际上已成为美国国家标准化中心,美国各界标准化活动都围绕它进行。ANSI 使政府有关系统和民间系统相互配合,起到了政府和民间标准化系统之间的桥梁作用。

ANSI 标准体系包括:美国消防协会(NFPA)、美国汽车工程师学会(SAE)、美国机械工程师协会(ASME)等拟订的标准,具体与 LNGV 燃料系统有关的标准有:NFPA 57—1999 为有关液化天然气车辆燃料系统的法规;NFPA 59A—2001 标准和 NFPA 59A Edition: 2001 (CFR Reference)标准,为液化天然气液化、储存、输运等相关标准,对液化天然气的储罐有专门要求;SAE J2323 为 LNG 重型卡车推荐使用的标准;FTA Report 公共交通 LNG 燃料系统设计规范(3/97)、交通工具中 LNG 燃料系统的安全规范(3/97);49 CFR 178.57 焊接绝热气瓶的规格;ASME 锅炉和压力容器规范等。

3. 其他规范、标准和条例

美国各州还有自己的地方行政法规要求,也对 LNGV 燃料系统提出了要求。

四、LNGV 燃料罐的技术与专利

LNGV 燃料罐属于小型移动式的低温真空绝热压力容器,采用双层金属罐体结构,夹层填充绝热材料。考虑到燃料罐体积不大,为了提高空间利用率,真空夹层的间距尽可能小,绝热材料为铝箔和隔热层间隔的多层材料。美国生产的高真空多层绝热的燃料罐,绝热材料的工艺装配采用专用设备缠绕的方式,缠绕好绝热层的不锈钢内罐放入外罐中,使用

不锈钢套管作为夹层内的绝热支撑,并将夹层抽成优于 1×10^{-2} Pa 的高真空。

美国 LNGV 燃料系统的应用与发展离不开科研开发与技术创新。目前国际上与 LNGV 燃料系统有关的技术专利有近百项^[5~6],其中大部分为美国专利或美国产品在欧洲等地申请的专利。到目前为止,美国查特公司已经拥有 29 项 LNG 基础产业专利,基本引导该行业的创新。

与 LNGV 燃料罐有关的专利主要包括如下方面:①关于 LNG 储运容器结构的专利,说明了双层容器高真空多层绝热方式,以及在罐体形状结构、附件等方面的改进;②关于 LNG 储存容器专用液位计的原理和结构及控制;③关于 LNG 的输送和专用管接头的结构;④关于 LNG 储运容器的安全保护装置的原理与结构等。

五、结 论

尽管美国的 LNGV 燃料系统的技术已经比较成熟,但在以下方面仍有待于进一步完善、提高和发展:①轻量化的抗冲击气瓶结构,包括可靠的内胆及支承结构,并在 6 个方向上均能承受由汽车行驶加(减)速引起的内胆和液体总重 8 倍静力的冲击载荷;②小间距的高真空多层绝热结构,在保证可靠的绝热性能的前提下尽量提高气瓶的有效容积;③简单可靠的安全系统和防超量加注技术;④灵敏、准确,抗干扰能力强的液位和压力指示;⑤先进的绝热层包扎工艺和抽空工艺。

参 考 文 献

- 1 Chrz V, Zeman J, Barr D, Lonsain H. NG vehicle systems became economical eventually. REFRIGERATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2000; (6):135—140
- 2 <http://www.nexgenfueling.com/>. Onboard Fueling Systems, Tank specification, 2004
- 3 <http://www.taylor-wharton.com/>. LNG Fuel Tanks, 2004
- 4 周伟明,汪荣顺,石玉美.国内外移动式压力容器法规标准发展与设想.压力容器, 2004; (1)
- 5 The European Patent Office, <http://ep.espacenet.com/>, 世界知识产权组织专利数据库(PCT)、欧洲专利数据库、日本专利
- 6 <http://www.uspto.gov/patft/>, 美国专利全文数据库

(收稿日期 2004-12-08 编辑 居维清)