

我国液化天然气汽车研究现状 *

苏 欣¹ 杨 君² 袁宗明¹ 梁天明³ 张 琳¹

(1.西南石油大学 2.成都龙星天然气有限责任公司 3.蜀渝建安公司川中分公司)

苏欣等.我国液化天然气汽车研究现状.天然气工业,2006,26(8):145-148.

摘 要 随着我国天然气汽车工业的不断发展和液化天然气(LNG)本身所具有的优良特性,LNG 汽车正在成为研究热点。为此,介绍了 LNG 汽车的发动机、燃料系统主要组成部分的功能和原理,回顾了我国 LNG 汽车发展历史、应用现状,并对 LNG、CNG 及汽油 3 种车用燃料进行了比较,从而可以看出 LNG 汽车比 CNG 汽车和汽油汽车更加清洁、安全和经济。同时指出了现阶段研究中存在的主要问题:发动机功率下降、LNG 自气化和 LNG 汽车改装成本较高等。最后建议:国家要制定相关政策和法规推进我国 LNG 汽车发展,并加快制定有关标准和规范推进 LNG 汽车生产实现统一化和规模化等。

主题词 液化天然气 燃料 汽车 组成 现状 比较 发展 建议 中国

一、LNG 汽车组成

液化天然气汽车(LNGV)是将液化天然气储存在温度为 112 K、压力为 0.1 MPa 左右的储存罐内,其密度为标准状态下的 600 多倍,体积能量密度约为汽油的 72%,已接近汽油^[1-2]。液化天然气汽车主要由发动机和燃料系统组成。

1.LNGV 发动机

由于 LNG 的优良特性使得 LNGV 的发动机具有许多优点,例如 LNG 燃料成分的单一性有利于发动机压缩比等设计参数的确定,避免乙烷、丙烷等成分的爆燃对发动机及其部件的不良影响;利用其低温特性降低混合气的温度,提高发动机的热效率,同时降低 NO_x 的排放量等。美国的各大发动机公司如 BMW、Caterpillar、Cummins、Detroit Diesel、Dodge Gasoline、Ford、John Deer、Mack 等均生产 LNG 发动机,其排放都至少满足美国的低排放标准(LEV),Cummins 公司的 LNG 发动机甚至可以满足超低排放标准(ULEV)。另外,日本的 SUZIKIM,NISSHIN 等多家公司也已经成功地研制出应用于微型客车的 LNG 电控进气道多点喷射发动机^[3]。我国目前尚无自主研发的 LNG 发动机。

2.LNGV 燃料系统

LNGV 车用燃料系统主要由 LNG 储罐、连接

管线、充气接口、气化器、液位和压力指示表、气体供给装置等部件组成,如图 1^[4,5]。

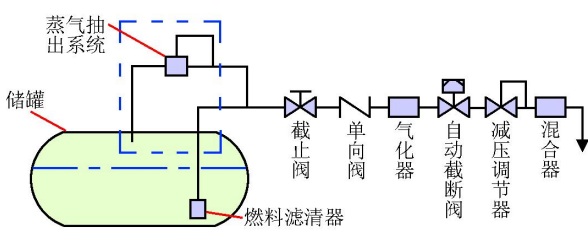


图 1 LNGV 车用燃料系统示意图

(1)车用 LNG 储罐

它是 LNGV 组成中的关键设备之一。一般 LNG 被储存在-160℃以下,储存压力 0.13~0.16 MPa。因此要求储存容器耐低温、耐压,目前多采用双层金属真空加多层缠绕绝热,要求 LNG 日蒸发率在 2% 以内(7~14 d 之内不产生蒸发损失)。目前国内主要使用的是美国 MVE 公司生产的储罐。

这种储罐使车用燃气的供给不需要用泵或专用的增压气化器,简化了系统结构、提高了工作可靠性,同时降低了制造成本。另外,这种储罐加气时,无须对罐内残存的气相做放空处理,可以使用单管加气系统,省去了加气站放空管线。

(2)车用 LNG 气化器

其主要作用就是利用发动机冷却水做热源(少

* 本文为四川省重点学科建设资助项目(SZD0416);本文作者还有江苏石油勘探局油田建设处安装公司的张鹏。
作者简介: 苏欣,1982 年生,硕士研究生。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学硕士 2004 级 2 班。电话:(028)67302441。E-mail:sx124@126.com

量即可),将 LNG 气化。为了减轻车辆载重,一般由铝合金制造。水浴式 LNG 气化器是一种典型的小型管壳式结构,串联在发动机冷却液回路上,采用逆流换热的工作原理利用发动机冷却液对 LNG 或 LNG 和气相天然气的混合物进行气化和加热。发动机工作在不同工况下,单位时间内流经气化器的燃料流量也将随之变化。这种流量的变化主要依赖于储罐和气化器出口的压力差,随着发动机负荷的增加,压力差也将随之增加,从而导致天然气流量的增加,反之亦然。

(3) 燃气供给装置

指气化器之后的燃气供给和控制装置,包括减压调节器、功率调节阀和混合器等,与压缩天然气汽车(CNGV)车用燃气供给装置略有区别的是减压调节器的入口压力不超过 2 MPa,通过 1~2 级减压即可,其他部分则与 CNGV 的基本相同。

(4) 减压调压阀和混合器

其基本原理和性能与 CNGV 系统相同,就是将气化器产生的天然气(压力约 0.145 MPa)调压到车用压力(约 0.115 MPa)。CNG 由于压力高,采用三级调压,而 LNG 仅采用一级调压就可以了。混合器是一种利用文丘里原理,保证空气和燃料在静态与动态下均能按正确比例混合的机械装置。

(5) 安全系统

主要由主、副安全阀,过流阀、放空阀和单向阀等装置组成,分别控制燃气压力、流量和流向。主安全阀(设定压力为 1.6 MPa)、副安全阀(设定压力为 2.4 MPa)用来保证系统压力不超过最大工作压力,以保证车辆的安全;过流阀的作用是一旦下游(主要指气化器之后)供气管路发生破裂或断裂事故,燃气流量超过设定值时,它可迅速切断气路,避免燃气大量外泄;放空阀的作用是在系统检修或车辆长期停驶时用来排尽罐内残存的燃料,它一般被设置在车辆外廓的最高点,且远离火源和蓄电池等部件;单向阀的作用是防止燃料倒流。

二、我国 LNG 汽车现状

我国 LNG 汽车尚处于实验阶段,目前国内有几家单位正在研制用于汽车的 LNG 装置。吉林油田与中国科学院低温实验中心合作研制了一套 500 L/h 的 LNG 装置;中科院低温实验中心与四川绵阳燃气集团公司合作研制了 LNG-20 型装置和一套

300 L/h 的 LNG 装置,并开始使用。

绵阳市的第一辆 LNGV 已经行驶 4000 km 以上,第二辆已经行驶 2000 km 以上,情况良好。1990 年开封市内的第三辆 LNGV,已经行驶 4000 km^[6]。北京市公交总公司从 2001 年与首科中原公司合作组建一个规模为 50 辆 LNG 公共汽车的示范车队,1 座 LNG 科技示范站。目前,北京市公交总公司已拥有 11 辆 LNG 公共汽车。其中 10 辆 11 m 单机车,1 辆 14 m 铰接车。两种车型均选用 CHART 公司 410 L 的 LNG 储罐 1 只,可贮存 240 m³ 的天然气。2003 年最先投入使用的 1 辆单机样车现已运行 12 × 10⁴ km;14 m 样车已行驶近 8 × 10⁴ km;其余车辆于 2004 年 2 月投入使用,平均每车行驶了近 4 × 10⁴ km。截止到 2004 年 7 月 LNG 车辆的总行驶里程已近 60 × 10⁴ km。2002 年 11 月,LNG 科技示范站在公交 315 路总站建成并投入试运行,成为国内首座车用 LNG 加注站。该示范站设备选用美国 CHART 公司产品,站内设有 1 座总容量为 50 m³ 的 LNG 立式储罐。日加气能力为 1.2 × 10⁴ m³ 最多可满足 100 辆 LNG 公交车的加气需求^[6]。2003 年河南中原绿能高科有限责任公司与贵州红华科技合作,成功地开发奔驰 1929S 型柴油—LNG 电控喷射双燃料 LNG 槽车。2005 年东风汽车有限公司首批投放全国市场的 50 辆 LNG 客车,在长沙经过 20 多天的营运,情况良好^[7]。

随着我国对 LNG 研究的深入,制约 LNG 汽车市场的“瓶颈”将相继被突破。LNG 用于汽车燃料的弱点是低温 -162 °C 储存,不宜长时间存放。现在已开发出了能使其存放 7 d 车载燃气系统,只要把 LNG 汽车发展最理想的对象锁定在公交车、出租车上,就可扬长避短,克服 LNG 低温储存时间短的缺陷,突破不易低温储存的“瓶颈”;另一个弱点就是 LNG 汽车改装燃气系统成本费用较高。目前国内已经开发一种功能比较完善、技术比较成熟的 LNG 汽车燃气系统,据测算,一套大车燃气系统的价格约 1.5 万元人民币,较进口的便宜 2/3 到 1/3,一套小车的价格约需 1 万元人民币,考虑市场的成熟和扩大,其价格将会大幅度下降^[8]。上海交通大学与上海申沃客车有限公司等单位合作对液化天然气供气系统中的燃料等关键部件进行了研究,并对所选用的燃料储罐、供气管路等部件在 CumminsCG-250 发动机试验台架上进行了试验研究,在此基础上,开

发了 SWB6115LQ-3 型液化天然气公交车,而且样车的动力性能和排放指标经测试能够满足公交车使用要求^[9]。同时 LNG 冷量利用的研究也提上了研究日程。车用 LNG 冷量利用有动力利用和制冷利用,但是由于冷量动力利用涉及大量的技术和高昂的使用代价,所以动力利用不可能马上实现;而制冷利用一般来说有两种用途,一是车用空调,二是用于运输物资的冷藏。制冷利用作为一种简单的冷量利

用方式,具有强大的竞争力,应该大力普及^[10-12]。

三、几种汽车燃料比较

LNG、CNG 和汽油的性能比较见表 1。

1. 天然气与汽油的比较

与汽油相比,天然气具有价格便宜、辛烷值高、燃烧充分、低硫、低氮、无灰及减少环境污染等优点。并且天然气发动机的各种操作性能,如冷启动、耐磨

表 1 LNG、CNG 和汽油的性能比较表

燃料	热值 (MJ/m ³)	密度 (kg/m ³)	储存压力 (MPa)	爆炸极限 (%)	燃料质量 (kg)	容器容积 (L)	容器质量 (kg)	辛烷值	储存能量密度 (MJ/kg)	单位价格热值 ³⁾ (MJ/元)
LNG	38.51	420~480	20~25	5~15	35	70	55	130	19.37	21.40
汽油	41.86	720~750	常压	1.0~7.6	27	36	7.75	70~99	35.12	10.31
CNG	33.79	160~200	0.18~1.4	5~15	13 ¹⁾ 6.8 ²⁾	90 ¹⁾ 47.3 ²⁾	60 ¹⁾ 62 ²⁾	130	8.87 ¹⁾ 5.0 ²⁾	18.02

注:1)CNG 复合材料气瓶;2)CNG 钢制容器;3)费税改后的单位价格热值,其中汽油是 90 号汽油,据 2004 年数据。

损、易维护等优于汽油发动机。但是其最大缺点是其能量密度太低。1 L 汽油燃烧后可释放 3.48×10^4 kJ 的热量,而常温常压下 1 L 天然气完全燃烧释放 40 kJ 的热量,仅为汽油的 0.11 %^[13-14]。

2. LNG 与 CNG 的比较

(1)清洁性。LNG 所含甲烷纯度可达 99% 以上,不含硫等有害成分,汽车使用相当干净,对环境和汽车发动机都有利。

(2)安全性。CNG 是在 20~25 MPa 压力下将天然气储存在储气瓶中,而 LNG 是将沸点为 -162 ℃的液态天然气储存在压力为 0.05~0.5 MPa 的绝热容器中。LNG 气化后常压下密度比空气还小,即使 LNG 发生泄漏,也会很快分散到空气中,自燃爆炸的可能性较小,所以 LNG 具有很高的安全性。

(3)经济性。LNG 加气站占地面积小,无噪音,运行成本低,其建站的一次投资相对 CNG 加气站节 30% 左右,且能减少日常的运行和维护费用近 50%;由于 LNG 的辛烷值(见表 1)高于其他燃料,其组分均是低分子,结构简单,所以 LNG 具有较好的抗振爆性、燃烧性和冷启动性;作为汽车代用燃料,LNG 能有效确保发动机平稳运转,降低噪音污染,与常规燃料相比,可节约发动机的维修费用 50% 以上;LNG 比 CNG 单位价格热值高,燃烧得更完全、更充分,再加上 LNG 具有能量密度大、储存效率高,更利于运输,使用的地域范围更广的优点。因此,LNG 具有较强的经济性和适用性。

(4)扩展性。在 LNG 加气系统中增设 LNG 高压泵和高压气化器,建成 LNG 与 CNG 加气站,可以直接把 LNG 转化为 CNG。LNG 与 CNG 加气站既可以为 LNG 燃料汽车加气,也可以为 CNG 燃料汽车加气,这样就可以避免 CNG 汽车燃料系统的改造,消除了 CNG 汽车加气受天然气管网和气源的限制^[15-17]。

四、问题及建议

1. 研究中存在的问题

(1)发动机功率下降。在汽油车基础上改装的 LNG/汽油两用燃料车辆,最为突出的问题是发动机功率下降。发动机功率和压缩比有关,而压缩比又和燃料辛烷值有关。虽然 LNG 具有较高的辛烷值,但是目前投入运行的大多是两用燃料汽车。这种两用燃料汽车为了兼顾使用汽油的需要,压缩比提高较小或者没有提高。因此天然气高抗爆性的特性并未得到充分发挥,导致发动机功率下降。

(2)LNG 自气化问题。尽管 LNG 车用储罐是绝热的,但是仍然有热量漏入。因此会有蒸发现象存在,一旦汽车遇到事故停止前进,就会造成容器内压升高,而低温容器一般不耐压或者耐压能力低,这样就有可能发生事故。目前一般采取的措施是当压力升高至设定压力时,安全阀打开自动放气,这样就污染了环境且如果是在车库还容易发生爆炸。

(3)LNGV 改装件的价格问题。在美国一套

LNGV 改装件的价格据其容积不同一般在 3000~5000 美元之间,而国内生产的 LNGV 改装件的价格据其容积不同介于 1~2 万元。虽然后者的生产成本相对较低,但进一步降低 LNGV 改装件的价格仍将是 LNGV 实际应用中必须面对的难题^[17]。

2. 建议

国外 LNG 技术基本已没有技术难点,已经达到实用技术水平,但是价格昂贵,无法在国内推广使用,但是我们可以借助国外成熟的 LNG 汽车技术和设备,依靠国内低温行业的技术力量完全可以解决技术难题,使国内 LNG 汽车技术达到实用水平。

LNGV 的发展是一项复杂的系统工程,需要各方面协调、鼓励、支持。国家要制定相关政策和法规,推进 LNGV 的应用;加大对关键技术的攻关力度,实现关键技术国产化,降低 LNGV 的生产成本;加快制定 LNGV 相关标准规范,使得 LNGV 生产统一化、规模化;目前我国正在拟制定的 LNGV 相关标准和规范有《液化天然气汽车定型试验规程》、《液化天然气汽车燃料系统技术条件》、《液化天然气汽车燃料系统安装要求》等)。相信在不久的将来,随着我国沿海 LNG 工厂的建成,LNGV 将迎来它的春天。

参 考 文 献

- [1] 刘保华,李家俊,赵乃勤.天然气用做汽车替代性燃料的储气方式研究[J].炭素,2002(4):39-42.
- [2] 吴志新,黎苏.液化天然气汽车的研究进展及存在问题[J].汽车与技术,2001(9):18-20.
- [3] 武斌,张秀丽.LNG 汽车和 LNG 汽车加气站[J].油气田地面工程,2003,22(4):81.
- [4] 张笑波,林在犁.液化天然气汽车的开发与应用[J].汽车研究与开发,2001(3):10-13.
- [5] 郝利军,葛蕴珊,张付军,等.液化天然气汽车[J].世界汽车,1999(3):13,31.
- [6] 赵春红.国内第一辆 LNG—汽油两用燃料汽车[J].天然气工业,2003,23(5):100-101.
- [7] 余传发.实现液化和压缩天然气大发展[J].中国石化,2003(3):20-22.
- [8] 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):96-97,101.
- [9] 杨鹏,杜玉清,石玉美.液化天然气汽车 LNG 冷量利用方式探讨[J].天然气工业,2004,24(7):98-101.
- [10] 陈曦,历彦忠,王强,等.液化天然气汽车的发展优势[J].低温与超导,2002,30(4):44-48.
- [11] 王强,历彦忠,殷秀妮.LNG 汽车冷能回收空调系统[J].天然气工业,2005,25(10).
- [12] 邢伟,阎子峰,丁荣刚.吸附天然气技术[J].天然气化工,2000,25(4):43-47.
- [13] 廖志敏,蒋洪.吸附天然气技术及其应用[J].油气储运,2005,24(4):19-22.
- [14] 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.
- [15] 王强,历彦忠,张哲,等.LNG 在汽车工业中的发展优势[J].天然气工业,2002,22(5):93-96.
- [16] 陈曦,历彦忠,王强,等.液化天然气汽车的应用优势及存在的问题[J].石油与天然气化工,2002,31(6):289-291,300.
- [17] 王彦超,魏广荣,姜秀丽,等.液化天然气汽车技术及存在问题探讨[J].能源工程,2003(1):30-32.

(修改回稿日期 2006-06-06 编辑 居维清)