

LNG 车用燃料及在北京公交车的应用

王 旭 辉

(中原石油勘探局天然气应用技术开发处)

王旭辉. LNG 车用燃料及在北京公交车的应用. 天然气工业, 2005; 25(3): 153~156

摘 要 液化天然气 (LNG) 用作车用燃料, 具有储存压力低、能量密度高、行驶里程长、排放尾气更加清洁等优点, 其安全、高效、经济、环保优势正越来越受到我国城市公交业界的青睐。液化天然气汽车 (LNGV) 在继承压缩天然气汽车 (CNGV) 优点的同时又克服了其先天不足, 已成为天然气汽车的发展方向。为此, 在说明 2 种车用 LNG 工艺的基础上, 详细介绍了位于北京的我国第一个车用 LNG 示范项目的实施情况, 包括 LNG 充气站和 LNG 公交汽车的运行情况, 并对我国 LNGV 的发展应用前景进行了初步分析。

主题词 液化天然气 汽车 加气站 车用 LNG 技术 北京 公交车 应用

液化天然气汽车 (LNGV) 是新一代的天然气汽车, 以液化天然气 (LNG) 为燃料, 低压深冷液体储存, 在继承压缩天然气汽车 (CNGV) 优点的同时又克服了其先天不足, 已成为天然气汽车的发展方向。国外自上世纪 60 年代开始研制 LNG—燃油双燃料汽车, 伴随着世界范围内 LNG 工业的规模化发展和推广速度的加快, 美国、加拿大、德国、日本等国家开始重视 LNGV 的研究, 20 世纪 90 年代初已开始小规模推广。其中美国到 2001 年底已有 2100 辆 LNGV 和 45 座 LNG 车用加气站在运行。

我国于 20 世纪 90 年代初曾进行过 LNG—汽油双燃料汽车的研制试验工作, 但由于当时国内 LNG 工业没有发展起来, 加之技术和资金的因素, 故未能推广和发展。河南中原绿能高科有限责任公司依托自有日产 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 LNG 工厂, 致力于 LNG 汽车技术的开发应用, 和北京市公交总公司合作完成了我国第一个车用 LNG 项目。于 2002 年 12 月建成我国第一座车用 LNG 加气站, 同时开发生产了 11 m LNG 单机公交车和 14 m LNG 通道公交车两种车型, 目前已有 11 台车辆投入运行, 累计总行程达 $70 \times 10^4 \text{ km}$ 。北京 LNGV 项目的成功实施, 示范性地证明了 LNG 用作车用燃料具有安全、高效、经济、环保等优势, LNGV 与 CNGV 相比更具先进性, 也预示了 LNGV 在我国发展的广阔前景。

一、LNG 用作车用燃料的优势

1. LNG 的理化特性

LNG 是天然气的液态存在形式。当天然气在一个大气压下冷却至约 $-162 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 将由气态转变成液态。LNG 无色、无味、无毒且无腐蚀性, 其常见物性参数见表 1。

表 1 LNG 常见物性参数表

常压沸点 ($^\circ\text{C}$)	-162.15	热值 (kcal/m^3)	8500~8800
密度 (kg/m^3)	420~460	辛烷值 (MON)	130
气化潜热 (kcal/kg)	121	气液 体积比	625 : 1

在不同饱和压力下, LNG 的饱和温度、密度和气化潜热均有所变化。随着饱和压力的升高, LNG 的饱和温度随之升高, 密度和气化潜热随之降低。

在液化过程中, 原料气需要脱除二氧化碳、硫化物、水和重烃, LNG 的主要成分为甲烷和少量的乙烷、丙烷和丁烷, 几乎不含重烃和 CO_2 、 N_2 和 H_2O 等。因此, LNG 比 CNG 及管道天然气的组分更纯净, 甲烷含量最高可达 99% 以上, 其燃烧效率更高、燃烧产物更纯净。由于甲烷的 H : C 值在所有烃类

作者简介: 王旭辉, 32 岁, 工程师; 1993 年 7 月毕业于大庆石油学院化工机械专业, 现任北京 LNG 科技示范站站长。地址: (457001) 河南省濮阳市大庆路 312 号。电话: (010) 82849120, 13911285729。E-mail: lng_station@163.com

最高,为4:1,从某种意义上说,LNG也是一种氢燃料。表2为中原油田LNG工厂LNG产品组分。

表2 中原油田LNG工厂LNG产品组分表

组分	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	N ₂
含量(摩尔分数)	96.03	2.88	0.69	0.18	0.09	0.03	0.02	0.01	0.08

高效、环保、经济等多方面的优势。LNG的燃点为650℃(液态的还是气态的),比汽、柴油的燃点高;LNG的爆炸极限为5%~15%, -106.7℃以上的LNG蒸气比空气轻,稍有泄露立即挥发飞散,很难形成遇火燃烧爆炸的浓度。因此,无论LNG,还是它的蒸气都不会在一个不封闭的环境下爆炸。LNG的储存压力小于1.6 MPa,远低于CNG的储存压力,避免了CNG因采用高压容器带来的潜在危险,同时也大大减轻了容器自身的重量。天然气低温液化后,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%,而为CNG的2~3倍,因而同等燃料体积下LNGV的续驶里程是CNGV的2~3倍,与汽油车相当。天然气液化前必须经过严格的预净化,因而LNG中的杂质含量远低于CNG,这为汽车尾气排放满足更加严格的标准(如欧洲的“欧II”甚至“欧III”排放标准)创造了有利条件。LNG以液态储存输送,摆脱了天然气管网的束缚,LNG加气站具有储存效率高、充装速度快、设备简单、占地面积小、噪音小、便于建站布点等特点。

二、车用LNG技术

LNGV一般分为3种形式:即以LNG为燃料的纯LNG汽车,LNG与柴油混合使用的双燃料汽车,LNG与汽油替换使用的两用燃料汽车。这3种LNG汽车的燃气系统基本相同,将LNG储存在车用LNG储罐内,通过汽化装置变成气体供发动机燃烧。

LNG用作车用燃料,长期困扰的2个技术问题是解决压力控制和液体输送。LNG储存过程中压力持续升高将导致过度排放,容器内LNG的组分也会逐渐变重,继而影响发动机的性能和寿命。围绕这两个问题的解决,可以将车用LNG技术分成两种:过冷工艺和饱和工艺。

1. 饱和工艺车用LNG技术

如图1所示为饱和工艺车用LNG技术路线图。

2. LNG作为车用燃料的优势

LNGV在兼备CNGV的特点外,更具安全、高

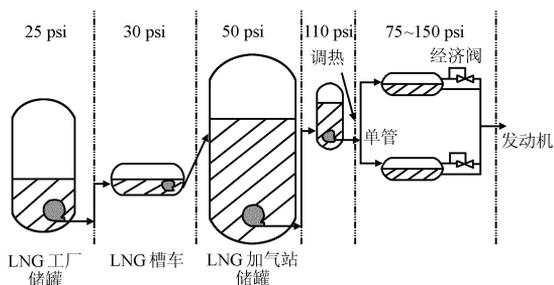


图1 饱和工艺车用LNG技术路线示意图

LNG工厂生产的LNG(压力为25 psi, 1 Pa = 20.8854×10^{-3} psi)经槽车运输到LNG加气站,调压后(压力为110 psi)通过LNG泵和单软管充装系统将LNG充入LNG车用储罐内,通过经济阀控制车用储罐的供液压力,依靠自身压力输送LNG至发动机系统。在给车用LNG储罐充装过程中,新鲜的LNG饱和液体喷淋到车用储罐的气相空间,将蒸气冷却进而成为液体。因此无需对LNG气体放空或通过第2条软管回收到加气站的储罐内。当车用罐内压力上升到工作压力时,充装过程结束。

2. 过冷工艺车用LNG技术

图2所示为过冷工艺车用LNG技术路线图。

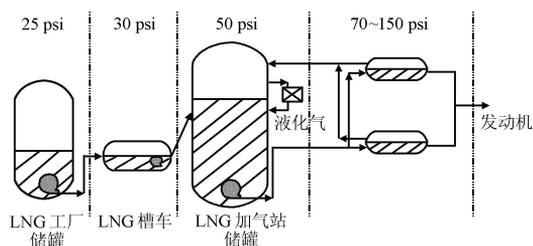


图2 过冷工艺车用LNG技术路线示意图

LNG工厂生产的LNG(压力为25 psi)经槽车运输到LNG加气站,卸入站内储罐内(压力50 psi),经LNG泵和双软管充装系统充入车用储罐内。为了达到发动机系统所需输送压力(70~150 psi),需要增加增压系统。一般有两种方案:采用一

套自增压系统或选用一台适合车用的 LNG 泵。在充装过程中,需要通过第 2 条软管对 LNG 蒸气进行回收。对回收的 LNG 蒸气也有一般有两种处理方法:一是再加热至常温进入城市燃气管网,二是增加一套再液化系统,重新液化。

3. 两种工艺技术对比

对于两种工艺而言,从 LNG 工厂到 LNG 加气站的储罐,工艺条件完全相同,车用储罐供给发动机所需燃料压力要求也一样。对于过冷工艺车用 LNG 技术,车用储罐内所存为低饱和压力的过冷 LNG,同等容积所携带的燃料量大,LNGV 的续航里程远。所采用的车用储罐的绝热性能更为优越,LNG 储存时间相对要长^①,一般可达 7 d 以上。从车用储罐流出的流体为单相的 LNG 液体,组分相对稳定,对发动机工况较为友善。但是售气机采用双软管充装系统,充装过程中需要对 LNG 蒸气回收,要求加气站增加一套再液化设备或者将气体排入城市燃气管网。另一方面,此种工艺的车用供气系统,需要增设增压系统,使系统更为复杂,经济性能变差。对于饱和工艺车用 LNG 技术,加注到车用储罐内的 LNG 为饱和液体,液体密度小于过冷 LNG 的密度,单位容积下携带的燃料略少。在加气站完成卸车操作后,需要增加调压操作,对 LNG 的状态参数进行调整,以满足 LNGV 的使用要求。售气机采用单软管充装系统,充装过程中对车用 LNG 储罐内的 LNG 蒸气存在冷却冷凝过程,无须放空加注。这种工艺技术的最新发展是加气站将调压罐和储存罐合二为一,减少了设备投资。同时,加气站每天的加注量达到一定数量后,可以实现储存过程的零放空,大大减少了 LNG 损失量。此种工艺所采用的车用储罐,其绝热性能稍差,LNG 储存时间一般短于 7 d。车用 LNG 供气系统采用一个经济阀来自动控制车用储罐的压力,无须增加液体增压设备,当储罐压力高于经济阀的设定值时,经济阀打开,LNG 蒸气优先输出;当储罐压力低于设定值时,经济阀关闭,只有 LNG 饱和液体流出。

目前,饱和工艺车用 LNG 技术因其工艺简单、可靠、操作方便,经济性能优于过冷工艺车用 LNG

技术得到了更快的推广应用。

三、北京 LNGV 项目

中原石油勘探局天然气应用技术开发处在进行中原油田 LNG 工厂建设的同时,从 1997 年开始研究和开发车用 LNG 应用技术,2002 年底与北京市公交总公司合作在北京完成了我国第一个 LNGV 科技示范项目。北京 LNGV 项目包括 1 座日加气量 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 LNG 加气站和组建 1 支 LNG 公交车队。

北京 LNGV 项目采用饱和工艺车用 LNG 技术。加气站主要工艺设备包括 1 座 50 m^3 LNG 储罐、1 台 LNG 泵、1 台 LNG 售气机、2 台调压气化器。除售气机外,其他设备均位于设备区内。控制系统采用 PLC 控制,所有自动阀选用风开式气动阀。设有由 ESD 和火焰探测器、气体探测器组成的安全系统。售气机采用孔板计量,计量精度可以达到 $\pm 1.5\%$,单软管加注,Parker 型 LNG 加气枪。加注系统设有双重拉断保护装置,在车辆误启动拉断加气软管的情况下,可自动切断 LNG 充装过程,避免 LNG 大量泄露。加气站共有 3 种操作模式,即卸车模式、调压模式和加气模式。卸车和调压时间小于 4 h,单车加气时间小于 5 min。采用零放空设计,LNG 的储存耗损基本为零。

北京 LNGV 项目现有 2 款 11 辆 LNG 公交车,分别是 10 辆 11 m 长 LNG 单机车和 1 辆 14 m 长 LNG 通道车。所有 LNG 公交车均选用 410 L 车用 LNG 储罐,可有效储存 LNG 240 m^3 。车用储罐采用高真空多层缠绕绝热结构,设有两道安全阀,主安全阀的设定压力为 230 psi,辅助安全阀的设定压力为 350 psi。由经济阀和减压阀组成压力控制系统,并实现燃料的可靠稳定输送。LNG 经一个气化器气化后进入发动机,气化器的热源取自发动机的冷却水。采用康明斯天然气单一燃料发动机。

截至 2004 年 8 月 11 日,上述加气站已安全试运行 600 d,未出现安全故障,完成加注 LNG 152.259 t,LNG 公交车总里程已达 $70 \times 10^4 \text{ km}$ 。根据车辆发动机不同,LNG 公交车的续航里程在 500 ~ 600 km,每 2 d 充装一次 LNG^②。实际运行的结

① LNG 储存时间系指 LNGV 正常停驶后,车用储罐压力缓慢上升到安全阀打开排放少量气体的时间。

② 11 m 单机车发动机功率是 195 马力,2 d 加气一次;14 m 通道车发动机功率是 235 马力,采用自动挡变速器,1.5 d 加气一次。

果表明,单车每次加气量为 $180\sim 220\text{ m}^3$,充装时间小于 5 min ,若只计算从启动加气按钮到自动识满停止的加气时间,则小于 3 min 。目前,北京公交使用的CNG公交车单车储气量为 180 m^3 ,实际每次加气量为 120 m^3 左右,每次加气耗时 $8\sim 10\text{ min}$ 。与CNG相比,LNG加气机的充装速度是CNG加气机的5倍。由于LNG低温低压储存,工作压力低于 1.6 MPa ,远低于CNG的工作压力,安全性能得到了极大的改善。统计结果表明,LNG公交车与CNG公交车造价相同,百公里耗气量明显低于CNG公交车5个百分点。LNG中 C_3 及其以上重组分低于 0.46% ,基本不含 CO_2 和S,燃料更加清洁,LNG公交车的环保性能也自然优于CNG公交车。

四、LNG汽车在我国发展的前景

北京LNGV的成功实施,示范地验证了LNG用作车用燃料的技术经济可行性,也验证了LNGV相对于CNGV的优势,为我国规模化推广应用车用LNG技术奠定了理论和实践基础。

1. 我国发展LNGV的有利条件

伴随着中原LNG上下游一体化项目的成功实施,我国LNG工业进入一个快速发展的阶段。除中原LNG工厂外,新疆广汇LNG工厂已于2004年9月投产,其设计生产规模为 $150\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 。海南日液化量为 $25\times 10^4\text{ m}^3$ 的LNG工厂已于2004年底投产,四川建南LNG工厂项目、西安LNG工厂项目也将陆续建设。另外,广东进口LNG接受终端一期工程将于2005年投产,每年进口LNG $300\times 10^4\text{ t}$,二期工程预计2008年投产,每年进口 $500\times 10^4\text{ t}$ 。福建进口LNG接受终端也将于2006年投产,年处理能力为 $250\times 10^4\text{ t}$ 。青岛 $300\times 10^4\text{ t}$ LNG码头也正在积极筹划之中。LNG产业的快速发展为LNGV在我国的规模化推广创造了稳定的资源供应。

2. 亟待解决的问题

目前,在大范围内推广应用LNGV所急需解决的问题有:①加速LNG加气站和LNGV相关技术规范的制定;②关键设备的国产化,如LNG泵、LNG售气机、车用LNG储罐的国产化,以降低LNGV和加气站的成本;③吸收国外LNGV发展的经验教训,对LNGV充装接头和加气枪的配合形式和尺寸尽早定型,避免国内生产企业各自为战,不能相互配合使用,造成LNGV快速发展的另一个“瓶颈”。

3. 发展应用前景

基于LNGV在清洁燃料汽车发展中将起到越来越重要的作用,LNGV将率先在我国北京、上海、乌鲁木齐、长沙等中心城市的城市公交车上应用。继北京LNGV项目成功实施之后,乌鲁木齐和长沙两城市也已开始LNGV在城市公交车进行示范应用。其他城市也在进行LNGV的前期可研工作。

从我国能源结构的战略调整来看,随着我国LNG工业的进一步发展,LNG将作为重要能源在我国各地得到应用,从而必将加速我国LNGV的规模化发展。

参 考 文 献

- 1 王保庆.天然气液化技术及其应用.天然气工业,2004;24(7):92~95
- 2 胡军军,张武高等.液化天然气公交车应用.天然气工业,2004;24(7):96~98
- 3 杨鹏,杜玉清等.液化天然气汽车LNG冷量利用方式探讨.天然气工业,2004;24(7):98~101
- 4 刘勇.液化天然气的危险性与安全防护.天然气工业,2004;24(7):105~107
- 5 宋钧,黄震等.车用天然气发动机技术及其应用.天然气工业,2002;22(1):88~92

(修改回稿日期 2005-01-12 编辑 居维清)