

# 液化天然气公交车应用研究

胡军军<sup>1</sup> 张武高<sup>1</sup> 黄震<sup>1</sup> 顾安忠<sup>1</sup> 鲁雪生<sup>1</sup> 曹鬯震<sup>2</sup>

(1.上海交通大学 2.上海申沃客车有限公司)

胡军军等.液化天然气公交车应用研究.天然气工业,2004;24(7):96~97

**摘要** 对液化天然气公交车供气系统中的燃料储罐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 Cummins CG—250 发动机试验台架上进行了试验研究。台架试验结果表明:发动机采用所选择的供气系统基本达到了原机的功率和扭矩水平;同时发动机具有明显的低速大扭矩特征,而且随发动机转速的变化,扭矩曲线比较平坦。在台架试验的基础上,与上海申沃客车有限公司合作开发了 SWB6115LQ—3 型液化天然气公交车,样车试制完成后,委托上海机动车检测中心对样车进行了车辆参数和有关性能的测试;测试结果表明,所开发的液化天然气公交车具有较好的动力性和排放指标,能够满足公交车的使用要求。

**关键词** 液化天然气 汽车 城市工交客车 发动机 燃料 台架试验

上海交通大学与上海申沃客车有限公司等单位合作,共同承担了上海市科委的“LNG 汽车技术”研究项目。根据目前国际上 LNG 汽车发展的技术水平,研制出了一辆以 LNG 为燃料的动力强劲、尾气排放清洁的城市公交客车,为 LNG 汽车的大批量推广做好了技术准备。

## 1. 发动机及车用 LNG 燃料供给系统

LNG 汽车的燃料供给系统主要包括 LNG 燃料储罐、燃料截止阀、扼流阀、水浴式汽化器、过滤器、压力调节阀等组件,系统各部件之间通过管路连接。储罐本身还有安全排放管路和燃料加注管路。运行时,燃料储罐内的压力将 LNG 输送到汽化器,在汽化器中被循环的发动机冷却液加热,LNG 受热汽化为常温气体,经过过滤和压力调节装置后进入发动机。燃料进发动机前的压力范围一般为 0.345~1.035 MPa,温度允许范围为-40~+90℃。

发动机选用 Cummins 公司 C8.3 天然气发动机,为了检验所选用的天然气发动机的性能是否符合液化天然气城市公交汽车的要求,在发动机台架上进行性能试验,图 1 为发动机外特性曲线。

LNG 储罐是燃料供给系统中最关键的设备,储罐中的液态天然气在压力的作用下,从液体排出管

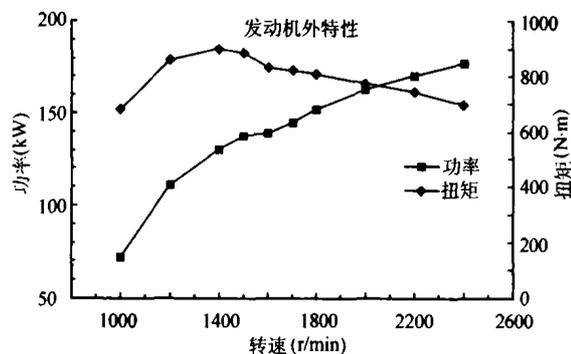


图 1 Cummins C8.3 外特性曲线

路中流出 LNG 储罐,经燃料切断阀和扼流阀进入汽化器,在汽化器中被加热汽化,加热的热源来自发动机的冷却水,发动机的冷却水是具有较高温度的热水,LNG 汽化时所需的加热量并不大,少量的发动机冷却水就可以满足需要。

LNG 汽车的燃料供给系统如图 2 所示。

燃料储罐的容量应根据汽车发动机功率的大小及设计行驶里程来确定,对于我国目前技术及负荷状况,以公交柴油车为例,每 100 km 的耗油量约为 32 L,1 L 柴油相当于 1 m<sup>3</sup> 天然气的能量,如果每天行程按 400 km 计算,LNG 公交汽车需消耗 206 L 的液态天然气,储罐容量以此数加裕量确定。

\* 本文属于上海市科委“LNG 汽车技术”研究项目成果。

作者简介:胡军军,1972 年生,博士研究生;主要从事发动机燃烧与排放控制及清洁燃料技术研究工作。地址:(200030)上海华山路 1954 号上海交通大学内燃机研究所。电话:13916451400。E-mail:hujunjun01@hotmail.com

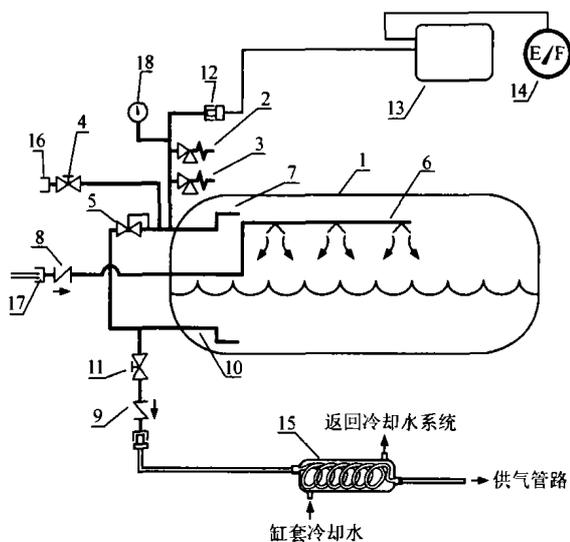


图2 LNG汽车供气流程

1. LNG储罐;2. 第二级安全阀;3. 主安全阀;4. 手动放气阀;5. 节气调节阀;6. 液体喷淋管;7. 蒸汽排气管;8. 截止阀;9. 扼流阀;10. 液体排气管;11. 燃料切断阀;12. 液位信号接口;13. 液位变送器;14. 燃料指示表;15. 汽化器;16. 放气管接口;17. 燃料加注接口;18. 燃料储罐压力表

考虑到不同车型对燃料储罐容量的要求各有不同,根据示范汽车的要求,燃料储罐样机研制的具体路中流出LNG储罐,经燃料切断阀和扼流阀进入汽参数如下。

有效容积:180 L(85%充满率时)。

外形尺寸: $\varnothing 610 \times 1270$  mm。

自重:125 kg。

蒸发率:小于2.5%。

自然升压时间:由0.45 MPa升压到1.1 MPa的时间不少于5 d。

储罐工作压力:0.45 MPa。

储罐设计压力:1.6 MPa。

## 2. LNG城市客车样车的整车设计

从安全、环保、满足市场需求和有利于组织生产的要求考虑,LNG城市客车样车的研制应遵循以下原则。

(1)样车的性能应符合国家、行业有关标准的要求。

(2)车辆的主要技术指标应与同类城市柴油客车相当,达到《上海市城市客车通用技术条件》规定的中级以上要求。

(3)结构应以基本型为基础,零部件应尽可能通用。

(4)排放应满足欧II要求并可进一步达到欧III要求。

(5)使用、维护、检修方便,安全可靠。

根据以上原则,所研制开发的SWB6115LQ-3型LNG城市客车,以已经定型并批量生产的SWB6115Q-3型CNG客车为基础,底盘和车身的结构及零部件与压缩天然气客车相同。

液化天然气城市客车的主要技术指标如下。

外形尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高):11420 $\times$ 2500 $\times$ 3200 mm。

最高车速:大于等于80 km/h。

直接档由30 km/h加速到70 km/h所需时间:小于等于50 s。

原地起步连续换挡到70 km/h所需时间:小于等于50 s。

限定条件下的100 km燃料消耗量:小于等于30 kg。

续驶里程:大于等于300 km。

排放标准:欧III。

其他技术经济指标应符合有关标准和产品技术条件的要求。

## 3. 基本性能及与同类CNG城市客车对比

LNG样车基本性能及与相同车型的CNG城市客车对比见表1。

表1 LNG样车性能及与相同车型CNG城市客车对比

试验项目	技术要求	测试结果	
		LNG样车	CNG车
直接档最低稳定车速(km/h)	$\leq 30$	28.3	26.3
初速50 km/h滑行距离(m)	$\geq 750$	1117	1243.2
直接档30~70 km/h加速时间(s)	$\leq 50$	36.5	35.6
原地起步加速到70 km/h时间(s)	$\leq 50$	46.2	38.0
最大爬坡度(%)	$\geq 20$	符合	符合
限定条件下的燃料消耗量(kg/100 km)	$\leq 30$	22.9	20.7

LNG样车安全环保项目测试结果见表2。

表2 LNG样车安全环保项目测试结果

试验项目		技术要求	测试结果
怠速排放	HC(ppm)	$\leq 120$	53
	CO(%)	$\leq 0.5$	0.07
自由加速烟度(Rb)		—	未检出
初速30 km/h制动距离(m)		$\leq 9.5$	7.1
车外加速噪声[dB(A)]		$\leq 85$	93.2

(下转第101页)

系统能否经受得起这一考验,这是动力利用实用化的主要问题。这一问题的解决将是从小试验阶段到实用阶段的关键。

(5)天然气的最高温度影响了动力利用的效率,提高温度是加热器的主要任务,但是加热器不能占据太多的空间,动力利用方式需要高效、紧凑的加热器设计技术。

LNG冷量动力利用的使用代价包括购置费、使用中的劳动强度、维护修理费、使用寿命长短以及占据的空间等。LNG冷量利用的最大优势在于使用的经济性,首先:它是免费使用的(初期投资和运行维护不计在内);其次其可用能高达4100 kJ/kg,大大高于液氮发动机可用能(77 K,  $10^5$  Pa)的837 kJ/kg<sup>[5]</sup>。如果不采用多级联合循环,理论输出功(一段为等温膨胀、一段为绝热膨胀,膨胀前压力为5 MPa、温度为700 K,最后温度300 K、压力为0.3 MPa)为2210 kJ/kg。如果采用多级联合循环,输出功将更大。透平机没有传统内燃机的复杂热力学工况变化,所以透平机和零部件的寿命比一般发动机

的高。

由此看来,动力利用不可能马上实现,而制冷利用作为一种简单的冷量利用方式,具有很强的竞争力,应该大力普及。

#### 参 考 文 献

- 1 沈维道,郑佩芝,蒋淡安. 工程热力学(第二版). 北京:高等教育出版社,1983
- 2 郑德馨,袁秀玲. 低温工质热物理性质表和图. 北京:机械工业出版社,1982
- 3 Ordonez C A. Liquid nitrogen fueled, closed Brayton cycle cryogenic heat engine. *Energy Conversion & Management* 2000;41:331~341
- 4 Ordonez C A. Cryogenic heat engine. *Am J Phys*, 1996; 64(4):479~481
- 5 元广杰等. 液氮汽车的可行性分析. *低温工程*, 2002;(2): 54~61

(修改回稿日期 2004-03-30 编辑 居维清)

#### (上接第97页)

从表2可看出,LNG样车的安全环保指标基本达到技术要求,但样车的车外加速噪声未能达到国家强制性标准的要求,其主要原因是样车为旧车改装而成,需要在风扇转速、消声器、隔音降噪等方面进行调整和优化。

#### 参 考 文 献

- 1 孙济美. 天然气和液化石油气汽车. 北京:北京理工大学出版社,1999
- 2 深川正美,井出温等. 本田小型天然气汽车及其发动机的

研制. 国外内燃机,1999;(3)

- 3 盛太莲. 国外天然气汽车概况. *北京汽车*, 1998;(4)
- 4 黄志浩. 天然气单燃料公共汽车的开发与实践. *城市公共交通*, 2002;(3)
- 5 宋钧等. 车用天然气发动机技术及其应用. *天然气工业*, 2002;(1)
- 6 王珂等. 液化天然气及其车用技术. *柴油机*, 2001;(3)
- 7 Meyers D P *et al.* Evaluation of six natural gas combustion systems for LNG locomotive applications. *SAE Paper*, No. 972967

(修改回稿日期 2004-03-28 编辑 居维清)