

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.09.006

汽车燃气加热器与 LNG 发动机联合运行试验*

李娜^{1,2} 佟德辉³ 李国祥¹

(1. 山东大学能源与动力工程学院, 济南 250061; 2. 济南大学机械工程学院, 济南 250022;

3. 潍柴动力股份有限公司, 潍坊 261001)

【摘要】 设计重型卡车汽车燃气加热器与液化天然气(LNG)发动机联合运行系统,以解决 LNG 重型卡车寒区起动困难问题。通过联合运行试验,研究联合运行稳定性及联合运行对 LNG 发动机冷车起动性的影响。试验结果表明:联合运行过程中,汽车燃气加热器起动顺利,燃烧稳定;利用汽车燃气加热器加热发动机冷却液,对 LNG 发动机的冷起动改善效果明显。因此,采用联合运行可以有效改善 LNG 发动机在寒区的起动性。

关键词: 重型卡车 汽车燃气加热器 液化天然气发动机 联合运行 起动性

中图分类号: TK46⁺⁴ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)09-0027-04

Combined Operation of Automobile Gas Heater and LNG Engine

Li Na^{1,2} Tong Dehui³ Li Guoxiang¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China

2. School of Mechanical Engineering, University of Jinan, Ji'nan 250022, China

3. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261001, China)

Abstract

The research of combined operation system of automobile gas heater and LNG engine can solve the problem of starting difficulty of the heavy truck using LNG. The stability of the combined operation and the effect of the combined operation on the cold starting performance of the LNG engine were studied through the combined operation tests. The experimental results showed that the automobile gas heater started smoothly and burned stably, and the cold starting performance of the LNG engine was improved significantly through the heating of the cooling liquid by the automobile gas heater. Therefore, adopting combined operation can improve the starting performance of the LNG engine in cold area effectively.

Key words Heavy truck, Gas automobile heater, LNG engine, Combined operation, Starting performance

引言

天然气具有丰富的储量和良好的燃烧性,目前已经成为主要的车用发动机代用燃料^[1-2]。天然气作为车用燃料以压缩天然气(CNG)和液化天然气(LNG)两种方式进行储存、运输。与 CNG 相比, LNG 具有燃料密度大、续航里程长、成分单一、不含硫和氮、排放性好、储存有大量可回收利用冷能等优点,因此 LNG 发动机在重型卡车行业受到国内外的高度重视^[3-4]。

点,因此 LNG 发动机在重型卡车行业受到国内外的高度重视^[3-4]。

LNG 发动机和普通天然气发动机燃烧方式相同。国内外研究机构和学者对天然气发动机的燃烧过程、排放性等开展了较为深入的研究^[5-9]。LNG 以液态形式存在,而发动机进气系统所需要的是气态天然气,因此在实际使用过程中需要对 LNG 进行汽化、减压、稳压以达到 LNG 喷射阀或混合器的要

收稿日期: 2011-09-28 修回日期: 2011-10-28

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA11A120)

作者简介: 李娜, 博士生, 济南大学讲师, 主要从事新能源发动机研究, E-mail: iamli_na@163.com

通讯作者: 李国祥, 教授, 博士生导师, 主要从事发动机燃烧及排放控制研究, E-mail: liguox@sdu.edu.cn

求。与常规柴油重型卡车相比,LNG 重型卡车在我国东北和新疆等寒冷地区冬季运行时暴露出冷车起动困难、起动初期供气温度过低、驾驶室或车厢取暖困难等问题。上述不足成为 LNG 发动机在使用过程中存在的共性问题,影响了 LNG 重型卡车在寒区的使用性能。

为此课题组研究汽车燃气加热器和 LNG 发动机联合运行系统,以实现:在寒区运行时 LNG 气化良好,燃气供给量充足;在寒区运行时可以对发动机的冷却液进行加热,以保证发动机的起动性;在寒区可以方便为车厢或驾驶室取暖。

以一台 6 缸增压中冷重型卡车商用 LNG 发动机和汽车燃气加热器为研究对象,设计汽车燃气加热器和 LNG 发动机联合运行系统,通过试验测试系统运行的可靠性及联合运行对 LNG 发动机冷车起动燃烧过程和起动时间的影响。

1 系统结构与原理

图 1 所示为汽车燃气加热器和 LNG 发动机联合运行系统结构示意图。

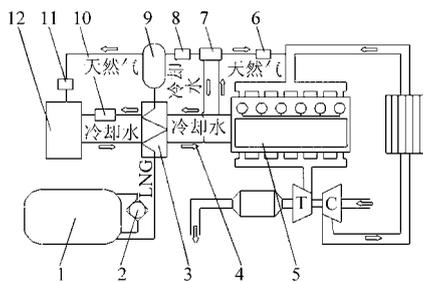


图 1 联合运行系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of combined operation system

1. LNG 储罐
2. 自增压系统
3. LNG 汽化器
4. 水循环系统
5. LNG 发动机
6. 燃气喷射混合器
7. 热交换控制器
8. 稳压减压器
9. 储气罐
10. 加热器循环水泵
11. 减压阀
12. 汽车燃气加热器

LNG 发动机在寒区冷车起动前,首先将储气罐内余留的气态燃料引导至燃气加热器中,加热器利用这些余留气态燃料起燃,并在燃烧室内开始燃烧,燃烧过程产生的热量通过热交换传递给冷却液。该高温冷却液循环至汽化器处,通过其中的换热器将汽化器中的液化燃料加热汽化。汽化得到的气态 CNG 燃料进一步为燃气加热器的燃烧提供燃料,从而使得燃气加热器能够持续燃烧,并为汽化器的汽化持续提供热量,最终供给加热器和发动机充足的燃料。

2 试验

试验分为两个阶段进行,首先测试所开发的

汽车燃气加热器的起动及加热能力。将汽车燃气加热器连接到 LNG 发动机燃料供给系统中进行试验。为保证使用的安全性,加热器的供气方式设计为负压供气,即只有加热器内有足够的负压才能打开减压阀,以保证供气安全可靠。而 LNG 发动机燃料喷射阀所需的压力为 0.7 MPa 左右,因此将加热器并联到发动机供气管路中并安装减压稳压器,从而为加热器燃气进气口提供常压天然气。

第二阶段为联合运行冷起动试验,试验所用样机为 WP10LNGE40 型发动机,表 1 为发动机主要技术参数。

表 1 LNG 发动机主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of LNG engine

参数	数值
发动机型式	水冷、直列、四冲程、干缸套
进气方式	增压中冷
缸径×冲程/mm×mm	126×130
排量/L	9.726
怠速/ $r \cdot \min^{-1}$	650
功率/kW	220
最低燃料消耗率/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$	≤ 200
排放要求	国 IV

冷起动试验在潍柴动力冷起动舱进行。冷起动舱内部的试验系统如图 2 所示。所用主要试验设备有:低温冷起动环境舱、LNG 发动机、YJT-Q30 汽车燃气加热器、AVL 燃烧分析仪及传感器和数据采集系统。因试验舱容积有限,试验过程中将 LNG 发动机、加热器、起动电控器、ECU 等置于试验舱中,LNG 燃料罐、发动机起动开关、加热器起动开关、数据采集系统置于冷起动舱之外。

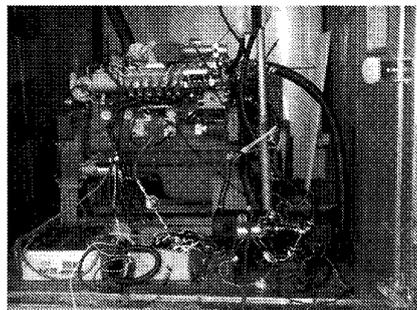


图 2 冷起动舱内部试验装置图

Fig. 2 Experimental device in cold start cabin

试验测试了联合运行的稳定性及联合运行对发动机冷车起动过程的影响。由于 LNG 燃料罐置于冷起动试验舱之外,试验过程中不测试联合运行对 LNG 汽化过程的影响。

试验中将冷起动舱设置到预定温度,LNG发动机及其附属系统在冷起动舱内冷冻放置8 h以上,然后进行冷起动试验,记录冷起动时间;在同样冷冻条件下,先起动气体燃料加热器,对发动机的冷却液进行加热,待冷却液加热到一定温度后,再进行起动试验,采集起动过程数据。

3 试验结果

3.1 加热器试验结果

将水作为介质测试加热器加热能力,介质质量为28.05 kg,LNG罐内压力为1 MPa,减压稳压后供给到燃气进气口的气体压力为0.1 MPa,图3为加热器加热能力运行试验结果。

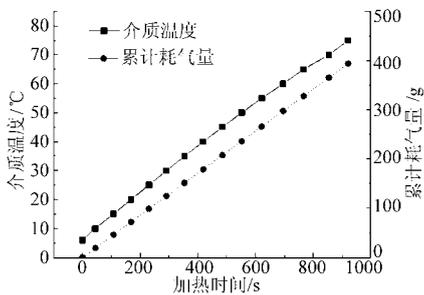


图3 加热器能力试验结果

Fig.3 Experimental results of heater capacity

如图3所示,将冷却水从6°C加热到75°C所用时间为920.5 s,累计耗气量为393.7 g。分析图中曲线可知:加热器起动顺利,燃烧过程中燃气流量均匀,燃烧稳定。试验所用燃料为中原油田产LNG,燃料的低热值为48.4 MJ/kg,燃烧过程中的理论放热率为19.05 MJ,加热器的效率为85%左右,冷却液吸收并储存的热能为8.09 MJ,其余热量在加热过程中传递给发动机及管路。

3.2 联合运行冷起动试验结果

利用美孚-45°C防冻液作为联合运行过程中加热器和发动机的循环水。冷起动联合运行试验中,汽车燃气加热器在低温环境中起动容易、运行稳定。

图4为冷起动试验舱冷却到0°C时LNG发动机单独起动和联合运行冷起动试验结果对比。图中*t*为起动时间,曲线1为发动机转速,曲线2为点火提前角,曲线3为节气门开度,曲线4为燃气流量。

如图所示,将冷起动舱内的温度设置为0°C并放置8 h后直接冷起动的时间为3.1 s;0°C放置8 h后先开启汽车燃气加热器,待冷却水温度上升到10°C后再起动LNG发动机,起动时间为2.5 s;0°C放置8 h,联合运行将水温提升到20°C后发动机的起动时间为2.3 s。

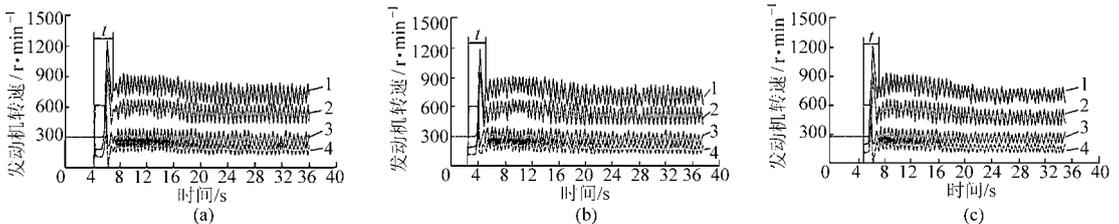


图4 舱内温度0°C冷起动试验曲线

Fig.4 Experimental results comparison of cold starting at 0°C

(a) 0°C放置8 h后直接起动 (b) 0°C放置8 h后联合运行水温10°C起动 (c) 0°C放置8 h后联合运行水温20°C起动

联合运行过程中,发动机缸套、缸盖底面等部位被冷却液加热,从而提高了压缩终点的温度,改善了点火和燃烧过程;冷却液加热火力面后,热量传递到火花塞头部,电极温度升高,提高了点火能力。冷却水温度为10°C和20°C时起动时间比直接起动分别缩短了19.3%和25.8%。

图5为冷起动试验舱冷却到-15°C时LNG发动机单独起动和联合运行冷起动试验结果对比。分析图中数据:在冷起动舱内的温度为-15°C时,由于机油的粘性增加导致发动机各运动部件的摩擦力变大,起动过程中发动机的最高转速均低于0°C时。将冷起动舱内的温度设置为-15°C并放置8 h后直

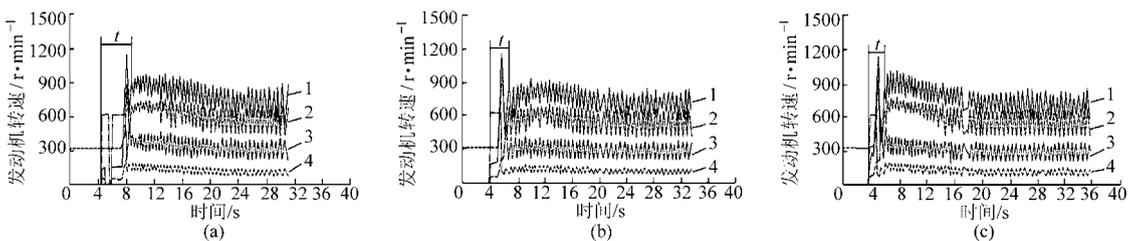


图5 舱内温度-15°C冷起动试验曲线

Fig.5 Experimental results comparison of cold starting at -15°C

(a) -15°C放置8 h后直接起动 (b) -15°C放置8 h后联合运行水温-2°C起动 (c) -15°C放置8 h后联合运行水温3°C起动

接冷起动的时间为 4.4 s; -15℃ 放置 8 h 后先开启汽车燃气加热器,待水温上升到 -2℃ 后再启动 LNG 发动机,启动时间为 2.89 s; -15℃ 放置 8 h,联合运行将水温提升到 3℃ 后发动机的启动时间为 2.39 s。联合运行水温提升到 -2℃ 和 3℃ 分别比直接冷车启动时间缩短了 34.3% 和 45.7%。

图 4 和图 5 显示,LNG 发动机冷启动成功后,由于机油的粘性大,导致运转过程阻力大,同时发动机在低温启动后存在部分循环不着火现象,电控系统需不断调整节气门的开度,发动机转速在一定范围内波动,道路车辆在冷启动后也存在转速波动的问

题。启动后通过提高发动机转速,迅速暖机后可稳定转速。

4 结 论

(1)汽车燃气加热器与 LNG 发动机共用一套 LNG 燃料供给系统,联合运行稳定,试验过程中加热器启动容易、燃烧稳定。

(2)加热器和发动机联合运行对 LNG 发动机的冷启动改善效果明显,在寒区汽车燃气加热器和发动机联合运行可以有效改善发动机的冷启动性。

参 考 文 献

- McTaggart-Cowa G P, Rogak S N, Munshi S R, et al. The influence of fuel composition on a heavy-duty, natural-gas direct-injection engine [J]. Fuel,2010,89(3): 752 ~ 759.
- Kalam M A, Masjuki H H. An experimental investigation of high performance natural gas engine with direct injection [J]. Energy, 2011,36(5): 3 563 ~ 3 571.
- 高华伟,段常贵,解东来,等. LNG 空温式气化器气化过程的数值分析[J]. 煤气与热力,2008,28(2):19 ~ 22.
Gao Huawei, Duan Changgui, Xie Donglai, et al. Numerical analysis of vaporization process in LNG air-heated vaporizer [J]. Gas & Heat, 2008, 28(2):19 ~ 22. (in Chinese)
- 郜峰. LNG 汽车低温燃料系统的供气稳定性研究[D]. 北京:中国石油大学,2007.
- Watanabe O, Nakajima S, Goto H. Development of CNG engine with variable valve timing electronic control [C]. SAE Paper 2007-01-3615,2007.
- 郑尊清,尧命发,林志强,等. 满足国IV排放的电控稀燃天然气发动机燃烧系统开发[J]. 内燃机工程,2009,30(5):7 ~ 11.
Zheng Zunqing, Yao Mingfa, Lin Zhiqiang, et al. Development of combustion system of an electronic controlled lean burn CNG engine for meeting China stage IV emission regulations [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2009, 30(5):7 ~ 11. (in Chinese)
- 司鹏鹞,张惠明,杨志勇,等. 满足国家第IV阶段排放标准天然气发动机的开发[J]. 燃烧科学与技术,2009,15(5): 405 ~ 411.
Si Pengkun, Zhang Huiming, Yang Zhiyong, et al. Development of CNG engine for conforming to Chinese state emission standard IV [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2009,15(5):405 ~ 411. (in Chinese)
- Iyer R C. Investigations on the influence of ignition voltage, higher compression ratio and piston crown geometry on the performance of compressed natural gas engines[C]. SAE Paper 2008-01-17628, 2008.
- 邓义斌,黄荣华,王兆文,等. 冷却液温度对天然气发动机性能影响试验[J]. 农业机械学报,2011,42(3):11 ~ 14,25.
Deng Yibin, Huang Ronghua, Wang Zhaowen, et al. Coolant temperature effect on LNG engine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(3):11 ~ 14,25. (in Chinese)