

文章编号:1000-8055(2013)08-1696-06

某航空活塞发动机回火试验

张志强¹, 贺俊², 魏名山¹, 张进², 刘小著²

(1. 北京理工大学 机械与车辆学院, 北京 100081;

2. 中国航空工业集团公司

中国南方航空工业(集团)有限公司, 湖南 株洲 412002)

摘 要:为解决某航空活塞发动机要取得适航型号合格证(TC)须按 CCAR-33 部《航空发动机适航标准》第 33.51 条进行回火试验的问题,通过对单缸发动机回火试验的研究,提出了采用光电信号进行发动机回火检测的测量方法.试验验证表明:光电检测方法能够有效地检测到发动机回火现象.在此基础上,通过试验确定了调节燃油伺服器的贫富油操纵杆逐渐调贫发动机的燃油流量来诱导发动机回火的试验方法.回火试验结果表明:所测活塞发动机在其整个工作状态下存在回火倾向,但在人工诱导 57 次回火后,发动机状况良好,满足适航认证的要求.

关 键 词: 航空活塞发动机; 回火检测; 回火试验方法; 诱导回火; 适航认证

中图分类号: V231.2; TK421

文献标志码: A

Backfire tests of an aircraft piston engine

ZHANG Zhi-qiang¹, HE Jun², WEI Ming-shan¹,

ZHANG Jin², LIU Xiao-zhu²

(1. School of Mechanical and Vehicular Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. China National South Aviation Industry (Group) Corporation Limited,
Aviation Industry Corporation of China, Zhuzhou Hunan 412002, China)

Abstract: In order to solve the problem of one aircraft piston engine that the backfire test must be conducted to acquire the airworthiness type certificate (TC) pursuant to article 33.51 of part CCAR-33 “Airworthiness standard of aircraft piston engine”, a new test method was proposed based on the photoelectric signals through the study on single-cylinder engine. The experiments showed that the proposed method can well detect the backfire. Based on the above research, the inducing backfire method was conducted through reducing the flow rate of fuel by operating lean/rich joystick. The experiments on the tested engine show the engine is tendency to backfire in its operating conditions and the engine works well after 57 times artificial induction backfire on the tested engine. The tested engine meets the requirements of airworthiness certification.

Key words: aircraft piston engine; backfire tests; backfire tests method;
artificial inducement of backfire; airworthiness certification

收稿日期:2012-12-04

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2297.V.20130802.1224.201308.1696_003.html

作者简介:张志强(1972—),男,河北沧州人,讲师,博士,主要从事动力机械控制、仿真及测试技术研究.

活塞发动机由于结构简单,易维护,可靠性高和经济性好,作为动力系统不仅在无人机上应用广泛^[1-2],在民用飞机上也具有广泛的应用前景。按照相关规定,航空活塞发动机首先要通过CCAR-33部《航空发动机适航标准》中规定的各项验证试验,取得适航型号合格证(TC证)后,才能装配相应的民用飞机。值得一提的是CCAR-33部《航空发动机适航标准》第33.51条仅提出了活塞发动机需进行回火试验验证的要求,但并未规定相关的试验内容,也无相应的试验大纲。文献[3]中,美国联邦航空管理局(FAA)对航空活塞发动机的回火试验进行了简要描述:在发动机完成耐久性试验之后,进行发动机回火倾向测试试验,测试发动机在起动和加减速等整个运行工况下是否存在回火倾向;如果发动机不存在回火倾向,则可采用调整点火正时、人工改变混合气空燃比、调整进气凸轮推杆或交叉点火线束的方式进行人工诱导回火不少于3次;若发动机存在回火倾向,则需要人工诱导回火不少于20次;在完成回火试验后,发动机未发生严重的损坏,则通过认证。从FAA对发动机回火试验描述可看出,进行回火试验的目的在于验证发动机是否有回火趋势以及如果发生了回火是否会对发动机产生影响,是一项对发动机可靠性进行验证的试验。

与我国适航标准类似,文献[3]描述了回火试验的要求,但对于回火倾向测试试验、回火检测方法、人工诱导回火的方式以及回火强度均未进行详细的规定,也无现成的试验大纲可供参考。当前,研究者对发动机回火现象的研究多集中在分析回火故障的原因,研究对发动机回火进行控制的方法^[4-15],对于回火现象在线检测以及发动机回火验证试验方面的研究在公开发表的文献中却难以见到。针对《航空发动机适航标准》中规定的发动机回火测试试验认证要求,本文对某航空活塞发动机的回火试验方法进行了系统的研究,研究内容包括:在线回火检测方法、回火趋势试验和人工诱导回火方法等。所测试航空活塞发动机为四冲程、气冷、燃油喷射、六缸水平对置式、非高空汽油活塞发动机,该发动机曲轴直接驱动螺旋桨,与二叶变距空气螺旋桨配套工作。

1 回火测量方法

发动机发生回火现象时,其燃烧火焰从燃烧室向进气管返回,发动机进气管压力和温度瞬时升高,产生发光、发热现象并伴有声音,可通过对这些

现象的检测来判断发动机是否发生了回火。由于温度传感器响应存在时间滞后,难以在回火瞬间检测到温度的变化,采用声音传感器又容易受到发动机噪声的干扰。因此,可选择采用动态压力传感器检测回火瞬间进气管压力变化和光电检测器件检测回火瞬间发光现象来判断发动机是否发生了回火。

采用一个单缸汽油机作为研究对象,对其进气管进行了改造,为了能观察到回火现象,在进气管处增加了一段透明的有机玻璃管并在上面安装动态压力传感器或光电检测传感器,如图1所示。

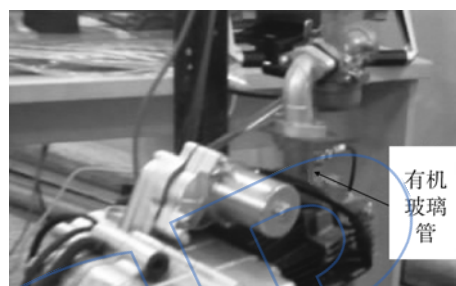


图1 试验用单缸发动机

Fig. 1 Single-cylinder engine for experiment

单缸机上的回火检测试验结果表明,由于发动机进气管压力存在波动,且回火发生在发动机动态工况,由工况变化引起的压力突变信号与回火引起的压力突变信号相比,其变化幅度相近,在幅值上难以区分。此外,由于回火引起的压力波形畸变小,信噪比低,对后续信号处理要求高,如数据处理不当,易发生误检。在回火现象发生时,发动机进气管内可看到较明显的火焰,光电传感器检测信号突变信号幅度超过4V,图2为发生4次回火现象时光电传感器测量信号。

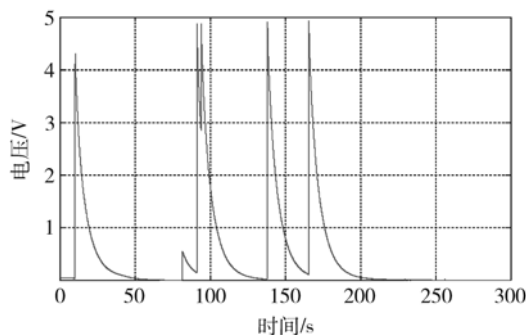


图2 光电传感器测量信号

Fig. 2 Signal of photoelectric sensor

从以上分析和试验结果可看出,发动机在发生回火现象时,光电传感器能够准确捕捉到回火信号,且信号信噪比高,更适用于发动机回火现象

的检测.在此基础上,研制了发动机回火现象的在线检测装置,如图3所示.回火检测仪具有6个检测通道,能够同时检测6个缸的回火信号.当发动机发生回火时,面板上的对应通道的发光二极管闪烁,同时数码计数器会自动记录发生回火的次数.回火检测信号可同时与计算机数据采集系统连接,实现回火信号的实时记录,以便试验后对回火检测信号进行分析.



图3 汽油机回火检测装置

Fig. 3 Detection device of backfire

2 回火试验设备及方法

2.1 试验设备

回火检测传感器安装在发动机进气压力传感器的安装位置,为了在发动机试验时监测进气压力信号,5号缸保留了进气压力传感器,故5号缸光电传感器未安装,5号缸检测信号为光电传感器的背景噪声,无回火信号.回火试验中仅对1号缸~4号缸、6号缸的回火信号进行了检测.在试验时,通过计算机采集回火信号检测仪信号并实时传送到计算机显示屏上,设备安装原理图如图4所示.

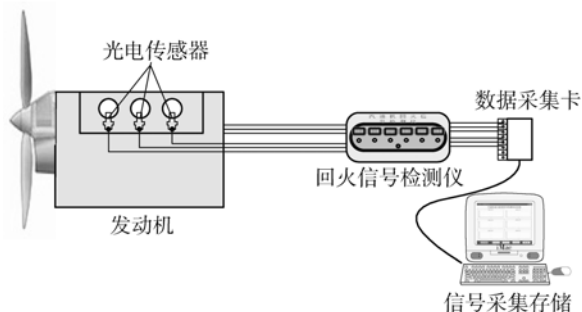


图4 试验装置图

Fig. 4 Experiment device

2.2 试验方法

根据适航认证中对发动机回火检测的要求,并参照国外对发动机回火试验标准^[3],确定发动机回

火检测方式如下:首先确定发动机在工作范围内是否存在回火倾向,如无回火倾向,则人为诱导产生3次以上回火;若确定发动机有回火倾向,则人为诱导产生20次以上的回火,以验证发动机在发生回火的情况下是否可靠.根据适航认证的要求,结合发动机的使用特点,制定了试验活塞发动机回火倾向测试试验方法以及人工诱导回火试验方法.

2.2.1 回火倾向测试试验方法

回火倾向测试工作状态及试验方法如下:

1) 在起飞状态进行运转,调节混合比杆,减小供油量,至发动机不能稳定工作的临界点(2700_{-20}^{+0} r/min),通过光电传感器测定发动机的回火倾向;保持混合比杆的位置不变,调整油门杆至慢车转速,发动机进行加减速各5次,加速时间为2s,通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

2) 在最大连续功率状态进行运转,调节混合比杆,减小供油量,至发动机不能稳定工作的临界点(2650_{-20}^{+0} r/min),通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

3) 在0.75最大连续功率状态进行运转,调节混合比杆,减小供油量,至发动机不能稳定工作的临界点(2450_{-20}^{+0} r/min),通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

4) 在0.6最大连续功率状态进行运转,调节混合比杆,减小供油量,至发动机不能稳定工作的临界点(2350_{-20}^{+0} r/min),通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

5) 发动机进行掉转检查,通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

6) 发动机正常起动5次,通过光电传感器测定发动机的回火倾向.

2.2.2 人工诱导回火试验方法

经试验,测试活塞发动机人工诱导回火采用调整发动机点火提前角至 $23^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$,混合比杆处于最富油位置,调节油门杆使发动机转速至 (2650 ± 20) r/min,缓慢向贫油方向调整混合比杆的方式进行.

3 回火检测试验结果

3.1 回火倾向试验结果

按照第2.2节中试验方法,在发动机在起飞状态、掉转检查、起动及加速工况下进行了发动机回火检测,发动机在上述工况下无回火倾向.图5为起动及加速工况下回火检测信号.

发动机在最大连续功率状态、0.75 最大连续功率状态、0.6 最大连续功率状态等工况下,进行了回火试验.回火检测信号中有突变信号,且突变信号强度超过 4 V,故本发动机在上述工况下具有回火倾向.图 6 为 0.75 最大连续功率状态下的回火检测信号.

3.2 人工诱导回火试验结果

根据对发动机回火检测的试验要求,在发动

机具有回火趋势的情况下须人工诱导回火 20 次以上.采用 2.2.2 节中所述人工诱导回火试验方法,进行了测试活塞发动机人工诱导回火试验.试验结果如图 7~图 11 所示.从图中可看出,在人工诱导方式下,1 号缸产生回火 21 次,2 号缸产生回火 7 次,3 号缸产生回火 15 次,4 号缸产生回火 10 次,6 号缸产生回火 4 次,共计产生 57 次回火.

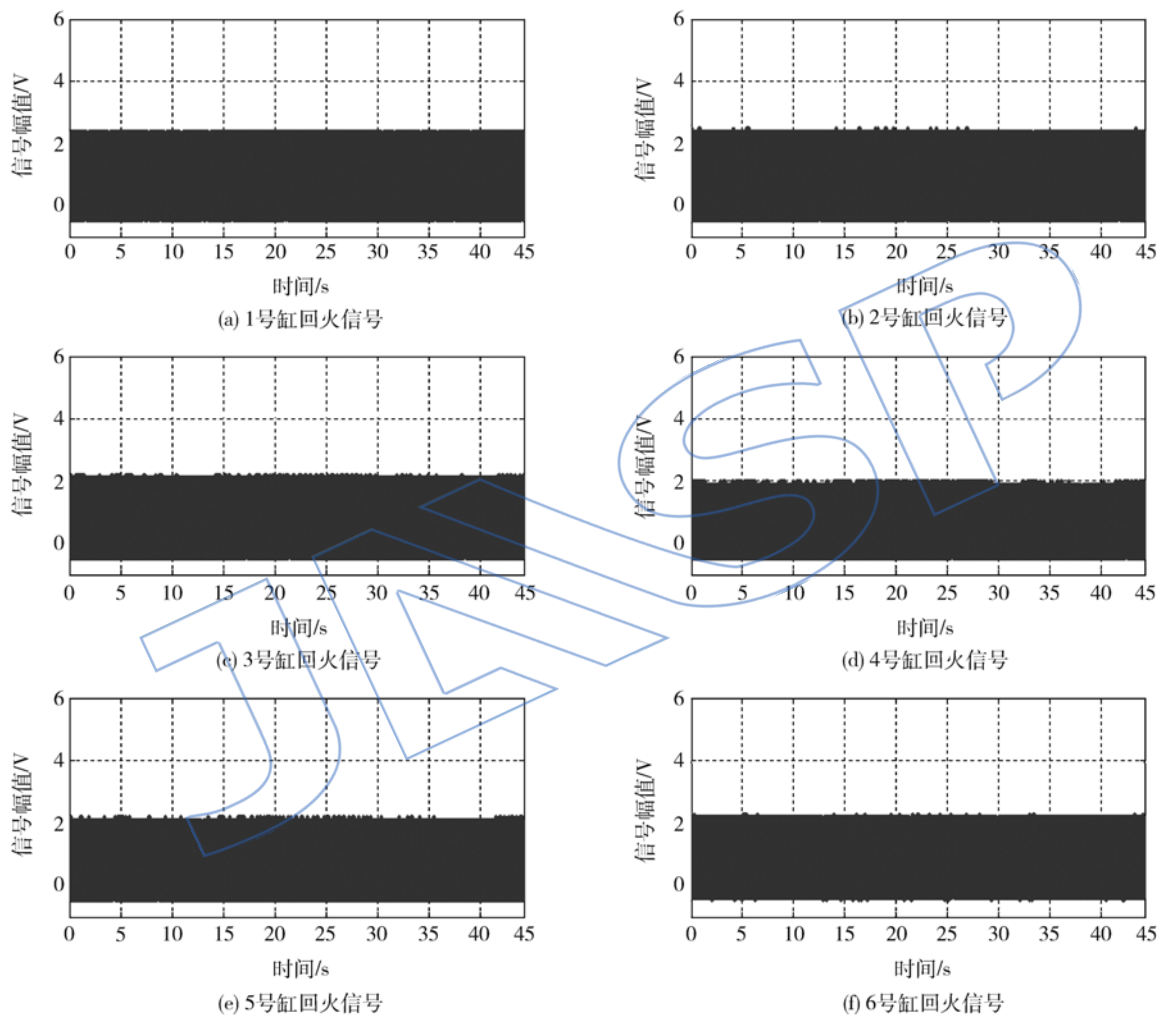
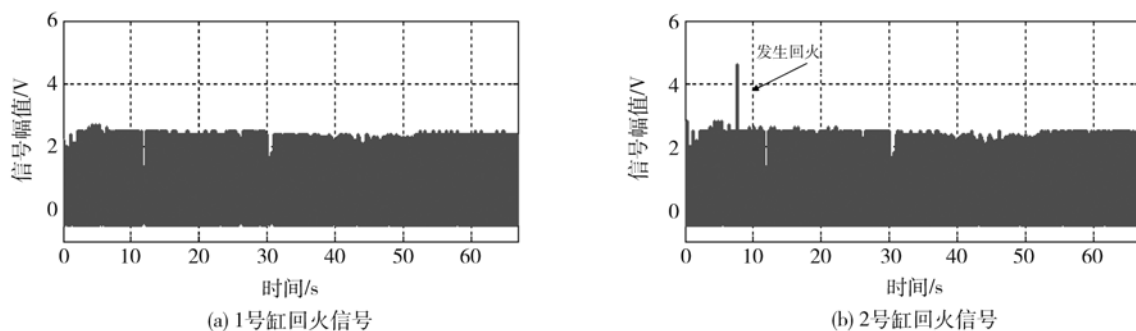


图 5 起动及加速工况下回火检测信号

Fig. 5 Signal of backfire in starting and accelerating condition



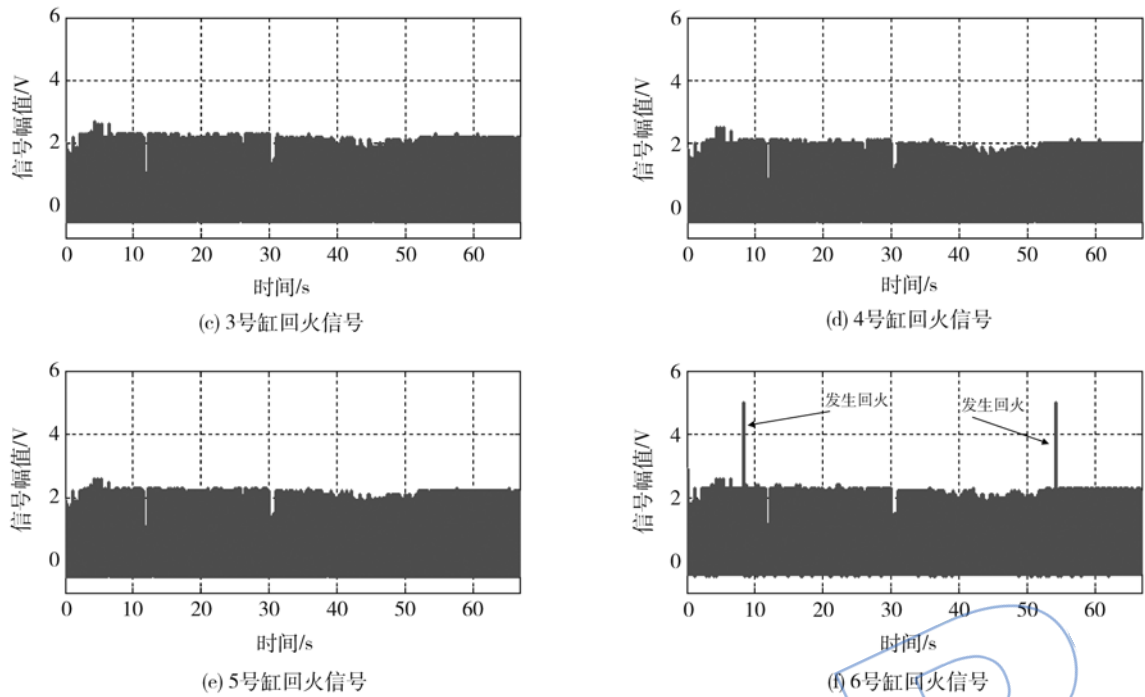


图6 0.75最大连续功率状态下回火检测信号

Fig. 6 Signal of backfire in 0.75 maximum continuous power condition

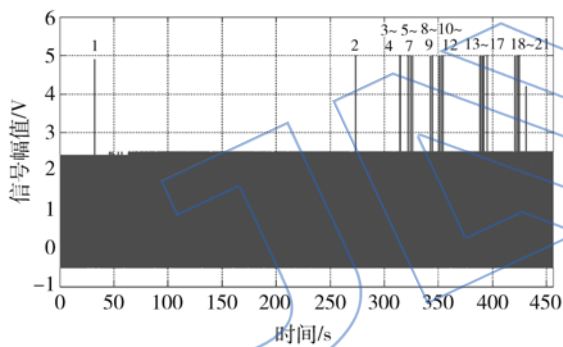


图7 1号缸回火检测信号

Fig. 7 Signal of backfire in cylinder #1

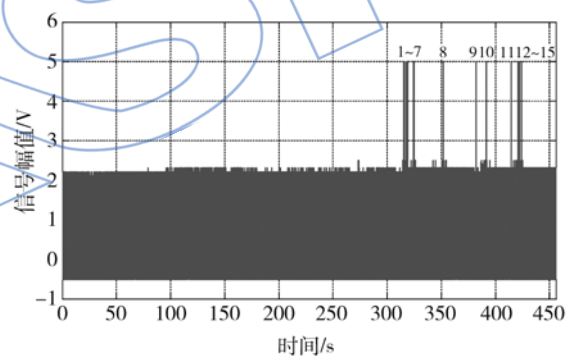


图9 3号缸回火检测信号

Fig. 9 Signal of backfire in cylinder #3

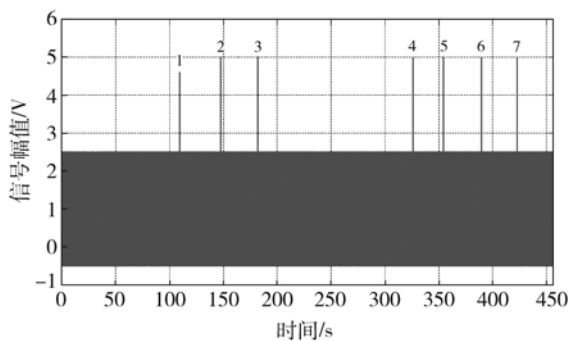


图8 2号缸回火检测信号

Fig. 8 Signal of backfire in cylinder #2

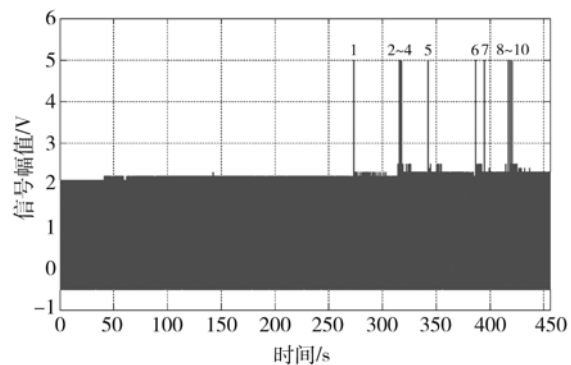


图10 4号缸回火检测信号

Fig. 10 Signal of backfire in cylinder #4

3.3 性能测试及分解检查

试验后对测试活塞发动机进行了性能复试, 结果表明所测试活塞发动机在回火检测试验前后

发动机性能无变化; 同时, 对发动机的分解检查也

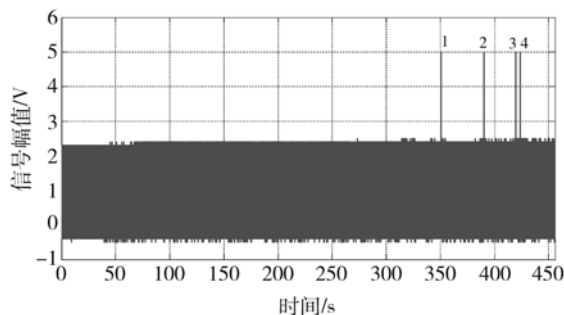


图11 6号缸回火检测信号

Fig. 11 Signal of backfire in cylinder #6

表明发动机本体及附件无损坏情况。

4 结 论

本文针对 CCAR-33 部《航空发动机适航标准》第 33.51 条的回火试验要求,研制了基于光电检测原理的发动机回火在线检测装置,该检测装置能够有效、可靠地检测到发动机的回火现象;试验研究制定了某航空活塞发动机回火倾向测试试验方法和人工诱导回火试验方法,并利用研制的回火信号检测仪对该测试活塞发动机进行了回火检测试验。试验结果表明,该活塞发动机在其整个工作状态具有回火倾向;但经人工诱导 57 次回火后的性能复试和拆解检查结果表明,回火未对该发动机性能和可靠性产生异常影响。该发动机满足 CCAR-33 部《航空发动机适航标准》第 33.51 条回火试验的要求。

参考文献:

- [1] 张奇,徐国强,杜发荣.小型航空活塞发动机点火系统优化设计[J].航空动力学报,2012,27(2):343-349.
ZHANG Qi, XU Guoqiang, DU Farong. Aero piston engine capacitor discharge ignition system optimization research and design[J]. Journal of Aerospace Power, 2012, 27(2):343-349. (in Chinese)
- [2] 尹泽勇,李上福,李概奇.无人机动力的现状及发展[J].航空发动机,2007,33(1):10-15.
YIN Zeyong, LI Shangfu, LI Gaiqi. Current state and development of the unmanned aerial vehicle powerplants[J]. Aeroengine, 2007, 33(1):10-15. (in Chinese)
- [3] Thomas A B. Methods of compliance for title 14 of the code of federal regulations (14 CFR) parts 33.51 operation test[EB/OL]. [1999-06-03]. http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgPolicy.nsf/0/994CC715542252B086256BF7006725FF?OpenDocument.
- [4] 罗先阳.天然气发动机回火事故的试验研究[J].内燃机与配件,2010(5):10-13.
LUO Xianyang. The test research of backfire accident on the natural gas engine[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2010(5):10-13. (in Chinese)
- [5] 杜天申,许沧粟,张晶晶.应用单片机控制氢-汽油双燃料发动机回火的探讨[J].内燃机工程,16(2):79-84.
DU Tianshen, XU Changsu, ZHANG Jingjing. An experiment of eliminating backfire in hydrogen-gasoline fueled engine using a chip microprocessor[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 16(2):79-84. (in Chinese)
- [6] YANG Zhenzhong, WANG Lijun, ZHANG Qingbo, et al. Research on optimum method to eliminate backfire of hydrogen internal combustion engines based on combining postponing ignition timing with water injection of intake manifold[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012, 37(17):12868-12878.
- [7] Verhelst S, Demuyneck J, Sierens R, et al. Impact of variable valve timing on power, emissions and backfire of a bi-fuel hydrogen/gasoline engine[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2010, 35(9):4399-4408.
- [8] Huynh T C, Kang J K, Noh K C, et al. Controlling backfire for a hydrogen-fueled engine using external mixture injection[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2008, 130(6):062804.1-062804.8.
- [9] Huynh T C, Kang J K, Noh K C, et al. Controlling backfire using changes of the valve overlap period for a hydrogen-fueled engine using an external mixture[R]. ASME Paper ICEF-2007-1702, 2007.
- [10] Sierens R, Verhelst S. Experimental study of a hydrogen-fueled engine[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2001, 123(1):211-216.
- [11] Lee J T, Caton J A, Lee C W. An investigation of a cause of backfire and its control due to crevice volumes in hydrogen fueled engine[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2001, 123(1):204-210.
- [12] Kondo T, Iio S, Hiruma M. A study on the mechanism of backfire in external mixture formation hydrogen engines-about backfire occurred by cause of the spark plug[J]. SAE Special Publications, 1997, 127(1):11-18.
- [13] MacCarley C A. Study of factors influencing thermally induced backfiring in hydrogen fueled engines and methods for backfire control[J]. Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, ASME, 1981, 2: 1449-1453.
- [14] Verhelst S, Demuyneck J, Sierens R, et al. Impact of variable valve timing on power, emissions and backfire of a bi-fuel hydrogen/gasoline engine[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2010, 35(9):4399-4408.
- [15] LIU Xinghua, LIU Fushui, ZHOU Lei, et al. Backfire prediction in a manifold injection hydrogen internal combustion engine[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33(14):3847-3855.