

燃料种类对脉冲爆震 发动机性能影响的研究*

西北工业大学 范 玮** 严传俊 何立明 廖 剑 汪林全

【摘要】 针对自行设计的脉冲爆震发动机试验模型, 研究燃料种类对脉冲爆震发动机性能的影响规律, 并以汽油的实验值为例给予验证。为脉冲爆震发动机燃料的选择提供理论依据。

主题词: 燃料 性能分析 航空发动机

自由词: 脉冲爆震发动机

分类号: V 231. 22

脉冲爆震发动机(PDE)作为一种新概念发动机, 由于结构简单(没有压气机、涡轮等旋转部件), 循环热效率高(近似于等容循环), 推重比高(大于 20), 制造成本低, 已引起各国军方的高度重视。为了充分发挥脉冲爆震发动机的效能, 同时又降低生产、使用成本, 正确的选用燃料就显得十分重要。本文用自行设计的脉冲爆震发动机原理性试验模型作为算例, 对采用汽油、煤油、乙炔和氢气作为燃料, 空气作为氧化剂的脉冲爆震发动机的性能参数分别进行了计算。研究了燃料种类对脉冲爆震发动机性能的影响规律, 为正确选择燃料种类提供了理论依据。并选择汽油为燃料在 PDE 模型上进行了试验, 测得的平均推力值与计算结果基本相符, 说明了本计算方法及结论的可靠性。

1 脉冲爆震发动机原理试验模型及性能计算方法^[1]

脉冲爆震发动机试验模型示意图见文献[2]的图 2。它由供气、供油系统, 爆震管, 爆震起爆及频率控制系统, 推力测试系统等组成。燃料流量和空气流量分别由流量计测定与控制。

衡量脉冲爆震发动机的性能指标主要有发动机的推力、比冲和单位燃料消耗率。推力、比冲越高, 单位燃料消耗率越低, 则脉冲爆震发动机的性能就越好。

1. 1 推力的计算^[2]

脉冲爆震发动机的推力指的是平均推力 F_{ave} , 可用下式计算:

$$F_{ave} = A p_1 \left\{ \frac{1 + \gamma M a_1^2}{1 + \gamma_2} \left[1 - \frac{\gamma_2 - 1}{2} M a_{2c} \right]^{2\gamma_2/(\gamma_2 - 1)} - 1 \right\} \left(\frac{t_d + t_r}{t_c} \right)$$

其中: A 为爆震燃烧室的横截面积, p_1 为未燃气体的压力, γ 为比热比, 角标 1 和 2 分别对应于未燃气体和已燃气体, $M a_1$ 和 $M a_{2c}$ 分别为未燃气体马赫数、已燃气体相对于爆震室壁的马赫数, t_d 为爆震波在爆震室中的传播时间, t_r 为膨胀波的传播时间, t_c 为一个爆震循环的时间。

1997 年 10 月收稿; 1998 年 1 月收到修改稿。

* 本文系国家自然科学基金资助项目(编号: 59386027)和 863 计划资助项目(编号: 863- 2- 2- 1- 4)

** 女 32 岁 西安市西北工业大学航空动力与热力工程系 710072

1.2 比冲的计算^[3]

比冲可依下式计算:

$$I = \frac{p_1 \left\{ \frac{1 + \gamma M a_1^2}{1 + \gamma_2} \left[1 - \frac{\gamma_2 - 1}{2} M a_{2c}^2 \right]^{2\gamma_2/(\gamma_2 - 1)} - 1 \right\}}{\rho_f f + \rho_0 (1 - f)} \left\{ \frac{1}{V_1 + V_0} + \frac{\gamma M a_1}{\gamma_2 a_1} \frac{(1 + \gamma_2)}{(1 + \gamma M a_1^2)} \right\}$$

其中: ρ_0 和 ρ_f 分别为氧化剂和燃料的密度, f 为燃料体积百分数, V_0 和 V_1 分别为新鲜混气的充填速度和爆震波速, 其余参数意义同前。

1.3 单位燃料消耗率的计算^[4]

单位燃料消耗率可由下式确定:

$$sf c = \frac{3600 \rho_f f}{p_1 \left\{ \frac{1 + \gamma M a_1^2}{1 + \gamma_2} \left[1 - \frac{\gamma_2 - 1}{2} M a_{2c}^2 \right]^{2\gamma_2/(\gamma_2 - 1)} - 1 \right\}} \left\{ \frac{1}{V_1 + V_0} + \frac{\gamma M a_1}{\gamma_2 a_1} \frac{(1 + \gamma_2)}{(1 + \gamma M a_1^2)} \right\}$$

式中各参数意义同前。

2 燃料种类对脉冲爆震发动机性能的影响分析

本文对采用汽油(C_8H_{16})、煤油($C_{12}H_{24}$)、乙炔(C_2H_2)、氢气(H_2)作燃料, 用空气作氧化剂的脉冲爆震发动机性能参数分别进行了计算, 计算所得的结果如图 1~6 所示。

由图 1~3 可见, 当爆震频率一定时, 随着混气余气系数 α 的增大, PDE 的平均推力和比冲都是先增大后降低的。当 $\alpha = 1.0$ 时达最大值, 而 PDE 的单位燃料消耗率是随着余气系数的增大而一直减小的。

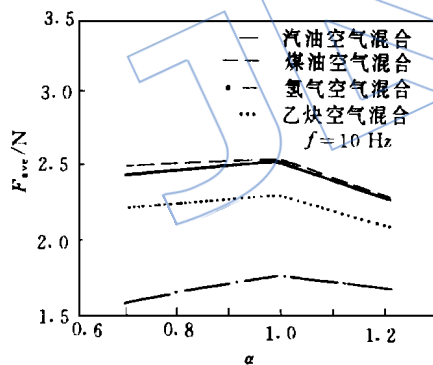


图 1 PDE 的平均推力随混气余气系数 α 的变化曲线

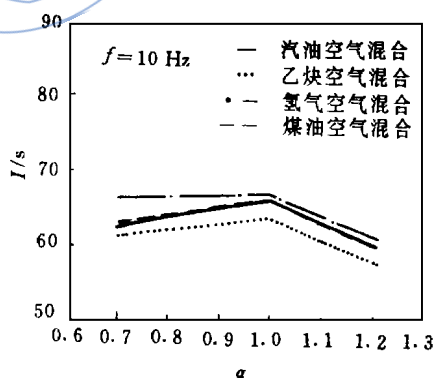


图 2 PDE 的比冲随混气余气系数 α 的变化曲线

由图 4~6 可见, 当余气系数一定时, 随着爆震频率的增大, PDE 的平均推力和单位燃料消耗率是一直增大的, 而比冲是一直减小的。

由以上各图, 能很明显地看出燃料种类对 PDE 性能参数的影响规律。在同样的条件下, 随燃料种类的不同, 产生的 PDE 平均推力由高到低依次为煤油、汽油、乙炔和氢气; 比冲由高到低依次为氢气、汽油和煤油、乙炔; 单位燃料消耗率由高到低依次为乙炔、汽油和煤油、氢气。采用不同燃料所造成的 PDE 性能的差异是由不同燃料与空气反应所得的爆震波特性的决定的^[4]。

综合比较采用上述燃料的 PDE 性能参数后不难发现, 采用汽油和煤油作燃料的 PDE 综合性

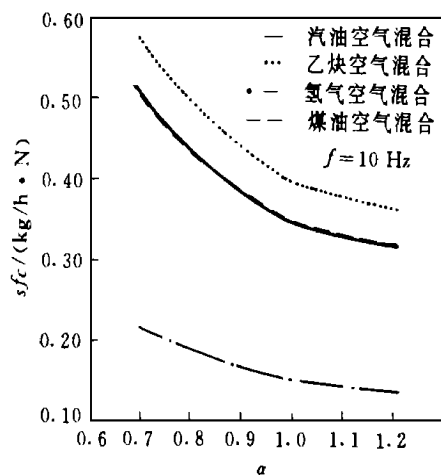


图 3 耗油率随混气余气系数的变化曲线

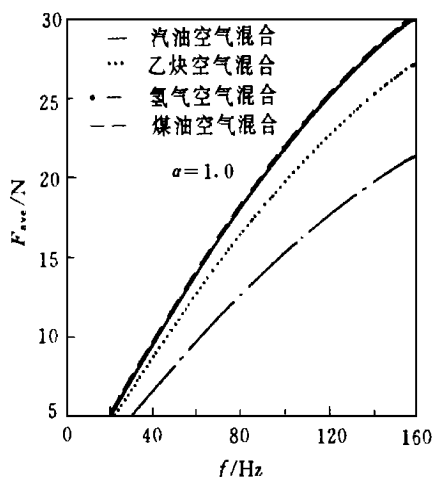


图 4 PDE 的平均推力随爆震频率的变化曲线

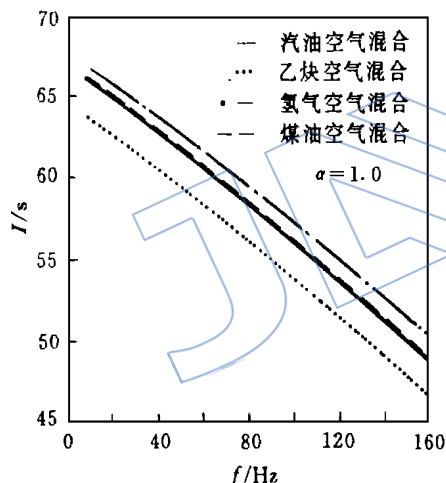


图 5 PDE 的比冲随爆震频率的变化曲线

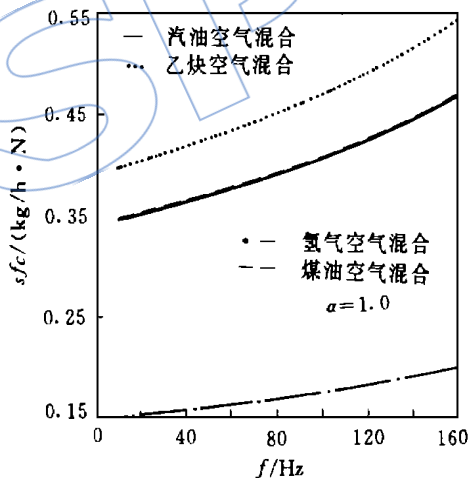


图 6 耗油率随爆震频率的变化曲线

能最佳, 即平均推力最高, 比冲不低且单位燃料消耗率又不高。再细作比较, 汽油的挥发性好, 燃点低, 更容易产生爆震波。

3 验证

为了证明上述计算方法及结果的可靠性, 在自行设计的 PDE 原理模型上, 对采用汽油/空气混合气的 PDE 平均推力随混气余气系数和爆震频率的变化规律进行了实测。将计算与实测结果拟合成曲线, 示于图 7 和 8 中。由图可见, 两者的平均推力随混气余气系数、爆震频率的变化趋势基本一致。对比其数值发现两者尚有一定差距, 这主要是源于计算作了一些简化, 如没有考虑两相流及爆震燃烧产物的离解等因素, 而且基于“点火完毕即形成爆震波”的假设, 这势必使计算值理想化, 肯定比实测值偏大。应当指出的是, 这种差异是由计算与实测的条件不同

造成的,与燃料种类无关。故本文的计算方法及结论,对于比较燃烧种类对 PDE 性能的影响以

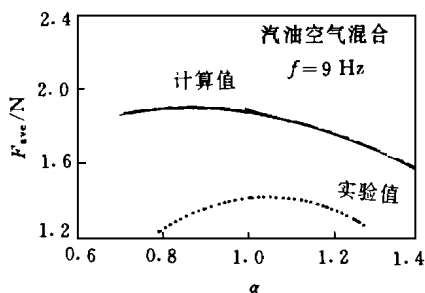


图 7 平均推力随混气余气系数变化规律

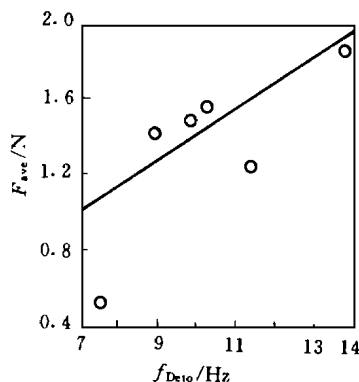


图 8 平均推力随爆震频率变化规律

及性能参数值的相对大小和变化趋势是可靠的,只不过实测数值都要在计算值的基础上打个折扣而已。

4 结 论

(1) 在一定的爆震频率下,分别采用汽油、煤油、乙炔和氢气作燃料的 PDE 的平均推力和比冲随着余气系数的增大都呈现先增大后减小,在化学恰当比下达最大值的规律,而单位燃料消耗率则呈一直下降的趋势;

(2) 在一定的余气系数下,随着爆震频率的增大,采用上述各种燃料的 PDE 的平均推力和单位燃料消耗率都呈现一直增大,而比冲一直减小的规律;

(3) 综合比较采用上述燃料的 PDE 性能,得出采用汽油和煤油的为最好,而且汽油在起爆性能上优于煤油。

参 考 文 献

- 1 Nicholls J A, Wilkinsomn H R, et al Intermittent Detonation as a Thrust- Producing Mechanism. Jet Propulsion, 1957, 27: 534- 541
- 2 范玮, 严传俊, 何立明等 原理模型脉冲爆震发动机中压力及平均推力的实测与理论分析 航空动力学报, 1997, 12(4): 410- 412
- 3 严传俊, 刘军, 范玮等 脉冲爆震发动机工作原理及循环分析 推进技术, 1996, 17(3): 56- 63
- 4 廖剑 脉冲爆震发动机的推力计算及试验研究: [学士论文] 西北工业大学, 1997

(责任编辑 杨再荣)

Key Words Blades Fatigue life Flutter Dynamic stress Numerical analysis

A NEW METHOD FOR ESTABLISHING A STATE VARIABLE MODEL OF AEROENGINE

Feng Zhengping, Sun Jianguo, Huang Jinqun, Cai Hongwu

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT A new method for establishing aeroengine's State Variable Model (SVM)-fitting method is proposed. The SVMs of small perturbation about steady operating points of an engine are established by fitting nonlinear dynamic simulation data of its component-level models at the points. Then the SVMs of small perturbation about steady points at ground and in flight and also the SVM of large perturbation of ground acceleration for a turbofan engine are established by this method. Dynamic simulation results show that the SVMs established by fitting method have much higher accuracy than the SVMs established by the method of bias derivative.

Key Words Aircraft engines State variables Fitting Modeling

THEORETICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION ON SQUEEZE FILM DAMPER OF TURBOENGINE

Jiang Shuyun

(Engineering Physics Dept., Tsinghua University, Beijing 100084)

Chen Zhaobo and Xia Songbo

(Power Engineering Dept., Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ABSTRACT The oil film temperature field in the Squeeze Film Damper (SFD) was analysed by the aid of finite element method. The oil film temperature distribution was obtained from joint solution of Reynolds, energy and viscosity-temperature equations of SFD in accordance with its boundary conditions. Based on the analysis of oil film ring temperatures in SFD of a turboengine SFD, the authors put forward that the oil film temperature rises are obtained from damping in the starting stage, but mainly from heat convection from ring to oil film in the steady state. The authors also recommend the Trial- and- Error method to solve this problem.

Key Words Aircraft engines Oil film Dampers Temperature field
Finite element analysis

EFFECTS OF FUEL TYPES ON PERFORMANCE OF PULSED DETONATION ENGINE

Fan Wei, Yan Chuanjan, He Lining, Jian Jian, Wang Linquan

(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT In order to design an advanced Pulsed Detonation Engine (PDE),