

# 空气/煤油燃气发生器技术研究

金盛宇, 许宏博, 吉 林  
(上海空间推进研究所, 上海 201112)

**摘 要:** 介绍了某动力装置采用空气/煤油燃气发生器的研究情况。为了实现某动力装置的燃料无毒化, 研制了空气/煤油燃气发生器, 并完成与涡轮的联动试验, 试验结果表明燃气发生器性能满足动力装置要求。该燃气发生器采用电火花点火, 具备富燃 (余氧系数  $\alpha < 0.3$ ) 和富氧 (余氧系数  $\alpha > 4.5$ ) 双模式工作能力, 两种模式下均实现了轴功率输出。此外, 燃气发生器还能在两模式间连续切换, 且不熄火。这为满足功率需求提供了第三种工作模式。该模式也实现了轴功率输出。

**关键词:** 动力装置; 燃气发生器; 空气/煤油

**中图分类号:** V434-34   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-9374 (2014) 03-0029-04

## Technology research on air/jet fuel gas generator

JIN Sheng-yu, XU Hong-bo, JI Lin

(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112, China)

**Abstract:** An emergency power unit (EPU) with air/jet fuel gas generator is studied in this paper. The air/jet fuel gas generator for EPU was developed to meet the requirement of EPU with non-toxic propellants. The operation test of linkage to turbine was successfully passed. Test results show that the performance of the generator meet the requirements of EPU. The spark ignition is adopted in the gas generator which can operate either in a fuel-rich mode ( $\alpha < 0.3$ ), or an oxidizer-rich ( $\alpha > 4.5$ ) mode. Both of two modes realized shaft power output. In addition, there is the third mode that the gas generator also can switch between the two modes without flameout. The mode had achieved the shaft power output.

**Keywords:** power unit; gas generator; air/jet fuel

## 0 引言

燃料无毒化是某动力装置改进发展方向<sup>[1-2]</sup>。最初, 该动力装置采用单组元肼燃料<sup>[3]</sup>, 系统无

需点火装置、结构简单、起动可靠, 但肼燃料有毒, 带来了生产、贮存、运输、使用条件和地面勤务操作复杂、维护使用成本高等问题。针对这些问题, 美国多个类似的型号经大量研究分析对

收稿日期: 2014-01-22; 修回日期: 2014-02-26

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目(2012JY03)

作者简介: 金盛宇 (1976—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机设计

比后，最终采用了“空气+煤油”燃料方案<sup>[4-5]</sup>。我国也开展了空气/煤油燃气发生器研究，研制成功燃气发生器原理样机，并与涡轮进行联动试验，实现系统功能演示。本文介绍该空气/煤油燃气发生器的研究情况。

### 1 设计方案

空气/煤油燃气发生器具备富氧和富燃两种工作模式，设计参数见表1。燃气发生器原理样机结构形式见图1，主要由喷注器、点火段、身部直筒段、身部折角段以及燃烧室等构成。

表1 燃气发生器设计指标

**Tab. 1 Design characteristics of gas generator**

工作模式	富燃模式	富氧模式
推进剂	压缩空气/煤油	
燃气流量/(g·s <sup>-1</sup> )	140*	80
燃烧室压力/MPa	2	-
燃气温度/°C	<950	<650
余氧系数 α	<0.3	>4.5
工作模式	稳态及脉冲	稳态
起动加速性 t <sub>90</sub> /ms	≤100	-
关机减速性 t <sub>10</sub> /ms	≤100	-

\*注：可提供最大功率75 kW左右。

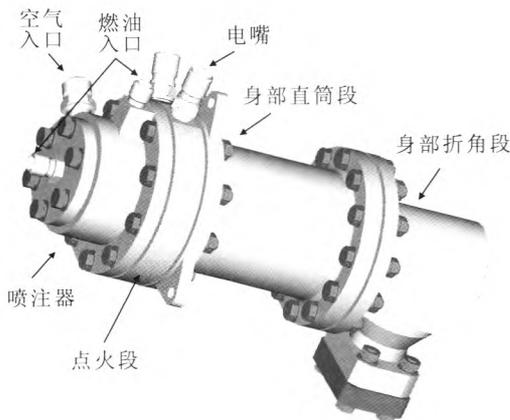


图1 燃气发生器外形结构

Fig. 1 Configuration of gas generator

由于空气/煤油推进剂组合属于非自燃推进剂，因此设置两路电火花点火器（冗余）。燃气发生器采用双路燃油喷嘴<sup>[6]</sup>，以满足富氧和富燃工况的两种燃油流量的需求。燃气发生器采用二次燃烧方案，空气分两级进入燃烧室，初级空气从燃烧室头部进入，通过旋流器雾化燃油，并在燃烧室内形成强旋流，以便稳定火焰<sup>[7]</sup>；次级空气从燃烧室中后部进入燃烧室，进行再次燃烧和掺混，控制燃气温度。

### 2 燃气发生器试验

空气/煤油燃气发生器经历十多轮状态调整及地面热试车，逐步实现点火以及再起点火，点火成功率和性能不断提高，最终通过单机考核。考核表明燃气发生器点火可靠，燃气压力、温度和流量等参数均达到设计要求。随后与涡轮等装置进行地面联动试验，考察燃气发生器与涡轮、控制器的工作匹配性和功率输出特性，验证了系统功能。图2为燃气发生器单机试验点火照片，联试时主要测量参数见表2。



图2 燃气发生器点火试验照片

Fig. 2 Picture of gas generator in ignition test

表2 试验测量参数表

**Tab. 2 Parameters detected in test**

参数名称	试验值
燃气发生器室压 p/MPa	0~2.0
空气路入口压力/MPa	3.0
燃油路入口压力/MPa	3.0
燃气温度/°C	<1 000
燃油阀电流/A	<1
空气阀电流/A	<1
点火器电流/A	<1
涡轮转速比/%	0~100
负载功率 W/kW	15~50

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 富氧模式

燃气发生器实现富氧模式工作, 实测燃气压力为 0.8 MPa, 燃气温度为 650 ℃, 最大输出功率为 18 kW。图 3 为联动试验燃气发生器富氧工作模式的试验曲线, 试验程序时间 15 s, 负载功率由 20 kW 下调到 15 kW, 燃气发生器再起动 1 次。从图 3 中可见: 燃气发生器富氧点火响应时间 1.2 s 左右, 涡轮达到 60% 额定转速时间不超过 2 s。另外, 燃气发生器富氧模式再起动响应时间仅 0.1 s 左右, 可实现脉冲工作。

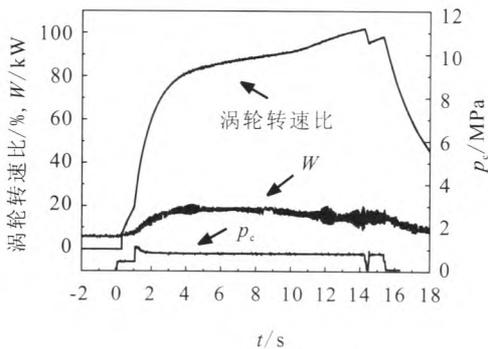


图 3 富氧模式试验曲线

Fig. 3 Test curves of oxidizer-rich mode

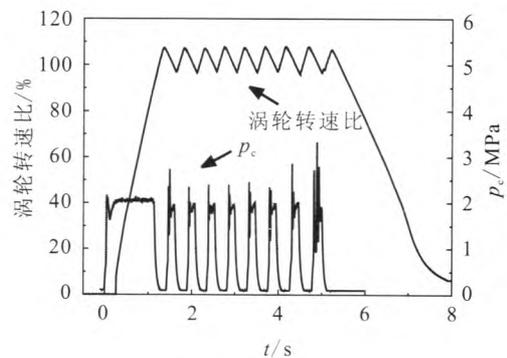
#### 3.2 富燃模式

在富燃模式, 燃气发生器稳态工作时, 涡轮输出功率达到最大值, 而低功率输出时, 燃气发生器在控制器的控制下, 进行脉冲模式工作, 以保证涡轮转速恒定和功率输出需求。燃气发生器实现富燃模式工作, 燃气压力 2.0 MPa, 稳态燃气温度 850 ~ 950 ℃。燃气发生器响应快, 脉冲工作可靠, 与涡轮工作匹配, 实现了稳定功率输出。

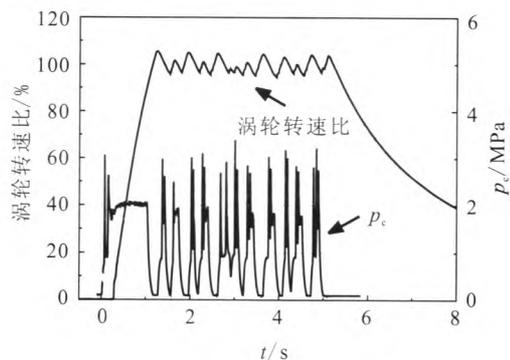
图 4 给出了联动试验富燃模式的典型工作曲线。图 4(a) 试验设定负载 53 kW, 燃气发生器再起动 8 次, 波形一致性较好, 脉冲工作周期 0.5 s 左右; 图 4(b) 试验设定负载 23 kW, 燃气发生器再起动 12 次, 脉冲工作周期 0.3 s 左右, 最小间隔时间小于 0.1 s。由此可见, 燃气发生器富燃工作模式实现了 53 ~ 23 kW 的功率输出, 负载功率

需求越小, 脉冲工作时间越短, 频率越高, 脉冲最小周期 300 ms。根据实际脉冲工作占空比, 推算燃气发生器最大可输出功率达 75 kW 以上。

由于富燃模式采用电火花直接点火方式, 燃气发生器再起动压力峰较高, 尤其是在负载功率较小的情况下。试验中通过优化点火时序, 在一定程度上可以降低压力峰, 但是无法消除。为此, 后续又开展了火炬点火方式的研究工作, 希望解决再起动压力峰问题, 确保系统工作的平稳可靠。



(a) 负载功率: 53 kW



(b) 负载功率: 23 kW

图 4 富燃模式试验曲线

Fig. 4 Test curves of fuel-rich mode

#### 3.3 富燃模式火炬点火

燃气发生器单机试验还验证了富燃模式和富氧模式可相互切换, 切换工作中, 燃气发生器不熄火。这为富燃模式脉冲工作提供了另一种点火方式, 即富燃模式火炬点火方式, 也就是燃气发生器富燃模式脉冲工作过程中, 富氧模式一直处于工作状态, 相当于一火炬, 从而提高了富燃模

式脉冲点火工作的可靠性,降低对电点火的依赖。

图5给出了燃气发生器富燃模式火炬点火方式的典型工作曲线。试验设定负载53 kW,工作时间20 s,再启动3次(火炬点火)。

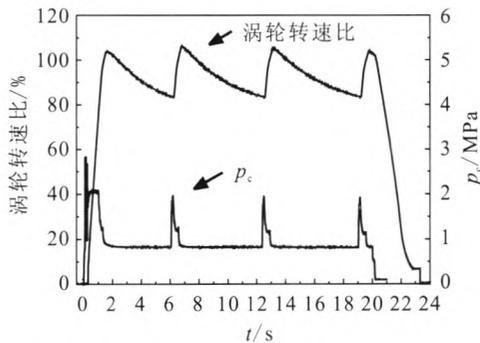


图5 富燃模式火炬点火方式试验曲线

Fig. 5 Test curves of fuel-rich mode with torch ignition

从曲线分析可见:

1) 富燃模式火炬点火方式实现功率输出,系统工作平稳可靠,再启动无压力峰。

2) 富燃模式火炬点火方式再启动频率显著降低。再启动周期5 s以上,而原富燃模式脉冲工作再启动周期约为0.5 s,两者相差10倍。这主要是因为火炬工作时仍维持着小功率燃气输出,导致关机后涡轮转速下降缓慢(如图5转速变化曲线),从而整个再启动周期加长。

3) 富燃模式火炬点火方式下转速控制精度较差(20%左右),需进一步优化调整控制策略,改善转速控制精度。

4) 富燃模式火炬点火方式的关机响应时间长是转速控制精度差的主要原因之一。关机响应时间长(300 ms以上),导致关机后转速继续上

冲,容易超转,转速上限控制困难,控制精度差。

## 4 结束语

空气/煤油燃气发生器具有无毒、高能、启动快、燃料易于获取等特点。我国近年开展了某动力装置无毒化论证研究工作,研制成功空气/煤油燃气发生器原理样机,并完成与涡轮的联动试验,实现系统功能,燃气发生器性能初步满足某动力装置要求。后续将开展工程环境适应性研究工作,考察燃气发生器高空、低温以及其他工程应用环境下的点火性能及可靠性,实现工程应用。

### 参考文献:

- [1] 黄铁山. 国外机载机电系统技术和装备[C]// 中国航空学会. 中国航空学会航空电器工程第六届学术年会论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2003: 92-96.
- [2] 范开华. 军用飞机第二动力系统[C]// 中国航空学会. 中国航空学会控制与应用第十届学术年会论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2002: 105-112.
- [3] 薛镇基, 李令成. 肼混合燃料在飞机应急动力装置中的应用[J]. 黎明化工, 1993 (1): 41-45.
- [4] MIKE K. Recent developments in aircraft emergency power, AIAA 2000-2802[R]. USA: AIAA, 2000.
- [5] WEIMER J. Past, present & future of aircraft electrical power systems, AIAA 2001-1147[R]. USA: AIAA, 2001.
- [6] 侯凌云, 侯晓春. 喷嘴技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.
- [7] 侯晓春. 高性能航空燃气轮机燃烧技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.

(编辑: 王建喜)