

过氧化氢推力室技术研究

林 革, 凌前程, 李福云

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 简述了过氧化氢作为火箭推进剂的优点, 重点介绍了近几年陕西动力机械设计研究所在过氧化氢单组元推力室和双组元发动机推力室研制中取得的进展. 设计了几种过氧化氢单组元推力室并进行了试验; 进行了过氧化氢/煤油双组元火药点火试验; 进行了催化点火技术的研究, 27 次点火试验全部取得成功; 设计并生产了几种双组元推力室, 对过氧化氢/煤油自燃点火技术进行了研究, 累计进行了 500 余次点火试验; 采用 37kN 推力室分别进行了 90% 过氧化氢/煤油的火药点火试验和自燃点火试验, 试验获得了成功.

关键词: 过氧化氢; 推力室; 催化分解; 点火

中图分类号: V434.24

文献标识码: A

文章编号: (2005)03-0001-04

A Study of thrust chamber technology using hydrogen peroxide

Lin Ge, Ling Qiancheng, Li Fuyun

(Shaanxi Power Machine Design and Research Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The research on hydrogen peroxide mono and bipropellant combustion chamber conducted by Shaanxi Power Machine Design and Research Institute (SPMDRI) in recent years is presented in this paper. Several hydrogen peroxide monopropellant thrusters were designed and tested. The powder ignition tests for hydrogen peroxide/kerosene were conducted. The catalytic ignition torch technology was also studied, and all of the 27 firing tests were successful. Several bipropellant chambers were designed and produced, and the hydrogen peroxide/kerosene hypergolic ignition characteristics were studied with 500 firing tests. Powder ignition and hypergolic ignition firing tests of 90% hydrogen peroxide /kerosene were also successfully conducted with 37kN thrusters.

Key words: hydrogen peroxide; thruster; catalytic decomposition; ignition

收稿日期: 2004-12-27; 修回日期: 2005-01-05.

作者简介: 林革 (1966—), 男, 研究员, 研究领域为液体火箭发动机推力室技术。

1 引言

随着航天技术的不断发展以及环保要求的日益提高,未来航天推进系统已逐渐向无毒化方向发展,采用无毒无污染推进剂已成为今后的趋势。对于空间发动机而言,尤其是在空间长期运行的推进系统,高浓度过氧化氢是一种理想的绿色推进剂,它具有无毒、无污染、高密度、易贮存、高比热等优点。过氧化氢和烃类(或醇类)燃料组成的双组元推进剂组合具有密度比冲高、冷却性能好的优点,其综合性能不低于其它可贮存推进剂。

过氧化氢既可以作为双组元推进剂的氧化剂,也可以作为单组元推进剂使用。推进系统可采用一体化供应系统,简化了系统设计,提高了可靠性。过氧化氢分解产物可以为生活保障系统提供水和氧气。与液氧、液氢等低温推进剂相比,过氧化氢特别适用于需长期在空间运行、载人、反复穿越大气层、重复使用的运载器或轨道飞行器,如空间机动飞行器(SMV)、跨大气层飞行器(TAV)等;还可以减小飞行器体积和阻力;避免对环境、飞行器和乘员的污染和伤害;无需复杂的防护和勤务设备,实现随时加注和在轨加注,长期待命;与固体推进剂相比,又具有推力可调、随时关机、多次起动、比冲高等优点,可进行机动战斗或侦察任务;提高飞行器安全性、维护性和可操作性,降低飞行器的开发和运行成本,综合效益优良。

因此,从理论和工程应用角度开展过氧化氢推进技术研究,进行过氧化氢单组元、双组元发动机的预研工作,为我国新型无毒无污染空间飞行器推进系统提供技术储备是非常必要的。

2 单组元推力室和气体发生器

过氧化氢作为单组元推进剂,其分解产物为过热水蒸气和氧气,曾广泛用于反作用控制系统和驱动涡轮的气体发生器系统。对于小推力室来说,单组元系统虽然性能较低,但在系统质量、

复杂程度上,却比双组元具有明显的优势。过氧化氢的绝热分解温度适中,90%质量浓度过氧化氢的分解温度为740℃。使用过氧过氢的推力室可用不锈钢制造。

在90%过氧化氢单组元姿控发动机研究方面,近几年来,陕西动力机械设计研究所设计了多种单组元推力室并进行了试验,在床载荷、起动特性等方面超过了目前常用的肼分解推力室的水平。100N推力室采用打孔式分配板,在断续工作条件下,累计寿命可达2000s以上。25N推力室在床载荷高于 $7\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 时稳态工作寿命不低于300s,室压粗糙度低于4%,分解效率高于96%,其室温起动特性比肼推力室要好。

通过对这几种推力室的设计、研制和试验,考核了催化剂床在各种工作条件下的性能,以及推力室方案的合理性。通过这些研究,我们在单组元推力室催化剂床寿命、床载荷、起动性能、分解效率等方面获得重要突破。

在泵压式轨道机动发动机的研究中,采用90%过氧化氢催化分解发生器驱动涡轮泵。该发生器(图1),床载为 $7\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 。经过水试和多次热试,取得了理想的结果。试验表明发生器设计合理,试验工况下发生器工作稳定,性能良好并且可以多次启动,分解效率超过98%,室压粗糙度低于2%。试验曲线见图2。



图1 气体发生器

Fig.1 Gas generator

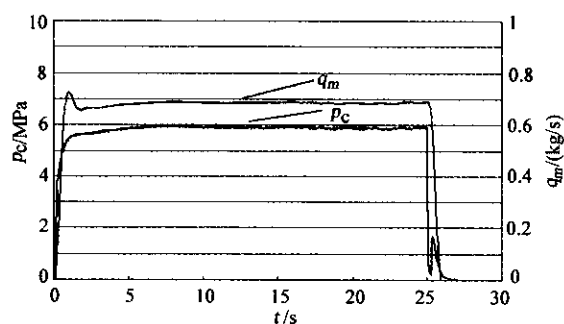


图2 气体发生器试验典型曲线

Fig.2 Pressure variation for gas generator test



图4 37kN 90% 过氧化氢/煤油火药点火试验

Fig.4 37kN thruster powder ignition test with 90% hydrogen peroxide/kerosene

3 双组元推力室

过氧化氢与烃类（或醇类）燃料组合属于非自燃推进剂，双组元推力室的点火是发动机研制的技术关键，要求必须迅速点火、可靠起动、稳定工作。目前我们的研究包括了火炬点火和自燃燃料点火。

3.1 火炬点火

为了验证这种火炬点火的可行性，首先进行了火药点火的验证性试验。试验表明，通过外加点火源，可以实现液态过氧化氢/煤油的点火及稳定工作。

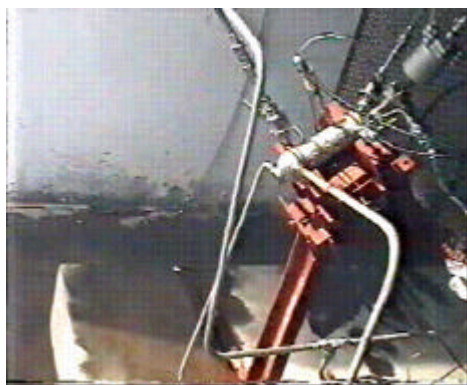


图3 90% 过氧化氢/煤油火药点火试验

Fig.3 90% hydrogen peroxide/kerosene powder ignition test

在此基础上，进行了 37kN 推力室火药点火试验，试验结果表明点火可靠， C^* 效率达到 94%。

随后，进行了催化点火火炬的研究，过氧化氢经过催化分解生成高温富氧蒸汽，再进入点火室与煤油混合后点火、形成火炬。研究工作包括催化剂床和气/液喷嘴的设计、单组元分解特性、火炬点火可靠性、工作效率及稳定性研究。在不同的燃料喷嘴结构、混合比、特征长度、点火程序下进行了热试车，27 次点火试验全部取得成功。试验结果显示，催化分解火炬的点火可靠性高，没有压力峰，工作稳定，燃烧效率在 96% 以上，典型试验曲线见图 5。

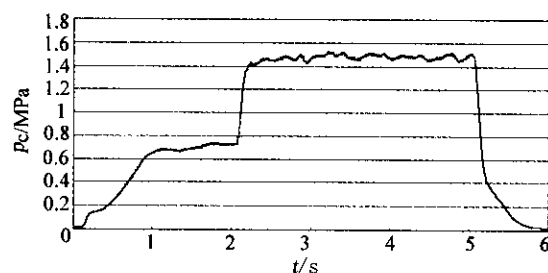


图5 过氧化氢/煤油全流量催化点火试验曲线

Fig.5 Pressure variation for hydrogen peroxide/kerosene catalytic ignition test

这种火炬方案构成了二次增强燃烧推力室（SCAT），可以分别在单组元模式和双组元模式下工作。

3.2 自燃点火

自燃点火技术是在常规烃类、醇类燃料中加

入催化剂（多为锰的氧化物或盐类）及其它添加剂，与火箭用过氧化氢相遇混合后自燃。美国、俄罗斯及国内的众多研究机构针对过氧化氢/自燃燃料发动机技术进行了大量的工作，陆续报道了一些研究成果。

在高浓度过氧化氢/煤油自燃技术研究过程中，先后设计了 25N、30N、50N、37kN 多种双组元推力室，共进行了数回合的过氧化氢/煤油自燃点火试验（25N、30N、50N），总的点火试验次数超过 500 次。先后考察了不同的燃料配方、过氧化氢浓度、推进剂混合比、点火时序、推力室的点火性能。经过不断努力在自燃燃料点火性能方面得到了重要突破，所开发的自燃燃料在不同工况下的点火相当可靠，燃烧效率较高。同时发动机的设计也逐步完善并得到了较好的考核，脉冲工作性能良好。图 6 是 50N 推力室典型的试验曲线。

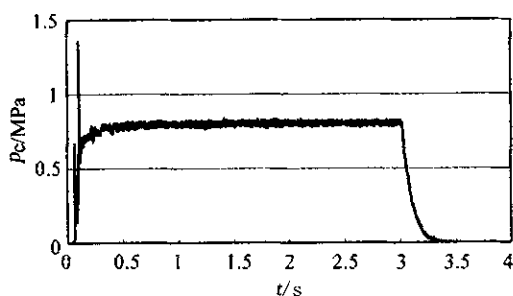


图 6 过氧化氢/煤油自燃推力室点火曲线

Fig.6 Pressure variation for hydrogen peroxide/kerosene hypergolic ignition test

图 7 为 30N 推力室进行 100ms、50ms、30ms 脉冲工作的试验曲线。试验后的发动机进行分解、检查，喷注器盘、喷管喉部均无烧蚀现象，没有出现喷孔堵塞现象，发动机的结构及密封可靠。

在上述工作的基础上，采用 37kN 推力室进行了 90%过氧化氢/煤油（含添加剂）自燃点火试验，试车获得圆满成功。多种自燃点火推力室的成功试验表明，在过氧化氢/煤油基自燃燃料推进系统的研究上已取得了突破性进展，发动机起动可靠，燃烧效率高。但是，从工程应用角度来看，自燃

点火技术仍需要在以下方面开展研究工作：

- (1) 燃料长期贮存性问题；
- (2) 高空点火特性的研究。

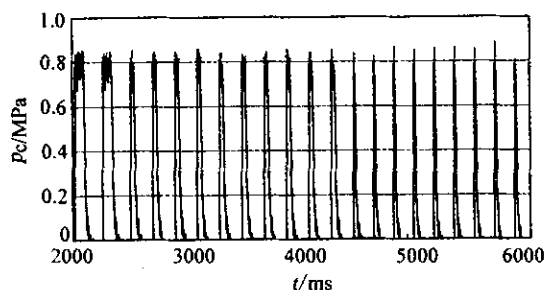


图 7 过氧化氢/煤油自燃点火的脉冲工作曲线

Fig.7 Pressure variation for hydrogen peroxide/kerosene hypergolic ignition pulse test

4 结 论

对过氧化氢单、双组元发动机进行了较为广泛的研究，单组元的床载超过 $7\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ，室温起动特性超过肼分解的水平；进行了自燃点火、火药点火以及催化分解火炬的研究，试验均获成功，为今后过氧化氢/煤油发动机的研究打下了良好的技术基础。

参考文献：

- [1] Ventura M, Mullens P. The use of hydrogen peroxide for propulsion and power[R]. AIAA 99-2880.
- [2] Long M R, Anderson W E, Humble R W. Bi-centrifugal swirl injector development for hydrogen peroxide and non-toxic hypergolic miscible fuels[R]. AIAA 2002-4026.
- [3] Helms W J, Mok J S, Sisco J C, Anderson W E. Decomposition and vaporization studies of hydrogen peroxide[R]. AIAA 2002-4028.
- [4] 王永忠. 过氧化氢催化剂床结构研究[J]. 火箭推进, 2003, 29(5).

（编辑：陈红霞）