

## 600N 单组元推力室的研制

刘 俊, 李小芳

(上海航天动力机械研究所, 上海 200233)

**摘 要:** 600N 单组元推力室使用 DT-3 推进剂, 催化床床载率高达  $6\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ , 头部采用两组环形分布的喷注扩散器并进行了模块化设计, 身部采用了隔热装置, 推力室具有结构紧凑、工艺简单、重量轻等特点。热试车结果表明, 推力室起动迅速、平稳, 性能可靠。

**关键词:** 液体火箭发动机; 推力室参数测量

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2006) 05-0012-05

## Development of a 600N monopropellant thruster

Liu Jun, Li Xiaofang

(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** The development of a 600N monopropellant thruster is discussed. Higher catalyst bed loading, new modularized diffuser of injector, device of heat insulation in the chamber are described. The thruster is characterized by compact structure, simple technics and lightweight. Test results show that the thruster can start quickly and smoothly with high reliability. Its success is the base of developing higher thrust, higher bed loading thruster for spacecraft.

**Key words:** liquid propellant rocket engine; thruster parameter measurement

### 1 引言

与以无水肼为推进剂的单组元推力室相比, 以 DT-3 为推进剂的单组元推力室具有冰点低、研制成本低、对系统的热控要求低、可靠性高的优点, 广泛应用于航天运载工具的姿态控制动力系统。

随着推进技术的不断发展, 对单组元推力室提出了越来越高的推力要求, 大推力单组元推力室在满足比冲、寿命、使用可靠性的同时, 还要兼顾以下两个方面:

- (1) 质量尽可能轻;
- (2) 考虑产品的可生产性和经济性, 要求选用通用化材料、加工难度要小。

本文介绍的是 DT-3 推进剂 600N 推力室的

研制情况，该推力室用于运载器的机动变轨。

## 2 研制历程

该 600N 推力室的研制工作经历了三个阶段：

(1) 方案设计阶段：2001 年起，首先进行了催化床床载率为  $4\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$  的 600N 推力室方案设计，并通过了热试车考核；

(2) 减重阶段：在方案推力室热试车考核通过的基础上，2002 年起，根据型号任务的需求进行减重设计，并研制了催化床床载率为  $5\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$  的 600N 推力室，再一次通过了热试车考核；

(3) 改进、定型阶段：2003 年起，在总结前两个阶段研制工作的基础上，对设计方案进行了改进，设计了催化床床载率为  $6\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$  的 600N 推力室，通过喷注器、催化床优化设计，解决了催化床局部温度偏高的问题，并降低了成本。2005 年 4 月，发动机高空热试车结果表明，产品全面满足设计要求，获得成功。

## 3 推力室的设计特点

### 3.1 催化床床载率高

分解室内装有两种催化剂。前床是细颗粒的高铈催化剂，保证了推进剂快速分解，后床是粗颗粒的钼、铬催化剂，可以减少催化床压降并降低催化剂成本。

催化床床载率达到  $6\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ ，该推力室是国内报道的采用 DT-3 推进剂和上述催化剂组合的最大床载率推力室。采用高床载率即降低了推力室成本，同时减轻了推力室重量。

### 3.2 喷注管数目较少

多管淋浴式推力室为了使推进剂在催化床上分布均匀，不可避免地导致毛细管根数较多。依照莲蓬式喷注器的设计准则，600N 推力的推力室至少需要 50 根喷注管，由于喷注管与喷注板、集合器采用钎焊连接，数目众多的喷注管不仅使生产的操作难度加大，并将给钎焊质量和可靠性保障带来不利因素。因此，设计了喷注扩散器，使喷注管数目大幅减少，仅为莲蓬式喷注器设计的 30%。

### 3.3 模块化喷注扩散器设计

600N 推力室上采用了两组环形分布的喷注扩散器，并实现了喷注扩散器的模块化设计。图 1 为喷注扩散器的原理性结构示意图。

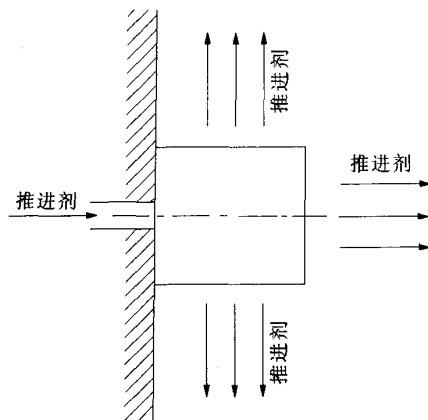


图 1 喷注扩散器原理性结构示意图  
Fig.1 Schematic of injection diffuser

由于采用了喷注扩散器，推进剂经喷注管进入喷注扩散器中，通过喷注扩散器增加了催化剂与推进剂的接触面积，保证了发动机平稳地工作，避免了由于局部推进剂流速过大而导致催化剂损耗过大。模块化设计简化了喷注扩散器的结构及生产工艺，并为更大推力推力室的设计创造了有利条件。

### 3.4 身部

由于大推力推力室的高温段（催化分解室、喷管）壁温较高，达到  $1000^{\circ}\text{C}$  以上，超出了不锈钢的使用范围，因此国内外大推力推力室大多采用高温合金作为高温段材料，使用的材料有 GH202、GH3128、L605 等。但是，高温合金加工难度比不锈钢高，且高温合金与不锈钢的对接焊、钎焊都有一定难度，因此，在研制 600N 推力室时，身部采用一种隔热装置降低了身部温度，保证催化分解室、喷管采用不锈钢材料可靠地工作，同时降低推力室的成本和加工难度。

## 4 推力室的热试车

### 4.1 试验系统

图 2 为推力室在试验台上的情况。试验中使用的测量设备，主要有：

压力传感器：用于测量贮箱、电磁阀入口压

力和推力室室压；

涡轮流量计：用于测量发动机稳态工作时的流量；

推力传感器：用于测量推力室的输出推力；

温度传感器：用于测量推力室、电磁阀和真空舱温度。

测控系统采用网络将测量设备、信号调理装置、数据采集仪和数据处理计算机连接起来，通过实时数据处理系统现场处理数据。通过网络连接，发动机点火时的燃压、温度和流量等参数以图形方式实时地显示在计算机屏幕上。

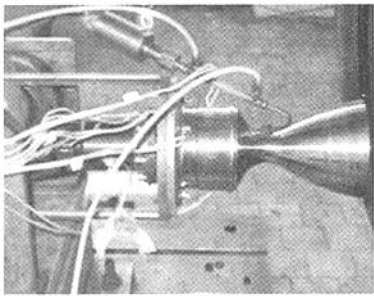


图 2 推力室在试验台上  
Fig.2 Thruster on the test facilities.

4.2 试车结果

4.2.1 推力室稳态与脉冲性能

图 3~7 描述了推力室的稳态与脉冲性能。流量与推力的关系曲线如图 3 所示。

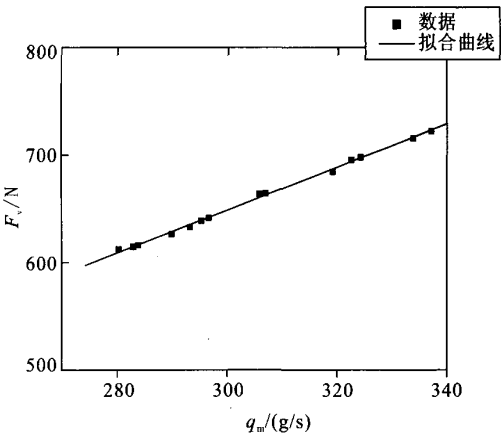


图 3 流量与推力的关系曲线  
Fig.3 Relationship between thrust and mass flow rate

在 600N~700N 推力范围内，推力室的比冲为 2170 N·s/kg，催化分解效率超过 97%。推力室入口压力与室压的关系曲线如图 4 所示，从图中可以看出，推力室入口压力与室压关系特性良好。

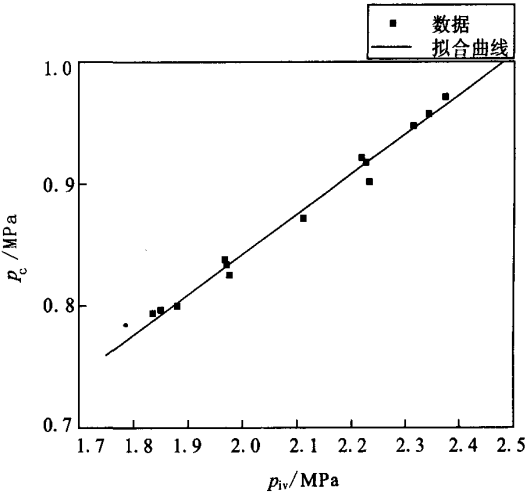


图 4 入口压力与室压的关系曲线  
Fig.4 Relationship between chamber pressure and inlet pressure

在保持一定入口压力的 300 次脉冲程序过程中，稳态脉冲的室压随脉冲次数的变化情况如图 5 所示。

从图中可以看出，稳态平均室压波动较小，推力室性能稳定。

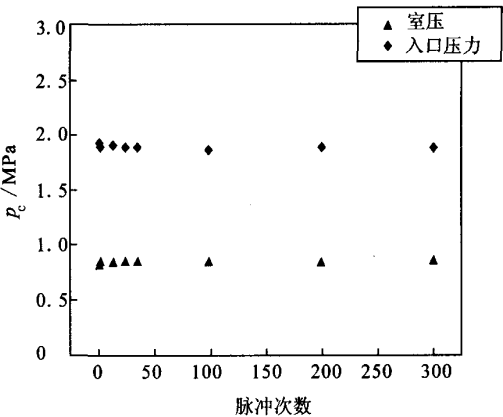


图 5 稳态脉冲的室压随脉冲次数的变化情况  
Fig.5 Variation of steady state chamber pressure with impulse number

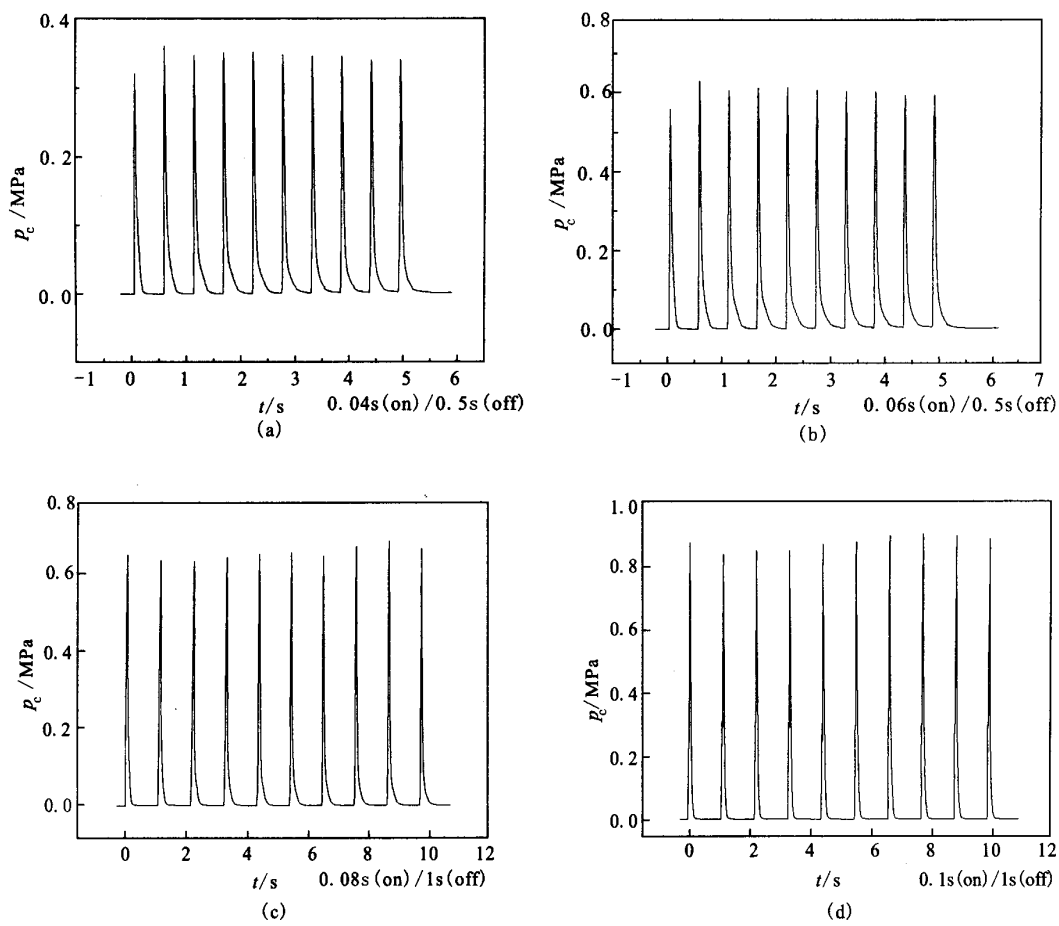


图 6 脉冲性能  
Fig.6 Impulse performance

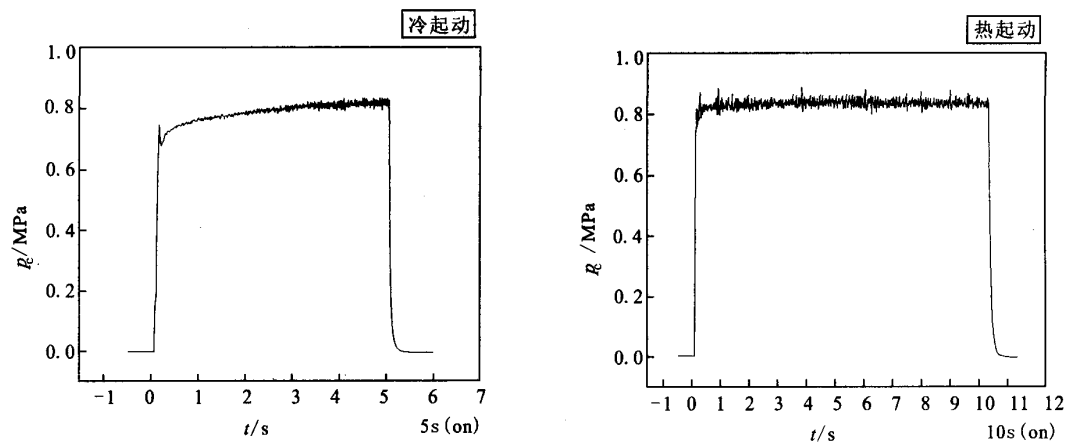


图 7 稳态性能  
Fig.7 Steady state performance

图 6 为脉冲长度为 0.04s~0.1s 的脉冲曲线图,从图中可以看出,推力室响应较快,且脉冲冲量稳定,脉冲间隔 0.5s 对前后两个脉冲没有影响。

图 7 为冷起动和热起动的稳态曲线图,从图中可以看出,冷起动加速性  $t_{90c}$  为 0.169s,热起动加速性  $t_{90h}$  为 0.125s,室压粗糙度小于  $\pm 2\%$ 。试车数据表明,该推力室响应迅速,室压粗糙度小。说明该推力室的室压平稳性好,性能可靠。

4.2.2 温度情况

图 8 为冷起动和热起动的圆筒段典型温升曲线图。由于 600N 分解室采用了身部隔热装置,热量从中心位置传递到圆筒壁时间明显加长,如在冷起动温升曲线中,圆筒段温度从 1.1s 才开始上升,在热起动温升曲线中,圆筒段温度从 1.2s 开始上升。从热起动曲线中可以看出,在工作 10s 时圆筒外壁温度只有 850℃且趋于稳定,证明了身部的隔热装置的效果较好,保证了产品高温段没有变形,产品可靠工作。

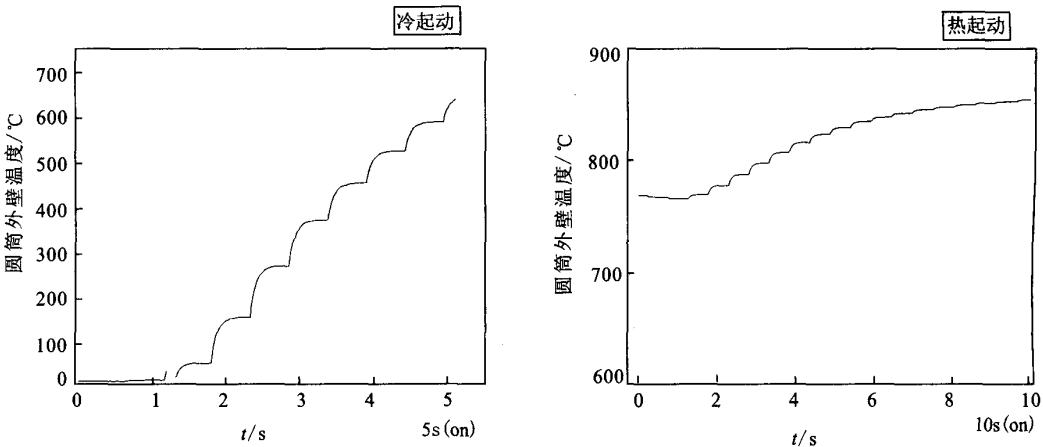


图 8 圆筒段温升曲线  
Fig.8 Increase of temperature with time

试车全过程各温度测点达到的最高温度见表 1。从表 1 中可以看出,喷注板与集合器的最高温度相差 300℃以上,集合器小于 100℃,远低于 DT-3 的爆炸点,保证了集合器集液腔的安全,证明了多孔支架的隔热设计达到了预期效果。电磁阀最高温度仅为 57℃,保证电磁阀正常工作。

表 1 试车全过程各温度测点达到的最高温度  
Tab.1 Highest temperatures of location of thermocouples

测点	集合器	电磁阀	喷注板
最高温度 /℃	93	57	400

5 结论

600N 单组元推力室具有较高的催化床床载荷参数,新颖的喷注扩散器和身部采用了隔热装置等特点。热试车结果表明:

- (1) 推力室真空比冲达到 2170 N·s/kg;
- (2) 推力室入口压力与室压关系特性良好;
- (3) 在保持一定入口压力的 300 次脉冲程序中,推力室性能稳定;
- (4) 推力室响应较快,且脉冲冲量比较稳定;
- (5) 推力室的室压平稳性好,性能可靠;
- (6) 身部的隔热装置效果较好,试车全过程中推力室高温段温度较低。

600N 单组元推力室的研制成功,为更大推力、更高床载姿态控制用低冰点推力室的设计奠定了基础。

参考文献:

[1] 周汉申. 单组元催化分解发动机喷注器的设计与研究 [J]. 上海航天, 1993, (1) .

(编辑: 陈红霞)