

新型高密度燃料性能研究

叶丹阳, 曹新发, 韦 伟

(中国航天科技集团公司四院四十二所, 湖北 襄阳 441003)

摘 要: 研究了新型高密度碳氢化合物 HD-2 与航空煤油的复配。通过对不同配比的燃料的密度、黏度、闪点、燃烧热值的测定比较, 研究了复配燃料的基本性能; 通过火箭-冲压组合发动机 (RBCC) 航空煤油点火燃烧性能实验, 研究了不同 HD-2 添加含量的复配燃料的燃烧性能。基本性能测试实验和点火燃烧性能实验的结果表明: 添加 HD-2 高密度碳氢化合物后, 复配燃料的基本性能和点火燃烧性能明显改善, 推力得到提高。

关键词: HD-2; 复配燃料; 点火性能; 发动机推力

中图分类号: V51-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 04-0050-04

Properties of new high-density fuel

YE Dan-yang, CAO Xin-fa, WEI Wei

(The 42nd Institute, the Fourth Academy, CASC, Xiangyang 441003, China)

Abstract: The formulation of new high-density hydrocarbon fuel HD-2 and aero kerosene (RP-3) is studied. Density, viscosity, flash point and combustive calorific value of the complex fuel were measured and compared. The ignition and combustion performances of complex fuels with different HD-2 ratio were investigated by performance experiments on RBCC engine. The results show that HD-2 can remarkably improve ignition and combustion properties of RP-3, and increase the thrust of RBCC engine.

Keywords: HD-2; complex fuel; ignition performance; engine propulsion

0 引言

高密度张力环笼型碳氢化合物是高密度吸热碳氢的一种, 它们的分子由碳、氢两种元素组成, 具有高的正生成热和远高于普通碳氢化合物

的密度值 ($\rho \geq 1 \text{ g/cm}^3$)。由于在合成过程中通过拉紧 C-H 键角至 90° 或 60° , 使化合物具有立方烷或四面体的结构, 从而向化合物中引入张力能量, 使其具有更高的燃烧热值。在这类分子中一旦某一个键被打破, 整个分子就很快破碎而释放出很大的能量。

收稿日期: 2011-02-14; 修回日期: 2011-04-19

基金项目: 国家航天高技术项目

作者简介: 叶丹阳 (1982—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 研究领域为高密度碳氢化合物合成与性能研究

这类高张力烃类化合物主要是一些立方烷、二氢盆式苯衍生物和烷烃二聚体等, 不但可作为固体火箭冲压发动机富燃料推进剂的高能添加剂, 而且因其能溶于碳氢化合物, 可望推广应用于液体燃料冲压发动机的碳氢燃料和吸热碳氢燃料, 赋予这些碳氢燃料优异的能量性能和点火燃烧性能。

某新型固体碳氢化合物 HD-2 是高密度张力环笼型碳氢化合物中具有应用潜力的一种, 可以在航空煤油 (RP-3) 中大量溶解, 并形成稳定溶液, 增加燃料的热值。本文对 HD-2 与 RP-3 的复配燃料的性能进行了研究。

1 实验

1.1 实验装置及说明

在西北工业大学固体火箭发动机燃烧、内流场与热结构国防科技重点实验室进行了火箭-冲压组合发动机 (RBCC) 航空煤油点火燃烧性能实验。实验数据中压强测试点的位置在第一个喷注凹腔后的第一个测压点 (P15 测点, 见图 1), 该点测试压强数据变化能够表征点火凹腔内的燃料的燃烧性能。

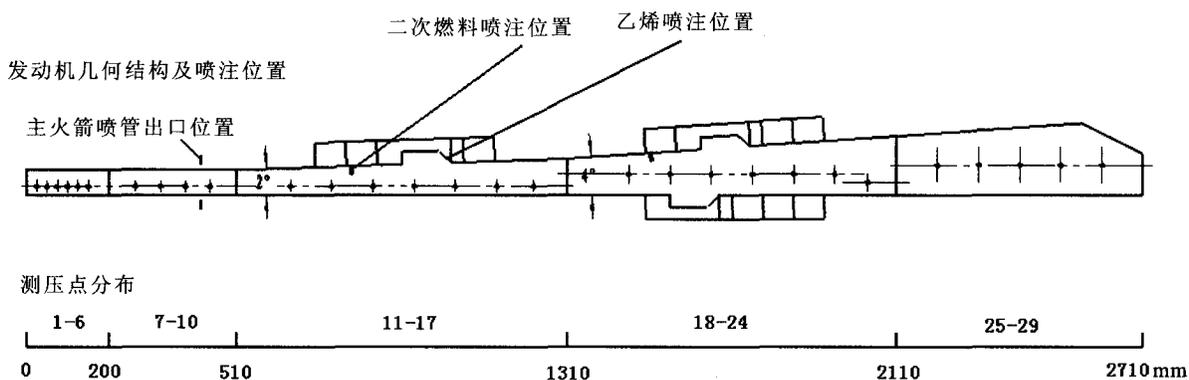


图 1 模型发动机结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of scramjet model

1.2 复配燃料基本性能测试

本节研究添加不同配比 HD-2 的 RP-3 燃料复配燃料的各项使用性能, 并由此选择使用性能最好的配比浓度。

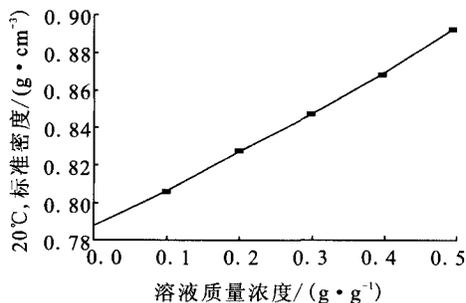


图 2 复配燃料密度变化曲线

Fig. 2 Density curve of complex fuel

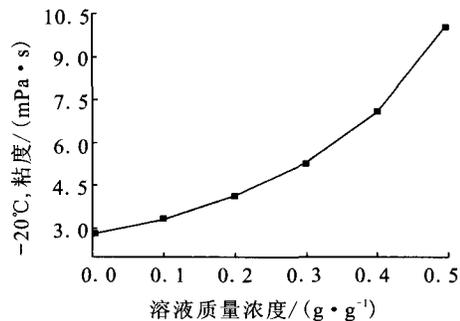


图 3 复配燃料黏度变化曲线

Fig. 3 Viscosity curve of complex fuel

如图 2、图 3 所示, 随着 HD-2 含量的增加, 复配燃料的密度成正比例增加, 粘度成指数函数增加; 图 4 表明, 随着 HD-2 含量的增加, 复配燃料的闪点升高, 燃料的稳定性增强; 图 5 的线

性关系曲线说明, 增加 HD-2 含量, 复配燃料的燃烧热值成正比例增加。

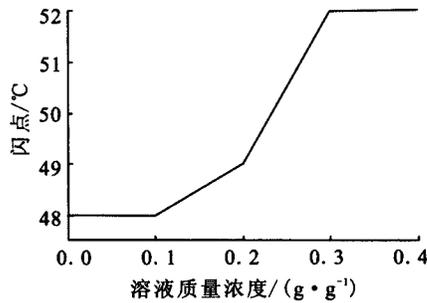


图4 复配燃料闪点变化曲线

Fig. 4 Flash point curve of complex fuel

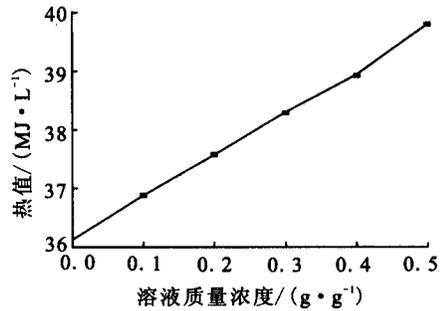


图5 复配燃料燃烧热值变化曲线

Fig. 5 Heat value of complex fuel

通过以上多种性能测试实验, 测定了添加不同质量分数 HD-2 的 RP-3 燃料的性能, HD-2 加入 RP-3 燃料中可使燃料的密度和体积热值进一步提高, 闪点略有升高, 密度和单位体积燃烧热随 HD-2 含量的增加而增大, HD-2 含量达 50% 时, 密度和单位体积燃烧热分别增加 40% 和

12.1%, 即使 HD-2 的含量达 50% 时, 复配燃料仍为流动性较好的液体, 满足火箭对液体燃料的性能要求, 由此证明 HD-2 是一种有较好应用前景的高密度燃料配方, 以其为基本组分的复配燃料将会有广泛的应用。

1.3 HD-2 和 RP-3 复配燃料燃烧实验

表1 燃烧实验条件

Tab. 1 Conditions of combustion experiment

复配燃料	时序/s	空气压强/MPa	乙烯压强/MPa	二次燃料流量/(g·s ⁻¹)	推力参数比
100% RP-3	4	0.97	1.13	51.95	0.272
含 10% HD-2 的 RP-3	4	0.89	1.12	52.9	0.276
含 15% HD-2 的 RP-3	4	0.98	1.25	56.8	0.310

(“4 s” 时序: 空气阀打开; 2 s 后打开乙烯阀; 2 s 后打开煤油阀, 同时点火塞点火; 4 s 后关闭煤油阀、乙烯阀、火花塞; 1 s 后关闭空气阀)

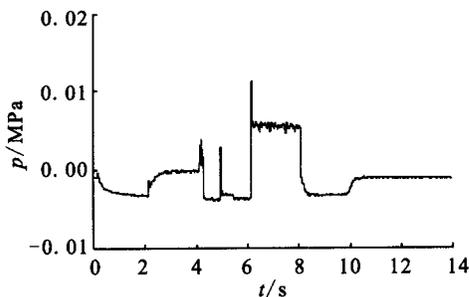


图6 航煤燃烧压强曲线

Fig. 6 Pressure curve of RP-3 fuel

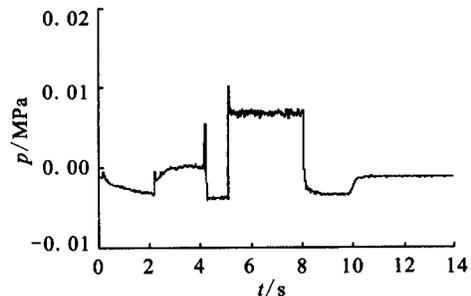


图7 含 10% 的 HD-2 的燃料燃烧压强曲线

Fig. 7 Pressure curve of complex fuel with 10% HD-2

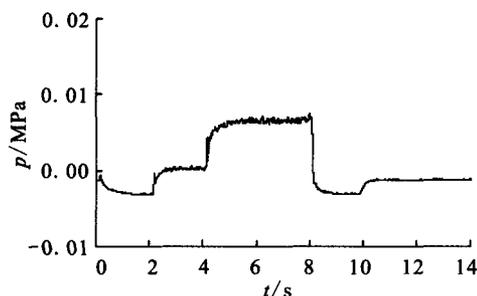


图 8 含 15% 的 HD-2 的燃料燃烧压强曲线

Fig. 8 Pressure curve of complex fuel with 15% HD-2

在本测试中, 实验初始条件见表 1, 其中燃料的燃烧性能通过气体压强的变化来判定。通过以上实验数据可以看出, 作为点火用的乙烯的进气量发生改变时, 复配后的液体燃料在燃烧过程中不会出现燃烧熄灭或燃烧不稳定现象, 压强的变化见图 6、图 7 和图 8。在相同条件下, 当航煤燃烧时, 4~6 s 出现熄火; 含 10% 的复配燃料燃烧时, 4~5 s 出现熄火, 后续燃烧正常; 含 15% 的复配燃料燃烧时, 未出现熄火现象, 燃烧持续正常。以上测试表明: 加入 HD-2 后, 6~8 s 间压强变化的稳定性有明显的改善。通过燃烧压强与推力的计算, 表明: 随着 HD-2 含量的增加, 推力也增加, 从而进一步证实在燃烧过程中, 含有张力环结构的化合物对燃料燃烧能量有巨大的贡献。

在 HD-2 这类高密度碳氢化合物分子中, 一旦某一个键被打破, 整个分子就很快破碎并释放出很大的能量。所以当复配燃料进入燃烧室后, 其中的 HD-2 化合物分子迅速裂解为小分子产物, 快速燃烧, 释放能量, 从而提高了燃料的燃烧效率和系统的整体推力。

2 结论

由复配燃料的基本性能测试和点火燃烧实验结果表明, 高密度碳氢化合物 HD-2 在 RP-3 燃

料中相容性很好, 复配后燃料的热值、点火燃烧性能和推力性能均得到明显提高。因此, HD-2 系列的航煤燃料可作为亚燃和超燃冲压发动机的基础燃料配方, 具有广阔的应用前景。

致谢: 感谢西北工业大学固体火箭发动机燃烧、内流场与热结构国防科技重点实验室提供燃烧实验设备。

参考文献:

- [1] Anon. Oxidatively stable esters derived from diamondoids totally hydroxylated at the bridgeheads: US, 5,397,488 [P]. 1995-03-14.
- [2] 符全军, 燕珂, 杜宗罡, 等. 吸热型碳氢燃料研究进展[J]. 火箭推进, 2005, 31(5): 32-36
- [3] 张香文, 米镇涛, 李家玲. 巡航导弹用高密度烃类燃料[J]. 火炸药学报, 1999, 22(4): 41-45.
- [4] Anon. High-density liquid fuel: US, 4,604,490 [P]. 1986-08-05.
- [5] Anon. High energy rocket propellant: US, 5,616,882 [P]. 1997-04-01.
- [6] NAVRATILOVA M, SPORKA K. Synthesis of adamantane on commercially available zeolitic catalysts [J]. Applied Catalysis A:General, 2000(203): 127-132.
- [7] MARCHAND A P, SURESH C S. Synthesis of methyl- and nitro -substituted pentacyclo [5.4.0.02,6.03,10.05,9] undecane-8, 11 -diones [J]. J. of Org.Chem, 1984 (49): 670-675.
- [8] EATON P E, LUIGI C, RICHARD A H, et al. Synthesis of homopentaprismane and homohypostrophene and some comments on the mechanism of metal ion catalyzed rearrangements of polycyclic compounds [J]. J. of Org. Chem., 1976(41): 1445-1448.
- [9] MARCHAND A P. Synthesis, characterization and crystal density modeling of four C₂₄H₂₈ cage -functionalized alkene [J]. Tetrahedron, 1994(50): 1687-1697.
- [10] SEGAL C, SHYY W. Energetic fuels for combustion applications [J]. J. of Energy Resources Technology, 1996 (118): 180-186.

(编辑: 陈红霞)