

# 肼-70 胶体推进剂的特性及制备方法

甄江涛, 刘江强, 徐 超, 李 俊  
(北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

**摘 要:** 胶体推进剂是火箭推进和其它燃气发生器的新型待选推进剂。常规液体推进剂在储存过程中泄漏危险性较高, 将液体推进剂制成介于固体与液体之间的胶体, 可大大增加其粘度与表面张力, 降低泄漏危险性。文中对肼-70 胶体推进剂的国内外研究现状作了概述, 着重对其制备工艺进行了具体介绍, 包括胶凝剂的选择、分散工艺等方面, 并通过实验对比发现对于肼-70 体系而言, 添加相同含量的 B 类胶凝剂成胶效果优于 A 类胶凝剂。

**关键词:** 肼-70; 胶体; 推进剂; 胶凝剂; 制备工艺

**中图分类号:** V513

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2008) 02-0059-04

## Properties and preparation of gel propellant H-70

Zhen Jiangtao, Liu Jiangqiang, Xu Chao, Li Jun  
(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

**Abstract:** Gel propellant is a new kind of propellant for rocket propulsion and other gas generator. Conventional liquid propellant may leak out during conserving. Make the liquid propellant gelled can increase the viscosity and the surface tension of the propellant, and reduce the probability of leaking. This paper presented a survey on the research of the gel propellant H-70, especially the preparation technics, including selection of the gellant and the disperse etc. The test results comparison of different gellants indicated that gellant B is better than gellant A for H-70.

**Key words:** H-70; gel; propellant; gellant; preparation technics

### 1 引言

肼-70 胶体推进剂是一种介于固体与液体推

进剂之间的推进剂, 它是一种非牛顿粘弹性流体。一般是在液体燃料中加入一种或几种胶凝剂, 在高剪切力作用下使其分散均匀, 在分子间力的相互作用下构成胶联的三维立体网状结构,

收稿日期: 2007-12-26; 修回日期: 2008-03-07。

作者简介: 甄江涛 (1980—), 男, 工程师, 研究领域为胶体推进剂。

最终形成的胶状体<sup>[1]</sup>。

肼-70 胶体推进剂系统与纯液体推进剂系统相比具有诸多优点。主要包括：贮存和操作过程的安全性得以改善，降低火灾风险，降低泄漏、溢出及晃动问题，以及具有较高的能量密度（加入固体物质时）<sup>[2]</sup>。此外，由于将液体推进剂制成胶体后，并不改变推进剂的主要成分，而且凝胶剂的添加量很少，所以不会影响推进剂的使用特性，尤其是其点火性能。对于绝大多数的推进剂来讲，其材料相容性也不会发生任何改变，所以肼-70 胶体推进剂的研制对于其他相关研究领域的影响较小，不会产生较多的“连带反应”，这就大大降低了研究过程的工作量。最终形成的胶状体<sup>[1]</sup>。

## 2 肼-70 胶体推进剂研究现状

肼-70 液体推进剂通常作为飞机应急动力系统（Emergency Power Unit, EPU）的单组元推进剂来使用。EPU 能在主发动机失灵、液压泵发生故障或一台主发动机关闭、液压泵和发动机同时发生故障时，提供电力或液压动力以保证飞机获得极高的飞行稳定性，保证其在主发动机无法运转的情况下安全着陆。这种 EPU 装置的动力可以是靠发动机喷气或者是利用肼-70 燃料分解，也可以是两者共同提供动力。EPU 首先是使用发动机排气来提供所需动力，而当发动机排气不足时，这种装置所需动力则完全依赖肼-70 液体燃料的分解为涡轮提供补充能量。但肼-70 液体推进剂作为一种强还原剂与液氧、红烟硝酸、四氧化二氮、过氧化氢等强氧化剂接触时立即自燃，与某些金属（如铁、铜、钼等）及其氧化物接触时，发生分解并放出大量热，由此可造成着火或爆炸，危险性很高<sup>[3]</sup>。因此，提高肼-70 推进剂的贮存、运输、使用安全性势在必行。

另外一点需要注意的就是推进系统总是需要高性能推进剂。根据单组元推进剂无水肼的性能，在其中加入水后，必然会使体系的能量降低，低温启动性能亦随之变差。因此，怎样提高肼-70 体系能量也是一个突出的问题。NASA 格

林研究中心对胶体燃料的优点、性能、燃烧特性和潜在的应用进行了大量的研究，早在 20 世纪 70 年代就提出金属化胶体推进剂这种新型可贮存推进剂，它和传统液体推进剂相比具有以下优点：(1)比冲和装填系数较高；(2)蒸发损失、泄漏和晃动问题减小；(3)比传统的液体推进剂容易贮存。因此，肼-70 胶体推进剂作为未来液体发动机的代选燃料是当今推进剂研究领域的发展方向，也是研究肼-70 金属化胶体推进剂的基础<sup>[4]</sup>。

国外在肼-70 胶体推进剂方面也仍然处于研究阶段，但对于类似推进剂产品已经设计了适用于凝胶推进剂点火的发动机，如图 1 所示<sup>[5]</sup>。



图 1 胶氢发动机结构

Fig.1 Configuration of the gel hydrogen engine

美国空军 2005 年的《战机后勤手册》中提到飞机 EPU 动力仍然来自肼-70 液体推进剂的分解，并同时提到肼-70 存在蒸发量大的问题和泄漏的隐患，以及对人员和环境的危害，这些都增加了飞机维护的成本，也延长了飞机起飞前的准备时间，这些都说明美国早已认识到液体推进剂本身在使用过程中所存在的缺陷，也预示着在今后几年的工作中，他们必然将工作重点逐步转向肼-70 胶体推进剂的研究上来。如果将肼-70 胶体推进剂应用到飞机上将大大降低维护成本，同时提高飞机的综合性能。我国在这方面的研究尚处于起步阶段，肼-70 胶体推进剂一旦研制成功，其应用前景十分广阔，可大量配置于空军飞机应急动力系统，它必将能加速实现我国单组元推进系统的高能化，并向着高可靠性方向发展，在国

防、航空以及航天事业上是极具有发展前途的一种推进剂。

### 3 肼-70 胶体推进剂的制备工艺

#### 3.1 胶凝剂的选择

制备肼-70 胶体推进剂所用的胶凝剂主要有两种, 根据发动机使用的不同要求选择不同的胶凝剂。一种胶凝剂划分为 A 类胶凝剂, 适用于普通发动机及催化剂试车要求, 一般为葡萄糖类与葡甘露聚糖高分子有机聚合物, 这种胶凝剂很少的用量就可以起到胶凝的作用。另外一种胶凝剂划分为 B 类胶凝剂, 它是具有高度凝胶作用的胶凝剂, 添加量仅为普通胶凝剂添加量的一半甚至更少, 这对于降低杂质对催化剂的不良影响, 提高发动机的使用性能起到非常关键的作用。这种胶凝剂也属于葡萄糖类与葡甘露聚糖高分子有机聚合物, 但是在一些侧链的结构上与普通胶凝剂有所不同, 通过人为对其分子结构进行一定修饰, 在分子链整体上保持了这类胶凝剂分子的亲水性, 但引入的起特殊作用的官能团却具有一定的疏水性, 这类官能团包括活化后的金属离子、磷脂、疏水性氨基酸和某些经过改善的含氧官能团, 正是这种结构上的特异性导致了 B 类胶凝剂具有优异的凝胶性能。

#### 3.2 分散工艺

目前肼-70 胶体推进剂的分散工艺路线主要有两种, 一种就是利用高剪切乳化机将其均匀混合。高剪切乳化机工作头在高速转动下(28000r/min)在其周围形成真空带, 此时迅速将所需的胶凝剂一次性全部加入, 利用真空作用产生的吸力, 将胶凝剂吸入工作头, 再利用剪切力作用将其完全分散, 此种方法的特点是制备时间较短, 分散较为均匀, 但不适合大批量制备。另一种就是利用混合机的搅拌及高剪切作用将液体与胶凝剂混合均匀, 适用于凝胶推进剂的批量制备, 但由于制备量大, 胶凝剂很难均匀地分散到反应容器的每个角落, 因此为使胶凝剂能够充分分散开, 需连续工作较长时间才能得到满足使用要求的凝胶推进剂。胶凝剂分散原理示意图见图 2。

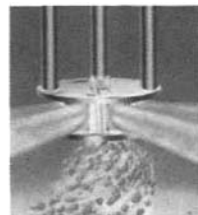


图 2 胶凝剂分散原理示意图

Fig.2 Principle on disperse of the gellant

对比两种制备方式不难得出结论: 在没有锚式搅拌的情况下想要获得较为理想的凝胶推进剂也是可行的, 只是制备量要受到限制, 究其原因是因为高剪切工作头的有效工作容积有限, 一旦超出其范围则出现不均匀甚至结块的现象, 但正是由于处理量较小的原因, 制备时间反而缩短就可以达到满意的效果。与之相对应, 在较大设备中采用锚式搅拌和高剪切搅拌, 甚至两者与高速分散搅拌相结合的方式制备, 由于锚式搅拌可以不断地将反应容器内壁周围、高剪切工作头有效工作范围以外的物料不断带到高剪切附近, 经过长时间的搅拌, 就可以达到所要求的均匀分散状态, 因此这种方法每次可以制备较大量肼-70 凝胶推进剂。

### 4 试验部分

#### 4.1 仪器和试剂

FA-25 型高剪切乳化机 (德国 FLUKO 公司); HX-3510 恒温循环器 (郑州长城科工贸有限公司); XS365M 型精密电子天平 (瑞士 Precisa 公司); NDJ-4 型粘度计 (上海恒平科学仪器有限公司)。

A 类胶凝剂: NJJ-H (试验室合成), B 类胶凝剂: KGM 魔芋胶 (广州凯闻化工科技有限公司)。

#### 4.2 肼-70 胶体推进剂的制备

使用电子天平按照重量比, 分别称取 NJJ-H 胶凝剂 3.0g、3.2g、3.4g、3.6g、3.8g、4g, KGM 魔芋胶 2.0g、2.2g、2.4g、2.6g, 另需分 10 次每次称取 200g 肼-70 液体推进剂。每次将称好的

胍-70 液体推进剂放置于 500mL 烧杯中，为防止挥发加盖密封，盖上开一圆孔，以通过高剪切搅拌头，在低速下开启搅拌头，然后缓慢加入称好的胶凝剂，搅拌 30min 后停机，将制备好的胍-70 胶体推进剂转入另一容器中，密封保存，静置待消泡后使用。

4.3 粘度测试

用 NDJ-4 型粘度计对所制得的 10 个样品进行粘度测试，测试过程中通过控温使样品温度维持在 20℃，并对粘度测量杯采取密封措施，防止由于组分的挥发而导致测试结果不准确。测量杯结构如下。

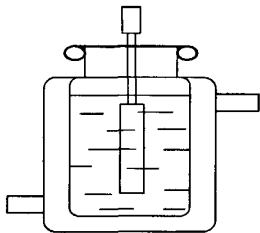


图 3 粘度试验杯

Fig.3 Cup for viscosity measuring

内层用于盛放样品，外层通过循环水域控温，在容器口加装密封盖，并在密封盖上开一圆孔，圆孔尺寸适中，刚好通过转子基端为好。

4.4 结果与讨论

各个配方的粘度测试结果如表 1。

通过实验数据对比可以发现属于 B 类胶凝剂的 KGM 魔芋胶 1.0%的添加量所形成的胍-70 胶体推进剂其粘度要高于 1.6%添加量的 NJJ-H，同样 KGM 添加量为 1.2%时的粘度高于 1.8%含量的 NJJ-H，可见就这两种胶凝剂制备胍-70 胶体推进剂而言，B 类胶凝剂的成交效果要优于 A 类胶凝剂，这在制备胍-70 胶体推进剂时会大大减少胶凝剂用量，同时也会减小引入杂质的含量，至于选用哪种胶凝剂，完全可以根据需要进行筛选，但需要注意的是粘度只是胶体推进剂研制过程中需要考虑的诸多因素的一个方面，而属于 B 类的高效胶凝剂往往价格较为昂贵，制备时需考虑其使用性能及成本等各方面因素。

表 1 A 类与 B 类胶凝剂凝胶效果对照表

Tab.1 Experiment results of the gellant A and B

胶凝剂	添加量/%	粘度/厘泊
NJJ-H	1.5	24500
	1.6	29750
	1.7	40500
	1.8	53333
	1.9	68333
	2.0	76333
KGM	1.0	31313
	1.1	34438
	1.2	59250
	1.3	90000

5 结束语

通过对胍-70 胶体推进剂研究现状、制备工艺的介绍及配方研究实验结果对比，为胍-70 胶体推进剂的研究提供了借鉴，并提出了理论上更有利于成胶的 B 类胶凝剂，为胍-70 胶体推进剂的制备以及工艺放大提供了有益的参考。随着航天事业不断发展，胍-70 胶体推进剂以其优越的安全性能和使用性能必将在 EPU 系统中发挥出重要作用。

参考文献：

[1] 代玉东, 魏敬. 美国凝胶推进剂研究[J]. 火箭推进, 2003, 29(6): 40-41.

[2] 王宁飞, 房喻, 胡道道, 等. 小分子有机胶凝剂和凝胶推进剂的研究进展[J]. 火炸药学报, 2003, 26(4): 25-26.

[3] 高思秘, 张启源, 刘墅 等. 液体推进剂[M]. 北京: 宇航出版社, 1979.

[4] Ramini S, Haseil A Peretz. Development of Laboratory Scale Gel Propulsion Technology[R]. AIAA Paper 2001-3265.

[5] Bray D. Introduction to Missile Propulsion[R]. 1999. <http://www.dcm.cranfield.ac.uk/aerextra/e338intro.ppt>.

(编辑：陈红霞)