

过氧化氢发动机试验技术现状

董李亮

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 综述了过氧化氢在火箭推进技术中的发展和应用, 概括了国内外在这一领域的最新进展, 提出了发展过氧化氢火箭发动机对航天推进与宇宙探索都具有现实意义。

关键词: 过氧化氢; 推进技术; 应用

中图分类号: V434.3

文献标识码: A

文章编号: (2004)06-0032-04

Current Situation of Hydrogen Peroxide Engine Experimental Technique

Dong Liliang

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: This article summarizes the development, the application and the newly-made progress of hydrogen peroxide on rocket propulsion technology. The authors present that the development of hydrogen peroxide rocket engine will be significant both in aerospace propulsion and space exploration.

Key words: hydrogen peroxide; propulsion technology; application

1 引言

过氧化氢 (H_2O_2) 作为一种化学物质自 1818 年由 L.J. Thenard 发现后, 在医学上作为消毒剂, 工业上作为漂白剂广泛使用。第二次世界大战期间, 德国在 V-2 火箭上采用高浓度过氧化氢经燃气发生器分解的产物作为驱动涡轮的工质。二战后, 前苏联的 P-1、P-2、P-5M 火箭, 美国的“红

石”、“丘比特”、“维金”火箭等也采用过氧化氢分解产物来驱动涡轮。1956 年美国通用喷气公司进行以 90% 过氧化氢和聚乙烯为推进剂的固液火箭发动机的燃烧试验, 同时各国对固液型发动机的燃烧规律及推进剂的最佳理论配对进行了大量报道。50 年代后期, 英国曾研制以过氧化氢/煤油为推进剂的 Gamma 8 和 Gamma 2 发动机, 用于“黑箭”运载火箭。美国也研制了以过氧化氢/煤油为推进剂的 AR 系列火箭发动机, 用于提高军

收稿日期: 2004-08-20; 修回日期: 2004-09-25。

作者简介: 董李亮 (1973—), 男, 翻译, 研究领域为液体火箭发动机试验情报研究。

用飞机的性能。60年代末, NASA 实施的高超音速发动机研究计划所用原料为过氧化氢和液氨, 使 X-15 飞机飞行速度达到 6.7Ma。

90 年代中期以后, 随着推进剂无毒化的呼声越来越高, 过氧化氢又逐渐引起了人们的重视。Aerojet 公司在加利福尼亚的萨克拉门托建立了高纯度过氧化氢试验站, 现有设备可进行挤压式和泵压式 45kN 以上的高空试车。

过氧化氢从固液发动机向液体发动机发展。国外过氧化氢发动机的试验研究包括: 缩短点火延迟期的试验; 催化床催化分解试验和过氧化氢/煤油推力室试验。

2 国外过氧化氢的试验

2.1 点火延迟试验

非自燃推进剂过氧化氢/煤油为实现推力室点火有四种途径:

- (1) 火药点火;
- (2) 火炬点火;
- (3) 催化床催化分解点火;
- (4) 在煤油中加入自燃添加剂。

为了可靠点火, 世界各大公司就以上几种途径均做了大量的研究性试验。洛克达因公司在 2002 年 3 月份成功完成了过氧化氢/煤油火炬点火器试验, 为优化火炬点火器进行了 41 次系列点火试验, 大范围改变催化床负载、混合比、流量的工况, 试验累计时间超过 350s, 证实了点火可靠性和硬件设备对极端热环境的承受能力并使用了液体主喷注器和水冷式主燃烧室, 7 次推力室试验成功演示了主动点火性能、稳定燃烧、大范围工况变化性能。

美国海军空战中心正在试验一种能与过氧化氢自燃的燃料, 即混有催化剂的甲醇, 称为 Block 0 的燃料混合物。喷注器试验结果表明其点火延迟约为 17ms。还正在进行以丁醇为基础的、性能更高的 Block 1 燃料试验。

普渡大学按美国海军空战中心的专利授权为寻找性能优于 NTO/MMH 的无毒双组元推进剂进行了大量研究工作, 使用了一种称为“Hypertester”的试验装置, 可很好地测量出燃料和氧化剂的点火延迟。研究结果表明: 1-丁醇与过氧化氢组合时,

它们的比冲与密度比冲是醇类燃料中最高的。将一种称为 SSR 的化合物与甲醇及锰基催化剂混合在一起时, 可提高比冲和减少点火延迟期。

俄国在 90 年代开展了类似的研究工作。莫斯科航空学院进行了 93%~94%过氧化氢与加有添加剂的煤油的点火试验, 用开杯法测定的点火延迟期为 17 ms~24ms。圣彼得堡应用化学研究中心研制了一种能与过氧化氢自燃的、低毒的 TT-07A 混合燃料, 在浓度大于 90%的过氧化氢中点火延迟期约 15ms。

目前已有的点火延迟期数据, 多是在试验条件下用开杯落滴试验测定的, 未必反映发动机工作条件下的真实情况。常规有毒自燃推进剂的点火延迟期一般仅为 4ms~5ms。过长的点火延迟期容易导致大的点火压力峰值, 甚至爆炸, 也不利于姿控发动机脉冲工作。进一步的工作是研究更加理想的燃料和添加剂配方, 确定可自燃的最小添加剂浓度、研究添加剂对性能和点火延迟期的影响, 并通过小推力发动机试验进行验证。

自燃燃料技术, 目前还处于探索阶段。主要问题是点火延迟期仍比较长。

2.2 过氧化氢催化剂试验

根据 NASA 合作协议 (NCC8-193), 洛克达因公司最近成功进行了浓度为 98%过氧化氢催化剂试验。在 NASA 斯坦尼航天中心进行的过氧化氢催化试验累计热试验时间超过 50000s, 消耗过氧化氢近 11kg, 其中一个催化床用 98%过氧化氢成功工作近 10285s, 并且试验中显示出良好性能和可操作性, 大大超过以前任何一个演示工作时间。

过去广泛使用的催化剂是 KMnO_4 、 MnO 等化合物。现在正研究用过渡金属盐或氧化物, 它们是基于过渡金属锰、钴、铅等的金属盐和氧化物, 制作方法是先将特定材料和形状的载体放入过渡金属盐或氧化物的溶液中, 再把浸渍过的载体焙烧, 催化剂的组份就会附着在载体的表面。载体的材料多为陶瓷或无机物。

以前催化剂和载体难以长时间承受分解过程的高温和高床载, 颗粒状催化剂会逐渐破碎或变成粉末, 分解效率下降, 寿命只有几分钟。目前的工作主要是寻找新的高浓度过氧化氢催化剂和载体, 满足长寿命、高效率 and 可承受高床载的要

求。

2.3 过氧化氢/煤油发动机试验

NASA 和波音公司决定用 90%过氧化氢/煤油作推进剂。AR2-3 发动机的真空推力为 30kN, 真空比冲 246s。洛克达因公司将库存的该发动机组件进行了分解检查、重新装配和试验, 并进行了发动机热试。至 2000 年 5 月 2 日, 已成功地完成了 16 次发动机试车。在这一系列试验中, AR2-3 发动机累计工作 385.5s。

美国马夸特公司正在研制一个以过氧化氢/JP-8 为推进剂的上面级发动机, 用于 NASA 的“上面级飞行实验”计划。该发动机真空推力为 44kN, 真空比冲 275s。自 1998 年后期至 2000 年初期, 已进行了两轮试验。第一轮试验时, 采用浓度为 85%的过氧化氢, 试验结果表明烧蚀式燃烧室工作时间已达 300s, 燃烧效率大于 0.97。第二轮试验采用浓度为 90%的过氧化氢, 对喷注器/燃烧室在更高工作温度下的情况进行了验证。至 2000 年初, 共进行了 125 次试验, 累计工作时间约 30min。烧蚀式燃烧室的单次长程工作时间已达 140s。

与国外过氧化氢试验研究相比, 我们已经成功进行了火药起动器点火与自燃式点火两次试验, 两次试验都成功完成, 现在需要突破的关键是缩短点火延迟期, 解决添加剂与燃料的长期互溶问题。

过渡金属盐将成为主要的催化剂研究对象, 而国内在此领域还较落后, 应加大这方面的研究。

我们已成功建立了过氧化氢/煤油试验系统, 该系统能够满足设计要求。

3 过氧化氢发动机试验

过氧化氢是强氧化剂, 凡与过氧化氢接触的设备、管道、阀门、垫片、填料等均应与其相容的材质构成。适用的材质包括纯铝、规定牌号的不锈钢以及符合要求的陶瓷、塑料等非金属材料, 而且与过氧化氢接触的材质表面应光滑洁净, 还需在使用前经过严格的钝化处理。

3.1 过氧化氢的运输

美国在 60 年代设计制造了在火箭发动机上作为氧化剂用的高浓度过氧化氢运输与装料的拖车, 值得我们在过氧化氢试车中借鉴使用。在拖

车上安装着两个容积各为 1900L 的储罐, 储罐是由纯铝(99.5%)焊接制成的, 储罐的支座也是由铝制成的, 并且涂抹了聚氯乙烯, 软带把储罐固定在支座上, 为了防止过氧化氢落到拖车的表面部分, 把储罐和支座一起装置在专门的铝制盘上。在拖车的尾部安装着生产能力为 190L/min 的泵输送过氧化氢, 泵的工作是从汽油发动机通过联轴器离合器进行的, 为保证把过氧化氢注入储罐, 向火箭储罐装料和从火箭储罐泻出过氧化氢, 拖车上还装置着带有 300L 的储罐, 此外, 按标准设备每个储罐还有铝梯, 保存眼睛防护装置箱子和简单医疗救护的药箱。

3.2 试验系统材料相容性

某院研制过氧化氢/煤油的推力室试验系统时, 重点考虑了过氧化氢对材料的相容性问题。由于过氧化氢对大多数金属不相容, 只对纯铝和 F₄ 是一级相容, 对 1Cr18Ni9Ti 材料为二级相容, 因此试验过氧化氢系统所用容器、管路和阀门的材料基本上都是 1Cr18Ni9Ti, 密封材料选用 F₄ 或 L₄。手动阀门选用 1Cr18Ni9Ti 后, 由于阀门内部阀座和阀杆材料一致, 容易产生粘死现象或产生金属多余物, 因此, 在过氧化氢系统中, 只有箱底的一台 50 口径的阀门为手动总供应阀门, 其它阀门都是气动阀门。

氧化剂系统所有与过氧化氢液体直接接触的管路、阀门、过滤器及其它管接件全部经过了分解后除油、10% HNO₃+3% HF 溶液酸洗、70% HNO₃ 溶液浸泡钝化处理。用离子水冷调后, 系统经过了吹除, 加注了 1 立方米 35%的过氧化氢溶液, 钝化处理 48 小时。试验当天将加注 90%的过氧化氢对系统再次进行钝化, 投入试车使用。

对产品和氧化剂路文氏管也进行了处理, 经过这些工艺过程, 有效保证了试车的成功率, 提高了过氧化氢的安全性能。

3.3 过氧化氢/煤油试验系统

西安某所设计了过氧化氢/煤油试验系统, 根据推力室点火试验的数据及录像分析, 该试验系统能够满足设计需求。该试验系统既可进行双组元推进剂点火试验, 也可用于过氧化氢单组元催化分解试验或固液推进剂点火试验。

过氧化氢/煤油推力室和其它型号的推力室地面试车相比, 具有以下特点:

(1) 要求试验系统清洁无多余物,尤其是氧化剂系统和氧化剂相关系统必须经酸洗、钝化处理及特殊处理;

(2) 要求在氧化剂系统建立前合理选择与过氧化氢相容的材料;

(3) 要求试验系统需经 10MPa 气密检查,并需要严格保压;

(4) 测量参数类型多、数据量大,需要研究特殊的流量测量方法;

(5) 控制系统要求严格,近 40 台试验系统气动阀门和 2 台产品阀门必须严格按照规定程序执行,不允许出现误动作;

(6) 对试验系统的可靠性要求高。

本项试验系统涉及的多项技术具有较强的工程实用性,在相关领域中处于领先水平。技术与工程实际需要紧密结合是本项试验完成过程中的一个最显著特点。该项试验技术的实施使某所过氧化氢/煤油全尺寸燃烧室地面试验水平处于国内领先地位,其试验系统合理可靠,技术水平先进,功能配套齐全。

4 分解过氧化氢建立引射系统

前苏联的研究机构试验了用过氧化氢与气态氢组成两组元推进剂,用于发动机高空模拟引射的 $\bar{A}\bar{E}\bar{I}\bar{D}\bar{I}\bar{E}\bar{N}$ 系统。

这是一个用于模拟发动机在 30km 以上高空工作情况的系统。系统主要由两级引射火箭扩压器构成,该装置保证了大范围的工作性能。蒸汽引射系统可保证发动机试验时所要求的真空模拟状态,具有要求的膨胀率。发生器的工作介质为过氧化氢、气态氢和水。过氧化氢分解出氧,使不多的气态氢燃烧,燃烧产物为热蒸汽。给热蒸汽中加入水,可降低温度并补充一定数量的热蒸汽。

经过 80 次的试验表明,该系统的工作性能稳定,过氧化氢与氢的混合比范围较大,能很容易获得高压蒸汽。

作为高空模拟系统,显然有以下几个优点:

- (1) 简单,系统部件少;
- (2) 工作灵活;
- (3) 可靠;
- (4) 安全系数高;

(5) 准备程序时间短;

(6) 发展潜力高。

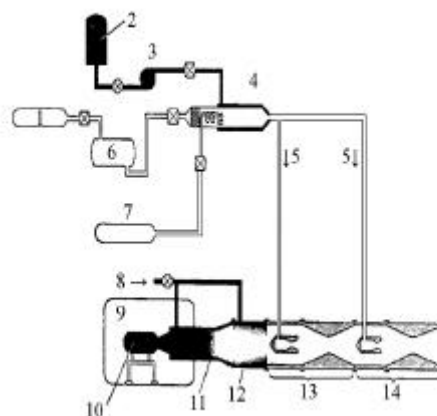


图 1 $\bar{A}\bar{E}\bar{I}\bar{D}\bar{I}\bar{E}\bar{N}$ 引射系统

Fig.1 $\bar{A}\bar{E}\bar{I}\bar{D}\bar{I}\bar{E}\bar{N}$ injecting system

- 1—氮气; 2—水储箱; 3—泵; 4—发生器; 5—蒸汽;
6—过氧化氢; 7—氢气; 8—低压供水; 9—蒸汽箱;
10—发动机; 11—扩压器; 12—冷却气体;
13—一级引射; 14—二级引射

5 结束语

我国在 50 年代末 60 年代初研制的 DF-1 和 DF-2 导弹发动机采用 78% 浓度的 H_2O_2 经燃气发生器分解的产物作为驱动涡轮的工质。在 70 年代初用过氧化氢分解产物作模拟工质研究截短塞式喷管的性能。

随着航天技术的发展以及环保和人体健康要求的日益提高,航天动力系统采用无毒、无污染推进剂已是今后发展的必然趋势。并要求推进剂可贮存和能自燃。过氧化氢无疑是首选之一。

我们已经进行了两次过氧化氢/煤油发动机的点火试验。根据成功经验,认为:

(1) 目前我们的过氧化氢/煤油试验达到了先进水平;

(2) 试验中氧路应注意材料的钝化处理,应使用相容的材料,避免机械杂质,保证试车安全;

(3) 做好活门同时性试验,解决试车的启动/关机时序问题。

(编辑: 马 杰)