

文章编号: 1006-9941(2007)04-0421-04

Al/H₂O 推进剂的研究进展

邹美帅, 杨荣杰, 郭晓燕, 曹传宝, 李建民

(北京理工大学材料科学与工程学院, 北京 100081)

摘要: 综述了 Al/H₂O 推进剂的能量水平, 燃烧性质, 点燃特点, 燃烧机理的研究进展, 以及纳米铝粒子和胶凝剂在 Al/H₂O 推进剂中的应用。指出了该体系研究的潜在价值。

关键词: 应用化学; Al/H₂O 推进剂; 点燃; 燃烧

中图分类号: TJ7

文献标识码: A

1 引言

金属/水反应燃料具有很高的能量密度, 受到国际普遍的重视^[1]。俄罗斯专家在研究了许多推进系统(包括柴油机、电动机、原子动力装置、高速柴油机及燃气轮机等)后, 认为采用金属(铝、镁或锂等)作燃料, 用外部水作氧化剂和燃烧生成物的冷却剂, 并利用高效燃气轮机或者喷气推进系统所组成的动力装置, 才是真正实现推进水下武器超高速的最佳途径^[2]。

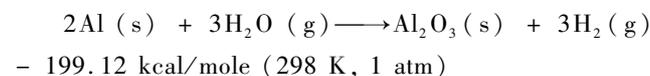
在金属/水反应燃料中, B/H₂O、Be/H₂O 和 Al/H₂O 的能量高于其它金属与水反应的能量。B/H₂O 和 Be/H₂O 虽比 Al/H₂O 能量高, 但从价格和毒性方面上看, Al/H₂O 更有优势。美国的研究认为, Al/H₂O 推进系统适用于水下喷射推进, 是超高速、长航程超空泡水下兵器的理想推进系统, 具有比固体火箭发动机更好的性能。其研究集中在铝粉与水反应的启动条件、燃烧器的传热和铝/水的反应速度等方面。自 20 世纪 40 年代起, 铝粉和海水反应用作鱼雷推进系统的概念就一直存在, 60 年代相关研究得到了继续^[3]。几年前, Al/H₂O 推进剂在实际推进系统中得到了应用^[4]。由于 Al/H₂O 燃烧产物的无毒性, 还可考虑作为绿色推进剂用于太空推进系统中^[5,6]。

但铝/水反应面临两个困难: 一是铝与水的反应产物 Al₂O₃ 可牢固的附着在铝表面上, 阻止反应持续进行; 另外, 启动 Al 与 H₂O 反应比较困难。

2 Al/H₂O 推进剂的理论性能

研究 Al/H₂O 推进剂的理论性能, 可为设计实际

推进系统提供有效的数据。铝和水的反应式为:



Foote 等^[7]在实验中发现铝的燃烧热为 3687 cal/g, 在水蒸汽中的燃烧温度为 2500 K, 用 NASA 化学平衡程序计算其绝热火焰温度为 2862 K。文献[8]给出了铝/水比率对于火焰温度和速度的影响(如图 1 所示)。Ivanov 等^[9]按照公式: $T_c = T_0 + [\eta Q - 0.5(1 - \eta)Q_{\text{vap}}]/C_p$ 计算出的燃烧温度为 1800 ~ 2200 K。其中, T_0 是混合物的起始温度, C_p 是定压热容, Q 是化学当量的铝/水的燃烧热, Q_{vap} 指水蒸发需要的热量, 0.5 代表在化学当量混合物中水的质量分数。 η 表示 Al 被 H₂O 氧化的程度。文献[3]用扫描光谱仪在波长 350 ~ 850 nm 范围内测试了 Al/H₂O 反应的热辐射强度, 图 2 为其分布范围的图像, 通过这些数据可进一步估算燃烧的温度。Ingenito 及 Bruno^[5]根据氧化物的汽化温度, 分析得出铝/水燃烧的最大燃烧温度。

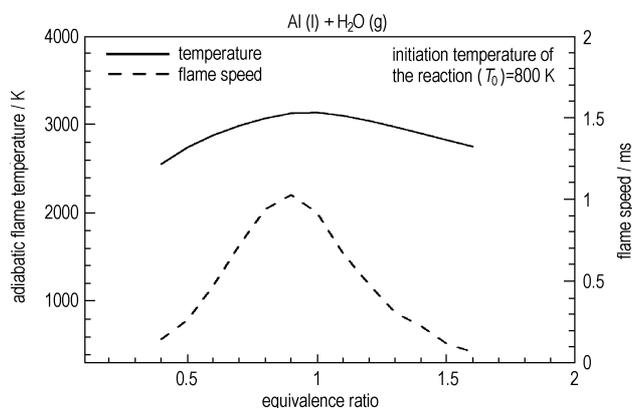


图 1 铝/水的比率对于铝/水混合物的火焰速度及绝热火焰温度的影响

Fig. 1 Adiabatic flame temperature and flame speed of Aluminum-water mixture as a function of equivalence ratio

收稿日期: 2006-11-29; 修回日期: 2007-02-02

作者简介: 邹美帅(1982-), 男, 在读博士, 主要从事富燃料推进剂的研究。e-mail: zouzou1211@bit.edu.cn

通讯联系人: 郭晓燕

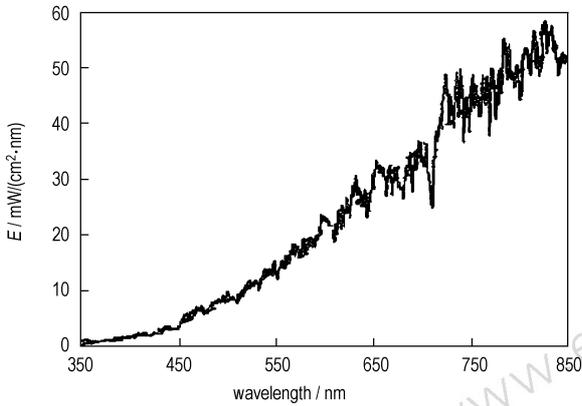


图2 Al/H₂O 反应的热辐射强度分布

Fig. 2 Typical emissive powder distribution of Aluminum-steam mixture

化学当量的 Al/H₂O 混合物要完全反应所需要的时间接近 10 μs^[8]。关于金属燃烧时间的理论计算,早期按照 D² 法则: $D^2 = D_0^2 - \beta t$, 其中, $\beta = \frac{4m}{\pi D \rho}$, D 为颗粒的直径, D₀ 为颗粒的初始直径, t 为燃烧时间, ρ 为颗粒的密度, m 为颗粒表面金属退移速率。然而随着实验条件的完善和理论的发展,人们发现不能完全套用 D² 法则。Brooks^[10] 等人及 Millter 和 Herr^[6] 都对铝/水的燃烧时间公式进行了修正,并给出了他们的经验公式:

$$t_b = \frac{aD^n}{X_{\text{eff}} p^{0.1} T_0^{0.2}}$$

式中, $X_{\text{eff}} = C_{\text{氧}} + 0.6C_{\text{水}} + 0.22C_{\text{二氧化碳}}$ 。当 $n = 1.5$ 时, $a = 0.0244$; 当 $n = 1.8$ 时, $a = 0.00735$ 。t_b 为燃烧时间, ms; D 为颗粒的直径, a 为由其他外部条件引起的修正系数, 其值由多次实验数据总结得出; C_i 为氧化环境中各氧化剂组分的摩尔分数, p 为环境压强, 101.325 kPa; T₀ 为初始温度, K。

Millter 和 Herr 的提出了一个和实验相关的公式:

$$t/d^2 = C\delta^n / [X_{\text{ox}}^{0.9} (1 + 0.25R_e^{1/2})]$$

其中, $n = 0$; $C = 0.15$ $p_{\text{ch}} = 101.325 \text{ kPa}$

$$C = 0.075 \quad p_{\text{ch}} = 6 \times 101.325 \text{ kPa}$$

式中, t 为燃烧时间, ms; d 为颗粒直径, μm; X_{ox} 为氧化剂的摩尔分数; R_e 是和液滴有关的雷诺数; p_{ch} 为燃烧室压强。

Al/H₂O 推进剂的能量优于大部分的单组份液体推进剂和硝化纤维素, 接近于复合固体推进剂。初步的计算^[11] 表明 Al/H₂O (50/50) 推进剂具有相当高的比冲。表 2 中列举了热力学的“Astra”程序^[12] 计算的某些比冲结果。图 3^[6] 给出了 Al/H₂O 最大的理论比冲接近 3000 N · s/kg。

表 1 p_{chamb} 为 7 MPa 时不同的喷嘴压力下 Al/H₂O (50/50) 混合物的比冲

Table 1 Specific impulse for 50/50 -Al/H₂O mixture with 7 MPa in chamb and different pressures at the nozzle exit (p_a)

p _a /atm	I _{sp} /s	I _{sp} (vacuum)/s
1	234	258
0.1	283	301
0.01	317.5	330
0.001	342.4	352

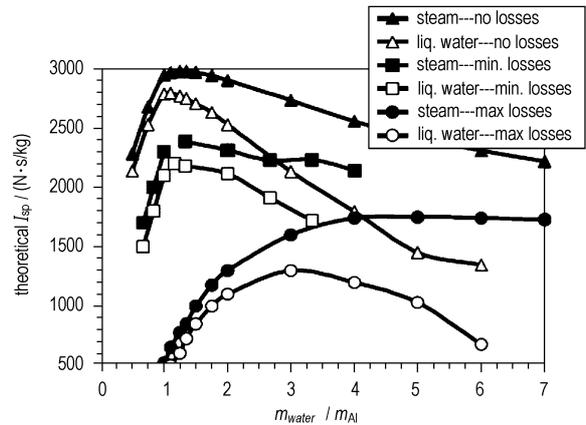


图3 m_{water} / m_{Al} 对理论比冲的影响

Fig. 3 Theoretical specific impulse dependence on relative water flow rate for aluminum fuel

3 Al/H₂O 推进剂的启动点燃与燃烧

目前为止, 许多实验^[13-15] 研究了铝在氧气条件下的燃烧, 实验中发现铝在氧气中很难点燃的一个重要的原因是铝表面有一层致密的氧化膜阻止铝与氧气的反应。铝/水反应中同样存在这样的问题。Glassman^[16] 认为要使铝粒子在氧气环境中被点燃, 铝粒子的温度必须增加到 Al₂O₃ 的熔点以上 (2327 ± 6K)。但是先前的研究^[7] 显示, 铝粒子在水蒸气中点燃温度可能低于 1600 ~ 1700K。并且分析认为在水蒸气中由于铝粒子表面生成了更少保护性的氢氧化物和水合氧化物层。

Ermakov^[17] 认为, 在氧化物外壳不完整时就会发生点火, 而不必达到它的熔点。Lokenbakh^[18] 认为氧化物外壳破裂的机理可能在不同的加热或环境的条件下发生, 导致 1000 ~ 1300 K 时发生点火或者结块。Boiko^[19] 观察了几种不同的金属在激波中点燃, 认为: 在氧化物外壳屈服于外界机械应力而破碎的情况下就会发生点火现象。Rozenband 和 Vaganova^[20] 也观察到, 由于快速的加热引起扩散和密度变化, 产生的机械应力导致氧化物外壳破碎而发生点火。有人认为氧化

铝层的破碎可以通过渗入其他金属来实现,这样可改变氧化铝在熔融铝中的可溶性。如 CrCl₃ 可与氧化物外壳发生反应,使点火温度降低到 900 K^[21]。

目前在 Al/H₂O 点燃研究方面取得一些进展。美国宾夕法尼亚大学应用实验室研制的一种涡流燃烧反应器通过水的涡流高速旋转磨掉了铝表面的氧化膜,使铝/水点燃^[22]。LEE^[1]详细研究了电脉冲点燃铝粉/水混合物的方法。他将导体沿着中心轴置于圆柱形的充填化学当量的 Al/H₂O 混合物的燃烧腔室中。他认为导体无论是什么材料,只要能够引爆并适用于电脉冲的应用即可,通常是金属片或者是丝的形状。当电脉冲通过铝燃料时,铝燃料即可通过欧姆加热的方式点燃。

在可燃性测试实验中,Zarko 等用温度为 650 K 的热金属板来点燃少量的 Al/H₂O 混合物。而常压下,点燃一定量的混合物时,他们利用了氙灯的热辐射成功进行了点燃。高压下,选用了电螺旋热丝来点燃。他们认为当混合物难于点燃时,可采用点火药引燃。

水由于充足性和安全性,作为氧化剂是有利的。但水的组分原子的键结合也是很强的,需要很高的能量才能破坏它们。如果某些氧化剂被金属氧化物取代,如铜的氧化物和铁的氧化物,那么需要点燃反应物的电能就可以降低^[1]。

鉴于点燃的困难性,郑邯勇^[23]认为可在点燃的起始阶段添加一定量的助燃剂。他在实验中发现不同的助燃剂,对反应启动时间的影响有所不同。添加助燃剂后,铝/水甚至可冷态启动。同时认为铝粉粒度对反应启动速度的影响不是很明显。从试验数据看,粒度大小适度有助于提高反应启动速度。小粒度的铝粉与空气的接触面积大,氧化速度快,氧化薄膜更加致密,可造成其与水反应速度反而不如适中的铝粉。较大粒度的铝粉与水接触的比表面积比较小,所以反应速度比较慢。

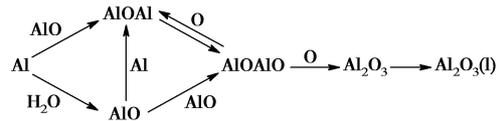
Ivanov^[9]得到,在 $p = 0.1 \sim 7$ MPa 下,混合物能够以 $u = 0.1 \sim 1.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率稳定燃烧,研究得出压力对于燃烧速率的影响是较弱的: $u = 0.183(p/p_0)^{0.4}$ 。文献[24]给出纳米铝粉与蒸馏水的混合物在恒容的石英试管中(氙气气氛, 0.1 ~ 17 MPa)可以稳定的燃烧,并满足燃速关系式 $u = 1.83(p/p_0)$ 。俄罗斯专家 Zarko 得出了高压下(40 ~ 80 atm)的燃烧速率: $u = 1.33p^{0.41}$ 。(以上 p 是指燃烧室的压力, p_0 是大气压)

4 Al/H₂O 的燃烧机理的探索

多数文献一致认为单独的铝粒子燃烧时,在铝液滴周围形成独立的球形火焰,它的燃烧率由液滴表面

热和氧化剂的分散所决定。而大量的铝粒子的火焰性质比单个铝粒子复杂,再加上测试条件的限制,所以很少有文献报道铝粒子束的燃烧。但是目前很多研究者从 Al/H₂O 的反应动力学特性来探讨它的燃烧机理。

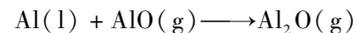
为确定 Al/H₂O 的主要反应路径和热释放机制,文献[25]用 SENKIN 程序测试了 Al/C/O/H 反应行为。Ying Huang 等^[7]实验发现,铝粉/水蒸汽反应路线如下:



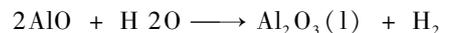
从这样的在反应路线中,可以发现 O 原子扮演很重要的角色。在 Al/H₂O 的反应中,水分解或者与铝反应生成 H 或者 OH,但是没有明显的 O 氧原子生成,因此形成 Al₂O₃ 相对较慢。那么 Al 的消耗和 Al₂O₃ 的形成就发生在不同的阶段。

文献[11]认为铝和高温水蒸汽的反应过程为:

表面反应: $\text{Al}(\text{l}) \longrightarrow \text{Al}(\text{g})$



气相反应: $\text{Al} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{AlO} + \text{H}_2$

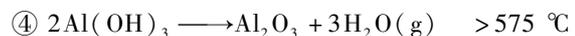
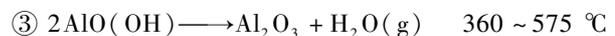
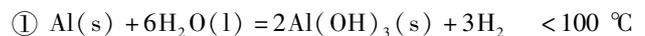


McClean 等将铝/水反应归纳为两大步^[26]:



他们认为在高温下反应 1 占主导地位,低温下反应 2 占主导地位。在第二步反应中,铝直接插入到水分子中形成 HAIOH,这个过程中铝并没有和 OH 发生反应。

俄罗斯科学院分院的 Zarko 等认为反应路线为:



总的反应方程式是: $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = [\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{OH})_3$ 。他们通过实验总结认为 Al/H₂O 燃烧的行为取决于铝粒子的种类,根据不同的种类可分为三个情况。第一种情况是燃烧过程中铝粒子表面形成团块,不能维持自我燃烧。第二种情况是移去热源后,燃烧能够继续,但是燃烧产物的分散性很差,导致燃烧后存在大量致密的残渣。第三种情况是移去热源后,燃烧继续进行,并且燃烧后只有部分的残渣。

金属铝/水反应机理虽还无相关研究成果报道。但可借鉴金属铝在氧气中燃烧的一些相关理论作初步

判断。金属铝的独特燃烧特性很大程度上是由金属铝粉本身及其氧化物的物理性质决定的^[27]。

5 Al/H₂O 中纳米 Al 的应用

先期的研究工作主要集中在微米甚至更大粒度的铝粒子上,很少研究纳米铝粒子的应用。纳米铝粒子比表面积高,相比于微米颗粒,点燃温度更低,燃烧快速,燃烧时间短。而且最终的氧化颗粒通常并不比原始的铝颗粒尺寸大。这些特性^[8]十分利于纳米铝的实际应用。文献[28]分析发现大直径的粒子在分散控制条件及高压下可能燃烧,而小直径的颗粒在动力学控制的条件及低压下就可能燃烧。可以看出纳米铝粒子的出现可能为 Al/H₂O 推进系统更好地运用提供了必要的条件。但纳米铝粒子应用在铝粉/水推进系统中存在以下几方面的问题:① 暴露于空气中时,在它表面会立刻形成一层氧化铝薄膜,厚度一般为 2-5 个纳米,这对于粒子的燃烧是不利的。② 没有被表面处理过的纳米铝粉很容易与水反应,因此在室温或适度的温度下,纳米铝粉/水混合物不能够储藏。③ 由于它易团聚,降低了推进系统的燃烧效率及燃烧的完全性等。为了解决上述的问题,俄罗斯正在集中生产具有不同包覆物的纳米铝粒子。如可以在纳米铝粒子表面获得碳化物层来代替铝的氧化物或者用部分的金属代替氧化物等。

文献[9]报道了将 Al/H₂O 制成凝胶推进剂,俄罗斯科学院目前也在开展这方面的工作。Al/H₂O 凝胶推进剂包括纳米铝粉、水以及少量的胶凝剂。在制备时,首先通过添加可溶性高分子聚合物(如聚丙烯酰胺)将蒸馏水转变成水凝胶,再与不同比率的纳米铝粉相混合。胶凝剂的添加能够阻止团块、聚集和储存期间铝固体相从燃料中分离^[29]。

郑邯勇^[23]研究发现通过添加其它与水反应的物质,可使得铝粉/水反应系统获得更佳的工作性能。如加入适量的 Mg 粉,可加快反应速度,增加铝/水反应系统的适用性及提高系统工作的稳定性,但加入 Mg 粉后系统的能量密度下降。

6 结论

Al/H₂O 燃料体系在先进水下推进系统和太空推进系统中具有重要的应用价值,具有区别常规液体和固体推进剂的优点。当今,该体系尚有许多基础问题需要研究解决,在降低 Al/H₂O 点燃能量,维持持续燃烧,纳米铝粉保护与分散等方面的突破,将会推进其应用进程。值得国内研究者关注。

参考文献:

- [1] Lee W M. Aluminum powder/water reaction ignited by electrical pulsed power[R]. AD 93-21272.
- [2] 李明权. 超空泡技术出世[N]. 解放军报, 2001-08.
- [3] Foote J P, Thompson B P, Lineberry J T. Combustion of aluminum with steam for underwater combustion[A]. Roy G, Advances in Chemical Propulsion [M]. London: CRC Press, 2001.
- [4] Ashley S, Warp drive underwater [J]. Scientific American, 2001.
- [5] Antonella Ingenito, Claudio Bruno. Using aluminum for space propulsion [J]. *Journal of Propulsion and Power*, 2004, 20 (6):1056-1063.
- [6] Timothy F. Miller, John D. Herr. Green Rocket Propulsion by Reaction of Al and Mg powders and water[R]. AIAA 04-4037, 2004.
- [7] Foote J P, Lineberry J T, Thompson B R. Investigation of Aluminum particle combustion for underwater propulsion applications[R]. AIAA 96-3086, 1996.
- [8] Ying Huang, Risha Grant A., Vigor Yang, et al. Analysis of nano-Aluminum particle dust cloud combustion in different oxidizer environments[R]. AIAA 05-0738, 2005.
- [9] Ivanov V G., Gavriyuk O V, Glazkov O V, et al. Specific features of the reaction between ultrafine Aluminum and water in a combustion regime [J]. *Combustion, Explosion & Shock Waves*, 2000, 36(2): 213-219.
- [10] Brooks K P, Beckstead M W. Dynamics of aluminum combustion[J]. *Journal of Propulsion and Powder*, 1995, 11(4):12-15.
- [11] Bruno C, Ingenito A, Cuoco F. Using powdered aluminum for space propulsion[A]. International Workshop on Rocket Propulsion [C]. Pozzuoli, 2002.
- [12] Sinyarev G B, Vatolin N A, Trusov B G, et al. Computers in thermodynamic calculations of metallurgical processes[R]. Moscow: Nauka, 1982. (In Russia)
- [13] Friedman R, Macek A. Ignition and combustion of aluminum particles in hot ambient gases[J]. *Combustion and Flame*, 1962(6): 9-19.
- [14] Keshavan R, Brzustowski T A. Ignition of aluminum particle streams [J]. *Combustion Science Technology*, 1972 (6): 203-209.
- [15] Buscher P, et al. Observations on aluminum particle burning in various oxidizers [A]. 33rd JANNAF Combustion Subcommittee Meeting [C], 1996.
- [16] Glassman I. Metal combustion processes [M]. New York: American Rocket Society Preprint, 1959, 938-959.
- [17] Ermakov V A, Razdobreev A A, Skorik A I, et al. Temperature of aluminum particles at the time of ignition and combustion[J]. *Combustion, Explosion and shock waves*, 1982, 18(2): 256-257.
- [18] Lokenbakh A K, Zaporina N A, Knipele A Z, et al. Effects of heating conditions on the agglomeration of aluminum powder in air[J]. *Combustion, Explosion and shock waves*, 1985, 21(1): 73-82.
- [19] Boiko V M, Lotov V V, Papyrin A N. Ignition of gas suspensions of metallic powders in reflected shock waves [J]. *Combustion, Explosion and shock waves*, 1989, 25(2): 67-74.
- [20] Rozenbad V I, Vaganova N I. A strength Model of heterogeneous ignition of metal particles [M]. *Combustion Flame*, 1992(88):113-118.

(下转 435 页)

- [13] Krier H, Burton R L, Pirman S R, et al. Shock initiation of crystalline boron in oxygen and fluorine compounds [R]. *AIAA J.*, 1996, 12(4): 672-679.
- [14] Macek A, Semple J M. Combustion of boron particles at atmospheric pressure [J]. *Combustion Sci. and Technol.*, 1969(1): 181-191.
- [15] Robert O Foelsche, Rodney L Burton, et al. Boron particle ignition and combustion at 30-150 atm [J]. *Combustion and Flame*, 1999, 117: 32-58.
- [16] Abdullah Ulas and Kenneth K KUO. Ignition and Combustion of Boron Particles in Fluorine-Containing Environments [J]. *Combustion and Flame*, 2001, 127: 1935-1957.
- [17] Abdullah Ulas and Kenneth K KUO. Ignition and Combustion of Boron Particles in Fluorine-Containing Environments. Pennsylvania: Pennsylvania University, 2000.
- [18] Zhou W. Numerical Study of Multi-Phase Combustion; Ignition and Combustion of an Isolated Boron Particle in Fluorinated Environments. Candidacy: Princeton University, 1998.
- [19] Yetter R A, Dryer F L, et al. Effect of fluorine on the gasification rate of liquid boron oxide droplets [J]. *Combustion and Flame*, 1998, 112: 387-403.
- [20] Brown R C, Kolb C K. Kinetic modeling and sensitivity analysis for B/H/O/C/F combustion systems [J]. *Combustion and Flame*, 1995, 101: 221-238.
- [21] Zhou W, Yetter R A, Dryer F L, et al. Multi-phase model for ignition and combustion of boron particles [J]. *Combustion and Flames*, 1999, 17: 227-243.
- [22] 胡建新, 夏智勋, 罗振兵, 等. 固体火箭冲压发动机补燃室内硼颗粒点火计算研究 [J]. *含能材料*, 2004, 12(6): 342-345.
- HU Jian-xin, XIA Zhi-xun, LUO Zhen-bing, et al. Calculation Study on Ignition of Boron Particle of Ducted Rocket Secondary Chamber [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(6): 342-345.

Review on Models of Boron Particles Ignition in Oxidative System

GAO Dong-lei, ZHANG Wei, JI Zhuang-zhou

(National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The characteristic of boron particle ignition in oxidative system was introduced. According to the analysis of Boron ignition mechanisms and corresponding chemical reactions, the disposals of two different models were explained from two different points, and emphasizes were placed on analysis of the generation and consumption of oxide on the surface of boron particles. Boron particle ignition mathematical models were established and compared finally.

Key words: boron particles; ignition; model; chemical kinetics

(上接 424 页)

- [21] Rozenbad VI, Afanaseval L F, Lebedva V A, et al. Activation of ignition of aluminum and its mixtures with oxides by chromium chloride [J]. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 1990, 26(5): 13-15.
- [22] Timothy F. Miller, Jeremy L. Walter, Daniel H. Kiely. A next-generation AUV energy system based on aluminum-seawater combustion [R], IEEE, 2002.
- [23] 郑邯勇. 铝/水推进系统的现状与发展前景 [J]. *舰船科学技术*, 2003, 25(5): 24-25.
- ZHENG Han-yong. Development of the aluminum-water power system [J]. *Ship Science and Technology*, 2003, 25(5): 24-25.
- [24] 江治, 李疏芬, 纳米铝粉在含能材料中的应用初探 [J]. *飞航导弹*, 2001, (9): 38-41.
- [25] Lutz A E, Kee R J, Miller J A. Sandia National Laboratories Report No. SAND87-8248, 1987.
- [26] McClean, R E, Kauffman, J W, Margrave, J L. Kinetics of the reaction $Al + H_2O$ over an extended temperature range [J]. *Journal of Physical Chemistry*, 1993 97(3): 9673-9676.
- [27] 郭 K K, 萨默菲尔德. 固体推进剂燃烧基础 [M]. 朱荣贵等译. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [28] Yetter R A, Dryer F L. Metal particle combustion and classification [C]. *Mico-gravity Combustion: Fire in Free Fall*, Academic Press, 2001: 419-478.
- [29] Green M J, Rapp D C, Roncace J. Flow visualization of a rocket injector spray using gelled propellant simulants [R]. AIAA 91-2198, 1991.

Advances in Aluminum/Water Propellant

ZOU Mei-shuai, YANG Rong-jie, GUO Xiao-yan, CAO Chuan-bao, LI Jian-min

(School of Materials Science and Engineer, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The energy level, ignition, combustion of Al/H_2O and reaction mechanisms of Al with H_2O were reviewed. The applications of nano-aluminum and gelling agent in Al/H_2O propellant were discussed.

Key words: applied chemistry; aluminum/water propellant; ignition; combustion