

文章编号: 1006-9941(2016)12-1145-06

某镁铝贫氧推进剂吸湿与点火失效分析

孙亚伦¹, 任慧¹, 焦清介¹, 黄海龙²

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081; 2. 北京动力机械研究所, 北京 100074)

摘要: 为分析某航天型号镁铝贫氧推进剂失效机理, 利用显微形貌分析、X射线衍射(XRD)、热分析和高速摄影等测试了贫氧推进剂的成分、热分解规律以及常压点火性能。结果表明, 吸湿后推进剂中的高氯酸铵(AP)发生结块, Mg被氧化后与水作用生成 $Mg(OH)_2$ 。未吸湿的推进剂在420℃前仅有AP的晶型转变及热分解失重, 而吸湿后推进剂热稳定性变差, 90℃下即开始失重, 420℃前有四个分解步骤: 水分挥发、 $Mg(ClO_4)_2$ 热分解及AP与 $Mg(OH)_2$ 分解。采用电点火头在常压下点燃后, 未吸湿推进剂可以稳定燃烧, 而吸湿后的推进剂无法被引燃。分析认为, 导致推进剂点火失效的原因是AP结块和活性镁含量降低, 因此镁铝贫氧推进剂在潮湿环境下的贮存应给予重点关注和定期抽样监测。

关键词: 贫氧推进剂; 吸湿; 热性能; 点火失效**中图分类号:** TJ55; V512⁺.3**文献标志码:** A**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.12.002

1 引言

贫氧推进剂一般由氧化剂、粘合剂和金属粉组成, 主要类型有碳氢推进剂、含镁推进剂、含铝推进剂、镁铝推进剂、含硼推进剂等^[1]。铝粉具有较高的热值, 但点火能力相对较弱, 加入镁粉可以改善其点火和燃烧效率^[2]。然而, 镁、铝等金属粉在空气中容易吸潮或者氧化变质, 生成 $Mg(OH)_2$ 等腐蚀产物, 所以镁铝贫氧推进剂也存在潜在安全隐患。

同时, 镁铝推进剂的氧化剂高氯酸铵(AP)在贮存过程中如果遇到潮湿环境可能发生结块或潮解^[3]。宋娟^[4]研究认为AP的结块性来源于其较强的吸湿性, 吸水后溶解、结晶、再吸水、再结晶, 在颗粒之间的接触点上形成晶桥, 从而颗粒连接在一起形成大的团块。邓国栋^[5]等研究了超细高氯酸铵的防聚结技术, 认为AP吸水后颗粒表面形成一层饱和溶液膜, 由于表面张力的作用, 不同颗粒的表面溶液相互连接; 当空气中温、湿度降低时, 溶液中的AP就会结晶, 并将原来的颗粒连接起来, 小颗粒变成大颗粒, 大颗粒之间再形成盐桥, 导致AP粉体结块。

早在1972年, Charles等^[6]已对贫氧推进剂的燃烧机理进行了研究, 1998年, 张炜等^[7-8]采用正交实验研究了镁铝贫氧推进剂燃烧性能, 发现AP含量和镁/铝比对推进剂的低压燃烧性能影响最为显著, 提高镁/铝比和采用超细组分可以拓宽低压可燃极限。

已有研究表明, 镁铝贫氧推进剂吸湿后会引发其理化性质的变化, 同时, 推进剂组分的变化会对推进剂的点火性能产生显著影响, 现有研究鲜见对推进剂吸湿后的成分变化导致点火失效的分析。为此, 本研究针对某航天型号用镁铝贫氧推进剂吸湿前后的显微形貌、成分变化、热分解以及常压点火性能进行了对比, 分析了吸湿造成的推进剂结构和性能的变化与损伤失效的关系。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

吸湿和未吸湿的镁铝贫氧推进剂样品均由北京动力机械研究所提供。其主要成分为AP: 30%~32%, Al: 18%~20%, Mg: 25%~27%, HTPB: 15%~17%。

推进剂药柱在自然条件下贮存5年, 未采取特殊干燥措施, 药柱表层约2mm厚的推进剂发生了明显的吸湿行为, 凝结了一层白色物质, 而内层经肉眼观察未发现明显变化。分别取外层和内层的推进剂样品进行测试, 内层记为未吸湿样品, 外层记为吸湿后样品。

实验设备: 光学显微镜(OLYMPUS STM6 偏光显

收稿日期: 2016-05-06; 修回日期: 2016-07-26

作者简介: 孙亚伦(1993-), 女, 在读研究生, 主要从事含能材料测试与分析。e-mail: 18810409278@163.com

通信联系人: 任慧(1973-), 女, 副教授, 主要从事含能药剂与材料化学领域研究。e-mail: renhui@bit.edu.cn

显微镜及摄像系统,日本奥林巴斯株式会社),X射线粉末衍射仪(D8 advance,德国BRUKER-AXS有限公司),同步热分析仪(STA 449F3 Jupiter型,德国耐驰仪器制造有限公司),高速摄影系统(FASTCAM-APX RS model 250KC,日本photron公司)。

2.2 实验过程

显微形貌观测:将样品制成长、宽、高为20 mm×20 mm×5 mm的药条,表面尽量平整。把制好的样品置于载物台上,所用目镜放大倍数为10倍,选择放大倍数为5倍的物镜,调节调焦旋钮,使视野中的样品清晰,拍摄照片并保存。

X射线衍射:样品制成粉末状,均匀铺满样品槽并用干净的玻璃片压平,放入衍射仪。利用Cu靶 K_{α} 射线作为衍射源($\lambda = 1.54180 \text{ \AA}$),不加单色器,采用万特探测器,光管条件为40 kV/40 mA,扫描范围 $10^{\circ} \sim 50^{\circ}$,步长 $0.02^{\circ}/0.1 \text{ s}$ 。

热分解性能:样品制成薄且厚度均匀的薄片,质量约1.5 mg,放入热分析仪的样品坩埚。测试在常压下进行,气氛采用氩气,流量为吹扫气 $50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,保护气 $20 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,升温速率为 $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,测试温度区间:室温~500 $^{\circ}\text{C}$ 。

点火与燃烧性能:采用电点火头对推进剂药条进行点火,利用高速摄影仪观察其燃烧过程。先将推进剂制成 $15 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的药条,放入 $\Phi 6 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ 的有机玻璃管,将玻璃管固定于铁架台上,靠近推进剂药条的一端插入电点火头,电点火头与推进剂药条表面接触。高速摄影仪的参数设置如下:拍摄频率(帧频)为500 fps,曝光时间为2 ms。

3 结果与讨论

3.1 显微形貌

采用光学显微镜观察吸湿前后的镁铝固体推进剂样品形貌,结果如图1所示。

由图1可见,未吸湿的推进剂(图1a)表面呈现灰色,且未见大颗粒结晶,而吸湿后的推进剂(图1b)表面则聚结了一层灰白色物质,出现了大颗粒结晶和孔洞,结晶和孔洞的粒度可达几百微米,这说明推进剂吸湿后颜色和结构发生了变化。

该推进剂的金属燃料为铝和镁,二者化学性质都很活泼,在室温状态下会发生缓慢氧化,关于氧化层厚度的形成机理以及定量表征,本课题组前期研究^[9-11]表明,当氧化膜生长到一定厚度时会停止继续生长,金属粉表面会形成一薄层,阻止氧气的进一步渗入,对未

氧化的金属粉起到很好的保护作用。同时,镁比铝更活泼,而且氧化铝结构致密,因此镁的氧化程度更大,表面形成的氧化镁层稍厚些。非加热状态下,氧化铝和氧化镁均很难发生潮解^[12],但是在炎热潮湿的环境中存放一段时间之后,氧化镁会吸收空气中的水分生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,潮解的发生打破了原有的氧化膜生长平衡,从而促使未氧化的镁进一步被氧化,如此相互作用,最终析出大量白色物质。潮湿环境下推进剂中的氧化剂AP会吸湿潮解并发生迁移,导致出现了图1所示的孔洞。

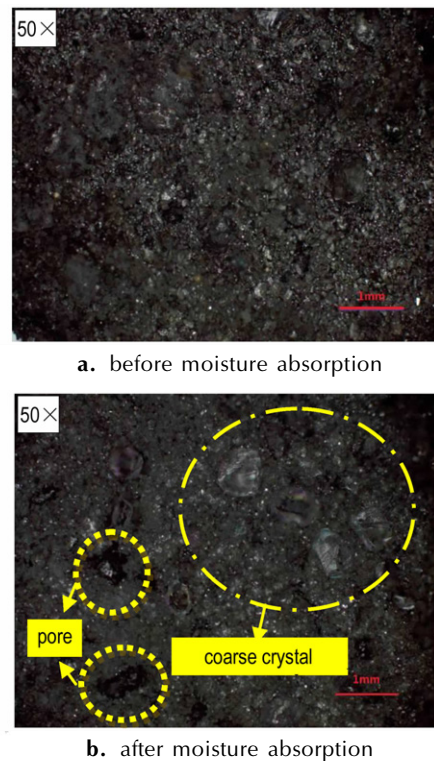


图1 推进剂的微结构照片

Fig. 1 Microstructure pictures of propellants

3.2 成分变化

为进一步探究吸湿前后推进剂的成分变化,对吸湿前后推进剂样品和3.1中所观察到的大颗粒晶体分别进行了XRD测试,结果如图2所示,图2a为吸湿后的推进剂样品,图2b为未吸湿的推进剂样品,图2c为收集到的显微照片中的大颗粒晶体。

由图2可见,吸湿后的推进剂所形成的大颗粒晶体(曲线c)的主要成分为AP,其中混杂了微量Al和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。

对照标准图谱库可知,未吸湿的推进剂中主要无机物有AP、Al和Mg,其中AP为斜方晶系,Al为立方晶系,Mg为六方晶系;而吸湿后的推进剂中主要无机

物为 AP、Al 和 $Mg(OH)_2$, AP 和 Al 所属晶系未发生变化, $Mg(OH)_2$ 为六方晶系。吸湿前后 AP 的 XRD 图谱显示其各峰峰位未发生移动, 但峰强有所变化, 这是因为 AP 所属的晶系没有发生变化, 均为斜方晶系,

但吸湿导致了 AP 晶体发生潮解和重结晶, 引起了不同晶面衍射强度的变化。XRD 结果显示吸湿后样品的 Mg 峰消失, 这说明吸湿后推进剂中镁所剩无几, 几乎完全转化成了 $Mg(OH)_2$ 。

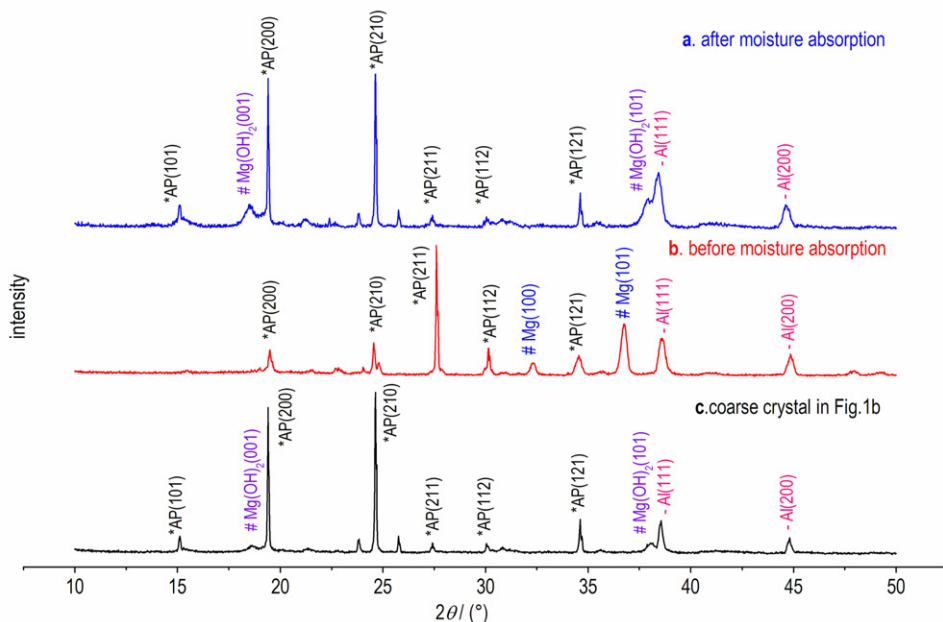


图 2 推进剂的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of propellants

3.3 热性能分析

采用 TG 和 DSC 方法评估了吸湿前后推进剂的热分解行为, 结果如图 3 所示。

有研究表明^[13], 大粒径 AP 的分解过程分为低温段和高温段两步分解, 而小粒径 AP 的低温段分解不明显。观察图 3a 的 TG 曲线发现, AP 的分解一步完成, 说明该推进剂样品中的 AP 粒度较小。结合 DSC 曲线分析发现, 244 °C 时 AP 受热发生了晶型转变(斜方晶系转为立方晶系), 约 250 °C 时开始失重, 300 °C 开始样品质量急剧下降, 伴随出现一个强烈的放热峰, 峰值为 348 °C, 根据文献判断^[13-15], 此峰为 AP 的分解峰, 分解过程共失重 28.9%。

由图 3b 发现, 吸湿后推进剂在 425 °C 前出现了四步失重, 第一步失重发生在 90 ~ 140 °C, 失重 3% 左右, 这是由于所吸收水分受热挥发所致。第二步失重发生在 225 ~ 275 °C, 失重 3.8%。第三、四步失重发生在 300 ~ 330 °C 和 335 ~ 420 °C, 共失重 23.3%, 是剩余 AP 分解放热和 $Mg(OH)_2$ 分解吸热共同作用的结果。通过 TG 曲线可以发现, 吸湿后 AP 出现了 300 ~ 330 °C 的低温分解段, 可进一步说明吸湿后 AP

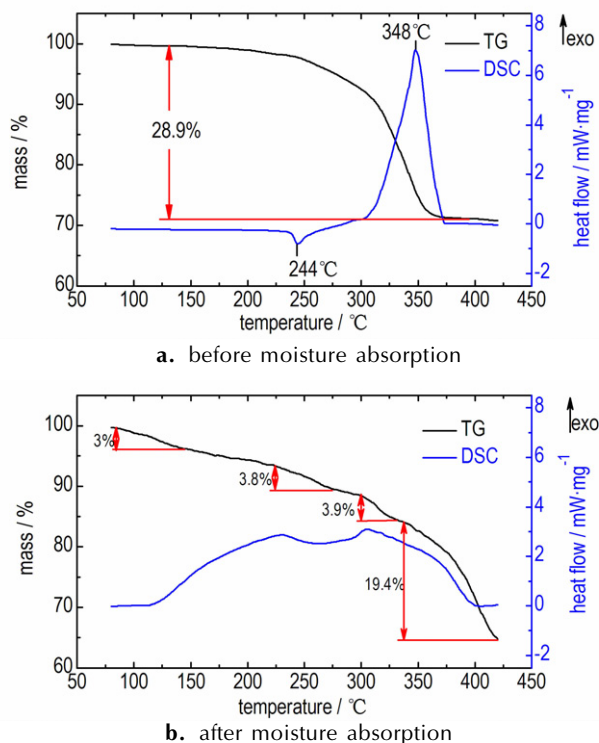


图 3 推进剂的 TG-DSC 曲线

Fig.3 TG-DSC curves of propellants

粒径增加,低温分解段起始点在 300 °C 左右,高温分解段起始温度在 335 °C 左右。

众所周知,高氯酸铵在潮湿环境中易发生酸式电离,从而有微量的氨气和氢根释出,因此在 AP 表面吸附有气态的 NH_3 和 HClO_4 [13],由此推测,该步失重是在一定温度条件下 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与 HClO_4 反应产物 $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ 发生热分解所致, $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ 的热分解温度一般在 250 °C 左右,与第二步失重吻合。

通过图 3 发现,未吸湿的推进剂在受热时主要是 AP 的热分解,而吸湿后的推进剂组分变得更加复杂,升温过程中的后续反应也更为复杂,吸湿产物热稳定性较差,受热时与 AP 共同分解,最后的吸放热决定于这些反应共同作用的综合结果,就导致了最后 DSC 曲线上未出现明显的吸热和放热峰。

3.4 常压点火性能测试

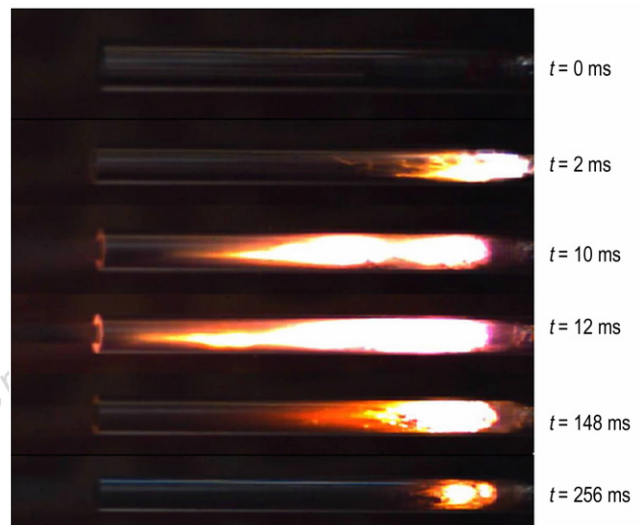
推进剂点火性能测试方法主要有靶线法、热电偶法、超声波法、发动机法和高速摄影法等 [16]。其中高速摄影是记录和研究高速运动物体及其瞬变现象的有效方法之一,国内外很多学者在研究含金属粉推进剂点火性能的试验中运用了高速摄影技术 [17-19]。

为清晰对比推进剂吸湿前后点火和燃烧效果,采用电点火头引燃推进剂药条,并使用高速摄影仪记录了推进剂药条的点火和燃烧过程。图 4 为吸湿前后推进剂点火过程的高速摄影图像。

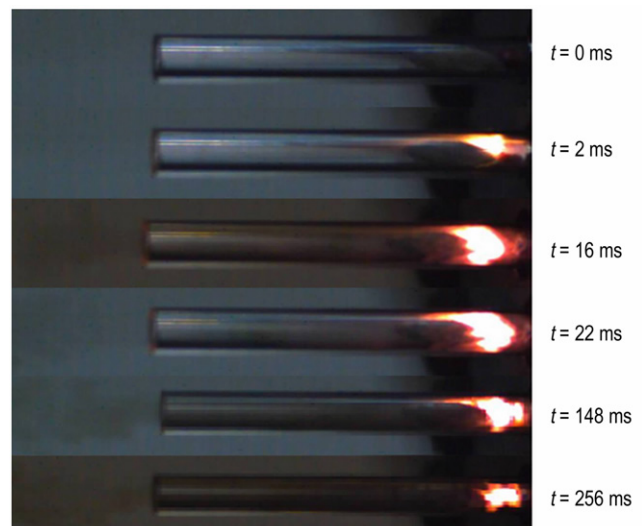
由图 4 可见,未吸湿的推进剂(图 4a) 2 ms 时电点火头开始喷出火焰,10 ms 时推进剂药条被点燃,说明未吸湿推进剂药条接触火焰 8 ms 后即可发生燃烧,从图 4a 中可以清晰看出推进剂被引燃的状态,火焰燃烧增强,12 ms 时推进剂开始剧烈燃烧,并产生明亮的火焰。整个有机玻璃管中遍布火焰,稳定燃烧持续到 148 ms 时推进剂火焰强度开始变弱,256 ms 时火焰基本熄灭。

吸湿后的推进剂(图 4b)同样在 2 ms 时电点火头点火,16 ms 时电点火头达到稳定燃烧,22 ms 时火焰进入推进剂药条与有机玻璃管的缝隙,此时推进剂药条的底部和侧面都与火焰发生了直接接触,点火头的火焰已覆盖整个推进剂药条的底部,但仍未被点燃,点火头的燃烧持续到 148 ms 时火焰强度减弱,256 ms 时火焰基本熄灭。

实验结束后取出未被点燃的吸湿后的推进剂药条,发现只有与火焰接触的表面有烧蚀痕迹,其他面完好,同时药条长度、宽度等基本未发生变化,说明其在常压下已不能正常点火。



a. before moisture absorption



b. after moisture absorption

图 4 用电点火头引燃推进剂的点火和燃烧过程的高速摄影图像

Fig. 4 High-speed photographic images of the ignition and combustion process of propellant ignited by electronic igniter

4 结 论

对某航天型号推进剂吸湿前后样品进行显微形貌、成分构成、热性能分析和常压点火性能测试,得出以下结论:

(1) 推进剂吸湿过程中发生的变化主要是 AP 的吸湿结块和 Mg 吸湿后生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。XRD 结果显示,未吸湿的推进剂中主要成分为 AP、Al、Mg,而吸湿后的推进剂主要成分为 AP、Al 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。吸湿后推进剂样品的 XRD 谱图中 Mg 的峰已经消失。

(2) 未吸湿的推进剂在 420 °C 以下仅有 AP 的分解失重。而吸湿后的推进剂中的 $Mg(OH)_2$ 与 AP 表面吸附的 $HClO_4$ 作用生成 $Mg(ClO_4)_2$ 并于 225 °C 发生分解, 剩余的 AP 和 $Mg(OH)_2$ 在 370 °C 时分解。热分析实验充分证实吸湿后推进剂发生了严重变质, 安定性和热稳定性均下降。

(3) 未吸湿的推进剂在常压下可以被电点火头正常点燃, 而吸湿后则发生了点火故障。这是由于吸湿后推进剂中 AP 发生结块, 粒度大幅增加以及活性金属镁含量降低导致的镁/铝比降低所致, 吸湿是造成该类推进剂常压点火失效的根本原因。因此在炎热潮湿气候下要关注镁铝贫氧推进剂的贮存状况, 定期进行检测。

参考文献:

- [1] 张炜, 朱慧, 方丁酉. 固体贫氧推进剂研究[J]. 火炸药学报, 2002(1): 25-27.
ZHANG Wei, ZHU Hui, FANG Ding-you. Research in solid fuel-rich propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002(1): 25-27.
- [2] 胥会祥, 蔚红建, 樊学忠, 等. 富燃料推进剂的研制现状及展望[J]. 飞航导弹, 2005(1): 48-53.
XU Hui-xiang, WEI Hong-jian, FAN Xue-zhong, et al. The current development and future trends of fuel-rich propellant[J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2005(1): 48-53.
- [3] 王伟. 固体推进剂用氧化剂防吸湿、防结块技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
WANG Wei. Research on anti-moisture absorption and anti-aggregation technology of oxidant in solid propellant[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2008.
- [4] 宋娟. 超细球形高氯酸铵的制备及其性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
SONG Juan. Preparation and performances study of superfine spherical ammonium perchlorate[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2014.
- [5] 邓国栋, 刘宏英. 超细高氯酸铵的防聚结技术[J]. 火炸药学报, 2009, 32(1): 9-12.
DENG Guo-dong, LIU Hong-ying. Anti-aggregation technology of the superfine powder of AP[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(1): 9-12.
- [6] Charles A. Saderholm, Richard A. Biddle, Leonard H. Caveny, et al. Combustion mechanisms of fuel rich propellants in flow fields[M]. 8th Joint Propulsion Specialist Conference; American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1972.
- [7] 张炜, 朱慧, 方丁酉, 等. 镁铝中能贫氧推进剂燃烧性能初探[J]. 火炸药学报, 1998(3): 4-7.
ZHANG Wei, ZHU Hui, FANG Ding-you et al. Study on combustion characteristics of magnesium/aluminum fuel-rich propellants[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1998(3): 4-7.
- [8] 张炜, 朱慧, 薛金根, 等. 铝镁贫氧推进剂低压可燃极限研究[J]. 推进技术, 1999, 20(2): 95-98.
ZHANG Wei, ZHU Hui, XUE Jin-gen, et al. Flammability limits of aluminum-magnesium fuel-rich propellant[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1999, 20(2): 95-98.
- [9] 曾亮. 壳核结构铝粉对含铝炸药反应进程的影响研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2011.
ZENG Liang. Core-shell structure aluminum powder impact on the reaction process of aluminized explosive[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2011.
- [10] 曾亮, 焦清介, 任慧, 等. 纳米铝粉粒径对活性量及氧化层厚度的影响[J]. 火炸药学报, 2011, 34(4): 26-29.
ZENG Liang, JIAO Qing-jie, REN Hui, et al. Effect of particle size of nano-aluminum powder on oxide film thickness and active aluminum content[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2011, 34(4): 26-29.
- [11] 曾亮, 焦清介, 任慧, 等. 微米铝粉活性及氧化膜厚度研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(2): 206-211.
ZENG Liang, JIAO Qing-jie, REN Hui, et al. Studies on oxide film thickness and activity of micron aluminum powder[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2012, 32(2): 206-211.
- [12] 任慧. 含能材料无机化学基础[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
REN Hui. Introduction to inorganic chemistry of energetic materials[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2015.
- [13] 刘子如, 阴翠梅, 孔扬辉, 等. 高氯酸铵的热分解[J]. 含能材料, 2000, 8(2): 75-79.
LIU Zi-ru, YIN Cui-mei, KONG Yang-hui, et al. The thermal decomposition of ammonium perchlorate[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000, 8(2): 75-79.
- [14] 李珊. 球形化高氯酸铵的制备与表征及其热分解性能研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
LI Shan. The research on preparation and characterization of spherical ammonium perchlorate and its thermal decomposition properties[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [15] Zhu Yan-li, Huang Hao, Ren Hui, et al. Kinetics of Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate by TG/DSC-MS-FTIR[J]. *Journal of Energetic Materials*, 2014, 32(1): 16-11.
- [16] 张炜, 朱慧, 方丁酉, 等. 低压下贫氧推进剂燃烧性能测试方法研究[J]. 含能材料, 1999, 7(3): 118-121.
ZHANG Wei, ZHU Hui, FANG Ding-you, et al. A study on measurement of fuel-rich propellant combustion property at low pressure[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 1999, 7(3): 118-121.
- [17] 郑磊, 潘功配, 陈昕, 等. 镁粉粒度对 Mg/PTFE 贫氧推进剂燃烧性能的影响[J]. 含能材料, 2010, 18(2): 180-183.
ZHENG Lei, PAN Gong-pei, CHEN Xin, et al. Effect of magnesium powder particle size on combustion properties of Mg/PTFE fuel-rich propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(2): 180-183.
- [18] 朱国强, 薛谈顺, 周省长, 等. 铝镁贫氧推进剂激光点火特性[J]. 弹道学报, 2013, 25(1): 85-88.
ZHU Guo-qiang, XUE Tan-shun, ZHOU Chang-sheng, et al. Laser ignition characteristics of aluminum-magnesium fuel-rich propellant[J]. *Journal of Ballistics*, 2013, 25(1): 85-88.
- [19] 江治, 李疏芬, 李凯, 等. 含纳米金属粉的推进剂点火实验及燃烧性能研究[J]. 固体火箭技术, 2004, 27(2): 117-120.
JIANG Zhi, LI Shu-fen, LI Kai, et al. Research on the ignition and combustion properties of composite propellant containing nano metal powders[J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2004, 27(2): 117-120.

Analysis on Moisture Absorption and Ignition Failure of Fuel-rich Propellant Containing Magnesium-Aluminum

SUN Ya-lun¹, REN Hui¹, JIAO Qing-jie¹, HUANG Hai-long²

(1. State Key Laboratory of Explosion of Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Beijing Power Machinery Institute, Beijing 100074, China)

Abstract: To analyze the failure mechanism of an aerospace type of magnesium-aluminum fuel-rich propellant, the component, thermal decomposition rule and ignition performance at atmospheric pressure of the fuel-rich propellant were tested by micro morphology analysis, X-ray diffraction (XRD), thermal analysis and high-speed photography and other detection means. The results show that ammonium perchlorate (AP) in the propellant after moisture absorption is agglomerated and $Mg(OH)_2$ is formed by the reaction of product after Mg oxidizing with water after moisture absorption. Before moisture absorption, only crystal transition and thermal decomposition with mass loss of AP happen before 420 °C. Thermostability decreases after moisture absorption, and mass loss begins at 90 °C. There are four decomposition steps before 420 °C: evaporation of water, thermal decomposition of $Mg(ClO_4)_2$ and decomposition AP and $Mg(OH)_2$ propellant before moisture absorption is able to burn stably after ignition by electric igniter under atmospheric pressure, while propellant after moisture absorption cannot be ignited. Analyses believe that the cause of the failure of the propellant ignition is the AP agglomeration and reducing of active magnesium content, therefore, the priority attention and regular sampling monitoring for magnesium-aluminum fuel-rich propellant stored in humid environment should be applied.

Key words: fuel-rich propellant; moisture absorption; thermal property; ignition failure

CLC number: TJ55; V512⁺.3

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.12.002

读者·作者·编者

向作者致谢

近年,《含能材料》得到了广大作者的大力支持,为表达我们深深的谢意,特向 2015~2016 两年来发表两篇以上论文的作者(第一作者)赠送 2017 年全年《含能材料》。本刊期望在新的一年里能继续得到广大作者更多的关心! 欢迎赐稿!

Svatopluk Zeman	蔡贾林	陈明生	成 健	成丽蓉	代晓淦	房 旷	费 腾	冯 彬	
冯璐璐	付 琼	何乃珍	黄晓川	冀 威	贾 虎	贾思媛	金兴辉	兰贯超	李 兵
李祥志	李雪交	李亚南	李彦峰	李志鹏	林聪妹	林谋金	刘 虎	刘慧慧	刘 杰
刘亚静	刘英哲	卢先明	马丛明	唐 维	陶 俊	王 凯	王鹏飞	王 伟	王锡杰
王小军	王彦群	肖 啸	徐抗震	许 诚	闫 涛	杨燕京	尹俊婷	虞振飞	翟连杰
张 超	张光全	张红梨	张领科	张 敏	张至斌	郑保辉			

《含能材料》编辑部

二〇一六年十二月