

文章编号: 1006-9941(2014)02-0165-05

硝酸酯液体推进剂长时储存性能

贾林, 韩芳, 李燕, 张林军, 张冬梅, 杜姣姣, 王琼, 任春燕

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 通过热加速老化、自然存储、湿热环境金属相容性(腐蚀性)试验, 研究了一种硝酸酯液体推进剂(OTTO-II)的长储性能。结果表明: 按温度系数法, OTTO-II 常温(30 ℃)下的预测安全贮存寿命不少于 11 a; 自然环境下贮存 2.4 a 各组分无明显变化; 在 60 ℃、85% RH 环境下储存 30 d 产品中的 H₂O 含量达到饱和, 但硝酸酯和安定剂含量未变。在(60 ℃、85% RH、30 d)温湿条件下, 6 种不同表面加工工艺的镁金属试片均不被 OTTO-II 腐蚀; 仅个别镁金属试片可能因表面加工工艺不当, 对丙二醇二硝酸酯(PGDN)的分解产生一定的促进作用。

关键词: 物理化学; 液体推进剂; 加速老化试验; 安全长储寿命; 相容性

中图分类号: TJ55; O64

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.02.008

1 引言

鱼雷作为“水中导弹”常用于攻击敌方潜艇、水面舰船及其它水中目标, 封锁港口和狭窄水道, 还作为反潜导弹的战斗部和自动跟踪水雷的主体。

硝酸酯液体推进剂具有高能量高密度的优点, 常用作热动力鱼雷的燃料。目前 OTTO-II 作为单组元推进剂装备美国的 MK46、MK48(美国所有的潜艇均配备了这种鱼雷)及英国“矛鱼”等轻型鱼雷; 并与高氯酸羟胺及海水组成三组元推进剂装备世界上最先进的重型热动力鱼雷——英国“旗鱼”和美国 MK-48 ADCAP^[1]。

水下战场远比空中复杂, 研制高性能新型鱼雷的费用远大于研制新型导弹, 因此各国非常注重利用、改进现役鱼雷以节约研制费用, 如美国国防部决定在 2020 年前鱼雷的发展重点仍是改进 MK48 型现役鱼雷的技术, 继续使用 OTTO-II^[2-3]。可见, OTTO-II 长期贮存或灌装鱼雷, 能否经受住环境的考验, 不发生物理和化学性能的显著变化, 不出现意外的燃烧、爆炸、泄漏事故, 十分重要。

OTTO-II 公开配方为 76.0% 丙二醇二硝酸酯

(PGDN)、22.5% 癸二酸二丁酯(DBS)和 1.5% 2-硝基二苯胺(2-NDPA)^[4]。研究使用过程中发现, 原料来源不同的 OTTO-II, 在发动机试验中表现出的烧蚀性不同, 我们认为这是因为 OTTO-II 中的微量物质不同所致, 虽可通过控制原料来源或人为后期添加避免, 但 OTTO-II 的组分检测法^[4]却不易检测出其微量组分。微量组分的不同, 使得 OTTO-II 的热性能、相容性和长储性能可能会不同, 为此, 有关 OTTO-II 性能的研究仍在继续, 如燃烧稳定性和燃烧产物^[5]、热动力系统启动的可靠性^[6]、组分定量^[7-8]等。

此前, 已有研究预估 OTTO-II 在 50 ℃时的安全储存期为 37230 天(102 年)^[9], 但未见详细试验资料。由于硝酸酯液体推进剂与硝酸酯固体推进剂一样, 不安定性的主要因素也是 O—NO₂ 的分解, 即使正常储存条件下, 分解也在缓慢进行。而且, 至今还未见适合于评价硝酸酯液体推进剂长储性能的试验方法, 因此, 本研究借鉴固体硝酸酯火药的方法^[10-12], 通过热加速老化试验、自然存储试验等, 研究了 OTTO-II 的长储性能。此外, 由于环境热及湿气能加快硝酸酯分解速度, 与之接触的金属相容性若差, 也会加速硝酸酯分解, 硝酸酯液体推进剂如腐蚀金属, 还会造成泄漏。OTTO-II 是一种无腐蚀性的液体, 与普通金属材料相容^[9], 但本课题组采用某批 OTTO-II 在做发动机燃烧试验时, 燃烧开始时出现了不明原因故障, 为此, 本研究选择包装用金属中最活泼的镁, 进一步开展了湿热环境下 OTTO-II 与金属相容性(腐蚀性)的试验。

收稿日期: 2013-09-11; 修回日期: 2013-12-09

基金项目: 国防计量项目(J092010B001)

作者简介: 贾林(1970-), 女, 高级工程师, 主要从事火炸药分析检测研究。e-mail: 1169855351@qq.com

通信联系人: 张林军(1976-), 男, 高级工程师, 主要从事危险品环境适应性及寿命评估技术研究。e-mail: zhanglj204@163.com

2 实验

2.1 样品、参照品及试片

OTTO-II 样品,按公开配方自制^[4],其中3组分 PGDN、2-NDPA、DBS 经精制。UV-HPLC 法检测 PGDN、2-NDPA 纯度分别 99.83%、99.85%, FID-GC 法检测 DBS 纯度为 99.71%。样品经检测不烧蚀发动机。

OTTO-II 成分参照品,按公开配方^[4]配制成,5A 分子筛除水,卡尔·费休法检测水分为 0.02%。

镁试片,6 组,腐蚀性试验使用,尺寸约为 $\Phi 20 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$,1#~4# 采用其它金属以喷涂、热处理方式对镁片表面进行防腐处理,5#、6# 采用复配氧化剂对镁片表面进行防腐处理。

2.2 仪器和试剂

南理工机电总厂 AHX-863 型安全烘箱。美国安捷伦公司 1120 Compact LC 高效液相色谱仪,UV 检测器 210 nm,配自动进样器,Agilent HC-C18 Analytical 4.6 \times 150 mm 5-Micon 色谱柱。瑞士万通公司 787 型水份仪。乙腈为色谱纯,水为二次水,其余试剂为分析纯。

2.3 热加速老化试验

按方法 GJB770B-2005,506.1“预估安全贮存寿命热加速老化法”^[13]进行,加速老化温度为 75,85,95 $^{\circ}\text{C}$,老化一定时间后定期检测 2-NDPA 含量。

2.4 自然存储试验

将 3 批检测合格的 OTTO-II 样品(A-B-C)分装在不锈钢储罐中,拧紧后在海边仓库中(20 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、60%~80% RH)分别存储至 877 d、800 d、735 d 后取出。采用 OTTO-II 成分参照品校准 HPLC 信号,外标法检测 PGDN 和 2-NDPA 含量,卡尔·费休法检测水分含量。

2.5 湿热环境金属相容性(腐蚀性)试验

将镁试片 1#~6# 分别放入已倒有 OTTO-II 样品的 6 个磨口称量瓶中,盖上称量瓶盖,放在装有硫酸钠饱和溶液的干燥器中,盖好干燥器盖子,进行恒温恒湿试验(60 $^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、85% RH $\pm 1\%$ RH)。30 d 后取出浸泡的试片,用酒精和水洗净,连同对照片 60 $^{\circ}\text{C}$ 烘 2 h,在干燥器中放置 4 h,观察金属表面。检测浸泡后 OTTO-II 中的 PGDN、2-NDPA 和 H_2O 含量。

3 结果与讨论

3.1 OTTO-II 安全贮存寿命的预估

虽然 OTTO-II 也称为燃料^[1,5-7],但我们认为在很多方面,特别是在安全储存方面其热行为与硝酸酯固

体推进剂的行为相似。因此硝酸酯液体推进剂的储存安定性主要是控制化学分解反应程度,与一般的液体燃料的储存安定性(如阻止燃料在储存期间生成胶质或沉淀,质量下降^[14])不同。与硝酸酯固体推进剂相似^[15],OTTO-II 中添加了少量安定剂 2-NDPA,用来吸收分解产生的氮氧化物,减弱自催化作用,故将 2-NDPA 的减少作为失效参数,监控硝酸酯的分解情况,评估 OTTO-II 的安全储存寿命。

参考固体推进剂的方法^[4]进行 OTTO-II 安全储存寿命的预估,选择 2-NDPA 含量降低 50% 作为临界点,对检测出的老化数据回归,推算出常温(30 $^{\circ}\text{C}$) 2-NDPA 含量降低 50% 的时间,作为 OTTO-II 常温安全储存寿命。由于硝酸酯液体推进剂具有一定的挥发性,常压下温度越高挥发损失越大,甚至超过硝酸酯的分解^[16],加热老化试验时,试样处于非密封状态,故有部分硝酸酯挥发损失,使检测出的 2-NDPA 含量虚高,以此数据推算常温安全储存寿命会长于真实值。

火炸药老化试验通过加热来加速其特征的分解反应,在较短的试验周期预估常温下其安全储存寿命。一般温度越高试验时间越短,温度越低试验时间越长。按固体硝酸酯推进剂标准方法,应选择 65,75,85,95 $^{\circ}\text{C}$ ^[4],而 OTTO-II 的储存温度规定不超过 60 $^{\circ}\text{C}$,若选择 65 $^{\circ}\text{C}$ 则试验时间太长,在没有更充分理由选择其它老化温度的情况下,本研究参考硝酸酯固体推进剂的温度选择原则,进行了 75、85、95 $^{\circ}\text{C}$ 的老化试验。

将 OTTO-II 样品分成 3 份,分别在 75,85,95 $^{\circ}\text{C}$ 下进行热加速老化试验,分别老化一定时间(见图 1)取出,检测样品中 2-NDPA 含量 ω ,按式(1)计算其消耗率 a (%),结果见图 1,其中 τ 为老化时间。

$$a = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, ω_0 为老化前 2-NDPA 含量,%; ω 为老化一定时间后 2-NDPA 含量,%。

研究采用 Berthlot 法^[4]预估 30 $^{\circ}\text{C}$ 和 50 $^{\circ}\text{C}$ 的安全储存寿命分别为 72 a 和 3.3 a。再用温度系数法^[15]分别预估 30 $^{\circ}\text{C}$ 和 50 $^{\circ}\text{C}$ 的储存寿命,温度系数法公式见式(2):

$$\tau_{30} = \tau_T \times \gamma^{\frac{T-30}{10}} / 365, \tau_{50} = \tau_T \times \gamma^{\frac{T-50}{10}} / 365 \quad (2)$$

式中, τ_{30} 、 τ_{50} 为常温 30,50 $^{\circ}\text{C}$ 下的预估寿命,a; τ_T 为老化温度 T 时到达临界点的时间,d; T 为老化温度, $^{\circ}\text{C}$; γ 为温度系数,即温度每下降 10 $^{\circ}\text{C}$ 到达临界点的时间 τ_T 增大的倍数,按式(3)计算。

$$\gamma = \frac{\tau_T}{\tau_{T+10}} \quad (3)$$

式中, γ 、 τ_T 同式(2), $T=75, 85\text{ }^\circ\text{C}$ 。

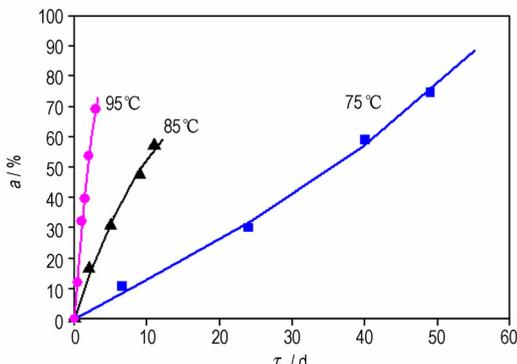


图1 热加速老化试验 2-NDPA 消耗率曲线

Fig.1 Curves of 2-NDPA consuming percentage at accelerated aging test

从图1得3种温度下 τ_T ,按公式(3)计算 γ 结果如表1所示,为了使外推预估结果比较可靠,采用 γ 值较低的数据 3.63 进行计算,同时考虑到 γ 值随温度降低有下降的趋势,故 γ 值也采用为 3.00 计算^[15]。另一方面,硝酸酯 PGDN 在常压下吸热后会明显挥发,温度越高挥发越多,其质量损失多于热分解^[16]。此外,为避免由于高温与中低温火炸药分解反应机理的差异外推时引起较大误差的可能性, τ_T 取 85,75 $^\circ\text{C}$ 的数据。将这些数据带入方程(2)分别计算 OTTO-II 在 30 $^\circ\text{C}$ 和 50 $^\circ\text{C}$ 条件下安全储存寿命分别不小于 11 a 和 1.2 a(见表1)。

表1 温度系数法预测的 OTTO-II 安全贮存寿命

Table 1 OTTO-II long Storage life estimated by Eq. (2)

T / $^\circ\text{C}$	τ_T /d	γ	τ_{30} /a		τ_{50} /a	
			$\gamma=3.63$	$\gamma=3.00$	$\gamma=3.63$	$\gamma=3.00$
95	2.11	-	-	-	-	-
85	9.62	4.56	31.6	11.1	2.4	1.2
75	34.93	3.63	31.7	13.4	2.4	1.5

Note: T is aging test temperature; τ_T is the time of consuming percentage a is 50% under the T; τ_{30} , τ_{50} are safe storage lifes estimated at 30, 50 $^\circ\text{C}$; γ is temperature-factor.

在本实验中, Berthlot 法和温度系数法预估 OTTO-II 在 50 $^\circ\text{C}$ 下安全储存寿命分别是 3.3 a 和 1.2 a,与文献[9]中预估的 50 $^\circ\text{C}$ 的安全存储寿命 102 a 相差甚远。因为文献[9]中无预估存储寿命的具体实验方法,所以推测,除了方法之间的差别,还有可能

是所针对的试验样品不同所致,即微量组分不同,使得硝酸酯的分解速度不同,导致其安全储存寿命不同。此外,该文献预估的 50 $^\circ\text{C}$ 下安全寿命长达 102 a 的可信度值得怀疑,迄今大部分固体硝酸酯火药的长储寿命在常温(25,30 $^\circ\text{C}$)下最多只有 30~40 年^[15],液体在 50 $^\circ\text{C}$ 有如此长的寿命是不可思议的。

当然,参考硝酸酯固体推进剂的方法^[4]预估 OTTO-II 的常温安全储存寿命因硝酸酯挥发损失超过分解损失,所以检测的 2-NDPA 虚高,用这样的数据推算的长储寿命应该长于真实寿命;但另一方面,OTTO-II 在运输和存储过程中,因为遇热挥发,所以会不定期打开放气阀减压,所以用不密封的实验方法预估安全储存寿命,在一定程度上与实际情况相似。

3.2 自然存储寿命

自然存储试验结果见表2。由表2可以看出,存储在较温和的自然环境((20 \pm 5) $^\circ\text{C}$ 、60%~80% RH) 877 d 后包含 PGDN 在内的各组分无明显变化,即 OTTO-II 产品在较温和条件下存放,安全贮存寿命大于 2.4 a。这也说明上述热加速老化长储试验预估的结果有一定可信度。

表2 自然贮存试验结果

Table 2 Analysis of natural environment storage test

sample	τ /d	ω_{PGDN} /%	$\omega_{2\text{-NDPA}}$ /%	$\omega_{\text{H}_2\text{O}}$ /%
A	0	75.8	1.49	0.03
	877	75.9	1.48	0.04
B	0	76.0	1.44	0.03
	800	75.9	1.45	0.03
C	0	75.9	1.50	0.04
	735	75.8	1.50	0.05

Note: τ is the natural environment storage time; ω_{PGDN} , $\omega_{2\text{-NDPA}}$ and $\omega_{\text{H}_2\text{O}}$ are contents of PGDN, 2-NDPA and H_2O exactly.

3.3 湿热环境应力下接触金属对 OTTO-II 的影响

湿热环境金属相容性(腐蚀性)的试验结果见表3。由表3可以看出,镁金属片在温湿环境((60 \pm 1) $^\circ\text{C}$ 、85% RH \pm 1% RH)接触 30 d 后,OTTO-II 中的 H_2O 含量大大提高,从原样的 0.03% 变为 0.31%~0.33%,这说明 OTTO-II 吸附环境中的湿气 H_2O 达到饱和。本研究检测室温下 OTTO-II 的饱和水为 0.33%,基本与文献[9]相符。

样品虽然放在称量瓶中并盖上盖子,但在 60 $^\circ\text{C}$ 的温度下,由于热胀冷缩,且硝酸酯受热后挥发性增强,达到一定压力后会冲开盖子,瓶口与盖子间已经不

密封,环境中的湿气进入称量瓶中,使得 OTTO-II 中水分逐渐升高直至饱和。

表 3 湿热环境金属相容性试验检测结果

Table 3 Analysis of hygrothermal environment metal compatibility store test

soaked metal	OTTO-II		
	$\omega_{\text{PGDN}} / \%$	$\omega_{2\text{-NDPA}} / \%$	$\omega_{\text{H}_2\text{O}} / \%$
1 [#]	75.9	1.49	0.32
2 [#]	74.5	1.46	0.33
3 [#]	75.6	1.47	0.31
4 [#]	76.1	1.50	0.31
5 [#]	76.0	1.48	0.33
6 [#]	75.6	1.50	0.31
-	76.1	1.50	0.03

除了 2[#] 镁金属试片外,其它 5 种试片所浸泡试样中的 PGDN 含量经 30 d 温湿环境的储存都没有降低,说明 OTTO-II 中的 H₂O 虽然超出产品出厂指标 ($\leq 0.10\%$),但并没有加速 PGDN 的分解,PGDN 在这种储存条件下也没有明显挥发。

浸泡 2[#] 试片的试样中 PGDN 明显减少,不应是挥发,2-NDPA 同时减少,说明 PGDN 已部分分解,即在这种温湿环境下 2[#] 试片表面对 PGDN 的分解可能有

促进作用,说明金属表面处理工艺对 OTTO-II 的安定性可能有影响。

试验结果显示,1[#]、3[#]、4[#] 浸泡试片表面无明显腐蚀,有 OTTO-II 残留,试验前后镁片无变化(如图 2a、图 2b 所示)。1[#]、3[#]、4[#] 浸泡试片 OTTO-II 的残留可能是由于这些试片加工时留在表面上细小的不光滑纹路导致,但 OTTO-II 并不腐蚀试片。2[#] 试片浸泡后除了上述导致 PGDN 和 2-NDPA 同时减少外,试片也没有被腐蚀(见图 2c),这可能是由于 PGDN 分解物 NO_x 能及时被 2-NDPA 吸收,所以没有与饱和水形成酸腐蚀试片。5[#]、6[#] 试片表面无明显腐蚀、无 OTTO-II 残留,但对照片表面明显被腐蚀,如图 2d、图 2e 所示。这可能是由于 5[#] 和 6[#] 试片表面有残留氧化剂,该物质在这种温湿试验条件下遇大量水气能腐蚀试片,而当这两种试片浸泡在 OTTO-II 中时,OTTO-II 包覆试片不再接触大量潮气,可以免受腐蚀。

6 种加工工艺的镁金属试片在一定温湿条件下 (60 °C、85%RH、30d) 未被 OTTO-II 腐蚀,可以推断,相对于镁金属更不活泼的其它包装金属材料,也不会被 OTTO-II 腐蚀,结果与文献[9]相符。但金属表面处理工艺对 OTTO-II 的安定性可能有影响。

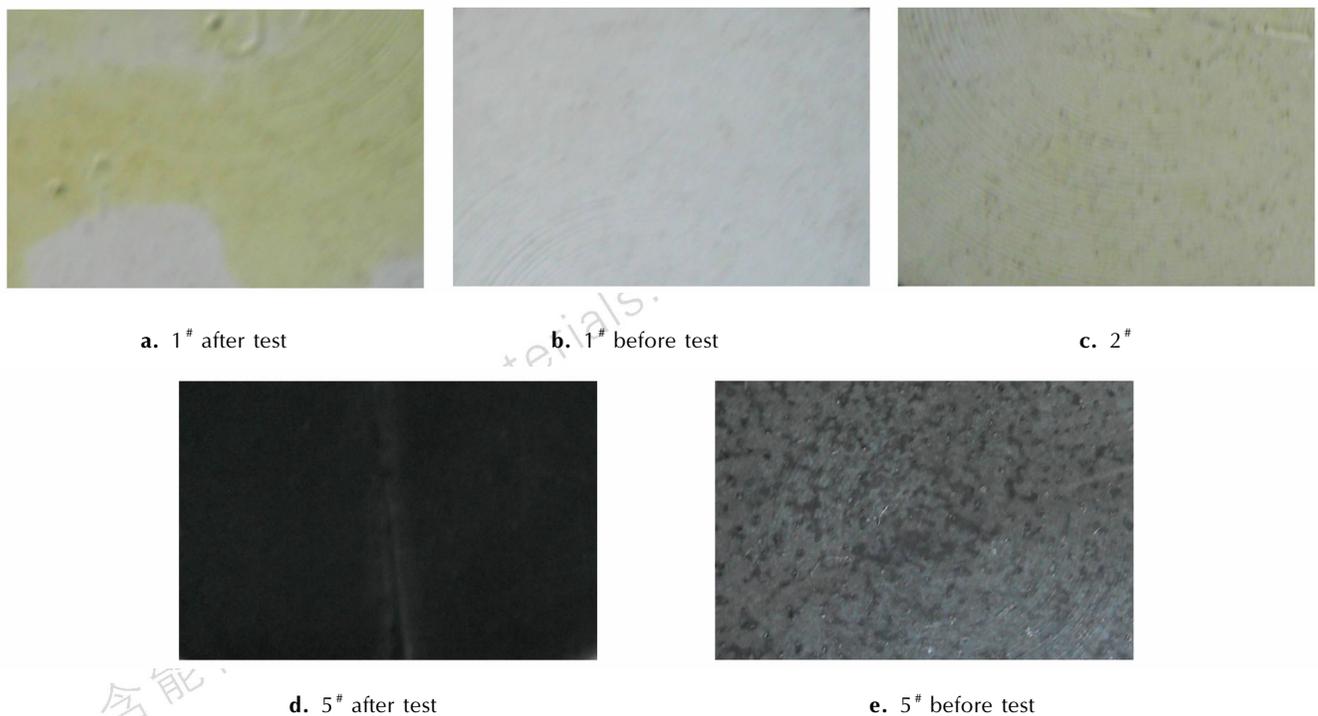


图 2 相容性试验前后的镁金属 1[#]、2[#]、5[#] 试片的表面照片

Fig. 2 Photograph for magnesium metal sheets 1[#], 2[#] and 5[#] before and after compatibility storage test

4 结 论

(1) 以温度系数法回归并外推,预估了 OTTO-II 硝酸酯液体推进剂在 30,50 °C 条件下安全贮存寿命分别不少于 11 a 和 1.2 a; 在自然环境下(20 °C±5 °C、60% RH~80% RH)贮存 2.4 a 组分无明显变化。

(2) 60 °C、85%RH 环境中储存 30 d OTTO-II 产品中的 H₂O 达到饱和,但硝酸酯和安定剂的含量没有变化。

(3) 本研究所用的 6 种不同加工工艺的镁金属试片在 60 °C、85%RH 环境中储存 30 d 都不被 OTTO-II 腐蚀,仅 2[#]可能因表面加工工艺不当会对 PGDN 的分解产生一定的促进作用。

参考文献:

- [1] 王晋忠,郑乙. 双组元液体燃料中氧化剂 HAP 的研究进展[J]. 科技风,2012(4): 15-16.
WANG Jin-zhong, DENG Yi. Research of HAP oxidant in di-propellant liquid fuel[J]. *Technology Wind*,2012(4): 15-16.
- [2] 王新德. 化学推进剂及相关重要原材料发展回顾与展望[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2010, 8(3): 1-7.
WANG Xin-de. Reviewing and expecting the development of chemical propellants & important materials[J]. *Chemical Propellants & polymeric materials*,2010, 8(3): 1-7.
- [3] 赵军,单晓亮. 氢氧能源在鱼雷动力系统的用途与前景展望[J]. 鱼雷技术, 2011, 19(4): 290-295.
ZHAO Jun, SHAN Xiao-liang. Applications and prospect of hydrogen-oxygen energy in torpedo power system [J]. *Torpedo Technology*, 2011, 19(4): 290-295.
- [4] MIL-0-82672A(05) Military specification OTTO fuel II [S]. 6August1986.
- [5] 阎萍,钱志博,王敏庆,等. 水下航行器不同燃料燃烧性能的仿真研究[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(3): 27-29.
YAN Ping, QIANG Zhi-bo, WANG Min-qing, et al. Simulation research on combustion property with different fuel in the underwater vehicle combustor[J]. *Fire Control & Command Control*, 2009, 34(3): 27-29.
- [6] 徐杏钦,白照高. 柱塞式燃料泵及燃料供应系统启动特性研究[J]. 鱼雷技术, 2011, 19(6): 459-462.
XU Xing-qin, BAI Zhao-gao. Study on starting characteristics of plunger type fuel pump and fuel supply system [J]. *Torpedo Technology*, 2011, 19(6): 459-462.
- [7] 李伟,郁俊江,邓鹏. 基于近红外光谱技术的鱼雷燃料组分含量分析系统[J]. 鱼雷技术,2012, 20(3): 206-209.
LI Wei, YU Jun-jiang, DENG Peng. Detection system of content for torpedo fuel based on NIR[J]. *Torpedo Technology*, 2012, 20(3): 206-209.
- [8] 张皋,贾林,王民昌,等. 某新型液体推进剂组分含量的测定[J]. 光谱实验室,2008,25(5): 0865-0868.
ZHANG Gao, JIA Lin, WANG Min-chang, et al. Determination of a novel liquid propellant[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2008, 25(5): 0865-0868.
- [9] 查志武. 鱼雷热动力技术[M]. 北京: 国防工业出版社,2006: 20-21.
CHA Zhi-wu. Technique of torpedo thermal power[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 20-21.
- [10] 牛加新,孙贵之,张余涛,等. 双安定剂发射药化学安定性及安定剂作用机理[J]. 含能材料, 2012, 20(5): 614-617.
NIU Jia-xin, SUN Gui-zhi, ZHANG Yu-tao, et al. Chemical stability of di-stabilizers propellants and corresponding reaction mechanism[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(5): 614-617.
- [11] 黄振亚,范建芳,陈余谦. 叠氮硝酸胺发射药的表面顿感试验研究[J]. 火炸药学报, 2013, 36(2): 62-64.
HUANG Zhen-ya, FAN Jian-fang, CHEN Yu-qian. Experimental study on the surface deterring of azidonitramine gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2013, 36(2): 62-64.
- [12] 李倩,强洪夫,武文明. 计算机模拟固体推进剂贮存老化的研究进展[J]. 含能材料, 2010, 18(4): 453-459.
LI Qian, QIANG Hong-fu, WU Wen-ming. Review on computer simulation of solid propellant aging[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(4): 453-459.
- [13] GJB770B-2005 火药试验方法[S]. 北京: 国防科学技术和工业委员会,2005.
- [14] 徐世海,熊云,刘晓. 液体燃料的性质及应用[M]. 北京: 中国石化出版社,2010: 56.
XU Shi-hai, XIONG Yun, LIU Xiao. The properties and applications of liquid fuels[M]. Beijing: National Sinopec-press, 2010: 56.
- [15] 衡淑云,韩芳,张林军,等. 硝酸酯火药安全贮存寿命的预估方法和结果[J]. 火炸药学报, 2006, 29(4): 71-76.
HENG Shu-yun, HAN Fang, ZHANG Lin-jun. Estimation method and results of safe storage life for nitrate ester propellants[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006, 29(4): 71-76.
- [16] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京: 国防工业出版社,2008: 65.
LIU Zi-ru. Thermal analyses for energetic materials[M]. Beijing: National Defense Industry Press,2008: 65.

Performance of a Nitric Acid Ester Liquid Propellant at Long-term Storage

JIA Lin, HAN Fang, LI Yan, ZHANG Lin-jun, ZHANG Dong-mei, DU Jiao-jiao, WANG Qiong, REN Chun-yan

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: The long-term storage properties of a nitric acid ester (OTTO-II) were investigated by elevated-temperature aging test, natural environment storage test, hydrothermal environment metal compatibility (causticity) test. Results show that its safe storage life estimated at 30 °C is not less than 11 a and its ingredients unchanged after stored for 2.4 a under the natural environment. The water in OTTO-II is saturation after storied under the hydrothermal environment conditions of 60 °C, 85%RH, and 30 d, but the content of the stabilizer and nitric acid ester is stable. The magnesium flakes in the hydrothermal environmental, machined by 6 different ways, are not corroded by OTTO-II. Only one flake catalyzes the decomposition of PGDN because of unsuitable machining technique for metal surface.

Key words: physical chemistry; liquid propellant; accelerating aging test; safe storage life; compatibility

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.02.008