

文章编号:1006-9941(2021)03-0234-07

纳米 TATB 炸药贮存老化机理

宫正¹,涂小珍¹,曾贵玉¹,白亮飞²,曹可¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621999; 2. 中国工程物理研究院核物理与化学研究所 中子物理学重点实验室, 四川 绵阳 621999)

摘要: 为深入理解纳米三氨基三硝基苯(TATB)炸药在不同贮存环境下的稳定性,设计了90℃,不同湿度(10%RH、50%RH和90%RH)以及低气压(200 Pa)等多种贮存环境条件,借助中子小角散射(SANS)、扫描电镜(SEM)、X射线衍射(XRD)、拉曼光谱(Raman)、红外光谱(IR)等表征技术,对不同温度、温湿度及低气压环境纳米TATB微结构演化规律进行了研究。实验结果表明,纳米TATB经45℃、60℃和71℃热老化后,其比表面积均明显下降,且老化温度越高下降趋势越显著并出现部分晶体颗粒长大;湿热极端环境(90℃,90%RH)则显著影响纳米TATB晶粒贮存稳定性,经短期(5天)贮存纳米TATB即出现显著的颗粒长大现象,尺寸约1~3 μm;纳米TATB经90℃低气压(200 Pa)环境贮存也出现晶粒长大并呈微米级片状结构;基于不同贮存环境条件的试验结果,分析了纳米TATB长大熟化机制,即纳米TATB表面能较高,在温度和湿度作用下部分TATB分子克服能垒,迁移、扩散并在晶粒表面重排长大。

关键词: 纳米含能材料;三氨基三硝基苯(TATB);老化;自聚长大;诱导机理

中图分类号: TJ55; O64

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2020152

1 引言

随着国防技术日趋现代化,传统含能材料已难以满足现代武器智能化、小型化、高效毁伤以及安全可靠等综合性能要求。在现有含能材料基础上,发展共晶、纳米含能材料被认为是突破高能、钝感含能材料领域发展瓶颈的关键,也是含能材料领域未来发展的重要方向^[1]。其中,纳米含能材料具有尺寸小、比表面积大的特点,与传统大颗粒尺寸材料相比其表现出优异的特性,如临界传爆直径小、机械感度低、能量释放速率快、做功能力高以及机械强度大等^[2]。因此,纳米含能材料的研究受到科研工作者的广泛关注,已在纳米含能材料制备、微结构调控及性能研究等领域取得了重

要进展^[3-4]。

1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯(TATB)具有优异的安全性能,其对枪击、摩擦、跌落等意外刺激非常钝感,目前仍是美国能源部唯一批准的单质钝感炸药,在侵彻型高过载常规武器和石油深井射孔弹中占据重要地位^[5-7]。研究表明,TATB炸药粒径减小至纳米级不仅可大幅提高其爆轰性能和装药强度,还可提高TATB的短脉冲冲击感度,即在短脉冲刺激下普通TATB难以起爆,而纳米TATB则表现出较高的短脉冲敏感性^[4],同时对其他刺激仍保持钝感,这些优良特性使其有望用于冲击片雷管始发药,大幅提高冲击片雷管的使用安全性。

纳米TATB具有比表面积大、表面分子数占比高的特点,在长期贮存以及复杂多变的使用环境中比普通TATB可能更易遭受温湿度等多种环境因素诱导,产生颗粒团聚粗化^[8-9],导致微结构破坏,造成性能劣化甚至不能满足使用要求。目前,国内外的研究成果主要集中在纳米TATB的制备与性能研究方面^[10]。随着对纳米含能材料研究的不断深入,纳米含能材料贮存稳定性问题逐渐引起重视。陈娅等^[8]研究发现纳米

收稿日期:2020-06-24;修回日期:2020-08-27

网络出版日期:2020-12-25

基金项目:国家自然科学基金资助(22005282)

作者简介:宫正(1990-),男,助理研究员,主要从事火工品、火炸药库存老化等研究。e-mail:gzheng55@caep.cn

通信联系人:涂小珍(1976-),女,副研究员,主要从事火工品库存老化机理研究。e-mail:txiaozhen@163.com

引用本文:宫正,涂小珍,曾贵玉,等. 纳米TATB炸药贮存老化机理[J]. 含能材料,2021,29(3):234-240.

GONG Zheng, TU Xiao-zhen, ZENG Gui-yu, et al. Aging Mechanism of Nano TATB Explosive During Storage[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2021, 29(3):234-240.

TATB 在贮存过程中比表面积随贮存时间增加而降低。杨志剑等^[11]基于溶剂热方法探索了纳米 TATB 热力学介稳界面自组装过程,发现纳米 TATB 在温度、溶剂和压力耦合诱导下自组装为微米 TATB,初步证实了纳米 TATB 在极端环境条件存在自聚长大现象。但这种高温、溶剂和高压环境条件不同于贮存使用环境,纳米 TATB 生长机理可能发生了改变。受实验条件和检测手段限制,当前对纳米 TATB 在不同贮存环境条件下的微观结构演化研究仍不充足,关于长大机理也鲜有研究。

为了掌握纳米 TATB 炸药在长期贮存环境条件下的稳定性,认识纳米 TATB 微结构演化机理机制,本研究基于武器弹药在寿命周期内面临的多种贮存环境,设计了 90 °C,不同湿度(10%RH、50%RH 和 90%RH)以及低气压(200 Pa)环境条件,采用中子小角散射(SANS)^[12]、红外光谱(IR)、拉曼光谱(Raman)、X 射线衍射(XRD)和扫描电镜(SEM)等多尺度检测表征技术,研究了贮存过程中温湿度及低气压环境因素对微观结构变化的影响以及微观结构的变化规律。基于不同贮存环境条件的试验结果,分析了纳米 TATB 老化机制。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

纳米 TATB 原料:纳米网格状,平均粒径约 100 nm,中国工程物理研究院化工材料研究所;二甲基亚砜(DMSO):分析纯,天津市永大化学试剂开发中心;乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

AHX-863 油浴烘箱;ESL-04 温湿度环境试验箱;德国 Bruker D8 Advance 粉末衍射仪,Cu K_α 射线为衍射源($\lambda=1.54180 \text{ \AA}$),采用万特探测器接收数据,光管的电压和电流为 40 kV/40 mA;场发射扫描电子显微镜(Sigma HD, ZEISS);Nicolet 800 傅里叶红外光谱仪;德国耐驰公司 STA449C 型差示扫描量热-热重连用仪;中国工程物理研究院核物理与化学研究所的狻猊(Suanni)中子小角散射谱仪,平均中子波长 0.53 nm。

2.2 实验过程

纳米 TATB 每份称量约 1 g 放入样品瓶中并做好标记,利用小型不锈钢密封罐和真空泵控制低气压环境,结合温湿度环境试验箱和油浴烘箱,研究纳米 TATB 在热加速老化、高温高湿环境以及低气压环境

三种环境条件下贮存稳定性能,具体实验如下:

(1)热加速老化试验:参照“火工品 71 °C 试验法”,将样品放入油浴烘箱,通过控制温度和贮存时间,研究纳米 TATB 在 45 °C、60 °C 和 71 °C 不同温度加速老化 20 天和 30 天的微结构演化行为。

(2)高温高湿老化试验:将样品放入温湿度环境试验箱,通过控制温度、湿度和贮存时间,研究纳米 TATB 在 90 °C,10%RH、50%RH 和 90%RH 不同湿度条件下的微结构演化行为。

(3)低气压环境老化试验:将样品放入不锈钢密封罐,借助真空泵将装置内的压力抽至约 200 Pa,关闭气阀后放入 90 °C 油浴烘箱,研究低气压环境对纳米 TATB 微结构演化行为的影响,试验前均检查密封罐气密性,确保密封罐不漏气。

借助中子小角散射(SANS)、扫描电子显微镜(SEM)、X 射线衍射(XRD)、拉曼光谱(Raman)、红外光谱(IR)等表征技术,对不同温湿度、低气压及溶剂气氛环境下纳米 TATB 微结构演化规律进行研究,采用 DSC 热分析仪对老化前后的纳米 TATB 热性能进行了测量,N₂气体流速为 30 mL·min⁻¹,升温速率为 5 °C·min⁻¹。

3 结果与讨论

3.1 热老化对纳米 TATB 微结构稳定性的影响

为研究热老化对纳米 TATB 微结构稳定性的影响,参照“火工品 71 °C 试验法”,选取了 45,60 °C 和 71 °C 三个热老化温度开展了热加速老化试验。初始纳米 TATB 及其在 45 °C、60 °C 和 71 °C 加速老化后的扫描电镜图见图 1。由图 1 可以看到,初始纳米 TATB 是由纳米颗粒自组装形成的具有相互连通的网络结构构成,有非常丰富的微孔。随着老化温度升高以及贮存时间增加,表面微孔数量减少,纳米 TATB 有明显的长大趋势。该生长过程受温度影响较大,如图 1 红色圆圈标记处可发现,当纳米 TATB 在 60 °C 老化 30 天,纳米网格 TATB 表面生成了少量直径约 0.5 μm 的 TATB 颗粒,随着老化温度升高至 71 °C,从图 1 红色圆圈可以看到,表面生成的 TATB 颗粒直径达到 1 μm 左右,增大了约 1 倍。根据“火工品 71 °C 试验法”(GJB736.13-1991),71 °C 老化 30 天推算常温(21 °C)贮存约 11 年,表明纳米 TATB 长期贮存会出现较为显著的长大现象。

基于中子小角散射(SANS)先进表征技术,利用 Porod 定理,对样品 *I*-*Q* 曲线散射矢量(*q*)0.08726~

1.561 nm⁻¹ 区间拟合,中子散射长度密度为 $4.88 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$,鉴于纳米 TATB 粉体实际密度呈一定分布且与理论密度相差不大,故以 TATB 晶体理论密度 $1.93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 进行计算,分析了纳米 TATB 比表面积的变化规律。SANS 绝对强度散射曲线和比表面积如图 2a 和图 2b 所示。从图 2b 可以看出,经 60 °C 和

71 °C 热老化的纳米 TATB 比表面积随老化时间延长均逐渐减小并表现出相似趋势,且老化温度越高比表面积下降越显著,而经 45 °C 热老化的纳米 TATB 比表面积表现出先略有增加再降低的趋势,这可能是因为在相对较低温度纳米 TATB 比表面积变化不显著以及取样测试存在一定波动性造成的。

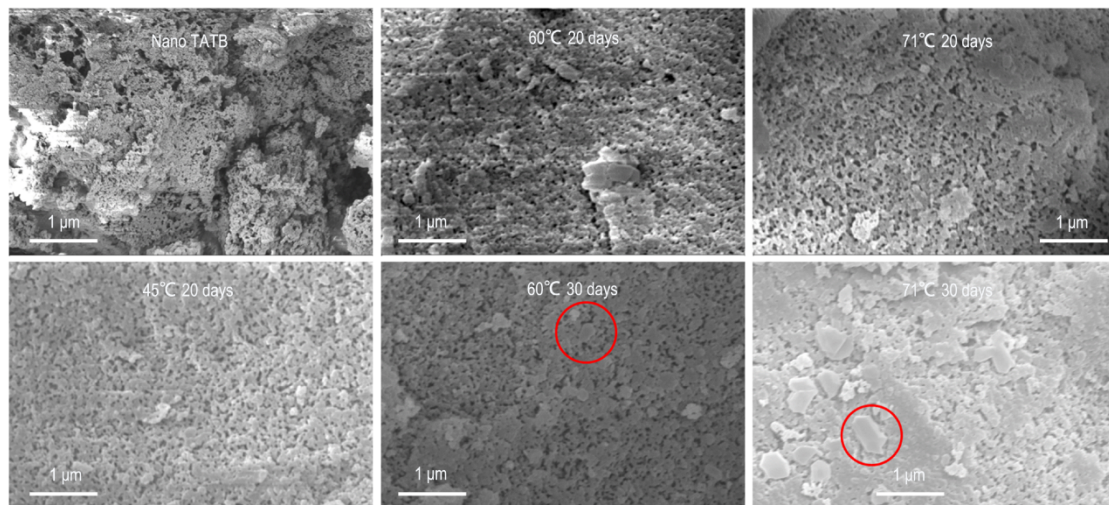


图 1 纳米 TATB 不同贮存老化条件后的 SEM

Fig.1 The SEM images of nano TATB after aging under different conditions

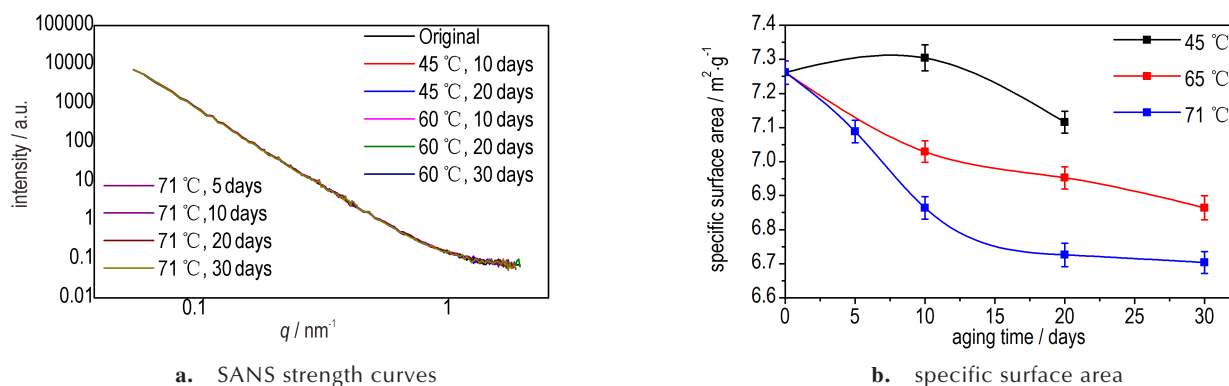


图 2 不同条件老化后的中子小角散射(SANS)绝对强度散射曲线和比表面积数据

Fig.2 The SANS strength curves and corresponding specific surface area results after aging under different conditions

同时,可以看到在老化初期比表面积下降趋势明显,随着老化时间增加,比表面积下降趋势趋于平缓。如在 71 °C 老化第 10 天,比表面积从 $7.26 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 降至 $6.86 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,降低了约 5.5%;老化第 20~30 天,比表面积从 $6.73 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 降至 $6.70 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,仅降低了约 0.4%。从 SANS 结果可确认老化过程中纳米 TATB 有长大趋势,由于纳米 TATB 处于热力学介稳状态,这一变化趋势在老化前期较为显著,随着部分纳米 TATB 长大,体系能量降低而逐渐趋于稳定。此外,老化温度越高纳米 TATB 长大趋势越明显,与图 1 电镜结果相符。

XRD(图 3a)和 Raman(图 3b)测试结果显示纳米 TATB 在 71 °C 老化 30 天物相结构未发生明显变化,表明纳米 TATB 化学性质稳定,与 Arjun Singh 等^[7]报道的结果一致。

3.2 高温高湿环境对纳米 TATB 微结构稳定性的影响

图 4 是纳米 TATB 在高温高湿极端环境下老化不同时间后的电镜图。从图 4 中可以看到,纳米 TATB 在 90 °C, 90%RH 高温高湿极端环境老化后微结构发生了显著变化,仅老化 5 天即在纳米 TATB 颗粒表面生成

了大量表面光滑的微米级颗粒状 TATB 晶粒。随着老化时间延长,微米级晶粒数量和尺寸逐渐增多增大,当老化 30 天,纳米 TATB 晶粒可长至 2~3 μm ,自聚长大速率远大于在 71 $^{\circ}\text{C}$ 老化 30 天的纳米 TATB(见图 1)。纳米 TATB 由于颗粒尺寸小比表面积大,处于热力学介稳状态,在贮存过程中体系有朝着能量降低方向进行的趋势,可认为纳米 TATB 团聚长大是热力学主导过程,即外界热刺激诱导引起纳米 TATB 团聚长大,外界温度越高,TATB 分子迁移扩散速率越大,团聚长大趋势越明显。

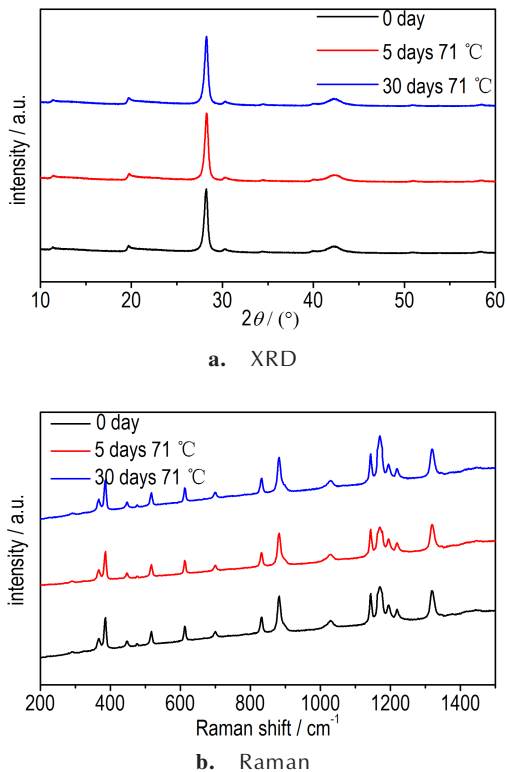


图 3 不同老化条件下纳米 TATB 的 XRD 和 Raman 图谱
 Fig.3 The XRD and Raman spectra of nano TATB after aging under different conditions

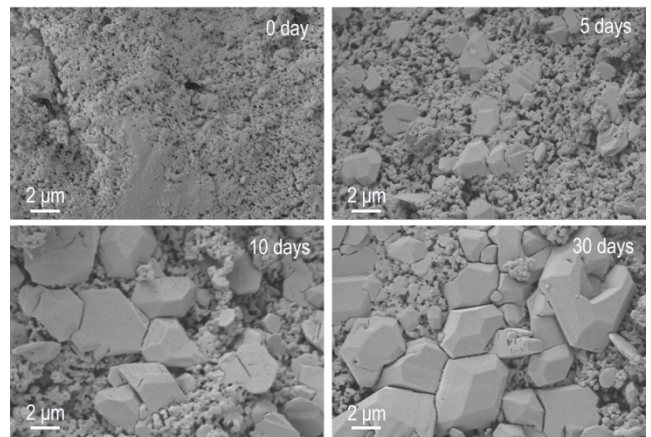


图 4 纳米 TATB 在 90 $^{\circ}\text{C}$, 90%RH 环境条件老化 0、5、10 和 30 天的 SEM
 Fig.4 The SEM images of nano TATB after aging at 90 $^{\circ}\text{C}$ and 90%RH for 0, 5, 10 and 30 days, respectively

不同湿度环境对纳米 TATB 微结构的影响见图 5。随着老化环境相对湿度从 10%RH 增至 90%RH,表面自聚长大的 TATB 颗粒从 1~2 μm 增长至 2~3 μm ,颗粒表面均较为光滑、完整,说明高湿环境促进了纳米 TATB 自聚长大反应。由于 TATB 分子间多重氢键作用,在大部分常用溶剂中溶解度极小,几乎不溶于水,但水分子与晶粒表面 TATB 分子之间存在氢键相互作用,在 90 $^{\circ}\text{C}$ 老化温度下,这种界面弱相互作用有助于 TATB 分子扩散迁移,从而诱导纳米 TATB 团聚长大。

XRD、Raman 和红外测试结果(图 6a~图 6c)表明纳米 TATB 在 90 $^{\circ}\text{C}$, 90%RH 在高温高湿极端环境老化 30 天物相结构同样未发生明显变化。图 6d 中 DSC 数据显示初始纳米 TATB 热分解峰为 379.1 $^{\circ}\text{C}$,老化后的热分解峰是 379.8 $^{\circ}\text{C}$,热分解温度略有增加,纳米 TATB 颗粒老化过程中发生自聚长大现象,造成比表面积降低和表面活化分子减小,老化后 TATB 热稳定性相对提升被认为是热分解温度增加的主要原因,但变化不显著。

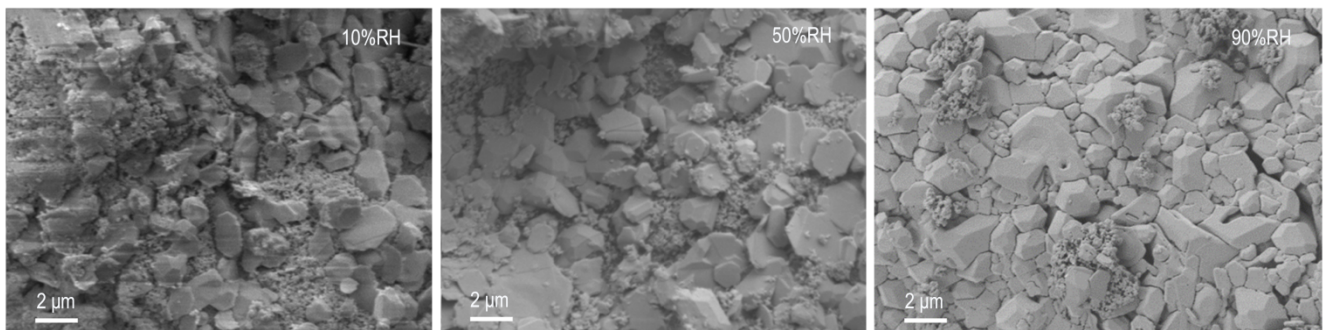


图 5 纳米 TATB 在 90 $^{\circ}\text{C}$, 10%RH, 50%RH 和 90%RH 老化 30 天后的 SEM
 Fig.5 The SEM images of nano TATB after aging at 90 $^{\circ}\text{C}$, 10%RH, 50%RH, and 90%RH for 30 days

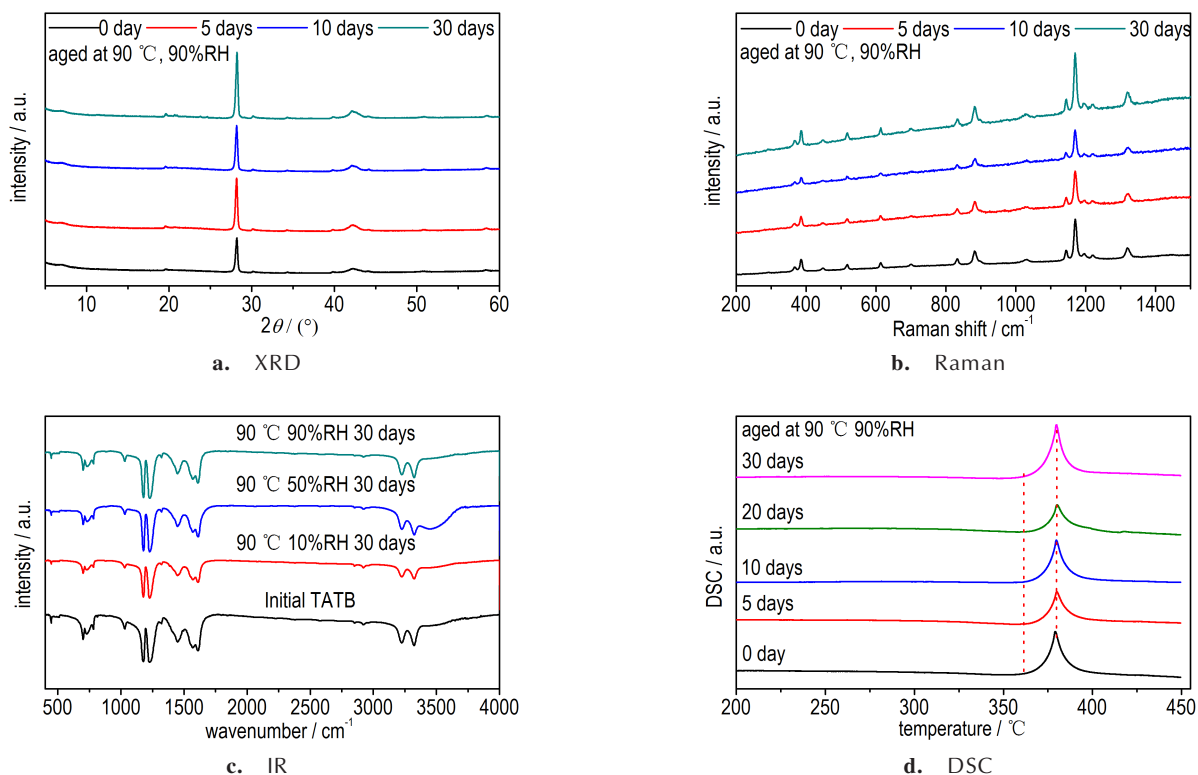


图6 纳米TATB在90 °C, 90%RH老化后的XRD, Raman, IR和DSC谱图

Fig.6 The XRD, Raman, IR spectra and DSC curves of nano TATB after aging at 90 °C, 90%RH

3.3 低气压环境对纳米TATB微结构稳定性的影响

纳米TATB在低气压(200 Pa)、90 °C分别老化0、5、10天和30天的SEM结果如图7所示。从图7可以看到,在低气压环境90 °C高温老化5天,纳米TATB同样发生了自聚长大现象,表面生成了直径约1~2 μm的片状颗粒,随着老化时间从5天延长至30天,生成的微米级颗粒数量和大小均增加显著。

值得注意的是,低气压环境生成的微米级颗粒形貌呈片状结构,明显不同于90 °C、90%RH高温高湿环境老化后的颗粒状形貌(图4)。在低气压条件(约200 Pa),罐内湿度认为较低,其对纳米TATB自聚长大影响可忽略。在TATB自聚长大过程中,理论上TATB分子在氢键作用下在 a - b 平面([001]晶面)结合生长,或受分子间相互作用力沿 c 轴方向生长。在某相对湿度环境中,由于水分子与TATB分子中氨基和硝基结合形成氢键,受空间位阻影响,一定程度上阻止了TATB分子在 a - b 平面内迁移和重排,减缓了其沿 a - b 平面生长速率,沿 c 轴方向的生长速率则受影响较小,从而相对增大了沿 c 轴的生长速率,自聚长大成颗粒状晶体。溶剂非溶剂重结晶结果也表明只加少量水析出片状晶体,当加入足量水时析出颗粒状晶

体^[13]。因此,老化环境中水分子空间位阻效应可能是改变TATB晶体形貌的主要因素。

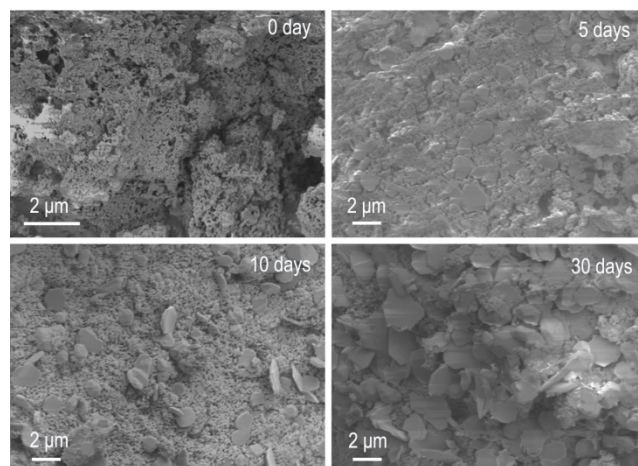


图7 纳米TATB在200 Pa、90 °C条件老化0、5、10和30天的SEM

Fig.7 The SEM images of nano TATB after aging at 200 Pa, 90 °C for 0, 5, 10 and 30 days, respectively

3.4 纳米TATB自聚长大机理分析

在不同温度、湿度以及溶剂气氛贮存环境,纳米TATB出现了自聚长大现象,但老化前后的红外和拉曼光谱未发生明显变化,表明这种自聚长大现象主要

是物理变化。劳伦斯·利弗莫尔国家实验室在研究季戊四醇四硝酸酯(太安, PETN, 主要用作雷管装药、传爆药等)老化问题时也发现 PETN 存在晶粒长大现象, 原位原子力显微镜等试验结果证实 PETN 单晶表面分子在室温环境即有较好的迁移能力^[14-15], 50℃的扩散系数可达 $3.70 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ^[16], 并认为 PETN 分子扩散迁移以及升华是 PETN 颗粒长大的主要原因。虽然由于 TATB 特殊的二维层层堆垛化学结构(较强的分子内氢键)使其饱和蒸汽压低于 PETN^[17], 但处于介稳状态的纳米 TATB 在温度和湿度诱导下, 更易引起 TATB 分子扩散、迁移、重排或升华、再结晶(如图 8 所示), 使体系朝着能量降低的方向进行。

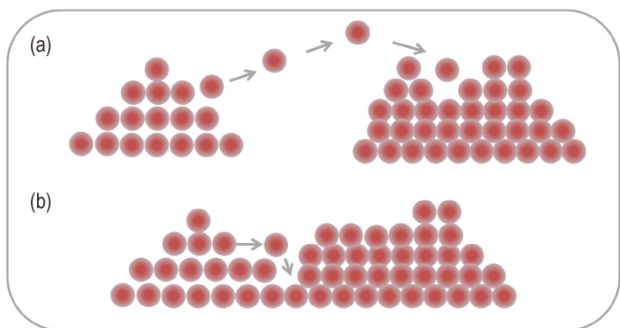


图 8 TATB 分子扩散、迁移和重排示意图

Fig.8 The schematic diagram of diffusion, migration and re-arrangement of TATB molecules

由于 TATB 饱和蒸汽压比较低, TATB 分子沿晶粒表面扩散、迁移和重排应该占主导, 并且从热力学和动力学角度看, 不同贮存环境应对应不同的终态微结构, 其中热刺激以及水分子、溶剂分子与 TATB 分子间弱相互作用是引起纳米 TATB 自聚长大的外因, 而炸药缺陷、纯度等晶体品质应该是引起纳米 TATB 自聚长大的内因, 内因和外因共同作用决定了纳米 TATB 微结构演化终态。

4 结论

(1) 纳米 TATB 在贮存过程中存在比表面积下降, 颗粒自聚长大现象, 该过程受温度、湿度、气压等环境条件影响, 其中温度和湿度是影响纳米 TATB 贮存稳定性的主要诱导因素。

(2) 高温高湿环境极端环境条件可显著促进纳米 TATB 颗粒自聚长大过程, 贮存环境相对湿度高低影响自聚长大颗粒的形貌, 当湿度为 10%RH 时颗粒成表面光滑密实片状结构, 当湿度为 90%RH 时颗粒成

近球状结构。

(3) 纳米 TATB 贮存过程自聚长大现象主要是物理变化过程, 处于热力学介稳状态的纳米 TATB 在温湿度诱导下颗粒表面 TATB 分子扩散、迁移以及再重排是引起纳米 TATB 自聚长大的主要原因。

参考文献:

- [1] Yang Guang-cheng, Nie Fu-de, Huang Hui, et al. Preparation and characterization of nano-TATB explosive[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2006, 31(5): 390-394.
- [2] Tan Xue-rong, Duan Xiao-hui, Pei Chong-hua, et al. Preparation of nano-TATB by semibatch reaction crystallization [J]. *NANO: Brief Reports and Reviews*, 2013, 8(5): 1350055 (1-8).
- [3] Wang Jun, Wang Yan-qun, Qiao Zhi-qiang, et al. Self-assembly of nano-TATB 3D architectures via micro-channel crystallization and a formation mechanism [J]. *Cryst Eng Comm*, 2016, 18: 1953-1957.
- [4] Olles Joseph D, Wixom R R, Knepper Robert, et al. Development of nano-TATB and comparison of detonation spreading with pressed ultra-fine TATB [C]//49th International Annual Conference of the Fraunhofer ICT, 2018:1-8.
- [5] Yeager John D, Lushcher D J, Vogel Sven C, et al. Neutron diffraction measurements and micromechanical modelling of temperature-dependent variations in TATB lattice parameters [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2016, 41: 514-525.
- [6] Guo Xiang-li, Wang Jun, Ran Jian-long, et al. Shock initiation of nano-TATB explosives under short-duration pulses [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2019, 44: 138-143.
- [7] Singh Arjun, Kaur G, Sarkar Chinmay, et al. Investigations on chemical, thermal decomposition behavior, kinetics, reaction mechanism and thermodynamic properties of aged TATB [J]. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2018, 15(2): 258-282.
- [8] 陈娅, 辛芳, 谯志强. 纳米 TATB 贮存中的比表面积变化研究 [C]//重庆市(四川省)兵工学会含能材料学术交流会议论文集, 2011: 1-3.
CHEN Ya, XIN Fang, QIAO Zhi-qiang. Investigation on the BET of nano TATB during stockpile [C]//Proceeding of Symposium of Energetic Materials for Chongqing (Sichuan province) Ordnance Society, 2011: 1-3.
- [9] Golopol H. Ultrafine TATB aging study [C]// 10th DOE Compatibility Meeting Albuquerque UCRL-88018, 1982
- [10] 李萍, 敖登高娃, 李纯志, 等. 龙骨状纳米结构 TATB 的构筑与热分解动力学研究 [J]. *含能材料*, 2019, 27(2): 137-143.
LI Ping, AODENG Gao-wa, LI Chun-zhi, et al. Construction and thermal decomposition kinetics of the keel-like nanostructure TATB [J]. *Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2019, 27(2): 137-143.
- [11] Yang Zhi-jian, Gong Fei-yan, He Guan-song, et al. Perfect energetic crystals with improved performances obtained by thermally metastable interfacial self-assembly of corresponding nanocrystals [J]. *Crystal Growth Design*, 2018, 18: 1657-1665.
- [12] Song Pan-qi, Tu Xiao-qing, Bai Liang-fei, et al. Contrast variation small angle neutron scattering investigation of micro- and

- nano-sized TATB[J]. *Materials*, 2019,12: 2606–2616.
- [13] Zhang Hao-bin, Sun Jie, Kang Bin, et al. Crystal morphology controlling of TATB by high temperature anti-solvent recrystallization [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2012, 37: 172–178.
- [14] Foltz M F. Aging of pentaerythritol tetranitrate (PETN) [R]. Lawrence Livermore National Lab, LLNL-TR-415057, 2009: 1–44.
- [15] Burnham A K, Gee R, Maiti A, et al. Experimental and modeling characterization of PETN mobilization mechanisms during recrystallization at ambient conditions [R]. Lawrence Livermore National Lab, UCRL-TR-216963, 2005:1–21.
- [16] Gershanik Arcady P, Zeiri Yehuda. Sublimation rate of energetic materials in air: RDX and PETN[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2012,37: 207–214.
- [17] Dobratz B M, Crawford P C. LLNL Explosives handbook. properties of chemical explosives and explosive simulants [R]. UCRL-52997-Chg.2, 1985: 4–2.

Aging Mechanism of Nano TATB Explosive During Storage

GONG Zheng¹, TU Xiao-zhen¹, ZENG Gui-yu¹, BAI Liang-fei², CAO Ke¹

(1. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China; 2. Key Laboratory of Neutron Physics and Institute of Nuclear Physics and Chemistry, CAEP, Mianyang 621999, China)

Abstract: To gain insights into the stability of nano TATB in different storage environments, aging conditions at 90 °C, 10%RH, 50%RH, 90%RH and 200 Pa low atmospheric pressure were considered. The microstructure evolution of nano TATB was characterized by small angle neutron scattering (SANS), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy (Raman) and infrared spectroscopy (IR). Results show that the specific surface area of nano TATB decreases obviously after the thermal aging at 45 °C, 60 °C and 71 °C, and the higher the aging temperature, the more obvious the specific surface area decreases, accompanied by the growth of some crystal particles. The long-term stability of nano TATB crystal particles is significantly affected by the extreme humidity and heat environment (90 °C, 90% RH). After short-term storage (5 days), the nano TATB particles grow up with the size of about 1–3 μm. The nano TATB particles also grow and form a micro flake structure after aging in a low pressure (200 Pa) environment at 90 °C. Based on the experiment results, the growth and aging mechanism of nano TATB were discussed. The high surface energy of nano TATB facilitates TATB molecules overcoming the energy barrier, which results in the TATB molecules diffusion and rearrangement on the crystal surface and correspondingly leads to the grow-up of particles.

Key words: nano energetic materials; TATB; age; self-assembly growth; induced mechanism

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2020152

(责编: 王艳秀)