

文章编号: 1006-9941(2011)02-0165-05

晶形控制剂对 ϵ -HNIW 晶体形貌的影响

孟 征^{1,2}, 卫宏远¹

(1. 天津大学化工学院, 天津 300072; 2. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

摘要: 采用在乙酸乙酯-环己烷转晶体系中将 γ -型六硝基六氮杂异伍兹烷(γ -HNIW)转晶成 ϵ -HNIW 的方法, 研究了晶形控制剂醇类化合物(A_1)和羧酸类化合物(A_2)对转晶产物 ϵ -HNIW 晶体形貌的影响。扫描电子显微镜(SEM)分析表明, 晶形控制剂使 ϵ -HNIW 晶体的最终形貌发生改变, 晶体表面更加光滑, 表面缺陷减少。相对于不添加晶形控制剂得到的晶体, 以 A_1 为晶形控制剂的晶体 $\{110\}$ 晶面族和以 A_2 为晶形控制剂的晶体 $\{011\}$ 晶面族的面积均明显增加。证明 A_1 “阻碍” $\{110\}$ 晶面族的生长, 而 A_2 “阻碍” $\{011\}$ 晶面族的生长。采用分子动力学方法研究晶形控制剂与 ϵ -HNIW 晶面的相互作用, 与实验结果一致。

关键词: 化学工程; 晶形控制剂; 转晶; ϵ -HNIW; 晶面族

中图分类号: TJ55; O74

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.02.010

1 引言

六硝基六氮杂异伍兹烷(HNIW)在常温常压下存在 α -、 β -、 γ -和 ϵ -四种晶型, 其中 ϵ -HNIW 的密度最高, 理论晶体密度为 $2.04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 最具实际应用价值。通常经过硝解制得的是 α -HNIW、 γ -HNIW 或二者的混合物, 所以需要经过转晶才能得到 ϵ -HNIW。HNIW 转晶过程一般是采用溶剂重结晶工艺来实现的^[1-5]。即将硝解所得的 HNIW 溶于其良溶剂中, 再往所得溶液中加入一种 HNIW 的不良溶剂(可与良溶剂互溶)及少量 ϵ -HNIW 晶种, 使 HNIW 重新结晶析出完成转晶。

在无机晶体的工业生产中, 人们通常有意识地引入对结晶有促进作用或抑制作用的晶形控制剂来改变物质在原溶液中的结晶特性, 改变晶体的外观^[6], 这主要是由于晶面对晶形控制剂的选择性吸附作用, 改变了比表面能, 从而改变晶面的相对生长速率, 使晶体形态发生改变。晶形控制剂对于有机晶体的表观形貌也有较大的影响, 可以使 α -甘氨酸、香草醛和对乙酰氨基酚等有机物在溶液中结晶得到的晶体质量和形貌发生改变^[7-9]。

在含能材料领域, 针对 RDX 和 HMX 晶形控制方

面的研究报道较多^[10-11], 但将晶形控制剂应用于 ϵ -HNIW 转晶过程中的研究不多。Duddu 等^[12]在其专利中提到采用乙酸作为晶形控制剂可在转晶介质中形成高质量的 ϵ -HNIW, 而不用乙酸则需要较长时间才能得到 ϵ -HNIW, 但未作详细描述。Hamilton^[13]在其专利中使用环烷基油、石蜡油、甲酸苄酯和聚丙二醇等作为 ϵ -HNIW 转晶的辅助非溶剂, 其中石蜡油的效果最好。杨利^[14]等采用聚乙烯醇类和聚氧乙烯醚类化合物作为 HNIW 溶剂-非溶剂结晶体系的晶形控制剂, 得到晶形呈块状或椭圆形的超细 ϵ -HNIW 晶体。本实验选择醇类化合物和羧酸类化合物作为晶形控制剂, 研究了其对 HNIW 的乙酸乙酯-环己烷转晶体系转晶产品形貌的影响。

2 实验部分

2.1 试剂和仪器

γ -HNIW, 实验室自制; 晶形控制剂醇类化合物(A_1)、晶形控制剂羧酸类化合物(A_2)、乙酸乙酯及环己烷, 北京化学试剂公司。

日本日立 S4800 型扫描电子显微镜; 德国 BRUKER 公司 RFS100/S 拉曼光谱仪, 扫描功率 300 mW。

2.2 转晶实验

室温下, 将晶形控制剂按一定比例加入到 γ -HNIW 的乙酸乙酯饱和溶液中, 在固定的搅拌速度下, 将该溶液以一定速率滴加到盛有环己烷的三口烧瓶中, 持续搅拌数小时后, 经过滤、水洗、真空干燥制得

收稿日期: 2010-06-08; 修回日期: 2010-08-22

作者简介: 孟征(1982-), 男, 天津大学博士后, 主要从事含能化学物的合成及应用研究。e-mail: hnix1982@126.com

通讯联系人: 卫宏远, e-mail: pse@tju.edu.cn

ϵ -HNIW 晶体。

2.3 表征

采用日本日立 S4800 型扫描电子显微镜, 将转晶产品固定后喷金处理, 对表面进行观察, 二次电子图像分辨率 50 nm, 加速电压 490 ~ 30000 V, 连续可变大倍率 3 ~ 200000。

3 结果与讨论

3.1 BFDH 法预测 ϵ -HNIW 晶体重要晶面族及其面积

晶体的结晶习性是指晶体在一定的物理化学条件下所表现出的形态特征。在忽略外在因素的影响时, 晶体的形态特征服从 Bravais-Friedel-Donnay-Harker (BFDH) 法则, 因此可使用 BFDH 法则对晶体的理论习性进行预测。将预测结果与晶体的实际形态进行比较, 可考察结晶的物理化学条件对晶体各晶面生长的影响。如果理论上因生长速度快而显露面积小或消失的晶面族, 实际上却显露面积很大, 说明该晶面族在生长过程中受到“阻碍”; 或者是其它的晶面族生长受到“促进”使得晶体习性发生改变^[15]。

图 1 是用 BFDH 法则预测出在真空中生长的 ϵ -HNIW 晶体形态, 可以认为该晶体为 ϵ -HNIW 晶体开始生长的最小单元, 表 1 所列为该晶体的主要晶面族及其面积。

各晶面族包括的晶面分别介绍如下:

$\{011\}$ 晶面族占晶面总面积的 57.40%, 共有四个对称面: $\{011\}$ 、 $\{0-11\}$ 、 $\{01-1\}$ 和 $\{0-1-1\}$ 。 $\{011\}$ 晶面族为 ϵ -HNIW 晶体的慢生长面。

$\{110\}$ 晶面族占晶面总面积的 6.71%, 共有四个对称面: $\{110\}$ 、 $\{1-10\}$ 、 $\{-110\}$ 和 $\{-1-10\}$ 。 $\{110\}$ 晶面族为 ϵ -HNIW 晶体的快生长面。

$\{10-2\}$ 晶面族占晶面总面积的 2.91%, 共有两个对称面: $\{10-2\}$ 和 $\{-10-2\}$, 为 ϵ -HNIW 晶体的快生长面。

$\{002\}$ 晶面族占晶面总面积的 0.66%, 共有两个对称面: $\{002\}$ 和 $\{00-2\}$, 为 ϵ -HNIW 晶体的快生长面。

3.2 两种转晶产品的拉曼光谱和 SEM 分析

相对于红外光谱, HNIW 四种晶型的拉曼光谱吸收峰有较少的峰形重叠, 文献[16-17]报道, 在 300 ~ 275 cm^{-1} 所出现的峰形为各特定的晶型所独有, 尤其是 ϵ -HNIW 在此区域近似无吸收, 可通过此区域的特征吸收峰对 HNIW 晶型进行鉴别, 图 2 所示表明在乙酸乙酯-环己烷转晶体系中, 不使用晶形控制剂(曲

线 2)、用 A_1 (曲线 3) 和 A_2 (曲线 4) 作为晶形控制剂得到的 HNIW 晶体均为 ϵ -HNIW。

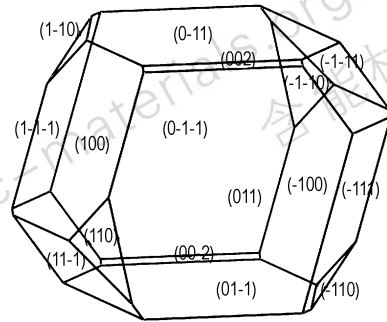


图 1 BFDH 法则预测的 ϵ -HNIW 晶体形貌

Fig. 1 Morphology of ϵ -HNIW crystal predicted by BFDH rule

表 1 BFDH 法预测的 ϵ -HNIW 晶体的主要晶面族

Table 1 The main planes of ϵ -HNIW crystal predicted by BFDH rule

hkl	multiplicity	dhkl	distance	total facet area	total facet area/%
$\{011\}$	4	8.97	11.15	1579.95	57.40
$\{100\}$	2	8.47	11.81	560.39	20.36
$\{110\}$	4	7.02	14.24	184.81	6.71
$\{11-1\}$	4	6.90	14.50	329.27	11.96
$\{002\}$	2	6.40	15.61	18.10	0.66
$\{10-2\}$	2	6.02	16.62	80.05	2.91

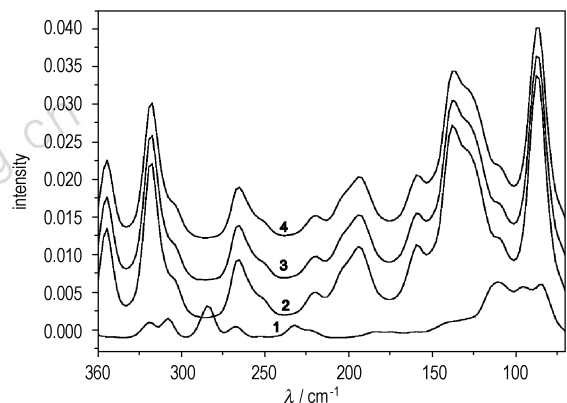


图 2 γ -HNIW(曲线 1)、用 A_1 、 A_2 和无晶形控制剂转晶得到的 ϵ -HNIW 晶体(曲线 2、3 和 4)的拉曼吸收光谱

Fig. 2 Raman spectra of γ -HNIW (1) and HNIW crystals grown with A_1 (2), A_2 (3) and no crystal modifier (4)

根据 BFDH 法则, 在真空环境下, ϵ -HNIW 晶体中生长速度快的 $\{002\}$ 晶面族、 $\{10-2\}$ 晶面族和 $\{110\}$ 晶面族随着晶体的生长会逐渐消失, 而生长速度慢的

$\{011\}$ 晶面族、 $\{100\}$ 晶面族及 $\{11-1\}$ 晶面族则会逐渐显露,尤其是生长速度最慢的 $\{011\}$ 晶面族会成长为 ϵ -HNIW 晶体的主要晶面。但实验事实并非如此,这是因为晶体的生长还要受到生长环境的制约,本转晶体系中的溶剂乙酸乙酯、非溶剂环己烷和晶形控制剂均会影响晶体生长。在同一转晶体系下,对比各晶面的生长情况,晶形控制剂的作用便可一目了然。

图 3 为在乙酸乙酯-环己烷转晶体系下得到的 ϵ -HNIW 晶体,没有添加晶形控制剂,显露的晶面族有 $\{110\}$ 、 $\{011\}$ 、 $\{100\}$ 和 $\{002\}$,图 1 中预测的其它晶面族均已消失。图 4 和图 5 分别为使用 A_1 和 A_2 得到的 ϵ -HNIW 晶体,三种晶体外形有明显的差别,但各晶面能够一一对应。对比三种晶体可以看出, $\{011\}$ 和 $\{110\}$ 晶面族变化最为明显。图 4 中 $\{110\}$ 晶面族的显露面积增大,证明晶形控制剂 A_1 对 $\{110\}$ 晶面族的生长“阻碍”作用明显。而在图 5 中, $\{011\}$ 晶面族的显露面积增大,证明晶形控制剂 A_2 对 $\{011\}$ 晶面族的生长“阻碍”作用明显。

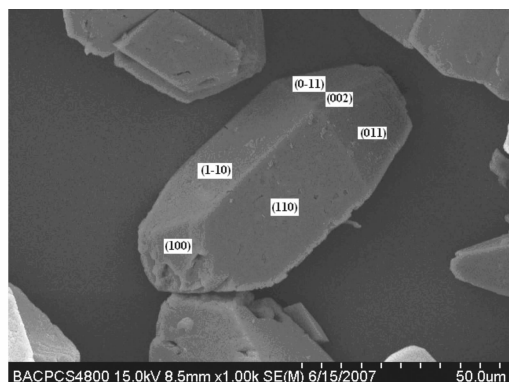


图 3 未加晶形控制剂转出的 ϵ -HNIW

Fig. 3 SEM of ϵ -HNIW grown without crystal modifier

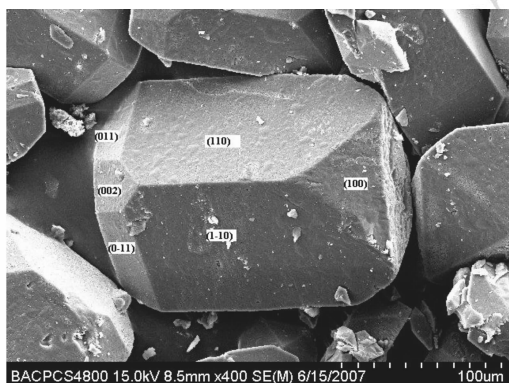


图 4 晶形控制剂为 A_1 的 ϵ -HNIW

Fig. 4 SEM of ϵ -HNIW grown with A_1 as crystal modifier

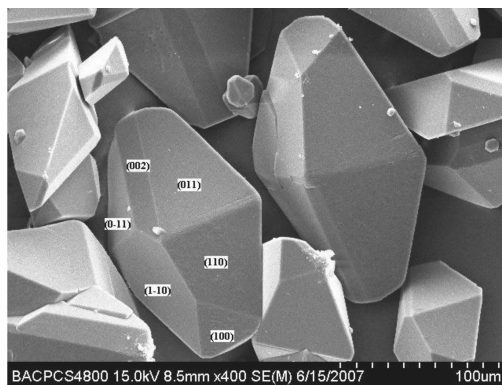


图 5 晶形控制剂为 A_2 的 ϵ -HNIW

Fig. 5 SEM of ϵ -HNIW grown with A_2 as crystal modifier

对比三种转晶产品的扫描电镜照片(SEM)可以看出,未加晶形控制剂的转晶晶体表面不仅粗糙,而且有更多的表面缺陷和孔洞; A_2 作为晶形控制剂转出的晶体表面最为平整光滑,添加 A_1 的晶体表面则略显粗糙,说明晶形控制剂对减少 ϵ -HNIW 晶体表面缺陷有一定的促进作用。

3.3 晶形控制剂在 (011) 和 (110) 晶面的结合能计算

本研究采用周期性键链(PBC)法计算晶形控制剂在 (011) 和 (110) 晶面的结合能,以从分子动力学角度研究晶形控制剂与晶面的相互作用。PBC 法可以计算晶体表面的附着能 E_{att} 和溶剂分子在晶面的结合能 $E_{binding}$ 。此法使用 Hartman 和 Perdok 的周期性键链理论,把晶体结晶形态与内部化学键联系起来,但该方法计算出来的是真空条件下的晶体形态,没有考虑到反应、溶剂和搅拌等环境因素对结晶的影响。

首先对 HNIW 的分子结构进行优化,根据 ϵ -HNIW 晶体的单晶衍射实验数据建立起晶胞。晶胞经优化后,使用 Morphology Growth 模拟出 ϵ -HNIW 晶体形态,并计算出 (011) 晶面的自身附着能 E_{att} 为 $-244.88 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, (110) 晶面的自身附着能 E_{att} 为 $-302.15 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。将晶面分离出来,建立起厚度为 4 个分子层,宽度为 5 个分子层的超晶胞。在超晶胞面上建立高度为 50 \AA 的真空层。最后将晶形控制剂分子放在晶面上,建立起分子间氢键,通过分子动力学模型计算,分析使体系势能最低的晶面逻辑片段。接着将晶形控制剂分子调整到晶面上的能量最低的位置,计算出晶形控制剂分子在晶面上的总能量 E_{total} ,同时计算出晶形控制剂分子的能量 $E_{crystal \text{ modifier}}$ 和晶面的晶面能 $E_{surface}$ 。利用公式 $E_{binding} = E_{total} - E_{surface} - E_{crystal \text{ modifier}}$ ^[18] 得到晶形控制剂分子在晶面的结合能 $E_{binding}$ 。

由表 2 中的数据可以看出, A_1 在(011)晶面的结合能为 $-297.08 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 高出(011)晶面附着能 $-52.20 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, A_2 在(011)晶面的结合能为 $-679.43 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 高出(011)晶面附着能 $-434.55 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 这说明在真空条件下, A_1 和 A_2 对(011)面的生长均有一定的“阻碍”作用。 A_2 在(011)面的结合能更强, 使之最终显露面积变大, 与实验结果相符。而 A_1 并没有表现出对(011)面的生长“阻碍”作用, 这可能与在实际转晶过程中的溶剂、非溶剂和其它环境因素的影响有关。

A_1 在(110)晶面的结合能为 $-789.69 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 高出(110)晶面附着能 $-487.54 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, A_2 在(110)晶面的结合能为 $-33.44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 比(110)晶面附着能低 $268.70 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。这说明在真空条件下, A_1 在(110)面的结合能较强, 对晶面生长有一定的“阻碍”作用, 使之最终显露面积变大, 与实验结果相符; A_2 则对(110)面的生长没有阻碍作用。

表 2 晶形控制剂分子在(011)和(110)晶体表面的结合能
Table 2 E_{binding} of crystal modifier on the (011) and (110) crystal facet

hkl	crystal modifier	$E_{\text{binding}} / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$E_{\text{total}} / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$E_{\text{surface}} / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$E_{\text{crystal modifier}} / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
(011)	A_1	-297.08	-37583.50	-37293.03	6.61
	A_2	-679.43	-38159.83	-37293.03	-187.37
(110)	A_1	-789.69	-38921.43	-38138.35	6.61
	A_2	-33.44	-38359.16	-38138.35	-187.37

4 结 论

(1) 选择醇类化合物 A_1 和羧酸类化合物 A_2 作为 HNIW 乙酸乙酯-环己烷体系的晶形控制剂, 使 ε -HNIW 晶体的最终形貌发生改变, 晶体表面更加光滑, 表面缺陷减少。

(2) 与无晶形控制剂转晶得到的 ε -HNIW 晶体进行比较发现, $\{110\}$ 和 $\{011\}$ 晶面族变化最为明显, 以 A_1 为晶形控制剂的晶体 $\{110\}$ 晶面族面积增加, 以 A_2 为晶形控制剂的晶体 $\{011\}$ 晶面族面积增加。证明 A_1 “阻碍” $\{110\}$ 晶面族的生长, 而 A_2 对 $\{011\}$ 晶面族的生长“阻碍”作用明显。

(3) 采用 PBC 法计算晶形控制剂在 $\{110\}$ 和 $\{011\}$ 晶面族的结合能。在真空条件下, A_1 在(110)面的结合能较强, A_2 与(011)晶面结合能较强, 均能

阻碍相应晶面的生长, 与实验结果吻合。

参考文献:

- [1] 欧育湘, 贾会平, 陈博仁, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷的研究进展(3)-六硝基六氮杂异伍兹烷晶型研究[J]. 含能材料, 1999, 7(2): 49-52.
OU Yu-xiang, JIA Hui-ping, CHEN Bo-ren. Research progress of hexanitrohexaazaisowurtzitane (3) - studies on polymorphs of hexanitrohexaazaisowurtzitane[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 1999, 7(2): 49-52.
- [2] 欧育湘, 刘进全, 孟征, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷转晶工艺最新研究进展[J]. 含能材料, 2005, 13(2): 124-127.
OU Yu-xiang, LIU Jin-quan, MENG Zheng. Recent development on crystal transition technology of hexanitrohexaazaisowurtzitane [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(2): 124-127.
- [3] Heijden A E, Bouma R H B. Crystallization and characterization of RDX, HMX, and CL-20[J]. *Crystal Growth & Design*, 2004, 4(5): 999-1007.
- [4] Degirmenbasi N, Peraltainga Z, Olgun U, et al. Recrystallization of CL-20 and HNFEX from solution for rigorous control of the polymorph type: part II, experimental studies[J]. *Journal of Energetic Materials*, 2006, 24: 103-139.
- [5] Xu X J, Zhu W H, Xiao H M. DFT studies on the four polymorphs of crystalline CL-20 and the influences of hydrostatic pressure on ε -CL-20 crystal [J]. *J Phys Chem B*, 2007, 111: 2090-2097.
- [6] 候长军, 霍丹群, 唐晓萍. 结晶添加剂对硫酸钾结晶过程影响研究[J]. 海湖盐与化工, 2002, 31(2): 20-24.
HOU Chang-jun, HUO Dan-qun, TANG Xiao-ping. Study of the crystallization of K_2SO_4 solution and additives effect on the crystallization[J]. *Sea-lake Salt and Chemical Industry*, 2002, 31(2): 20-24.
- [7] Li T, Morris K R, Park K. Influence of solvent and crystalline supramolecular structure on the formation of etching patterns on acetaminophen single crystals: a study with atomic force microscopy and computer simulation [J]. *Crystal Growth & Design*, 2000, 104(9): 2109-2032.
- [8] Pino-Garcia O, Rasmuson A C. Influence of additives on nucleation of vanillin: experiments and introductory molecular simulations[J]. *Crystal Growth & Design*, 2004, 4(5): 1025-1037.
- [9] Poornachary S K, Chow P S, Tan R B H. Molecular speciation controlling stereoselectivity of additives: impact on the habit modification in -glycine crystals[J]. *Crystal Growth & Design*, 2007, 7(2): 254-261.
- [10] 王相元, 李伟明, 王建龙. 炸药结晶晶形控制技术研究进展[J]. 山西化工, 2009, 29(1): 29-32.
WANG Xiang-yuan, LI Wei-ming, WANG Jian-long. Advance on the control technology of explosive crystal morphology [J]. *Shanxi Chemical Industry*, 2009, 29(1): 29-32.
- [11] 王元元, 刘玉存, 王建华. 降感 RDX 的制备及晶形控制[J]. 火炸药学报, 2009, 32(2): 44-47.
WANG Yuan-yuan, LIU Yu-cun, WANG Jian-hua. Preparation and crystal control of desensitized-RDX [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(2): 44-47.
- [12] Duddu R, Dave P R. Process and compositions for nitration of nitric acid at elevated temperatures to form HNIW and recovery of gamma HNIW with high yields and purities and crystallizations

- to recover epsilon HNIW crystals[P]: USP6160113, 2000.
- [13] Hamilton R S. Crystallization of 2, 4, 6, 8, 10, 12-hexanitro2, 4, 6, 8, 10, 12-hexaazetetracyclo [5.5.0.0.0 <5,9 >.0 <3,11 >] dodecane: US2003/0130503A₁[P], 2003.
- [14] 杨利, 王绍宗, 赵鹏娟. 超细 CL-20 晶形控制技术[J]. 含能材料, 2008, 16(3): 254-257.
YANG Li, WANG Shao-zong, ZHAO Peng-juan. Morphology controlling technique for submicron CL-20[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(3): 254-257.
- [15] 仲维卓, 华素坤. 晶体生长形态学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
ZHONG Wei-zhuo, HUA Su-kun. Crystal growth morphology [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [16] McNesby K L, Wolfe J E, Morris J B, et al. Fourier transform Raman Spectroscopy of some energetic materials and propellant formulations[J]. *Raman Spectrosc*, 1994, 25: 75-87.
- [17] Goede P, Latypov N V, Östmark H. Fourier transform raman spectroscopy of the four crystallographic phases of α , β , γ and ϵ 2, 4, 6, 8, 10, 12-Hexanitro-2, 4, 6, 8, 10, 12-hexaazetetracyclo[5.5.0.0.05, 9.03, 11] dodecane (HNIW, CL-20)[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2004, 29(4): 205-208.
- [18] 张朝阳, 舒远杰, 赵小东. 两种氟聚合物在 TATB 晶体表面吸附的动力学模拟[J]. 含能材料, 2005, 13(4): 238-240.
ZHANG Chao-yang, SHU Yuan-jie, ZHAO Xiao-dong. Dynamics simulation of adsorptions of two fluorine-polymers on TATB crystal surfaces[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(4): 238-240.

Effect of Crystal Modifier on Crystal Morphology of ϵ -HNIW

MENG Zheng^{1,2}, WEI Hong-yuan¹

(1. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: The effects of alcohol compound (A_1) and carboxylic compound (A_2) as crystal modifiers on the crystal morphology of ϵ -HNIW were investigated by the process of crystal transition from γ -HNIW to ϵ -HNIW in the ethyl acetate/cyclohexane system. It has been found by scanning electron microscope (SEM) that the crystal shape of ϵ -HNIW changes and the crystal surface is smoother with less surface defects. Compared with the crystals obtained without crystal modifier, the area of $\{110\}$ planes of the crystal obtained with A_1 , and the area of $\{011\}$ planes of the crystal obtained with A_2 are increased. It is proved that A_1 could inhibit the growth of $\{110\}$ planes and A_2 could inhibit the growth of $\{011\}$ planes. The interaction between crystal modifiers and ϵ -HNIW crystal surface is studied by molecular dynamic simulation, which is consistent with the experimental results.

Key words: chemical engineering; crystal modifiers; crystal transition; ϵ -HNIW; planes

CLC number: TJ55; O74

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.02.010



中国兵工学会火工烟火专业第十六届学术年会征文通知

为促进我国火工烟火行业的创新发展,中国兵工学会火工烟火专业第十六届学术年会拟于2011年三季度召开。

会议征文内容包括:

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1、国内外火工品及相关药剂、烟火剂的基础理论、关键技术; | 5、火工品安全性、可靠性评估新方法、新理论; |
| 2、国内外火工品、爆破器材、烟火器材的发展趋势及动态分析; | 6、火工品及相关药剂测试分析新技术、新方法及仪器设备; |
| 3、国内外火工品及相关药剂的新工艺、新材料、新方法; | 7、火工品及烟火器材应用研究; |
| 4、火工品及相关药剂、爆破器材、烟火器材安全生产、贮运及销毁新技术; | 8、十二五火工烟火技术的发展趋势及动态分析。 |

来稿请写明作者姓名、性别、职称、职务、单位名称、从事研究工作内容、通信地址、邮编、电话、手机、E-mail,以便联系。

征文截稿日期为2011年7月10日。

联系人: 王建华 电话: 029-85333470、13152441200 E-mail: hgxx2005@163.com

地址: 西安市99号信箱兵工学会 邮编: 710061