

文章编号: 1006-9941(2012)02-0155-06

WPU-g-SAN 的合成及其对 HNIW 的包覆

廖肃然^{1,2}, 罗运军¹, 孙杰³, 谭惠民¹

(1. 北京理工大学材料学院, 北京 100081; 2. 河南工程学院材料与化学工程系, 河南郑州 450007; 3. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川绵阳 621900)

摘要: 为了降低六硝基六氮杂异伍兹烷(HNIW, CL-20)的撞击感度, 利用原位种子乳液聚合, 以异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI)、甲基丙烯酸- β -羟乙酯(HEMA)、苯乙烯(S)、丙烯腈(AN)等为原料合成了用于降感的接枝型水性聚氨酯(WPU-g-SAN), 采用红外光谱(FTIR)、核磁共振(¹H NMR)、X-射线衍射(WAXD)及动态力学分析(DMA)对产物结构进行表征。结果显示所得产物为非晶结构, 且存在微相分离。用制备的产物对 HNIW 进行包覆, 通过 X-射线光电子能谱(XPS)、扫描电镜(SEM)对包覆效果进行评价, 并用 GJB772A-1997 方法测试了 HNIW 包覆前后的撞击感度。结果表明, 包覆后的 HNIW 的特性落高 H_{50} 由 13.6 cm 提高到 28.5 cm。

关键词: 高分子化学; 接枝型水性聚氨酯(WPU-g-SAN); 原位种子乳液聚合; 六硝基六氮杂异伍兹烷(HNIW, CL-20); 撞击感度
中图分类号: TJ55; O63 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.02.004

1 引言

撞击感度是含能材料的一项重要性质, 是决定炸药能否安全使用的关键因素之一^[1-2]。六硝基六氮杂异伍兹烷(HNIW), 是迄今批量合成的能量最高的硝胺类化合物^[3-4], 由于其撞击感度较高(特性落高 25 ~ 27 cm)^[3,5-6], 影响了其安全使用性。选择适当的聚合物对其进行包覆处理, 降低感度, 一直是科研工作者研究的课题之一。如金韶华等^[7-8]研究了石蜡、氟橡胶、丁腈橡胶、聚碳酸酯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物对 HNIW 撞击感度的影响; 陈健等^[9]用 Estane 包覆 HNIW 制得了新型高能钝感传爆药; 美国劳伦斯利弗莫尔实验室用 Estane 作粘合剂研制的炸药配方 LX19^[10]; 杨寅等^[11]用热塑性聚氨酯对其进行包覆降感用于火箭推进剂; 马婷婷等^[12]用聚氨酯和聚醋酸乙烯胶作为粘结剂, 石蜡作为钝感剂制备了 CL-20 高聚物粘结炸药(PBX)。以上方法在进行包覆或加工过程中都离不开有机溶剂, 污染环境, 增加成本。而利用水性聚氨酯对炸药进行包覆不需要有机溶剂, 操作安全。孟征等^[13]利用破乳法研究了水性聚氨酯包覆 HNIW, 探讨了包覆条件对其感度的影响; 笔

者^[14-15]曾探讨了甲苯二异氰酸酯(TDI)、异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI)型水性聚氨酯对 HNIW 感度的影响, 而接枝型水性聚氨酯对 HNIW 的感度影响尚未见报道。本研究以 IPDI 为主要原料, 首先合成端羟基水性聚氨酯, 然后以此作为种子乳液, 加入苯乙烯(S)、丙烯腈(AN)进行原位乳液聚合, 制备接枝型水性聚氨酯。利用水挥发法, 对 HNIW 进行包覆, 探讨其对 HNIW 撞击感度的影响。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

试剂: 异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI)含量 >99.5%, 德国 Degussa AG 公司; 1,4-丁二醇(BDO), CP, 上海凌峰化学试剂有限公司; 聚氧化丙烯二醇(PPG), TDB2000, 天津石化公司聚醚部, 使用前 80 °C 真空干燥处理 3 h; 二羟甲基丙酸(DMPA), AR, 比利时 ACROS 公司; 二月桂酸二丁基锡, CP, 天津化学试剂一厂; 三苯基铋(TPB), 黎明化工研究院; 偶氮二异丁腈(AIBN), CP, 上海试剂四厂; 甲基丙烯酸- β -羟乙酯(HEMA), 含量 >98%, 天津市化学试剂研究所; 苯乙烯(S), AR, 北京化学试剂公司; 丙烯腈(AN), CP, 北京益利精细化学品有限公司。

2.2 合成、包覆与测试

2.2.1 原位聚合制备接枝型水性聚氨酯

准确称量 PPG 11.23 g、DMPA 1.08 g 和 IPDI

收稿日期: 2011-04-07; 修回日期: 2011-09-21

基金项目: 国家自然科学基金资助(批准号: 10276007)

作者简介: 廖肃然(1965-), 男, 副教授, 主要从事高分子合成研究。
e-mail: bitsrliao@126.com

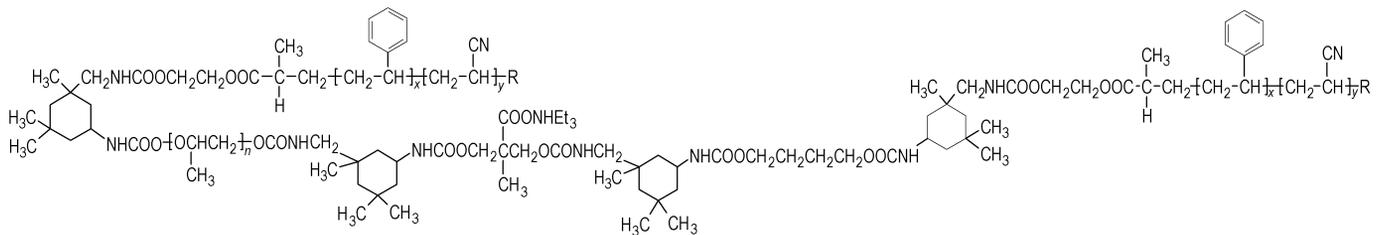
8.25 g置于带有回流冷凝器及搅拌器的 250 mL 四口瓶中,在氮气保护下加热至 50 ~ 90 °C,滴加适量催化剂溶液,反应 2 ~ 3 h,滴加 BDO 1.78 g 约 0.5 h后,滴加 HEMA 0.88 g,继续反应 2 h 左右,将体系温度降到 40 °C 以下,加入 TEA 0.79 g,反应 0.5 ~ 1 h,加入 120 mL 的去离子水,40 ~ 50 °C 剧烈搅拌 20 ~ 30 min,即得乳白色端烯基水性聚氨酯,标为 WPU。取出一半留作他用,另一半在氮气保护下加热至 60 ~ 90 °C,加

入 S 5.57 g, AN 8.36 g, 10 min 后加入适量的 AIBN,反应 3 ~ 6 h,即得接枝型水性聚氨酯乳液,标为 WPU-g-SAN。WPU 和 WPU-g-SAN 的分子结构示意图如 Scheme 1 和 Scheme 2 所示。

取适量端烯基水性聚氨酯乳液和接枝型水性聚氨酯乳液分别置入聚四氟乙烯 (PTFE) 模板中,待水挥发成膜后,置入真空烘箱在 50 °C 脱水 6 h,即得二者的薄膜。



Scheme 1 molecular structure of WPU



Scheme 1 molecular structure of WPU-g-SAN

2.2.2 接枝型水性聚氨酯对 HNIW 的包覆

采用水挥发法包覆,利用合成的接枝型水性聚氨酯乳液,按一定的比例(粘合剂质量分数为 2.5% 和 3.5%)置入已称量好的 HNIW 药粉中,不断搅拌,直到溶剂完全挥发,自然晾干,得到包覆的 HNIW。

2.2.3 红外 (FTIR) 测试

采用美国 Thermo electron corporation 公司 Nicolet 8700 FTIR 型红外光谱仪,分别取产物薄膜适量配置成三氯甲烷稀溶液,涂覆在 KBr 晶片上,待溶剂挥发后测试。

2.2.4 X-射线衍射 (XRD) 测试

采用荷兰 PANalytical PW3040 X 射线衍射仪, $\text{CuK}\alpha_1 = 1.5406$, $\text{K}\alpha_2 = 1.5444$, $\text{K}\beta = 1.3922$,产物薄膜直接测试。

2.2.5 动态力学分析 (DMA) 测试

采用美国 TA Instruments DMA 2980 Dynamic Mechanical Analyzer 仪器测试,拉伸模式,升温速率为 $5\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,样条尺寸 $20\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 0.15\text{ mm}$ 。

2.2.6 光电子能谱 (XPS) 测试

HNIW 包覆前后的 X-射线光电子能谱在 PERKIN-ELMER Physics Electronics 公司的 PHI5300

谱仪上采集。

2.2.7 撞击感度测试

按 GJB772A-1997 标准测试撞击感度,锤重 5 kg,样品量 50 mg,每组有效试验发数不少于 25 发。

2.2.8 扫描电子显微镜 (SEM) 测试

炸药试样采用 FEI QUANTA 200F 场发射环境扫描电子显微镜,低温低真空度模式。

3 结果与讨论

3.1 接枝型水性聚氨酯的表征

图 1 给出了水性聚氨酯的 FTIR 谱图。由图 1 可知,端烯基的水性聚氨酯在 2260 cm^{-1} 左右不存在吸收峰,意味着原料中 -NCO 作用完全。 3330 cm^{-1} 为 N-H 的伸缩振动吸收峰、 1706 cm^{-1} 处为 C=O 的伸缩振动特征强吸收峰, 1538 cm^{-1} 为 N-H 弯曲振动和 C-N 伸缩振动混合吸收峰, 1241 cm^{-1} 处的吸收为酯基中的 C-O-C 非对称伸缩振动, 1108 cm^{-1} 处的吸收峰为醚型 C-O-C 的伸缩振动吸收峰, 3066 cm^{-1} 处为 C=CH_2 中 C-H 伸缩振动吸

收,因含量低,较弱,说明烯键封端成功。2968 ~ 2871 cm^{-1} 四峰分别为甲基— CH_3 和亚甲基— CH_2 —的伸缩振动吸收。接枝型水性聚氨酯在 2237 cm^{-1} 存在一吸收尖峰,为— CN 基吸收,说明产物中含有丙烯腈单元; 3081, 3060, 3027 cm^{-1} 处的小峰吸收为苯环上 C—H 的伸缩振动,1602, 1494 cm^{-1} 为苯环的骨架吸收,761, 700 cm^{-1} 为单取代苯环上 H 的面外振动,说明产物中含有苯乙烯单元。

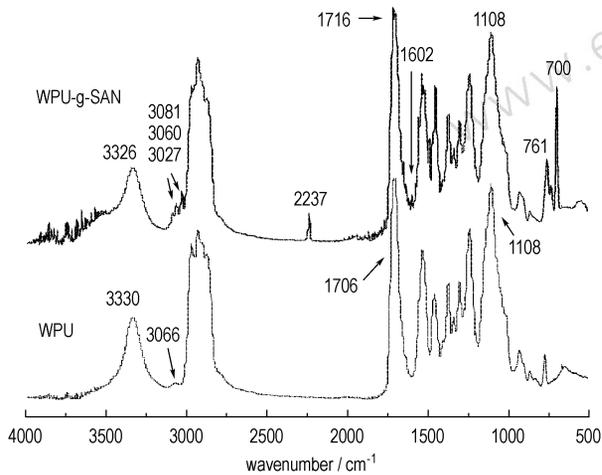


图 1 WPU-g-SAN 的 FTIR 谱图

Fig. 1 FTIR spectra of WPU and WPU-g-SAN

图 2 为端烯基型水性聚氨酯的 ^1H NMR 谱图,其中 $\delta = 4.008$ 为— NHCOO —中 H 的化学位移; $\delta = 3.380 - 3.759$ 属于醚键相连的 α 碳上的 H 和— NHCOO —相连的 α 碳上 H 的化学位移,说明合成的产物为聚氨酯; $\delta = 2.885$ 为 TEA 中亚甲基— CH_2 —上 H 的化学位移,说明链上含有 DMPA 单元; $\delta = 1.628$ 为 BDO 单元中 β 碳上 H 和 IPDI 单元环上处于间位的三个碳上 H 的化学位移; $\delta = 0.920 - 1.111$ 是 PPG 链上甲基和 IPDI 单元环上甲基及 TEA 中甲基上 H 的化学位移, $\delta = 6.1, 5.8$ 分别归属于封端双键上 $\text{C}=\text{CH}_2$ 顺位和反位上的两个 H 的化学位移,因含量低,峰很弱,说明水性聚氨酯链端为双键。

图 3 为接枝型水性聚氨酯的 ^1H NMR 谱图,与端烯基的水性聚氨酯相比,增加了六个新峰,分别为 $\delta = 7.187, 6.905$ 为苯环上 H 的化学位移; $\delta = 4.263, 4.126$ 为 HEMA 单元羟乙酯上(— CH_2CH_2 —)基中两个碳上 H 的化学位移; $\delta = 1.829, 1.900$ 分别是 SAN 链上与苯基和氨基相连的两个 β 碳上 H 的化学位移,说明产物分子链上存在苯乙烯和丙烯腈单体单元结构,得到预期的产物。

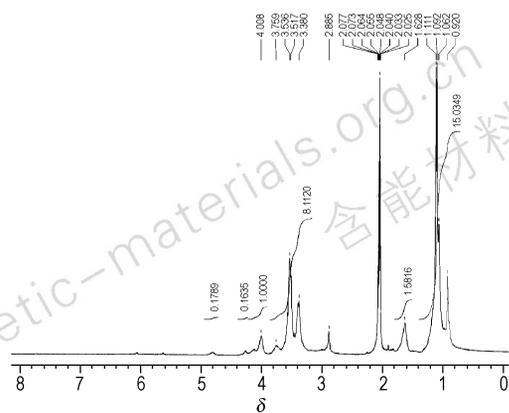


图 2 端烯基 WPU 的 ^1H NMR 谱图

Fig. 2 ^1H NMR spectrum of WPU

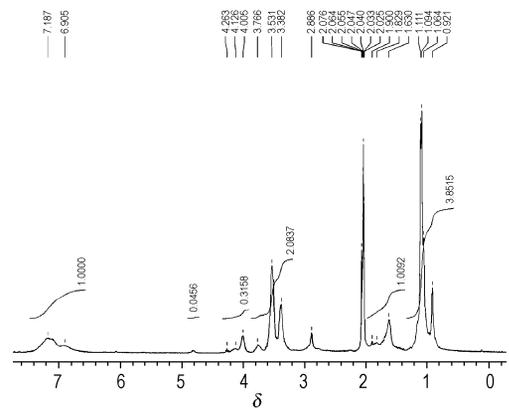


图 3 WPU-g-SAN 的 ^1H NMR 谱图

Fig. 3 ^1H NMR spectrum of WPU-g-SAN

图 4 为 IPDI 型水性聚氨酯 WPU-g-SAN 的 XRD 衍射图。可以看出,衍射曲线上没有出现明显的结晶锐衍射峰,只是在 20° 出现了单一的漫射峰,表明接枝共聚物为非晶形态。因为共聚物主链上含有的 IPDI、苯乙烯、丙烯腈单元都为非对称结构,粘合剂的无定形结构有利于对炸药的包覆。

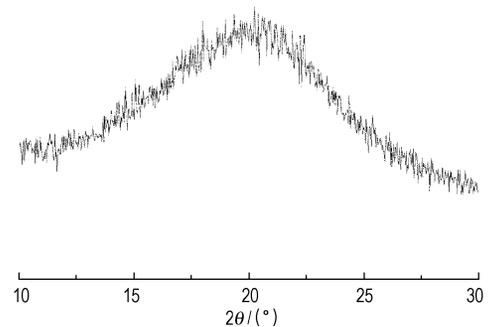


图 4 WPU-g-SAN 的 XRD 衍射图

Fig. 4 XRD pattern of WPU-g-SAN

图5是接枝型水性聚氨酯的DMA曲线,存在两个玻璃化转变温度,说明接枝共聚物存在微相分离结构。其低温玻璃化转变温度 T_{g1} 为 $-39.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,是水性聚氨酯软段的转变,高温玻璃化转变温度 T_{g2} 为 $93.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,属于接枝型水性聚氨酯中硬段、苯乙烯单元和丙烯腈单元的转变,没有分峰,说明体系中聚氨酯硬段、苯乙烯单元和丙烯腈单元有一定的相容性。由曲线得到材料的维卡软化点为 $92.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (DMA曲线中,贮能模量为 6.47 MPa 时对应的温度)。

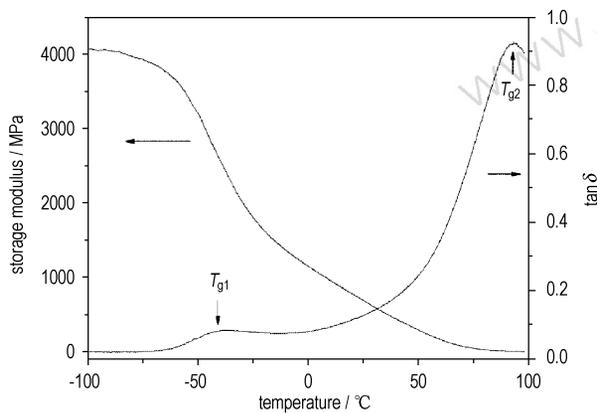


图5 WPU-g-SAN的DMA曲线

Fig.5 DMA curves of WPU-g-SAN

而对于感度较高的单质炸药,制备PBX时需用橡胶状粘合剂^[16]。由上述分析结果看出,合成的接枝型水性聚氨酯属于非晶结构,分子链上既有软段赋予材料柔性特征,又有硬段和和苯乙烯、丙烯腈单元赋予材料一定的强度,适于对炸药晶体进行包覆。

3.2 接枝型水性聚氨酯对HNIW的包覆效果

HNIW包覆前后的X-射线光电子能谱的元素组成结果见表1。从HNIW和WPU-g-SAN的分子组成上看,都含有C、N和O三种原子,其中HNIW中N、O原子含量高,而接枝聚合物中除了H原子外,C原子最多,O、N相对较少。故包覆后,N原子含量由包覆前的23.93%降到17.27%,而C元素含量则由包覆前的38.97%升到50.39%,O原子含量也相应降低。C、N和O原子的数量比也反映相同的信息,说明包覆有效。

HNIW包覆前后的撞击特性落高见表2。由表2可以看出,合成的接枝型水性聚氨酯对HNIW包覆后有明显的降感作用,且随着用量的增大,特性落高提高,在包覆量为3.5%时,特性落高由13.6 cm提高到28.5 cm,降感效果较好。

为进一步分析接枝型水性聚氨酯WPU-g-SAN包覆HNIW降感的原因,对包覆前后的HNIW进行了SEM分析,结果分别如图6和图7所示。可见,包覆前(图6)HNIW晶体近似为棱形,尖角比较明显;而包覆后(图7)HNIW晶体则通过粘结剂团聚成近似椭圆形,与包覆前相比,炸药晶体锐利边缘减少,有利于降低热点产生的概率,使感度降低,这与文献^[17]的结果一致。另一方面,接枝聚合物中苯乙烯、丙烯腈组分和聚氨酯中的硬段部分,提供PBXs的强度,且便于加工,而聚氨酯软段属于柔性成分,塑性较好,易变形,在炸药受到机械作用时,这些物质很容易填充在炸药晶粒之间,分隔了炸药晶粒与晶粒间的直接接触,降低晶体孔隙率,从而减少了热点^[18],有利于降感。

表1 接枝型水性聚氨酯对HNIW包覆前后的XPS数据

Table 1 XPS data for HNIW and HNIW coated with WPU-g-SAN

sample	peak area percentage/%			peak area ratio C: N: O
	C _{1s}	N _{1s}	O _{1s}	
HNIW	38.97	23.93	37.10	1.63 : 1 : 1.55
96.5% HNIW, 3.5% WPU-g-SAN	50.39	17.27	32.34	2.92 : 1 : 1.87

表2 HNIW包覆前后的撞击感度

Table 2 Impact sensitivity of HNIW and HNIW coated with WPU-g-SAN

composition	H ₅₀ / cm
100% HNIW	13.6
98.0% HNIW, 2% WPU-g-SAN	18.4
96.5% HNIW, 3.5% WPU-g-SAN	28.5

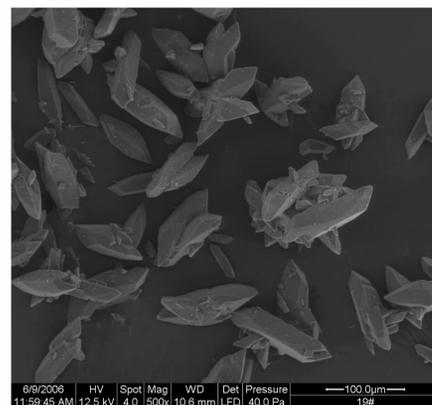


图6 HNIW的SEM照片

Fig.6 SEM micrograph of HNIW

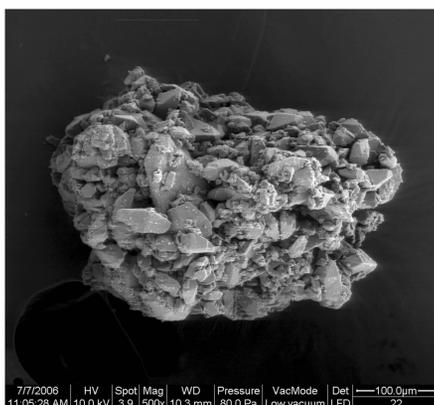


图 7 WPU-g-SAN 包覆后的 SEM 照片

Fig.7 SEM micrograph of HNIW coated with WPU-g-SAN

4 结 论

(1) 采用二步法合成了端烯基水性聚氨酯, 然后进行原位种子乳液聚合, 得到了水性聚氨酯与苯乙烯、丙烯酸腈的接枝共聚物, 其为非晶结构且存在微相分离。

(2) 利用合成的接枝共聚物包覆 HNIW, 包覆后 HNIW 的特性落高 H_{50} 由 13.6 cm 提高到 28.5 cm, 降感效果较好。

参考文献:

- 王睿, 蒋军成, 潘勇, 等. QSPR 方法预测硝胺化合物撞击感度[J]. 固体火箭技术, 2009, 32(6): 667-672.
WANG Rui, JIANG Jun-cheng, PAN Yong, et al. Prediction of impact sensitivity of nitramine with QSPR method[J]. *Chinese Journal of Solid Rocket Technology*, 2009, 32(6): 667-672.
- 松全才, 杨崇惠, 金韶华. 炸药理论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997: 26-27.
SONG Quan-cai, YANG Chong-hui, JIN SHao-hua. Explosive Theory[M]. Beijing: Chinese Ordnance Press, 1997: 26-27.
- Cumming Adam S. New trends in advanced high energy materials[J]. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2009, 1(2): 161-166.
- Szczygielska Joanna, Chlebna Sandra, Maksimowski Pawel, et al. Friction sensitivity of the ϵ -CL-20 crystals obtained in precipitation process[J]. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2011, 8(2): 117-130.
- 欧育湘, 王才, 潘则林, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷的感度[J]. 含能材料, 1999, 7(3): 100-102.
OU Yu-xiang, WANG Cai, PAN Ze-lin, et al. Sensitivity of Hexanitrohexaazaisowurtzitane[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 1999, 7(3): 100-102.
- Walley S M, Field J E, Greenaway M W. Crystal sensitivities of energetic materials[J]. *Materials Science and Technology*, 2006, 22(4): 402-413.
- 金韶华, 于昭兴, 刘进全, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷的机械撞击感度[J]. 火炸药学报, 2004, 27(2): 17-19, 22.
JIN Shao-hua, YU Zhao-xing, LIU Jin-quan, et al. Impact Sensitivity of Hexanitrohexaazaisowurtzitane[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2004, 27(2): 17-19, 22.
- 金韶华, 于昭兴, 欧育湘, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷包覆钝感的探索[J]. 含能材料, 2004, 12(3): 147-150.
JIN Shao-hua, YU Zao-xing, OU Yu-xiang, et al. Investigation of Coating-desensitization of Hexanitrohexaazaisowurtzitane (HNIW)[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(3): 147-150.
- 陈健, 王晶禹, 白春华, 等. ϵ -HNIW 基传爆药的制备与表征[J]. 火炸药学报, 2010, 33(4): 56-59.
CHEN Jian, WANG Jing-yu, BAI Chun-hua, et al. Preparation and Characterization of ϵ -HNIW Booster Explosive[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010, 33(4): 56-59.
- Cumming Adam S. New trends in advanced high energy materials[J]. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2009, 1(2): 161-166.
- 杨寅, 罗运军, 酒永斌, 等. 热塑性聚氨酯弹性体包覆 CL-20 及对 NEPE 推进剂性能影响[J]. 固体火箭技术, 2008, 31(4): 358-362, 373.
YANG Yin, LUO Yun-jun, JIU Yong-bin, et al. Influence of CL-20 coated with thermoplastic polyurethane elastomers (TPU) on mechanical properties of NEPE propellant[J]. *Chinese Journal of Solid Rocket Technology*, 2008, 31(4): 358-362, 373.
- 马婷婷, 苟瑞君. PBX 的制备及包覆工艺研究[J]. 山西化工, 2010, 30(4): 13-16.
MA Ting-ting, GOU Rui-jun. Preparation and coating technology of pressed PBX[J]. *Chinese Shanxi Chemical Industry*, 2010, 30(4): 13-16.
- 孟征, 欧育湘, 刘进全, 等. 水性聚氨酯乳液破乳法包覆钝感 ϵ -HNIW 的影响因素[J]. 含能材料, 2007, 15(4): 387-390.
MENG Zheng, OU Yu-xiang, LIU Jin-quan, et al. Desensitizing Efficiency of ϵ -HNIW Coated by Demulsification of Aqueous Polyurethane Emulsion[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(4): 387-390.
- 廖肃然, 罗运军, 孙杰, 等. 水性聚氨酯的合成及其对 CL-20 的包覆[J]. 含能材料, 2006, 15(5): 336-339.
LIAO Su-ran, LUO Yun-jun, SUN Jie, et al. Synthesis of Waterborne Polyurethane and Its Coating on CL-20[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2006, 15(5): 336-339.
- Liao Su-ran, Luo Yun-jun, Sun Jie, et al. Synthesis of Waterborne Polyurethane for Coating on HNIW[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 194-196: 2425-2428.
- Stinecipher Campbell Mary, Garcia Danielle, Idar Deanne. Effects of temperature and pressure on the glass transitions of plastic bonded explosives[J]. *Thermochimica Acta*, 2000, 357-358: 89-95.
- 曾贵玉, 郁卫飞, 聂福德, 等. 超细高氯酸铵(AP)微观结构对机械感度的影响[J]. 火工品, 2007, (5): 16-19.
ZENG Gui-yu, YU Wei-fei, NIE Fu-de, et al. The Effect of Microstructure of Ultrafine Ammonium Perchlorate(AP) on its Mechanical Sensitivity[J]. *Chinese Initiators & Pyrotechnics*, 2007, (5): 16-19.
- Qiu Hongwei, Stepanov Victor, Stasio Anthony R. Di, et al. RDX-based nanocomposite microparticles for significantly reduced shock sensitivity[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 185(1): 489-493.

Preparation of WPU-g-SAN and Its Coating on HNIW

LIAO Su-ran^{1,2}, LUO Yun-jun¹, SUN Jie³, TAN Hui-min¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Material and Chemical Engineering Department, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China;

3. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to reduce the sensitivity of hexanitrohexaazaisowurtzitane (HNIW), the waterborne polyurethane grafted styrene and acrylonitrile copolymer (WPU-g-SAN) were synthesized from isophorone diisocyanate (IPDI), 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), styrene (S) and acrylonitrile (AN) as raw materials by seeded emulsion polymerization in situ. The cast films obtained from WPU-g-SAN were characterized by Fourier transform infrared (FTIR), wide-angle X-ray diffraction (WAXD), nuclear magnetic resonance (¹H NMR) and dynamic mechanical analysis (DMA). The results showed that the title copolymer was amorphous and exhibited a certain degree of phase separation. HNIW and HNIW coated with the WPU-g-SAN were examined by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and scanning electron microscopy (SEM). The impact sensitivity was tested by method of GJB772A-1997. The experimental results indicated that the characteristic height H_{50} of HNIW coated with WPU-g-SAN increases from 13.6 cm to 28.5 cm.

Key words: polymer chemistry; waterborne polyurethane-grafted-styrene and acrylonitrile composite (WPU-g-SAN); seeded emulsion polymerization in situ; hexanitrohexaazaisowurtzitane (HNIW); impact sensitivity

CLC number: TJ55; O63

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.02.004



"研究快报" 征稿启事

为了更好更快地报道含能材料领域的最新成果和进展,为本领域的研究者赢得在科学共同体中的学术优先权,《含能材料》编辑部鼓励广大研究者提供"研究快报"稿件。

研究快报应简要报道含能材料领域的前沿性、创新性研究成果。编辑部鼓励研究者发表新思想、新观点、新原理和新发现,支持报道阶段性的重要研究成果的简要情况。凡被本刊以快报形式刊登的研究成果,编辑部按照国际学术惯例,允许作者以完整的研究论文的形式发表在其他国内外刊物上。

研究快报的来稿要求与投本刊的研究论文基本一致。作者投稿时需要对文章的学术价值和创新性进行简要说明。来稿要求关键数据齐备,结论明确,背景、方法和过程的介绍从简。来稿需有中英文摘要、关键词、作者简介、基金项目等信息。全文篇幅在2页(约4000字)以内。

本刊对研究快报将即审即发,以提高时效性。对有基金支持的英文稿件择优录用。

《含能材料》编辑部