

文章编号: 1006-9941(2003)04-0227-04

国外近年研制的新型不敏感单质炸药

王振宇

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 介绍了国外某些新型不敏感单质炸药的合成和性能, 包括硝基化合物炸药 FOX-7、LLM-105、MTNI、4,6-二硝基苯并氧化咪唑衍生物、PL-1、LLM-116、ANTZ, 硝胺炸药 I-RDX、TEX 以及其它单质炸药 DAAF、DAAzF、DAAT。其中 FOX-7 和 LLM-105 在不敏感弹药中应用前景良好。

关键词: 材料科学; 不敏感炸药; 综述; FOX-7; LLM-105

中图分类号: TQ560.7

文献标识码: A

1 引言

近十几年来, 国外特别重视不敏感弹药的研究。常用于各种武器的 TNT、RDX 和 HMX 等炸药, 在意外的碰撞和冲击作用下曾多次发生爆炸事故, 因而迫切需要改进这些炸药的性能或者研制钝感、能量适中的新型炸药。1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯(TATB)和3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO)是两种典型的不敏感炸药, 在不敏感弹药中已大量使用, 缺点是能量较低, 为此要求新研制的炸药在能量水平上应与 RDX 相当, 并具有较好的钝感性能, 这里介绍国外近年研制的一些新型不敏感单质炸药。

2 新型硝基化合物炸药

2.1 1,1-二氨基-2,2-二硝基乙烯(FOX-7)

瑞典国防研究院 FOA 高能材料研究所^[1]和美国都合成了该化合物。FOX-7 晶体密度 $1.885 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (粉末 X 衍射), 生成热 $\Delta H_f = -133 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 计算爆速 $8870 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。FOX-7 的感度低于 RDX, 而性能与 RDX 相当, 预测其能量为 HMX 的 85% ~ 90%, 它与聚合物相容性好, 具有较高的分子稳定性, 可作为理想的不敏感炸药候选物。目前, 瑞典 FOX-7 的合成已扩大到中试每批生产 7 kg、每天生产两批的规模。瑞典的 NEXDLO Bofors 公司准备将 FOX-7 的生产扩大到工业规模。

2.1.1 FOX-7 的合成

FOX-7 经过两步反应即可合成^[2]。以 2-甲基咪唑为反应物, 将精细研磨的 2-甲基咪唑溶于 92% H_2SO_4 , 在 25 °C 左右加入 HNO_3 ($1.52 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), 冷却加水搅拌, 在反应过程中形成硝化的中间体, 通常硝酸加入一半时该中间体以沉淀形式落下, 反应完毕将混合物加入水-硫酸溶液中搅拌, 硝化的中间体水解成 FOX-7 和 CO_2 , FOX-7 产率约 80%, 在 N-甲基吡咯烷酮和水的混合物中重结晶后得到立方体颗粒(约 30 ~ 800 μm)。FOX-7 生产工艺简单, 随着生产规模扩大, 价格将很有竞争力。

2.1.2 FOX-7 的性能和配方研究

FOX-7^[1,3]具有非常有趣的 V 型晶体结构, 这就是 FOX-7 不存在熔点、溶解度低、摩擦感度和冲击波感度低的原因。BAM 仪(2 kg 落锤)测得 FOX-7 的撞击感度为 126 cm, Julius-Petri 摩擦装置测得 FOX-7 摩擦感度大于 350 N, 而 RDX 的撞击感度和摩擦感度分别是 38 cm 和 120 N, 利用差示扫描量热法(DSC)、热重分析和伍德合金浴技术检测^[4] FOX-7 的热稳定性, DSC 光谱表明 FOX-7 有两个放热峰, 分别是 238 °C 和 281 °C, FOX-7 活化能 $E_a = 234 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, RDX、HMX 的活化能分别是 $167 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $146 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 这表明 FOX-7 热稳定性较 RDX 和 HMX 好。

瑞典已研制了 FOX-7 和粘结剂的浇注成型炸药配方^[4,5], 含能粘结剂体系由聚缩水甘油硝酸酯(polyGLYN)、N-正丁基-N-(2-硝氧基乙基)硝胺(BuNENA)、4,4'-二环己基甲烷二异氰酸酯(H_{21} MDI)组成, 配方对摩擦不敏感, 热稳定性好。FOX-7 在不敏感弹药中应用前景良好, 可作为 B 炸药(RDX/TNT

收稿日期: 2003-04-14; 修回日期: 2003-06-13

作者简介: 王振宇(1968-), 女, 工程师, 从事火炸药科技情报研究。

60/40)的替代物。

2.2 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪-1-氧化物(LLM-105)

美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室(LLNL)^[6] 1993年首次合成了LLM-105,德国和英国也合成了该化合物。LLM-105的密度是 $1.913\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,性能介于HMX和TATB之间,能量比TATB高15%,是HMX的85%,它是一种热稳定性好、低爆速的不敏感炸药。LLM-105有望工业化生产,专家建议用做传爆药或主装药。

2.2.1 LLM-105 合成

德国ICT的合成成分四步进行^[7]。反应原料2,6-二氯吡嗪在市场上购得,第一步是亲核取代反应,2,6-二氯吡嗪在甲醇钠(过量75%)/甲醇中回流得到淡黄色固体2-氯-6-甲氧基吡嗪,产率89%。第二步是硝化反应,用20%发烟硫酸和100%硝酸混合物硝化2-氯-6-甲氧基吡嗪,得到2-氯-6-甲氧基-3,5-二硝基吡嗪黄色固体,产率59%。接着在丙酮中将第二步反应产物用氨水处理,得到橙黄色固体2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪(ANPZ),产率85%。第四步用三氟乙酸和过氧化氢(60%)氧化ANPZ,经过滤洗涤得到黄色粉末状LLM-105,这一步产率92%。四步反应总产率41%,最终产品纯度93%,含有少量ANPZ副产品。

2001年,美国LLNL在试验室合成了2 kg LLM-105,下一步计划使用2,6-二甲氧基-3,5-二硝基吡嗪做中间体在室温下合成LLM-105,与原合成方法相比,在产率上仅有少量下降。

2.2.2 LLM-105 的性能和配方研究

差示扫描量热法分析^[7]表明LLM-105在较宽的温度范围内具有较高的热稳定性,当温度高于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开始分解,在 $343\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有放热分解。美国LLNL的撞击感度试验和一维时间爆炸曲线试验^[6]表明在热稳定性和撞击感度方面LLM-105接近TATB,优于HMX和HNS。据测定^[8]LLM-105的撞击感度 $D_{h_{50}}$ 为117 cm,接近TATB($>177\text{ cm}$),RDX和HMX的 $D_{h_{50}}$ 为 $30\sim 32\text{ cm}$ 。

美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室^[8]研究了多种LLM-105塑料粘结炸药配方,小量安全性试验和Floret试验表明RX-55-AE(97.5%LLM-105/2.5%维通A粘结剂)能量超过超细TATB配方,证明LLM-105是一种有应用前景的高性能不敏感炸药。

2.3 1-甲基-2,4,5-三硝基咪唑(MTNI)^[9]

韩国国防开发局初步预测MTNI的爆炸性能与RDX相当,只是密度略低于RDX,MTNI具有感度低的

优点。过去人们曾研究过此类化合物在医药化学中的应用,很少研究用做炸药或推进剂,由于多硝基咪唑良好的爆轰性能,现在它重新引起了人们的注意。

MTNI的合成成分六步进行:第一步将咪唑硝化为4-硝基咪唑;再用硝酸乙酰酯(AcONO_2)处理4-硝基咪唑后得到1,4-二硝基咪唑,这一步需两天时间,主要杂质是约3%的4-硝基咪唑,可用二氯甲烷除去;第三步1,4-二硝基咪唑在氯苯中回流热重排得到2,4-二硝基咪唑;第四步2,4-二硝基咪唑在混酸中硝化成2,4,5-三硝基咪唑。用饱和的 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{KCl}$ 溶液沉淀上述产物得到2,4,5-三硝基咪唑钾。2,4,5-三硝基咪唑钾在醚溶液中与 CH_2N_2 反应得到最终产物。

测得MTNI的密度 $1.752\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,高于B炸药,略低于RDX。根据计算MTNI固相生成热是 $170\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。Julius Peter测定仪检测结果表明MTNI的撞击感度与B炸药相似,摩擦感度和TNT一样,说明MTNI是不敏感的。热重分析表明MTNI在 $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 前是稳定的, $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始挥发, $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 达到峰温。差示扫描量热法测得MTNI的熔点为 $82\text{ }^{\circ}\text{C}$,这意味着MTNI可用做熔铸炸药的配方。

尽管MTNI的性能至多接近RDX,但是MTNI的炸药配方具有不敏感性和熔点低这两个优点。由于MTNI的熔点非常接近TNT,而且MTNI比TNT能量更高,韩国国防开发局认为MTNI将是替代TNT的优秀候选物。

2.4 4,6-二硝基苯并氧化咪唑衍生物^[10]

印度高能材料研究试验室发现苯并氧化咪唑类新型炸药分子既具有杂环硝胺的能量,还有芳环的稳定性;与硝基类似物相比,氧化咪唑环密度高,同时亚胺基团感度低,因此苯并氧化咪唑衍生物稳定性好、性能优良,可用做不敏感弹药中的高能填料。

这三种新型4,6-二硝基苯并氧化咪唑衍生物的合成方法:用吡啶、三氯化磷处理2,4,6-三硝基间苯二酚得到1,3-二氯-2,4,6-三硝基苯,氯化产物经叠氮作用和随后的环化作用生成7-氯-4,6-二硝基苯并氧化咪唑,7-氯-4,6-二硝基苯并氧化咪唑分别和4-硝基苯胺、3,5-二硝基苯胺、2,4,6-三硝基苯胺进行缩合反应得到最终产物7-(4-硝基苯胺基)-4,6-二硝基苯并氧化咪唑(1)、7-(3,5-二硝基苯胺基)-4,6-二硝基苯并氧化咪唑(2)、7-(2,4,6-三硝基苯胺基)-4,6-二硝基苯并氧化咪唑(3),得到的目标产物1、2、3具有高产率和高纯度。

这三种化合物表现出中等强度的爆炸性质、具有

长期热稳定性。与 RDX、HMX 和特屈儿相比较,1、2、3 对摩擦和撞击不敏感。3 的能量最高,这是由于 3 具有较高的氧平衡和较低的 H 含量,3 的性能和特屈儿(爆速 $7\,700\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)不相上下。3 在对热稳定和性能要求较高的场合有良好应用前景,这三种化合物适宜大规模生产,原材料价格便宜、容易得到。

2.5 2,4,6-三(3',5'-二氨基-2',4',6'-三硝基苯胺)-1,3,5-三嗪(PL-1)^[11]

印度高能材料研究试验室开发的杂环化合物 2,4,6-三(3',5'-二氨基-2',4',6'-三硝基苯胺)-1,3,5-三嗪(PL-1)具有优良的不敏感性和热稳定性。PL-1 的合成步骤:氰尿酸氯与 3,5-二氯苯胺缩合后,接着硝化、胺化得到最终产物,总产率 29%~31%。PL-1 在 335 °C 开始分解(DTA10/min),密度 $2.02\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (在密度瓶中测定)爆速 $7\,861\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、氧平衡 -59.36%、对摩擦(约 36 kg)和撞击(50% 爆炸高度,170 cm)不敏感,PL-1 性能优于能量适中的热稳定性炸药 PYX,PL-1 的综合性能和 TATB 相当。

2.6 4-氨基-3,5-二硝基吡啶(LLM-116)^[12]

LLM-116 是美国劳伦斯·利弗莫尔国家试验室合成的,在 2 当量的叔丁基氧化钾($\text{K}^+\text{Ot-Bu}$)存在下,将 3,5-二硝基吡啶和 1,1,1-三甲基胍碘化物(TMHI,在二甲基亚砷溶液中)反应合成,产率 70%。LLM-116 密度 $1.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,是已知含有氨基和硝基的五元杂环中密度最高的。178 °C 分解、 $D_{h_{50}} = 165\text{ cm}$,预测能量是 HMX 的 90%。

2.7 4-氨基-5-硝基-1,2,3-三唑(ANTZ)^[12]

ANTZ 分四步合成,分解点 297 °C,比 5-氨基-3-二硝基-1,2,4-三唑(ANTA)热稳定性好,ANTZ 的 $D_{h_{50}} = 154\text{ cm}$,对火花和摩擦不敏感,ANTZ 和氯代硝基芳烃反应能生成一系列 ANTZ 替代物。

3 硝胺炸药

3.1 不敏感 RDX (I-RDX)^[13]

法国火炸药公司(SNPE)研制出了不敏感 RDX (I-RDX)、I-RDX 和普通的 RDX (M-RDX)在铸装 PBXN-109 炸药中通过大隔板试验、特大隔板试验、临界药径试验、飞片撞击试验、楔形药柱试验,说明装有 I-RDX 的炸药感度低于装填 M-RDX 的炸药,证实 I-RDX 性能确实好于 M-RDX,现在 I-RDX 的生产工艺仍然保密。美国国防部得知消息后,于 2000 年 5 月启动了一个评价 SNPE I-RDX 的计划。如果这种 I-RDX 的不敏感性得到证实,那么对加速普通弹药的不敏感

化有广泛的应用前景。

3.2 4,10-二硝基-2,6,8,12-四氧杂-4,10-二氮杂四环[5.5.0.0^{5,9}.0^{3,11}]十二烷(TEX)

TEX 已研究多年,美国 ATK 公司聚硫推进部^[14]准备将 TEX 合成扩大到 75 升反应器规模,原料四羟基二甲酰基哌嗪(THDFP)很容易得到,可用廉价材料合成。他们预测 TEX 在不敏感弹药中有应用前景。但是,捷克斯洛伐克学者^[15]认为尽管 TEX 的很多性能表现适于做低易损炸药,不过 TEX 还没有得到实际应用。主要原因是 TEX 感度略高,在装药含量相同条件下,TEX 的炸药配方性能不如 NTO 的配方。

4 其它单质炸药

4.1 3,3'-二氨基-4,4'-氧化偶氮呋咱(DAAF)和 3,3'-二氨基-4,4'-偶氮呋咱(DAAzF)^[16]

最近,美国洛斯·阿拉莫斯科学研究所继俄罗斯之后合成了 DAAF 和 DAAzF。这两种含有氨基的呋咱衍生物不太敏感,还能提供合适的氧平衡。

4.1.1 DAAF 和 DAAzF 的合成

美国模仿俄罗斯 DAAF 的制备方法,步骤为:在 18 °C 条件下,用 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ 氧化 3,4-二氨基呋咱生成可溶的绿色亚硝基-氨基呋咱,搅拌 24 小时后中间产物亚硝基-氨基呋咱转变成不溶的橙黄色 DAAF,产率 88%。用少量的 DMSO 重结晶后得到纯的 DAAF。

DAAzF 制备过程是:先将 DAAF 制成 3,3'-二氨基-4,4'-氢化偶氮呋咱,然后再由 3,3'-二氨基-4,4'-氢化偶氮呋咱制备 DAAzF。美国还研究出了 DAAzF 合成的新方法,用醋酸和锌还原 DAAF 生成一种胍的中间体,接着通过冒气的甲醇溶液氧化成 DAAzF。

4.1.2 DAAF、DAAzF 的性能和 DAAzF 在炸药配方中的应用

DAAF 晶体密度 $1.747\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,生成热 $+443\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,测定 DAAF 爆速 $8\,020\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。DSC 测定 DAAF 在 248 °C 开始分解。DAAF 落锤感度大于 320 cm(2.5 kg 落锤,12 型)、对火花($>0.36\text{ J}$)和摩擦($>36\text{ kg BAM}$)不响应,公布的 HNS 落高 54 cm(2.5 kg 落锤,12 型)。用楔形试验测定 DAAF 的冲击感度与 HMX 相似。

DAAzF 晶体密度 $1.767\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,DAAzF 中的氧比 DAAF 少,但是生成热($+535\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)较高,爆速 $7.6\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ($1.65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)。DAAzF 的热稳定性好,DSC 测定 315 °C 开始分解,与 HNS 相当。对撞击($H_{50} > 320\text{ cm}$,12 型)、火花($>0.36\text{ J}$)和摩擦

(>36 kg, BAM) 不敏感。DAAzF 的爆速和爆压低于 DAAF。

为了改善 TATB/HNS 配方安全性差的缺点, 美国研制了 50% DAAzF 和 50% TATB 的炸药配方。在直径为 0.5 英寸、0.25 英寸条件下, 检测了爆速和密度之间的关系, 预测 DAAzF/TATB 的性能优于 TATB/HNS(重量百分比相同)。

4.2 3,3'-偶氮二(6-氨基-1,2,4,5-四氮烯)(DAAT)^[17]

富氮化合物 DAAT 是一种新型对热稳定的不敏感炸药, DAAT 具有不寻常的热稳定性, 对摩擦和撞击不敏感。DAAT 具有高氮含量 76%、低氧平衡 -72.67%, 高生成热 +1 035 kJ · mol⁻¹。美国报道的密度为 1.84 g · cm⁻³。在较高的温度下分解(255 °C), 释放高热(658 ± 21) kJ · mol⁻¹。DAAT 的合成成分六步进行, 总产率超过 20%, 尽管 DAAT 反应步骤多, 但是制备不太难, 可以很容易地在多克量规模制备 DAAT, DAAT 有潜力用做新型含能材料。

5 小结

从本文列举的十余种新型不敏感单质炸药来看, FOX-7 应用前景最好, 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪-1-氧化物在不敏感弹药中也有希望得到应用, 因为这两种化合物的能量较高, 而且感度适中, 热稳定性好。

参考文献:

- [1] Heric Östmark, Helena Bergman, Ulf Bemn, et al. 2,2-Dinitro-ethene-1,1-diamine(FOX-7)-properties, analysis and scale-up [A]. Int Annu Conf of ICT[C], 2001, 26.1-26.21.
- [2] Nikolai V Latypov, Jan Bergman. Synthesis and reactions of 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene [J]. Tetrahedron, 1998, (54):11525-11536.
- [3] Östmark H, Langlet A, Bergman H, et al. FOX-7 A new explosive with low sensitivity and high performance [A]. The Eleventh International Symposium on Detonation [C]. 1998. 807-812.
- [4] Svante Karlsson, Henric Östmark, Carina Eldsäter, et al. Detonation and sensitivity properties of FOX-7 and formulations containing FOX-7 [A]. 12th International Detonation Symposium[CD]. August 11-16th. 2002. Karlsson.
- [5] Eldsöter C, Edvinsson H, Johansson M, et al. Formulation of PBXs based on 1,1-dinitroethylene (FOX-7) [A]. Int Annu Conf of ICT[C]. 2002. 63.1-63.14.
- [6] Philip Pagoria, Alexander Mitchell, Robert Schmidt, et al. Synthesis, scale-up and experimental testing of LLM-105 (2,6-diamino-3,5-dinitropyrazine-1-oxide) [A]. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium [C], 1998. I-3-1-I-3-5.
- [7] Kerth J, Kuglstatler W. Synthesis and characterization of 2,6-diamino-3,5-dinitropyrazine-1-oxide (NPEX-1) [A]. Int Annu Conf of ICT[C]. 2001. 166.1-166.11.
- [8] Tran T D, Pagoria P F, Hoffman D M, et al. Characterization of 2,6-diamino-3,5-dinitropyrazine-1-oxide (LLM-105) as an insensitive high explosive material [A]. Int Annu Conf of ICT[C]. 2002. 45.1-45.16.
- [9] Jin Rai Cho, Soo Gyeong Cho, Kwang Joo Kim, et al. A candidate of new insensitive high explosive MTNI [A]. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium [C]. 2000. 393-400.
- [10] Mehilal, Sikder A K, Salunke RB, et al. Nitroanilinodinitrobenzofuroxans thermal stability and explosive properties [J]. New J. Chem., 2001, 25:1549-1552.
- [11] Bapat V K, Sikder A K, Mehilal B G, et al. Synthesis and characterization of 2,4,6-tris(3,5-diamino-2,4,6-trinitrophenylamino)-1,3,5-triazine (PL-1): A New thermally stable insensitive high explosive [J]. J. Energ. Mater. 2000, 18(4):299-309.
- [12] Philp F Pagoria, Gregory S Lee, Alexander R Mitchell, et al. The synthesis of amino- and nitro-substituted heterocycles as insensitive energetic materials [A]. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium [C]. 2001. 655-661.
- [13] Freche A, Joseph Aviles, Lionel Donnio, et al. Insensitive RDX (I-RDX) [A]. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium [C]. 2000. 18-22.
- [14] Hanks J, Highsmith T, Sanderson A, et al. The development of a scaleable route to TEX (4,10-dinitro-2,6,8,12-tetraoxa-4,10-diazatetracyclo[5.5.0.0^{5,9}.0^{3,11}]-dodecane) [A]. Int Annu Conf of ICT[C]. 2002. 129.1.
- [15] Jirí VÁGENKNECHT, Pavel Marecek, Waldemar A TRZCINSKI. Sensitivity and performance properties of TEX explosives [J]. J. Energ. Mater., 2002, (3):245-253.
- [16] Michael A Hiskey, David E Chavez, Robert L Bishop, et al. Use of 3,3'-diamino-4,4'-azoxyfurazan and 3,3'-diamino-4,4'-azofurazan as insensitive high explosive materials [P]. USP 6358339, 2002.
- [17] Jochen Kerth, Stefan Löbbecke. Synthesis and characterization of 3,3'-azobis(6-amino-1,2,4,5-tetrazine) DAAT: A new promising nitrogen-rich compound [J]. Propellant, Explosives, Pyrotechnics, 2002, 27(3):111-118.

- 能研究[D]. 北京:北京理工大学,2001.
- [26] Mehilal, Arun K Sikder, Rajendra B Slalunke. Synthesis, characterization and explosives properties of 7-(1H-1,2,4-triazol-3-amino)-4,6-dinitrobenzofuroxan (TADNB) and 7-(1H-1,2,3,4-tetrazol-5-amino)-4,6-dinitrobenzofuroxan (TeADNBF) [J]. *Journal of Energetic Materials*, 2002, (20):39-52.
- [27] 王鹏,温玉全,金韶华,等. 苯并氧化呋化化合物的热分解[J]. *含能材料*,2000,8(1):27-29.
- [28] 雷英杰,朱春华,胡荣祖,等. ADNBF 的热分解机理及临界热爆炸温度的研究 [J]. *火炸药学报*,2002,25(3):42-43.
- [29] 任志奇,于天义,许碧英. 新起炸药 4,6-二硝基苯并氧化呋啉钾的制备及应用研究 [J]. *含能材料*,1995,3(4):7-13.
- [30] 李上文,赵凤起,袁潮. 国外固体推进剂研究与开发的趋势 [J]. *固体火箭技术*,2002,25(2):36-42.

Progress in Studies on Benzofuroxan Compounds

ZHOU Hong-ping, DONG Hai-shan, HAO Ying

(*Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China*)

Abstract: The chemical structures, syntheses, properties, and applications of benzofuroxan compounds are reviewed. This paper mainly consists of three parts. The first part describes three synthetic routes used for benzofuroxans, i. e. thermolysis or photolysis of *o*-nitro-azidobenzene and its derivatives, oxidation of *o*-nitroaniline and its derivatives and oxidation, oximation and cyclization of oxophenic acid. The second part summarizes the property data of 17 benzofuroxans, including density, melting point, decomposition temperature, detonation velocity and detonation pressure etc. The third part gives some examples of benzofuroxan compounds' application in primary explosives, PBXs, and propellants. In addition, the authors have put forward a few proposals concerning the further researches on benzofuroxan explosives.

Key words: organic chemistry; benzofuroxan; review; structure; synthesis; property; application

(上接 230 页)

Development on Some New Insensitive Individual Explosives Abroad

WANG Zhen-yü

(*Xi'an Modern Chemical Research Institute, Xi'an 710065 China*)

Abstract: The syntheses and performances of some new insensitive individual explosives are introduced, including nitro-compound explosives FOX-7, LLM-105, MTNI, 4,6-nitroanilinodinitrobenzofuroxans, PL-1, LLM-116, ANTZ, nitramine explosives I-RDX, TEX and other explosives DAAT, DAAF, DAAzF. The detailed synthetic procedures and a few PBX's formulations based on the insensitive explosives mentioned above are given, especially those for FOX-7 and LLM-105. In addition, some reference data concerning the properties of a number of insensitive explosives are summarized in this paper. FOX-7 and LLM-105 are attractive for applications in insensitive munitions due to their high energy level, moderate sensitivity, and good thermal stability.

Key words: material science; insensitive explosive; review; FOX-7; LLM-105