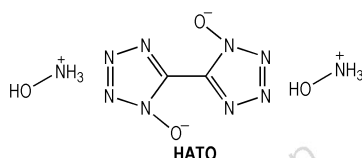


高能不敏感含能材料——HATO

在现代战争环境下,高技术武器装备系统对含能材料的发展提出了更高的要求。一方面,需要使用能量水平及释能效率更高的新型含能材料,以期提高常规弹药的绝对能量和毁伤威力;另一方面,需要使用不敏感含能材料,以降低武器弹药的易损性,满足舰载和机载武器等高价值武器平台对安全性的需求。如何解决能量与安全性之间的矛盾是含能材料研究人员迫切需要解决的难题。

近年来,离子型含能材料(又名含能盐)的设计合成研究成为含能材料领域的研究热点。和传统的分子型含能材料相比,含能盐具有以下优点:(1)晶体结构中存在大量的氢键网络结构,有助于降低感度并增加热稳定性;(2)具有较低的蒸汽压,不易挥发;(3)能量和安全性能可通过改变阴阳离子结构在较大范围内调节,增加了寻找高能低感化合物的可能性;(4)将含能阳离子和含能阴离子组合快速构建数量众多的含能盐,可实现含能化合物的高通量筛选。为了从根本上降低含能化合物的感度,以不含硝基、叠氨基等典型致爆基团的羟基四唑为结构单元,西安近代化学研究所于2011年设计合成了一系列含能盐,通过热性能及感度性能研究,筛选出一种高能不敏感含能材料——1,1'-二羟基-5,5'-联四唑二羟胺盐(HATO,德国慕尼黑大学称之为TKX-50),对其结构及合成方法申请了专利保护(国防专利201218002026.1)。



经测定,HATO的晶体密度为 $1.879 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;热分解温度达到 $249.1 \text{ }^\circ\text{C}$,热稳定性优于RDX;真空安定性较好,特性落高为 100 cm ,撞击和摩擦爆炸概率分别为 16% 和 24% (GJB772A-1997方法)(《含能材料》,2014,22(2):272-273.)。作为一种含能盐,吸湿性是关系到应用的重要参数, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 下,HATO在水中的溶解度仅为 0.27 g 。将HATO样品在空气中放置一个月,未见明显的吸湿现象。同时,HATO具有较好的加工性能,不加粘结剂时,同样具有较好的成型性。压药密度为 $1.70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,单质药柱(图1)的实测爆速为 $8509 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,实测能量水平高于RDX。



图1 HATO单质药柱

新材料 在应用过程中,有可能会与其他含能材料发生相互作用,从而引起混合炸药或推进剂安全性能的恶化,因此,在应用研究之前,务必开展相容性评价。和常用含能材料的相容性方面,HATO 和 NC/NG、DINA 等硝酸酯体系不相容,和 HMX、RDX、AP 等相容性较好。因此,不经特殊处理,HATO 在双基推进剂或发射药中的应用受到限制,但在混合炸药以及其他固体推进剂体系具有良好的应用前景。

HATO 的分子组成中氮氢元素含量较高,用于推进剂中,具有较大的产气量,并有助于降低燃烧产物的平均分子量,进而提高比冲。推进剂能量特性的计算结果表明,以 HTPB 复合推进剂为例,无铝配方中以 24% 的 HATO 等量替代 AP,推进剂的比冲提高 $105.3 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$;添加铝粉,并调节 Al/AP/HATO 的比例,当 Al 含量为 15% ~ 16%,AP 含量为 23.4% ~ 28.2%,HATO 含量为 39.4% ~ 45.4% 时,复合推进剂的比冲可达 $2717 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 1)。和相同含量 RDX 的复合推进剂相比,含 HATO 推进剂的理论比冲较高,燃速较高,机械感度和静电感度均较低,真空安定性满足安全要求。可见,以 HATO 替代 AP 和 RDX,有望研制出高能、钝感、低特征信号固体推进剂。

表 1 含 HATO 复合推进剂的能量特性

配方	质量百分数/%					I_{sp} 计算值/ $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$
	HTPB	AP	HATO	Al	others	
基础配方	10	84	0	0	6	2466.7
无铝配方	10	60	24	0	6	2572.0
含铝配方	10	23.4 ~ 28.2	39.4 ~ 45.4	15 ~ 16	6	2717.0

葛忠学, 毕福强
西安近代化学研究所
国家自然科学基金(21373157)
e-mail: gzx204@sina.com