

文章编号: 1006-9941(2015)08-0796-06

含氟功能助剂对发射药燃烧性能的影响

田翠华, 肖正刚

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为提高发射药表面防盐湿、耐高温性能的同时调控其燃烧性能, 采用 TiO_2 纳米粒子与含氟单体反应合成了 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂。功能助剂和太根双基推进剂药片共混制备了发射药颗粒, 对其进行了密闭爆发器实验。研究了含氟功能助剂的含量、含氟量及粒径对发射药定容燃烧性能的影响。结果表明: 随着十二氟功能助剂含量的降低, 发射药燃速呈增大趋势。十二氟功能助剂使发射药燃速提高 $0.1 \sim 0.3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, 三氟功能助剂使发射药燃速降低 $0.4 \sim 1.0 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在本实验条件下, 粒径对改善发射药燃速效果不明显。为更好地调控发射药起始燃烧速度, 需要综合考虑含氟功能助剂链段中含氟量与 TiO_2 含量二者比例以及发射药聚集体的物理形态。

关键词: 含氟功能助剂; 燃烧性能; 发射药; 表面富集; 密闭爆发器实验

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.08.017

1 引言

发射药在身管武器膛内燃烧, 产生大量高温高压气体, 是一个复杂的物理化学变化过程。控制发射药的燃烧过程和规律, 将发射药的能量按照需要程序化传递给弹丸, 可以大幅提高火炮发射威力和弹道效率^[1-5]。因此发射药燃烧性能不但是其最重要的性能之一, 而且直接影响武器系统的初速、射程、精度和安全性等基本性能。不同类型的发射药, 由于其成分和加工条件的不同, 即组成发射药的化学和物理结构不同, 它的燃烧性质和规律性也不同。因此, 添加少量某一组分, 在不改变或较少改变发射药其它性能基础上较大幅度改变燃速, 这是调节发射药燃烧性能的主要方法之一^[6-7]。

发射药在恶劣战场环境下, 由于表面对外界激励的敏感, 使得发射药寿命和战场生存能力大为降低, 影响其安全性能。因此, 有必要开发具有新型配方和结构的发射药, 并进行表面处理, 以减缓高温高盐湿等恶

劣环境和特殊用途对发射药寿命和作战性能的影响。含氟功能助剂中由于含有电负性最强且电子亲和势较大的氟原子, 使其具有憎水憎油、耐化学品腐蚀、较低的表面能及向空气-本体表面迁移富集的性能。在炸药研究方面, 有研究将氟原子引入在传统含能材料中, 已有效地提升化合物的密度和爆轰性能^[8]。如 Lane 等^[9]将炸药中的某些 NO_2 替换为 NF_2 , 除了提高了炸药的密度, 单位炸药燃烧时生成的气体产物总物质的量也会增加。Witucki 等^[10]研究发现, 在叠氮化合物中引进氟元素, 不但可以提高化合物的燃烧速率, 还可以降低化合物的感度, 增加其安全性。目前, 将氟原子引入到发射药应用方面的研究几乎未见文献报道。因此, 为了改善发射药表面综合性能, 将含氟高分子^[11-13]引入到发射药本体中, 利用低表面能的含氟复合粒子在本体表面富集性能对其表面进行改性, 可在提高发射药表面防盐湿耐高温性能的同时, 调控发射药燃烧性能。

本研究采用乳液聚合反应制备了不同粒径、不同含氟量的 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂, 通过塑化捏合与药片共混, 经过挤压成型、切药和烘药一系列工艺得到发射药颗粒, 并对发射药样品进行了密闭爆发器实验, 研究了含氟功能助剂的含量、含氟量及粒径对发射药定容燃烧性能的影响, 在此基础上初步探讨了含氟量和 TiO_2 二者比例对调控发射药表面富集过程和燃烧性能的影响规律。

收稿日期: 2014-07-07; 修回日期: 2014-11-11

基金项目: 国家自然科学基金资助(51376092), 兵器预研支撑基金资助(62201070701)

作者简介: 田翠华(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事表面功能材料研究。e-mail: 18260086772@163.com

通信联系人: 肖正刚(1974-), 男, 副研究员, 主要从事含能材料及相关功能材料研究。e-mail: xiaozhg@njust.edu.cn

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

试剂: TiO_2 , 分析纯, 南京海泰纳米有限公司; 甲基丙烯酸十二氟庚酯和甲基丙烯酸三氟乙酯均为分析纯, 哈尔滨雪佳氟硅化学有限公司; 去离子水, 无水乙醇, γ -甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基 (KH570), 碳酸氢钠, 十二烷基硫酸钠 (SDS), 烷基酚聚氧乙烯醚 (OP-10) 和过硫酸钾 (KPS) 均为分析纯, 南京试剂公司; 双基吸收药片 (TG-1), 含氮量 12.46%, 四川泸州 255 厂。

仪器: DF-2 型集热式磁力加热搅拌器, 江苏金坛市顺华仪器有限公司; Nicolet iS10 红外光谱仪, 美国赛默飞世尔公司; Tecnai 12 透射电子显微镜 (TEM), 新西兰 Philips 公司; 单柱专用液压机, 天津市第二锻压机床厂; 捏合机, 江苏国茂国泰减速机集团有限公司; AHX-871 安全型水浴烘箱, 南京理工大学机电总厂。

2.2 含氟功能助剂合成方法

在烧杯中依次加入 3 g 干燥的纳米 TiO_2 粒子, 75 mL 无水乙醇, 3.9 g 去离子水、2.0 g 氨水 (25%) 和 1.55 g 硅烷偶联剂 KH570, 超声分散 1 h 后升温至 75 ~ 80 °C, 高速搅拌 5 h, 反应结束后, 抽滤, 用无水乙醇洗涤数次, 最后经真空干燥研磨得到白色粉末产品 TiO_2 -KH570。

在 100 mL 四口烧瓶中分别加入 0.3 g TiO_2 -KH570 粒子和 20 g 去离子水, 超声分散 15 min, 再加入 0.2 g 烷基酚聚氧乙烯醚 (OP-10)、0.1 g 十二烷基硫酸钠 (SDS)、0.08 g 碳酸氢钠以及 3 g 甲基丙烯酸十二氟庚酯或甲基丙烯酸三氟乙酯, 在氮气保护下升温至 50 °C, 预乳化 30 min, 然后加入 0.02 g 引发剂过硫酸钾 (KPS), 升温至 75 °C, 反应 2 h, 冷却至室温, 用氢氧化钠溶液破乳, 高速离心分离并用无水乙醇洗涤至上层液体无色, 最后经真空干燥研磨得到白色粉末 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂^[14]。 TiO_2 -含氟丙烯酸酯纳米复合粒子 TEM 图如下所示。由图 1 可以明显看出, 所制备的 TiO_2 纳米复合粒子呈现规则的核壳结构, 其粒径约为 50 nm。

2.3 发射药样品制备

TiO_2 -含氟丙烯酸酯纳米复合粒子作为功能助剂与 200 g 药片混合均匀后移入捏合机, 然后加入醇酮溶剂 (体积比 1:1), 在 35 °C 下塑化捏合; 将捏好后的药团装入液压机药缸, 然后压伸成型; 用切药机将

较长的杆状药切成 8.5 ~ 9 mm 的粒状药; 切好的发射药自然晾干数天, 再放进恒温水浴烘箱中, 采用的工序是先湿烘, 然后干烘, 即可得到最终的 7 孔发射药制品。制备的发射药试样如表 1 所示, 其中 1# ~ 8# 发射药制备过程中分别改变功能助剂种类、功能助剂的原材料 TiO_2 粒径、功能助剂含量及基体药。

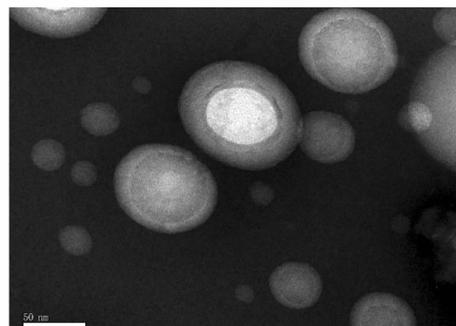


图 1 TiO_2 纳米复合粒子 TEM 图

Fig. 1 TEM image of TiO_2 nanocomposite particles

表 1 发射药试样制备

Table 1 Preparation of propellant samples

No.	functional additives	TiO_2 particle size/nm	mass fraction /%	matrix
1#	TiO_2	30	10	single-base propellant
2#	TiO_2 -12F ¹⁾	30	10	single-base propellant
3#	TiO_2	30	10	double-base propellant
4#	TiO_2 -12F	30	10	double-base propellant
5#	TiO_2 -12F	30	8	double-base propellant
6#	TiO_2 -12F	30	5	double-base propellant
7#	TiO_2 -3F ²⁾	30	10	double-base propellant
8#	TiO_2 -12F	100	10	double-base propellant

Note: 1) TiO_2 -12F-poly (dodecafluoroheptyl methacrylate) / TiO_2 nanocomposite; 2) TiO_2 -3F-poly (trifluoroethyl methacrylate) / TiO_2 nanocomposite.

2.4 密闭爆发器实验

本研究使用的密闭爆发器容积为 100 mL, 装填密度为 $0.21 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (7/7 药型)、实验温度 20 °C、点火药 1.1 g 2# 硝化棉, 点火压力 10.98 MPa。

3 结果与讨论

3.1 红外谱图分析

图 2 为 TiO_2 纳米粒子 (a)、预处理 TiO_2 (b) 和 TiO_2 纳米复合粒子 (c) 的红外谱图。由图 2 可知, 谱线 a 中 600 cm^{-1} 的吸收峰为 Ti—O 弯曲振动吸收峰, 由于 TiO_2 表面吸附的水因极化而产生羟基, 在 3400,

1625 cm^{-1} 处有微弱的羟基伸缩、变形吸收峰。经 KH570 表面处理后, 谱线 b 出现了新的红外吸收峰: 2980 cm^{-1} 和 1400 cm^{-1} 分别为 C—H 键的伸缩和弯曲振动吸收峰; 在 1720 cm^{-1} 处出现了 C=O 伸缩振动吸收峰; 1070 cm^{-1} 附近的谱带则归属为 Si—O 键伸缩振动吸收峰; 而 3400 cm^{-1} 附近的羟基振动峰明显减弱。结果表明, KH570 与 TiO_2 表面的部分羟基发生了反应, 硅烷偶联剂通过化学键的作用接枝到纳米 TiO_2 表面。谱线 c 中 2990 cm^{-1} 为 C—H 键的伸缩振动吸收峰; 1750 cm^{-1} 处的吸收峰代表 C=O 键的伸缩振动峰; 970 cm^{-1} 的吸收峰为 C—F 特征峰; 1160, 1240 cm^{-1} 很宽的吸收峰是 C—F 键伸缩振动特征吸收峰, 这表明 TiO_2 纳米粒子表面接枝了含氟丙烯酸酯。

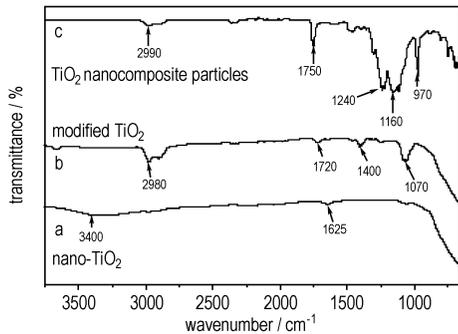


图 2 纳米 TiO_2 、预处理 TiO_2 和 TiO_2 纳米复合粒 FT-IR 谱图

Fig. 2 FT-IR spectra of nano- TiO_2 , modified TiO_2 and TiO_2 nanocomposite particles

3.2 十二氟功能助剂含量对发射药燃烧性能的影响

图 3、图 4 分别为十二氟功能助剂含量 10% (4[#]), 8% (5[#]), 5% (6[#]) 和不含氟 (3[#]) 的发射药的 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线。由图 3 可以看出, 与 3[#] 发射药相比, 4[#], 5[#], 6[#] 发射药的燃烧压力都有所提高。由图 4 可以看出, 4[#], 5[#], 6[#] 发射药的燃速比 3[#] 发射药明显提高, 6[#] 发射药燃速可提高 0.2 ~ 0.4 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。6[#] 发射药燃速较高, 5[#] 发射药次之, 4[#] 发射药燃速最低。总体来看, 随着十二氟功能助剂含量的降低燃速升高, 其含量为 5% 的发射药燃速最高。

分析认为, TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂由于存在电负性最强、半径较小而且极化率也不高的氟, 在氟原子核周围容易将电子牢牢的吸住, 此时氟原子的电子云把碳碳主键很好地屏蔽起来, TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂中的碳链将被含氟基团保护起来而使其具有较低的表面自由能, 因此低表面自由能的含氟功能助剂易于向发射药表面迁移扩散。一方面 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂含氟链段带动 TiO_2 向发射药表面富集

形成缓燃层, 致使 TiO_2 对发射药燃烧起到抑制作用, 这时 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂含量越高越易向表面富集, 对发射药燃烧的抑制作用越明显。另一方面聚甲基丙烯酸十二氟庚酯在发射药燃烧时放出能量, 能提高发射药燃速。因此发射药总体的表观燃速取决于含氟链段以及 TiO_2 缓燃粒子在发射药表层的含量。在本研究中聚甲基丙烯酸十二氟庚酯提高燃速的作用比 TiO_2 的抑制作用更为显著, 就能使发射药燃速呈现增大趋势, 且随着十二氟功能助剂在发射药本体中含量的降低, TiO_2 缓燃粒子在发射药表层的含量相应降低, 从而使得发射药燃速升高。因此为更好地控制含氟功能助剂在发射药表层的迁移和表面富集过程, 需要考虑含氟功能助剂链段中含氟量与 TiO_2 含量二者比例。

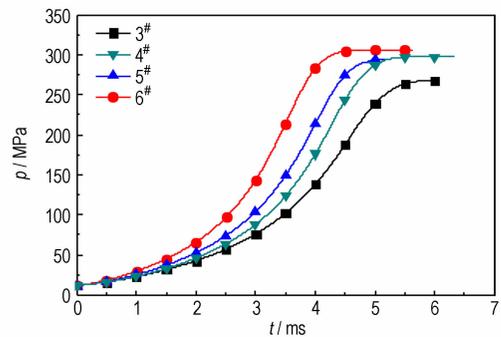


图 3 不同含量 TiO_2 -12F 发射药的 $p-t$ 曲线

Fig. 3 $p-t$ curves of TiO_2 -12F propellant with different concentration

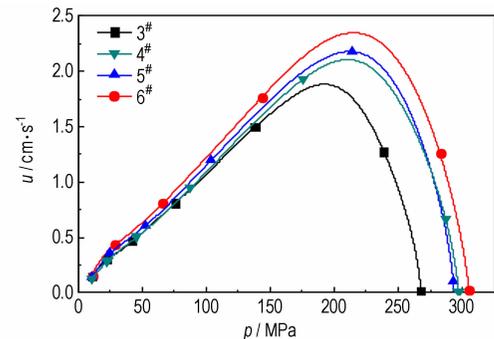


图 4 不同含量 TiO_2 -12F 发射药的 $u-p$ 曲线

Fig. 4 $u-p$ curves of TiO_2 -12F propellant with different concentration

3.3 含氟功能助剂对不同基体药燃烧性能的影响

图 5、图 6 分别为不含氟单基药 (1[#])、含氟单基药 (2[#])、不含氟双基药 (3[#]) 和含氟双基药 (4[#]) 发射药的 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线。从图 5 可以看出, 4[#] 发射药比 3[#] 发射药达到最大压力的时间延长 0.3 ms, 最大压力增大 30 MPa。2[#] 发射药比 1[#] 发射药达到最大压力的时

间缩短 1.8 ms, 最大压力增大 12 MPa。从图 6 可以看出, 2[#]和 4[#]发射药低压下的燃速水平与 1[#]和 3[#]发射药相当, 而当压力超过 100 MPa 后, 2[#]发射药的燃速可提高 0.07 cm·s⁻¹, 4[#]发射药的燃速可提高 0.2 cm·s⁻¹。含氟功能助剂对单基药的燃烧时间影响较明显, 对改善双基发射药燃速有更明显的效果。发射药聚集体的物理形态对含氟功能助剂在发射药表层的迁移有一定的影响。其原因可能是单基药主要成分硝化纤维素呈网状结构, 它对组分的迁移扩散将产生强烈的阻滞作用。双基药因加入了硝化甘油和含能增塑剂, 硝化甘油及含能增塑剂对硝化纤维素的增塑使得其物理结构发生了变化, 削弱了硝化纤维素大分子间相互作用, 从而有利于含氟功能助剂在基体中的迁移扩散和表层富集。

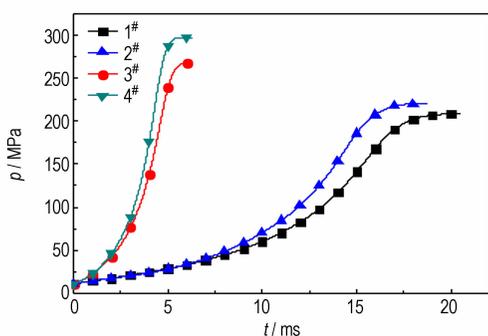


图 5 不同基体发射药的 $p-t$ 曲线

Fig. 5 $p-t$ curves of different base propellant

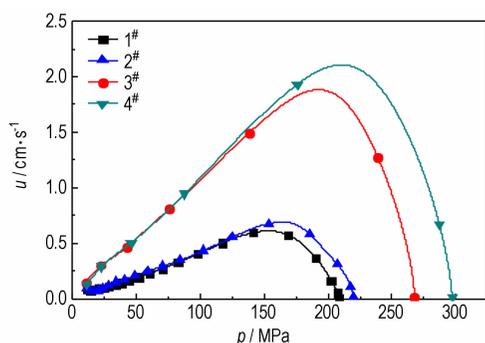


图 6 不同基体发射药的 $u-p$ 曲线

Fig. 6 $u-p$ curves of different base propellant

3.4 含氟功能助剂含氟量对发射药燃烧性能的影响

图 7、图 8 分别为十二氟功能助剂 (4[#])、三氟功能助剂 (7[#]) 和不含氟 (3[#]) 发射药的 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线。由图 7 可以看出, 4[#] 发射药比 3[#] 发射药达到最大压力的时间延长 0.3 ms, 最大压力增大 30 MPa。7[#] 发射药比 3[#] 发射药达到最大压力的时间延长 3.3 ms, 最大压力增大 17 MPa。由图 8 可以看出, 4[#] 发射药的燃速明显提高, 7[#] 发射药的燃速明显降低。4[#] 发射药在压力超过 100 MPa 后, 燃速稍高于 3[#] 发射药

0.1~0.3 cm·s⁻¹, 增幅大于 15%。与 3[#] 发射药相比, 7[#] 发射药在 10~100 MPa 燃速降低 0.1~0.3 cm·s⁻¹, 在 100~200 MPa 燃速降低 0.4~1.0 cm·s⁻¹。结果表明, 功能助剂含氟量对发射药的燃烧性能有较大影响, 十二氟功能助剂可提高发射药的燃速, 三氟功能助剂则降低发射药的燃速且效果更显著。由于 TiO₂-聚甲基丙烯酸十二氟庚酯相对分子质量较大, 同种分子之间的相互作用较强烈, 同时与其他分子链相互纠缠的几率增加, 给其迁移扩散增加很多阻力。TiO₂-聚甲基丙烯酸三氟乙酯分子链之间的缠结和相互作用没有那么强烈, 更易于其在发射药表面富集。由于 TiO₂-聚甲基丙烯酸三氟乙酯分子链段之间含氟量的相对降低, TiO₂ 的抑制作用比聚甲基丙烯酸三氟乙酯提高燃速的作用更显著, 总体上降低了发射药燃速。

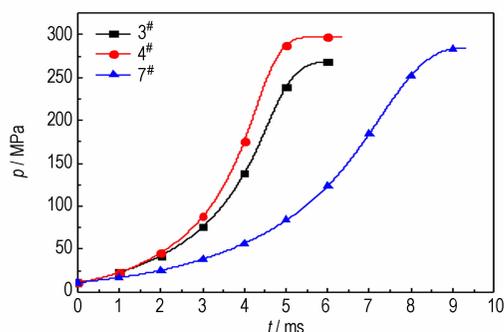


图 7 不同含氟量发射药的 $p-t$ 曲线

Fig. 7 $p-t$ curves of propellant with different fluorine content

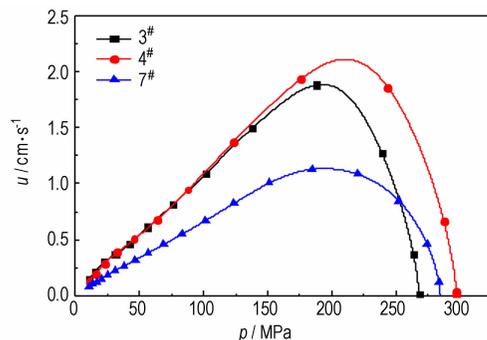


图 8 不同含氟量发射药的 $u-p$ 曲线

Fig. 8 $u-p$ curves of propellant with different fluorine content

3.5 含氟功能助剂粒径对发射药燃烧性能的影响

图 9、图 10 分别为十二氟功能助剂 30 nm (4[#]-1、4[#]-2) 和 100 nm (8[#]-1、8[#]-2) 的发射药的 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线, 其中 4[#]-1 和 4[#]-2 是 4[#] 发射药的两个重复试验, 8[#] 同上。从图 9 可以看出, 与 4[#] 发射药相比, 8[#] 发射药燃烧达到最大压力的时间为 5.37 ms, 而 4[#] 发射药燃烧达到最大压力的时间为 6.33 ms。30 nm 含氟功能助剂发射药燃烧时间延长。从图 10 可以看出,

两种发射药燃速随压力上升的速率没有太大差别。总体来说,在本实验中含氟功能助剂的两种粒径对发射药燃烧性能影响较小。

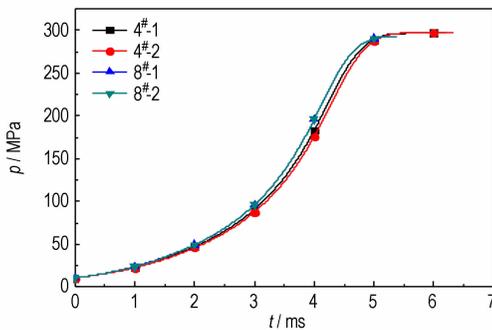


图9 不同粒径 TiO_2 -12F 发射药的 p - t 曲线

Fig.9 p - t curves of TiO_2 -12F propellant with different particle size

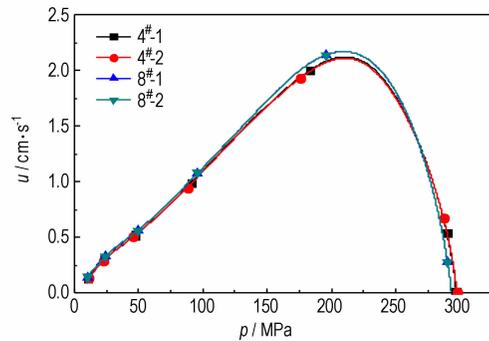


图10 不同粒径 TiO_2 -12F 发射药的 u - p 曲线

Fig.10 u - p curves of TiO_2 -12F propellant with different particle size

4 结论

(1) 为更好地调控发射药起始燃烧速度,将不同含氟量、不同粒径的 TiO_2 -含氟丙烯酸酯功能助剂采用体系外加方式加入到发射药体系中。

(2) 十二氟功能助剂可提高发射药燃速,随着其含量的降低,发射药燃速呈现增大的趋势;含氟功能助剂对改善双基发射药燃速有较明显的效果,燃速可提高 $0.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 不同含氟量的功能助剂对发射药燃烧产生显著影响。十二氟功能助剂发射药的燃速提高 $0.1 \sim 0.3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,增幅大于15%,三氟功能助剂发射药的燃速降低 $0.4 \sim 1.0 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在本实验中,功能助剂的粒径对发射药燃烧性能影响不明显。

(4) 需要综合考虑含氟功能助剂链段中含氟量与 TiO_2 含量二者比例以及发射药聚集体的物理形态,发射药总体表现燃速取决于含氟链段以及 TiO_2 缓燃粒

子在发射药表层的相对含量。

参考文献:

- [1] Sharon L R, William F O. The Influence of propellant loading density on computed burn rate in a mini-closed bomb[R]. AD-A353540, 1998, 8.
- [2] 王泽山,何卫东,徐复铭. 火药装药设计原理与技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2006: 41-45.
WANG Ze-shan, HE Wei-dong, XU Fu-ming. The principle and technique for propellant charging design[M]. Beijing Institute of Technology Press, 2006: 41-45.
- [3] Mann D C. Development of a deterrred propellant for a large caliber weapon system[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1983, 7(3): 259-280.
- [4] White, Kevin J. Effect of propellant grain dimensions on progressivity[R]. AD-A331744, 1997, 10.
- [5] 王琼林,刘少武,张远波,等. 程序控制燃烧发射药的概念和原理[J]. 火炸药学报, 2009, 32(5): 71-74.
WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, ZHANG Yuan-bo, et al. Process control concept and principle of burning propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(5): 71-74.
- [6] 马国平. 配方组成与燃烧性能的关系[D]. 南京:南京理工大学, 2007.
- [7] 王泽山. 含能材料概论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2005: 67-72.
- [8] Hoffman D K, Fontes A T. Density distributions in TATB prepared by various methods[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2010, 35(1): 15-23.
- [9] Park J, Chakraborty D, Jamindar S, et al. Thermal decomposition of 2, 2-bis(difluoroamino) propane studied by FTIR spectrometry and quantum chemical calculations; the primary dissociation kinetics and the mechanism for decomposition of the $(\text{CH}_3)_2 \text{CNF}_2$ radical [J]. *Thermochimica Acta*, 2002, 384: 101-111.
- [10] Woticki E F, Frankel M B. Synthesis of novel energetic aliphatic compounds [J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 1979, 24(3): 247-249.
- [11] 张喜军,尹丽华,张勇. 全氟烷烃制备方法的探讨与应用[J]. 有机氟工业, 2010(3): 40-42.
ZANG Xi-jun, YIN Li-hua, ZHANG Yong. Application and discussion of perfluorinated alkane preparation methods[J]. *Organo-Fluorine Industry*, 2010(3): 40-42.
- [12] 付梦月,梁真镇,黄晓磊,等. 有机氟化物的制备及应用[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2012(10): 53-57.
FU Meng-yue, LIANG Zheng-zheng, HUANG Xiao-lei, et al. Preparation and application of organic fluoride [J]. *Chemical Propellant and Polymeric Materials*, 2012(10): 53-57.
- [13] 李欢,张路遥,潘仁明,等. 用 DSC 研究 3,3-倍二氟氨基氧杂环丁烷与炸药和固体推进剂组分的化学相容性[J]. 火炸药学报, 2012, 5(4): 37-44.
LI Huan, ZHANG Lu-yao, PAN Ren-ming, et al. The chemical compatibility between 3, 3-bisphosphonate fluorine ammonia heterocyclic butane methyl oxygen and explosives and solid propellant component were studied with DSC [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2012, 5(4): 37-44.
- [14] 郭萍. TiO_2 /含氟聚合物纳米复合粒子的制备和性能研究[D]. 南京:南京理工大学, 2014.

Influence of Fluoride Functional Additives on the Combustion Performance of Gun Propellant

TIAN Cui-hua, XIAO Zheng-gang

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To improve the salt/wet prevention and high temperature resistant performance of propellant surface and adjust its combustion performance at the same time, TiO_2 -fluorinated acrylate functional additives were synthesized via reaction of titanium dioxide nanoparticle and fluoride monomer. Gun propellant particles were prepared by blending functional additives and triethylene glycol dinitrate (TEGDN) double-base propellant pills and the experiment of the gun propellant was performed by a closed bomb. The influence of fluorinated functional additive content, fluorine content and particle size on the constant volume combustion performance of the gun propellant was studied. Results show that with decreasing the 12F functional additive content, the burning rate of the gun propellant reveals a trend of increase. 12F functional additives make the burning rate of gun propellants increase by $0.1\text{--}0.3\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, 3F functional additives make the burning rate of gun propellants reduce by $0.4\text{--}1.0\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Under this experimental condition, the influence of particle size is not obvious on the combustion performance of propellant. To better control the burning rate of gun propellant, the proportion of fluoride and TiO_2 content in the chain segment of functional additives and the physical form of aggregation of gun propellant should be considered comprehensively.

Keywords: fluoride functional additives; combustion performance; gun propellant; surface enrichment; closed bomb test

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.08.017



第 18 届国际含能材料发展新趋势研讨会会议报道

第 18 届国际含能材料发展新趋势研讨会 (Proceedings of the 18th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials) 于 2015 年 4 月 15 ~ 17 日在捷克帕尔杜比采召开, 主题是含能材料研究新方法。来自美国、德国、英国、中国、俄罗斯、以色列、土耳其、法国、比利时、瑞典、捷克、波兰等国家的数百位专家学者和青年研究人员参加了会议, 其中包括美国洛斯阿拉莫斯国家实验室、德国 ICT 研究所、英国卡文迪许实验室、俄罗斯科学院有机化学研究所等国际著名研究机构的含能材料专家。会议共有 3 个特邀报告和 35 个大会报告, 特邀报告分别介绍了 HNF 和 ADN 特殊的稳定性及热分解特性、含能材料特性评估和氧化炸药的安全处理等相关内容, 大会报告涉及含能材料合成与表征、热分解、晶体学、复合材料、性能模拟计算和预测等。

会议主办单位捷克帕尔杜比采大学含能材料研究所是专门从事含能材料研究的机构, 每年 4 月定期举办含能材料发展新趋势的系列会议。

化工材料研究所 宗和厚