

文章编号: 1006-9941(2011)03-0276-06

RDX-CMDB 推进剂激光点火特性

郝海霞¹, 裴庆¹, 南宝江², 张衡¹, 肖立柏¹, 赵凤起¹

(1. 西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065; 2. 中国航天科技集团公司四院四十一所, 陕西 西安 710025)

摘要: 采用 CO₂ 激光点火的方法研究了双基推进剂 SQ-2 和 RDX-CMDB 推进剂在不同热流密度作用下的点火特性, 探讨了 RDX 含量、Al 粉和燃烧催化剂对 RDX-CMDB 推进剂点火性能的影响。实验结果表明, SQ-2 和 RDX-CMDB 推进剂(含 Al 粉的配方除外)的点火延迟时间随热流密度增加而递减, 且热流密度较高时, 点火延迟时间变化趋缓。RDX-CMDB 推进剂中 RDX 含量、Al 粉和催化剂对其点火延迟时间的影响与热流密度大小有关。在较低热流密度(51.5 W·cm⁻²)时, 除 Al 粉使推进剂的点火延迟时间变长以外, 其他组分对点火延迟时间的影响则不大; 在较高热流密度(102 W·cm⁻²和 153 W·cm⁻²)时, 试样的点火延迟时间随着 RDX 含量的增加而变长, Al 粉和催化剂的加入对点火过程和点火延迟时间均有较大影响。

关键词: 物理化学; 双基推进剂; 激光点火; 热流密度; 点火延迟时间

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.008

1 引言

固体推进剂点火性能的研究始于 20 世纪 60 年代, 因为固体推进剂点火过程的研究对于许多燃烧和推进应用以及揭示固体推进剂的燃烧机理具有重要的意义^[1-5]。激光作为点火激发源, 因其能够独立于环境条件(如初温、压强、气氛等)以及推进剂表面气体组分等参数而选择热流密度, 可提高测试的可比性, 已经被普遍采用。在对固体推进剂点火性能研究中, 复合推进剂组分对点火延迟的影响研究较多^[6-10], 其中 J. U. Kim 等对一系列 RDX 复合推进剂在快速增压下点火特征的研究表明: 随着增压速率的增大, 开始发光所需时间缩短, 并且开始发光时间强烈地依赖于推进剂组分以及各组分含量^[8], 这说明复合推进剂中主要组分和一些添加剂对点火性能影响较大。相对而言, 双基推进剂在这方面的研究却很少。本工作应用 CO₂ 激光点火方式研究了双基推进剂 SQ-2 和含 RDX 的改性双基推进剂的点火特性, 其中包括了不同点火能量与推进剂点火延迟时间的关系和 RDX-CMDB 推进剂中 RDX 含量、铝粉和催化剂对其点火性能的影响。

收稿日期: 2010-04-08; 修回日期: 2010-05-14

基金项目: 火炸药燃烧国防科技重点实验室基金(9140C3505030807)

作者简介: 郝海霞(1980-), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事固体推进剂激光点火和燃烧性能研究。e-mail: haohx99@163.com

2 实验

2.1 推进剂试样的制备

推进剂试样选取了两类, 一类是不同热流密度进行对比试验用的定型双基推进剂 SQ-2, 另一类是研究 RDX 含量、Al 粉和催化剂对 RDX-CMDB 推进剂点火特性影响规律所设计的配方。RDX-CMDB 推进剂基础配方为: 双基黏合剂 64.7%, RDX 28%, 吉纳(DINA) 4.8%, 其它助剂 CV 2.5%。催化剂(Cat.)和 Al 粉外加, 具体配方见表 1, 采用吸收-驱水-放熟-压延-切成药条的常规无溶剂成型工艺制备。

表 1 RDX-CMDB 推进剂配方

No.	NC(12.0%N) +NG	RDX	DINA	CV	Al	Cat.
LI01	84.7	8	4.8	2.5	-	-
LI02	74.7	18	4.8	2.5	-	-
LI03	64.7	28	4.8	2.5	-	-
LI04	54.7	38	4.8	2.5	-	-
LI05	54.7	28	4.8	2.5	10	-
LI06	64.7	28	4.8	2.5	-	Φ-Pb 2.5, β-Cu 0.5, CB 0.5
LI07	64.7	28	4.8	2.5	-	Bi-salt 2.5, β-Cu 0.5, CB 0.5

推进剂试样的规格选择主要依据激光光斑的直径和点火能量选取。试验中激光光斑为 5.0 mm, 故推进剂截面应不小于光斑直径两倍; 试验中激光能量在 $30.6 \sim 204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 范围内, 点火延迟时间在几百毫秒内, 试样的厚度不小于 3 mm 可以满足试验要求。故样品满足 $\Phi 10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 或 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的规格即可。

2.2 激光点火实验装置

本研究中采用的点火延迟时间是指激光开始作用到推进剂试样表面直至推进剂试样产生火焰发光信号的这段时间。本实验利用光电转换测试电路获得推进剂点火信号, 同时利用数据采集系统对激光器出光信号同步记录, 从而获得推进剂点火延迟时间参数。试验装置主要由激光能源系统、实验容器、充压装置和测试记录系统四部分组成。其中激光能源采用最大功率为 120 W、输出波长为 $10.6 \mu\text{m}$ 的 CO_2 连续激光器 (型号 SLC110), 激光束作用到推进剂表面的光斑直径为 5.0 mm。本实验中采用的激光热流密度范围为 $30.6 \sim 204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 点火过程中除了试验需要中止外, 激光持续到点火的完成; 压力实验容器规格为 $\Phi 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 具有视窗可观察容器内点火过程; 测试记录系统由 TEK DPO4034 高性能数字示波器、台式计算机和光电测试电路, 用于试验过程参数的测试、记录及数据处理。试验装置框图如图 1 所示。

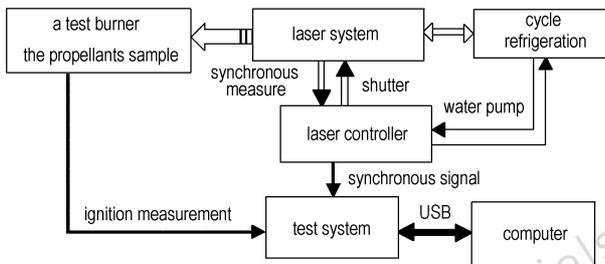


图 1 激光点火试验装置框图

Fig. 1 The experimental setup of laser ignition

3 实验结果及讨论

3.1 不同热流密度对推进剂试样点火延迟时间的影响

试验中所用试件为 SQ-2 双基推进剂、含 RDX 的 LI 系列 RDX-CMDB 推进剂 (见表 1)。每一个试样在一定热流密度作用下进行 3~6 次试验 (具体次数视数据的重复性确定), 最终的点火延迟时间取其平均值。

3.1.1 双基推进剂 SQ-2 在不同热流密度作用下的点火性能

试验采用的热流密度为 $30.6 \sim 112 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$,

试样规格为 $\Phi 10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。不同热流密度 (q) 作用下 SQ-2 的点火延迟时间 (t) 和典型点火过程如图 2 和图 3 所示。

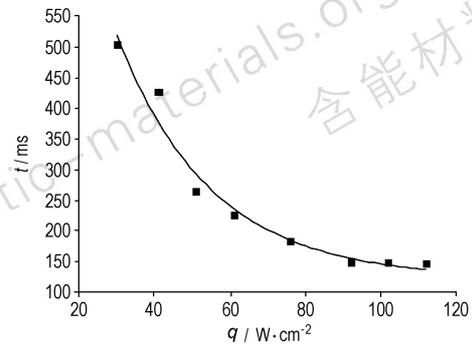


图 2 双基推进剂 SQ-2 在不同热流密度下的作用时间

Fig. 2 q vs t relation for double-base propellant SQ-2

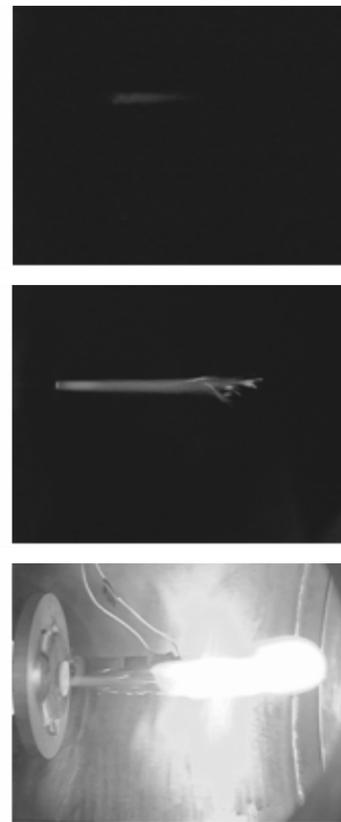


图 3 双基推进剂 SQ-2 激光点火过程 ($q = 40.8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$)

Fig. 3 Laser ignition process of propellant SQ-2 under the condition of $q = 40.8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

图 2 显示, 不同热流密度作用下双基推进剂 SQ-2 点火延迟时间随着激光点火热流密度的增加逐渐减少, 且当热流密度达到一定值时, 点火延迟时间逐渐接近。这说明在一定范围内, 热流密度对推进剂点火性能影响较大, 随着热流密度的增加, 点火延迟时间迅速

减少,在较高热流密度时,这种影响则趋于平缓。图3的点火过程显示,SQ-2推进剂在激光作用下表面首先发生热分解和较弱的燃烧,然后在推进剂表面较远距离处释放出明亮的火焰,才开始剧烈燃烧。若此时激光的热量不能维持点燃需要的能量,则推进剂将会出现燃烧后再次熄灭的情况。

3.1.2 含RDX的LI系列改性双基推进剂在不同热流密度作用下的点火性能

试验采用的热流密度分别为 $51.0, 102, 153$ 和 $204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$,试样规格为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$,不同热流密度下几个试样的点火延迟时间和典型点火过程如图4、图5和图6所示。

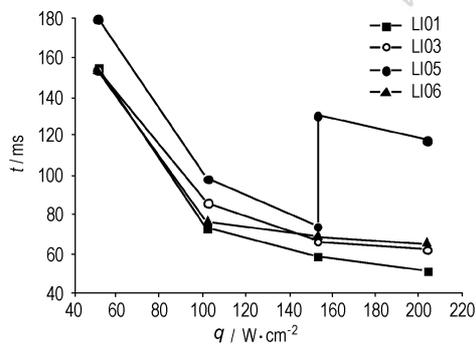


图4 不同热流密度下LI系列推进剂的点火延迟时间
Fig. 4 Ignition delay time of a series of LI propellants at different heat fluxes

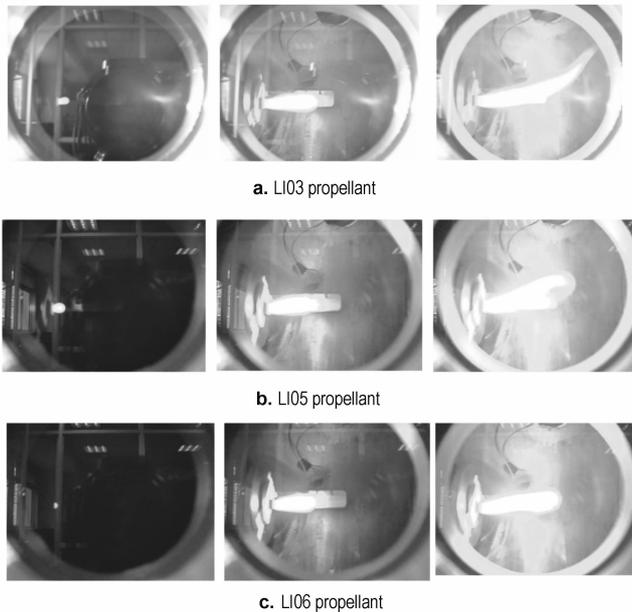


图5 LI系列推进剂的激光点火过程($q = 102 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$)
Fig. 5 Laser ignition process of a series of LI propellants under the condition of $q = 102 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

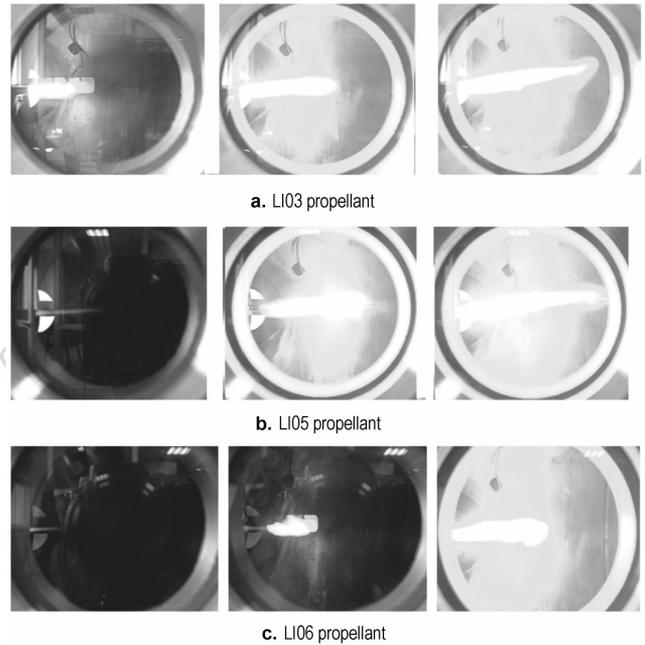


图6 LI系列推进剂的激光点火过程($q = 204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$)
Fig. 6 Laser ignition process of a series of LI propellants under the condition of $q = 204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

从图4可以看出,不同热流密度作用下LI系列RDX-CMDB推进剂的点火延迟时间变化与热流密度大小密切相关。除了LI05配方的推进剂发生了点火延迟时间跳跃的现象外,其他几个配方的点火延迟时间随着激光点火热流密度的增加均在减少,而且随着热流密度的增加,点火延迟时间的差距逐渐减小,呈现出与推进剂SQ-2一致的规律。从图5和图6中的点火过程发现,在较高热流密度时,LI05和LI06配方的推进剂点火过程发生了明显变化,而LI03推进剂的点火过程没有变化。LI03的火焰首先在推进剂表面生成,并逐步扩展为明亮的火焰后加剧燃烧,含有Al粉的LI05推进剂和含催化剂的LI06推进剂在较低热流密度时,其点火过程与LI03类似,而在高热流密度时,其表面在激光作用下首先发生热分解产生暗红色的火焰,然后在距表面一定距离处产生明亮火焰后扩展到表面开始剧烈燃烧,其中LI05推进剂在热流密度为 $153 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时点火延迟时间出现了跳跃式变化,其对应的点火过程是 $q = 102 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $q = 204 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 点火过程的现象,且两种现象出现的概率基本相当。其原因可能是在较低热流密度作用时,推进剂表面熔融或者气化相对缓慢,其点火受表面液相控制,延迟时间相对较长,而随着激光热流密度的增加,推进剂表面单位时间内获得能量更多,从而缩短了表面组分的熔融和气化时间,加剧了

推进剂表面熔融的液相或分解的气相反应,甚至气相反应成为控制点火的主要因素,因而点火过程发生了变化。这说明推进剂点火延迟时间不仅与热流密度密切相关,而且与其中的组分也有关。

3.2 RDX-CMDB 推进剂主要组分和含量对其点火性能的影响

3.2.1 RDX 含量对 RDX-CMDB 推进剂点火特性的影响

针对不同含量的 RDX 推进剂配方(LI01 ~ LI04)进行了点火特性研究,试验采用 51.0, 102 和 153 $W \cdot cm^{-2}$ 三个热流密度研究了其点火性能,不同含量 RDX 推进剂其点火延迟时间如图 7 所示。

从图 7 可以看出,在较低热流密度($51.0 W \cdot cm^{-2}$)作用下,推进剂试样的点火延迟时间随着 RDX 含量增加变化不大,尤其是在 RDX 含量较低的配方中(RDX 含量小于 28%)点火延迟时间几乎是相同的,而在 RDX 含量增加到 38% 时点火延迟时间才略有增加,但增加不多;而在较高的热流密度($102 W \cdot cm^{-2}$ 和 $153 W \cdot cm^{-2}$)作用下,试样的点火延迟时间随着 RDX 含量的增加而明显增加。从 LI01 ~ LI04 四个配方的推进剂点火过程(与 LI03 基本相同)表现看,火焰首先在推进剂表面形成,这说明推进剂在激光作用下表面熔融的液相层对点火起主导作用,火焰在熔融的液相中形成。这可能是在 NC + NG/RDX 配方体系中,常压下 NC + NG 的热分解和失重温度均比 RDX 的低^[11],在低热流密度下,推进剂表面 NC + NG 的分解占主导地位,RDX 的熔融和气化较弱,其含量对点火性能的影响不大,只有含量较高(38%)时才对点火延迟有一定影响。而在较高热流密度时,推进剂表面受热熔融和分解作用增强,配方中 RDX 的含量越高则需要熔解和气化的能量也越多,使得点火延迟时间随着 RDX 的含量升高而增加。

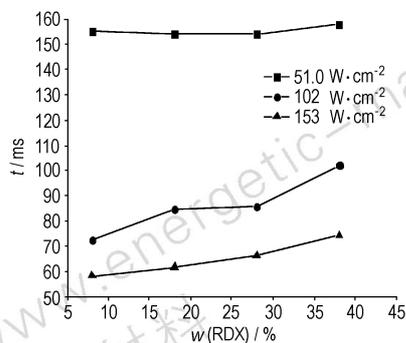


图 7 不同热流密度下推进剂点火延迟时间与 RDX 含量的关系
Fig.7 Relation of ignition delay time of the propellants and the content of RDX at different heat fluxes

3.2.2 Al 粉对 RDX-CMDB 推进剂点火特性的影响

在含 RDX 推进剂配方中 LI05 (RDX 28% 与 Al 10%) 采用 10% 的 Al 粉取代了 LI04 (RDX 38%) 中的部分 RDX 后,其点火延迟时间变化见表 2。

表 2 10% Al 取代 RDX 后推进剂试样的点火延迟时间

Table 2 Ignition delay time of the propellants with 10% Al powder substituting RDX

$q/W \cdot cm^{-2}$	t/ms	
	LI04	LI05
51.0	158.0	180.0
102	102.2	98.4
153	74.5	74.0/130.7
204	-	118.0

从表 2 可以看出,Al 粉部分取代 RDX 后,试样的点火延迟时间在不同热流密度下变化不同。在较低热流密度 $51.0 W \cdot cm^{-2}$ 下,Al 粉的加入增加了点火延迟时间;而在 $102 W \cdot cm^{-2}$ 热流密度作用下 Al 粉的加入使其点火延迟时间缩短了;在热流密度 $153 W \cdot cm^{-2}$ 下点火过程出现了变化的临界现象,其点火延迟时间也在两个时间点变化,其中点火过程与低热流密度相似时点火延迟时间变化不大,而点火过程改变后的点火延迟时间却增加了。其中的原因可能是在较低热流密度作用下,Al 粉的加入对固相 RDX 的分解和 NC + NG 体系的热分解几乎没有影响,Al 作为金属良导体的“稀释”和热传导的物理作用比较明显,使得加入 Al 粉的推进剂在相同能量激光作用下的能量损失较多,获得的能量不足以使 Al 和组分中的含能材料发生氧化反应,故其点火延迟时间较长;而 Al 对液相的 RDX 分解有促进作用,随着热流密度的增加,液相的 RDX 在 Al 粉的作用下分解加快,Al 作为还原剂与体系中的氧化剂和分解的氧化产物的反应也加剧,逐渐掩盖了 Al 的“稀释”和热传导作用^[11],并且气相中的氧化还原反应随着热流密度增加逐渐加剧,成为了点火的控制反应,从而点火过程发生改变。虽然在热流密度较高时,配方体系主要组分获得的能量较多,但推进剂表面的气化或气相反应需要的时间比在表面熔融的时间多,点火延迟时间也变长。而点火过程发生改变后,也就是火焰首先在气相中产生时,更高的热流密度 $204 W \cdot cm^{-2}$ 的点火延迟时间要比热流密度 $153 W \cdot cm^{-2}$ 的短,这一点与 3.1 节中的结论并不矛盾。因此,用部分 Al 粉取代 RDX 后,推进剂的点火性能变化过程与热流密度大小有关。

3.2.3 不同燃烧催化剂对推进剂试样点火特性的影响

推进剂配方中催化剂的加入主要是为了调节燃烧

性能,如提高燃速或降低压力指数等等。选择两种催化剂研究其对配方点火性能影响,一种是常用的 Φ -Pb、 β -Cu 和 CB 复合催化剂,另一种是一种新型的环境友好的含 Bi 盐、 β -Cu 和 CB 复合催化剂,这两种催化剂均有提高该配方推进剂燃速的作用。含这两种催化剂的推进剂试样点火延迟时间见表 3。

表 3 含燃烧催化剂的推进剂试样的点火延迟时间

Table 3 Ignition delay time of the propellants containing burning catalysts

$q/W \cdot \text{cm}^{-2}$	t/ms		
	LI03	LI06	LI07
51	154.0	153.3	-
102	86.0	76.0	70.7
153	66.5	68.5	64.0
204	62.0	65.3	-

从表 3 可以看出,加入催化剂的配方 LI06 (Φ -Pb 2.5%, β -Cu 0.5%, CB 0.5%) 和 LI07 (Bi-salt 2.5%, β -Cu 0.5%, CB 0.5%) 与未加催化剂的配方 LI03 比较,点火延迟时间在较低热流密度 $51.0 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时下作用不明显,在较高热流密度 $102 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 下点火延迟时间均缩短,而在更高热流密度 $153 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时,两种催化剂对点火延迟时间的影响则不同。从点火过程(如图 5 和图 6)看,在较低热流密度时,加入催化剂的 LI06 的点火过程与未加催化剂的 LI03 的点火过程相似,而在较高热流密度时,LI06 的点火火焰首先产生在推进剂表面一定距离处,而 LI03 的火焰仍然在表面产生。这可能是由于催化剂能够降低配方中主要组分的分解或气化温度^[11],使得推进剂表面在激光作用下热分解的气化程度占主导作用,从而能够影响推进剂的点火过程和点火延迟时间。在较高热流密度时,Bi 盐、 β -Cu、CB 催化剂具有缩短推进剂点火延迟时间的作用,而 Φ -Pb、 β -Cu 和 CB 催化剂却延长了推进剂的点火延迟时间,这一现象与催化剂的平台或“麦沙”燃烧效应有类似的现象,这两者之间是否有关联,还需进一步研究。

4 结 论

(1) 双基推进剂点火延迟时间和激光的热流密度密切相关,点火延迟时间随着热流密度的增加呈缩短的趋势,随着热流密度的增加,点火延迟时间的变化趋缓,因此,在发动机点火器设计时,不能仅依靠提高点火器装药量的方式来缩短点火延迟时间,应以满足可

靠点火即可,否则,可能会造成发动机故障发生。

(2) 推进剂主要组分 RDX 含量不同的点火延迟时间与能量密度有关,在低热流密度条件下,不同含量 RDX 推进剂试样的点火延迟时间差别较小,而在较高热流密度条件下,点火延迟时间差别明显,且随着 RDX 的含量增加延迟时间呈现明显增加的趋势。

(3) 在采用 Al 粉取代部分 RDX 后,激光能量密度较低时,Al 粉的“稀释”和热传导的物理作用对推进剂试样的点火贡献较大,点火延迟时间较长;而在较高热流密度时,Al 粉作为还原剂与配方中的组分发生氧化反应程度加剧,逐渐掩盖了 Al 的“稀释”和热传导作用,并且气相中的氧化还原反应逐渐成为了点火的控制反应,从而点火过程发生改变。

(4) 对于实验的含两种催化剂的推进剂与未加催化剂的试样相比,低热流密度时其对点火过程和延迟时间影响不大;在较高热流密度时,催化剂的作用能够明显改变试样的点火过程和点火延迟时间,影响的程度与催化剂的种类有关。

参考文献:

- [1] Williams F A. Theory of propellant ignition by heterogeneous reaction[J]. *AIAA J*,1966,4: 1354-1357.
- [2] Price E W,Bradley Jr H H,Dehority G L, et al. Theory of ignition of solid propellants[J]. *AIAA J*,1966,4: 1153-1181.
- [3] Baer S D,Ryan N W. An approximate but complete model for the ignition response of solid propellants[J]. *AIAA J*,1968,6: 872-877.
- [4] Kulkarni A K,Kumar M,Kuo K K. Review of solid propellant ignition studies[J]. *AIAA J*,1982,20: 243-244.
- [5] 郝海霞,裴庆,赵凤起,等. 固体推进剂激光点火性能研究综述[J]. 含能材料,2009,17(4): 491-498.
HAO Hai-xia,PEI Qing,ZHAO Feng-qi, et al. Summarization of laser ignition characteristics of solid propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*,2009,17(4): 491-498.
- [6] 江治,李疏芬,李凯,等. 含纳米金属粉的推进剂点火实验及燃烧性能研究[J]. 固体火箭技术,2004,27(2): 117-120.
JIANG Zhi,LI Shu-fen,ZHAO Feng-qi, et al. Research on the ignition and combustion properties of composite propellant containing nano metal powders [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*,2004,27(2): 117-120.
- [7] 李疏芬,牛和林,张钢锤,等. NEPE 推进剂激光点火特性[J]. 推进技术,2002,23(2): 172-175.
LI Shu-fen,NIU He-lin,ZHANG Gang-chui, et al. Laser ignition of NEPE propellant[J]. *Journal of Propulsion Technology*,2002,23(2): 172-175.
- [8] Kim J U,Torikat T,Kuo K K. Ignition dynamics of nitramine composite propellants under CO_2 laser heating. *AIAA 87-0564*[R].
- [9] Kim J U,Koo F H,Torikat T, et al. Comparison of ignition characteristics of a series of RDX-based composite propellants under rapid pressurization. *AIAA85-1175*[R].
- [10] 南宝江,平丽,马喜梅,等. 不同条件下复合推进剂点火性能实验

[J]. 火工品, 2009(3): 10-13.

NAN Bao-jiang, PING Li, MA Xi-mei, et al. Experimental studies on ignition property of composite propellants [J]. *Initiators &*

Pyrotechnics, 2009(3): 10-13.

[11] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 59-320.

Laser Ignition Characteristics of RDX-CMDB Propellants

HAO Hai-xia¹, PEI Qing¹, NAN Bao-jiang², ZHANG Heng¹, XIAO Li-bai¹, ZHAO Feng-qi¹

(1. Xi'an Modern Chemistry Institute, Xi'an 710065, China; 2. The 41st Institute of the Fourth Academy of CASC, Xi'an 710025, China)

Abstract: Laser ignition characteristics of double-based (DB) propellant SQ-2 and RDX-CMDB propellants were studied by CO₂ laser ignition at different laser fluxes. The effects of content of RDX, Al powder and burning catalysts on ignition characteristics of RDX-CMDB were discussed. Results show that the laser ignition delay time of DB propellant SQ-2 and RDX-CMDB propellants except the sample containing Al powder becomes shorter with the heat fluxes increasing, and its change slows down. The influence of the content of RDX, the additives of Al powder and the burning catalysts on the ignition delay time was related with the laser fluxes. The content of other components had little effect on the laser ignition delay time of propellants. Al powder could prolong the delay time at lower heat fluxes, and the delay time increased with increasing of the content of RDX, and Al powder and the catalysts in the propellant had both great influence on the laser ignition process and the delay time of the propellants at the higher heat fluxes.

Key words: physical chemistry; double-based propellant; laser ignition; heat flux; ignition delay time

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.008



第三届固体推进剂安全技术研讨会征文通知(第三轮通知)

因计划调整,第三届固体推进剂安全技术研讨会定于2011年7月下旬在福建武夷山召开,此次会议由航天工业固体推进剂安全技术研究中心主办,航天科技集团公司四院四十二所承办。

会议主题: 固体推进剂安全技术研究进展与发展方向

一、征文范围

- 1、固体推进剂安全技术研究进展与发展方向
- 2、固体推进剂配方与新型含能材料安全性
- 3、固体推进剂安全性试验方法与测试技术
- 4、固体推进剂安全性数值模拟及仿真分析技术
- 5、固体推进剂安全性评估、评价方法
- 6、固体推进剂降感方法及安全控制技术
- 7、固体推进剂低易损性技术
- 8、固体推进剂及固体导弹安全性相关技术

二、征文要求

- 1、观点明确、数据可靠、图表清晰、文字简洁流畅(格式见附件);
- 2、文责自负,论文不应涉及他人知识产权,须通过单位保密审查;
- 3、投稿请注明作者姓名、单位、详细通讯地址、联系电话、传真、电子邮箱等;
- 4、投稿请寄打印稿和电子文档各一份,并附单位保密审查证明;
- 5、录用稿件将统一编入《第三届固体推进剂安全技术研讨会论文集》,创新性和高质量的论文将向《固体火箭技术》等专业核心期刊推荐。

三、征文截稿时间 2011年5月31日

四、联系方式

联系人: 蒲远远 0710-3219099(O) 13669001170

赵孝彬 0710-3219202(O) 0710-3219111(F) 13085288582 zxb73525@sina.com

李军 0710-3219010(O) 13487151431 aqjstyh@163.com

通信地址: 湖北省襄樊市156信箱 441003