

硝胺推进剂点火性能研究

刘德辉 吴文清 吕振忠 张宁

(国防科学技术大学化学系, 长沙 410073)

摘要 利用改装的透明燃烧仪对硝胺推进剂燃烧时的火焰进行动态检测, 研究了添加剂对硝胺推进剂点火性能的影响, 解决了硝胺推进剂低压点火难的问题。

关键词 硝胺 推进剂 点火 添加剂

1 引言

硝胺推进剂具有高能和少烟的优点, 但这类推进剂存在低压点火难的问题。解决此问题的方法, 一般是在推进剂中加入点火添加剂, 而添加剂的筛选通常要做大量实验才能确定, 既消耗大量人力物力, 又要花费许多时间。本文探索了用透明燃烧仪研究点火性能的方法, 并获得了成功。

2 实验

2.1 实验装置

以往透明燃烧仪主要是对推进剂燃烧时的火焰进行拍摄, 分析其火焰结构, 从而定性研究催化剂对推进剂燃烧性能的影响。作者在保持仪器原有功能不变的情况下, 对 KD-4203 型透明燃烧仪进行了改装, 使其能对推进剂燃烧时的火焰光信号进行检测, 利用光线示波器记录下燃烧时光强度随时间而变化的信息, 研究推进剂的点火性能和燃烧稳定性, 使点火添加剂的筛选既方便又快速。

作者对原有仪器进行了改装, 增加了光强检测及记录部分。改装后的透明燃烧仪系统如图 1 所示。该系统包括以下四个部分: (1) 氮气加压及燃烧产物排出部分; (2) 透明燃烧室部分; (3) 火焰拍摄部分; (4) 光强检测及记录部分。

2.2 燃烧实验

为快速筛选出点火添加剂, 作者用石蜡代替推进剂中的粘合剂系统, 分别加入添加剂, 制成 RDX/石蜡/Al/添加剂的模拟推进剂药片, 将其置于透明燃烧室中, 充以一定的氮气(压强 3.0MPa), 将推进剂点火, 此时既可对推进剂的燃烧火焰进行拍摄, 也可以对燃烧时的光强信号进行记录。分析拍摄的火焰结构照片, 或分析燃烧时光强随时间而变化的情况, 就可以对推进剂的点火性能和燃烧性能进行静态或动态的研究。

3 结果及讨论

3.1 $I-t$ 曲线形状

图2为模拟推进剂燃烧时的发光强度(I)随时间(t)而变化的示意图,可以发现模拟推进剂药片的燃烧明显分为点火(OA)、加速燃烧(AB)、稳定燃烧(BC)和熄火(CD)四个阶段,这与真实推进剂燃烧时的情况一致。

点火阶段可考虑OA与燃烧时间轴 t 的夹角 α 或OA段在时间轴 t 上的投影OA'(该值可称为点火延滞期), α 越大或点火延滞期越小表示推进剂越易点火,反之则表明推进剂的点火性能越差。

加速燃烧时间A'B'表示推进剂被点火以后达到稳定燃烧的时间,其值越小,表示推进剂越易达到稳定燃烧。

稳定燃烧阶段主要考虑曲线的波动情况,曲线波动越大说明燃烧越不稳定,反之则稳定性较好。B'C'的值与OD的值之比(即稳定燃烧的时间与推进剂总的燃烧时间之比)亦可表征推进剂的燃烧稳定性,比值越大,稳定性越好。

3.2 点火性能研究

为研究点火性能,作者制作了多种模拟推进剂的药片,利用透明燃烧仪研究不同药片的点火和燃烧稳定性。表1列出部分实验结果,其中1号配方为RDX/Al/石蜡80/8/12,2号、3号和4号则是在1号配方基础上,分别外加1%的添加剂ID-1、ID-2和ID-3。

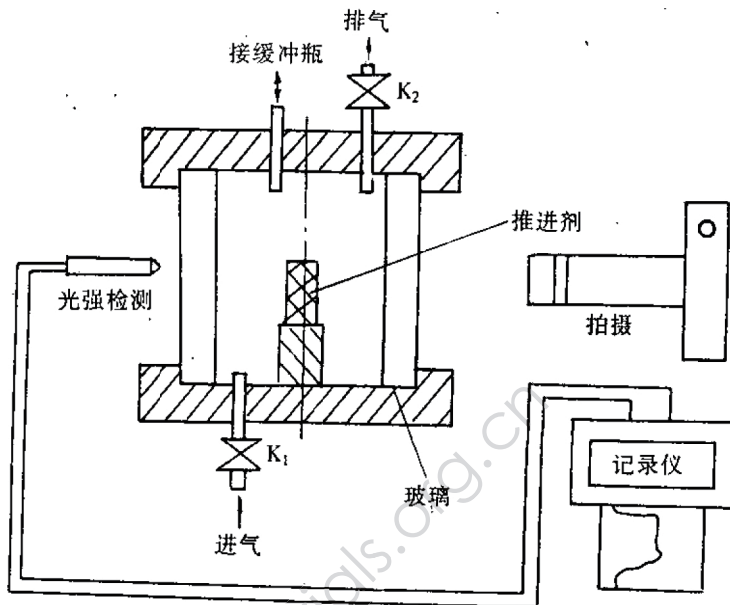


图1 改装后的透明燃烧仪系统示意图

Fig.1 Scheme of the modified transparent combustion device

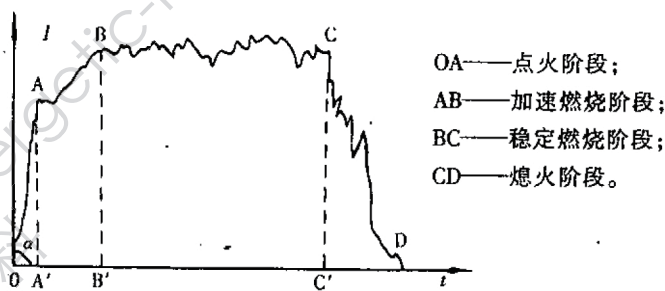


图2 模拟推进剂燃烧时的 $I-t$ 曲线示意图

Fig.2 $I-t$ curve of the simulated propellant during combustion

表1 点火性能实验结果(3.0MPa)
Table 1 Ignition behavior of some propellant formulations at 3.0MPa

编号	点火延滞期 (s)	加速燃烧时间 (s)	燃烧稳定性	稳定燃烧段曲线波动情况
1	0.67	0.76	0.30	波幅较大
2(ID-1)	0.40	0.44	0.46	波幅很大
3(ID-2)	0.62	0.66	0.35	波幅较大
4(ID-3)	0.44	0.21	0.49	波幅远小于2号、3号

由表1可以看出, ID-2对硝胺推进剂的点火性能几乎无影响, 而ID-1却对点火性能有所改善, 但稳定燃烧段曲线波幅很大, 说明它对燃烧稳定性有不利影响。只有ID-3是一种较好的点火添加剂, 它使点火延滞期和加速燃烧时间大大缩短, 表明含ID-3的硝胺推进剂可被迅速点火, 很快达到稳定燃烧, 其燃烧稳定性指标数为0.49, 而且稳定段曲线波幅较小, 这些结果表明ID-3不但可改善硝胺推进剂的点火性能, 而且可改善推进剂的燃烧稳定性。

3.3 推进剂实验

我们用优化设计方法优选出高能少烟的含铝硝胺推进剂的基础配方为RDX/HTPB/Al/KZ 79/13/5/3^[1], 以此配方为基础, 分别用1%的ID-1、ID-2和ID-3取代1%的RDX, 对这四种配方进行推进剂工艺和燃烧实验。结果表明基础配方推进剂工艺性能尚好, 但推进剂药条在4.0MPa以下时无法在水中点燃; 含ID-1的推进剂点火性能不是太令人满意, 有时能点火, 有时不能, 且燃烧有时不完全; 含ID-2的推进剂工艺性能很差, 药浆无法浇注成形; 只有含ID-3的推进剂工艺性能和点火性能均好(在2.8MPa的水下仍能点燃), 且能持续将推进剂药条烧完。

上述结果表明ID-3确实是一种良好的硝胺推进剂的点火添加剂, 这也说明用改装后的透明燃烧仪研究推进剂的点火性能和燃烧稳定性是可行的。

4 结 论

4.1 对于硝胺推进剂, ID-3是一种良好的点火添加剂, 它有利稳定燃烧。

4.2 改装后的透明燃烧仪可用于研究推进剂的点火性能和燃烧稳定性, 该方法具有速度快、成本低的优点。

参 考 文 献

- 1 刘德辉, 吴文清等. 含铝硝胺推进剂配方优化设计(待发表).

IGNITION BEHAVIOR INVESTIGATION OF SOME NITRAMINE PROPELLANTS

Liu Dehui Wu Wenqing Lü Zhenzhong Zhang Ning

(*National University of Defence Technology, Changsha 410073*)

ABSTRACT The combustion flame of a simulated nitramine propellant was dynamically monitored by using a modified transparent combustion device and a flame luminosity diagram was obtained. The result can be used to determine the effect of additives on the combustion behavior of nitramine propellants and solve their ignition difficulty at low pressure.

KEYWORDS additive, ignition, nitramine, propellant.



作者简介 刘德辉(Liu Dehui), 副教授, 工学硕士, 1960年出生于四川梁平县。1978年考入国防科技大学, 毕业后留校工作至今。在含能材料的燃烧和爆轰领域发表了近30篇研究论文, 出版有《炸药学》教材一部, 获科工委科技进步奖一等奖一项, 二等奖二项。现任兵工学会火炸药专业委员会委员, 国防科技大学含能材料教研室副主任。