

文章编号: 1006-9941(1999)02-0074-02

两种含能液滴燃烧特性的比较

余永刚¹, 金志明¹, 罗运军²

(1. 南京理工大学动力工程学院, 江苏 南京 210094)

(2. 北京理工大学化工与材料学院, 北京 100081)

摘要: 利用高速摄影和热电偶测温方法研究了 HY911 和 OTTO-II 两种液滴在高温(700~850℃)环境下着火、燃烧的特性, 定量测试了液滴着火延迟期、生存期、着火温度和平均质量燃速。结果表明: 在同样条件下, OTTO-II 液滴比 HY911 液滴易于着火, 但燃速比 HY911 慢得多。

关键词: 液体发射药; 液体发射药火炮; 燃烧特性

中图分类号: TQ562

文献标识码: A

1 引言

再生式液体发射药火炮(RLPG)是军事专家关注的热点之一。它的工作过程是利用再生原理把液体药由贮液室喷射到火炮的燃烧室, 然后点燃、燃烧, 产生高温高压燃气推动弹丸运动, 显然液体药雾化性能和液滴燃烧特性是决定 RLPG 内弹道性能的两个重要因素。文献[1]报道了 OTTO-II 和 HY911 的理化性能。文献[2~6]报道了 HY911 液滴的燃烧特性。本实验就这两种含能液滴在高温下着火燃烧特性进行了研究和比较, 这对 RLPG 点火具和再生喷射结构设计有一定的指导意义。

2 实验装置

实验装置结构如图1所示, 通过针筒将液滴挂在 $>0.2\text{mm}$ 镍铬镍铝热电偶6的结点上, 通过此热电偶和光线示波器可测量液滴的温升曲线。

将热电偶5($>0.2\text{mm}$ 镍铬镍铝)放置在液滴附近可测量气相的温升曲线。管形电加热炉的温度从常温到 1000°C 可调, 用一台 DWK-702 型精密温控仪控制, 其控温精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。加热炉装在燕尾槽上, 它被气动装置来回推动。GS240/35 高速摄影机可记录液滴着火、燃烧的过程。

3 实验结果与讨论

收稿日期: 1998-02-18 修回日期: 1998-08-10

作者简介: 余永刚, 1963年生, 男, 博士, 副教授, 发表论文42篇。

把 HY911 和 OTTO-II 液滴置于高温环境(700~850℃)中, 通过高速摄影机可记录燃料液滴受热尺寸变化, 蒸发及燃烧的全过程。由实拍照片判读可看出, 这两种液滴变化特征不同, 其中 OTTO-II 和一般燃料滴变化规律相同, 满足 D^2 定律, 即燃料液滴在蒸发燃烧过程中, 其直径(D)的平方与时间(t)的变化呈线性关系。但 HY911 液滴不满足 D^2 定律。HY911 液滴在蒸发期结束后, 会出现周期性膨胀收缩现象^[7]。从高速摄影照片来看, 周期性变化次数约20~30次, 且膨胀周期和频率有一定的随机性, 膨胀的最大直径约为初始直径的两倍。这个过程有气相产物析出, 并伴有轻度微爆现象(即液滴的二次破碎)发生, 微爆机理主要是水组分的过热和硝酸羟氨的微弱液相反应^[8]。HY911 液滴的微爆现象对 RLPG 雾化过程是有利的。

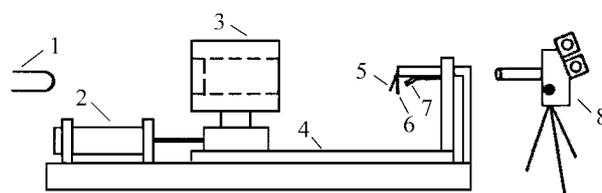


图1 实验装置示意图

1——平行光源; 2——气动装置; 3——管形电加热炉;
4——燕尾槽; 5, 6——热电偶; 7——喷嘴;
8——GS240/35 高速摄影机

Fig. 1 Sketch of experimental apparatus

1——parallel light source, 2——pneumatics, 3——tubular heater,
4——swallowtail channel, 5, 6——thermocouple,
7——nozzle, 8——high speed camera GS240/35

实测 OTTO-II 温升曲线如图 2 所示,结合高速摄影照片,可较准确地判定液滴着火延迟期(t_i)、生存期(t_b)和着火温度(T_c)。测量结果列于表 1。

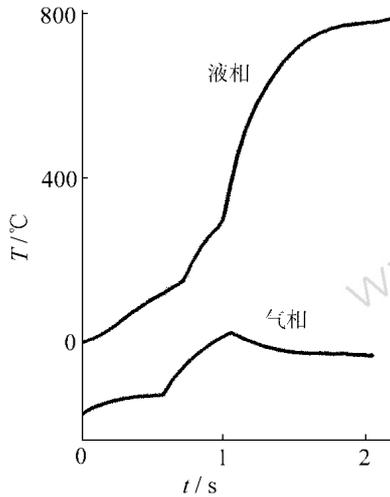


图 2 OTTO-II 液滴气液两相温升曲线
Fig.2 Temperature rise curves of OTTO-II droplets in gas and liquid phase

表 1 HY911 和 OTTO-II 液滴着火、燃烧的特性参数
Table 1 Characteristic parameters of ignition and combustion of HY911 and OTTO-II droplets

试样	$T_{\infty}^3 / ^\circ\text{C}$	t_i / s	t_b / s	$T_c / ^\circ\text{C}$
HY911 ¹⁾	700	4.66	4.74	345
	750	4.05	4.13	338
	800	3.92	4.01	334
OTTO-II ²⁾	700	1.15	1.47	175
	750	0.80	1.35	151
	800	0.60	1.06	124

注：1) $D_0 = 1.655 \pm 0.035\text{mm}$; 2) $D_0 = 1.400 \pm 0.035\text{mm}$;
3) T_{∞} 为环境温度。

由表 1 看出,在条件基本相同情况下(考虑到两种液滴初始直径的差异),HY911 液滴的着火延迟期大约是 OTTO-II 液滴着火延迟期的四倍,而生存期大约是三倍,着火温度为二倍左右,这说明 OTTO-II 易于着火,并且随着环境温度的升高,OTTO-II 液滴的着火温度很快降低,而 HY911 液滴着火温度变化较小,这反映出 HY911 热稳定性优于 OTTO-II。此外,我们还利用读数显微镜读出液滴直径,算出液滴平均质量燃速 \bar{m} ,结果见表 2,由表可以看出,HY911 液滴燃速大约是 OTTO-II 液滴燃速的 40~80 倍。

表 2 液滴的平均质量燃速

Table 2 Mean mass burning rate of droplets

$T_{\infty} / ^\circ\text{C}$	$\bar{m}_{\text{HY911}} / \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$	$\bar{m}_{\text{OTTO-II}} / \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$
700	1.06×10^{-1}	1.33×10^{-3}
750	1.12×10^{-1}	1.78×10^{-3}
800	1.20×10^{-1}	2.64×10^{-3}

对 HY911 和 OTTO-II 液滴着火、燃烧的特性参数进行分析后认为,在设计 RLPG 点火具参数时,HY911 的点火强度应比 OTTO-II 大,才能保证雾化液滴在碰到燃烧室壁面前就着火、燃烧,减少 HY911 的初期积累,对抑制 RLPG 压力振荡有明显作用。另外,由于 OTTO-II 的燃速慢,在设计 RLPG 喷射结构时,应使 OTTO-II 雾化液滴群的平均颗粒直径比 HY911 小,以保证瞬时燃完。

4 结论

在高温(700~850 $^\circ\text{C}$)常压环境下,HY911 液滴比 OTTO-II 液滴难于着火,其着火延迟期约为后者的四倍,着火温度为后者的两倍,而燃速为后者的 40~80 倍,当然,RLPG 膛内实际情况异常复杂,上述结果仅作为定性参考。

参 考 文 献

- [1] 李仁祺. HAN 基液体发射药与 OTTO-II 的比较[J]. 火炸药,1996(4): 26.
- [2] 余永刚,金志明. 含能液滴在高压下爆燃性燃烧现象的研究[J]. 爆炸与冲击,1996(1): 47.
- [3] 余永刚,金志明. HAN 基液体发射药液滴燃烧的简化模型[J]. 兵工学报,1996(4): 294.
- [4] 余永刚,金志明. 含能液滴在对流环境中着火燃烧特性研究[J]. 推进技术,1996(2): 53.
- [5] Beyer R A. Single droplet studies in a hot, high pressure environments[R]. AD-A 194 472, 1988.
- [6] Law C K. Ignition and combustion of liquid propellants [R]. AD-A 224 150, 1990.
- [7] 余永刚. HY911 液滴膨胀收缩与微爆现象研究[J]. 弹道学报,1996(1): 5.
- [8] 余永刚,金志明. HAN 基液体发射药液滴在大气压下的微爆机理探讨[J]. 南京理工大学学报,1995(5): 294.

(下转第 88 页)

据与其他炸药的冲击波感度没有可比性,不能采用。考虑到 JB-9001 是以 TATB 为主的炸药,其冲击波感度应比所列的其他炸药的冲击波感度低,文中采用 G_{50} 为 15.0mm,可能该值与其实值差别较大,它仅表示该炸药在所列炸药中的冲击波感度的次序。对苏珊试验、滑道试验结果都换算成一定的数值,这种换算虽不够准确,但从计算结果看,现在这种估计还是可行的。

(5) 本文使用了传递闭包法分类。当矩阵阶数不高时,可采用最大树方法或其他方法进行分类。

(6) 若被分类炸药的某一性能数据相同,即 $x_{\max}^{(j)} = x_{\min}^{(j)}$ 时,则在模糊聚类中,可不考虑此参数。

致谢:本工作曾得到花成同志的帮助,并采用了陈启珍、向勇、张俊隆、马丽莲、黄毅民、吕学国、廖鸿铭、舒远杰等同志的有关实验数据,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 湛红. 模糊数学在国民经济中的应用[M]. 华中理工大学出版社,1995.
- [2] UCRL-14592.
- [3] UCID-17808.
- [4] 董海山,周芬芬编. 高能炸药及相关物手册[M]. 北京: 科学出版社,1989.
- [5] 阮庆云,陈启珍. 评价炸药安全性能的苏珊试验[J]. 爆炸与冲击,1989(1).

Application of Fuzzy Mathematics to Evaluation of Explosive Properties

HU Qing-xian

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Chengdu 610003, China)

Abstract: A method of classifying explosives by fuzzy mathematics is proposed. The property parameters of the well-known and that to be evaluated explosives are classified in fuzzy clusters so as to provide a proper basis for their application.

Key words: explosive property; application of fuzzy mathematics; evaluate

(上接第 75 页)

Combustion Behaviors of Two Kinds of Energetic Droplets

YU Yong-gang¹, JIN Zhi-ming¹, LUO Yun-jun²

(1. College of Power Eng. Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

(2. College of Chemical Engineering Material Sciences, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The combustion behaviors of liquid energetic materials, HY91 and OTTO-II, were investigated by using their droplets in the high temperature range of 700 ~ 850°C. The ignition delay, lifetime, ignition temperature and average mass burning rate of the droplets were measured by a high-speed camera and two thermocouples. The results show that OTTO-II is ignited earlier than HY91, but its burning rate is much slower than the later. These data obtained are of practical references for improving the igniter and injection device of the regenerative liquid propellant gun (RLPG).

Key words: combustion behavior; liquid propellant; liquid propellant gun