

黑索今粉末粒径对快速反应特性的影响

胡 栋 孙珠妹

(中国工程物理研究院流体物理所, 冲击波物理与爆炸物理实验室, 成都 610003)

(成都科技大学应用物理所, 冲击波物理与爆炸物理实验室, 成都 610065)

摘要 利用激波管技术及光谱技术研究了粉状黑索今(RDX)粒径对其快速反应特性的影响。结果表明: 不同粒径的 RDX 快速反应都是 N-N 键先断裂, 然后生成 CH_2O 基团。粗颗粒 RDX 的 N-N 键比细颗粒 RDX 容易断裂; 细颗粒 RDX 的快速反应剧烈。在次级反应中 RDX 粒径对生成 CN、OH、NH 的反应影响不明显; RDX 粒径越细, C_2 越多, CH 越少。

关键词 反应微观特性 粒径 RDX

中图分类号 O643.2

1 引言

RDX 是一种含 C、H、O、N 的硝基化合物, 在氢氧混合物爆轰产生的激波作用下, 它的化学反应较复杂, 反应历程繁多。Boggs^[1]、Renlund^[2]等人对 RDX 的热分解反应已经开展了较多的研究, 对其热分解机理提出了看法, Owens^[3]等人还对凝聚相炸药爆轰的光谱进行了研究。但由于凝聚相炸药爆轰反应在 ns~ μs 量级时间内完成, 对反应产物随时间变化的过程又不易观察, 因而对这类反应机理报道较少。

我们利用光谱探测技术, 用三台自制的带时间分辨的单色仪观察了 RDX 粉末快速反应产物的辐射特性。

2 实验装置及测试技术

实验中用氢氧混合物爆轰激励 RDX 快速反应。选用了三种颗粒的粉状 RDX, 平均粒径分别为 10, 152, 200 μm 。实验前将 0.3g RDX 粉均匀撒在一块平板上(1cm × 1cm 范围), 然后放入爆炸激波管。

用三台单色仪同时测量三种产物的辐射特性。单色仪配有光电探测系统, 响应时间 10~20ns。为了使观察到的光信号能反映同一位置的反应特性, 采用三根光纤同时插入观察口。

为确定 RDX 快速反应产物的成分, 首先用 OMA 谱仪全面了解 RDX 快速反应的光谱, 然后选择一些重要的反应产物, 利用单色仪再次验证。其方法是: 选择某种产物辐射灵敏谱线, 测出它的辐射强度, 随后将单色仪的波长偏离此灵敏线 1~3nm, 测出它的辐射

强度。若此辐射强度明显低于在灵敏谱线处测得的辐射强度,则可认为此产物存在。当然要注意在选择单色谱仪波长偏离灵敏谱线的量时,必须仔细核对此波长附近是否存在杂质谱线或其它产物谱线,以免影响测量结果。

3 测量结果及分析

利用上述测试技术来观察 RDX 粉末在不同初始激励条件下的快速反应特性,选择了已确认的几种主要产物作为研究对象,它们分别为: OH(306.4nm)、CN(388.3nm)、CH(431.4nm)、C₂(473.7nm)、NO₂(463.0nm)、H₂O(591.6nm)、CO₂(391.2nm)、CH₃O(351.4nm)、CH₂O(422.0nm)、CHO(562.4nm)和 NH(336.0nm)。改变氢氧混合物的初始压力,即可得到不同的激励压力。由于在实验中只配置了三台单色仪,因此应尽可能选取特性相关的三种产物作为观察对象。

3.1 CH₃O、CH₂O、CHO 的辐射特性

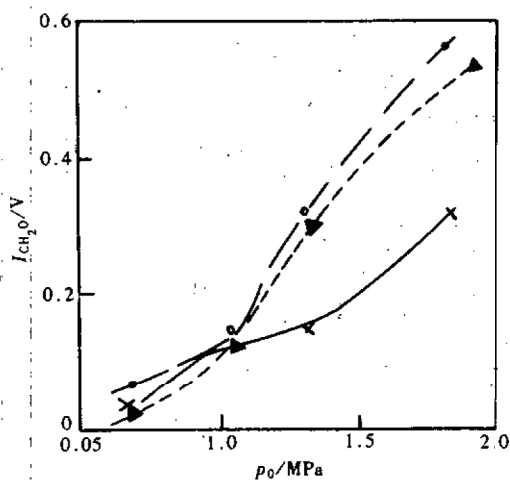
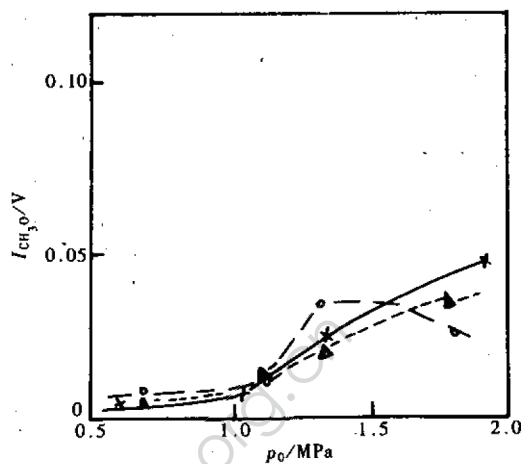
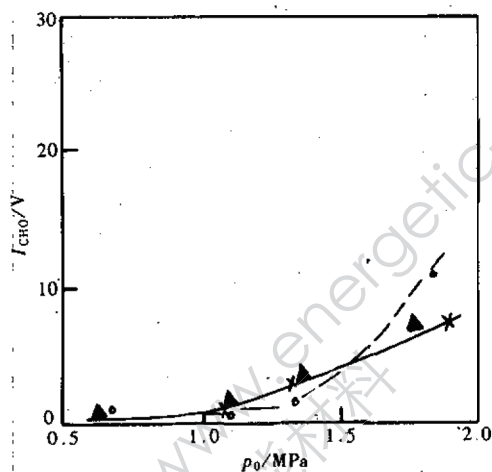
根据 RDX 的分子结构,断键后形成何种醛是人们比较关心的问题。为此,在一次实验中同时观察 CH₃O、CH₂O、CHO 三种中间产物的辐射特性。由于记录仪——高速数据采集系统是在同一个时间座标中记录的,因而记录到的信号可以确定产物出现的先后顺序。测量结果表明:由于 RDX 的粒径大小不同,CH₂O、CHO 和 CH₃O 辐射出现的时间有明显的差异(表 1),无论怎样改变激励条件,CH₂O 总是先出现,其次是 CHO,最后是 CH₃O。由此可见,RDX 颗粒越细越有利于提高快速反应的速度。

表 1 CHO、CH₂O、CH₃O 辐射出现的时间
Table 1 CHO, CH₂O, CH₃O emission emergence time

粒径/ μm	$t_1/\mu\text{s}$	$t_2/\mu\text{s}$	$t_3/\mu\text{s}$
10	32	30	33
152	28	25	30
200	25	20	26

注: t_1 、 t_2 和 t_3 分别为 CHO、CH₂O、CH₃O 辐射出现的时间。

我们在同一次实验中观察了 CH₂O、CHO 和 CH₃O 三种中间产物的辐射特性,实验结果分别列于图 1a、图 1b 和图 1c。由图 1a 可以看出,激励压力 p_0 为 0.65MPa 时,这三种粒径 RDX 的 CH₂O 辐射强度都比较弱。当 p_0 大于 1.1MPa 时,它们的辐射强度明显增强,并且颗粒越细,CH₂O 的辐射强度越强。由此也可看出,RDX 粉越细,对 RDX 初期快速反应的影响越明显。但是,粒径为 10 μm 和 152 μm 的 RDX 粉末的 CH₂O 辐射强度十分接近,即粒径小于 152 μm 后,粒径对生成 CH₂O 产物反应的影响就不明显。对于 CHO 和 CH₃O, p_0 约大于 1.1MPa 后辐射才明显增强。而且三种不同粒径 RDX 反应的次级产物 CHO 和 CH₃O 的辐射强度十分接近(见图 1b、图 1c),粒径的影响不太明显。

(a) CH₂O(c) CH₃O

(b) CHO

图1 RDX 粒径对其反应中间产物 CH₂O、CHO、CH₃O 辐射特性的影响

Fig.1 Influence of particle size of RDX on radiation behaviours of intermediate products CH₂O, CHO and CH₃O

○—○ 10μm; ▲—▲ 152μm; ×—× 200μm
(下图同)

3.2 OH、CN、C₂、CH、NH 的辐射特性

上述多原子中间产物形成后,还将分解成双原子及单原子中间产物。部分次级反应可能为:

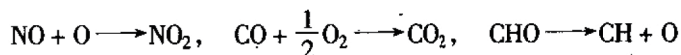
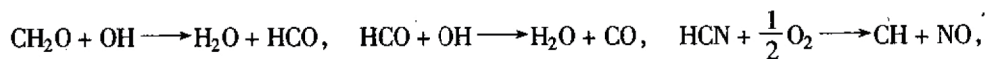
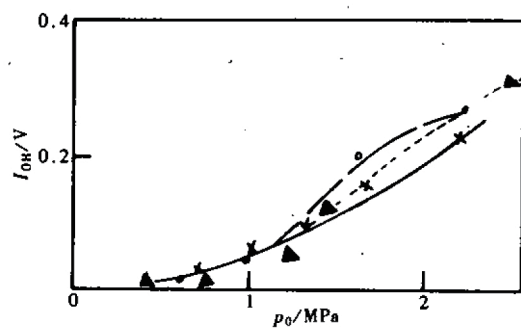
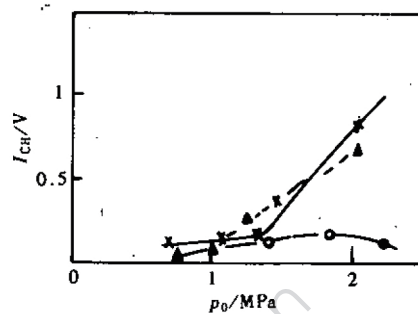


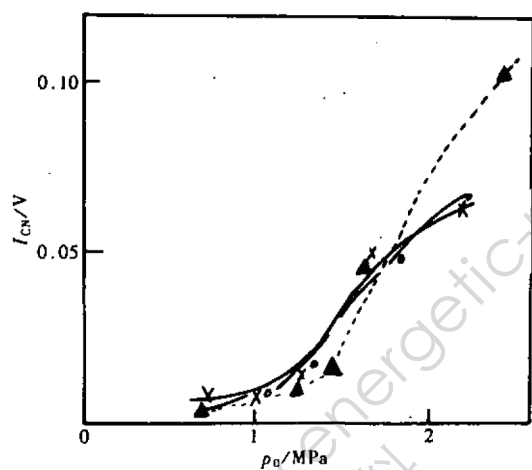
图2a~图2e分别描述了OH、CN、C₂、CH、NH的辐射特性。由图2a和图2b可以看出,三种粒径的RDX在激励压力为0.6MPa时CN和OH的辐射都比较弱,当激励压力大于1.25MPa后这两种中间产物的辐射特性明显增强。比较三种粒径RDX快速反应的中间产物CN和OH辐射特性还能看出,RDX的粒径对生成CN和OH中间产物的反应速率没有明显影响。



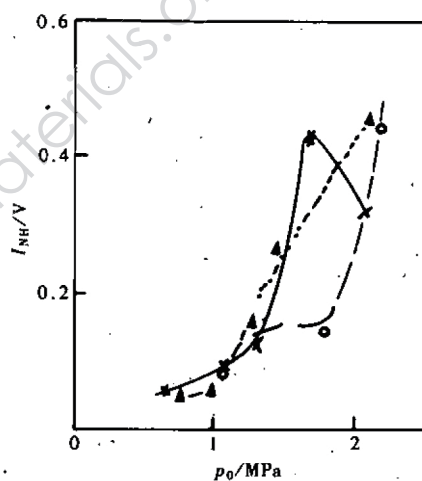
(a) OH



(d) CH



(b) CN



(e) NH

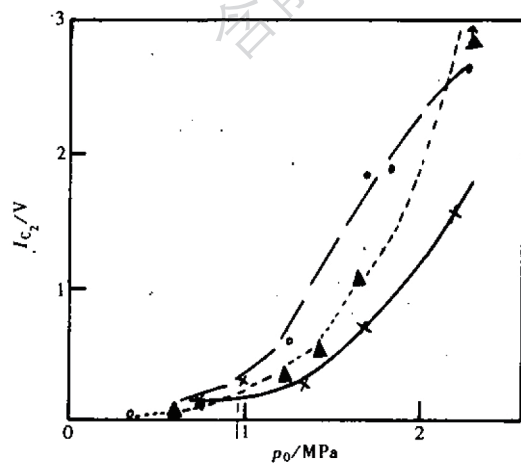
(c) C₂

图2 RDX 粒径对其快速反应中间产物
OH、CN、C₂、CH、NH 辐射特性的影响

Fig.2 Influence of particle size of RDX
on radiation behaviours of fast reaction
intermediate products OH, CN, C₂, CH, NH

由图 2c 可以看出,在激励压力为 0.6MPa 时,粒径对 RDX 快速反应中间产物 C_2 辐射强度的影响不明显,当激励压力大于 1.3MPa 后,粒径越小 C_2 辐射越强, C_2 生成越多。由图 2d 和图 2e 可看出,激励压力小于 1.3MPa 时,RDX 粒径对 CH 和 NH 的辐射特性没有明显影响,但是当激励压力 p_0 大于 1.3MPa 后 CH 辐射出现了明显的变化。激励压力 p_0 约为 2.0MPa 时,RDX 粒径越小,CH 辐射越弱,也就是生成 CH 自由基的反应越弱。激励压力 p_0 大于 1.3MPa 时,粒径对 NH 辐射特性的影响没有规律性,其原因是生成 NH 自由基的反应历程和最终产物的关联不十分密切。

3.3 反应最终产物 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 的辐射特性

我们还利用上述光谱技术及三台单色仪确定了最终产物 NO_2 、 H_2O 和 CO_2 的存在。为了探索 RDX 粒径对快速反应影响的机理,我们在同一次实验中分别测量了这三种最终产物辐射出现的时间(见表 2)。测量结果表明:无论是哪种粒径的 RDX, NO_2 辐射出现的时间总是早于 H_2O 和 CO_2 。为了深入了解其机理,还将最终产物和上述中间产物一起测量。测量结果发现:不论哪种粒径的 RDX, NO_2 辐射出现的时间都明显早于上述任何一种中间产物。这充分说明:在 RDX 快速反应初期首先断裂的是 N-N 键,它与 RDX 的颗粒粗细无关。

表 2 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 辐射出现的时间

Table 2 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 emission emergence time

粒径/ μm	$t_4/\mu s$	$t_5/\mu s$	$t_6/\mu s$
10	22	60	62
152	19	30	34
200	17	26	28

注: t_4 、 t_5 和 t_6 分别为 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 辐射出现的时间。

为进一步验证上述机理的正确性,本文还列出了 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 三种最终产物的辐射特性(见图 3a~图 3c)。由图 3a 可以看出:在激励压力低于 1.6MPa 时,三种粒径 RDX 快速反应产物 NO_2 的辐射强度很接近,但是当激励压力为 2.0MPa 时,200 μm RDX 的 NO_2 辐射强度明显大于 152 μm 和 10 μm RDX。它表明粗颗粒 RDX 快速反应初期 N-N 键断裂生成的 NO_2 比细颗粒多。由图 3b 和图 3c 可见, CO_2 的辐射特性与 H_2O 辐射特性十分相似,即 152 μm 和 200 μm RDX 的 H_2O 和 CO_2 的辐射强度非常接近,并且在激励压力大于 1.2MPa 后,10 μm RDX 的 H_2O 和 CO_2 的辐射强度均高于粗颗粒 RDX。氢氧化生成水以及碳氧化生成 CO_2 的反应均为强放热反应,它们的反应程度与炸药爆轰压力直接相关。

4 结 论

利用多种光谱技术研究了粒径对 RDX 快速反应影响的机理,得到了如下看法:

(1) 不同粒径 RDX 快速反应都是 N-N 键先断裂生成 NO_2 ,然后生成 CH_2O 基团,其它基团都是这两种产物反应的衍生物。

(2) 粗颗粒 RDX 的 N-N 键比细颗粒 RDX 的 N-N 键容易断裂; 细颗粒 RDX 的快速反应剧烈。

(3) 在次级反应中, RDX 的粒径对生成 CN、OH、NH 的反应没有明显影响; RDX 粒径越细, 生成 C_2 越多, 但是 CH 自由基越少。

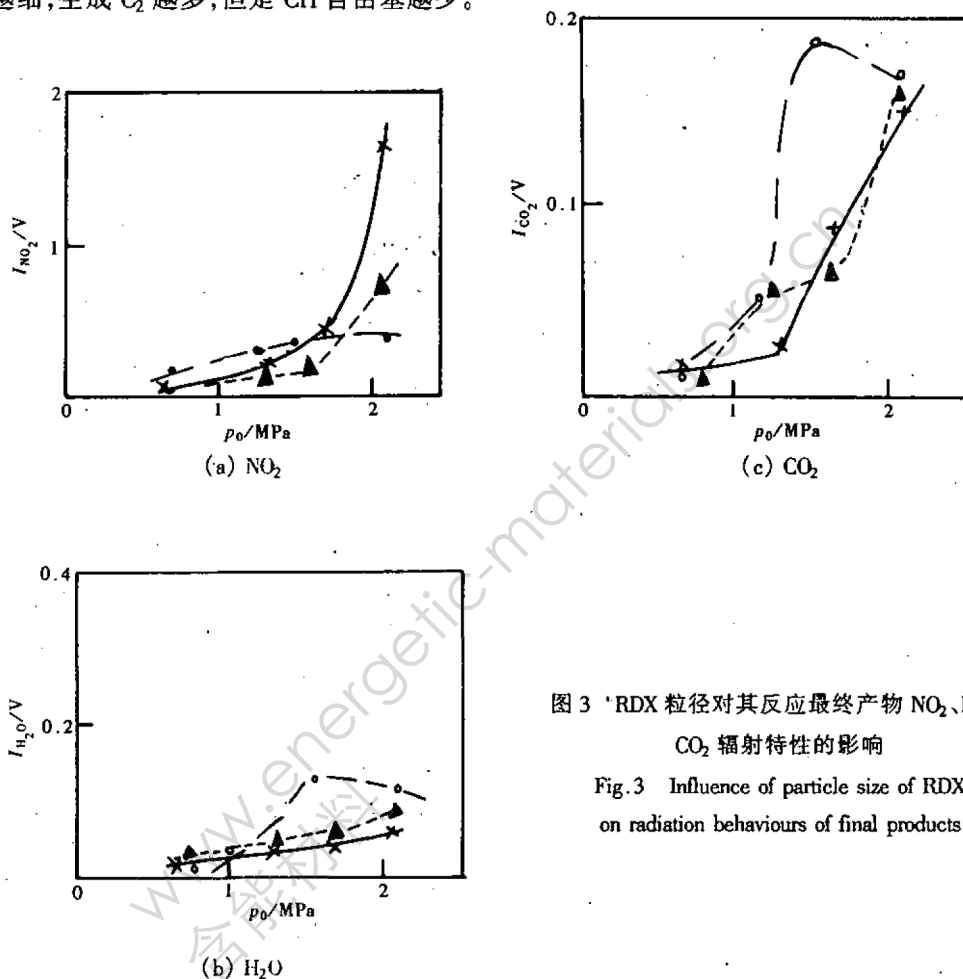


图3 RDX 粒径对其反应最终产物 NO_2 、 H_2O 、 CO_2 辐射特性的影响

Fig.3 Influence of particle size of RDX on radiation behaviours of final products

参 考 文 献

- 1 Boggs C R. Thermal Properties of RDX and HMX, in Fundamentals of Solid Propellant Combustion. ED. K K Kuo. AIAA, 1984.
- 2 Renlund A M, et al. SAND 83-2168, 1983.
- 3 Owens F J, et al. J. Appl. Phys., 1985, 51(6): 1494 ~ 1499.

INFLUENCE OF RDX PARTICLE SIZE ON ITS MICRO-BEHAVIOURS OF FAST REACTION

Hu Dong Sun Zhumei

(Laboratory for Shock Wave Physics and Detonation Physics Research,
Southwest Institute of Fluid Physics, Chengdu 610003)

(Laboratory for Shock Wave Physics and Detonation Physics Research, Institute of Applied Physics,
Chengdu University of Science and Technology, Chengdu 610065)

ABSTRACT The influence of particle size of RDX powder on its micro-behaviours of fast reaction is studied by means of shock tube technique and spectrography developed in our laboratory. The results show that the fast reaction of RDX powder with different particle size is first caused by the break of nitrogen-nitrogen bonds, then CH_2O radical is formed. Break of nitrogen-nitrogen bonds of coarse RDX powder is easier than that of fine ones. The fast reaction of fine RDX powder is strong. The influence of RDX particle size on the formation of molecule fragments CN, OH, NH is not obvious, while the finer RDX particle size is, the more C_2 , the less CH are formed.

KEYWORDS particle size, RDX, reaction micro-behaviour.



作者简介 胡 栋(Hu Dong), 1943年6月生于上海, 研究员, 1964年毕业于同济大学应用物理专业, 长期从事爆轰物理研究, 发表论文100余篇, 曾十次获部级科技进步奖, 获光华三等奖一次。