

利用单色谱仪研究炸药粉快速 反应产物发射谱*

胡 栋^{a, b} 孙珠妹^b

(a. 成都科技大学应用物理所, 冲击波物理与爆轰物理实验室, 成都 610065)
(b. 西南流体物理所, 冲击波物理与爆轰物理实验室, 成都 610003)

摘 要 利用作者研制的快速反应(爆轰)光谱探测技术研究了五种常用猛炸药快速反应最终产物光谱。研究表明, 随着炸药负氧平衡值的增加, 最终产物 H_2O 的含量也增加; 同样随着炸药中碳含量的增加 CO_2 量增加, 固体 C_2 也明显增多。它能为爆轰产物法合成金刚石选用主炸药提供有参考价值的数据。实验值与 BKW 方程计算值进行了比较, 其趋势是一致的。为微观研究炸药粉快速反应提供了一个较简便而行之有效的办法。

关键词 谱仪, 微观机理, 炸药。

炸药快速反应微观机理研究是从八十年代开始的。多数研究采用谱仪技术观察其反应特性。较理想的方法是利用快速响应的质谱仪确定炸药快速反应产物的成份。但是现有的质谱仪只能将爆轰最终气态产物快速分离来确定其主要成份的含量, 对中间产物或固体产物的成份尚不能很好地确定。产物随时间变化过程需用带时间分辨多通道谱仪进行观察, 但是其价格十分昂贵, 我国一般研究单位都无力购买, 并且其测试技术比较复杂。

本文试图利用多台带光电探测系统的单色谱仪测量几个主要产物的辐射特性, 为了解炸药快速反应产物特性寻找一种简单而有效的方法。

1 实验装置与测试技术

常用的猛炸药都含有 C、H、O、N 四种元素, 其快速反应道繁多。若想研究所有产物随时间变化的辐射特性是不太可能的。本文利用图 1 所示的装置测量了五种炸药反应产物的辐射特性。实验前将炸药粉预先放在一块平板上, 然后放入爆炸激波管中。用 $2H_2 + O_2$ 混合物的爆轰波激励炸药粉。三台带光电探测系统的单色谱仪同时测量炸药粉反应产物的辐射特性。单色仪的分辨率为 0.1 nm, 光电探测系统的响应时间约为 10~20 ns。

先用 OMA 谱仪观察炸药粉反应产物的发射光谱。选择几条比较强的谱线作为研究对象, 用单色谱仪测量这些反应产物灵敏线的强度, 典型的测量结果如图 2 所示。然后将单色谱仪

* 中国工程物理研究院科学基金资助课题。

收稿日期: 1995年2月20日

的波长偏离上述灵敏线 0.2~1.0 nm, 若测得的辐射强度明显小于灵敏谱线的强度则可证明此谱线的存在。在选择偏离灵敏线的波长时必须分析此波长附近是否有其它产物或杂质的强辐射谱线的存在, 以免影响实验观察。

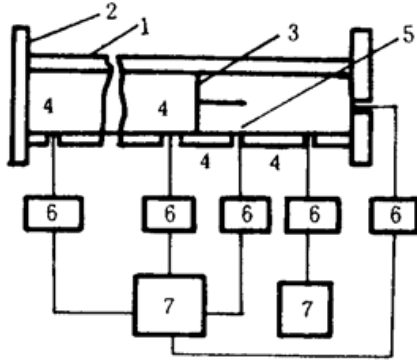


Fig. 1 Schematic diagram of experimental arrangement

1. Explosion shock tube, 2. Electric spark, 3. Excitation front, 4. Quartz gauges or optical fiber, 5. Explosive powder, 6. Charge amplifier or spectrograph, 7. Data acquisition system

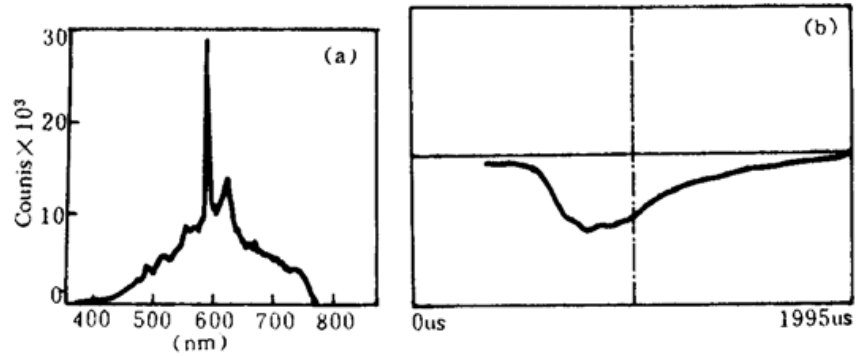


Fig. 2 (a) Typical result measured with OMA spectrograph, (b) Typical result measured with monochrometer

根据上述测试技术, 选取了以下四种产物的波长, 它们分别为: CO_2 (391.2 nm)、 NO_2 (463.0 nm)、 C_2 (473.1 nm)、 H_2O (591.6 nm)。

2 实验结果及分析

常用的猛炸药都是负氧平衡。从缺氧的角度来看, 炸药中缺氧越严重, 氧化反应将会不充分, 此时炸药最终产物中含氧分子可能减少, 并可能有较多的固体碳生成。本文比较了 TNT、TATB、HMX、RDX、PETN 等五种炸药的特性。每次实验炸药粉的用量为 0.2 g, 用初始压力为 0.07 MPa 的 $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 混合物爆轰激励炸药粉的快速反应。

2.1 H_2O 和 NO_2 的辐射特性

氢原子和羟基反应生成水的过程是一个强的放热反应。而氮和氧的反应只能在高温下才能形成, 它是一个很强的吸热反应。图 3(a)和图 3(b)分别列出了炸药爆轰产物 H_2O 辐射特性与负氧平衡值 N_{O_2} 以及与氢含量 N_{H_2} 的关系。

炸药的负氧平衡值 $N_{\text{O}_2} = [c - (2a + b/2)] \times 16/M$, 式中 M 是炸药的摩尔重量, a 、 b 、 c 分别为炸药分子中碳原子数、氢原子数和氧原子数。 $c - (2a + b/2)$ 是反映炸药氧平衡的物理量。 $c - (2a + b/2) > 0$ 时为正氧平衡炸药, $c - (2a + b/2) < 0$ 时为负氧平衡炸药。

由图 3(a)可以看出, 随着炸药负氧平衡值的增加, H_2O 的辐射明显增强。TNT 最弱, 其次是 TATB、HMX、RDX 和 PETN。PETN 含氧最多, 它的 H_2O 辐射最强, RDX 和 HMX 的氧含量相等, 故 H_2O 的辐射也十分接近。

H_2O 的辐射基本上也是随着炸药中氢含量的增加而增强。氢含量最小的 TNT 炸药快速反应生成 H_2O 的辐射最弱, 其次是 TATB 炸药。PETN 炸药的氢含量虽然低于 RDX 和 HMX,

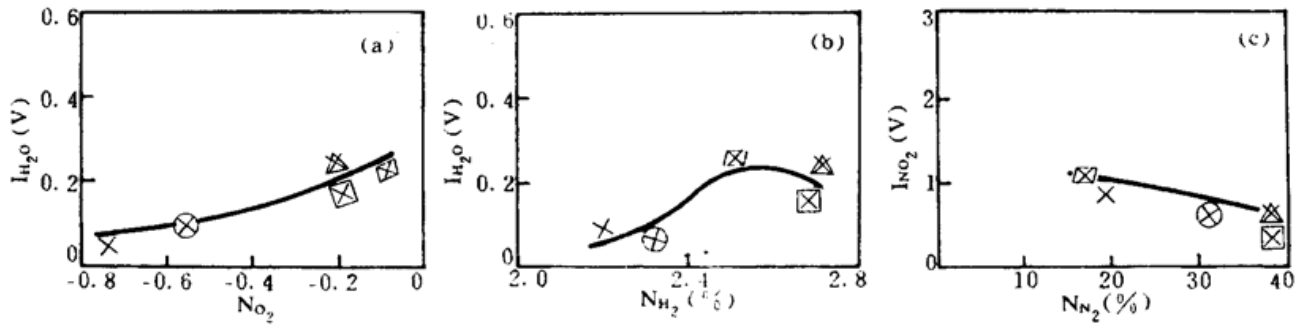


Fig. 3 H₂O emission for high speed reaction of explosive powder, ×, ⊗, ⊘, ⊙, ⊚ represent TNT, TATB, RDX, HMX and PETN respectively

(a) I_{H_2O} vs N_{O_2} , (b) I_{H_2O} vs N_{H_2} , (c) NO_2 emission for high speed reaction of explosive powder

但是它的 H₂O 辐射稍高于 HMX 和 RDX 炸药的 H₂O 辐射。同样，HMX 和 RDX 炸药的氢含量相同，它们的 H₂O 辐射特性也十分接近，RDX 的 H₂O 辐射略高于 HMX 炸药[参见图 3(b)]。

从上述结果可以看出，TNT 炸药中氢的氧化反应最弱，它有利于固体碳的生成。反之，氢的氧化反应剧烈，释放出的能量越多，它将加速碳的氧化。

图 3(c)为 NO₂ 辐射特性与炸药含氮量的关系。由图 3(c)可以看出，随着氮含量的增加，NO₂ 的辐射减弱。氮含量最少的 PETN 炸药，其 NO₂ 辐射最强，其次是 TNT 炸药，TATB 炸药，氮含量相等的 RDX 和 HMX 炸药的 NO₂ 辐射相近，但 RDX 略高于 HMX。

由此可见，TNT 炸药其氮含量低，但它的 NO₂ 辐射很强。由于生成 NO₂ 的过程是吸热反应，因此强的 NO₂ 反应过程将减弱整个反应过程。

2.2 CO₂ 和 C₂ 的辐射

碳的氧化反应仍是一个放热过程，它释放的热能低于氢的氧化反应。本文还观察了不同炸药的 CO₂ 的辐射特性。从图 4(a)可以看出，随着炸药中负氧平衡值的增加，CO₂ 的辐射却减弱。缺氧最严重的 TNT 炸药，其 CO₂ 辐射较强。图中曲线附近 PETN 实验点是粗颗粒(0.2 mm)的实验结果；而颗粒度为 0.02 mm PETN 炸药快速反应 CO₂ 的辐射比粗颗粒的大得多，由此可见，TNT 炸药中碳用于氧化反应的量高于其它炸药，但是它的固体碳产物是否仍然最多呢？图 4(b)的结果明确回答了这个问题。由图 4(b)可以看出，随着炸药中碳含量的增加，C₂ 辐射明显增强。其中 TNT 炸药最强，其次是 TATB 炸药。

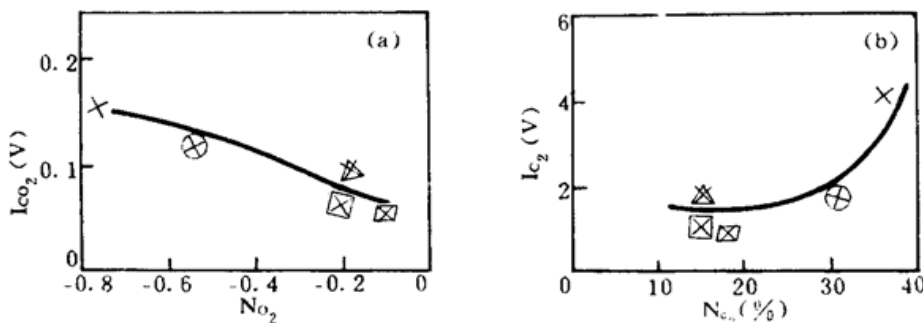


Fig. 4 CO₂ and C₂ emissions for high speed reaction of explosive powder, ×, ⊗, ⊘, ⊙, ⊚ represent TNT, TATB, RDX, HMX and PETN respectively

(a) I_{CO_2} vs N_{O_2} , (b) I_{C_2} vs N_{C_2}

为了对本文的测量结果的可靠性有进一步的了解，表 1 列出了 Mader^[3] 利用 BKW 方程计算得到的部分产物量。

表 1 的数据与图 3(a)、图 4(a)、图 4(b)的实验结果比较可以看出，它们的变化趋势完

Table 1. The partial products calculated by BKW equations^[3]

explosive	H ₂ O		CO ₂		C	
	mol*	g**	mol	g	mol	g
RDX	3.0	0.240	1.49	0.290	1.49	0.08
HMX	4.0	0.240	2.0	0.290	2.0	0.08
PETN	4.0	0.230	3.89	0.540	0.89	0.030
TATB	3.0	0.209	1.5	0.256	4.5	0.209
TNT	2.5	0.198	1.66	0.322	5.15	0.272

* The mol value of products generated in one mole explosive.

** The gramme value of products generated in one gramme explosive.

全一致。从这一比较也能看出，虽然本文所述的炸药粉快速反应与凝聚相炸药爆轰宏观参数特性(如爆压、爆速)有较大的差别，但是它们所处的温度环境相近，故主要反应产物的趋势也相近。

讨 论 通过本文的光谱实验，获得了炸药快速反应产物微观特性的一些数据，得到如下初步的结论：1) 比较 TNT、TATB、PETN、HMX、RDX 五种炸药粉的快速反应最终产物的辐射特性，TNT 炸药粉的 H₂O 辐射最弱，而 NO₂、CO₂ 辐射最强，但是它的固体 C₂ 最多。因此 TNT 炸药可能是一种用于爆轰产物法合成金刚石较好的炸药。在和其它炸药混合使用时尽量增加 TNT 炸药的含量。2) 本文提出的光谱探测技术可较好地分析炸药快速反应的产物特性。

参 考 文 献

- [1] Titov V. M., V. F. Anisichkin, I. Yu. Mal'kov, *et al.*, Synthesis of ultrafine diamonds in detonation, 9th Symposium (international) on Detonation Portland, Oregon, U. S. A., 1989: 175~183
- [2] Johnson J. D., Carbon in detonations. 9th Symposium (international) on Detonation Portland, Oregon, U. S. A., 1989: 184~189
- [3] Mader C. L., Numerical Modeling of Detonation, Berkely, California, University of California Press, 1979

Study on Emission Spectra of Fast Reaction for Explosive Powder Using Monochrometer

Hu Dong^{a, b} Sun Zhumei^b

a. Institute of Applied Physics, Chengdu University of Science and Technology, Chengdu 610065
b. Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Southwest Institute of Fluid Physics, Chengdu 610003

(Received 20 February 1995)

Abstract The spectra of terminal products from five general high explosives are studied by using detonation spectrum technique developed by the authors. The results show that H₂O increases with negative oxygen balance increasing. The CO₂ increases with the increasing of carbon content in the explosive, and C₂ raises too. It provides some useful data for selection donor explosive used to synthesize diamond by detonation product method. Comparing the measured data with calculating values from BKW equation, the results are similar. It shows that the monochrometer technique is an effective, economic and convenient method for study microscopic mechanism of explosive fast reaction.

Key words monochrometer, microscopic mechanism, explosive.