

铝粉颗粒度对黑索金含铝炸药粉 快速反应影响的微观特性研究*

胡 栋^{a,b} 孙珠妹^b

(a. 成都科技大学应用物理研究所 冲击波物理与爆轰物理实验室 成都 610065)

(b. 西南流体物理研究所 冲击波物理与爆轰物理实验室 成都 610003)

摘要 利用我们研制的光谱技术及回收技术成功地研究了含铝炸药粉中铝粉快速反应的微观特性。研究发现:铝粉越细,能和氧原子、氢原子(或含氧分子)反应的激励态铝原子增加,铝氢化反应与氧化反应加剧;但是颗粒度小于 $50\ \mu\text{m}$ 后,颗粒度对铝粉氧化反应的影响不明显。激励压力增加可导致铝粉氧化反应加强,激励压力大于 $1.2\ \text{MPa}$ 后氢化反应减弱,激励态铝原子减少。激励态铝原子减少的原因是铝粉结块造成。

关键词 含铝炸药 铝粉 颗粒度

中图分类号 TQ 564.4

1 引言

铝粉是一种高含能材料。单位重量的含能超过一般的固体炸药。因此,铝粉作为一种添加物广泛用于气相、气-液相、气-固相的快速反应中。添加铝粉后能使反应时间加长,反应温度增加。

研究铝粉在含铝炸药爆轰反应中的释能机理主要是采用宏观参量测试方法(如自由面速度法确定爆压,探针法确定爆速等)确定炸药中掺铝粉后爆压和爆速等参数的变化。研究表明:炸药中添加铝粉后对炸药爆压的贡献极小,但能提高炸药的爆温。对于铝粉反应是否在炸药反应区内完成尚有不同的观点。

由于固体炸药爆轰反应所需的时间极短,一般在 $\text{ns}\sim\mu\text{s}$ 量级时间间隔内反应已完成。因此,利用爆轰光谱的方法研究固体炸药化学反应特性需要响应时间极短(ns 量级)的谱仪。国外从八十年代开始利用快速响应的质谱仪研究炸药的爆轰光谱^[1,2],但是尚未涉及含铝炸药中铝粉反应动力学的研究。

在实验上,从微观研究含能材料的特性仅采用光谱的方法。利用我们研制的光谱测量技术,从分子水平上研究了黑索金含铝炸药粉的快速反应特性,为深入了解凝聚相含铝炸药的爆轰特性提出了研究方向。

* 国家自然科学基金及中国工程物理研究院科学基金资助。

1994年5月23日收到原稿,9月7日收到修改稿。

2 实验装置和测试技术

黑索金炸药的分子式为 $C_3H_6N_6O_6$, 其快速反应的机理十分复杂, 反应道繁多。在研究过程中必须抓住主要方面。因此采用什么方法进行研究是至关重要的。利用图 1 所示的实验装置测量了铝粉颗粒度对黑索金含铝炸药粉快速反应影响。实验前将黑索金和铝粉均匀混合, 并均匀撒在一块 $30\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 的铁板上, 然后放入爆炸激波管。将预混合的 $2H_2 + O_2$ 混合物充入真空状态的爆炸激波管中。利用 $2H_2 + O_2$ 混合物点火后形成的爆轰激励黑索金含铝炸药粉的快速反应。由于谱仪记录的是黑索金含铝炸药粉快速反应产物的光辐射, 而不是波阵面的参数, 故实验样品扬起高度对测量影响不大。激励条件的选择是本项研究的关键问题。首先, 激励条件需和实际情况比较接近; 其次要求激励条件对研究对象的影响小。我们用乙炔-氧混合物以及不同配比的氢-氧混合物爆轰激励铝粉的快速反应。研究结果表明^[3], 对回收的铝粉进行 X 光电子能谱测量, 只有在化学当量配比的氢-氧混合物 ($2H_2 + O_2$) 激励下, 铝粉绝大部分都未反应, 仍是活性铝; 而在其它激励条件下, 多数铝已反应完。

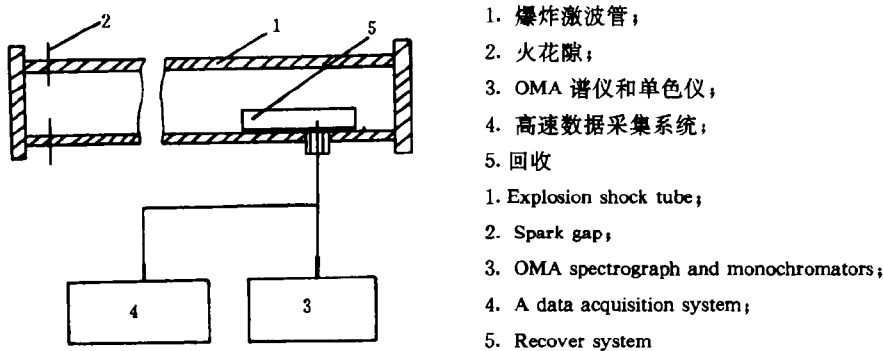


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic experimental arrangement

利用三台单色仪在 484.2 nm 、 424.1 nm 和 396.2 nm 波长处测量了上述激励条件下的辐射, 测量结果与 X 光电子能谱结果完全相符。只有用 $2H_2 + O_2$ 混合物爆轰激励, 在上述三个波长处的辐射最弱, 以致可忽略不计。鉴于上述结果, 我们选用了 $2H_2 + O_2$ 混合物的爆轰激励黑索金含铝炸药粉的快速反应。

我们采用 OMA 谱仪三台带光电探测系统的单色仪同时测量。由于波长大于 500 nm 后的热辐射比较强, 故实验都在小于 500 nm 波长范围内选取相关的辐射灵敏线: AlO 484.2 nm , AlH 424.1 nm , Al 原子 396.2 nm 。为了确定被测谱线的存在, 采用 OMA 谱仪及单色仪两种方法鉴别。用单色仪鉴别时, 只需将单色仪偏离被确定谱线 $0.5 \sim 0.8\text{ nm}$, 并测定其辐射强度。如果此辐射强度明显低于被确定谱线的辐射强度, 即可证明此谱线的存在。在选取单色仪偏离被确定谱线量时必须仔细核对在此波长附近是否存在其它强特征谱线或杂质谱线。

图2列出了典型测量结果。

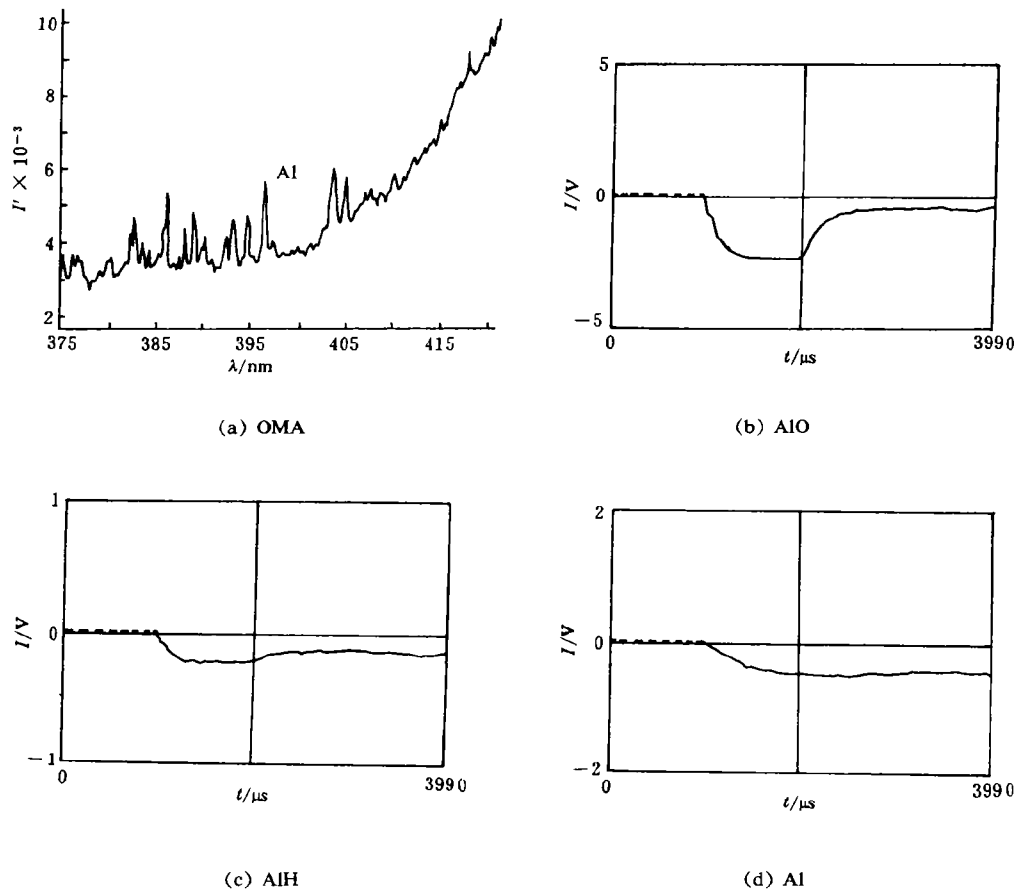


图2 典型结果
Fig. 2 Typical results

3 测量结果与分析

研究含铝炸药粉快速反应的所有反应道是不可能的。只有充分了解铝粉的反应特性才可研究铝粉的各种物理特性对含铝炸药粉快速反应的影响。

3.1 铝粉颗粒度对黑索金含铝炸药中铝原子生成的影响

实验测量了五种颗粒度铝粉的黑索金含铝炸药粉的反应特性。铝粉五种颗粒度分别为： $98\ \mu\text{m} < d < 150\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m} < d < 98\ \mu\text{m}$, $38\ \mu\text{m} < d < 50\ \mu\text{m}$, $30\ \mu\text{m} < d < 38\ \mu\text{m}$, $d < 30\ \mu\text{m}$ 。每次实验铝粉用量为 0.07 g, 黑索金炸药粉用量为 0.13 g, 炸药粉颗粒度为 $10\ \mu\text{m}$ 。用初始压力为 0.03 MPa 的 $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 混合物爆轰激励黑索金含铝炸药粉的快速反应。测量结果列于图3。为了便于分析, 图中采用了每种铝粉颗粒度大小的平均值。由图3可见, 随着铝粉颗粒变细, 铝原子的辐射强度迅速增加。我们知道辐射强度和相应粒子浓度直接相

图2列出了典型测量结果。

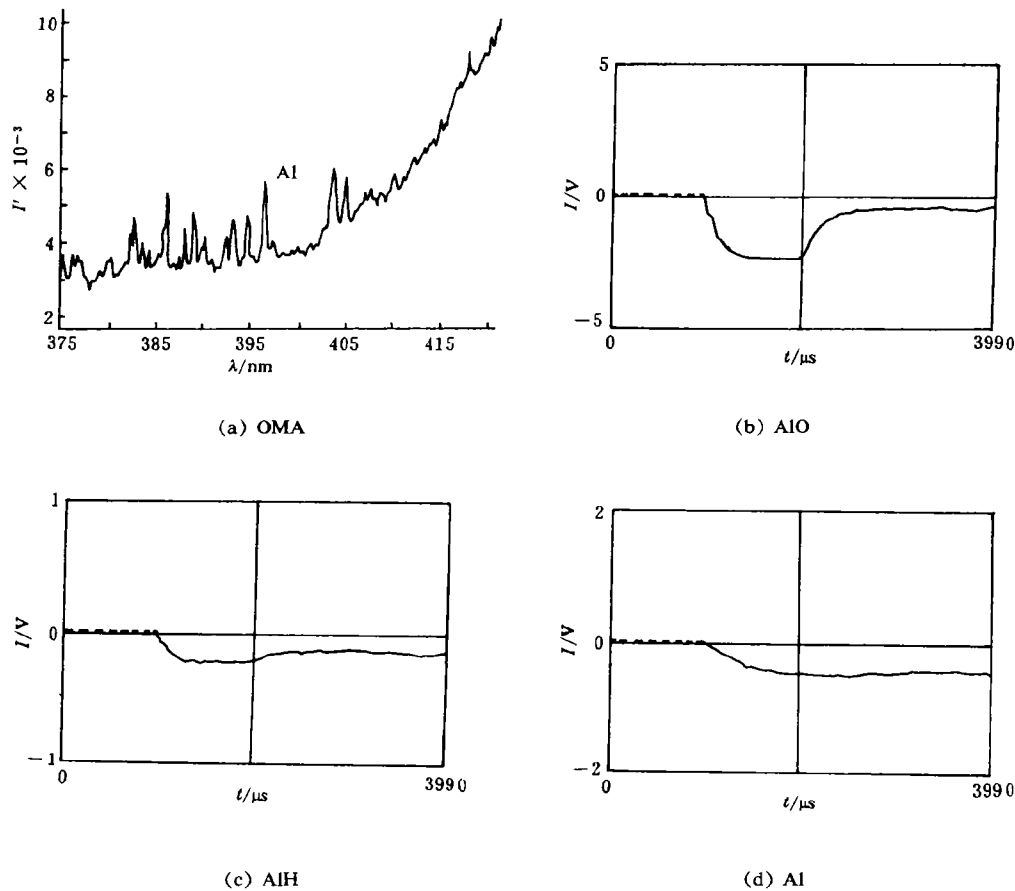


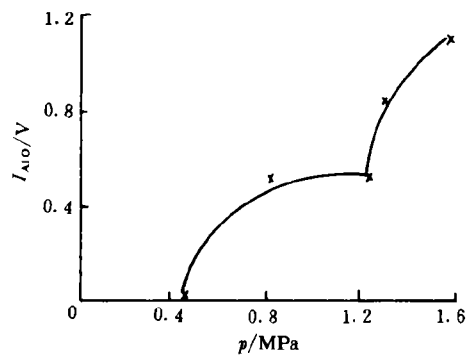
图2 典型结果
Fig. 2 Typical results

3 测量结果与分析

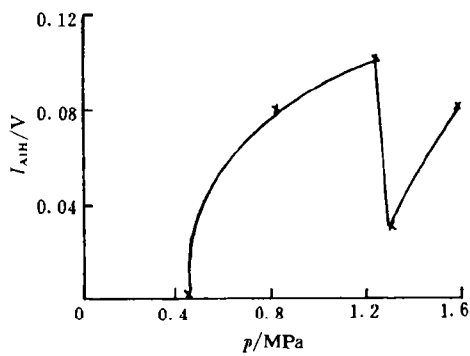
研究含铝炸药粉快速反应的所有反应道是不可能的。只有充分了解铝粉的反应特性才可研究铝粉的各种物理特性对含铝炸药粉快速反应的影响。

3.1 铝粉颗粒度对黑索金含铝炸药中铝原子生成的影响

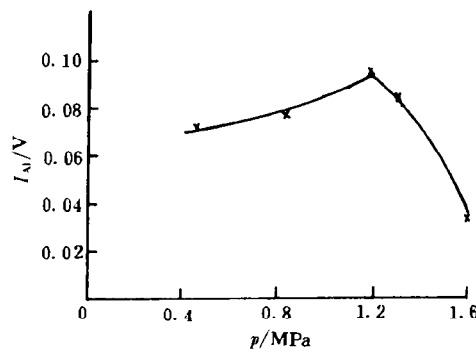
实验测量了五种颗粒度铝粉的黑索金含铝炸药粉的反应特性。铝粉五种颗粒度分别为： $98\ \mu\text{m} < d < 150\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m} < d < 98\ \mu\text{m}$, $38\ \mu\text{m} < d < 50\ \mu\text{m}$, $30\ \mu\text{m} < d < 38\ \mu\text{m}$, $d < 30\ \mu\text{m}$ 。每次实验铝粉用量为 0.07 g, 黑索金炸药粉用量为 0.13 g, 炸药粉颗粒度为 $10\ \mu\text{m}$ 。用初始压力为 0.03 MPa 的 $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 混合物爆轰激励黑索金含铝炸药粉的快速反应。测量结果列于图3。为了便于分析, 图中采用了每种铝粉颗粒度大小的平均值。由图3可见, 随着铝粉颗粒变细, 铝原子的辐射强度迅速增加。我们知道辐射强度和相应粒子浓度直接相



(a)



(b)



(c)

图 6 RDX 含铝炸药铝粉快速反应特性与激励条件的关系

Fig. 6 The high speed reaction behaviours of aluminum powder in RDX explosive powder containing aluminum versus driven pressure

4 结 论

通过本文的实验,我们可以得出如下看法:

1. 利用光谱技术及回收技术研究含铝炸药粉快速反应微观机理是一种较好的方法,它具有投资少,结论明确,物理含义充分等优点。

2. 研究发现:随着铝粉颗粒度的减小,铝粉的氢化反应加剧,铝原子增加;但是当铝粉颗粒度减小到小于 $50 \mu\text{m}$ 后,对铝粉氧化反应的影响不明显。

3. 研究还表明,黑索金含铝炸药粉中铝粉的快速反应和激励条件密切相关:激励压力增加,可导致铝粉氧化反应加剧,可是对于铝粉的氢化反应,当激励压力大于 1.2 MPa 后却减弱。研究发现,太高的激励压力可导致铝粉结块,降低活性铝的利用率。

参 考 文 献

- 1 Dufort S, et al. 8th Symposium (International) on Detonation (Preprint), white Oak, Silver Spring Mary Land; Naval Surface Weapons Center, 1986, 221.
- 2 Kuo K K, et al. Combustion and Flame, 1993, 95(4): 351~361
- 3 胡 栋, 等人. 气动实验与测量控制, 1993, 7(3): 1~5.

**STUDIES ON THE MICRO-BEHAVIOUR OF THE INFLUENCE
OF THE ALUMINUM PARTICLE SIZE ON THE HIGH
SPEED REACTION FOR RDX POWDER
CONTAINING ALUMINUM**

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

*(a. Laboratory for shock wave and Detonation Physics research, Institute
of Applied Physics, Chengdu University of Science and Technology)*

*(b. Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics research,
Southwest Institute of fluid Physics)*

ABSTRACT Micro-mechanism of high speed reaction for explosive powder containing aluminum are successfully studied by using spectrodetecting and recover techniques developed by us. It is found that the thinner the aluminum powder, the more aluminum atoms, the stronger the oxidation (or hydro) reaction. As aluminum particle size is less than 0.05mm, the influence of the particle size on the oxidation reaction is not obvious. When the driven pressure increases, the oxidation reaction enhances. As the driven pressure is greater than 1.2 MPa, the hydro-reaction weakens, and the aluminum atoms decreases. The reason of aluminum atoms decreasing is that aluminum powder become blocks of aluminum.

KEY WORDS explosive containing aluminum powder, aluminum powder, particle size