

文章编号: 1006-9941(2005)03-0148-02

## 爆轰产物导电性的实验测量

周 霖, 廖英强, 徐更光

(北京理工大学爆炸灾害预防、控制国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 建立了炸药爆轰产物电导率的测量方法, 测量以 HMX 和 TNT 为主体的混合炸药爆轰产物的电导率。研究了铝粉含量对爆轰产物导电性的影响。实验结果表明: 添加金属 Al 后其炸药的电导率明显高于不含铝炸药, TNT(密度  $1.520 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) 最大电导率为  $18000 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。TNT 80/Al 20(密度  $1.628 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) 电导率为  $1.136 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。通过爆温、爆轰产物电子浓度计算发现: 同类炸药随着铝粉的添加, 爆温增加, 电子浓度增加, 从而导致爆轰产物电导率增加。

**关键词:** 应用物理学; HMX; 铝粉; 爆轰产物; 爆温; 电导率

**中图分类号:** TJ55; O59

**文献标识码:** A

### 1 引 言

爆炸反应机理是爆轰学重要的研究内容, 过去已较为充分地研究了爆轰压力、密度对爆轰产物组成和反应历程的影响, 以及反应区结构和二次化学反应等。而非理想炸药爆轰波后爆轰产物导电性国内还没有进行较为充分地研究。众所周知, TNT 爆炸时, 由于释放出自由炭, 因而其爆轰产物具有很高的导电性。然而随着 RDX 的加入, TNT 爆炸向生成金刚石的方向转移, 从而使得其爆轰产物导电性下降<sup>[1]</sup>。研究炸药爆轰产物导电性, 不仅扩展爆炸反应机理领域新的研究内容, 而且为炸药化学能转化电能的研究和应用提供了科学基础。但定量地研究爆轰产物导电性国内未见报道, 俄罗斯开展了 TNT、RDX/TNT 炸药爆轰产物导电性的研究<sup>[2]</sup>, TNT 密度在  $1.350 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  时, 最大电导率为  $2500 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。但研究对象较少, 特别是对爆轰产物导电性的影响因素缺乏研究。本文建立了爆轰产物电导率的测试方法, 测量了 TNT、TNT-Al-Wax、HMX-Al-Wax 体系炸药的电导率, 研究了铝粉添加量等对爆轰产物电导率的影响, 分析了爆温、爆轰产物电子浓度对电导率的影响。

### 2 实验方法及条件

#### 2.1 实验原理

测试示意图见图 1。通过测量负载  $R_s$  电压随时间的变化关系, 计算出爆轰产物导电层的电阻  $R(t)$ ,

进而可得到函数  $G(x)$ , 如公式(1):

$$G(x) = \frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi} \frac{1}{R(t)} \quad (1)$$

其中:  $R(t)$  为爆轰产物的电阻。

由公式(1)可得到爆轰产物的电导率:

$$\sigma(x) = \frac{dG}{dx} \quad (2)$$

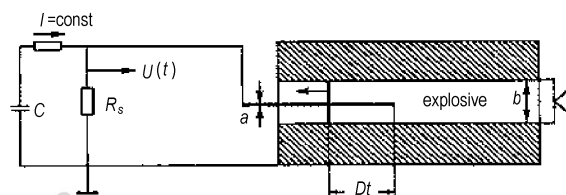


图 1 爆轰产物电导率测量示意图

Fig. 1 Schematic of measurement for the electrical conductivity of detonation product

#### 2.2 实验条件

药柱外径为  $\Phi 10 \text{ mm}$ , 内径为  $\Phi 2.0 \text{ mm}$ ; 中心电极外径(a)为  $2.0 \text{ mm}$ , 长(b)为  $5.0 \text{ mm}$ ; 铜外套内径为  $\Phi 10.0 \text{ mm}$ , 壁厚为  $10 \text{ mm}$ ; 电阻阻值  $R_s$  为  $0.1 \Omega$ ; 初始电流为  $9 \text{ A}$ 。其它条件见表 1。

表 1 不同炸药的密度值

Table 1 Density of different explosives

explosive	density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
TNT	1.520
TNT 80/Al 20	1.628
HMX 30/Al 70/Wax 4	2.063
HMX 40/Al 60/Wax 4	2.017
HMX 50/Al 50/Wax 4	1.903

收稿日期: 2004-11-08; 修回日期: 2005-01-31

作者简介: 周霖(1962-), 男, 副教授, 主要从事炸药理论及应用研究。  
e-mail: zhoulin@bit.edu.cn

### 3 实验结果

#### 3.1 电压信号和电导率

我们对表 1 所列炸药爆轰产物中的电压信号进行了实验测量,并对试验数据进行处理与计算,得到相应炸药爆轰产物的电导率。其结果见图 2、图 3,其它图类似从略,详细结果列于表 2。

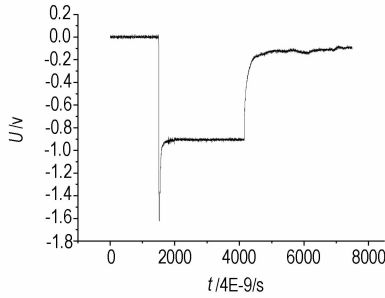


图 2 HMX 30/Al 70/Wax 4 的电压信号

Fig. 2 Voltage signal of HMX 30/Al 70/Wax 4

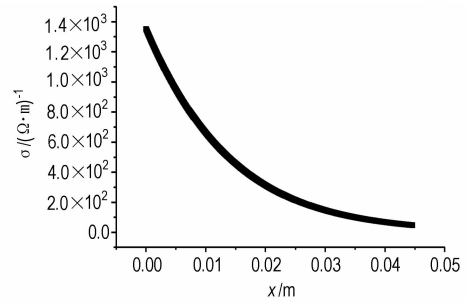


图 3 HMX 30/Al 70/Wax 4 的电导率

Fig. 3 Electrical conductivity of HMX 30/Al 70/Wax 4

#### 3.2 炸药爆炸温度及电导率

根据炸药参数我们计算了其爆温,并将爆轰产物电导率一同列入表 2 中。

表 2 炸药爆轰产物电导率

Table 2 Electrical conductivity of the explosive detonation product

explosive	density	detonation	detonation	explosion	electrical conductivity	electron	remarks
	/ g · cm <sup>-3</sup>	velocity/m · s <sup>-1</sup>	pressure/GPa	temperature/K	/Ω <sup>-1</sup> · m <sup>-1</sup>	concentration/m <sup>-3</sup>	
TNT	1.520	6558	16.80	3586	1.800 × 10 <sup>4</sup>	1.382 × 10 <sup>22</sup>	maximum
TNT 80/Al 20	1.628	6484	14.22	5499	1.136 × 10 <sup>7</sup>	8.876 × 10 <sup>23</sup>	x = 5 cm
HMX 30/Al 70/Wax 4	2.063	7010	11.25	4221	1.470 × 10 <sup>3</sup>	1.326 × 10 <sup>23</sup>	maximum
HMX 40/Al 60/Wax 4	2.017	7285	14.84	5087	1.287 × 10 <sup>7</sup>	5.379 × 10 <sup>23</sup>	x = 3 cm
HMX 50/Al 50/Wax 4	1.903	7350	17.04	5594	1.736 × 10 <sup>8</sup>	9.025 × 10 <sup>23</sup>	x = 3 cm

### 4 结果分析与结论

从表 2 可以看出,以电导率达到 10<sup>7</sup> Ω<sup>-1</sup> · m<sup>-1</sup> 的装药长度 x 比较,炸药爆轰产物导电性由高到低依次是: HMX 50/Al 50/Wax 4 (x = 3 cm)、HMX 40/Al 60/Wax 4 (x = 3 cm)、TNT 80/Al 20 (x = 5 cm)、TNT、HMX 30/Al 70/Wax 4。发现炸药中铝含量对爆轰产物导电性影响较大。TNT 添加 Al 后电导率显著增加。TNT 中添加 20% 铝粉,其爆轰产物电导率增加近三个数量级。从 1.800 × 10<sup>4</sup> Ω<sup>-1</sup> · m<sup>-1</sup> 增加到 1.136 × 10<sup>7</sup> Ω<sup>-1</sup> · m<sup>-1</sup>, HMX 添加铝粉后,其电导率随铝粉含量下降,爆轰产物电导率增加。

通过炸药爆温<sup>[3]</sup>和电子浓度<sup>[4,5]</sup>计算结果分析,随着爆温增加,爆轰产物电子浓度增加,如图 4 所示。TNT 添加 20% 铝粉,其爆温从 3586 K 增加到 5499 K,爆轰产物电子浓度从 1.382 × 10<sup>22</sup>/m<sup>3</sup> 增加到 8.876 × 10<sup>23</sup>/m<sup>3</sup>。而对于 HMX 体系,HMX 30/Al 70/Wax 4、

HMX 40/Al 60/Wax 4、HMX 50/Al 50/Wax 4 的爆温分别为 4221 K、5087 K、5594 K,其爆轰产物电子浓度分别为 1.326 × 10<sup>23</sup>/m<sup>3</sup>、5.379 × 10<sup>23</sup>/m<sup>3</sup>、9.025 × 10<sup>23</sup>/m<sup>3</sup>。而电子浓度增加,导致爆轰产物电导率增加,如图 5 所示。

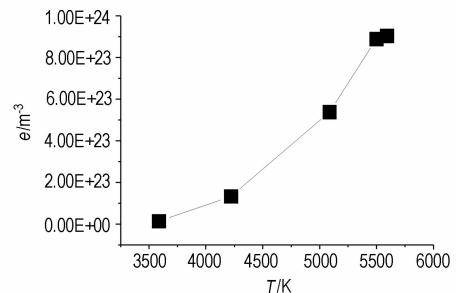


图 4 爆轰产物电子浓度与爆温的关系

Fig. 4 Relationship between electron concentration and explosion temperature

(下转 154 页)

[8] Park S W, Schapery R A. Methods of interconversion between linear viscoelastic material functions, Part I: A numerical method based on Prony series[J]. *Int. J. Solids & Structures*, 1999, 36(11): 1653 – 1675.

[9] Beijer J G J, Spoomaker J L. Modeling of creep behavior in injection-moulded HDPE[J]. *Polymer*, 2000, 41(14): 5443 – 5449.

## The Compressive Creep Behavior of PBX Based on TATB

LI Ming, WEN Mao-ping, HE Qiang, PANG Hai-yan, JING Shi-ming

(*Institute of Chemical Material of China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

**Abstract:** The compressive creep behavior of PBX based on TATB was investigated. Experiments were taken at different temperatures to identify the strong temperature dependence of the mechanical properties. An obvious temperature transition range related to the jumping of mechanical behavior, i. e. from 40 °C to 60 °C, was obtained. It was proper to choose 55 °C as reference temperature for master curve of creep compliance function. The shift factor ( $a_T$ ) was obtained with the curve transforming and used to calculate the two coefficients of WLF equation. Prony series with seven terms are proved to be good fitting for the creep compliance master curve.

**Key words:** solid mechanics; polymer bonded explosive (PBX); compressive creep; creep compliance; Prony series

(上接 149 页)

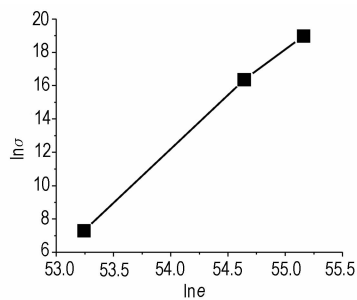


图5 HMX体系电子浓度与电导率的关系

Fig.5 Relationship between electron concentration and electrical conductivity of HMX system

### 参考文献:

- [1] Волков К В, Дениленко В В. Синтез алмаза из углерода продуктов детонация ВВ[J]. *Физика горения и взрыва*, 1990, 26(3): 123 – 125.
- [2] Hayes B. On the electrical conductivity in detonation products[A]. *Proc. of the 4th Symp. (Intern) on Detonation*[C], White Oak, MD, 1965. Office of Naval Research, ACR-126. Washington, 1967. 595 – 601.
- [3] 张宝铎, 张庆明, 黄风雷, 等. *爆炸物理学*[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- [4] Кук М А. *Наука о промышленный взрывчатых веществах*[M]. М.: Наука, 1980. С. 81 – 87.
- [5] 孙杏凡. *等离子体及其应用*[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.

## Experimental Measurement of Conductivity for the Detonation Product

ZHOU Lin, LIAO Ying-qiang, XU Geng-guang

(*State Key Lab for the Prevention and Control of Explosion Disasters, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Electrical conductivity measurement for the detonation product is put forward by means of measuring the electrical conductivity of detonation product for the composite explosive composed of HMX and TNT. Experimental results indicate that the electrical conductivity of aluminized explosive is obviously higher than that of the explosive without aluminium. TNT's (density  $1.520 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) maximum electrical conductivity is  $18000 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . The electrical conductivity of TNT 80/Al 20 (density  $1.628 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) is  $1.136 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . It is concluded that the explosion temperature and electron concentration increase with aluminium powder appended in the same explosion, which results in the increasing electrical conductivity of detonation product by the calculation of explosion temperature and electron concentration for detonation product.

**Key words:** applied physics; HMX; aluminium; detonation product; explosion temperature; electrical conductivity