

文章编号: 1006-9941(2007)02-0169-03

TNT 和 RHT-906 炸药起爆过程的电导率研究

蒋治海¹, 龙新平², 何 碧¹, 韩 勇¹, 蒋小华¹, 鲁 斌¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘要: 建立了凝聚炸药起爆过程电导率的平面测试方法, 运用该方法对 RHT-906 炸药起爆过程的电导率, 以及 TNT 炸药在不同冲击压力起爆过程的电导率进行了研究。分析了冲击压力对炸药起爆过程电导率的影响, 结果表明, TNT 的最大电导率随起爆压力的减小而减小, TNT 中加入 RDX 后最大电导率减小。四发实验得到 TNT 炸药爆炸的化学反应时间分别为 0.11 μs 、0.12 μs 、0.16 μs 和 0.15 μs 。

关键词: 爆炸力学; 爆轰; 电导率; 平面测试方法; 冲击起爆; 化学反应时间

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

1 引 言

炸药的冲击起爆过程是指在冲击加载作用下炸药中冲击波向爆轰波转变的过程(shock-to-detonation transition, SDT)^[1]。研究炸药起爆过程的电导率对了解炸药的爆炸反应机理和反应区结构具有重要的作用。电导率测试技术是爆轰研究中的一项重要技术, 它为爆轰物理和爆炸化学提出了新的研究途径。运用电导率测试方法研究冲击波和爆轰波中的物理-化学转变, 具有灵敏度高、时间精度高、获得的数据可用于物质相态和传导相空间结构研究, 并能对快速化学反应进行诊断等优点^[2,3]。尽管国外对凝聚炸药起爆过程电导率的研究已有五十多年的历史^[4-7], 但由于实验过程电压测试的影响因素多, 信号干扰大, 国内对电导率的研究很少, 尤其是在定量研究方面。本研究运用所建立的平面测试方法, 对 RHT-906 炸药起爆过程的电导率, 以及 TNT 炸药在不同冲击压力起爆过程的电导率进行了研究, 分析了冲击压力对炸药起爆过程电导率的影响, 并初步得到了 TNT 炸药爆炸的化学反应时间。

2 凝聚炸药起爆过程电导率的平面测试方法

2.1 实验原理

电导率测试是以欧姆定律为基础, 通过测试凝聚炸药起爆过程的电压变化, 再由公式(1)^[3]计算得到。

$$\sigma = \frac{a_s}{a} \frac{\delta_s}{\rho_s(D-u)} \frac{1}{t} \left(\frac{U_0}{U} - 1 \right) \quad (1)$$

式中, σ 为电导率, $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$, a_s 为康铜压力计的宽度, mm; a 为炸药宽度, mm; δ_s 为康铜压力计的厚度, mm; ρ_s 为康铜压力计的电阻率, $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$; u 为粒子速度, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; D 为爆速, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; U 为电极两端的电压, V; U_0 为初始电压, V。

2.2 实验装置及测试条件

凝聚炸药起爆过程的电导率测试所采用的测试量计和其它嵌入式量计一样, 都会不同程度地干扰真实的反应流场, 使测量结果不能完全反映真实情况^[1]。因此, 在量计的设计过程中, 应尽量选择冲击阻抗和爆轰产物相匹配的材料, 并尽量提高量计的响应速度。根据文献报道^[8], 在冲击波作用下, 康铜的电导率变化很小, 与爆轰产物的阻抗匹配也较好, 所以本实验采用康铜作为测试量计材料。通过大量实验以及对实验结果的分析, 并结合同轴测试和平面测试方法的优点, 康铜压力计的设计采用断开的 Π 形计并联 0.1 欧姆电阻, 康铜压力计的宽度为 5 mm, 厚度为 0.1 mm。实验前, 康铜压力计的一面用厚度为 0.1 mm 的聚四氟乙烯和 FS203A 胶粘结, 保证两者之间无空气隙, 既可以增加康铜压力计的强度, 又达到良好的绝缘效果。装配过程中, 康铜压力计与被测炸药表面以及铝隔板之间涂抹均匀的真空脂, 尽量排除它们之间的空气, 以减小对测试电压信号的干扰。

实验装置如图 1 所示。康铜压力计的两端和恒流源相连, 压力计中间的两个电极与示波器接通。为了保证输入电流的稳定性, 雷管和 PENT 药片之间连接一段导爆索, 雷管底部安置一对探针, 起爆时触发恒流源处于工作状态。导爆索引爆 PETN 药片, 然后起爆 $\Phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的 RHT-906 炸药通过铝隔板起爆待

收稿日期: 2006-05-08; 修回日期: 2006-07-15

作者简介: 蒋治海(1978-), 男, 硕士, 主要从事炸药爆轰性能研究。

测炸药样品。在炸药起爆过程中,由示波器记录电极两端的电压变化。

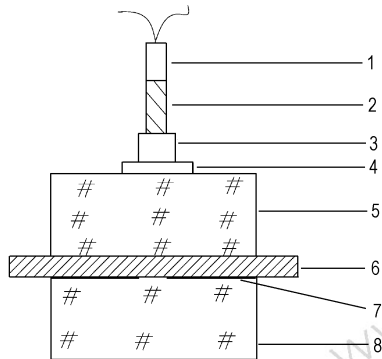


图1 实验装置图

1—8#电雷管, 2—导爆索, 3—雷管套, 4—PETN药片,
5—加载炸药, 6—铝隔板, 7—康铜压力计, 8—炸药样品

Fig. 1 Schematic diagram of experimental device

1—8# detonator, 2—fuse, 3—detonator thimble,
4—PETN explosive, 5—loading explosive, 6—aluminum cushion,
7—constantan gauge, 8—explosive sample

3 实验结果与分析

实验过程中通过调整铝隔板厚度来实现不同的初始冲击压力,分别进行了没有隔板、有3 mm和5 mm铝隔板三种情况的实验。图2为3 mm铝隔板冲击起爆TNT药柱时,3#实验记录到的电压波形,图3为相应的电导率变化,其它情况类似从略,详细结果列于表1中。从电压波形来看,当冲击波到达压力计之前,电压处于一种稳定状态;炸药起爆后,由于爆轰产物导电,总电阻减小,电压迅速降低,然后处于一种缓慢减小的状态。从图3可以看出,爆轰产物的电导率是时间的函数。炸药起爆后,电导率迅速上升到一个最大值;由于爆轰产物的扩散,电导率又急剧下降,然后处于一种基本稳定的状态。这种现象说明最大电导率是化学反应初期导电相的自由碳不断集中的表现,爆轰产物的高电导率主要集中在紧邻爆轰波阵面的一个狭窄区域。图3中,电导率变化的拐点C点是炸药爆轰的C-J点,因为爆炸产生的导电颗粒的空间结构在化学反应区内外具有明显的区别。刚压缩后,导电碳颗粒形成连续网状结构,具有很高的电导率;然后变成简单的导体,电导率随爆轰产物的膨胀逐渐减小,达到基本稳定的状态。1#、2#、3#和4#实验得到TNT爆炸的化学反应时间(τ)分别为0.11 μs 、0.12 μs 、0.16 μs 和0.15 μs ,通过公式(2)换算成化学反应区宽度分别为0.5 mm、0.54 mm、0.72 mm和0.67 mm,与

Jameson^[9]用自由面速度法测得TNT炸药(密度 $\rho_0 = 1.63 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)的反应区宽度为0.6 mm基本一致。

$$a = (D - 1.3u_{\text{CJ}})\tau \quad (2)$$

式中, a 为炸药的化学反应区宽度,mm; D 为爆速, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; u_{CJ} 为粒子速度, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; τ 为化学反应时间, μs 。

实验结果表明,冲击压力对TNT起爆过程的最大电导率有较大的影响。随着隔板厚度的增加,最大电导率减小,测试条件和实验结果见表1。没有铝隔板时,TNT起爆过程得到的最大电导率为 $320.4 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$;当隔板厚度为3 mm时,最大电导率减小到 $209.9 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$;而当隔板厚度增加到5 mm时,最大电导率只有 $148.1 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。因为隔板越厚,起爆压力越小,TNT爆炸产生的导电产物的压缩程度越小,石墨态碳的浓度降低,最大电导率减小。

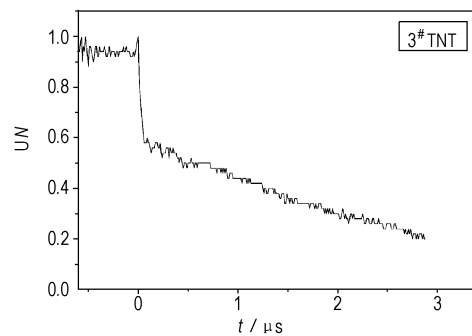


图2 3#实验的电压波示意图

Fig. 2 Voltage profile of experiment 3#

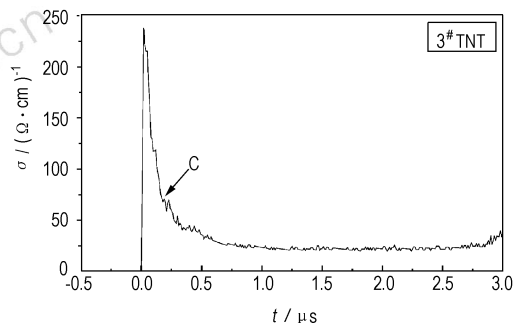


图3 3#实验的电导率曲线示意图

Fig. 3 Electrical conductivity profile of experiment 3#

我们还对铝隔板厚度为3 mm时RHT-906炸药冲击起爆过程进行了测试,实验得到的电压、电导率的变化趋势与TNT基本一致,实验结果如表1所示。结果表明,在相同的冲击加载条件下,TNT起爆过程最大电导率的平均值为 $224.0 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$,而RHT-906的平均值为 $193.5 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。根据文献报道^[10],RDX

爆炸过程中, 爆轰产物中的碳主要以金刚石态存在, 而金刚石是不导电的。因此, TNT 中加入 RDX, 爆轰产物中导电的石墨态碳的含量减少, 使 RHT-906 炸药起爆过程的最大电导率比 TNT 小。

表 1 TNT 和 RHT-906 炸药的实验条件和电导率结果

Table 1 The experimental conditions and electrical conductivity results of TNT and RHT-906 explosives

explosive	No.	α_s /mm	U_0 /V	thickness of aluminum cushion/mm	σ_{\max} / $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$	τ / μs	
TNT	1 [#]	4.98	0.94	no	310.4	0.11	
	2 [#]	5.02	0.90		320.4	0.12	
	3 [#]	5.00	0.93	3	238.2	0.16	
	4 [#]	5.19	0.92		209.9	0.15	
	5 [#]	5.12	0.93		5	148.1	
	6 [#]	5.42	0.95		197.1		
RHT-906	7 [#]	5.24	0.93	3	189.8		
	8 [#]	4.91	0.94		194.1		

4 结 论

建立了凝聚炸药起爆过程电导率的平面测试方法, 运用该方法测得的电压波形和电导率曲线的一致性、重复性较好, 说明该方法可以用于炸药起爆过程的研究。TNT 和 RHT-906 炸药的实验结果表明, TNT 起爆过程的电导率随隔板厚度的增加而减小, TNT 中加入 RDX 后最大电导率减小。1[#]、2[#]、3[#] 和 4[#] 实验得到 TNT 炸药爆炸的化学反应时间分别为 0.11 μs 、0.12 μs 、0.16 μs 和 0.15 μs 。

致谢: 衷心感谢化工材料研究所六室五组对实验提供的支持和帮助!

参考文献:

- [1] 孙承纬, 卫玉章, 周之奎. 应用爆轰物理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] Sergey D Gilev, Anatoliy M Trubachev. Reaction zone in detonations of dense explosives [A]. In Proc. 12th Symposium (International) on Detonation [C], 2002.
- [3] Sergey D Gilev, Anatoliy M Trubachev. Study of physical-chemical transformations in detonation wave by the electric conductivity method [A]. In Proc. 12th Symposium (International) on Detonation [C], 2002.
- [4] Jameson R L, Lukasik S J, Pernick B J. Electrical resistivity measurements in detonating composition B and Pentolite [J]. *J Appl Phys*, 1964, 35(3): 714 - 720.
- [5] Bernard Hayes. On the electrical conductivity in detonation products [A]. In Proc. 4th Symposium (International) on Detonation [C], Office of Naval Research, ACR - 126; Washington, 1967, 595 - 601.
- [6] Tasker D G, Lee R J. The measurement of electrical conductivity in detonating condensed explosives [A]. In Proc. 9th Symposium (International) on Detonation [C], 1989.
- [7] Sergey D Gilev, Anatoliy M Trubachev. Detonation properties and electrical conductivity of explosive-metal additive mixtures [J]. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2002, 38(2): 219 - 234.
- [8] Sergey D Gilev, Anatoliy M Trubachev. High electrical conductivity of Trotyl detonation products [J]. *Technical Physics*, 2001, 46(9): 1185 - 1189.
- [9] Jameson R J, Hawkins A. Shock velocity measurements in inert monitors placed on several explosives [A]. Fifth Symposium (Int.) on Detonation [C], 1970.
- [10] 陈朗, 龙新平, 冯长根, 等. 含铝炸药爆轰 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

Electrical Conductivity of TNT and RHT-906 Explosives in Initiation Process

JIANG Zhi-hai¹, LONG Xin-ping², HE Bi¹, HAN Yong¹, JIANG Xiao-hua¹, LU Bin¹

(1. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China;

2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: The scheme of planar measurement method of electrical conductivity in the shock initiation process for condensed explosives was established. The electrical conductivities of TNT under different initial shock loading and RHT-906 explosive were studied with the method. The effect of initiation pressure on the electrical conductivity was analyzed. The results show that the highest electrical conductivity decreases with the decreasing of initiation pressure and it decreases when RDX is added in TNT. The chemical reaction time of TNT explosive detonating of experiment No. 1 ~ 4 was 0.11 μs , 0.12 μs , 0.16 μs and 0.15 μs , respectively.

Key words: explosion mechanics; detonation; electrical conductivity; scheme of planar measurement; shock initiation; chemical reaction time