

文章编号: 1006-9941(2010)05-0563-05

装药密度及尺寸对 RDX 基含铝炸药爆压爆速的影响

王 玮, 王建灵, 郭 炜, 李 欣, 肖 奇

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 利用锰铜压力传感器和测时仪测量了不同装药密度和尺寸下的 RDX 基含铝炸药的爆压和爆速, 拟合出了爆压、爆速与装药密度的关系式, 研究了装药密度和尺寸对 RDX 基含铝炸药爆压、爆速的影响。结果表明, 随着密度的增加, RDX 基含铝炸药的爆压和爆速均增加; 当装药直径和装药长度分别达到 20 mm 和 40 mm 时, RDX 基含铝炸药已经达到稳定爆轰, 装药直径和装药长度再增加, 爆压和爆速基本不变。

关键词: 物理化学; RDX 基含铝炸药; 装药密度; 装药尺寸; 爆压; 爆速

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.05.019

1 引 言

RDX 基含铝炸药是含铝炸药中的重要一员, 该炸药不仅是设计多组分含铝炸药的基础配方之一, 也可以作为多组分含铝炸药能量水平的比较基准, 在军事上有广泛的应用前景, 研究该炸药的爆轰性能可以为工程应用提供依据, 具有重要的军事意义。爆压和爆速是表征炸药爆轰性能最为重要的两个参数, 而装药密度及尺寸是影响炸药爆压和爆速测量的重要因素^[1-4]。

徐亚丽^[5]等人采用锰铜压阻法对 JO-9C 在小尺寸装药条件下的爆压值进行测定, 研究得出小尺寸装药直径对爆压影响显著。薛彭寿^[6]等人采用水箱法研究了梯恩梯和钝化黑索今两种炸药的装药直径和长度对爆压的影响, 确定了测定爆压的标准药量。王建华^[7]等人采用锰铜压阻法对不同直径和约束条件下 PBXN-5 装药的爆压进行了测试研究, 给出了特定装药条件下 PBXN-5 的爆压值, 定性分析了装药直径及约束条件对爆压的影响。韩勇^[8]等人利用有机玻璃法计算了不同配方含铝炸药的爆压, 并根据有机玻璃中冲击波的传播轨迹分析比较了不同含铝炸药的能量释放过程。目前, 对于装药密度及尺寸对含铝炸药爆压爆速的影响系统研究得很少, 因此, 本试验详细研究了装药密度及装药尺寸对 RDX 基含铝炸药爆压和爆速的影响规律, 以指导 RDX 基含铝炸药的配方设计。

2 试 验

2.1 测试原理

2.1.1 爆压测试原理

试验采用锰铜压力传感器测量炸药的爆压^[9-10], 其原理为: 锰铜压力传感器在高压作用下电阻与压力存在线性关系, 其电阻温度系数可忽略不计。因此, 可以认为锰铜压力传感器的电阻率仅受压力影响, 其函数关系为:

$$\frac{\Delta R}{R} = kp$$

式中, R 为锰铜压力传感器的初始电阻, Ω ; ΔR 为锰铜压力传感器的电阻值增量, Ω ; k 为压阻系数, $1/\text{GPa}$; p 为施加在锰铜压力传感器上的动态压力, GPa 。

在试验时, 采用恒流电源, 使通过锰铜压力传感器的工作电流保持恒定, 传感器受压后电阻的变化反映为电压的变化, 即:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U}$$

式中, U 为恒定电压, V ; ΔU 为信号电压, V 。

波形存储器记录电压变化过程, 因此, 测取 ΔU 和 U , 代入锰铜压力传感器标定公式即可得出对应的爆压值。

测试采用的锰铜压力传感器的标定公式为:

$$p = 0.7636 + 34.6280(\Delta R/R) + 6.0076(\Delta R/R)^2$$

(1.5 GPa < p < 41.76 GPa)

收稿日期: 2009-11-25; 修回日期: 2010-04-26

作者简介: 王玮(1985-), 女, 主要从事炸药性能测试研究。

e-mail: ww lucky65@163.com

2.1.2 爆速测试原理

爆速的测量采用测时仪法^[9],其原理为:利用炸药爆轰时爆轰波阵面的电离导电特性或压力变化,测定爆轰波依次通过装药内(外)各探针所需要的时间,装药长度与时间的比值即为炸药的爆速。

2.2 试验装置

爆压、爆速测试装置示意图如图1、图2所示。

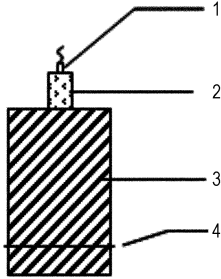


图1 爆压试验装置示意图

1—雷管, 2—传爆药, 3—炸药, 4—锰铜压力传感器

Fig.1 Diagrammatic sketch of testing detonation pressure

1—detonator, 2—booster, 3—explosive, 4—manganin pressure transducer

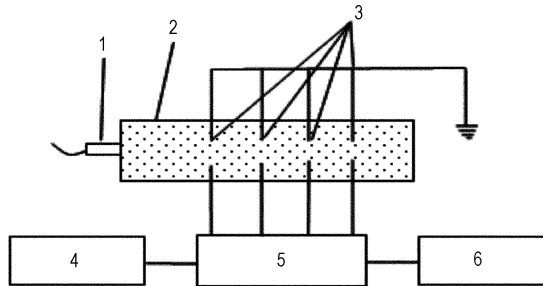


图2 爆速试验装置示意图

1—雷管, 2—炸药, 3—探针, 4—直流电源, 5—信号网络, 6—测时仪

Fig.2 Diagrammatic sketch of testing detonation velocity

1—detonator, 2—explosive, 3—probe, 4—direct current, 5—signal network, 6—testing apparatus

爆压测试装置中采用MH4E型高速同步脉冲恒流源;波形存储器为DPO7254型数字示波器。爆速测试采用TSN632M型32通道爆速仪。

2.3 试验样品

炸药均为圆柱形压装RDX基含铝炸药,配方为RDX/Al/石蜡75/20/5。传爆药采用 $\phi 25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 一端带8号雷管孔的JH-14装药,采用8号铜壳电雷管端面起爆。RDX基含铝炸药样品编号见表1。

表1 试验所用RDX/Al/石蜡炸药的参数

Table 1 Parameters of RDX/Al/wax explosives in experiment

sample	$\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	d/mm	l/mm
1	1.66	50	80
2	1.73	50	80
3	1.78	50	80
4	1.67	50	80
5	1.74	50	80
6	1.78	50	80
7	1.78	20	80
8	1.77	35	80
9	1.78	50	80
10	1.76	60	80
11	1.76	50	40
12	1.78	50	80
13	1.76	50	120

3 结果与分析

3.1 装药密度对爆压和爆速的影响

3.1.1 装药密度对爆压的影响

试验测得的不同装药密度下RDX基含铝炸药的爆压见表2。

表2 不同装药密度RDX基含铝炸药的爆压

Table 2 Detonation pressure of RDX-based aluminized explosive with different charge density

sample	p_1	p_2	\bar{p}
1	14.44	14.95	14.70
2	17.52	17.36	17.44
3	22.06	22.01	22.04

Note: p_1 is the detonation pressure which is measured at first time;

p_2 is the detonation pressure which is measured at second time;

\bar{p} is average detonation pressure.

从表2可以看出,对于RDX/Al/石蜡75/20/5炸药,随着装药密度由 $1.66\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增加到 $1.78\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时,爆压值从14.70 GPa增加到22.04 GPa,增加了约50%。可见,装药密度对爆压的影响十分显著。

由文献[2]可知,理想炸药的爆压随装药密度的增大而增加,爆压作为密度的函数,常用式(1)来表示:

$$p(\rho) = A\rho^n \quad (1)$$

式中, A 和 n 是由试验确定的参数,而通常可以用简单的经验公式 $p = c\rho^2$ 来表示理想炸药的爆压与装药密度的关系, c 为经验常数。

根据表2中的数据,拟合出装药密度与爆压的关系,如图3所示。

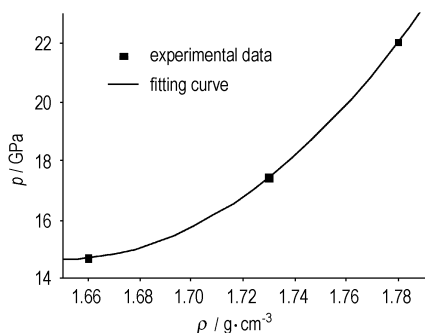


图3 装药密度与爆压的关系

Fig. 3 Relationship between charge density and detonation pressure

从图3中可以看出,RDX/Al/石蜡75/20/5炸药的爆压与装药密度呈二次函数关系,爆压随着装药密度的增加而增加。

拟合曲线的方程为:

$$p = 1214.68 - 1454.07\rho + 440.48\rho^2 \quad (2)$$

式中, p 为爆压, GPa; ρ 为装药密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

RDX/Al/石蜡75/20/5炸药由于添加了铝粉和石蜡属于非理想炸药,因此与理想炸药爆压与密度的经验关系式 $p = c\rho^2$ 不同,式中还包含了密度的一次式和常数项。

式(2)为计算配方为RDX/Al/石蜡75/20/5的RDX基含铝炸药装药密度在 $1.66 \sim 1.78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的爆压提供了较为准确的计算方法。

3.1.2 装药密度对爆速的影响

不同装药密度RDX基含铝炸药的爆速见表3。

表3 不同装药密度RDX基含铝炸药的爆速

Table 3 Detonation velocity of RDX-based aluminized explosive with different charge density

sample	$\bar{D}/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$s/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
4	7353	85
5	7766	45
6	8087	30

Note: \bar{D} is average detonation velocity, s is standard deviation.

当装药密度由 $1.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增加到 $1.78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,爆速值从 $7353 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增加到 $8087 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,增加了10%。装药密度与爆速的关系如图4所示。

拟合曲线的方程为:

$$D = 6585.48\rho - 3657.55 \quad (3)$$

式中, D 为爆速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; ρ 为装药密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。拟合曲线方程的相关系数 $R = 0.996$ 。

式(3)为计算配方为RDX/Al/石蜡75/20/5的RDX基含铝炸药装药密度在 $1.67 \sim 1.78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的爆速提供了较为准确的计算方法。

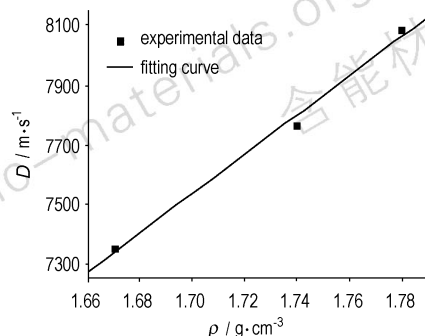


图4 装药密度与爆速的关系

Fig. 4 Relationship between charge density and detonation velocity

3.2 装药直径对爆压和爆速的影响

当装药直径没有达到爆轰能稳定传播的最小直径即临界直径时,爆轰不能稳定传播而很快熄灭。当其大于临界直径时,爆轰化学反应放出的能量支持爆轰波的传播,但由于装药直径较小,侧向膨胀产生的膨胀波传入爆轰反应区,反应区的能量密度降低,使爆速降低。随着装药直径的增大,侧向膨胀波产生的影响减小,因此爆速随装药直径的加大而增加;当直径加大到一定程度后,继续加大装药直径,爆速就不再增加了,称这时的装药直径为极限直径。因此,要测得炸药的C-J爆速,装药直径必须达到极限直径。装药直径对爆压的影响也有类似的现象。为了研究装药直径对RDX基含铝炸药爆压和爆速的影响,试验测得了不同装药直径RDX基含铝炸药的爆速和爆压(见表4)。由于本试验所使用的锰铜压力传感器敏感部位的限制,测量直径较小或较大药柱爆压时误差较大,因此本试验只测量了装药直径 $20 \sim 60 \text{ mm}$ 时药柱的爆压。

表4 不同装药直径RDX基含铝炸药的爆压和爆速

Table 4 Detonation pressure and detonation velocity of RDX-based aluminized explosive with different charge diameter

sample	p_1 /GPa	p_2 /GPa	\bar{p} /GPa	\bar{D} / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	s / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
7	21.46	21.42	21.44	7999	97
8	21.53	21.59	21.56	7988	70
9	22.06	22.01	22.04	8087	30
10	20.44	20.43	20.44	-	-

Note: \bar{p} is average detonation pressure, \bar{D} is average detonation velocity, s is standard deviation.

由表 4 可以看出,当装药直径由 20 mm 增加到 60 mm,不同样品的爆压和爆速有略微差别。这种差别可能是由于样品装药密度不同引起的,试验误差对所测的结果也有影响,所以可以认为,当装药直径由 20 mm 增加到 60 mm,爆压和爆速基本不变,也就是说装药直径为 20 mm 时,RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药已经达到了稳定爆轰。

3.3 装药长度对爆压的影响

试验测得的不同装药长度下 RDX 基含铝炸药的爆压见表 5。

表 5 不同装药长度 RDX 基含铝炸药的爆压和爆速

Table 5 Detonation pressure and detonation velocity RDX-based aluminized explosive with different charge length

sample	P_1 /GPa	P_2 /GPa	\bar{p} /GPa	\bar{D} /m·s ⁻¹	s /m·s ⁻¹
11	21.50	21.34	21.42	7988	70
12	22.06	22.01	22.04	8087	30
13	21.44	21.32	21.38	7992	41

由表 5 可以看出,当装药长度由 40 mm 增加到 120 mm,三种样品的爆压和爆速有略微差别,这是由于三种样品的装药密度不同影响的,可以认为,随着装药长度由 40 mm 增加到 120 mm,爆压和爆速基本不变,也就是说当装药长度达到 40 mm 时,配方为 RDX/Al/石蜡 75/20/5 的 RDX 基含铝炸药已经达到了稳定爆轰。

另有试验研究表明^[8],一些炸药如 PBH-9 炸药当装药长度由 14 mm 增加到 80 mm 时其爆压由 35.7 GPa 增加到 36.8 GPa,增加了约 16%,而爆速不变。而本试验结果表明 RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药当装药长度达到 20 mm 时爆压和爆速均不随装药长度的增加而发生改变。这可能是由于两种试验使用的炸药的长径比不同造成的。RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药的长径比为 0.8~2.4,比 PBH-9 炸药的长径比 0.14~0.8 大,因此,RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药在此长径比下爆压与爆速都达到了稳定值,而 PBH-9 炸药只是爆速达到了稳定值,而爆压并未达到稳定值,所以两种试验结果有所不同。

4 结论

(1) 随着装药密度的增加,RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药的爆压和爆速呈线性增加,其爆压和爆速与装药密度的关系曲线为 $p = 1214.68 - 1454.07\rho + 440.48\rho^2$ ($1.66 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \leq \rho \leq 1.78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)、 $D = 6585.48\rho -$

3657.55 ($1.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \leq \rho \leq 1.78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

(2) 装药直径由 20 mm 增加到 60 mm,RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药的爆压和爆速基本不变,即当装药直径达到 20 mm 时,RDX 基含铝炸药已经达到稳定爆轰。

(3) 装药长度由 40 mm 增加到 120 mm,RDX/Al/石蜡 75/20/5 炸药的爆压和爆速基本不变,可近似认为当装药长度达到 40 mm 时,RDX 基含铝炸药已经达到稳定爆轰。

参考文献:

- [1] 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
SUN Ye-bin, HUI Jun-ming, CAO Xin-mao. Military Composite Explosives[M]. Beijing: Ordnance Industry Press,1995.
- [2] 张宝铨,张庆明,黄风雷,等. 爆轰物理学[M]. 北京:兵器工业出版社,2001.
ZHANG Bao-ping, ZHANG Qing-ming, HUANG Feng-lei, et al. Denotation Physics [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 2001.
- [3] 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.
SUN Cheng-wei, WEI Yu-zhang, ZHOU Zhi-kui. Applied Denotation Physics[M]. Beijing: Ordnance Industry Press,2000.
- [4] 王玉玲,肖孝友,王效廉. 含铝炸药爆轰特性研究现状[J]. 飞航导弹,2006(1): 52-54.
WANG Yu-ling, XIAO Xiao-you, WANG Xiao-lian. Detonation characteristic of aluminized explosive[J]. *Winged Missiles Journal*,2006(1): 52-54.
- [5] 徐亚丽,胡双启,李北燕. 小尺寸装药直径对 JO-9C 爆压影响实验[J]. 四川兵工学报,2008(1): 120-122.
XU Yan-li, HU Shuang-qi, LI Bei-yan. Influences of charge diameter on detonation pressure of JO-9C explosive with small dimension charge [J]. *Sichuan Ordnance Journal*, 2008(1): 120-122.
- [6] 薛彭寿,王淑萍. 大药量水箱法测定炸药爆轰压力的研究[J]. 火炸药,1992(2): 10-18.
XUE Peng-shou, WANG Shu-ping. Investigation of determination of the detonation pressure with large quantity of explosive by AQUARIUM TEST [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,1992(2): 10-18.
- [7] 王建华,刘玉存,王作山,等. PBXN-5 装药直径及约束条件对爆压的影响[J]. 火工品,2002(3): 21-23.
WANG Jian-hua, LIU Yu-cun, WANG Zuo-shan, et al. Effect of charge diameter and constraint condition of PBXN-5 on detonation pressure[J]. *Initiators and Pyrotechnics*,2002(3): 21-23.
- [8] 韩勇,韩敦信,卢校军,等. 含铝炸药爆压及能量释放过程的研究[J]. 含能材料,2003,11(4): 191-193.
HAN Yong, HAN Dun-xin, LU Xiao-jun, et al. The research of effective pressure and energy-released process of Al-containing explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2003,11(4): 191-193.
- [9] 郑孟菊,俞统昌,张银亮. 炸药的性能与测试技术[M]. 北京:兵器工业出版社,1990.
ZHENG Meng-ju, YU Tong-chang, ZHANG Yin-liang. Explosive Performance and Test Technology [M]. Beijing: Ordnance

Industry Press, 1990.

[10] 严楠, 韩秀凤, 蔡瑞娇. 锰铜压阻法测量雷管输出压力波形分析 [J]. 含能材料, 2002, 12(5): 257-263.

YAN Nan, HAN Xiu-feng, CAI Rui-jiao. Analysis on the wave-

forms of detonator output measured with manganin piezoresistance method [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2002, 12(5): 257-263.

Effect of Charge Density and Size on Detonation Pressure and Detonation Velocity of RDX-based Aluminized Explosive

WANG Wei, WANG Jian-ling, GUO Wei, LI Xin, XIAO Qi

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: Detonation pressure and detonation velocity of RDX-based aluminized explosive with different charge densities and charge sizes were measured by using manganin pressure transducers and probes, respectively. The relationship between detonation pressure and charge density, as well as the relationship between detonation velocity and charge density, were fitted, and then the effects of charge density and charge size on detonation pressure or detonation velocity of RDX-based aluminized explosive were analyzed. The results show that the detonation pressure and detonation velocity are both increasing with the increasing of charge density. When the charge diameter is 20 mm and the charge length is 40 mm, RDX-based aluminized explosive is already at steady detonation, and the charge diameter and the charge length do not affect the measurement of detonation pressure and detonation velocity.

Key words: physical chemistry; RDX-based aluminized explosive; charge density; charge size; detonation pressure; detonation velocity

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.05.019