

文章编号: 1001-1455(2007)06-0567-05

高密度 B 炸药的燃烧转爆轰实验研究^{*}

文尚刚^{1,2}, 王胜强², 黄文斌¹, 赵 锋¹, 王世英², 饶保学²

(1. 中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室, 四川 绵阳 621900;

2. 西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 采用电探针及压力传感器测试技术对密度为 1.597 g/cm^3 的固体 B 炸药 (TNT/RDX=40/60) 的燃烧转爆轰性能进行研究。实验结果表明, 在较强的约束条件下 (45 号钢管, 内径 20 mm, 外径 64 mm, 长 500 mm), B 炸药形成了 DDT 现象, 诱导爆轰距离为 295~310 mm。

关键词: 爆炸力学; 诱导爆轰距离; 燃烧转爆轰; B 炸药; 高密度

中图分类号: O381

国标学科代码: 130·3510

文献标志码: A

1 引 言

由于炸药的燃烧转爆轰性能 (deflagration to detonation transition, DDT) 是炸药的重要特征之一, 而且铸装炸药、颗粒状炸药、压装炸药的 DDT 各阶段特征和机理各不相同, 因此 DDT 是炸药特性及安全性能研究、爆轰理论研究的重要内容, 倍受炸药研究者和爆轰理论研究者的高度重视。

A. Macek^[1] 早在 20 世纪 50~60 年代就开始研究了铸装炸药的 DDT 机理, 用应变计测量炸药点火区的压力变化, 用电离式探针测量 DDT 过程的走时曲线。在此之后许多人采用不同的测试技术研究颗粒状炸药或推进剂的 DDT, 如: R. R. Bernecker 等^[2] 从实验得出, 点火剂点火后首先在炸药中传播低压压缩波, 炸药被点火后产生对流燃烧, 进而产生速度较高的强压缩波, 两波会聚形成冲击波、冲击起爆颗粒状炸药; J. M. McAfee 等^[3] 详细研究了活塞驱动的颗粒状炸药的 DDT, 认为颗粒状炸药的 DDT 过程分为低压压缩波、燃烧波、冲塞 (冲击波) 和爆轰四个阶段; 值得注意的是, 近几年来 F. Leuret 等^[4] 对压装高密度高能炸药 (含 HMX96% 的塑性炸药, 密度为 1.823 g/cm^3) 进行的 DDT 研究, 用长度为 1 00 mm 的 DDT 管进行 7 发实验, 有 4 发转为爆速接近正常爆速的爆轰, 诱导爆轰距离 220~420 mm。可以看出, 压装高密度炸药的 DDT 和铸装炸药、颗粒装炸药的 DDT 不同, DDT 过程是几率性的, 诱导爆轰距离很长。最近 10 年多, 国内也开展了固体炸药的 DDT 实验研究, 如赵同虎等^[5-6] 用盖帽探针、离子探针、闪光 X 射线研究了几种颗粒状炸药的 DDT, 王世英^[7-8] 用光电三极管和应变片研究了粉状 B 炸药的 DDT 性能, 黄毅民等^[9] 用离子探针技术研究了粉状 HMX 与 JOB-9003 及固体 JOB-9003 炸药的 DDT 性能。所有这些研究, 大多数是针对粉状或疏松状炸药进行的, 针对固体高密度炸药开展的研究较少, 且未发现固体压装炸药的 DDT 现象。

本文中采用电探针及压力传感器测试技术对常用的固体压装 B 炸药 (TNT/RDX=40/60) 的燃烧转爆轰性能进行研究, 发现其燃烧转爆轰现象, 得到在某种约束条件下该炸药的诱导爆轰距离。

2 实验装置及测试系统

实验装置如图 1 所示。用时间间隔记录仪、电离式电探针系统记录燃烧波、压缩波或爆轰波到达的时间; 用程控电荷放大器、数字示波器及压力传感器记录 DDT 管不同位置处的压力历程。起爆器、时间

* 收稿日期: 2006-05-12; 修回日期: 2006-07-27

基金项目: 火炸药燃烧国防科技重点实验室基金项目 (51455040104ZW0101)

作者简介: 文尚刚 (1968—), 男, 博士, 副研究员。

间隔记录仪及示波器均由同步机触发。DDT 管材料为 45 号钢,内径为 20 mm,外径为 64 mm,长度为 500 mm;点火药为小粒黑,质量为 1.1~1.2 g;所使用的电探针为同轴电探针(芯线为 0.9 mm 的铜漆包线,地线为外径 2.0 mm 的铜管,漆包线与铜管用绝缘胶绝缘),第一个探针到点火药末端距离为 40 mm,其余探针以 30 mm 间距排列,第 14 个探针到点火药末端距离为 430 mm;压力传感器为 Y-YD-1254 型石英传感器(量程为 0~10 GPa),两只压力传感器分别安装在与第一个探针及最后一个探针对应的位置,到点火药末端距离分别为 40 和 430 mm。

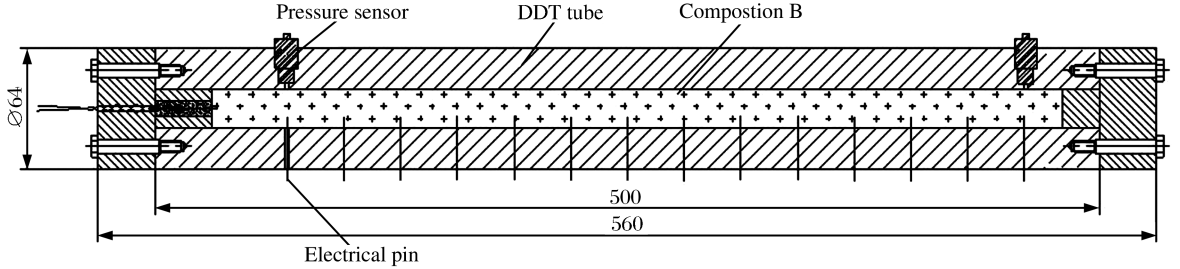


图 1 DDT 实验装置示意图

Fig. 1 Experimental set-up

3 实验结果及分析

第一发实验测得的电探针导通时间如图 2 所示。可以看出,在 DDT 管前半部分电探针信号比较乱,表明这一段内炸药反应程度比较低,在燃烧波刚到达时反应所生成的产物中电离度不高。但从第 10 根探针起,电探针信号明显按规律排列,距离与时间呈线性关系,由此得到这一段波阵面的平均传播速度为 7.452 km/s。表明此时炸药已完全形成了爆轰,燃烧完全转成爆轰的位置应在第 9 根探针与第 10 根探针之间,取其中间位置即得诱导爆轰距离(爆轰形成位置与点火药末端距离)为约 295

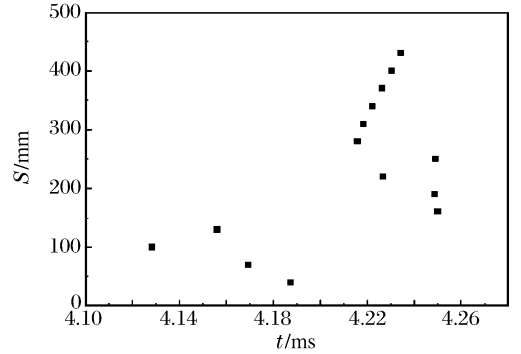


图 2 实验 1 不同位置处电探针导通时间

Fig. 2 The recorded times at different position in experiment 1

mm,而较低密度的颗粒状炸药或疏松炸药的诱导爆轰距离一般在 100 mm 左右。由此可见,高密度固体 B 炸药由于孔隙率较低,在燃烧过程中,对流燃烧不如孔隙率较高的颗粒状炸药或疏松炸药迅速,从而使反应增强比较缓慢,在 DDT 管中形成反应冲击波将需要较长一段时间。但反应冲击波一旦形成,由于高密度固体炸药具有较高的声速,冲击波在炸药中转变成爆轰波将比颗粒状炸药或疏松炸药更为迅速。因此,对于高密度固体炸药,炸药的诱导爆轰形成阶段大部分是在燃烧阶段。

两只压力传感器测得的压力曲线如图 3 所示。距离点火药较近的传感器(见图 3(a))测得的压力峰值为 1.23 GPa,而在 DDT 管末端的传感器(见图 3(b))测得的压力峰值为 22.3 GPa(由于信号幅度超过了示波器设置的量程,实际压力值应大于 22.3 GPa)。这表明,在 DDT 管内随着距离的增加,压力逐渐增加,反应逐渐加强,直至炸药发生爆轰。

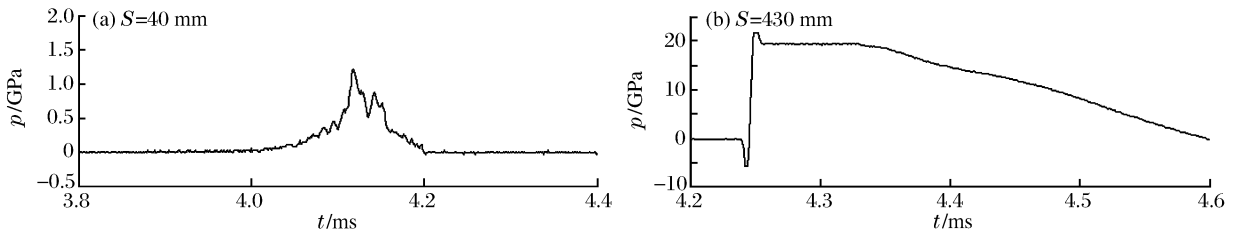


图 3 实验 1 不同位置处压力曲线

Fig. 3 The pressure curves at different positions in experiment 1

这发实验回收的 DDT 管碎片如图 4 所示。可以看出, DDT 管前半部分(图中左端, 靠近点火药部分)碎片比较大, 基本上是从探针孔位置中间撕开, 而在 DDT 管后半部分(对应从第 9 根探针开始)形成了很多小碎片, 这表明在 DDT 管前半部分反应较低, 而在后半部分反应十分强烈, 反应是逐渐加强的, 且在 DDT 管中部已完全形成了爆轰。这与电探针及压力传感器测得的结果一致。

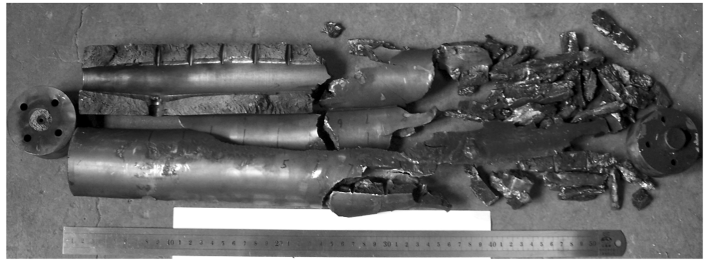


图 4 实验 1 回收的 DDT 管碎片

Fig. 4 The DDT tube fragments recovered in experiment 1

第二发实验与第一发实验结果基本相同, 实验测得的电探针导通时间结果如图 5 所示。从第 10 根探针到第 14 根探针的数据得到这一段波阵面的平均传播速度为 7.426 km/s, 表明此时炸药已完全形成了爆轰, 对应的诱导爆轰距离约为 295 mm。测得的压力曲线如图 6 所示, 40 mm 处的压力出现两个峰值, 第一个峰值为 0.810 GPa, 第二个峰值为 1.432 GPa, 两个峰值对应的时间相差 27 μs, 表明此处的反应比较复杂, 进行了多次反应; 同样地, 由于在 430 mm 处发生了爆轰, 此处形成的压力峰值远远大于传感器的量程, 因此, 该处传感器测得的压力值并不准确, 压力峰值可取理论值为 26~27 GPa。该发实验回收到的 DDT 管碎片如图 7 所示, DDT 管前半部分只碎成三大块, 而后半部分则碎成很多小碎片, 表明 DDT 管前半部分反应较低, 而在后半部分反应十分强烈, 且完全形成了爆轰。

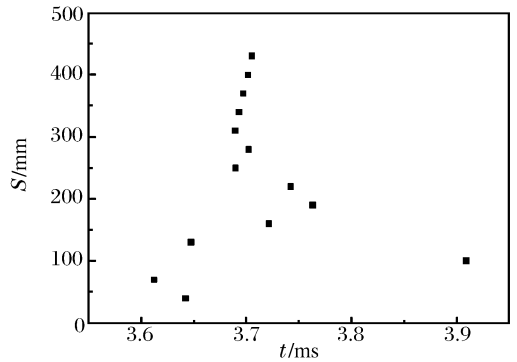


图 5 实验 2 不同位置处电探针导通时间

Fig. 5 The recorded times at different positions in experiment 2

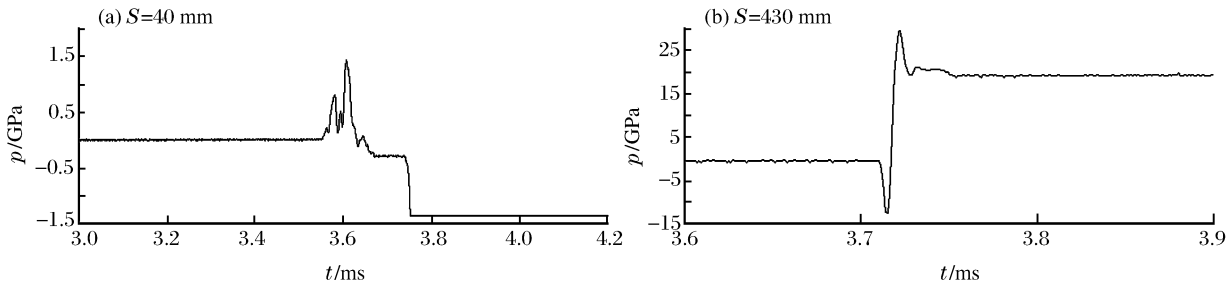


图 6 实验 2 不同位置处压力曲线

Fig. 6 The pressure curves at different positions in experiment 2



图 7 实验 2 回收的 DDT 管碎片

Fig. 7 The DDT tube fragments recovered in experiment 2

第三发实验只采用了电探针测试技术,第1根探针到点火药末端的距离为55 mm,其余探针以间距30 mm等距离排列,共14根探针,第14根探针到点火药末端的距离为445 mm。除没有测压系统外,实验测试系统与前两发实验相同。测得的电探针导通时间结果如图8所示,从第10根探针到第14根探针的数据得到这一段波阵面的平均传播速度为7.50 km/s,表明这段炸药已完全形成了爆轰,对应的诱导爆轰距离为约310 mm。该发实验回收到的DDT管碎片如图9所示,同样地与前两发实验相似,DDT管前半部分碎成几大块,而后半部分则碎成很多小碎片,这表明在DDT管前半部分反应较低,而在后半部分反应十分强烈,且在DDT管中部已完全形成了爆轰。

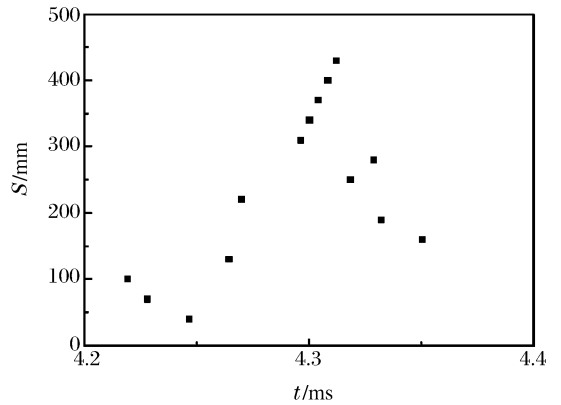


图8 实验3不同位置处电探针导通时间
Fig. 8 The recorded times at different positions in experiment 3

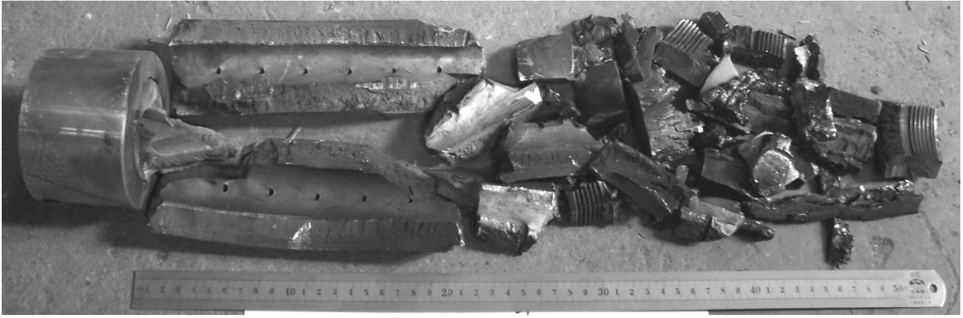


图9 实验3回收的DDT管碎片
Fig. 9 The DDT tube fragments recovered in experiment 3

4 结论

(1)新研制的石英压力传感器可以较好地应用于固体压装炸药的燃烧转爆轰实验研究中,可以测量DDT管中不同位置处的压力历史,尤其适用于测量燃烧过程中的压力变化,但由于量程限制,该传感器无法准确测量转爆轰后DDT管内的压力。

(2)固体压装炸药的燃烧转爆轰过程大致有以下几个阶段:点燃、燃烧反应、冲击波形成、冲击反应和爆轰形成,其中燃烧反应过程最为复杂,且炸药的诱导爆轰形成阶段大部分是在燃烧阶段。

(3)在较强的约束条件下(45号钢管,内径20 mm,外径64 mm,长500 mm),密度为 1.597 g/cm^3 的B炸药形成了DDT现象,诱导爆轰距离为295~310 mm。

中国工程物理研究院流体物理研究所的蒲正美、龚晏青、王广军,西安近代化学研究所的董树南、肖玮、王兴安等参加了实验工作。在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Macek A. Transition from deflagration to detonation in cast explosive[J]. Journal of Chemical Physics, 1959,31(1):162-167.
- [2] Bernecker R R, Sandusky H W, Clairmont A R. Deflagration to detonation transition studies of porous explosive charges in plastic tubes[C]// Proceedings of the 7th International Symposium on Detonation. Annapolis MD: NSWC, 1981:119-138.
- [3] McAfee J M, Asay B W. Deflagration to detonation in granular HMX[C]// Proceedings of the 9th International Symposium on Detonation. Arlington, VA: OCNR, 1989:265-279.

- [4] Leuret F, Chaisse F, Presles H N, et al. Experimental study of the low velocity detonation regime during the deflagration to detonation transition in a high density explosive[C]// Proceedings of the 11th international Symposium on Detonation. Snowmass, Colorado, 1998:693-700.
- [5] 赵同虎,张寿齐,张新彦,等. DDT管材料对颗粒状RDX床燃烧转爆轰(DDT)影响的实验研究[J]. 高压物理学报, 2000,14(2):99-104.
ZHAO Tong-hu, ZHANG Shou-qi, ZHANG Xin-yan, et al. An experimental study of the effects of DDT tube materials on the deflagration to detonation transition in granular RDX bed[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2000,14(2):99-104.
- [6] 赵同虎,张新彦,李斌,等. 颗粒状HMX、RDX的燃烧转爆轰实验研究[J]. 含能材料, 2003,11(4):187-190.
ZHAO Tong-hu, ZHANG Xin-yan, LI Bin, et al. Experimental study on the deflagration to detonation transition for granular HMX, RDX[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2003,11(4):187-190.
- [7] 王世英,张泰华,朱志武,等. 光电三极管在研究推进剂燃烧转爆轰行为中的应用[J]. 火炸药学报, 2000(3):56-58.
WANG Shi-ying, ZHANG Tai-hua, ZHU Zhi-wu, et al. Application of the photoelectric triode to the studies of DDT behavior in propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2000(3):56-58.
- [8] 王世英,胡焕性. 点火强度对B炸药燃烧行为之影响[J]. 含能材料, 2003,11(3):141-143.
WANG Shi-ying, HU Huan-xin. The effect of ignition intensity in composition B on the burning behavior[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2003,11(3):141-143.
- [9] 黄毅民,冯长根,龙新平,等. JOB-9003炸药燃烧转爆轰现象研究[J]. 火炸药学报, 2002(1):54-56.
HUANG Yi-min, FENG Chang-gen, LONG Xin-ping. Deflagration to detonation transition behavior of explosive JOB-9003[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2002(1):54-56.

An experimental study on deflagration-to-detonation transition in high-density composition B

WEN Shang-gang^{1, 2 *}, WANG Sheng-qiang², HUANG Wen-bin¹,
ZHAO Feng¹, WANG Shi-ying², RAO Bao-xue²

(1. *Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics, Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China;*
2. *Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, Shaanxi, China*)

Abstract: Deflagration-to-detonation transition (DDT) of composition B (TNT/RDX = 40/60) with density 1.597 g/cm³ is experimentally explored by using the electrical pin and pressure sensor measurement techniques. Experimental results show that a DDT is obtained under the strong confinement condition (steel tube with inner diameter 20 mm and outer diameter 64 mm and length 500 mm), and that the detonation-induced distance is 295 ~ 310 mm.

Key words: mechanics of explosion; detonation-induced distance; deflagration-to-detonation transition; composition B; high density

* Corresponding author: WEN Shang-gang
E-mail address: wensg@21cn.com
Telephone: 86-816-2481143