

文章编号: 1006-9941(2011)04-0432-04

壳体厚度对 TNT 炸药快速烤燃响应的影响

孙培培, 南海, 牛余雷, 席鹏, 李巍, 卢富国

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 采用自行设计的快速烤燃试验方法, 测试厚度为 2, 4, 6 mm 梯恩梯 (TNT) 装药壳体的响应状态, 结合 TNT 的高压差示扫描量热 (PDSC) 分解特性, 研究了厚度对炸药装药响应的影响。结果表明: 在快速烤燃试验条件下, 壳体厚度由 2 ~ 6 mm 变化时, TNT 炸药均为爆炸反应等级; 壳体厚度变化对 TNT 炸药响应等级没有显著影响, 但炸药装药反应对外做功能力提高; PDSC 结果显示, 随着环境压力的提高, 反应释放热量增大, TNT 分解量增大。

关键词: 爆炸力学; 梯恩梯 (TNT); 快速烤燃; 高压差示扫描量热 (PDSC)

中图分类号: TJ55; O38

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.018

1 引言

武器弹药在制造、存贮、运输和使用过程中由于受到外界环境的热刺激造成快速升温而引起点火现象, 这被称为快速烤燃现象。现代战争对武器弹药的热安全性要求越来越高, 武器弹药一旦遇到外界 (如火焰等) 的意外热刺激, 就有可能发生点火乃至爆炸等严重事故。为此, 研究炸药在快速烤燃试验条件下的响应特性及响应机制是现代不敏感弹药技术发展的重要方向。

目前, 国内外已经开展了大量研究工作, 美国 Army Armament 研究中心的 M Witherell 等对 30 口径的炮用燃烧弹进行了快烤试验, 并用有限差分法进行了模拟计算^[1]; 西欧各国结合实弹也开展了大量研究; 航天科技集团公司四院四十二所的陈中娥等^[2]利用同步差示扫描-热重联用仪 (DSC-TG), 扫描电镜 (SEM) 和慢速烤燃试验, 对比分析了 NEPE 推进剂和 HTPB 推进剂的热分解特性与慢速烤燃行为的关系; 吕子剑等^[3]以推进剂为燃料对 JB-9014 和 JOB-9003 炸药件进行快烤试验, 认为炸药中心的温度很低其关注意义不大。

由于以上都是围绕烤燃过程和烤燃特性进行研究, 未探讨壳体厚度约束对烤燃的影响, 故本研究利用自行设计的快速烤燃试验装置, 对不同壳体厚度的 TNT 样品进行了试验, 探讨了壳体厚度对炸药快速烤燃响应的影响。

2 试验部分

2.1 快速烤燃试验条件

测试炸药采用铸装 TNT 炸药; 烤燃弹体, 装药壳体内部尺寸为 60 mm × 240 mm, 设计壳体厚度分别为 2, 4, 6 mm; 燃料选用航空燃油。

2.2 DSC 测试条件

采用美国 TA 公司 910s 型高压差示扫描量热仪 (PDSC), 升温速率为 10 °C · min⁻¹, 静态氮气高压, 炸药试样量为 0.1 ~ 0.15 mg。

2.3 试验方法

将 TNT 炸药采用铸装工艺装填至炸药装药壳体内, 采用螺纹端盖进行密封, 然后将弹体放置于燃料槽体中心的样弹支架上。在测试壳体的中心水平面的前、后、左、右四个方向, 距离壳体表面约 30 cm 处分别布置 1 个热电偶, 将其与温度记录仪连接并保持正常工作。在测试中心三个方向距离 1.5 m 处布置见证板; 通过远程控制点火包引燃航空煤油; 试验过程中采用温度记录仪记录火焰温度; 装药壳体响应后收集响应信息。试验装置图及热电偶位置布置如图 1 和图 2 所示。

3 结果与讨论

图 3 为快速烤燃典型加热曲线。在快速烤燃施压测试过程中, 装药壳体完全被火焰包围, 由图 3 可知, 壳体周围的四周的火焰温度的趋势一致, 火焰温度分布比较均匀, 火焰温度范围在 850 ~ 950 °C。

收稿日期: 2010-07-01; 修回日期: 2011-01-15

作者简介: 孙培培 (1985 -), 女, 助工, 本科, 研究方向为混合炸药配方及工艺研究。e-mail: sunpei1985@sina.com

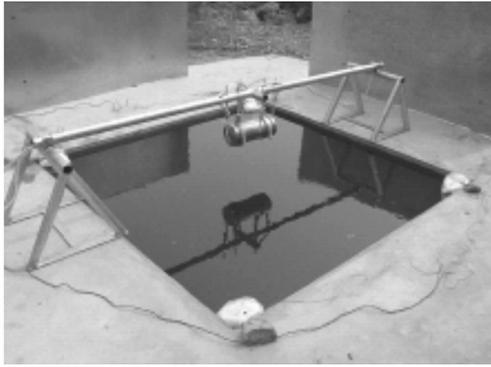


图1 快速烤燃试验装置

Fig. 1 Fast cook-off set-up

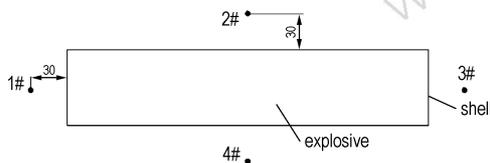


图2 热电偶布置位置

Fig. 2 Collocation of thermocouple

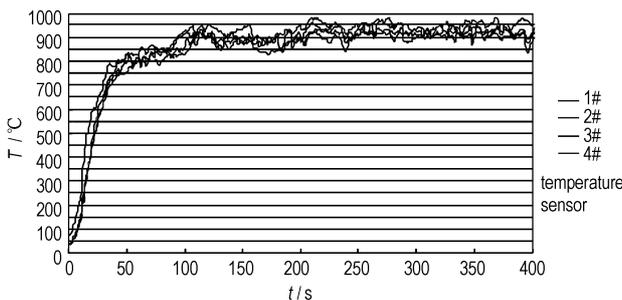


图3 快速烤燃典型时间与温度变化曲线

Fig. 3 Typical $T-t$ curves of fast cook-off for TNT sample

根据炸药快速烤燃的测试装置,对厚度为 2, 4, 6 mm 的炸药装药壳体进行了烤燃响应的测试,试验结果见表 1。

由表 1 可知,整体上,在不同厚度条件下,TNT 炸药装药壳体均发生破裂,形成较大的破片,破裂程度相差不大,按照炸药快速烤燃响应等级特性,TNT 响应等级均为爆炸反应,该试验结果与国外测试等级相一致^[4],不满足不敏感炸药快速烤燃只发生燃烧反应的要求。因此,壳体响应状态表明在 2~6 mm 厚度条件下,TNT 炸药装药响应没有显著区别。

尽管如此,除了表征装药壳体破碎状态以外,本试验还测量了各个见证板因装药壳体响应而造成的位移,结果见表 1。

表 1 结果表明,见证板位移显示出在装药质量相同的条件下,壳体厚度不同,炸药装药响应后的见证板位移存在较大差距。数据表明随着壳体厚度增加,见证板的位移量明显增大。对炸药装药而言,随着壳体厚度变化,实际上整体增强了炸药装药的约束环境。由此可知,虽然响应等级没有发生本质性的变化,但炸药装药反应对外做功能力显著提高,能量释放明显增强。

根据快速烤燃响应特性,火焰燃烧的温度上升较快,而通常,炸药装药均为不良的导热体,因此热量无法及时传导至炸药装药内部,炸药响应点始于壳体底部,因炸药特性不同点火后产生不同的响应特性,炸药对外响应特性与炸药热分解性能可能存在密切的关系。而 TNT 炸药在反应前已经融化,导热性能大大提

表 1 不同厚度炸药装药壳体响应结果

Table 1 Response of TNT with different type confinements

厚度/mm	壳体现象	壳体响应照片	见证板状态	等级
2	装药壳体均发生破裂,形成较大的破片		左见证板、右见证板、前见证板均变形	爆炸反应
4	装药壳体均发生破裂,形成较大的破片		左见证板变形,右见证板位移 3.5 m, 前见证板位移 1.5 m	爆炸反应
6	装药壳体均发生破裂,形成较大的破片		左见证板位移约 0.5 m,右见证板位移约 4.5 m,前见证板位移约 4.5 m	爆炸反应

高,内部均匀性好,故约束强度主要影响 TNT 的分解过程,本试验利用 PDSC 技术研究了不同压力下 TNT 炸药的热分解特性。

在常压条件下,由于 TNT 挥发或气化的结果,在 PDSC 曲线上仅出现了吸热熔融峰和微量分解,随外界压力的增加,TNT 在 PDSC 曲线上的热分解峰越来越显著。对于炸药装药来说,如果炸药发生热分解,便可造成装药整体响应,因此本试验重点关注 TNT 第一分解峰的相关参数,表 2 为 TNT 的 PDSC 特征量。

表 2 表明,随着压力的增加,分解起始温度和放热分解峰温均有所上升,而且分解热量也显著提高。当压力由 1 MPa 增加到 4 MPa 时,炸药的分解热量提高了 74.3%;当压力由 1 MPa 增加到 6 MPa 时,炸药的分解热量提高了 110%。根据 TNT 的挥发或气化的特点,这种现象可能是由于在外界的压力作用下,TNT 挥发或气化得到抑制,导致 TNT 炸药反应更加充分,造成能够热分解的炸药含量增多,分解热量提高。由此可知,在外界压力增加的条件,炸药的释放能力获得提升。

表 2 TNT 的 PDSC 特征量

Table 2 PDSC parameters for TNT

p /MPa	starting temperature /°C	peak temperature /°C	decomposition temperature /J·g ⁻¹
0.1	181.5	242.7	-
1	285.7	303.9	1071
4	292.6	307.6	1867
6	300.8	311.6	2246

在 PDSC 的基础上,采用 Coats-Redfern 方法^[5-6]获得了不同压力条件下 TNT 分解的动力学参数,见表 3。

由表 3 可知,随着压力增加,TNT 炸药的活化能 E_a 明显降低。按照 Arrhenius 反应速率方程 $K = A \exp(-E_a/RT)$ 可推测,在温度相同条件下,随着炸药反应活化能越低,炸药反应速率将显著提高。由此可知,随着压力增加,TNT 炸药的分解速率得到显著提高。

由 TNT 炸药热分解特性推知,随着壳体厚度的增加,炸药装药所受的压力增强,约束条件提高,导致 TNT 炸药反应速率加快,反应速率加快,反应释放热量增大,从而对外的做功能力增强。

表 3 TNT 的动力学参数

Table 3 Kinetic parameters of TNT with Coats-redfern method

p /MPa	a	E_a /kJ·mol ⁻¹	lgA
0.1	-	-	-
1	5~40	283.0	20.39
4	6~43	272.1	19.45
6	6~55	252.4	17.5

Note: a is percent conversion; E_a is activation energy; A is pre-exponential factor.

4 结 论

(1) 在快速烤燃试验条件下,壳体厚度由 2~6 mm 变化时,TNT 炸药均为爆炸反应等级。

(2) 在试验药量下,壳体厚度变化对 TNT 炸药响应等级没有显著影响,但炸药装药反应对外做功能力提高。

(3) 在 PDSC 技术中,随着环境压力的提高,TNT 炸药的分解速率加快,反应释放热量增大。

(4) PDSC 技术对于研究和预测炸药装药烤燃响应具有一定指导作用。

参考文献:

- [1] Witherell M, Pfligl G. Prediction of propellant and explosive cook-off for the 30 mm HEI-T and raufoss MPLD-T rounds chambered in a hot MK44 Barrel advanced amphibious assault vehicle-AAV. ADA 388280[R]. 2001.
- [2] 陈中娥,唐承志,赵孝彬. 固体推进剂的慢速烤燃行为与热分解特性的关系研究[J]. 含能材料,2005,13(6): 393-396. CHEN Zhong-e, TANG Cheng-zhi, ZHAO Xiao-bing. Relationship between slow cook-off behavior and thermal decomposition characteristics of solid propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(6): 393-396.
- [3] 吕子剑,申春迎,向永. 以推进剂为燃料对炸药的快速烤燃实验[R]. 中国工程物理研究院科技年报,2003: 429-430.
- [4] Octavia Frota, Nigel Davies. Effect of scale on fast cook-off studies of explosives[C]// 31st International Pyrotechnics Seminar. Colorado, 2004.
- [5] 胡荣祖,高胜利,赵凤起,等. 热分析动力学[M]. 北京: 科学出版社,2008. HU Rong-zu, GAO Sheng-li, ZHAO Feng-qi, et al. *Thermal Analysis Kinetics*[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [6] 罗宁,李小杰,王小红,等. 几种乳化炸药的热分解动力学行为[J]. 含能材料,2009,17(4): 463-466. LUO Ning, LI Xiao-jie, WANG Xiao-hong, et al. Thermal decomposition kinetic behavior of emulsion explosives[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(4): 463-466.

