

文章编号: 1001-1455 (2000)03-0253-04

炸药柱非限定热爆炸实验研究

高大元, 张孝仪, 韦力元, 黄伯勇

(中物院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 对 HMX/TATB 系列配方和 PBX-1 的 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 炸药柱进行了非限定热爆炸实验, 探讨 HMX/TATB 含量和几何尺寸对热爆炸临界温度的影响。结果表明: TATB 含量增加, 炸药配方的热感度降低, 炸药柱热爆炸临界温度增加, 其增加趋势随 TATB 含量的增加而变得更加明显; 炸药柱几何尺寸越小, 影响越明显; 线性拟合得到非限定炸药柱热爆炸临界参数 δ 与药柱半径 r 和热爆炸临界温度 T_m 之间的关系式以及热爆炸延滞期 t 与临界温度 T_m 的关系式; 计算获得 PBX-1 炸药柱非限定试验 4h 不发生热爆炸反应的特征临界温度。

关键词: 热爆炸; 炸药柱; 热感度; 临界温度

中图分类号: TO560.72 文献标识码: A

1 引言

炸药的热感度是炸药的基本性能之一^[1], 其测试方法已广泛应用于炸药安全性能评估^[2~5]。80 年代以来, 我所在实验热爆炸方面做了大量工作, 在 Frank-kamenetskii 热平衡方程基础上建立了非限定炸药柱热爆炸实验^[6], 用于综合评价炸药的热感度和安全性。

HMX 是目前广泛使用的能量最高的单质炸药, 但是其感度达不到钝感炸药标准的要求^[7]。TATB 炸药作为钝感剂加入 HMX 中, 既有助于降低配方的感度, 又有助于保持配方具有较高能量, 利用此种方法, 国内外研究出了 PBX-9503^[8]、PBX-1^[9] 等炸药配方。到目前为止, 国内对机械感度、爆轰性能与 HMX/TATB 组分关系的研究都有报导^[10~11], 但是未见 TATB 的加入对 HMX 的热感度影响的系统研究报导, 因此, 研究 HMX/TATB 系列配方炸药以及 PBX-1 炸药各种几何尺寸的热感度性能, 对评价其安全性具有非常重要的意义。

2 HMX/TATB 系列配方炸药柱热爆炸实验

按 HMX/TATB/粘结剂系列配方的比例造粒, 并压成 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的炸药柱进行非限定热爆炸实验, 临界温度 T_m 测定结果见表 1。在某一环境温度下, 若超过 10h ($\geq 3600\text{s}$) 炸药柱仍未发生热爆炸, 则判定环境温度未到达临界温度, 再提高环境温度进行实验直至发生热爆炸。热爆炸实验中, 临界温度 T_m 用发生热爆炸的最低环境温度与没有发生热爆炸的最高环境温度的平均值来表示。

* 收稿日期: 1999-10-13; 修回日期: 1999-12-03

基金项目: 中国工程物理研究院院内基金项目 (960575)

作者简介: 高大元 (1962—), 男, 硕士, 副研究员。

表1 炸药柱临界温度测定值

Table 1 Tested values of critical temperature for explosive cylinder

配方组份	临界温度 $T_m / ^\circ\text{C}$		
	$\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$	$\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$	$\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$
HMX/TATB/粘结剂=15/80/5	248.5	234.0	221.5
HMX/TATB/粘结剂=48/47/5	227.0	215.0	212.5
HMX/TATB/粘结剂=70/25/5	221.3	215.0	209.3
HMX/TATB/粘结剂=80/15/5	210.5	209.8	208.0
HMX/粘结剂=95/5	208.0	205.5	203.0

HMX/TATB 含量变化和炸药柱几何尺寸对临界温度的影响见图1。由图可见, HMX/TATB 系列炸药配方中, TATB 含量增加, 炸药配方的热感度降低, 炸药柱热爆炸临界温度升高, 其增加趋势随 TATB 含量的增加而变得更加明显, 在图上表现为曲线斜率逐渐变大; 炸药柱几何尺寸越小, 影响越明显, 表现为曲线斜率越大; 此外, 在相同炸药配方的炸药柱中, 几何尺寸越大, 炸药柱临界温度越低, 热感度越高, 安全性越差。

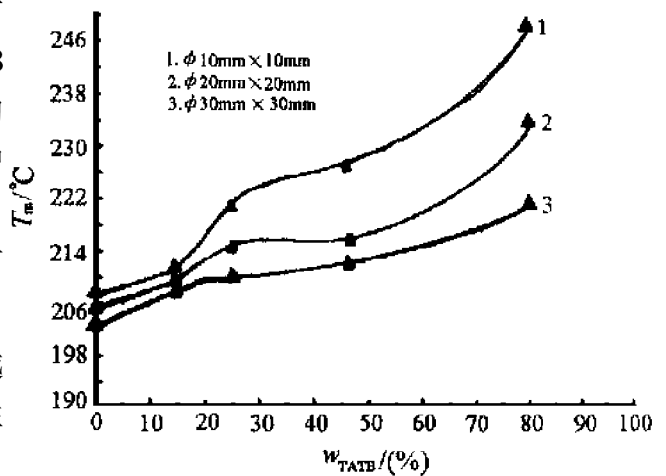


图1 TATB 含量对临界温度的影响

Fig.1 Effect of TATB's content to critical temperature

3 PBX-1 炸药柱热爆炸实验

将 PBX-1 炸药造型粉压成 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的炸药柱, 非限定热爆炸实验结果见表2。表2中临界温度 T_m 是发生热爆炸的最低环境温度与没有发生热爆炸的最高环境温度的平均值, 表面最大温升 ΔT 是发生热爆炸前试样表面温度所达到的最大值与环境温度 T_a 之差。

非限定炸药柱热爆炸临界参数 δ 半径 r 和临界温度 T_m 之间的关系可用下式表示

$$\ln(\delta^2/r^2) = N - (C_1/T_m) \quad (1)$$

式中: N 、 C_1 为与炸药热物理常数和动力学参数有关的待定系数。

圆柱形药柱的临界参数 δ 是药柱长径比 $H/(2r)$ 的函数, 在本实验中, $H/(2r)=1$, 根据理论计算结果可选取临界参数 $\delta=3.07$, 线性拟合可得经验表达式

$$\ln(\delta^2/r^2) = 162.34 - (115692/T_m) \quad \text{相关系数 } R = 0.9923$$

式(1)即为 PBX-1 炸药柱的安全判据。例如, $\phi 40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的 PBX-1 炸药柱, 用数值解法得到此时的临界温度为 194.6°C , 当环境温度高于 194.6°C 时, 热爆炸必然在一定时间内发生。

对于绝大多数炸药, 在非限定性热爆炸实验中, 当环境温度高于临界温度时, 必然会发生热爆炸现象, 延滞期与环境温度的关系一般可用下式表示

$$\ln t = D + (C_2/T_a) \quad (2)$$

式中: D 、 C_2 为与炸药热物理常数和动力学参数有关的待定系数。

对 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ PBX-1 炸药柱, 延滞期方程为

$$\ln t = -13.55 + (11137/T_a) \quad \text{相关系数 } R = 0.9837$$

对 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ PBX-1 炸药柱, 延滞期方程为

$$\ln t = -45.49 + (26464/T_a) \quad \text{相关系数 } R = 0.9454$$

对 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ PBX-1 炸药柱, 延滞期方程为

$$\ln t = -57.67 + \frac{31997}{T_a} \quad \text{相关系数 } R = 0.9376$$

表2 PBX-1 炸药柱热爆炸实验结果

Table 2 Thermal explosion experiment results of explosive cylinder PBX-1

尺 寸	$T_a/^\circ\text{C}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	t/s	现象	$T_m/^\circ\text{C}$
$\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$	242.1	11.0	3540	TE	
	234.7	11.0	4020	TE	
	220.0	13.1	7740	TE	
	217.0	13.4	9240	TE	
	212.0	11.2	13860	TE	
	208.0	8.9	36000	TD	208.0
$\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$	208.0	10.1	14580	TE	
	205.0	8.0	16980	TE	
	204.0	8.8	18720	TE	
	203.0	8.5	26940	TE	
	202.0	8.7	30660	TE	
	200.5	7.6	31200	TE	
	199.9	7.0	36000	TD	200.2
$\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$	204.0	14.8	11220	TE	
	203.0	7.7	15840	TE	
	202.0	7.9	17220	TE	
	200.0	7.6	17400	TE	
	199.0	8.0	26940	TE	
	198.0	7.9	29640	TE	
	197.0	8.0	36000	TD	197.5

注: TE 表示热爆炸; TD 表示热分解。

在热爆炸试验中, 还规定了在试验条件下 4h 不发生热爆炸反应的最高温度, 称为“特征临界温度”, 它是预测压制炸药和加工炸药制件过程中危险条件最逼真的温度。表 3 列出了 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 炸药柱非限定试验的特征临界温度。

表3 PBX-1 炸药柱的特征临界温度

Table 3 Characteristic critical temperatures for explosive cylinder PBX-1

炸 药	尺 寸/mm	特征临界温度/ $^\circ\text{C}$
PBX-1	$\phi 10 \times 10$	208.6
	$\phi 20 \times 20$	207.6
	$\phi 30 \times 30$	202.8

4 结 论

(1) 通过热爆炸试验获得了 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的 HMX/TATB

系列配方炸药柱的热爆炸临界温度,探讨了 HMX/TATB 含量和几何尺寸对热爆炸临界温度的影响。TATB 含量增加,炸药配方的热感度降低,炸药柱热爆炸临界温度增加,其增加趋势随 TATB 含量的增加而变得更加明显;炸药柱几何尺寸越小,影响越明显。

(2) 通过热爆炸试验,获得 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的 PBX-1 炸药柱热爆炸临界温度分别为 $208.0\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $200.2\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $197.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。线性拟合得到非限定炸药柱热爆炸临界参数 δ 药柱半径 r 和热爆炸临界温度 T_m 之间的关系式以及热爆炸延滞期 t 与临界温度 T_m 的关系式。

(3) 由热爆炸延滞期 t 与临界温度 T_m 的关系式计算,获得 $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 和 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的 PBX-1 炸药柱在非限定试验中 4h 不发生热爆炸反应的特征临界温度。以上拟合公式适用于炸药柱长径比等于 1 或接近于 1 的情况。

参考文献:

- [1] 冯长根. 热爆炸理论 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] GJB 772A—97. 热爆炸临界温度测定: 1000s 延滞期法 [S].
- [3] 张孝仪. 用差示扫描量热法研究含能材料与聚乙烯醇缩丁醛的相容性 [J]. 含能材料, 1994, 3(3): 40—44.
- [4] Sehmits G T. Large Scale ODTX Standard Test [R]. MHSMP-82-26, 1982.
- [5] 胡荣祖, 松全才, 谢俊杰, 等. 三硝基甲烷热分解过渡到热爆炸的研究 [J]. 爆炸与冲击, 1987, 7(3): 217—222.
- [6] 楚士晋. 炸药热分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [7] Sehmits G T. ODTX Test Program [R]. MHSMP-80-40, 1980.
- [8] Rogers R N. Henkin Time-to-explosion for TATB-Part I [R]. MHSMP-77-18H, 1977.
- [9] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [10] 郑培森. 塑料粘结炸药配方研究中粘结系统和钝感系统探讨 [A]. 混合炸药研讨会文集(下) [C]. 湖南大庸: 中国兵工学会火炸药学会, 1988. 42—46.
- [11] 廖鸿铭. HMX/TATB 塑料粘结炸药撞击感度与爆轰能量的初步研究 [J]. 科技学报, 1988, 95—105.

Study on Unlimited Thermal Explosion for Explosive Cylinder

GAO Da-yuan, ZHANG Xiao-yi, WEI Li-yuan, HUANG Bai-yong

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract: In this paper, the unlimited thermal explosion experiments of the HMX/TATB series PBX-1 explosive cylinder are presented. The sizes of the cylinders are $\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$, $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ and $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$. The influence of the content of TATB and the size of the explosive cylinder on the thermal explosion critical temperature is discussed. The results show that the thermal sensitivity decrease while the thermal explosion critical temperature increase with the increasing of the content of TATB, further more, the smaller the size of the cylinder, the more obvious the phenomena is. By linear simulation the equations that describe the relation of the thermal explosive critical parameter δ the cylinder radius r and the thermal explosion critical temperature T_m , as well as the relation between the thermal explosion delay time t and the critical temperature T_m are derived. The calculated characteristic critical temperature to keep the PBX-1 cylinder does not to explode for 4 hours during the experiment is obtained too.

Key words: thermal explosion; explosive cylinder; sensitivity to heat; critical temperature