

文章编号: 1006-9941(2016)03-0226-05

温压战斗部装填比对毁伤威力的影响

张丁山, 周涛, 许碧英, 赵晨钟, 姚兴柱

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了研究温压装药的装填比对战斗部毁伤威力的影响, 开展了以 65% 的奥克托今和 35% 的高活性级配铝粉为主要组份 30 g 温压装药爆炸后生成产物及输出能量特性的试验研究。依据试验结果, 建立了表征温压战斗部毁伤威力的总能量和总比冲量的数学模型。借助一枚装填 70 kg 温压炸药的 200 kg 战斗部距地面 1.5 m 处的静爆试验的结果, 利用数学模型计算了该温压战斗部起爆后距爆心不同距离处的冲击波超压和比冲量。结果表明, 计算结果与静爆试验测量结果符合较好, 验证了所建数学模型的正确性。应用该模型计算了 200 kg 温压战斗部爆炸后距爆心不同距离处的总比冲量随装填比的变化情况。表明装填比为 40% 左右时, 有最大的总比冲量和毁伤威力。

关键词: 温压战斗部; 装填比; 毁伤威力; 数值仿真

中图分类号: TJ55; V512

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.03.003

1 引言

温压炸药是近年来发展起来的一种富含燃料的高爆炸药, 具有高爆炸药和燃料空气炸药的特点^[1], 起爆后可形成冲击波、高温辐射^[2]、燃烧等多重毁伤, 在密闭/半密闭空间内起爆后还可形成准静压、缺氧窒息等毁伤^[3], 因此温压炸药尤其适合装填在用于杀伤洞穴、地下工事、建筑物等密闭/半密闭空间内的侵彻类战斗部中, 以实现对该类目标的高效毁伤。目前, 炸药研究者对温压炸药的配方、起爆能量输出特性及生成产物、药柱压制的成型性等开展了大量研究工作; 应用研究者对温压炸药的起爆后的特性开展了大量的研究工作如冲击波^[4]、后燃烧火球温度及半径^[5]、抛撒过程^[6]、缺氧效应等, 同时结合多个温压战斗部研制项目, 开展了温压战斗部在空旷场地、典型靶标内部大量的静爆威力试验研究(测量温压战斗部起爆后的冲击波超压、爆炸火球温度、起爆环境内氧含量变化^[7]及效应物的毁伤情况等)和温压战斗部装药抗过载安定性试验研究, 同时对常规含铝装药战斗部起爆后的毁伤能量输出及毁伤评估^[8-10]、温压战斗部起爆后的耗氧效应评估^[7]等开展了研究。侵彻类战斗部可通过增加侵彻速度提升侵彻性能, 故随着侵彻速度的增加,

可战斗部壳体壁厚增加以满足战斗部的结构强度要求。温压炸药应用于侵彻类战斗部后, 为确保战斗部的总重、侵彻能力等满足要求, 需设计调整战斗部壳体壁厚, 壁厚的变化引起战斗部装填比的变化(通常壁厚越大, 装填比越小), 对温压装药毁伤威力(主要是冲击波)造成影响, 不利于温压弹药广泛应用, 因此, 需要开展此方面的研究, 而现有研究较少, 为此, 本研究首先依据分别在爆炸罐内和空气环境中开展的 30 g 温压装药爆炸后生成产物及输出能量等特性试验研究结果, 建立表征温压战斗部毁伤威力的数值仿真模型并计算某 200 kg 温压战斗部距地面 1.5 m 爆炸后的冲击波超压及冲量等, 将计算结果与该 200 kg 温压战斗部试验结果, 验证计算模型的正确性, 然后应用该模型开展战斗部装填比对温压装药毁伤威力影响的研究, 计算了 200 kg 温压战斗部爆炸后距爆心不同距离处的总比冲量随装填比的变化情况, 总结出温压弹药毁伤威力随装填比的变化规律, 为温压弹药的结构设计提供参考。

2 模型建立

2.1 温压炸药爆炸过程

爆炸特性试验研究及温压战斗部用温压炸药的组份为 65% 的奥克托今(HMX)和 35% 的高活性级配铝粉, 依据在近似无氧环境下开展了 30 g 温压炸药爆炸特性试验研究(200 g TNT 当量的爆炸罐内), 测量了

收稿日期: 2014-12-27; 修回日期: 2015-05-19

作者简介: 张丁山(1984-), 男, 博士, 副研究员。主要从事战斗部设计及毁伤研究。e-mail: dingshan19840103@sohu.com

爆热 ($7500 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和爆炸后生成产物,回收铝粉 5.98 g ,得出其中 65% 的 HMX 约与 15% 的铝粉构成了含铝炸药发生反应,剩余 20% 的铝粉未反应;在空气环境下开展的 1 kg 温压炸药爆炸特性试验研究,测量了爆炸后生成产物,未回收到单独铝粉即全部反应,通过高速摄影可以清楚拍摄到铝粉与空气中氧气发生燃烧的反应过程,即与空气形成云雾爆轰,因此,温压炸药起爆反应过程的能量输出主要由两部分组成,一部分是凝聚相含铝炸药爆轰释放,一部分是铝粉与空气中的氧气发生云雾爆轰释放^[8]。

2.2 温压战斗部爆炸过程

依据常规弹药的爆炸过程和温压炸药的爆炸过程,得出装填温压炸药的战斗部起爆过程为:含铝炸药发生无氧爆炸反应产生第一部分冲击波,战斗部壳体在冲击波作用下发生变形破碎,形成破片飞散,并在壳体破碎过程中,温压炸药中的部分燃料粒子发生无氧燃烧反应,而未反应的可燃物质被抛撒;然后,铝粉等可燃物质与空气中的氧发生云雾爆轰,产生第二部分冲击波,待云雾爆轰反应完全,温压战斗部的起爆过程结束。

依据在近似无氧环境下开展的温压炸药爆炸特性试验研究(爆热,生成产物等)结果,建立计算温压战斗部起爆过程中能量输出(毁伤威力)模型,并作出以下基本假设:

(1) 战斗部内部装填的所有温压炸药同时起爆,与装药结构无关;

(2) 忽略温压战斗部起爆时,壳体破碎消耗的能量;

(3) 各破片的初速相等;

(4) 全部破片集中在飞散角 φ 内;

(5) 温压战斗部起爆过程中,首先进行爆炸反应的含铝炸药形成的爆轰产物及未反应的可燃物质一直在壳体破片的后面向外膨胀,并使破片达到初速 v_{i0} ,且爆轰产物在中心处速度为零,在靠近破片处速度为 v_{i0} ,其速度沿径向线性分布;

(6) 云雾爆轰产物的内能近似于火药燃烧气体的内能,即云雾爆轰产物的内能计算按照火药燃烧气体内能的计算公式进行计算,云雾爆轰产物的温度为试验测量结果的平均值 3000 K 。

(7) 温压战斗部起爆后,未参加第一阶段反应的可燃物质被抛出并与空气中的氧气产生云雾爆轰,其反应过程对破片运动的影响忽略不计,即云雾爆轰释放的能量全部包含于云雾爆轰产物的内能和动能中^[10]。

(8) 温压战斗部起爆后的冲击波超压由两部分叠

加而成,一为含铝炸药起爆产生,二为云雾爆轰产生,计算时忽略两部分超压叠加时的能量损耗,即认为总冲击波超压值为两冲击波超压值之和。

依据基本假设(1)、(2)和能量守恒定律可得,温压战斗部整个起爆过程中产生的能量为:

$$E = \omega_1 Q_1 + \omega_2 Q_2 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (1)$$

$$E_4 = \omega_2 Q_2$$

式中, E 为温压战斗部整个起爆过程中产生的能量, J; ω_1 为温压炸药中含铝炸药的含量, kg; Q_1 为含铝炸药起爆后释放能量, J; ω_2 为温压炸药起爆过程中参与云雾爆轰的可燃物质与氧气的总量, kg; Q_2 为参与云雾爆轰物质起爆后释放能量, J。 E_1 为破片动能, J; E_2 为含铝炸药爆轰产物内能, J; E_3 为含铝炸药爆轰产物及未反应物质的动能, J; E_4 为云雾爆轰反应释放的能量, J。

依据假设(3)得出破片动能 E_1 为:

$$E_1 = \frac{1}{2} m (1-a) v_{i0}^2 \quad (2)$$

$$v_{i0} = \sqrt{2E} \left(\frac{1-a}{a} + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2}$$

式中, m 为战斗部重量, kg; a 为战斗部装填比, $\sqrt{2E}$ 为含铝粉混合炸药的格尼常数,取值 $2682 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

含铝炸药爆轰产物内能为:

$$E_2 = \omega_1 \frac{pV}{\gamma-1} \quad (3)$$

式中, p 为爆轰产物压力, Pa; V 为爆轰产物体积, m^3 ; γ 为绝热指数。

将 $p_1 = p_0 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^\gamma$ 代入(3)式可得:

$$E_2 = \omega_1 p_0 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^\gamma \frac{1}{\rho_1 (\gamma-1)} = \omega_1 Q_1 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{\gamma-1} \quad (4)$$

由于战斗部装药轴对称,所以 $\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{V_0}{V_1} = \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2$

$$E_2 = \omega_1 Q_1 \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^{2(\gamma-1)} \quad (5)$$

$$r_1 = \frac{\omega_1 \left(\frac{-\delta}{2} + 1 \right) - \delta m (1-a)}{\delta / L (\omega_1 / 2 + m (1-a))}$$

$$\delta = (v_{i0} / \sqrt{2E})^2$$

式中, r_0 为起爆前战斗部装药换算成球形装药的半径, m; ρ_0 为装药密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; p_0 为破片速度达到 v_{i0} 瞬时爆轰产物平均压力, Pa; r_1 为破片速度达到 v_{i0} 时爆轰产物的膨胀半径, m; ρ_1 为破片速度达到 v_{i0} 时爆轰产物的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; L 为战斗部长度, m。

依据假设(5)得出含铝炸药爆轰产物及未反应物质的动能 E_3 为:

$$E_3 = \frac{1}{4} m a v_{to}^2 = \omega_1 Q_1 - E_1 - E_2 \quad (6)$$

依据假设(6)可得云雾爆轰产物的内能为:

$$E_5 = \frac{\omega_2 R T}{k-1} \quad (7)$$

式中, R 为爆轰气体常数, 取值 $287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; T 为云雾爆轰反应产物的温度, K ; k 为比热比。

依据假设(7)得出云雾爆轰形成冲击波的能量为 $E_4 - E_5$ 。

计算冲击波超压时, 首先依据能量计算公式计算出推动空气产生冲击波的物质(爆轰产物、破片)所包含的动能为 $E_1 + E_3$, 因此, 温压战斗部起爆后形成冲击波的总能量为 $E_1 + E_3 + E_4 - E_5$, 然后计算出产生该能量相对应的炸药质量, 然后依据冲击波计算公式计算出由温压战斗部起爆后形成的冲击波超压。

由含铝炸药起爆产生的比冲量为:

$$i_1 = 220 \sqrt{\frac{a}{2-a}} \frac{\omega_1^{\frac{2}{3}}}{r} \sqrt{\frac{Q_1}{Q_{\text{TNT}}}} \quad (8)$$

依据假设(4)得出破片比冲量为:

$$i_2 = \frac{m(1-\alpha)}{4r^2\varphi} v_{fo} \quad (9)$$

式中, r 为距爆心距离, m ; φ 为破片飞散角, rad 。

依据爆炸相似理论^[12], 云雾爆轰的比冲量为:

$$i_3 = 220 \frac{\omega_2^{\frac{2}{3}}}{r} \sqrt{\frac{Q_2}{Q_{\text{TNT}}}} \quad (10)$$

因此温压战斗部起爆后产生的总比冲量为:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad (11)$$

依据开展的多个侵彻温压战斗部型号项目研制过程中开展的静爆试验(战斗部温压装药量包括 40, 60, 100 kg 和 240 kg 等多个装药量级)冲击波超压测试结果, 拟合得出了全固型温压战斗部近地面超压经验计算公式:

$$\Delta p = 0.068 \left(\frac{\sqrt[3]{w}}{r} \right) + 0.266 \left(\frac{\sqrt[3]{w}}{r} \right)^2 + 0.84 \left(\frac{\sqrt[3]{w}}{r} \right)^3 \quad (12)$$

式中, Δp 为冲击波超压, MPa ; w 为温压炸药的 TNT 当量, kg 。进行冲击波超压计算时, w 取值为依据 $E_1 + E_3 + E_4 - E_5$ 推算出的 TNT 当量, kg 。

3 计算结果分析

3.1 计算结果与试验结果的对比

开展了一枚装药量为 70 kg 的 200 kg 温压战斗

部的静爆试验。试验时温压战斗部头部向下垂直布设于弹架上, 弹体中心距地面 1.5 m, 并依据试验目的, 即验证战斗部爆炸后距爆心 9 m 处的冲击波超压峰值不小于 0.3 MPa, 距爆心 14 m 处的冲击波超压峰值不小于 0.1 MPa 等, 将压力传感器分别布设于距弹体中心在地面投影的 5, 7, 9, 14, 30 m 距离的地面上, 地面挖坑布设安装座, 传感器安装于安装座上, 传感器感应面与地面齐平, 测量战斗部爆炸后距爆心不同距离处的冲击波超压变化情况, 并依据冲击波超压曲线积分得出冲击波冲量。

在静爆试验研究的基础上, 应用公式(8)(10)(11)对装药量为 70 kg 的 200 kg 温压战斗部起爆后的冲击波比冲量($i_1 + i_3$)进行了计算, 应用冲击波超压计算公式(12), 对冲击波超压峰值进行了计算。计算用参数见表 1、表 2, 表 2 中 Q_1 为爆炸罐内试验测量数值, Q_2 为铝粉在空气中发生爆炸试验测量数值, 计算结果与试验结果对比见表 3, 温压战斗部静爆试验中超压测试曲线见图 1。

表 1 试验及计算用温压战斗部的参数

Table 1 Parameter of the thermobaric warhead used for test and calculation

diameter /mm	length /mm	mass /kg	charge mass /kg	charge density /kg · m ⁻³
360	718	200	70	1850

表 2 计算用温压装药参数

Table 2 Parameters of the thermobaric charge used for calculation

Q_{TNT}	Q_1	Q_2
4187	7500	30100

表 3 温压战斗部冲击波超压和冲击波比冲的计算结果与试验结果的对比

Table 3 Comparison of the calculated and experimental results of shock wave overpressure and specific impulse of the thermobaric warhead

distance to the explosive center /m	shock wave overpressure /MPa		shock wave specific impulse /Pa · s	
	calculated	experimental	calculated	experimental
5	1.66	1.6	830	810
7	0.69	0.65	564	546
9	0.36	0.35	425	410
14	0.12	0.13	270	275
30	0.028	0.03	129	133

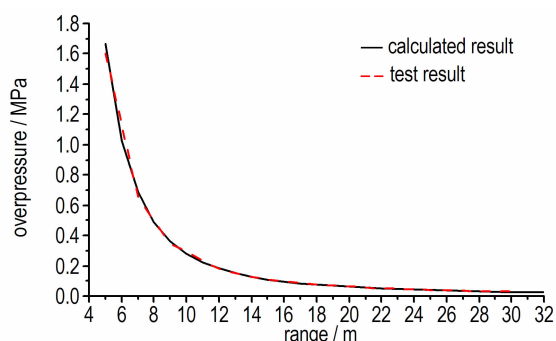


图1 超压计算结果与试验结果的对比

Fig.1 Comparison of the calculated and experimental results of shock wave overpressure

由表3和图1可以看出:(1)冲击波超压及比冲量计算值与试验值符合较好;建立模型时,忽略了战斗部壳体破碎时的能量损耗、两冲击波叠加时的能量损耗及假设所有温压炸药成份全部参与爆炸反应,对计算结果影响较小,即验证了假设合理,计算模型与实际情况接近;(2)距爆心较近距离处的冲击波超压、比冲量计算值均大于试验值,而距爆心较远距离处的冲击波超压、比冲量计算值均小于试验值,这是是计算过程中未考虑温压炸药爆炸过程中的抛撒,直接将所有炸药集中于一处进行计算的结果。

3.2 装填比对温压战斗部起爆后总比冲量影响

应用建立的计算温压战斗部起爆后总比冲量的数学模型,计算战斗部总重为200 kg、装填温压炸药、距爆心5~120 m条件下,战斗部起爆后总比冲量随装填比的变化情况。依据战斗部毁伤威力需求首先确定了21 m为一分析距离,之后以21 m为基准,选择了5、9、60、120 m为典型分析距离,因此,只列出5条计算曲线,其余曲线位于5 m和120 m两条曲线之间。列出的计算结果见图2。

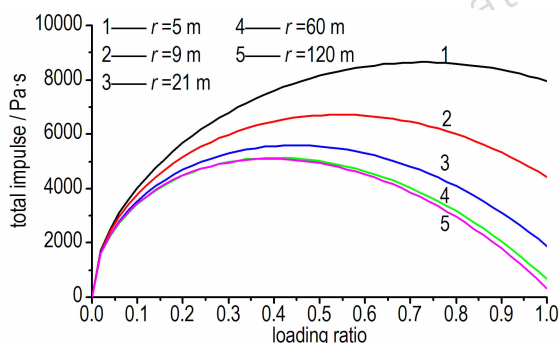


图2 距爆心不同距离处总比冲量随装填比的变化曲线

Fig.2 Variation curves in total specific impulse at different distance to the explosion center with loading ratio

由图2可以看出:(1)当距爆心距离分别固定为5、9、21、60、120 m时,装填比分别为66.8%、48%、41.6%、40.5%、40%时,战斗部起爆后总比冲量达到最大值,分别约为8500、6700、5500、5100、5050 Pa·s;(2)距爆心较近处,冲击波比冲量在总比冲量中所占比例较大,此时,若装填比上升,战斗部装药量将上升,战斗部爆炸后冲击波比冲量上升,总比冲量增加,因此距爆心较近处的总比冲量随着装填比的上升而增加;(3)距爆心较远处,冲击波衰减迅速,其比冲量在总比冲量中所占比例迅速下降,低于破片比冲量所占比例,此时,若装填比上升,战斗部壳体质量将下降,爆炸产生的破片数量及比冲量随之下降,导致总比冲量下降,因此距爆心较远处的总比冲量随着装填比的上升而下降;(4)在无障碍物阻隔的条件下,对试验中所用温压战斗部的毁伤距离要求一般应大于21 m,即距爆心21 m处的目标应受到毁伤,此时当战斗部装填比为41.6%,战斗部起爆后的总比冲量达到最大值,因此,对于总重为200 kg、装填温压炸药的战斗部,装填比为40%左右,可达到最大总比冲量,此时战斗部毁伤威力最大。

4 结 论

应用建立的计算温压战斗部爆炸后的能量输出和总比冲量数学模型,对装药量为70 kg的200 kg温压战斗部地面静爆试验中的冲击波超压和总比冲量进行了计算,对比了计算结果与试验结果,验证了所建数学模型的正确性,及所做基本假设的合理性,并应用该模型计算了距爆心不同距离处表征温压战斗部毁伤威力的总比冲量随装填比的变化情况,得出近距离(如距爆心5 m)的总比冲量随装填比的上升而增加,远距离(如距爆心21 m及以上)的总比冲量随装填比的上升而增加到一定程度后转为下降,达到最大总比冲量的装填比约为40%,此时战斗部可达到最大毁伤威力。

在建模假设时,忽略了部分能量损耗并认为所有温压炸药成份全部参与爆炸反应,并未考虑温压炸药抛撒对冲击波超压及比冲量的影响,使得冲击波超压及比冲量计算值与试验测量值存在一定偏差,对计算模型的进一步完善将在后续工作中完成。

参考文献:

- [1] 卢勇,王伯良,何中其,等. 温压炸药爆炸能量输出的实验研究[J]. 含能材料, 2014, 22(5): 684-687.
- LU Yong, WANG Bo-liang, HE Zhong-qi, et al. Experimental research on energy output of thermobaric explosive[J]. Chinese

- Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2014, 22(5): 684-687.
- [2] 仲倩, 王伯良, 王凤丹, 等. 温压炸药爆炸过程的瞬态温度[J]. 含能材料, 2011, 19(2): 204-208.
ZHONG Qian, WANG Bo-liang, WANG Feng-dan, et al. Explosion temperature of thermobaric explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(2): 204-208.
- [3] 胡岚, 刘红妮, 任春燕, 等. 某温压弹爆轰气体靶场测试技术[J]. 含能材料, 2010, 18(2): 196-199.
HU Lan, LIU Hong-ni, REN Chun-yan, et al. Target determination technology on detonation gaseous products of a thermo-baric warhead[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(2): 196-199.
- [4] 裴明敬, 毛根旺, 胡华权, 等. 含铝温压燃料性能研究[J]. 含能材料, 2007, 15(5): 441-446.
PEI Ming-jing, MAO Gen-wang, HU Hua-quan, et al. Characteristic of the thermobaric explosive contained aluminum powders[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(5): 441-446.
- [5] 李秀丽, 惠君明. 温压炸药的爆炸温度[J]. 爆炸与冲击, 2008, 28(5): 471-475.
LI Xiu-li, HUI Jun-ming. Detonation temperature of thermobaric explosives[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2008, 28(5): 471-475.
- [6] 郑波, 陈力, 丁雁生, 等. 温压炸药爆炸抛撒的运动规律[J]. 爆炸与冲击, 2008, 28(5): 433-437.
ZHEN Bo, CHEN Li, DING Yan-sheng, et al. Dispersal process of explosion production of thermobaric explosive[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2008, 28(5): 433-437.
- [7] 胡岚, 严蕊, 熊贤锋, 等. 耗氧效应对温压战斗部及装药的毁伤评估[J]. 含能材料, 2015, 23(2): 163-167.
HU Lan, YAN Rui, XIONG Xian-feng, et al. Damage assessment of thermo-baric warhead and charge with oxygen consumption effect[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(2): 163-167.
- [8] 张奇, 覃彬, 孙庆云, 等. 战斗部壳体厚度对爆炸空气冲击波的影响[J]. 弹道学报, 2008, 20(2): 17-19.
ZHANG Qi, QIN Bin, SUN Qing-yun, et al. Influence of thickness of warhead shell upon explosive shock wave[J]. *Journal of Ballistics*, 2008, 20(2): 17-19.
- [9] 常艳, 张奇. 含铝炸药爆炸能量预估[J]. 含能材料, 2012, 20(6): 770-774.
CHANG yan, ZHANG Qi. Explosion energy prediction of aluminized explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(6): 770-774.
- [10] 朱绪强, 黄川, 李艳春, 等. 偏心起爆定向战斗部威力研究[J]. 含能材料, 2014, 22(1): 89-93.
ZHU Xu-qiang, HUANG Chuan, LI Yan-chun, et al. Lethality investigation of azimuthal warhead[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2014, 22(1): 89-93.
- [11] 熊祖钊, 郭彦懿, 王仲琦, 等. 近地面云雾爆轰超压场的数值模拟及其毁伤效应[J]. 工程力学, 2003, 20(3): 167-170.
XIONG Zu-zhao, GUO Yan-yi, WANG Zhong-qi, et al. Numerical simulation and damage effects of the near-ground cloud detonation overpressure field[J]. *Engineering Mechanics*, 2003, 20(3): 167-170.
- [12] 白春华, 梁慧敏, 李建平, 等. 云雾爆轰[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 38-40.
BAI Chun-hua, LIANG Hui-min, LI Jian-ping, et al. Cloud detonation[M]. Beijing: Science Press, 2012: 38-40.

Effect of Loading Ratio of Thermobaric Warhead on Damage Power

ZHANG Ding-shan, ZHOU Tao, XU Bi-ying, ZHAO Chen-zhong, YAO Xing-zhu

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

Abstract: To study the effect of loading ratio of thermobaric charge on the damage power of warhead, the experimental study on formation products and energy output characteristics after explosion of 30 kg thermobaric charge composed of 65% HMX and 35% high activity grading Al powder as main components was carried out. According to test results, the mathematical calculation model of characterizing the total energy and total specific impulse of thermobaric warhead damage power was set up. With the help of results obtained by static explosive test from the ground 1.5 m of a 200 kg thermobaric warhead with 70 kg thermobaric charge, the overpressure and specific impulse of shock wave at different distance to the explosion center were calculated using the obtained mathematical model. Results show that the calculated and the experimental results have good consistency, which proves correctness of the mathematical model. The changes in total specific impulse at different distance to the explosion center for the 200 kg thermobaric warhead with different loading ratio were calculated, indicating that the specific total impulse and damage power has a maximum value when the loading ratio is 40%.

Key words: thermobaric warhead; loading ratio; explosive power; numerical simulation

CLC number: TJ55; V512

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.03.003