

文章编号: 1001-1455(2006)02-0179-04

FAE 战斗部毁伤威力评价的试验研究^{*}

王 芳, 冯顺山

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 利用基于靶板毁伤效应和超压-冲量准则的 FAE 战斗部毁伤威力评价方法, 分别对三种不同起爆方式和燃料配方的 FAE 战斗部进行了毁伤威力评价的试验, 并计算得到了相应的 TNT 威力当量值。结果表明, 1[#] 云爆弹在炸距 3.8 m 之后靶板的变形挠度大于同药量的 RDX/TNT 装药, 在炸距 3.8~4.2 m 之间的 TNT 当量约为 2.0; 在炸距 13~18 m 之间, 采用新型固液混合燃料的 2[#] 云爆弹的靶板变形挠度约为传统环氧丙烷燃料的 3[#] 云爆弹的 1.4 倍, TNT 当量分别为 3.75 和 2.96。

关键词: 爆炸力学; 威力评价; 超压-冲量准则; FAE 战斗部; TNT 当量

中图分类号: O383

国标学科代码: 130 · 3520

文献标志码: A

1 引 言

FAE 战斗部(又称云爆弹)主要是靠云雾爆轰形成的冲击波超压和比冲量毁伤目标, 与常规杀爆战斗部的作用特点有一定区别, 因此为 FAE 战斗部的毁伤威力建立一种科学有效的评价方法具有重要意义。作者在对 FAE 战斗部毁伤威力的研究过程中, 以目标的毁伤效应作为衡量 FAE 战斗部威力大小的尺度, 建立了以冲击波超压-冲量准则和靶板毁伤效应为基础的、以 TNT 当量为标准的 FAE 战斗部毁伤威力评价方法^[1]。在该评价方法中, 提出了一种新的基于靶板毁伤效应的 TNT 威力当量的概念, 即对于某给定的 FAE 战斗部和 TNT 装药(或 TNT 等效炸药装药), 如果他们在相同的距离下对靶板产生了相同程度(或相同等级)的毁伤作用, 那么该 TNT 装药与 FAE 战斗部的药量之比即为该 FAE 战斗部的 TNT 威力当量。

利用该方法分别对一次和二次引爆 FAE 战斗部进行毁伤威力评价试验研究, 得到 FAE 战斗部的 TNT 威力当量值。评价结果验证该方法的科学性与实用性, 可以为评价 FAE 战斗部的毁伤威力, 提高 FAE 战斗部的研制水平提供依据。

2 试验条件

2.1 参试弹药

共对 3 种云爆弹进行了威力评价试验。其中, 1[#] 云爆弹是一次引爆的中口径火箭云爆弹, 进行 2 发试验; 同时对等药量的 RDX/TNT 装药火箭弹进行了 2 发威力对比试验。2[#] 和 3[#] 云爆弹是两种等燃料量但不同配方的二次引爆云爆弹, 2[#] 云爆弹是新型的固液混合燃料, 3[#] 云爆弹是传统的环氧丙烷燃料, 通过 2 发对比试验, 确定新型燃料配方的效果。

2.2 试验装置及现场布置

靶架是进行 FAE 战斗部毁伤威力评价试验的主要装置, 用于支撑及固定靶板。靶板采用厚度 1.0 mm、边长 500 mm 的正方形 A3 钢板, 由压板通过紧固螺钉和螺母固定在靶架上, 试验装置如图 1 所示。试验现场布置如图 2 所示, 每发试验均放置三个靶架, 靶架在 FAE 爆炸场中沿圆周方向分散放置, 并保证在一次试验中获得三个炸距下的试验数据。由于 1[#] 云爆弹燃料量较小, 为使靶板产生适当的变

^{*} 收稿日期: 2005-02-02; 修回日期: 2005-10-13

作者简介: 王 芳(1972—), 女, 博士, 讲师。

形,靶架被放置在 5 m 炸距以内,对于更远处云爆弹的毁伤威力,由于当时没有准备相应的专用靶板,未进行试验评价。对于燃料量较大的 2[#] 和 3[#] 云爆弹,靶架被放置在 12 m 炸距以外。由于靶板在爆炸冲击波作用下主要产生永久塑性变形^[2],试验中主要测量靶板中心点处的变形挠度值,根据变形挠度的大小可以直观地度量云爆弹的毁伤威力,并用于计算相应的 TNT 威力当量。



图 1 靶架
Fig. 1 The plate frames

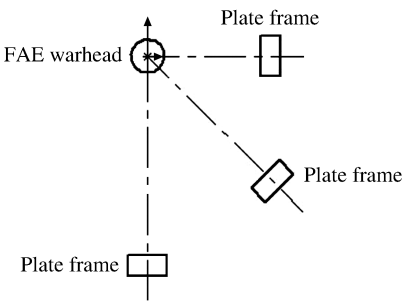


图 2 试验现场布置示意图
Fig. 2 Sketch of the experimental arrangement

3 试验结果及分析

3.1 试验现象

在爆炸冲击波作用下,靶板主要产生不同程度的永久塑性变形。其中 1[#] 云爆弹试验时靶板的典型变形破坏情况如图 3 所示。由于战斗部壳体破片的飞散使靶板产生了破孔,分析认为,靶架距离战斗部较近,爆炸冲击波的传播速度比壳体破片的飞散速度快得多,最先作用于靶板,使靶板产生永久塑性变形;当壳体破片侵彻靶板时,靶板在爆炸冲击波作用下的变形过程已完成,不会影响靶板的最终变形挠度,可不予考虑。

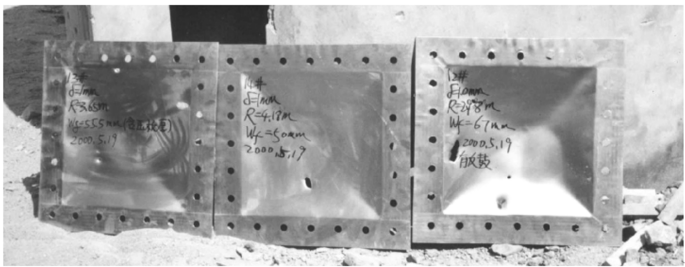


图 3 1[#] 云爆弹试验时靶板的变形情况
Fig. 3 Typical deformations of the plates in 1[#] FAE experiment

3.2 1[#] 云爆弹试验结果及分析

1 mm 钢板在 1[#] 云爆弹和等药量的 RDX/TNT 装药火箭弹作用下的变形挠度值 w_f 如图 4 所示。对于 RDX/TNT 装药,靶板在炸距 R 较近的情况下产生了较大的塑性变形,如在炸距 3 m 处, RDX/TNT 装药靶板的变形挠度约为 1[#] 云爆弹的 1.18 倍,而随着炸距的增大,靶板的变形量迅速减小。对于云爆弹,靶板在炸距较近的情况下产生的塑性变形比 RDX/TNT 装药小,但随着炸距的增大,靶板变形量的下降较缓慢,如在炸距约 4.1 m 处,1[#] 云爆弹靶板的变形挠度已为 RDX/TNT 装药的 1.24 倍。由图 4 可知,炸距 3.8 m 之前, RDX/TNT 装药的靶板变形挠度大于云爆弹;炸距 3.8 m 之后,云爆弹的靶板变形挠度大于 RDX/TNT 装药。

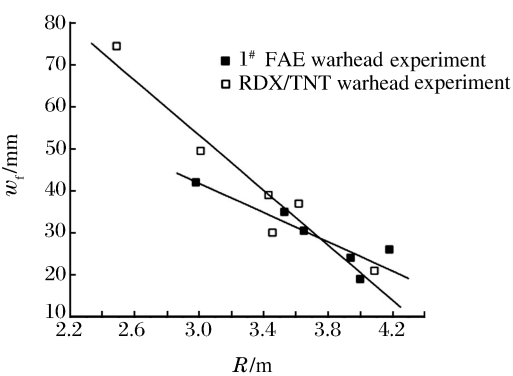


图 4 1[#] 云爆弹毁伤威力评价试验数据
Fig. 4 Experimental data of 1[#] FAE warhead

RDX/TNT 装药和云爆弹的靶板变形情况充分体现了点爆炸和分布式爆炸的不同。与云爆弹相

比,RDX/TNT 装药在爆炸场近场具有较高的爆炸冲击波超压和比冲量,靶板产生的变形挠度要比云爆弹大。随着炸距的增大,RDX/TNT 装药的爆炸冲击波超压迅速衰减,靶板的变形挠度也迅速减小。而云爆弹爆炸冲击波超压的衰减缓慢得多,靶板产生的变形挠度也比 RDX/TNT 装药大。由靶板的变形趋势可以推测,随着炸距的增大,两者靶板变形挠度的差距还将逐渐增大。

3.3 2[#] 和 3[#] 云爆弹试验结果及分析

1 mm 钢板在 2[#] 和 3[#] 云爆弹作用下的变形挠度值 w_f 分别如图 5 所示。对 2[#] 和 3[#] 云爆弹各做了 1 发试验,三个靶架在两发试验中的位置固定不变。在三个不同炸距 R 下,2[#] 云爆弹的靶板变形挠度均大于 3[#] 云爆弹,且炸距越近,变形挠度的差距越大。在 13~18 m 内,2[#] 云爆弹的靶板变形挠度约为 3[#] 云爆弹的 1.4 倍,充分说明了新型固液混合燃料的毁伤效果好于传统的环氧丙烷燃料。

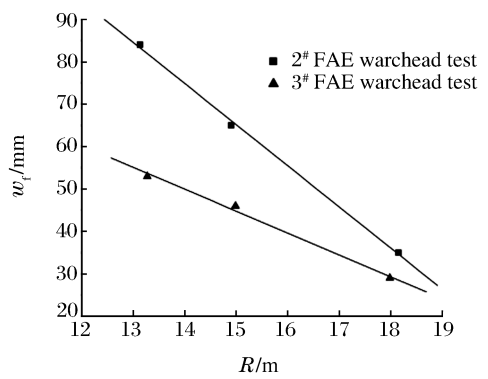


图 5 2[#] 及 3[#] 云爆弹毁伤威力评价试验数据

Fig.5 Experimental data of 2[#] and 3[#] FAE warheads

4 FAE 战斗部毁伤威力评价

根据超压-冲量准则^[3],对应于某一毁伤等级有一系列超压 Δp 和比冲量 i_+ 值的组合,这些达到同一毁伤等级的 $(\Delta p, i_+)$ 点的轨迹形成等毁伤曲线。当某一给定战斗部在某一距离处的冲击波峰值超压和比冲量均大于或等于某一等毁伤曲线的对应值时,则对该目标产生相应等级的毁伤。不同毁伤等级下靶板等毁伤曲线的表达式可用下式表示,即^[3]

$$(\Delta p - p_j^*)(i_+ - i_j^*) = D_j \tag{1}$$

式中: p_j^* 、 i_j^* 为当靶板产生 j 级毁伤(即靶板变形挠度为 w_f^j)时分别由超压准则和冲量准则得到的超压和比冲量值

$$p_j^* = \frac{1}{\varphi'} \frac{\pi^4}{64a^2} \sigma_Y h w_f^j, \quad i_j^* = \frac{1}{\varphi'} \frac{\pi h}{4a} \sqrt{2\rho \sigma_Y} w_f^j \tag{2}$$

式中: φ' 为与靶板约束条件有关的因数, $\varphi' \approx 12.6$; a 、 h 、 ρ 、 σ_Y 分别为靶板的边长、厚度、密度和屈服应力; D_j 为与靶板不同毁伤等级(不同变形挠度 w_f^j)有关的系数,由试验确定。

某给定药量为 ω_e 的 TNT 装药随炸距 R 变化的 Δp 和 i_+ 值可由经验公式得到,代入到式(1)后即可得到靶板在 TNT 装药作用下变形挠度为 w_f^j 时,装药量 ω_e 与炸距 R 之间的对应关系。当某 FAE 战斗部的药量为 ω_{FAE} ,在距离 R_j 处对靶板产生的变形挠度为 w_f^j 时,根据上述关系,即可得到在相同炸距 R_j 条件下能够对靶板产生相同变形挠度 w_f^j 的 TNT 装药量 ω_{TNT}^j ,则该 FAE 战斗部在距离 R_j 处的 TNT 威力当量

$$K_{TNT}^j = \omega_{TNT}^j / \omega_{FAE} \tag{3}$$

对不同距离处的 TNT 威力当量 K_{TNT}^j 求和取平均值,即得到 FAE 战斗部的 TNT 威力平均当量 K_{TNT} 。

对 1[#] 云爆弹在炸距 3.8~4.2 m 之间的 TNT 当量,以及 2[#] 和 3[#] 云爆弹在炸距 13~18 m 之间的 TNT 当量进行计算。计算结果表明,1[#] 云爆弹的 TNT 当量约为 2.0,2[#] 及 3[#] 云爆弹的 TNT 当量约为 3.75 和 2.96。对于 1[#] 云爆弹更远炸距下的威力大小,因为专用靶板没有准备,没有进行相应的试验评价,可以在以后的试验中再进行补充试验。不过根据试验现象及计算结果可以推测,随着炸距的增大,云爆弹的 TNT 威力当量将在一定程度内增大。

5 结 论

应用基于靶板毁伤效应和超压-冲量准则的 FAE 战斗部毁伤威力评价方法,对三种不同燃料配方

和起爆方式的 FAE 战斗部进行了毁伤威力评价试验研究,给出了具体的试验方法,根据试验结果计算出了三种云爆弹的 TNT 威力当量,得到了如下结论:

(1)1[#] 云爆弹和 RDX/TNT 装药的试验结果和 TNT 威力当量表明,RDX/TNT 装药由于在爆炸场近场具有较高的爆炸冲击波超压和比冲量,毁伤效果好于云爆弹;而云爆弹由于在爆炸场远场时冲击波超压的衰减比 RDX/TNT 装药缓慢许多,毁伤效果明显好于 RDX/TNT 装药,充分体现出分布式爆炸的优势。随着炸距的增大,1[#] 云爆弹的 TNT 威力当量还将在一定程度内增大。

(2)2[#] 和 3[#] 云爆弹的试验结果和 TNT 威力当量表明,新型固液混合燃料比传统的环氧丙烷燃料具有较大的 TNT 威力当量和更好的毁伤效果。

(3)基于靶板毁伤效应和超压-冲量毁伤准则的 FAE 战斗部毁伤威力评价方法及相应的试验方法直观可靠,可比较科学地评价 FAE 战斗部的毁伤威力。

参考文献:

- [1] 王海福,王芳,冯顺山. FAE 威力评价方法与目标防护分析[J]. 中国安全科学学报,1998,8(5):56—59.
WANG Hai-fu, WANG Fang, FENG Shun-shan. Evaluation method of FAE power and target protection analysis [J]. China Safety Science Journal, 1998,8(5):56—59.
- [2] 王芳,冯顺山,俞为民. 爆炸冲击波作用下靶板的塑性大变形响应研究[J]. 中国安全科学学报,2003,13(3):58—61.
WANG Fang, FENG Shun-shan, YU Wei-min. Study on large plastic deformation response of target plate under explosive blast wave[J]. China Safety Science Journal, 2003,13(3):58—61.
- [3] 王芳,冯顺山,俞为民. “超压-冲量”毁伤准则及其等毁伤曲线研究[J]. 弹箭与制导学报,2003,23(2):126—130.
WANG Fang, FENG Shun-shan, YU Wei-min. Research on over-pressure & impulse criteria and its iso-damage curve[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2003,23(2):126—130.

Experimental research on damage-power evaluation of FAE warhead

WANG Fang^{*}, FENG Shun-shan

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology,
Beijing 100081, China)

Abstract: With an evaluation method based on damage effect on plate and over-pressure & impulse criteria, the evaluation experiments of damage power of 3 kinds of FAE warheads were carried out. The TNT equivalent masses of FAE warheads were calculated. Experimental results show that the deflection of plate subject to 1[#] FAE becomes larger than that of RDX/TNT with same mass when the distance becomes longer than 3.8 m. At 3.8 ~ 4.2 m, the TNT equivalent mass of 1[#] FAE is about 2.0. At 13 ~ 18 m, the deflection of plate subject to 2[#] FAE is about 1.4 times of 3[#] FAE, the TNT equivalent masses are 3.75 and 2.96 respectively.

Key words: mechanics of explosion; evaluation of damage power; over-pressure & impulse criteria; FAE warhead; TNT equivalent

^{*} Corresponding author: WANG Fang
E-mail address: fang_w@bit.edu.cn
Telephone: 010-68911579