

文章编号: 1006-9941(2002)03-0117-04

燃料空气炸药武器对人员毁伤的研究

杨东来, 惠君明, 雷贯华, 郭学永
(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 根据冲击波超压-时间的毁伤原则和失去战斗力比率的伤亡准则, 采用最小二乘法推导了冲击波伤亡等级方程; 利用 FAE 静爆试验爆炸场的实测数据拟合出爆炸场特征方程, 进而预估出 FAE 对人员毁伤的伤亡等级范围(威力圈)。

关键词: 燃料空气炸药; 最小二乘法; 伤亡准则; 伤亡等级; 威力圈

中图分类号: O38; TJ9

文献标识码: A

1 引言

燃料空气炸药是一种新型的爆炸能源, 其战斗部的爆炸作用过程和对目标的毁伤效应与常规炸药不同^[1]。它是以大体积的云雾爆轰为特征, 其对目标的毁伤作用主要是通过云雾爆轰波及由此引起的冲击波实现的。现在对 FAE 爆炸毁伤威力的评价主要有两种方法: 一是用超压 TNT 当量的概念, 它不能直观度量 FAE 的毁伤效应, 且评价时采用单一超压没有考虑超压作用时间或冲量, 不够全面; 二是通过选择典型目标, 用实验方法直接对目标的毁伤效应进行评价^[2], 但由于一般只局限于某一装药量的实际毁伤试验结果, 并没有把不同装药量与对不同目标的毁伤面积建立某种确定的关系。本研究通过测定的 FAE 爆炸场参数, 并结合伤亡准则, 给出特定目标在不同毁伤等级下的毁伤半径(威力圈), 以达到预估 FAE 武器的毁伤效应。

2 FAE 爆炸场特性

FAE 与常规凝聚相化爆(如 TNT)在装药量相当时爆炸场超压(Δp)随距爆心的距离(R)变化的规律如图 1 所示。从图 1 中可以看出尽管 FAE 云雾爆轰区爆压不高, 但 FAE 具有体积庞大的云雾爆轰直接作用区; 尽管 TNT 在爆点附近可产生很高爆压, 具有猛烈的毁伤作用, 但超压随距爆点距离增加而急剧下降, 而 FAE 空气冲击波超压随传播距离衰减速率较 TNT

爆炸场缓慢, 有效作用范围大。当距爆心的距离超过某一范围后, 爆炸场超压却大于 TNT 装药, 也即云雾区及边缘区外的超压均高于等质量的凝聚炸药。另外, 大量的试验表明 FAE 的爆炸冲击波随时间的衰减也比凝聚相炸药迟缓, 即某个距离处尽管超压可能相同, 但 FAE 超压的作用时间要比凝聚相炸药长。

可见, FAE 杀伤面积广, 冲击波作用时间长, 总冲量大, 特别适宜于大面积的对冲击波敏感的软目标。

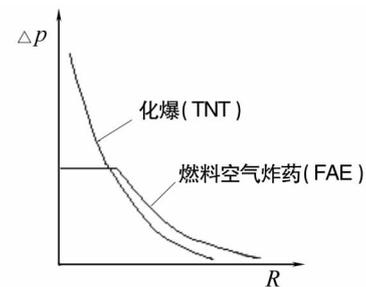


图 1 FAE 及 TNT 装药爆炸场超压-距离关系
Fig. 1 Relationship between over-pressure and distance of TNT and FAE

3 伤亡等级准则

在现代战争中, 对人员伤亡程度的描述主要有死亡率(LD)和失去战斗力的比率(CI)两种准则^[3]。Richmond 等^[4]根据对 13 种大小动物的实验结果, 分析了最大反射压、压力作用时间、动物体重、动物种类耐受指数, 推算出在暴露于无反射面条件下, 体重为 70 kg 人员 LD₁、LD₅₀ 和 LD₉₉ (下标表示具体的死亡比率)的修正压力值(如表 1)。

收稿日期: 2002-04-09; 修回日期: 2002-06-18

作者简介: 杨东来(1974-), 男, 在读硕士研究生。

表1 不同正压作用时间条件下造成人员不同死亡率的超压值

正压作用时间/ms	LD ₁	LD ₅₀	LD ₉₉
400	254.8	362.6	499.8
60	284.2	401.8	548.8
39	313.6	441.0	607.6
10	480.2	676.2	931
5	901.6	1274	1724.8
3	2146.2	2979.2	4145.4

但 Kokanakis^[3]通过大量的研究分析指出上述死亡率的评判准则有一定的局限性,特别是对超压作用时间长的武器(如核爆等)尤为明显。他认为用这种评估方法会低估冲击波的毁伤效应^[3]。因此在死亡率的基础上,W. Kokniais 和 Richmonds^[3]通过大量的实验对死亡率做了一定的修正,分别提出了更符合实际情况的两种不同失去战斗力比率的伤亡准则。

W. Kokniais 的失去战斗力比率的伤亡程度准则如下:

99%失去战斗率的阈值(CI₉₉)是50%死亡率阈值(LD₅₀)的四分之一,即肺毁伤阈值。1%失去战斗力比率的阈值(CI₁)是50%鼓膜破裂的阈值。由于实验数据的不足而没有提出50%失去战斗力比率的阈值。

Richmonds 的失去战斗力比率的伤亡程度准则如下:

99%失去战斗率的阈值(CI₉₉)是人员死亡的阈值。50%失去战斗力比率的阈值(CI₅₀)是50%死亡率阈值的二分之一。用平均斜率沿动物的毁伤曲线向下外推则可得1%失去战斗力的阈值。

4 FAE 毁伤效应评价方法

4.1 等毁伤方程和曲线的确定

在研究和制定 FAE 战斗部毁伤范围时,若只提供单一的压力峰值数据,这显然是不全面的,而用压力峰值和作用时间两个因素去评判 FAE 战斗部毁伤效应更为全面和准确。在某一毁伤等级下,对人员毁伤的峰值超压和正相作用时间值并不唯一,而是由一系列峰值超压和正相作用时间组合($\Delta p \sim t$)所构成。将其所构成的曲线称之为等毁伤曲线,对应的方程称之为等毁伤方程。同时它符合超压-冲量($P-I$)毁伤准则的基本原则并能体现爆炸场的特点。

由于 W. Kokniais 没有提出 50%失去战斗力比率的阈值(CI₅₀),因而作者仅按照 Richmonds 的伤亡准则对表 1 中的死亡率数据做了必要的修正,从而得出对应伤亡等级下的毁伤数据,并对这些数据利用最小二乘法确定各个伤亡等级的致伤入射超压阈值与正压

作用时间的等毁伤方程:

$$CI_{99} \quad \Delta p = 1014.3 \times t^{-0.4608} \quad (1)$$

$$CI_{50} \quad \Delta p = 792.4981 \times t^{-0.5035} \quad (2)$$

$$CI_1 \quad \Delta p = 634.81 \times t^{-0.5801} \quad (3)$$

式中: Δp ,空气冲击波致伤人射超压阈值,kPa; t ,正压作用时间,ms。

4.2 FAE 特征方程

选择峰值超压在 0.5~0.02 MPa 的范围内对 FAE 的爆炸威力进行评价是基于以下几个原因:一是由于当峰值超压超过 0.5 MPa 的范围时,对人员或有生力量已造成严重的伤害,甚至死亡,这在以往的生物实验中已得到验证;二是通过对多个量级大量的 FAE 爆炸试验的实际测试数据进行分析比较后,认为该区域在云雾区外,受燃料分布不均匀性的影响较小,实验数据具有稳定性和代表性,与点爆炸具有较好的相似性;三是由于在此超压范围内,对软目标(尤其是对人员的毁伤)仍有一定的毁伤作用,且毁伤的面积较大,是 FAE 这种面杀伤的主要作用区域。所以这种选择有实际意义。40 kg、100 kg 和 150 kg 三种量级多发弹的静爆实验结果的重复性比较好,图 2 给出了实验记录的典型波形图。表 2 中列出了在不同对比距离处的峰值超压和正压作用时间值。

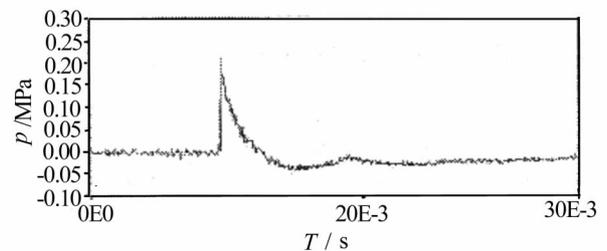


图2 典型波形图

Fig. 2 Graph of the typical wave

表2 在不同对比距离处的峰值超压和正压作用时间值

Table 2 Value of over-pressure and duration at different scale distance

对比距离 /(m · kg ^{-1/3})	超压 /kPa	正压作 用时间 /ms	($t/W^{1/3}$) /(ms · kg ^{-1/3})
3.1	369.4	9.94	2.907
3.34	359.5	14.1	3.0323
4.05	287.2	9.88	1.8597
4.24	218.1	11.71	3.4238
5.19	149.6	17.64	3.8019
5.55	146.1	16.08	3.0273
6.3	110.6	14.46	4.2275
7.32	75.5	21.05	4.5354

(续表 2)

对比距离 /(m · kg ^{-1/3})	超压 /kPa	正压作 用时间 /ms	(t/W ^{1/3}) /(ms · kg ^{-1/3})
7.7	72.2	26.74	5.032
8.23	70.1	16.66	4.8706
9.32	46.7	23.83	5.1339
9.7	44.0	38.2	7.1912
10.0	50.1	18.49	5.406
10.9	34.1	25.84	5.5677
12.4	25.9	55.98	10.5372

根据霍普金森-克兰兹定律可知,如果观测者站在离开特性尺寸为 λd 的炸药爆源中心的距离为 λR 处,在相同的大气条件下进行爆炸时,他将感受到一个形式“相似”的冲击波,其幅度为 Δp ,正相作用时间为 λT ,冲量为 λi 。^[5] 根据爆炸相似律或定律可知:

$$\Delta p = f_1(R/\sqrt[3]{W}) \quad (4)$$

$$\frac{t_+}{\sqrt[3]{W}} = f_2(R/\sqrt[3]{W}) \quad (5)$$

由上述两式可推知: $\Delta p = f_3(\frac{t_+}{\sqrt[3]{W}})$ (6)

结合爆炸场的特征对表 2 中的数据进行拟合,给出超压随对比距离和超压与正相作用时间的关系分别为:

$$\Delta p = 26.45 + 356.7e^{(-\frac{\bar{R}-3.1}{2.21})} \quad (7)$$

($\Delta p \leq 0.5 \text{MPa}$)

$$\bar{R} = R/\sqrt[3]{W} \quad (8)$$

($2.80 \leq \bar{R} \leq 15.20$)

$$\Delta p = 399.3e^{(\frac{1.86-t_+/\sqrt[3]{W}}{2.613})} \quad (9)$$

式中 \bar{R} , 对比距离; R , 距爆源距离, m; W , 装填燃料量, kg; t_+ , 正压作用时间, ms。

以上(7)、(9)两式是由三种量级多发弹的爆炸场参数拟合出来的,装填燃料为 PO。因此对装填其他燃料的爆炸场参数就不一定适合。

4.3 毁伤威力圈的确定

联立等毁伤方程和超压与正相作用时间的关系式就可确定要达到各毁伤等级所需的最小超压值;再把此超压值代入(7)式则可确定对应毁伤等级下的临界毁伤对比距离(毁伤范围),然后由等比距离的定义式则可确定或推算出在相应毁伤等级下不同量级的 PO 装药量的毁伤半径,表 3 给出了装有 60 kg PO 燃料的

FAE 爆炸场毁伤效应的预估结果。

表 3 对 FAE(PO 燃料)按 Richmonds 伤亡准则 预估的爆炸毁伤范围

Table 3 Estimated range of casualty of FAE(PO)

伤亡等级	Δp_{\min}	\bar{R}	60 kg PO 的临界毁伤半径 R
	/kPa	/(kg · m ^{-1/3})	/m
CI ₉₉	421	2.8769	11.3
CI ₅₀	215.3	4.5052	17.6
CI ₁	109.5	6.3208	25.0

图 3 给出了装有 PO 燃料的 FAE 爆炸场试验的超压随作用时间的变化曲线与不同毁伤等级的关系曲线。从图中可以看出:同一伤亡等级的情况下,随着正压作用时间的增长,超压阈值在减小。

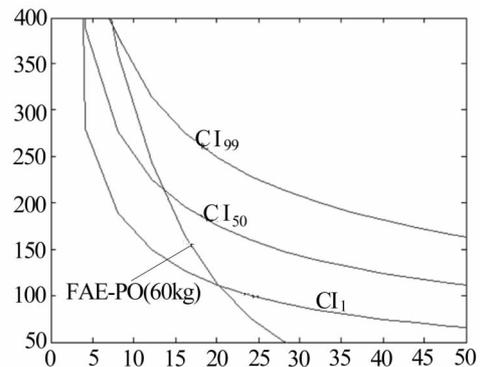


图 3 装 60 kg PO 燃料爆炸的毁伤等级曲线图

Fig. 3 Lethality curve predicted for man with 60 kg FAE(PO)

5 结论与建议

(1)在对人员的毁伤威力评价方法中,Kokniais 与 Kokanakis 都建议用失去战斗力的比率来衡量作用时间较长的武器的爆炸威力大小,这种评价方法得到许多学者的重视;从作者用该法对 FAE 爆炸试验评判结果来看,失去战斗力的比率比死亡率的毁伤评判准则对人员的毁伤威力评价更能反映 FAE 武器的爆炸威力。

(2)根据 FAE 爆炸试验的结果并结合 Richmonds 伤亡准则,给出了不同伤亡等级的等毁伤方程和 FAE 的爆炸特征方程,对装不同量级燃料的 FAE 武器在不同伤亡等级下的毁伤半径进行了预估。

(3)人的实际毁伤程度与人的体重、健康状况、姿势、冲击波的反射作用、冲击波的数量及环境条件都有关系。在实际的毁伤评判中,应视具体情况进行必要的校正,才能得出合理的结果。

参考文献:

- [1] 惠君明, 刘荣海. 燃料空气炸药威力的评价方法[J]. 含能材料, 1996(3): 123 - 128.
- [2] 王文京. 燃料空气炸药能量输出的讨论[J]. 兵工学报·火化工分册, 1995(2): 47 - 49 .
- [3] Donald R Richmond, John T Yelverton, E Royce Fletcher, et al. New Air Blast Criteria For Man [P]. AD - P005339 (1986), 894 - 908.
- [4] Donald R. Richmond, Bowen. Estimate of Man's Tolerance to the Direct Effects of Air Blast [M]. DASA 1860, Defence Nuclear Agency, Washington, 1966.
- [5] W. E. 贝克, P. S. 威特劳等著. 爆炸危险性及其评估 [M]. 张国顺, 文以民, 刘定吉, 等译. 北京: 群众出版社, 1988.

Research on the Damage Effect of the Fuel-air Explosive on Man

YANG Dong-lai, HUI Jun-ming, LEI Guan-hua, GUO Xüe-yong

(School of Chemical Engineering, NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: In this paper, according to over-pressure and duration damage criterion and CI criterion of the shock wave, a new casualty ranking formulae are derived with least square method. Based on the analysis of characteristics of explosive field formed by FAE, characteristic equation is fitted with trial data. Then the range of casualty ranking of FAE is deduced (the power range).

Key words: fuel-air explosive (FAE); least square method; damage criterion; casualty ranking; power range