

燃料空气炸药威力的评价方法

惠君明 刘荣海 彭金华 汤明钧

(南京理工大学, 南京 210094)

摘要 燃料空气炸药(FAE)对目标的毁伤作用, 主要由爆炸场参数(超压-冲量)决定。

本文分析了FAE爆炸场参数特点与影响毁伤的因素, 提出了评价FAE爆炸威力的方法。

关键词 燃料空气炸药(FAE) 威力评价 毁伤作用

1 引言

燃料空气炸药以大体积的云雾爆轰为特征, 达到对付大面积“软”目标毁伤的目的。对FAE爆炸作用威力的评价, 至今没有令人满意的方法。国外多数同行使用TNT当量的概念, 但他们提供或发表的数值差距很大, 在处理方法上还没有统一。国内同行也曾对FAE的爆炸输出和爆炸威力的评价方法提出了见解^[1~3]。本文拟在上述工作基础上, 进一步明确提出评价FAE爆炸威力的方法。

2 FAE爆炸场参数特点与毁伤的影响因素

FAE对目标的爆炸破坏作用, 主要是通过云雾爆轰波及由此引起的空气冲击波实现的; 而其窒息作用、高温燃烧和热作用, 以及弹片的杀伤作用等在一般的FAE武器中是有限的和次要的。

2.1 爆炸场参数特点

FAE与凝聚相(如TNT)化爆、核爆在装药量相当时爆炸场超压(Δp)随距离(R)变化的规律如图1所示。FAE具有庞大的云雾爆轰直接作用区, 这样爆炸场参数可以划分为三个区域, 即云雾爆轰区、冲击波作用区和云雾边缘区, 后者是爆炸产物和冲击波共同作用区。FAE爆炸场参数特点:

① FAE的密度为 $1.4 \sim 1.8 \text{ kg/m}^3$,

只有TNT的千分之一; FAE的爆轰波传播速度约 2000 m/s 左右, 爆炸波超压峰值

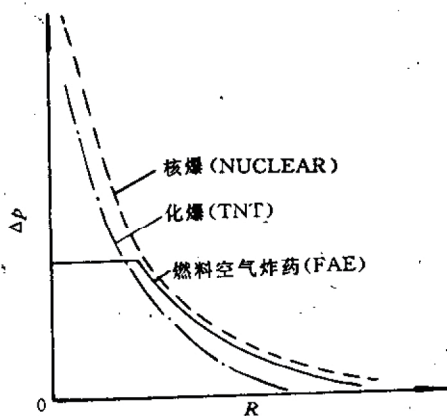


图1 相当药量的核爆、化爆和FAE爆炸地面超压随距离分布的规律

Fig. 1 Distribution of equivalent explosion overpressure on ground vs distance

超压一般为1.5~3.0MPa,而TNT爆轰反应区内爆压可达20GPa。显然FAE的密度、爆速和爆压均比TNT小得多。就爆轰参数而言,FAE是远不及凝聚炸药的,FAE没有猛炸作用,只适宜于毁伤耐低超压载荷的软目标,而对能耐较高超压的非软目标,其毁伤能力很小甚至毫无毁伤效果。

②FAE属分布爆炸,具有作用范围较大的面攻击型武器的特点,而凝聚炸药爆炸,具有点爆炸的特征。两者爆炸场冲击波参数有很大差别,尽管凝聚炸药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,有效毁伤范围小;而FAE除有很大的云雾笼罩面积、产生云雾爆炸的直接毁伤作用外,云雾区外的超压均高于等质量的凝聚炸药,冲击波随时间的衰减也比凝聚炸药迟缓。

可见,FAE单位质量装药的杀伤面积广、冲击波作用时间长、总冲量大,特别适宜于毁伤大面积对冲击波敏感的软目标。

2.2 毁伤的影响因素

2.2.1 冲击波的毁伤准则

空气冲击波对目标的毁伤,与冲击波本身的强弱和目标的特性有关。描述空气冲击波特征有三个参数,即峰值超压(Δp)、正压作用时间(t^+)和比冲量(I)。常见的冲击波毁伤准则有:超压准则,冲量准则和超压-冲量准则。

超压准则认为,只有当冲击波超压大于或等于某一临界值时,才会对目标造成一定程度的毁伤。该准则的根本缺点是只考虑超压,不考虑超压持续时间。设目标的自振周期为 T ,只有当 $t^+ \geq 10T$ 时,目标的毁伤才主要靠峰值超压作用。

由于目标的毁伤效应不但决定于冲击波超压,还与超压的持续时间直接有关,于是提出了冲量准则。该准则认为,只有当作用于目标的冲量达到某一临界值时,才会造成相应等级的毁伤。但该准则忽略了目标毁伤存在一个最小超压的事实。冲量准则的适应范围为 $t^+ \leq \frac{T}{4}$ 。在此条件下,目标的毁伤主要靠冲击波冲量的作用。

超压-冲量准则认为:毁伤效应由超压与冲量共同决定,即峰值超压与冲量对目标的等量毁伤曲线表示冲击波的毁伤性能和目标的易损性。设作用在目标上的全部载荷可用峰值超压和比冲量表示,由 Δp 和 I 值产生一种特有的毁伤等级,达到同等级的($\Delta p, I$)点的轨迹形成等毁伤曲线。发生临界毁伤水平的那些 $\Delta p, I$ 点的轨迹形成一条曲线,这条曲线称为临界载荷曲线,参看图2。当冲击波的超压和比冲量均大于临界载荷曲线的对应值时,则对此类目标造成毁伤。冲击波参数($\Delta p, I$)点所处位置越远离临界负载曲线的右上方,所产生的冲击波毁伤作用越大。对于大部分受冲击波作用的目标,超压-冲量准则是普遍适用的。

2.2.2 FAE爆炸毁伤的影响因素

FAE对目标的毁伤主要是爆炸波或空气冲击波完成的。图2是环氧丙烷(PO)FAE爆炸场参数计算值与目标等毁伤曲线的关系^[4]。PO的质量是136kg,它可形成直径21.3m、高4.3m、浓度为8%(按质量计)的圆柱形云雾,毁伤卡车和某设定软目标的半径分别为12.5m和14.5m。只要目标处的峰值超压、比冲量均大于该目标的临界负载曲线的对应值,则可达到或超过所示的毁伤程度。

我们对 30~250kg PO 装药的 FAE 爆炸场的大量实验研究表明: 在云雾区内爆轰波正压作用时间约 2~7ms, 地面感受到的峰值超压可达 4.7MPa 左右, 比冲量在 2000Pa·s 以上, 因此云雾区及其边缘区是高超压和大冲量作用区域, 它对一般的软目标是强毁伤区域。冲击波区的正压作用时间随药量和距离增加而增长(可在数十毫秒量级); 而比冲量则随距离增加呈递减趋势, 在冲击波作用区内目标的毁伤受峰值超压和比冲量共同影响。

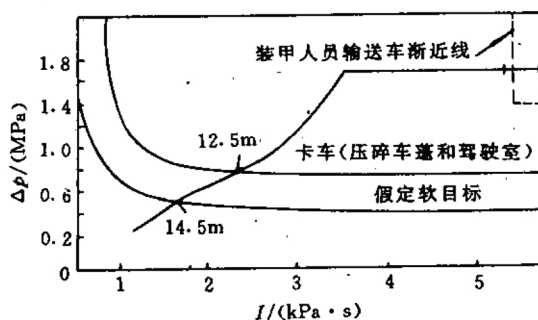


图2 FAE 用于选定目标时的爆炸场特性曲线
Fig. 2 Specific curves of FAE explosion field towards the selected targets

3 FAE 威力的评价方法

衡量 FAE 爆炸威力是一个比较复杂的问题, 在此主要就模拟装置形成的 FAE 爆炸作用进行分析和评价。

3.1 用爆炸潜能和冲击波能量估算 FAE 的爆炸威力

根据对 FAE 的爆炸威力评价方法作过的分析和研究^[2], 认为:

① 用 FAE 燃料的爆炸潜能不能直接反映 FAE 的爆炸威力, 以爆炸潜能与 TNT 爆热的比值衡量 FAE 的威力当量是不确切的。这是因为爆炸超压和比冲量均由爆炸能决定, 而爆炸潜能转变为爆炸能的效率, 受燃料的利用系数(β)和冲击波转化系数(η)影响, 一般 $\eta=0.3\sim0.6$, $\beta=0.7\sim1.0$, 这样它们之间只有相对比较意义。爆炸潜能法只适于燃料初步筛选并作为威力参数设计的相对依据, 但不宜用于 FAE 威力的评价。

② 冲击波能量法是根据 FAE 的组成、有关热化学参数和爆轰参数预估 FAE 在理想条件下转变为冲击波的总能量。该法可以计算 FAE 的最大爆炸输出及威力当量, 但该方法不涉及爆炸场特别是云雾区及其强毁伤区域能量的具体分布, 它只能表示总爆炸功, 不能精确描述特殊结构的 FAE 爆炸场各区域的实际毁伤威力。

3.2 用爆炸场参数评价

该法用 TNT 炸药的爆炸场参数作为评估 FAE 爆炸波效应的基础, 爆炸波的峰值超压和正相比冲量是爆炸波输出的重要参数。取峰值超压作参数时, 得到超压当量; 取正相比冲量作为参量时, 得到冲量 TNT 当量。超压 TNT 当量计算步骤是: 首先确定 TNT 装药的爆炸冲击波效应, 即建立 TNT 炸药爆炸波峰值超压 Δp 与对比距离 $\bar{R}$ 的关系, $\bar{R} =$

$\frac{r}{\sqrt[3]{m_T}}$, 其中 m_T 是 TNT 装药的质量(非 TNT 装药时为 TNT 等效量), r 是测点距爆心的

距离。利用 TNT 装药的 Δp - $\bar{R}$ 拟合曲线, 按照相似理论, 在相同的对比距离处有相同的超压。(1)式是 TNT 装药在某试验条件下的 Δp - $\bar{R}$ 拟合方程:

$$\Delta p = 0.103 \left(\frac{1}{R} \right) + 0.403 \left(\frac{1}{R} \right)^2 + 1.27 \left(\frac{1}{R} \right)^3 \quad (1 \leq R \leq 15) \quad (1)$$

采用牛顿迭代法,通过(1)式可以求解 FAE 爆炸场各测试点实测超压的 TNT 等效量,FAE 超压的 TNT 当量 q_1 可由下式求得:

$$q_1 = \frac{m_T}{m_F} \quad (2)$$

式中: m_T , 由式(1)求得的 TNT 等效量; m_F , 燃料装药的质量, kg。

同理,按照相似理论,相同的对比距离处有相同的比冲量。(3)式是 TNT 装药在某试验条件下的 $I-\bar{R}$ 拟合方程^[5]:

$$I = 262.3 \frac{m_T^{2/3}}{r} = 262.3 \frac{m_T^{1/3}}{R} \quad (1 \leq R \leq 20) \quad (3)$$

采用同样的计算方法可以求解 FAE 的冲量 TNT 等效量,而冲量的 TNT 当量也用(2)式求得。

需要说明,对于同一爆源,超压 TNT 当量和冲量 TNT 当量的值很可能不相等。另外这两个值均随距爆心的距离不同而改变。因此,实际的 TNT 当量应由有效作用区内多个测试点的平均结果或总趋势确定。

表 1 是 15kg PO 装药的 FAE 在一定条件下的爆炸实验结果,表中列出了各测试点实测超压值、计算的 TNT 等效量以及 TNT 当量。

表 1 FAE 爆炸实验参数
Table 1 The experimental parameters of FAE explosion

n	$r/(m)$	$\Delta p/(kPa)$	$m_T/(kg)$	q_1
1	7.0	448	67.8	4.5
2	10.0	228	83.5	5.6
3	15.0	75	57.8	3.9
4	20.0	46	62.7	4.2
平均值			70.2	4.6

3.3 用有效作用区面积评判

战斗部对目标毁伤能力的最直观度量是有效作用区域的面积。武器的毁伤能力是由多种因素决定的,为便于比较,根据 FAE 的特点,以相同质量 FAE 和 TNT 炸药在近地面处的爆炸波的毁伤作用作为主要依据确定对某类目标的毁伤威力圈,用毁伤目标的有效作用区面积表示其威力,或与 TNT 有效作用区面积之比表示威力当量。

各种不同的目标对 $\Delta p-I$ 爆炸参数的承受程度是不同的。FAE 只适宜于对付软目标,评价其威力只能在毁伤软目标的爆炸场参数范围内比较。当考虑较低爆炸载荷的冲击波作用时,作用区域可至远场,正相作用时间较长,根据超压准则,主要考虑峰值超压,具体实施可按下述两种办法。

3.3.1 根据实验的爆炸场参数评价

表2是40kg PO的FAE与40kg TNT在近地处的爆炸实验数据。表中列出了它们各自在大于某超压值时的对应作用区域面积。可得威力当量为2.62~3.00。

表2 FAE与TNT毁伤作用区比较

Table 2 The damage area of FAE and TNT

爆源种类	$\Delta p / (\text{kPa})$			
	1250	180	85	60
TNT	78	314	707	1257
FAE(PO)	211	824	2124	3380

(m^2)

3.3.2 对某些目标的毁伤威力圈

根据实验确定不同量级和某些种类FAE对一些目标的毁伤威力圈,例如:

① 扫雷威力圈。采用32kg PO装药的FAE,对59式防坦克地雷的诱爆半径为8m,对58式防步兵地雷的诱爆半径是30~33m。

② 生物效应威力圈。采用33kg PO装药的FAE,对狗或羊的当场致死半径为8m,致中等伤~极重伤的半径为12.5m。

③ 500H云爆弹威力圈^[6]。该弹装有145kg戊二烯燃料,它对停机坪飞机的毁伤半径为29.0m,对战壕内有生力量的毁伤半径为23.8m;对旷野步兵的毁伤半径为25.3m。

4 结果与讨论

(1) FAE对目标的毁伤主要是爆炸冲击波引起的,它适宜于对冲击波敏感的大面积“软”目标的毁伤。

(2) FAE的毁伤威力以超压-冲量准则为普遍适用的评价依据。由于在低超压的冲击波作用区,其正相作用时间随药量和距爆心距离增加而增长,特别考虑到目前冲量测试偏差较大的实际情况,该区域暂以超压为主进行威力评价。

(3) 用FAE燃料的爆炸潜能不能直接评价FAE的爆炸威力及TNT当量,冲击波能量法只能宏观预估FAE总的最大爆炸输出及TNT当量,但不能精确描述爆炸场各区域的实际威力。

(4) 爆炸场效应法系根据测量的FAE爆炸场参数,计算爆炸场各测点的威力当量。它是FAE装置实际爆炸效果的检验和爆炸威力评定。

(5) 有效作用区面积法,根据测量的爆炸场参数或对不同目标的毁伤作用,确定毁伤作用区域,它表征FAE武器系统的毁伤作用威力圈,是爆炸能源和装置性能的综合结果。

(6) FAE爆炸威力的评判,应以测量的爆炸场参数和超压-冲量准则为依据,针对不同目标的毁伤指标,用爆炸场效应法和有效作用区面积法确定有效作用区内的威力当量或毁伤范围。需要进一步研究的问题是典型目标毁伤等级与超压-冲量的关系,以及超压、尤其冲量的精确测量技术,以完善和发展FAE爆炸威力的评价。

参 考 文 献

- 1 王文京. 燃料空气炸药能量输出的讨论. 兵工学报·火化工分册, 1995(2): 47~49
- 2 惠君明. 燃料空气炸药威力评判的讨论. 兵工学报·火化工分册, 1995(2): 50~54
- 3 许会林, 汪家骅. 燃料空气炸药. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- 4 Sedgwick R T, Krata H R. Fuel Air Explosives: A Parametric Investigation. AD-A159 177/5/HDM
- 5 工程兵科研三所. 炸药空气冲击波荷载应用资料. 私人通讯, 1990.
- 6 潘永平, 胡谕. 航空弹药的发展现状与趋势. 江苏兵工, 1994(3): 51~59

AN EVALUATION METHOD OF FAE POWER

Hui Junming Liu Ronghai Peng Jinhua Tang Mingjun

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

ABSTRACT The damage effects of FAE on targets are mainly dependent upon the parameters such as overpressure and impulse in explosion fields. In this paper, the characteristics of FAE parameters in explosion fields and effect factors on the damage are analyzed, and an evaluation method of FAE power is also developed.

KEYWORDS damage effect, evaluation of power, fuel-air explosive (FAE).



作者简介 惠君明(Hui Junming), 1970年毕业于华东工程学院, 现任南京理工大学化工学院系主任, 副研究员。主要从事炸药、爆炸理论及应用等专业的科研与教学工作。完成国家和部级十余项兵工课题的研究, 已有八项成果授予专利权, 并获国家级科技奖励两次, 部省级科技奖励五次, 专利奖三次。发表学术论文 50 余篇, 主编和撰写了《炸药爆炸理论》、《军用混合炸药》、《爆炸技术》等三部著作。