

装置参数对 FAE 云雾状态的影响

郭学永, 惠君明

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 本实验研究了壳体材料、比药量和长径比等装置参数对燃料空气炸药(FAE)云雾状态的影响。结果表明: 钢质壳体更利于云雾的径向分散; 适当的比药量可形成最优化的云雾尺寸和调节云雾内部浓度; 长径比不是云雾最终状态的决定因素。

关键词: 燃料空气炸药(FAE); 装置参数; 云雾参数

中图分类号: TQ560

文献标识码: A

1 引言

燃料空气炸药(FAE)是一种新的爆炸能源, 主要应用于航弹、火箭弹和导弹战斗部, 它是一种面攻击型武器, 对大面积的“软”目标有很强的杀伤作用。典型的 FAE 战斗部装置如图 1 所示。

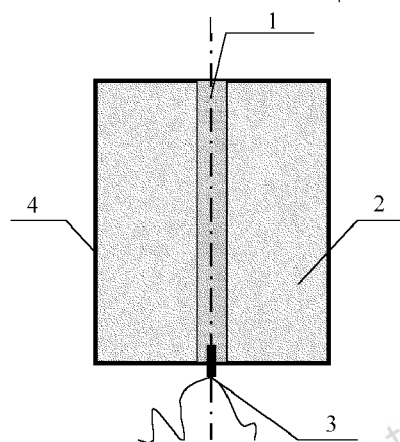


图 1 典型 FAE 战斗部装置图

1—中心药, 2—燃料, 3—雷管, 4—壳体

Fig. 1 Diagram of the typical FAE warhead

1—central explosive, 2—fuel, 3—detonator, 4—shell

FAE 作用机理是通过中心抛射装药爆炸, 利用其爆轰能使战斗部壳体解体, 将装填在弹体内的燃料抛撒到空气中, 燃料液滴在冲击波的作用下破碎、雾化并与空气充分混合形成可爆云雾, 即所谓的 FAE。FAE

用二次延时引信实施强起爆, 使其发生云雾爆轰。由于 FAE 战斗部在正常作用时, 由中心装药至云雾爆轰具有百余毫秒的延迟时间, 因此影响其云雾形成和爆轰的因素很多^[1-3]。本实验主要研究 FAE 装置参数对 FAE 云雾状态的影响。

2 不同材质的壳体对云雾状态的影响

FAE 战斗部的基本形体一般采用薄壁圆筒结构, 作用时通常为直立状。侧壁的强度和厚度显著小于上、下两端盖。为使燃料向四周均匀抛撒, 可将弹侧壁预制轴向均匀布凹槽, 还可采用其它方法在燃料抛撒瞬间使侧壁均匀解体。

FAE 壳体一般选用两种材料:

(1) 钢质材料: 一般是低碳结构钢。

(2) 铝质材料: 用铝合金制造, 如防锈铝等。其目的是减小壳体质量, 提高有效荷载。

针对不同材质弹体对云雾参数的影响, 我们做了对比实验: 固定其他装置参数, 用高速录像记录了 5 kg 级两种不同材质弹体云雾的状态参数随时间的变化, 所得云雾直径(D)和时间的关系($D-t$ 曲线)、云雾高度(H)和时间的关系($H-t$ 曲线)分别如图 2、图 3 所示。

理论分析可知, 中心抛射炸药产生的高温高压爆炸产物通过液体燃料的传递作用于弹壁, 壳体预制凹槽处应力较弱首先破裂, 由于钢的断裂极限大于铝的断裂极限, 因此铝质弹体先于钢质弹体开裂, 形成射流^[4,5]。因此, 在燃料抛撒的初始阶段, 铝质弹体形成的云雾直径稍大一些; 但钢质弹体端盖的焊接强度远大于铝质弹体, 弹体的解体时间要长, 射流时间增长(高速录像的分幅图片见文献[6]), 射流量增大; 轴向

收稿日期: 2002-03-25; 修回日期: 2002-09-02

作者简介: 郭学永(1975-), 男, 硕士, 主要从事多相爆轰研究。

约束力钢质弹体大于铝质弹体也促使云雾径向运动的趋势大于铝质的。因此云雾直径要大于铝质弹体所形成的云雾直径。

钢质端盖的质量和焊接强度均大于铝质的,使得燃料在轴向的约束力钢质弹体大于铝质弹体,因此形成的云雾高度铝质弹体较高,图 3 的关系曲线可明显说明这一点。

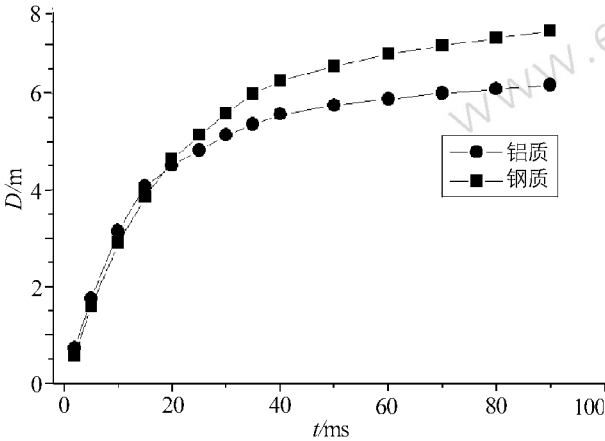


图 2 不同材质的 $D-t$ 曲线
Fig. 2 $D-t$ curves of different materials

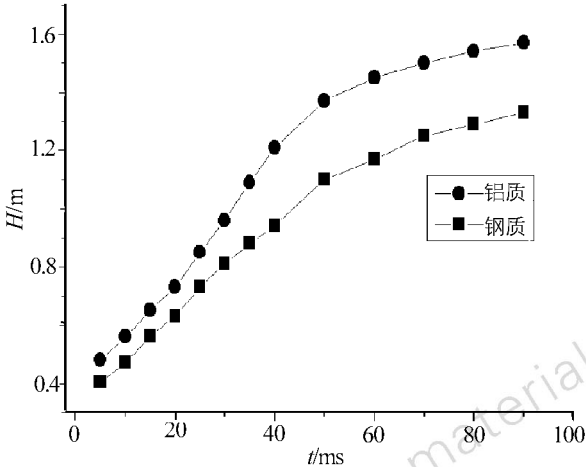


图 3 不同材质的 $H-t$ 曲线
Fig. 3 $H-t$ curves of different materials

3 比药量对云雾状态变化的影响

所谓比药量,是指抛撒装药质量与液体燃料质量之比。比药量是表征爆炸抛撒强度的量,是 FAE 装置的一个重要参数。

3.1 实验数据

关于比药量对云雾状态变化的影响,我们做了大量的实验,所得的数据列于表中。表 1 列出了同种量级 FAE 装置不同比药量的云雾扩张初速和爆轰前的云雾体积。

表 1 不同比药量时的云雾参数
Table 1 Cloud parameters of different specific central explosive

中心装药尺寸 ϕ/mm	炸药重量 $/\text{g}$	比药量 $\text{/}\%$	延时 /ms	5 ms 时云雾速度 $\text{/m}\cdot\text{s}^{-1}$	爆轰前云雾体积 /m^3
25 × 269	195	0.95	150	280	370.3
23 × 270	167	0.81	178	240	361.6
20 × 269	130	0.63	177	200	301.6

表 2 列出用另一种相同弹体和燃料装药时,测得的不同时刻云雾直径的变化情况。

表 2 中心装药参数和云雾参数
Table 2 Central explosive and cloud parameters

序号	中心装药直径 ϕ/mm	不同时刻 (ms) 云雾直径 $/\text{m}$					
		40	60	80	100	120	140
1	22.5	5.4	7.6	9.1	9.9	10.1	10.3
2	27	7.5	8.6	9.5	10.3	10.6	10.8
3	34	8.2	9.6	10.3	11.0	11.3	11.5
4	40	10.1	11.2	12.3	12.6	12.9	13.2
5	47	10.6	11.7	12.5	13.1	13.4	13.5

3.2 实验结果分析

从表 1 可以看到,随着比药量的增加,云雾初速度明显增大,这是由于较大中心装药量爆炸所释放的能量在单位面积燃料上产生的压力要大,因此推动液体燃料从弹体射流飞散的初速度要大于中心装药量小的装置;从表 2 中可看出在云雾抛撒的远场阶段,当比药量增至序号 4 时,云雾速度的增幅减小,分析其原因认为,在较大中心装药产生的强冲击波作用下,液体燃料剥离破碎,形成细小的液滴,细小液滴所具有的动量减小,而气动阻力增大,使云雾的增幅减小。由上述实验结果可以得到中心装药管的长度不变,装药量随管径的变化(以表 2 中序号 1 中心装药为基准),当比药量变化不大时(序号 1 和序号 2),FAE 云雾的直径变化也不大,而当比药量变化较大时(序号 1 和序号 5),对云雾直径的增长将产生较大的差异。

爆炸抛撒形成的云雾团浓度是不均匀的,存在一个环形的浓度分布场^[7],一般在云雾的外边缘和内边缘,浓度要低于起爆下限,大的比药量会使云雾边缘的浓度加大,达到爆轰极限,从而提高燃料的利用率;云雾的中心部分被中心装药的爆炸产物所占有,此处的燃料量较少,一般称之为空洞。空洞在一定条件下可改变云雾外形尺寸,也会对云雾浓度的分布和状态产生影响。

4 弹体长径比对云雾状态的影响

长径比是指弹体长度与直径之比,它是发展“低阻型”航弹的一个重要参数,研究不同长径比对云雾状态的影响是有一定意义的。

4.1 实验数据

关于弹体长径比对云雾状态的影响,我们做了一些实验,这里选择两种相同装药量(50 kg),相似结构参数,不同长径比的实验装置,对高速录象所记录的云雾参数实验数据进行分析。表3列出了两种弹体的装置参数。

表3 装置参数

Table 3 Device parameters

弹号	装置参数 $\phi \times H/\text{mm}$	长径比 H/ϕ
A	430 × 780	1.81
B	265 × 1260	4.75

高速录象记录的云雾直径和时间的关系、云雾高度和时间的关系分别如图4和图5所示,云雾径向膨胀速度由图6所示。

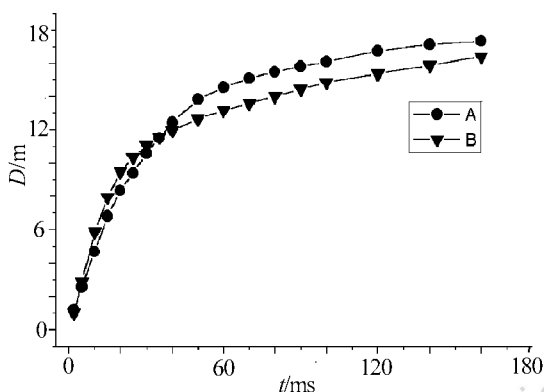


图4 云雾直径和时间的关系

Fig. 4 Relationship between cloud diameter and time

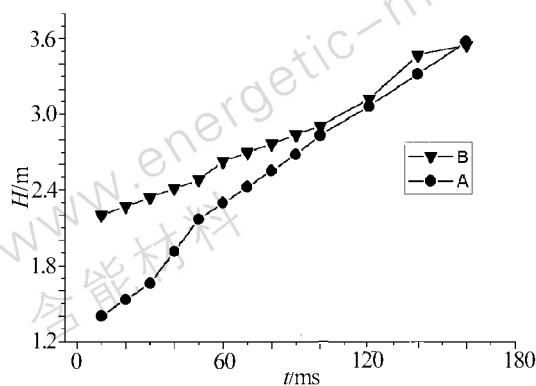


图5 云雾高度和时间的关系

Fig. 5 Relationship between cloud height and time

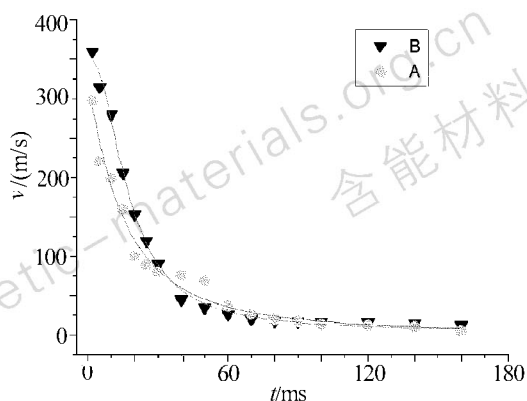


图6 云雾径向膨胀速度与时间的关系

Fig. 6 Relationship between radial expanding velocity of cloud and time

4.2 结果分析

从图6中的曲线可以看出,长径比大的弹体,其云雾径向膨胀速度在燃料抛撒的近场阶段远大于长径比小的弹体,原因是长径比大的弹体在单位长度上的燃料质量小于长径比小的,在同样的压力作用下,获得的初速度大。另一原因是由于弹体的解体时间较长,产生射流的时间也比长径比小的弹体长。这一点可以从高速录象的分幅图象^[6]中得出A弹体比B弹体的解体时间要长2 ms左右,因此可知长径比大的弹体其变形量较大,产生的射流量也较大,有利于燃料的抛撒。

虽然长径比大的弹体射流速度较大,但在冲击波作用下燃料的液滴细碎程度比长径比小的燃料液滴大,细小液滴的比表面积增,受到的气动阻力也增大,使云雾的膨胀速度减小。由图4可知,长径比大的弹体最终云雾直径与长径比小的弹体云雾直径大体相当,由图5可见,长径比小的弹体其云雾轴向增长速度大于长径比大的弹体,这也说明了长径比大的弹体其轴向约束力较大,更有利于燃料的径向抛撒,但最终的云雾高度相当。

5 结论

(1) 对于两种材质的弹体,同种量级钢质FAE所形成云雾大于铝质的,同时从弹片的飞行距离和杀伤能力来讲,钢弹亦优于铝弹。

(2) 比药量变化不太大时,对云雾状态的影响较小。比药量变化较大时,会产生一定的影响,适当的比药量可以调整云雾内部的浓度分布;而较大的比药量会引起“窜火”,使云雾未形成前就燃烧,降低了爆轰率,实验研究表明,对于沸点较低,表面张力小的液体

燃料(EO,PO)选择比药量在1%~2%范围内^[8]为宜。

(3) 长径比不同,对云雾的最终状态没有太大的影响,但长径比大的有利于燃料的抛撒和均匀分布,液滴的细碎程度较好,提高了爆轰率,有利于发展“低阻型”航弹。

(4) 综上所述,装置参数对FAE的云雾状态变化会产生影响,且影响的因素很多,应从实验的基础上,分析这些因素的影响,最终通过理论建立良好的物理模型。

参考文献:

- [1] 惠君明,刘荣海. 提高FAE威力的研究(I): 高能量燃料的选择[J]. 南京理工大学学报,1995,19(5): 472

-476.

- [2] 惠君明,张正才. 提高FAE威力的研究(II): 云雾起爆和爆轰的讨论[J]. 南京理工大学学报,1995,19(6): 493-496.
- [3] 肖绍清,白春华. FAE云雾控制因素的优化研究[J]. 火炸药学报,1999,(2): 11-14.
- [4] Richard J Z, Lloya H S. Explosive Dispersed Liquids [R]. AD-863268.
- [5] 薛社生. 液体燃料的爆炸抛撒研究[D]. 南京理工大学,1997.
- [6] 冯伟. 燃料空气炸药近场抛撒数值研究[D]. 南京理工大学,1999.
- [7] 惠君明,刘荣海. 燃料空气炸药威力评价[R]. GF报告,2000.

Influence of Equipment Parameters on FAE Cloud Status

GUO Xue-yong, HUI Jun-ming

(College of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: FAE cloud was limited by many factors. In this paper, based on experiments, influence characteristics of shell materials, specific central explosive and the ratio of height to diameter were studied. Some results indicated: steel shell is propitious for the radial dispersion of cloud, proper specific central explosive can form optimized cloud dimension and adjust the inner concentration of cloud, and the ratio is not the main influencing factor on the final cloud status. These results possessed important application value in device design and improving power of FAE.

Key words: fuel air explosive; equipment parameter; cloud parameter