

文章编号: 1006-9941(2016)11-1034-07

LEFP 对带壳装药冲击起爆过程的数值模拟与试验

李兵, 陈曦, 杜忠华, 王琪, 徐立志

(南京理工大学智能弹药国防重点实验室, 江苏 南京 210094)

摘要: 利用圆缺型药型罩形成线性爆炸成型侵彻体(LEFP), 研究其对带壳装药战斗部的冲击起爆特性。采用端点起爆方式形成 LEFP 对直径 82 mm 的聚能战斗部进行动态拦截撞击试验。利用高速摄影观察到战斗部结构失效的过程。采用 ANSYS/LS-DYNA 仿真软件, 建立 LEFP 冲击起爆带壳装药的数值仿真模型。对 LEFP 的成型过程、不同炸高以及不同起爆方式条件下拦截撞击带壳装药的过程进行仿真分析。结果表明, 测得带壳装药均被引爆, 中心线起爆的炸药平均压力峰值为端点起爆的 1.17 倍。LEFP 具有作为装甲车辆主动防护系统或其他防空反导技术毁伤元的可行性。

关键词: 线性爆炸成型侵彻体(LEFP); 冲击起爆; 拦截; 不规则破片

中图分类号: TJ414; O381

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.11.001

1 引言

利用高速预制破片、含能破片以及聚能射流来侵彻、引爆来袭战斗部, 是现有反导技术中常用的毁伤方式, 其本质为不同毁伤元对带壳炸药冲击起爆的问题。关于破片与聚能射流对覆盖铝板或薄钢板的 B 炸药冲击起爆问题已进行大量研究, 总结出关于壳体尺寸和材料, 破片的初速、形状与材质等参数对炸药在外界刺激下起爆影响的规律性结论^[1-6]。随着来袭武器壳体防护能力提升以及精确制导武器的广泛运用, 通过现有毁伤元引爆来袭战斗部的难度不断增加, 因此研究新型毁伤元冲击起爆来袭战斗部具有重要的意义。

聚能效应的原理与应用已相当成熟, 依据聚能装药原理而发展起来的线性装药所形成的线性爆炸成型侵彻体(Linear Explosive Formed Projectile, LEFP)在国内外已有一定研究: 美 Sandia National Laboratories^[7-8]通过实验分析得出精密 V 型线性装药整体优于传统 V 型线性装药的结论, 并得到装药炸高与靶板侵彻深度的关系; Seokbin Lim^[9]推导出 V 型装药在非流动状态条件下所形成线性侵彻体的速度公式, 并

对理论数据与仿真结果进行对比。但 V 型药型罩结构的线性装药所形成的侵彻体炸高有限, 只能用于特定环境。为克服炸高小的缺点, 苟瑞军^[10]等对圆缺型药型罩结构下 LEFP 的成型机理、炸高和侵彻性能方面进行了大量研究, 并推导出 LEFP 成型机理的理论公式; 杜忠华^[11]等针对起爆方式对 LEFP 的成型及侵彻影响方面进行了数值模拟, 得出多楞线性起爆方式相较于单楞线性起爆方式具有更强的侵彻威力的结论; 刘杰^[12]等研究了 LEFP 装药结构中爆轰波波速与波形的传播变化规律及其对 LEFP 成型的影响, 测得药型罩中部压力为两端压力的 2.63 倍。但在 LEFP 对带壳装药的冲击起爆研究却很少。根据圆缺形药型罩所形成的 LEFP 自身具有速度高、炸高大, 有效作用质量与动能大, 且能与来袭目标以一定角度呈线性交汇的特点^[13], 与传统毁伤元相比, LEFP 存在动能大、接触面广和形状不规则的优点。因此, 将其作为新型毁伤元来研究 LEFP 对来袭弹药壳体的侵彻以致使其结构损毁或引爆解体的毁伤效果。

本研究以装甲车辆主动防护系统^[14]毁伤元拦截来袭聚能战斗部为背景, 结合 LEFP 对 82 mm 口径聚能装药战斗部的动态拦截试验, 采用高速摄影观察拦截过程, 对比分析被拦截战斗部与未受干扰战斗部对钢筋混凝土靶板的侵彻结果。然后采用 LS-DYNA 数值仿真软件对 LEFP 的成型、侵彻壳体与炸药的冲击起爆过程进行数值模拟, 得出 LEFP 在所给炸高范围内可引爆带壳装药的结果。研究结果为 LEFP 作为新型毁

收稿日期: 2016-06-01; 修回日期: 2016-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助(11202206; 11472008)和中央高校基本科研业务专项资金资助(30915118801; 30915012201; 30915118820)

作者简介: 李兵(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事智能弹药与结构设计研究。e-mail: libingnanjing@aliyun.com

通信联系人: 陈曦(1984-), 女, 讲师, 主要从事主动防护系统研究。e-mail: chenxi@njust.edu.cn

伤元应用于装甲车辆主动防护系统及其他防空反导系统提供了重要参考依据。

2 试验部分

2.1 试验准备

图1为总体试验方案俯视示意图,包括LEFP、发射筒、82 mm聚能装药破甲弹、毫米波探测器、钢筋混凝土靶板和高速摄像等。图2为LEFP支架示意图,动态拦截试验中LEFP炸高约为1.5 m,支架上以45°间隔放置三个LEFP装药来提高拦截概率。图3为LEFP

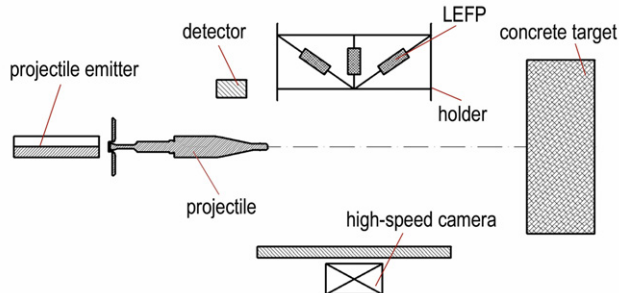


图1 试验方案布置示意图

Fig.1 Overlook schematic diagram of testing program

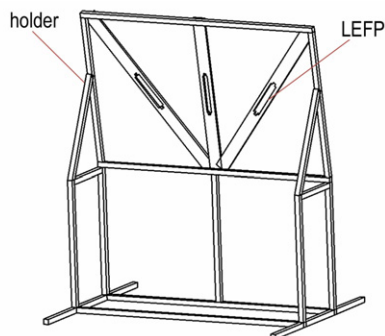


图2 LEFP 支架示意图

Fig.2 Schematic diagram of LEFP holder



a. LEFP



b. high explosive anti-tank cartridge

图3 LEFP 装药与 82 mm 破甲弹

Fig.3 LEFP charge and 82 mm high explosive anti-tank cartridge

与 82 mm 聚能装药破甲弹实物图。LEFP 装药选取 8701 炸药,药型罩材料为无氧紫铜,药型罩口部宽度为 30 mm,装药高度为 48 mm,长度为 200 mm,其形成的 LEFP 速度约为 $2140 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,起爆方式为端点起爆。破甲弹弹身总长约为 650 mm,装药部分在弹体中前部,装药长度超过 200 mm,装药直径为 72 mm。

2.2 拦截撞击试验

试验过程中,毫米波探测器探测来袭破甲弹,当目标进入炸距范围内,给出信号起爆 LEFP。共设置四组对比试验,第一组试验用来确认弹目交汇条件及毫米波探测器相对位置,试验中聚能装药战斗部作填沙处理,并且对钢筋混凝土靶板做防护处理。第二组试验在第一组试验的基础上验证拦截效果。第三组试验使用正常聚能装药战斗部,钢筋混凝土靶板裸露。第四组试验为战斗部直接撞击钢筋混凝土靶板,观察其侵蚀效果。

通过高速摄像拍摄 LEFP 的形成与拦截过程,拍摄频率为 4000 帧/s,相机距离拦截处大于 40 m,图 4 为 LEFP 拦截撞击聚能装药战斗部简化模型示意图。

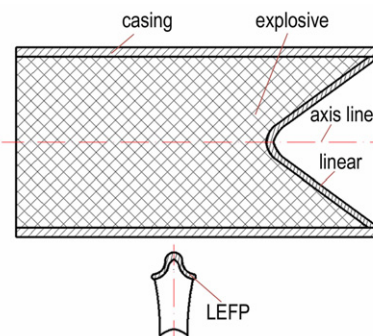


图4 撞击过程的简化模型

Fig.4 Simplified model of striking

2.3 结果与分析

四组试验结果如表 1 所示,图 5 为第三组试验中 LEFP 撞击带壳装药战斗部前后过程。

表 1 LEFP 撞击带壳装药试验结果

Table 1 Test results of LEFP impacting on charge with shell

test project	result	situation of charge	reinforced concrete target
first	failed	filled with sand	defended
second	success	filled with sand	defended
third	success	detonation	minor damage
fourth	striking target directly	explosive	penetrating

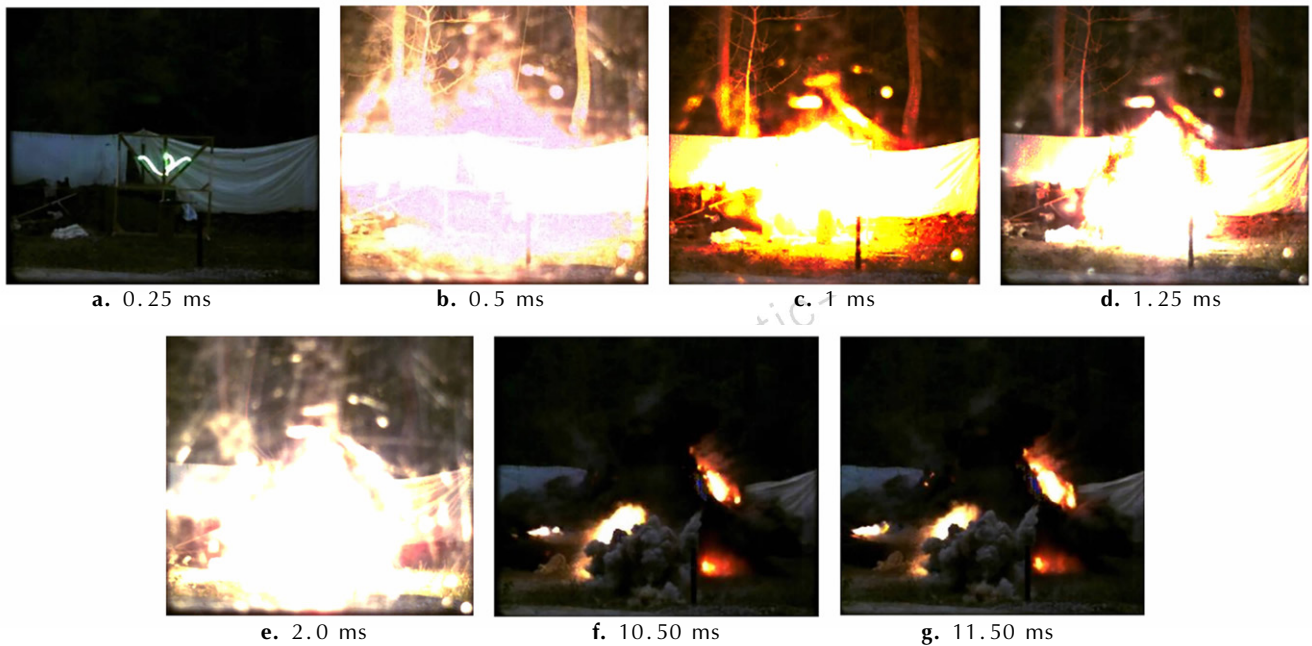


图5 LEFP 撞击战斗部不同时刻高速摄影图像

Fig.5 High-speed photography of LEFP striking warhead at different moments

第一组试验由于探测器调试以及弹目交汇位置问题,LEFP 未能成功撞击目标。第二组成功拦截到目标。第三组试验依照第二组试验条件继续进行,成功拦截聚能装药战斗部,如图5所示,其中图5a为探测器给出信号起爆LEFP,图5b~图5d为LEFP成型过程,火光光亮程度依次递减,图5e中火光光亮程度明显大于图5d所示,可认为此时LEFP已成功撞击破甲弹聚能装药部分,并与炸药发生反应,但由于爆炸现场火光过大,无法辨别成功拦截破甲弹的LEFP数量,根据试验准备条件,可认为至少中间放置的LEFP已成功撞击聚能装药破甲弹。在图5f、图5g中左下部发出火光,可以看出被击中的弹身整体部分,由于受到LEFP的冲击以及炸药的作用使弹体发生一定角度偏移且带火光飞行,火光光亮程度逐渐变大,从高速摄像采集的有效信息判断,LEFP有效拦截位置为破甲弹聚能装药部分且弹体已结构失效,由于高速摄影视场条件约束,未能进一步观察反应情况。图6为回收到的弹体尾杆部分和其他破片,可以看出尾杆部分(图6a)发生断裂,因此判断存在其他LEFP拦截到弹体尾杆部分致使其发生断裂的现象,且现场并未发现残余炸药,通过已观测到的试验现象以及回收到的破片,并对比战斗部对外界刺激响应等级^[15-17]可推断炸药发生了Ⅲ级爆炸响应。受到冲击的破甲弹继续飞行一段距离与钢筋混凝土靶板撞击,由于炸药在此之前已经发生

反应,因此未能有效形成聚能射流来侵彻钢筋混凝土靶板,图7为靶板初始状态(图7a)与受到损毁战斗部(图7b)的撞击作用而发生一些脱落现象。

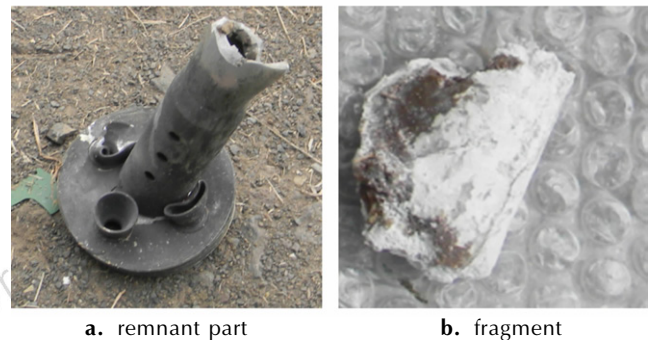


图6 回收到的残余部件与破片

Fig.6 The remnant part and fragment by recycle

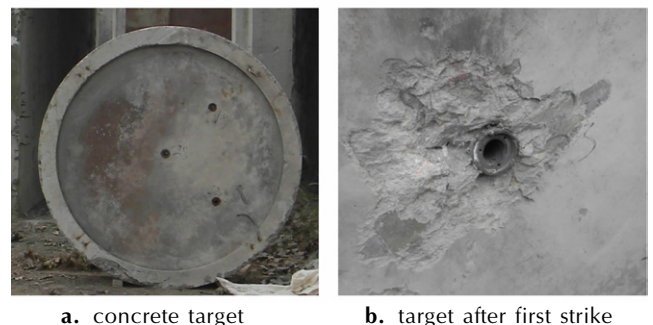
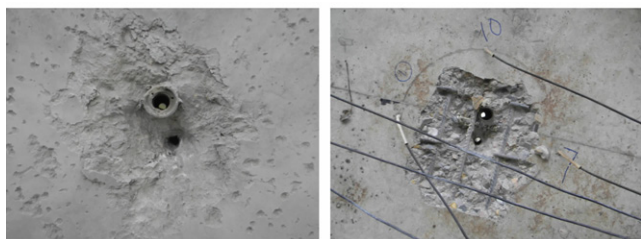


图7 钢筋混凝土靶板初始状态与失效战斗部撞击靶板

Fig.7 Original state of concrete target and losing efficacy warhead striking concrete target

第四组试验中的破甲弹发射条件与第三组试验相同,图8为其所形成的高速聚能射流直接击穿钢筋混凝土靶板的正面(图8a)和背面(图8b)状态。



a. the front of target b. the reverse side of target

图8 战斗部直接撞击钢筋混凝土靶板

Fig.8 Warhead striking concrete target directly

综上所述,试验结果表明在给定炸高条件下 LEFP 对运动中聚能装药战斗部的冲击作用,能够使带壳装药发生爆炸反应,从而成功拦截来袭战斗部,以达到对目标的防护作用。后续可进一步改进 LEFP 的装药条件与起爆方式,形成更大威力 LEFP,则在大炸高的条件下可引爆带壳装药。

3 数值模拟部分

3.1 计算模型

在试验部分,由于 LEFP 的拦截作用致使聚能装药战斗部结构失效且发生爆炸反应,完成了对靶板的有效防护工作。为进一步验证 LEFP 引爆带壳装药的可行性以及为后期 LEFP 的结构设计做指导改进,运用数值模拟软件 LS-DYNA,对 LEFP 的成型以及在不同炸高条件下冲击带壳装药的过程进行了大量的数值模拟,其中聚能装药部分作简化处理,图9为 LEFP 冲击带壳装药数值模型示意图。LEFP 装药选取 8701 炸药,药型罩材料为无氧紫铜且尺寸与试验中保持一致。带壳装药采用 5 mm 厚的铝制壳体,被发装药为 B 炸药。计算模型采用 3D Solid164 号单元进行网格划分,考虑 LEFP 网格畸变问题,采用 ALE-Lagrange 耦合算法,其中药型罩、炸药和空气采用 ALE 算法,为节省计算时间采用 1/2 平面对称模型建模。

被发装药材料模型为弹塑性模型(Elastic Plastic Hydro),状态方程为点火与增长方程(Ignition Growth of Reaction HE)^[1,4],参数如表2所示。药型罩材料模型为 Steinberg 模型,状态方程为 Gruneisen 状态方程。装药材料模型为高聚能爆轰模型,状态方程为 JWL 状态方程^[10]。由于炸药、药型罩以及空气

之间采用 ALE 算法,故空气采用空物质模型,状态方程为线性多项式。壳体材料模型为 Johnson-Cook,采用 Gruneisen 状态方程来表述其动力学行为^[10,18]。

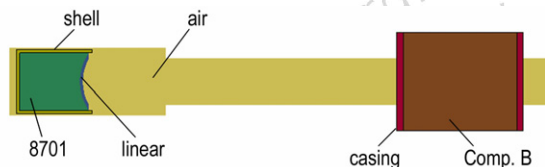


图9 LEFP 冲击带壳装药数值模拟模型

Fig.9 The simulation model of LEFP striking protected explosive

表2 炸药参数

Table 2 The parameters of explosive

name	material	ρ /g · cm ⁻³	D_{CJ} /m · s ⁻¹	P_{CJ} /GPa
shaped charge	8701	1.70	8300	29.6
target charge	Comp. B	1.71	7700	26.8

3.2 LEFP 成型过程

不同起爆方式对于 LEFP 的成型具有重要影响,为了与试验方案一致,仿真模型中 LEFP 采用端点处起爆方式,另外在底部中心线上等间距均匀设置 10 个同时起爆点作为线起爆方式对比。如图10中 LEFP 头部速度曲线所示,中心线起爆所形成的 LEFP 速度整体高于端点起爆方式。在 LEFP 成型过程初期,头部速度大于尾部速度,存在一定的速度梯度,尾部在头部的拉扯作用下,速度逐渐趋于一致。中心线起爆所形成的 LEFP 在 50 μ s 左右头尾速度趋于一致,端点起爆则在 100 μ s 之后头尾速度趋于一致。图11为中心线起爆条件下形成的 LEFP 在 256 μ s 时的状态,图12则为端点起爆方式下所形成的 LEFP 在 294 μ s 时状态。从图11、图12可看出,在 LEFP 成型过程中,存在一些速度差过大的尾部药型罩碎片脱落于主体的现象。

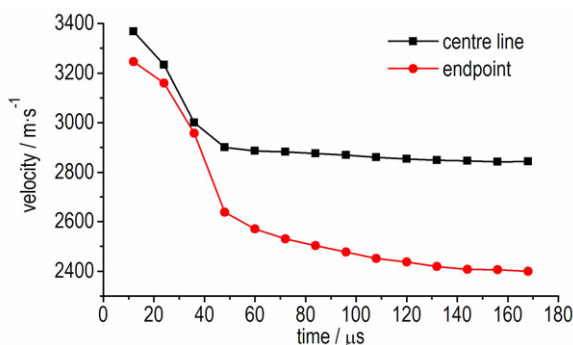


图10 不同时刻 LEFP 头部速度

Fig.10 Head velocity of LEFP at different time

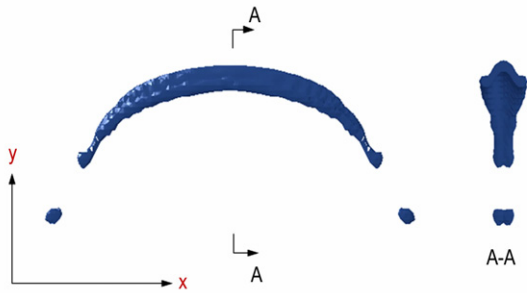


图 11 中心线起爆 LEFP 速度稳定时飞行姿态
Fig. 11 Flight state of stable LEFP by center line ignition

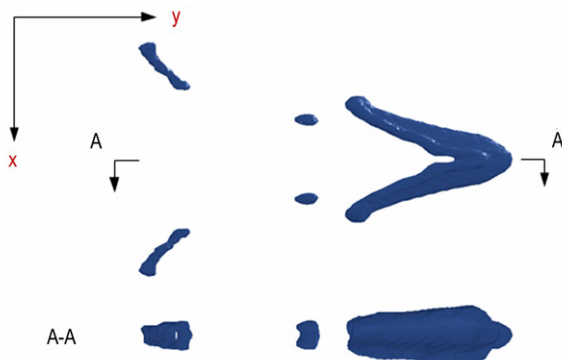


图 12 端点起爆 LEFP 速度稳定时飞行姿态
Fig. 12 Flight state of stable LEFP by endpoint ignition

3.3 LEFP 冲击带壳装药过程

为了充分验证LEFP对带壳装药的冲击起爆影响, 设置了不同炸高、不同起爆方式撞击被发装药的计算模型, 且在每组模型中设置不同观察点来查看炸药爆炸时的压力峰值, 结果见表 3。

表 3 LEFP 对带壳装药冲击起爆的数值仿真结果
Table 3 The numerical simulation results of LEFP impacting on charge with shell

way of initiation	time / μs	blasting height/mm	velocity / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	result
center line	22	50	3100	initiation
	68	200	2889	initiation
	258	800	2796	initiation
	482	1500	2714	initiation
end point	28	50	3014	initiation
	73	200	2530	initiation
	296	800	2376	initiation
	565	1500	2304	initiation

从仿真计算结果来看, 炸高为 50 ~ 1500 mm 时, 中心线起爆与端点起爆的 LEFP 均成功引爆了带壳装药 Comp. B。如图 13 所示, 中心线起爆的炸药压力峰

值整体大于端点起爆的压力峰值, 其平均峰值为端点起爆的 1.17 倍, 且炸药爆炸的峰值压力均大于 B 炸药的 C-J 爆轰压力, 约为 26.8 GPa^[4], 图 14 为引爆时带壳装药状态。

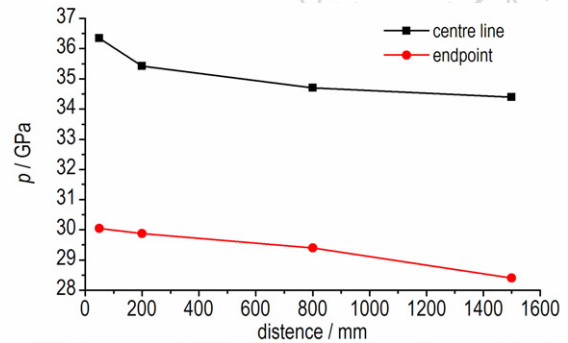


图 13 不同炸高条件下炸药的峰值压力曲线
Fig. 13 Pressure peak curves of explosive at different blasting height

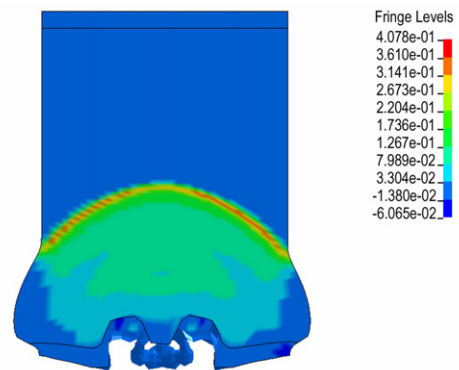


图 14 引爆时炸药状态
Fig. 14 The state of explosive when detonated

线性聚能侵彻体与聚能射流同为聚能装药, 但是对炸药的冲击起爆方式有很大不同, 虽然 LEFP 的速度低于聚能射流, 但是其有效接触面积与作用质量远大于聚能射流。对于破片来说, 不规则与高密度的破片则更容易冲击起爆带壳装药^[5], 且在破片质量一定的条件下, 炸药的临界起爆速度随着破片撞击壳体的接触面积的增大而降低^[6]。而从 LEFP 的成型与冲击起爆带壳装药的数值模拟来看, LEFP 在某种程度上属于形状不规则且质量较大的破片, 且接触面积比普通破片大的多。

将端点起爆方式在 1500 mm 炸高条件下的数值仿真结果与相同条件下试验结果相比较, 两者均引爆带壳装药, 因此仿真进一步验证了 LEFP 引爆带壳装药的可行性, 且为之后的研究与试验提供了指导意义。

4 结 论

研究了 LEFP 拦截撞击聚能装药战斗部的试验过程以及相应模型的数值模拟仿真,结果表明:

(1) 线性聚能侵彻体对弹径 82 mm 的聚能装药战斗部的动态拦截试验表明因其拦截撞击作用而致使聚能装药战斗部结构失效且炸药发生爆炸反应,从而丧失对钢筋混凝土靶板的侵彻能力。因此高速 LEFP 可作为新型反导毁伤元,应用到装甲车辆的主动防御系统或其他防空反导系统中。

(2) 数值仿真模拟表明 LEFP 作为不规则破片引爆被发装药,与普通破片与聚能射流相比,具有质量大、接触面积广和形状不规则的优点。起爆方式对 LEFP 冲击引爆炸药的影响较大,相同条件下;底部中心线起爆所形成的 LEFP 具有整体速度高,且头部没有闭合而与带壳装药作用面积广的特点,因此其效果要优于端点起爆方式。

本研究仅为阶段性成果,后续将开展线性聚能成型侵彻体对炸药的冲击起爆机理、炸药的临界起爆速度和不同角度撞击效果的研究。

参考文献:

- [1] 李旭峰, 李向东, 顾文彬, 等. 含能破片引爆带壳炸药过程的数值模拟[J]. 爆炸与冲击, 2014, 34(2): 202-208.
LI Xu-feng, LI Xiang-dong, GU Wen-bin, et al. Numerical simulation on detonating shelled explosives by energetic fragments [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2014, 34(2): 202-208.
- [2] 陈海利, 蒋建伟, 门建兵. 破片对铝壳炸药的冲击起爆数值模拟研究[J]. 高压物理学报, 2006, 20(1): 109-112.
CHNE Hai-li, JIANG Jian-wei, MEN Jian-bing. Numerical simulation of fragment impacting on charge with aluminum shell[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2006, 20(1): 109-112.
- [3] 王利侠, 谷鸿平, 丁刚, 等. 聚能射流对带壳浇注 PBX 装药的撞击响应[J]. 含能材料, 2015, 23(11): 1067-1072.
WANG Li-xia, GU Hong-ping, DI Gang, et al. Reaction characteristics for shelled cast-cured PBX explosive impacted by shaped charge jet[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(11): 1067-1072.
- [4] 张先峰, 赵有守, 陈惠武, 等. 聚能射流引爆带壳装药数值模拟研究[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(4): 165-167.
ZHANG Xian-feng, ZHAO You-shou, CHEN Hui-wu, et al. Numerical simulation investigation of shaped charge jet initiating the shelled explosive[J]. *Journal of Projectiles, Rocket, Missiles and Guidance*, 2005, 25(4): 165-167.
- [5] 汪增荣, 李向荣, 李世才, 等. 预制破片对战斗部冲击起爆数值模拟[J]. 弹道学报, 2009, 21(1): 9-13.
WANG Zeng-rong, LI Xiang-rong, LI Shi-cai, et al. Numerical simulation on shock initiation of performed fragment to warhead [J]. *Journal of Ballistics*, 2009, 21(1): 9-13.
- [6] 李小笠, 曲明, 路中华, 等. 三种破片对带壳炸药冲击起爆能力的数值分析[J]. 弹道学报, 2009, 21(4): 72-75.
LI Xiao-li, QU Ming, LU Zhong-hua, et al. Numerical simulation on impact effect of three type fragment impacting steel-covered charge[J]. *Journal of Ballistics*, 2009, 21(4): 72-75.
- [7] Vigil M G. Design and development of precision linear shaped charges[C] // Morat Wanda J. Portland, DTIC: Proceedings of the 9th International Symposium on Detonation, 1989: 1385-1403.
- [8] Vigil M G. Precision linear shaped charge analyses for severance of metals, SAND 96-2031[R]. Washington: USDOE, 1996.
- [9] Seokbin Lim. Steady state equation of a linear shaped charges linear[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2012, 44: 10-16.
- [10] 苟瑞君. 线性爆炸成型侵彻体形成机理研究[D]. 南京理工大学博士学位论文, 2006.
GOU Rui-jun. The mechanism of formation of LEFP[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology. 2006.
- [11] 杜忠华, 段卫毅. 起爆方式对 LEFP 成型及侵彻影响数值研究[J]. 南京理工大学学报, 2009, 33(6): 756-759.
DU Zhong-hua, DUAN Wei-yi. The simulation research on formation and penetration in different ways of initiation for LEFP [J]. *Journal of Nanjing University of Science & Technology*, 2009, 33(6): 756-759.
- [12] 刘杰, 杜忠华, 王峰, 等. 基于爆轰波碰撞形成 LEFP 的研究[J]. 工程力学, 2014, 31(8): 235-242.
LIU Jie, DU Zhong-hua, WANG Feng, et al. Linear explosively-formed penetrators on detonation wave collision[J]. *Engineering Mechanics*, 2014, 31(8): 235-242.
- [13] 高接东. 基于变壁厚药型罩的 LEFP 成型机理研究[D]. 南京理工大学硕士学位论文, 2013.
GAO Jie-dong. The mechanism of formation based on variable thickness liner[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology. 2013.
- [14] 武新, 王晓, 苗成, 等. 国外坦克主动防护技术技术进展及发展趋势[J]. 兵器材料科学与工程, 2013, 36(2): 133-137.
WU Xin, WANG Xiao, MIAO Cheng, et al. Development and trend of active protection technology in foreign combat tank[J]. *Ordnance Material Science And Engineering*, 2013, 36(2): 133-137.
- [15] 刘华宇. 战斗部射流冲击起爆与减敏规律研究[D]. 南京理工大学硕士学位论文, 2015.
LIU Hua-yu. The mechanism of shock initiation of charge jet warhead and desensitization law[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology. 2015.
- [16] STANAG 4439 Ed.3(2010), Policy For introduction And Assessment of Insensitive Munitions[S].
- [17] 郭方, 方源, 郭涛, 等. 薄壳工程弹药聚能射流销毁技术[J]. 工程爆破, 2015, 21(2): 43-47.
GUO Fang, FANG Yuan, GUO Tao, et al. Destruction technology of ammunition with thin shell by shaped charge jet[J]. *Engineer Blasting*, 2015, 21(2): 43-47.
- [18] LS-DYNA 971 Keyword User's Manual[Z]. [s. l.]: Livemore Software Technology Corporation. 2007

Numerical Simulation and Experimental Study of LEFP on Impact Initiation Process of Charge with Shell

LI Bing, CHEN Xi, DU Zhong-hua, WANG Qi, XU Li-zhi

(Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Based on the character of near-half-cylindrical linear forming LEFP (linear explosive formed projectile), the characteristics of impacting initiation of LEFP on charge warhead with shell was studied. The dynamically intercepting impact test of LEFP formed by endpoint initiation way on shaped charge warhead with diameter of 82 mm was performed. The structure failure process of warhead was observed by a high-speed video camera. The numerical simulation model of LEFP shelled charge was established using ANSYS/LS-DYNA simulation software. Simulation analyses to intercept the process of impacting charge with shell under the conditions of forming process of LEFP, different blasting height and different initiation ways was performed. Results show that all the charge with shell measured are initiated. The average peak pressure of explosive by center line initiation is 1.17 times higher than that of explosive by endpoint initiation. LEFP has the possibility as damage element for an active defense system of armored vehicle or other air defense anti missile technology.

Key words: linear explosive formed projectile (LEFP); impact initiation; intercept; irregular fragment

CLC number: TJ414; O381

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.11.001



《含能材料》“观点”征稿

为了丰富学术交流形式,及时传递含能材料领域同行们的学术观点和思想,《含能材料》开设了“观点”栏目。“观点”栏目的来稿应观点鲜明、内容新颖、形式上短小精悍。欢迎含能材料各领域的专家积极来稿。来稿时请附个人简历及主要研究工作介绍。

《含能材料》损伤与点火专栏征稿

含能材料的损伤特征与点火过程有密切的联系,炸药、推进剂的内部损伤及其对力学特性、安全特性和点火行为的影响规律受到了含能材料学界的高度重视,为推动这一重要研究方向的学术交流,本刊特设立“损伤与点火”专栏。专栏主要征集炸药、推进剂等含能材料的损伤观测与多尺度表征技术、含损伤的本构方程、准静态与动态损伤演化规律、损伤与破坏的宏(细)观模式、损伤对起爆、爆炸、爆轰成长以及非冲击起爆行为的影响等方向的原创性研究论文。来稿请注明“损伤与点火”专栏。

《含能材料》编辑部