

复合 MEFP 战斗部侵彻性能及其后效的仿真研究

雷 鸣, 辛长范, 王东东

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

摘要:为研究新型复合 MEFP 战斗部在破甲武器中的应用, 运用 ANSYS/LS-DYNA 有限元分析软件, 采用多物质 ALE 流固耦合算法, 对复合 MEFP 战斗部侵彻体成型过程进行数值仿真计算, 研究其侵彻体性能, 并选择靶板进行侵彻, 分析侵彻性能及穿孔孔径和毁伤范围, 最后以后效靶板进行验证, 综合分析复合 MEFP 战斗部的侵彻性能及后效影响; 结果表明: 该复合 MEFP 聚能战斗部在起爆方式选取单点同时起爆时, 形成互不影响的 1 个主 EFP 和 4 个辅 EFP, 可以同时侵彻靶板, 提升侵彻性能; 主、辅 EFP 侵彻钢靶使孔径增大, 并且提升了战斗部毁伤范围; 复合 MEFP 战斗部后效作用明显, 侵彻后效靶板的孔径为 48 mm, 大大提升了 EFP 战斗部的毁伤性能。

关键词:多爆炸成型弹丸; 数值模拟; 轻型装甲; 目标毁伤

本文引用格式:雷鸣, 辛长范, 王东东. 复合 MEFP 战斗部侵彻性能及其后效的仿真研究[J]. 兵器装备工程学报, 2016(8): 43-46.

Citation format: LEI Ming, XIN Chang-fan, WANG Dong-dong. Study on Numerical Simulation of Composite MEFP Performance and Afftereffect[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(8): 43-46.

中图分类号: TJ410.33

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2016)08-0043-04

Study on Numerical Simulation of Composite MEFP Performance and Afftereffect

LEI Ming, XIN Chang-fan, WANG Dong-dong

(School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: For studying novel complex of MEFP warhead in anti armour weapons applications, using finite element analysis software ANSYS/LS-DYNA, using ale multi material fluid solid coupling algorithm, the composite of MEFP warhead penetrating body forming process was applied to the numerical simulation to have the penetration performance research, and choose the target penetration, and analyze penetration performance and perforation aperture and the scope of damage, and finally effect target board for validation was verified to have comprehensive analysis of composite of MEFP warhead penetration performance and the afte reffect. Results show that the composite MEFP shaped charge warhead detonation mode selected single point simultaneous initiation, it formated mutual influence of a main EFP and four auxiliary EFP, which can also penetrating the target, and enhance the penetration performance, main and auxiliary EFP penetrating steel target so as to increase the aperture, and to enhance the damage range of warhead; composite MEFP warhead backwash has obvious effect, the penetration aftereffect of target plate aperture is 48mm, which greatly enhances the damage performance of EFP warhead.

Key words: MEFP; computer simulation; light armored targets; damage power

收稿日期: 2016-02-02; 修回日期: 2016-03-25

基金项目: 中北大学研究生科技基金(20151202)

作者简介: 雷鸣(1990—), 男, 硕士, 主要从事兵器科学与技术研究。

多爆炸成型弹丸(MEFP)战斗部由于其灵活多变的毁伤形式,使得它在军事应用上极为广泛,从而成为反装甲武器中重要的战斗部种类。MEFP 战斗部不仅可以应用于各种武器弹药,可执行的任务包括反坦克、反装甲、反混凝土目标和地雷装备,也可用于防空、反舰、反潜等,在未来武器弹药系统中的应用前景非常广阔^[1]。

吴国东^[2]通过设置外沿装药和壳体,使一种轴向式 CEW 战斗部的成型得以改善,使 MEFP 飞散角减小 5° ,增加了覆盖密度,该战斗部远距离的毁伤效果得以大幅提升。尹建平^[3]采用灰关联理论对多爆炸成型弹丸性能参数进行了分析,在较少试验样本的条件下,获得了各因素的主次关系,对参考序列成型 EFP 的速度,药型罩锥角的影响最大,以后依次是装药直径,装药高度,药型罩壁厚和相邻间距,在此基础上优化 MEFP 战斗部,使得 EFP 聚集性和毁伤性能大幅提升。臧立伟^[4]对网栅切割式 MEFP 战斗部技术进行了深入研究,设计了十字形、井字形、星形线形和中心圆环形 4 种不同类型的网栅,网栅间距增大、网栅金属杆密度减小、宽度减小、炸药爆速减小,可以减小发散角。中心圆环形网栅效果较好,圆环直径取 40~45 mm,起爆点在 0.78 倍装药口径时成型效果理想,破片具有较高速度和良好的气动力外形。

MEFP 战斗部旨在形成多个 EFP 弹丸,所以战斗部设计成多罩组合或者单罩分割结构^[5-10],归纳起来主要有如下几种技术途径。复合 MEFP 战斗部;变形罩 MEFP 战斗部;多层串联式 MEFP 战斗部;刻槽半预制式 MEFP 战斗部;网栅切割式 MEFP 战斗部。

本文针对复合 MEFP 结构战斗部进行研究,主、辅聚能装药均选用爆炸成型弹丸,对复合 MEFP 战斗部成型过程进行数值模拟,分析其形成侵彻体的侵彻性能及后效影响作用。

1 复合 MEFP 结构及仿真模型

本文研究的可变形 MEFP 战斗部有一个面朝前的中央主装药和四个围绕战斗部轴线放置的周边辅助装药,实体模型如图 1 所示。

等壁厚药缺罩形成的 EFP 综合性能优越,所以复合 MEFP 战斗部结构中选择此药型罩结构,主、辅装药结构参数见表 1。

表 1 主、辅装药结构参数

结构/ mm	装药 高度	药型罩 口径	曲率 半径	壁厚	壳体 厚度
主装药	80	90	115	5	3
辅助装药	80	50	45	3	3

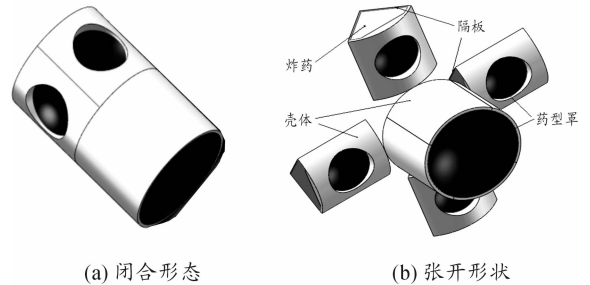
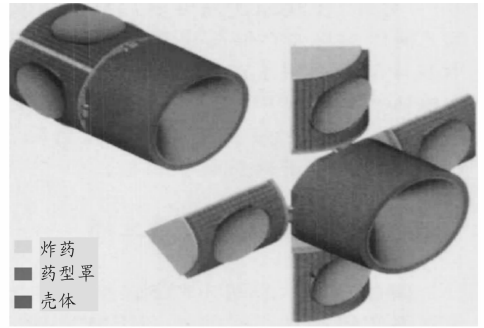


图 1 复合 MEFP 战斗部实体模型

本文数值模拟研究利用 TrueGrid 软件作为前处理建立计算模型,通过 TrueGrid 软件与 LS-DYNA 软件的接口,将用 TrueGrid 软件生成的模型文件导入 LS-DYNA 软件中进行求解计算。由于结构的几何形状关于 xoz 平面和 yoZ 平面对称,同时为了节省计算单元,本文对此装药模型进行了简化处理,利用 TrueGrid 软件建立 1/2 有限元模型,见图 2。

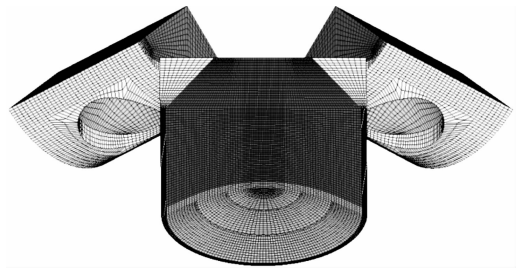


图 2 主装药几何模型和有限元模型(不含空气域)

在数值模拟计算中,材料参数的选取直接影响到计算的精确性,不同的材料模型对材料的描述是不同的,这些区别都会影响仿真计算的结果。因此,选择适当的本构模型及材料参数是保证结果准确的必要前提。药型罩采用 * MAT_ELASTIC_PLASTIC_SPALL 材料模型和 GRUNEISEN 状态方程,参数:密度 9.86 g/cm^3 、声速 3426 m/s 、剪切模量 125 GPa 。炸药采用 * MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN 材料模型、状态方程态为 JWL 方程,选取炸药为 8701,参数取值:密度 1.69 g/cm^3 、爆速 8425 m/s 、爆压 30.4 GPa 。空气材料采用 * MAT_NULL 材料模型和 EOS_LINEAR_POLYNOMIAL 状态方程,空气密度取 1.293 g/cm^3 。

2 数值模拟结果与分析

2.1 复合 MEFP 成型过程研究

当辅助装药与主装药呈 90° , 选择起爆方式为各自单点同时起爆时, 侵彻体成型过程如图 3 所示。

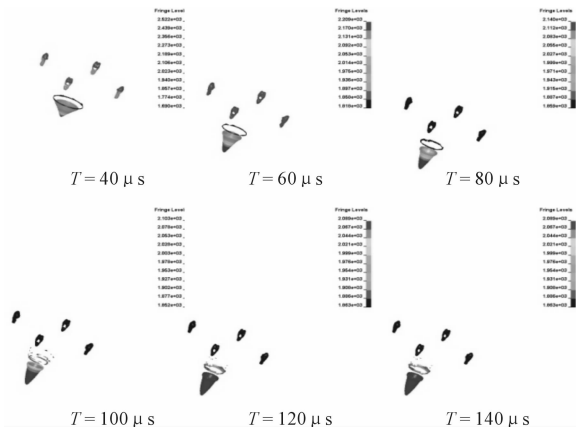


图 3 复合 MEFP 战斗部成型过程

由图 3 和图 4 可知, 在 $40 \mu\text{s}$ 时, 主装药结构药型罩翻转成型, 形成五个同向的 EFP, 其中主 EFP 速度为 $2\,719 \text{ m/s}$, 辅 EFP 速度为 $1\,785 \text{ m/s}$, 此时主 EFP 头尾速度差为 832 m/s , 而辅 EFP 头尾速度差几乎为零, 因此主 EFP 不断被拉长, 直到头尾速度一致。在 $140 \mu\text{s}$ 时, 主 EFP 速度为 $2\,089 \text{ m/s}$, 并以此速度稳定飞行。

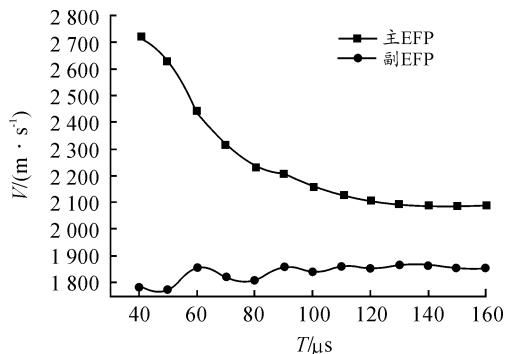


图 4 EFP 速度曲线

2.2 复合 MEFP 侵彻钢靶过程研究

为了研究复合 MEFP 对目标的侵彻性能, 建立弹靶侵彻模型, 选择均质装甲钢作为靶板材料, 厚度为 50 mm , 炸高在五倍装药口径处, 此时形成的侵彻体头尾速度一致, 以稳定的飞行状态开始撞击侵彻靶板。图 5 为侵彻体侵彻靶板过程图。

采用主辅装药各自单点同步起爆。从数值模拟结果中可以看到, 在 $T=140 \mu\text{s}$ 时, 主 EFP 开始侵彻静止的钢靶, $T=180 \mu\text{s}$ 时刻, 辅 EFP 开始撞击静止的钢靶, 同时主 EFP 穿

透靶板, $T=190 \mu\text{s}$ 时刻, 孔径和深度都不再发生变化, 侵彻过程结束。主 EFP 侵彻孔径为 54 mm , 辅 EFP 侵彻孔径为 27.3 mm , 毁伤范围为 87.5 mm , 其中辅 EFP 侵彻过程中, 靶板内部应力已经发生变化, 此时的应力值为 25.1 GPa , 由此可知本文所研究复合 MEFP 毁伤能力不但可以提升毁伤范围, 还可以增加毁伤性能。最终靶板正面和背面毁伤效果见图 6。

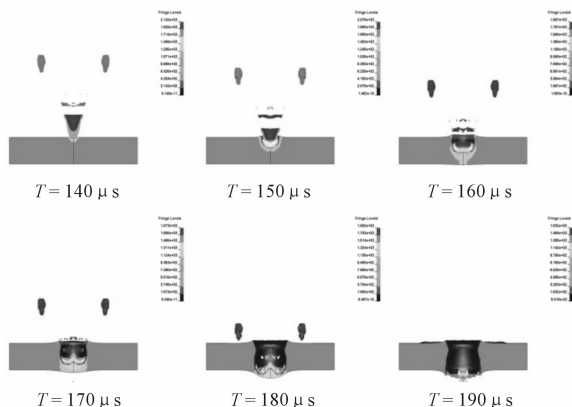


图 5 复合 MEFP 侵彻靶板过程

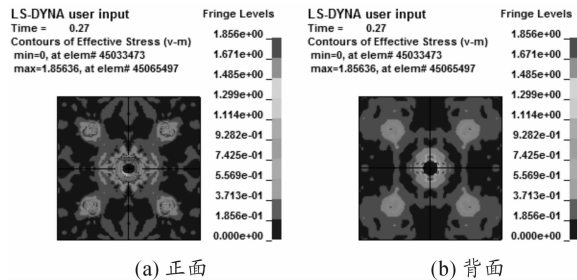


图 6 靶板毁伤结果

经过对比, 辅助 EFP 侵彻所得弹坑深度有所增加, 达到了 48.98 mm , 这是因为侵彻时主 EFP 侵彻对靶板产生后效, 此时弹坑形成了半径 87.5 mm 的散布, 由此可以看出如果主、辅装药打开角小于 90° , 会形成更大散布, 可用于攻击集群目标; 而当打开角大于 90° , 会产生汇聚, 增大侵彻效果。

2.3 复合 MEFP 后效作用研究

为了研究弹丸侵彻靶板后的毁伤能力, 在靶板后添加后效靶, 通过后效靶毁伤程度判断爆炸成型弹丸的毁伤性能。后效靶在靶板后 200 mm 处, 厚度为 10 mm , 材料为均质装甲钢, 图 7 为爆炸成型弹丸侵彻后效靶板过程图。

由图 7 可知, 在 $200 \mu\text{s}$ 时, 主 EFP 贯穿靶板, 此时速度为 $1\,097 \text{ m/s}$, 辅 EFP 由于速度较慢, 未能贯穿靶板, 只是在靶板四周形成 1 个直径 29 mm 的弹坑。在 $210 \mu\text{s}$ 时, 主 EFP 到达后效靶板, 开始对后效靶板进行侵彻, 由于在侵彻钢靶时贯穿了靶板, 故此时的主 EFP 成分不仅由药型罩材料构成, 还包括了侵彻后附带的钢靶材料, 因此使得侵彻靶板过

程中消耗的 EFP 质量得以补充,并且相当于是主 EFP 侵彻钢靶,钢靶背部崩落形成破片,对后效靶进行毁伤。靶板崩落部分速度为 493.2 m/s,与主 EFP 一同对后效靶板进行侵彻。

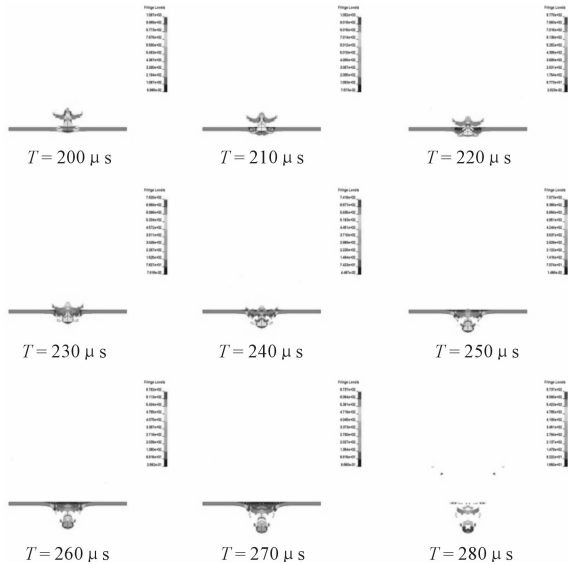


图 7 爆炸成型弹丸侵彻后效靶板过程图

后效靶板穿孔孔径为 48 mm,与主靶板孔径对比减少了 6 mm,此时主 EFP 速度为 668.4 m/s,还具有一定的毁伤能力。

3 结论

通过对复合 MEFP 战斗部数值模拟分析,得出以下结论:该复合 MEFP 聚能战斗部在起爆方式选取单点同时起爆时,形成互不影响的 1 个主 EFP 和 4 个辅 EFP,可以同时侵彻靶板,提升侵彻性能;主、辅 EFP 侵彻钢靶使孔径增大,并且提升了战斗部毁伤范围;复合 MEFP 战斗部后效作用明显,侵彻后效靶板的孔径为 48 mm,大大提升了 EFP 战斗部的毁伤性能。

参考文献:

- [1] 王志军,尹建平. 弹药学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- [2] 吴国东,董方栋. CEW 战斗部成型数值模拟[J]. 弹箭与指导学报,2013,33(1):107-113.
- [3] 尹建平,张洪成. 多爆炸成型弹丸性能参数关联分析[J]. 火力与指挥控制,2012,37(5):43-50.
- [4] 臧立伟. 网栅切割式 MEFP 战斗部成型过程数值模拟研究[D]. 太原:中北大学,2014.
- [5] 范斌. 一种三罩并联 MEFP 战斗部数值模拟研究[D]. 太原:中北大学,2012.
- [6] 李兵. 聚能型战斗部水中兵器毁伤研究进展[J]. 兵器装备工程学报,2016,37(2):1-8.
- [7] 共田. 步兵武器战斗部的新发展[J]. 轻兵器,2005,32(16):8-12.
- [8] 吴国东,贾伟. 新型环形切割器成型仿真及影响因素关联分析[J]. 工程爆破,2012,18(1):20-23.
- [9] 朱传胜,黄正祥. 带隔板中空装药的 EFP 成型研究[J]. 弹道学报,2013,25(1):18-24.
- [10] 刘健峰,龙源. 不同药型罩壁厚组合影响同轴 EFP 成型规律研究[J]. 工程爆破,2012,18(4):36-42.
- [11] 杨立强,史云晖,方向东,等. 基于不同方法的战斗部剩余速度评估结果差异规律[J]. 兵工自动化,2014(10):40-43.
- [12] 张骥. 高速侵彻战斗部壳体材料动力学性能研究[J]. 四川兵工学报,2014(8):11-14.
- [13] 相升海,徐文龙,唐恩凌,等. 刻槽式多爆炸成形弹丸对双层有限厚钢靶侵彻能力及后效研究[J]. 兵工学报,2014(9):1350-1355.

(责任编辑 周江川)