

转速和着速对 PELE 横向效应的影响*

梁民族, 李翔宇, 卢芳云, 王马法

(国防科学技术大学理学院工程物理研究所, 长沙 410073)

摘要:采用 AUTODYN-3D 软件对横向效应增强型侵彻体(PELE)侵彻金属靶板的过程进行数值模拟。通过分析不同转速和着速下 PELE 弹丸的剩余速度、靶板穿孔直径、破片的质量-数量分布和破片飞散角情况,得到 PELE 弹丸的横向效应随转速和着速的变化规律。研究结果为 PELE 弹药转速和着速的设计提供参考。

关键词:PELE; 数值模拟; 横向效应; 转速; 着速

中图分类号:TJ413; TJ012.4 **文献标志码:**A

The Influence of Impact Velocity and Rotation Velocity on PELE Effect

LIANG Minzu, LI Xiangyun, LU Fangyu, WANG Mafa

(Institute of Engineering Physics, College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Penetration process of penetrator with enhanced lateral effect (PELE) in metallic target was simulated by AUTODYN-3D code. Through the analysis of the residual velocity of PELE projectiles, diameter of aperture on target, distribution of the quality of the fragments and the number of the fragments, scattering angles of the fragments with different impact velocity and rotation velocity, the tendency of lateral effect was achieved. The result is useful in choosing impact velocity and rotation velocity in engineering design of PELE.

Keywords: PELE; numerical simulation; lateral effect; rotation velocity; impact velocity

0 引言

横向效应增强型侵彻体 (penetrator with enhanced lateral effect, PELE) 是一种不需要装填炸药和引信, 基于物理效应的新概念弹药, 主要用于防空、反导、城市作战等领域。由壳体和内核组成, 壳体一般为密度较大的金属材料, 内核则是低密度金属或聚合物, 壳体侵彻目标而内核因密度较低而被压缩径向膨胀, 导致壳体内壁压力剧增至 GPa 级, 弹丸穿透目标后能量瞬间释放导致壳体破裂成具有毁伤效应的大量破片^[1-2]。相对于传统弹药而言, PELE 具有安全性高, 后勤处理方便, 高性价比等优点。

PELE 弹丸横向效应的影响因素有很多, 例如壳体和内核的材料、着角、着速、转速、靶板厚度、弹体结构等。文献[3]指出, PELE 弹丸在旋转条件下穿靶后形成的自然破片数、径向速度均大于垂直侵彻无旋转条件下的数据。文献[4-5]指出就作用效果而言, 增大着速可增大破片的数量和飞散角, 但着速对破片数量的影响要大于它对破片飞散角的影响。转速和着速是 PELE 横向效应的主要影响因素, 弹药设计人

员可以主动控制其大小, 因此转速和着速对 PELE 横向效应的影响规律研究非常有必要。

文中采用 AUTODYN-3D 软件, 对 PELE 以不同转速和着速侵彻金属靶板的过程进行数值模拟, 通过分析数值模拟结果, 得到转速和着速对 PELE 横向效应的影响规律。

1 数值计算模型

图 1 给出了 PELE 弹丸计算模型, 其中壳体材料为 STEEL4300, 长度 105mm, 外径 30mm, 内径 18mm, 弹底部厚 15mm; 内核材料为聚乙烯, 长度 90mm, 直径 18mm; 靶板材料为装甲钢, 厚度为 15mm。网格平均尺寸为壳体 1mm, 内核 1.2mm, 靶板采用变步长网格(0.5~10mm)提高计算效率。

为了获得侵彻过程中的时间历程参数, 在弹丸模型的壳体中心线沿轴向均匀分布十个观测点, 每个观测点间隔为 10mm^[3], 如图 1 所示。表 1 和表 2 分别为壳体、内核及靶板的材料模型和材料参数, 材料模型取自文献[6], 材料参数均取自 AUTODYN 材料数据库。数值计算采用拉格朗日方法, 所有材料均采用

* 收稿日期: 2012-03-09

基金项目: 国家自然科学基金(10872215; 10902122)资助

作者简介: 梁民族(1989-), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 研究方向: 战斗部设计与终点效应研究。

侵蚀算法,靶板和壳体使用主应力破坏,壳体采用 Stochastic 模型^[3]。

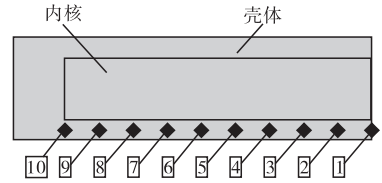


图 1 PELE 弹丸计算模型

表 1 材料模型

| 组件 | 材料种类 | 状态方程 | 强度模型 | 失效模型 |
|----|-----------|--------|--------------|------------------|
| 壳体 | STEEL4300 | Linear | Johnson-Cook | Principal stress |
| 内核 | 聚乙烯 | Shock | Von-Mises | — |
| 靶板 | 装甲钢 | Shock | Von-Mises | Material strain |

表 2 材料参数

| 材料 | $\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$ | E/GPa | σ/MPa | G/GPa | γ |
|-----------|---------------------------------|----------------|---------------------|----------------|----------|
| STEEL4300 | 7.8 | 210 | 1270 | 81 | 0.33 |
| 聚乙烯 | 0.94 | 1.5 | 0.26 | 0.55 | 0.45 |
| 装甲钢 | 7.8 | 171 | 1400 | 64.1 | 0.33 |

2 数值模拟结果

图 2 为着速 1000m/s、转速 400r/s 的 PELE 弹丸垂直侵彻靶板的数值模拟结果。从图 2 可以看出, 50 μs 时 PELE 弹丸头部和着靶区域出现较大的塑性变形;100 μs 时壳体头部开始周向扩展破裂,并沿周向扩散;150 μs 时 PELE 弹丸穿透靶板,壳体前端逐渐破裂形成径向飞散;200 μs 时壳体产生大量破片。

图 3 对比着速 800m/s 的 PELE 弹丸分别以转速 0r/s、400r/s、800r/s、1200r/s 垂直侵彻靶板的数值模拟结果,可以看出随着转速的不断增大,PELE 弹丸径向膨胀程度有所增大。

图 4 为转速 400r/s,着速 700 - 1200m/s 的六种工况下 PELE 弹丸垂直侵彻靶板的数值模拟结果。随着着速增加,PELE 弹丸径向膨胀程度不断增大,着速达到 1000m/s 以后,径向膨胀程度变化不大。

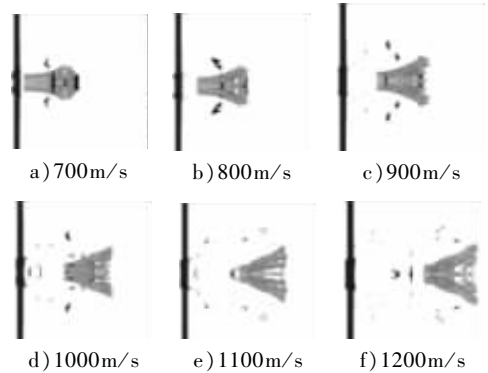


图 4 不同着速下 PELE 弹丸数值模拟结果

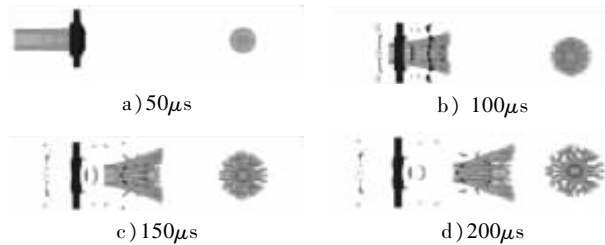


图 2 PELE 弹丸侵彻过程的数值模拟

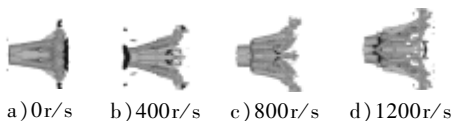


图 3 不同转速下 200 μs 时 PELE 弹丸数值模拟结果

3 数值模拟结果分析

3.1 PELE 弹丸剩余速度

衡量弹丸侵彻能力的参数主要是弹丸的剩余速度。对着速 900m/s、1000m/s,转速 0~1200r/s 的 PELE 弹丸进行数值模拟,统计 200 μs 时 PELE 弹丸的剩余速度,结果如图 5 所示。

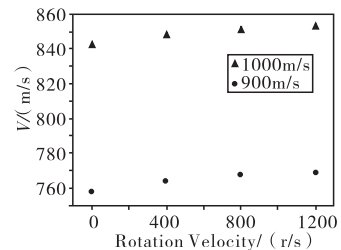


图 5 PELE 弹丸的剩余速度

着速 1000m/s 时,转速 1200r/s 的 PELE 弹丸比无转速的 PELE 弹丸剩余速度提升 10m/s 左右。由此可见,随着转速增加 PELE 弹丸的剩余速度有小幅度的提升,但是提高并不明显。

3.2 靶板扩孔直径

图 6 给出了着速 600 ~ 1200m/s,转速 0r/s、1200r/s 时弹丸穿透靶板后靶板的扩孔直径。分析发现,随着弹丸着速的增加,扩孔直径呈增大趋势,当

PELE 弹丸着速达到 900m/s 以后扩孔直径基本保持不变。转速对靶板扩孔直径的影响不明显。

3.3 破片质量 - 数量分布

如图 7 所示,对着速 1000m/s,转速 0 ~ 1200r/s 的 PELE 弹丸进行数值模拟。为了研究 PELE 弹丸的破片质量 - 数量分布情况,统计 0.5g、1g、2g、5g、10g、18g 的六类破片。从图 7 可以看出,无旋转的 PELE 破片质量主要分布在质量比较小的区域,有旋转的 PELE 的破片质量分布比较均匀。取质量大于 2g 的破片为有效破片,无旋转的 PELE 弹丸产生的有效破片为 16 个,转速 1200r/s 的 PELE 弹丸产生的有效破片为 43 个。旋转能够减少 PELE 弹丸极小破片的产生率,增加有效破片的数量,提高弹丸的毁伤能力。

如图 8 所示,对转速 400r/s,着速 600m/s、800m/s、1000m/s 的 PELE 弹丸进行数值模拟,统计 0.5g、1g、2g、5g、10g、18g 的六类破片。一定着速范围内,着速大的 PELE 弹丸破碎程度比较大,产生的小破片数量比较多。取质量大于 2g 的破片为有效破片,着速 600m/s 的 PELE 弹丸有效破片为 46 个,着速 1000m/s 的 PELE 弹丸有效破片为 27 个。随着着速增大有效破片数量有所减少。

3.4 破片飞散角

如图 9 所示,对着速 600 ~ 1200m/s,转速 0r/s、400r/s、800r/s 的 PELE 弹丸进行数值模拟,统计 200 μ s 时 PELE 弹丸破片飞散角。

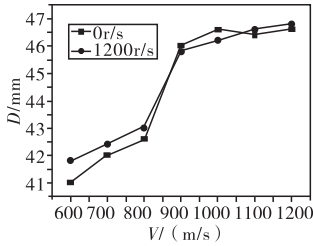


图 6 靶板扩孔直径

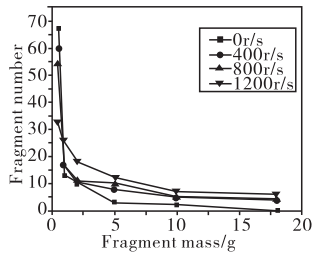


图 7 不同转速下 PELE 弹丸破片质量 - 数量分布

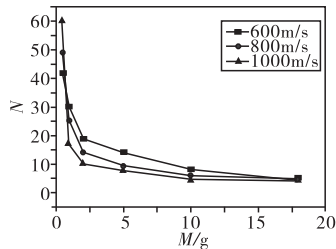


图 8 不同着速下 PELE 弹丸破片质量 - 数量分布

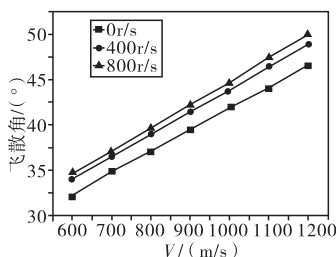


图 9 PELE 弹丸的破片飞散角

由图 9 可以看出,相同转速条件下,着速越大,破片飞散角越大。着速与飞散角基本上呈线性关系。相同着速条件下,对于破片飞散角来说,旋转的 PELE 弹丸比无旋转的 PELE 弹丸有很大的优势,主要是由于旋转使得 PELE 弹丸径向速度有很大的提升,从而导致其飞散角增大。

4 结论

1) PELE 的旋转能小幅提升侵彻能力,对靶板的扩孔直径影响不大,可以使破片的质量分布比较均匀。依靠弹丸高速旋转来增强破片飞散角和杀伤面积是一种简单而且可靠的横向效应增强方式。

2) 着速对 PELE 横向效应的影响比较大,一定着速范围内,随着着速的增大,靶板扩孔直径和破片飞散角增大,有效破片数量有所减少。因此存在最佳着速使得 PELE 弹丸的横向效应最大。

参考文献:

- [1] Paulus G, Chanteret P Y, Wollmann E. PELE: A new penetrator concept for the generation of lateral effects [C]// The 21st International Symposium on Ballistics. Adelaide, Australia: IBC, 2004 :104 - 110.
- [2] Paulus G. Impact behavior of PELE projectiles perforating thin target plates [J]. International Journal of Impact Engineering, 2006,33(1) : 566 - 579.
- [3] 蒋建伟,张谋,门建兵,等. PELE 弹侵彻过程壳体膨胀破裂的数值模拟[J]. 计算力学学报, 2009,26(4) :568 - 572.
- [4] 朱建生,赵国志,杜忠华,等. 着靶速度对 PELE 横向效应的影响[J]. 力学与实践,2007,29(5) :12 - 16.
- [5] 涂胜元,沈晓军,王军波,等. 着速和靶厚对钢弹 PELE 侵彻后效影响的实验研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(3) :69 - 71.
- [6] 张谋. 横向效应增强型穿甲弹 (PELE) 作用机理研究 [D]. 北京: 北京理工大学,2010.