

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.04.011

基于有限元分析的装甲目标毁伤

黄贡献¹, 葛世锋¹, 何科霖²

(1. 解放军炮兵学院 南京分院, 江苏 南京 211132; 2. 中国人民解放军 66043 部队 司令部, 山西 大同 037034)

摘要: 装甲目标毁伤分析是改进和提高弹药与武器装备的重要手段。为克服传统目标毁伤方法的缺点, 在简述有限元分析基本原理和步骤的基础上, 利用 ANSYS/LS-DYNA 模拟了某杀伤爆破榴弹爆炸产生破片场的全过程, 分析了不同质量破片对防护装甲的毁伤和不同距离炸点产生的破片对防护装甲的毁伤, 为准确评估目标毁伤, 改进弹药和防护装甲提供了有利依据。经过结果数据比较, 证明了该方法的有效性。

关键词: 目标毁伤; 有限元分析; 效果评估; 数值模拟

中图分类号: N945.1 **文献标识码:** A

Armor Target Damage Based on Finite Element Analysis

HUANG Gong-xian¹, GE Shi-feng¹, HE Ke-lin²

(1. Dept. of Nanjing, Artillery Academy of PLA, Nanjing 211132, China;

2. Command Headquarter, No. 66043 Unit of PLA, Datong 037034, China)

Abstract: Analysis of the armor target damage is an important measure of developing the shell and armament. In order to conquer the shortage of traditional method, the process of chipping field produced by some high-explosive shell was simulated by ANSYS/LS-DYNA, the damage of protective armor by different quality chipping and different distance burst was also researched based on the basic principle and process of the finite element analysis, which provided the advantaged gist for proper evaluation of target damage to improve the shell and protective armor. The method was proved to be validity by the result data compare.

Keywords: Target damage; Finite element analysis; Effect evaluate; Digital simulation

0 引言

随着军队信息化革命的深入, 各国军队越来越重视提高弹药和武器装备性能, 如何准确地对目标毁伤的效果进行评估已成为各国军队越来越重视的研究课题。传统的目标毁伤研究通常是采取毁伤试验和概率统计的方法进行概略计算, 其所获得的计算结果已不能完全满足准确评定目标毁伤情况以及促进弹药和武器装备研发与改进的需要。有限元分析方法不仅可以大大减小试验带来的风险, 而且可以实现目标毁伤效果的可视化, 并通过离散复杂模型进行显式动力学分析的方法来求解出目标毁伤效果的模拟数据, 为准确评估目标毁伤以及进行二次开发提供数据支撑。故对基于有限元分析的装甲目标毁伤进行研究。

1 有限元分析基本原理及步骤

有限元分析方法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法, 是将弹塑性力学理论、计算数学和计算机软件结合在一起的一种数值分析技术, 如图 1。

由图 1 可知, 有限元分析方法主要解决以下问

题: 弹性连续体的离散化、选择单元位移模式、单元力学特性分析、非节点载荷的位移、计算单元应力等。求解过程总体归纳就是一个联合建模求解的技术过程。如图 2, 可以分为前处理、求解与过程控制和后处理 3 个阶段。

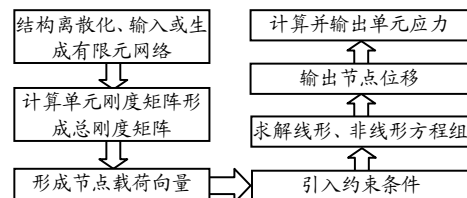


图 1 有限元求解程序的内部过程

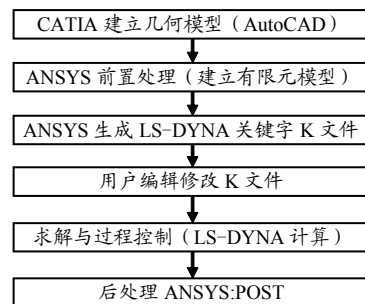


图 2 CATIA-ANSYS-LS-DYNA 联合建模求解技术流程

2 目标毁伤的有限元分析与实现

收稿日期: 2009-10-27; 修回日期: 2009-12-18

作者简介: 黄贡献(1979-), 男, 河南人, 炮兵学院南京分院射击教研室讲师, 少校, 从事作战指挥基础理论研究。

2.1 有限元分析模型的建立

弹丸对装甲目标的毁伤过程是一个复杂的系统过程。在建模过程中, 主要将其分为 2 个部分: 一是弹丸部分, 二是装甲目标部分。榴弹的毁伤方式主要包括冲击波毁伤、破片毁伤、侵彻毁伤、爆破毁伤等。弹丸对装甲目标的毁伤过程需要涉及到多种介质和材料, 材料模型选择如表 1~表 3。某杀伤爆破榴弹的有限元模型如图 3, 某自行火炮射管的有限元模型如图 4。

表 1 通用标准钢材料参数

材料密度 ρ (kg/m^3)	材料本构模型	弹性模量 $E(\text{Pa})$	泊松比 ν	屈服强度 $\sigma_{y0}(\text{Pa})$
7.83E+03	弹性-理想塑性带应变失效	2.068E+11	0.30	1.04E+09

表 2 TNT 炸药的材料参数

材料密度 ρ (kg/m^3)	材料本构模型	爆速 D (m/s)	CJ(Chapman-Jouget) 压力 (N)	燃烧标识 $BETA$	单位体积 初始内能 (J)
1.66E+03	理想塑性	7.0E+03	2.70E+06	0	7.0E+03

表 3 空气的材料参数

材料密度 ρ (kg/m^3)	材料本构模型	截止压力 (N)	动态粘度 系数 μ	拉伸与压缩侵蚀 相对体积	弹性模量 与泊松比
1.25E+00	弹性	≤ 0.0	0	1	仅适用于梁和薄壳单元

2.2 目标毁伤的有限元分析

选择某杀伤爆破榴弹对装甲目标的毁伤分析。采用统一的单位制: $\text{cm-g-}\mu\text{s}$; 落速均取值为 306 m/s (射距离 12 km 时, 查射表获得)。

破片初速是破片的重要性能参数, 直接影响着破片的杀伤威力。以弹丸装定瞬发引信、弹丸命中角为 90° 为例, 利用有限元分析软件成功模拟了某杀伤爆破榴弹由爆炸产生破片场的全过程, 图 5 分别是弹丸引爆后 $50 \mu\text{s}$ 、 $200 \mu\text{s}$ 、 $300 \mu\text{s}$ 、 $500 \mu\text{s}$ 时的破片场应力云图变化情况。

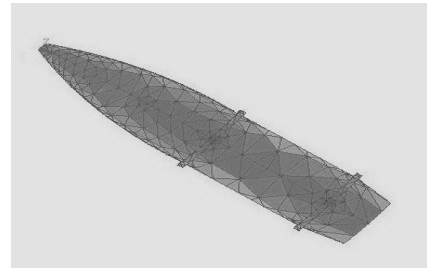


图 3 某榴弹弹丸有限元模型

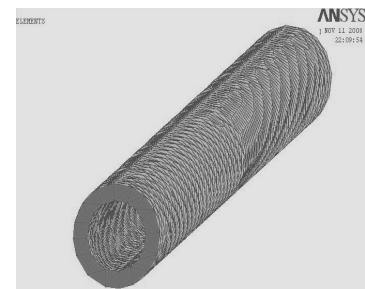


图 4 某自行火炮身管有限元模型

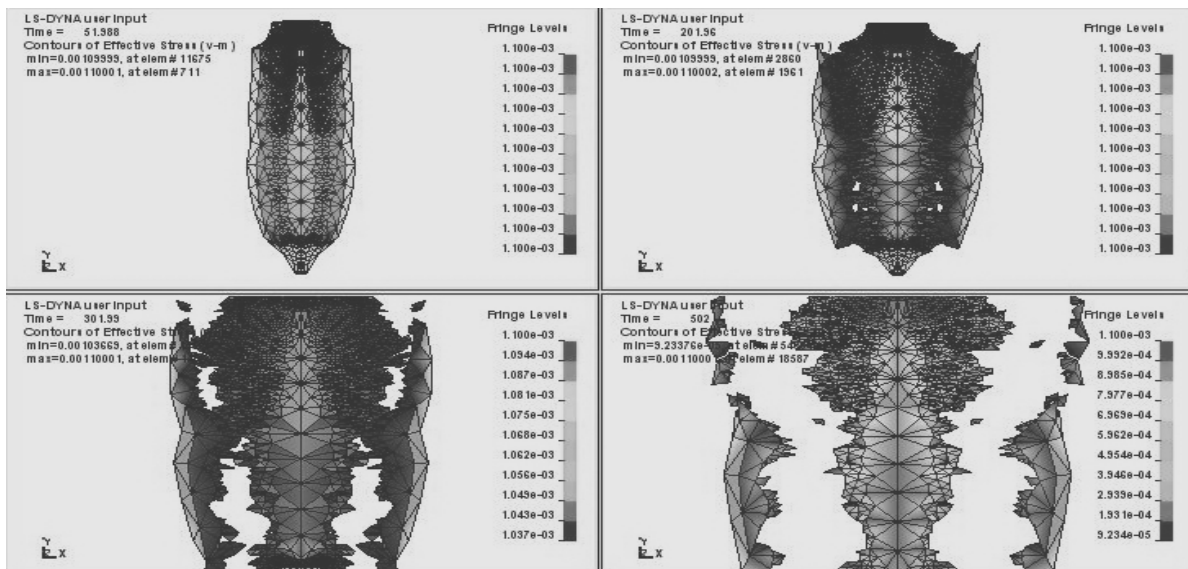


图 5 50、200、300、500 μs 时的破片场应力云图

为便于对弹丸壳体不同位置形成的破片速度进行分析, 如图 6 所示分别选取弹丸底部至顶部的 5 个区域部分的破片节点, 以得到弹丸爆炸形成破片场的相关结论, 进而研究其杀伤范围及杀伤效能。

利用 ANSYS/LS-DYNA 求解器计算求解, 然后利用后处理软件 LS-PREPOST 提取计算结果文件, 分析得到相应破片节点的速度时间变化曲线、位移时间变化曲线, 分别如图 7 和图 8。

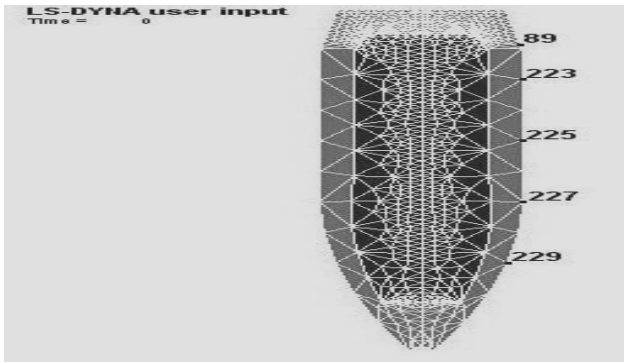


图 6 某榴弹剖面及破片节点示意图

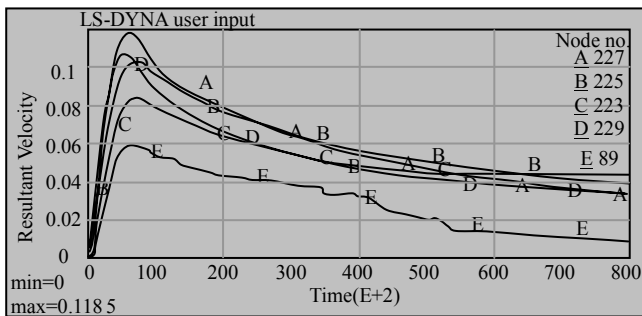


图 7 对应各破片节点的速度变化曲线

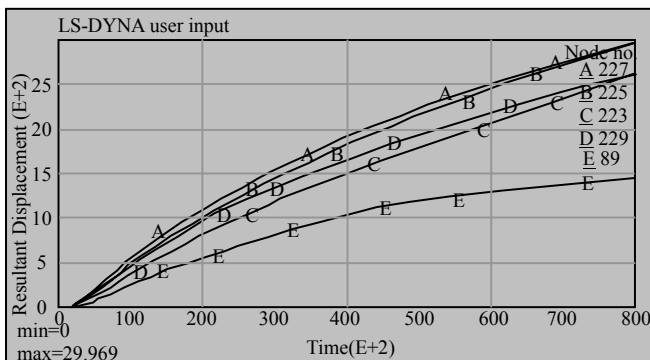


图 8 对应各破片节点的位移变化曲线

准确判断破片是否能够侵彻穿透钢板以及在穿透后是否具有有效杀伤动能成为分析破片对装甲目标毁伤效果的关键问题。

如图 9 和图 10, 质量为 3 g 的球形破片以 1 185 m/s 的初速度垂直入射厚度为 15 mm 的防护钢板, 而当侵彻深度达到 7.189 1 mm 时, 破片自身几乎完全破损失效, 其自身的侵彻速度也已经从 1 185 m/s 降至 0 m/s。

当破片质量分别取 3 g、5 g、8 g, 并分别以 30°、60°、90° 的命中角侵彻钢板时, 可以得到如表 4 的防护钢板相应的侵彻深度。

经有限元分析, 身管在受到高速破片 (破片质量 8 g、速度 1 185 m/s) 的冲击后, 由于应力作用会在身管内膛产生不同程度的凸起现象。如图 11, 身

管内膛最大凸起量可达到 3.7659 cm。当火炮身管内膛产生如此大的凸起部时, 必将使该装甲目标丧失射击能力, 从而成功达到毁伤该装甲目标的目的。

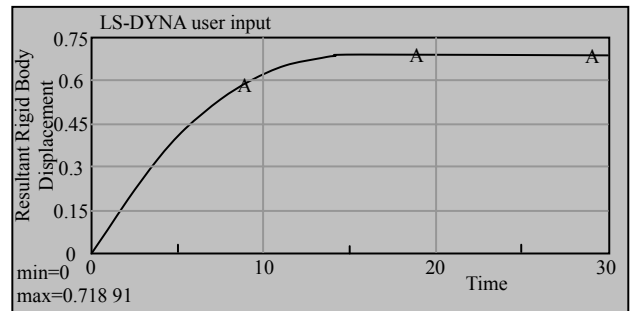


图 9 破片侵彻钢板深度变化曲线示意图

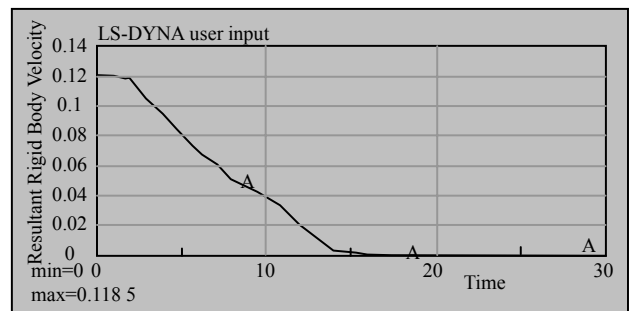


图 10 破片侵彻钢板速度变化曲线示意图

表 4 不同质量破片以不同命中角侵彻 15 mm 防护钢板

球形破片质量 (g)	破片侵彻角度	侵彻深度 (mm)	破片剩余速度 (m/s)	备注
3	30°	5.52	0	破片破损完毕
	60°	6.93	0	破片破损完毕
	90°	7.19	0	破片破损完毕
5	30°	7.11	0	破片破损完毕
	60°	8.90	0	破片破损完毕
	90°	13.01	0	破片破损完毕
8	30°	7.63	0	破片破损完毕
	60°	10.50	0	破片破损完毕
	90°	15.00	147.7	破片穿透钢板

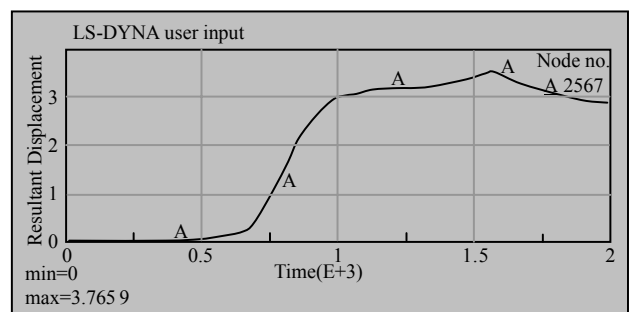


图 11 破片冲击使身管内膛产生凸起的变化曲线示意图

选取炸点离目标 0.5 m、2 m、4 m 三个距离, 分别对目标受力面承受的冲击波压力进行分析, 以判断是否可以对自行火炮防护装甲造成有效毁伤。具体分析结果如表 5。

表 5 不同距离上弹丸爆炸毁伤对目标防护装甲造成的毁伤情况

炸点与装甲目标受冲击面距离 (m)	等效防护装甲厚度 (mm)	钢板承受冲击波压力最大值 (Pa)	实际毁伤的毁伤模拟效果
0.5	15	1.14E+11	装甲出现明显失效变形和一定程度的钢板破损现象。装甲出现明显凹陷变形, 但未出现塑性失效现象。
	25		
2.0	15	6.69E+07	钢板出现轻微凹陷变形, 但钢板未出现破损现象。
	25		
4.0	15	3.60E+05	防护装甲未发现变形现象。
	25		

3 结论

通过利用 ANSYS/LS-DYNA 程序对某杀伤爆榴弹毁伤某型自行火炮类装甲目标的数值模拟, 综合分析毁伤数据可以得到如下毁伤结论:

1) 在弹丸直接命中自行火炮上、侧装甲条件下, 质量 ≤ 8 g、初速 ≤ 1 185 m/s 的破片是无法对防护装甲造成有效毁伤的。而质量大于 8 g 且具有大初速的破片可以有效侵彻防护装甲, 但是这部分破片所占比例不到破片总数的 34.5%, 且大质量破片一般都是由弹体底部、头部产生, 它们的初速远远达不到 1 185 m/s, 所以, 在命中条件下破片对自行火炮装甲的毁伤是非常有限的。同时, 当破片飞行 2 m 后, 其速度已经降到了 1 000 m/s 以下。由此, 当弹丸在非命中条件下且炸点距离防护装甲 2 m 以外时, 所形成的破片是无法对自行火炮形成有效毁伤的。换言之, 该型自行火炮防护装甲可以对 2 m 外爆炸形成的破片毁伤形成有效防护。而由试验测得某杀伤榴弹破片场可以对轻型装甲目标形成

(上接第 33 页)

4 结论

目前, 国外已经对高陡度保形光学零件进行工艺试验研究, 国内也开始了对这项技术的研究, 随着光学制造与检测技术的日益进步, 保形光学工程化的关键技术会很快得到突破。

参考文献:

[1] Shannon R R. Overview of conformal optics[C]. Proc. SPIE 3705, Orlando, FL, USA: Randal W. Tustison, 1999: 180-188.
 [2] David J knapp. Fundamentals of conformal dome design[C]. Proc. SPIE 4834, Tucson, AZ, USA: Paul K. Manhart, Jose M. Sasian, 2002: 394-409.
 [3] Mills J P. Conformal optics: theory and practice[C]. Proc. SPIE 4442, San Diego, CA, USA: Jose M. Sasian, Paul K. Manhart, 2001: 101-107.

1.52 m 的有效毁伤半径。

2) 弹丸在命中目标防护装甲时, 可以对防护装甲造成直接毁伤; 而对于非命中情况, 由表 5 可知, 当炸点距离目标小于 0.5 m 时, 同样可以造成防护装甲一定程度的破损毁伤; 当炸点与目标的距离逐渐增加到 2 m 时, 由于冲击波压力急剧降低而不能再对自行火炮的防护装甲造成有效毁伤。

3) 对于自行火炮等装甲目标, 形成有效毁伤不仅仅是针对防护装甲的破坏, 即使是在没有有效命中目标的情况下, 对于易毁伤的关键部件(例如发射身管、履带等)形成的毁伤也可以造成有效的破坏和毁伤。由图 11 可知, 当弹丸部分具有大动能的破片命中火炮身管时, 可以造成身管内膛一定程度的凸起变形(直接受力部位最大凸起量达到 3.765 9 cm), 从而导致该目标丧失射击能力。这种情况不仅适用于自行火炮等轻装甲目标, 同样适用于坦克等重装甲目标。

参考文献:

[1] 刘怡昕, 杨伯忠. 炮兵射击理论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998: 1.
 [2] 总参兵种部. 中国人民解放军陆军战役战术火力毁伤教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2003: 4.
 [3] 时党勇, 李裕春, 张胜民. 基于 ANSYS/LS-DYNA8.1 进行显式动力分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1.
 [4] Saeed Moaveni. 王崧, 刘丽娟, 董春敏, 等译. 有限元分析: ANSYS 理论与应用(第 3 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 1.
 [5] 郝秀平, 张家越, 薄玉成, 等. 有限元法在击针撞击应力分析中的应用[J]. 四川兵工学报: 2009(12): 24-26.
 [4] Evelyn M.Vaskas. Note on the Wasserman-Wolf Method for Designing Aspheric Surfaces[J]. J. Opt. Soc. Am, 1957(47): 669-670.
 [5] Patrick A. Trotta. Precision conformal optics technology program[C]. Proc. SPIE 4375, Precision conformal optics technology program: Randal W. Tustison, 2001: 96-107.
 [6] 李圣怡. 保形红外光学元件制造技术[J]. 航空制造技术, 2008, 49(24): 55-57.
 [7] 陈善勇, 戴一帆, 李圣怡, 等. 高陡度凸二次非球面的无像差点法子孔径拼接测量方法: 中国, 200810030819.7 [P]. 2008-08-13.
 [8] Jörg Baumgart, Herdwangen-Schönach. Nose cover: US, 7423245B2[P]. 2008-09-09.
 [9] 李东熙, 卢振武, 刘强, 等. 基于 Wassermann-Wolf 方程的共形光学系统设计研究[J]. 物理学报, 2007, 56(10): 5766-5771.
 [10] 孟庆超, 段萌, 张运强, 等. 红外空空导弹整流罩技术的新进展[J]. 航空兵器, 2008, 43(2): 24-27.