文章编号：1000-5773(2006)01-0109-04

破片对带铝壳炸药的冲击起爆数值模拟研究*

陈海利，蒋建伟，门建兵

（北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室，北京 100081）

摘要：采用 AUTODYN-2D 数值模拟软件，应用冲击起爆 Lee-Tarver 模型，对钢破片撞击带铝壳 Octol 炸药的起爆问题进行了数值模拟，分析了冲击起爆机理及破片形状、着速、铝壳厚度等因素对炸药起爆特性的影响规律，利用“升-降”法得到了破片对 Octol 炸药的临界冲击起爆速度。研究结果对反导战斗部破片杀伤元素的设计具有指导意义。

关键词：破片；冲击起爆；数值模拟；临界起爆速度

中图分类号：TJ410.33；O347.1 **文献标识码**：A

1 引 言

利用高速破片对来袭战斗部引爆是反导技术采用的主要毁伤方式，该问题的本质是破片对带壳炸药的冲击起爆问题，其作用过程是一种高温、高压和多相的非定常的反应过程，前人采用理论分析、实验和数值模拟方法对此问题开展了不少研究[1-2,5]。由于破片对带壳炸药的起爆性能与破片、壳体、炸药几何尺寸和材料特性等因素密切有关，开展破片对典型目标的冲击起爆问题研究，以获得对应炸药起爆机理和临界起爆条件是非常重要的。本工作以坦克主动防御系统毁伤元对来袭聚能战斗部为研究背景，采用 AUTODYN-2D 非线性动力学分析软件，对典型形状钢质破片撞击带不同厚度铝壳 Octol 炸药装药的作用过程进行数值模拟，分析了起爆机理，并得到临界起爆条件等结果。

2 数值模拟模型

图 1 为破片撞击典型反坦克聚能破甲战斗部示意图[5]，通常该类战斗部壳体采用厚度为 2～4 mm 的铝壳，装药采用 Octol 炸药。为便于研究，将实际问题简化为如图 2 所示的破片撞击带铝壳炸药的轴对称模型。模型中的破片取球形和圆柱形钢质破片。

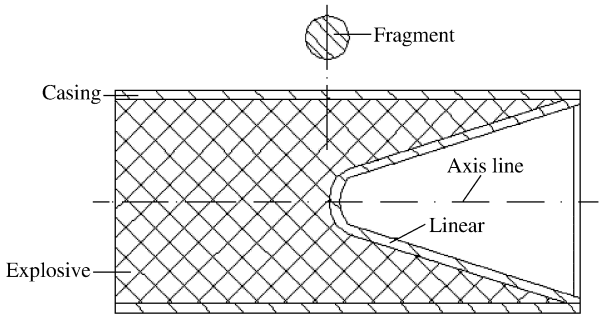


图 1 破片撞击反坦克导弹战斗部示意图

Fig. 1 Antimissile warhead impacted by a fragment

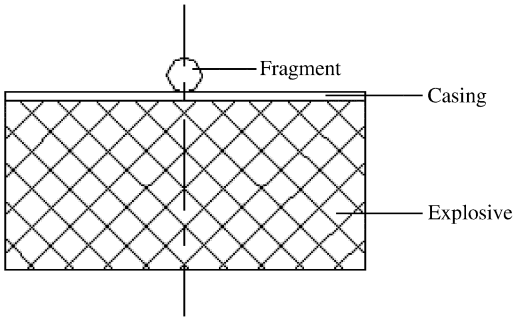


图 2 破片撞击战斗部简化模型

Fig. 2 Simple model of warhead impacted by a fragment

* **收稿日期**：2004-11-09；**修回日期**：2005-03-28

作者简介：陈海利(1978—)，男，硕士研究生，主要从事计算固体力学研究.

通讯作者：蒋建伟(1962—)，男，教授，博导，主要从事爆炸与冲击数值模拟等研究. E-mail：bitjjw@bit.edu.cn

采用 AUTODYN-2D[3] 数值模拟软件进行建模和计算。该软件具有 Lagrange、Euler、ALE、SPH 等计算方法[3]，本工作采用 Lagrange 计算方法。图 3 为建立的破片、铝壳和炸药离散化网格模型。为观测炸药中压力-时间变化历程，在炸药内部沿轴线方向每 2.5 mm 设置一个观测点，共设置 7 个观测点。

破片和铝材采用的材料强度模型、状态方程及侵蚀准则列于表 1。材料参数取自 AUTODYN 标准数据库[3]。

表 1 计算所用材料模型

Table 1 Material model used in calculation

Parts/ Material	EOS	Strength model	Erosion strain
Fragment/4340steel	Linear	Johnson-Cook	Geometric strain
Al casing/2024Al	Shock	Johnson-Cook	Geometric strain

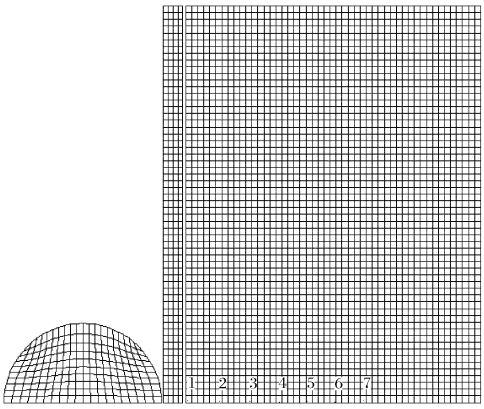


图 3 离散化网格模型

Fig. 3 Grid model

炸药的状态方程采用 Lee-Tarver 状态方程[4-5]：

$$\mathrm{d}F/\mathrm{d}t = I(1-F)^b(\mu-a)^x + G_1(1-F)^cF^dp^y + G_2(1-F)^eF^gp^z \quad (1)$$

式中：F 是燃烧质量分数，它在模拟爆轰过程中控制着炸药化学能的释放；I、b、a、x、G_1、c、d、y、G_2、e、g、z 为参数。参数 a 是阻止点火的临界压缩度；参数 I 和 x 控制着点火量，作为冲击强度及持续的函数；参数 G_1 和 d 控制着点火后反应的早期增长；参数 G_2 和 z 确定高压反应率。

3 数值模拟结果及分析

为研究壳体厚度、破片形状(球形、柱形)、尺寸对炸药起爆特性影响，建立了多种模拟计算方案，计算和处理炸药临界起爆条件数据时采用了“升-降法”。下面给出典型方案的仿真计算结果。

3.1 带壳炸药冲击起爆过程描述

以 10 mm 直径的钢球撞击带有 2 mm 厚铝板的 Octol 炸药模型的冲击过程为例作详细说明。

图 4 分别是破片在 2175 m/s 和 2150 m/s 速度条件下，上述模型典型时刻的速度矢量系列图，图 5 为观测点的压力随时间变化曲线图。

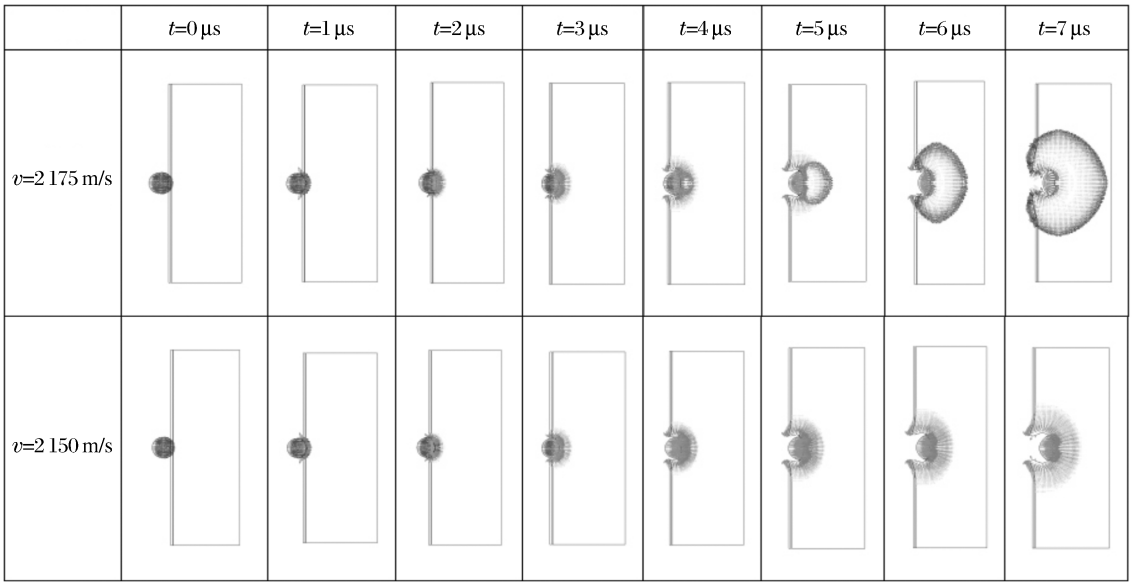


图 4 破片对带铝壳装药撞击过程中的典型时刻速度矢量图

Fig. 4 Velocity vector scheme covered with aluminum shell impacted by steel ball at different time

从图 4 中可看出,在 3 μs 时间内,两种着速条件下破片的作用过程表现为对铝壳的穿透和对装药的侵彻。而在大于 4 μs 时刻,在着速 2175 m/s 下的速度矢量图中,在距铝壳一定距离的炸药中出现一个速度阶跃点,且以此为中心迅速向炸药层传播,传播速度明显高于破片撞击速度。显然,此时炸药发生了爆轰,初始阶跃点即是起爆点,需要说明的是爆心并不发生在炸药和壳体界面。而着速 2150 m/s 小于使炸药起爆的临界速度,此时破片对炸药一直稳定侵彻,并未出现速度突变,炸药未发生爆轰。

由图 5 观测点的压力-时间曲线可得到同样结论,着速 2175 m/s 条件下在 0～3 μs 时间内,设置的观测点 1 和观测点 2 的压力变化趋势及压力值基本相同,在 4 μs 时刻观测点 3 处的压力突然升高,并在随后的观测点 4 和观测点 5 处继续升高,直至在观测点 6 和观测点 7 处,压力达到一定峰值后稳定传播,显然,此压力的传播即为爆轰的传播,起爆点在观测点 3 和观测点 4 附近。但在着速 2150 m/s 条件下,各观测点的压力依次减少,表明炸药未发生稳定爆轰。

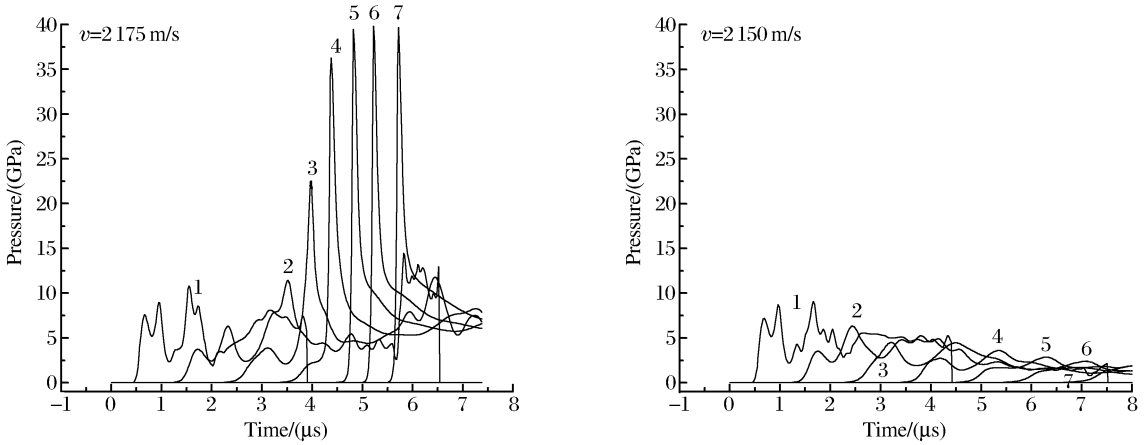


图 5　观测点的压力随时间变化曲线图

Fig. 5　Schemes of pressure history at different location

3.2　铝壳厚度对炸药起爆的影响

计算条件为 10 mm 直径的球形钢破片,炸药厚 50 mm,铝壳厚 1.8～4.0 mm。图 6 为计算获得的破片对不同厚度铝壳炸药的临界起爆速度曲线。

由计算结果可看出:在带有 1.8～4.0 mm 厚铝壳条件下,直径 10 mm 钢球对 Octol 炸药的临界起爆撞击速度均大于 2000 m/s,且临界速度随壳体厚度增加而增大。

3.3　破片尺寸(直径)对炸药起爆的影响

计算条件为直径 8～20 mm 球形和长径比为 1 的柱形钢破片,装药厚 50 mm;铝壳厚 2.5 mm。图 7 为数值计算获得的不同直径破片引爆炸药的临界速度曲线。

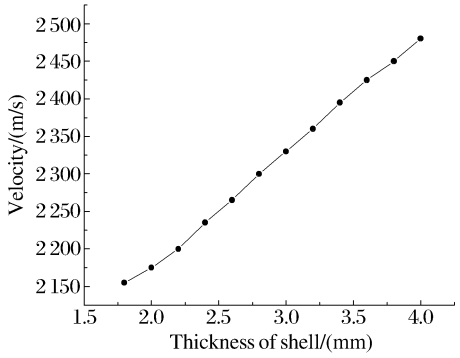


图 6　临界起爆速度随壳体厚度变化曲线

Fig. 6　Relationship between the critical detonation velocity and the thickness of aluminum

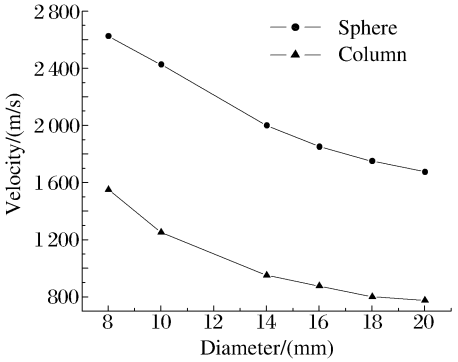


图 7　临界起爆速度随破片直径变化的曲线

Fig. 7　Relationship between the critical detonation velocity and the diameter of fragment

计算结果表明,带壳装药起爆所需的临界速度随破片直径的增大而逐渐减小,在直径相同的条件下,柱形破片的临界起爆速度比球形破片低。

3.4 破片形状对炸药起爆的影响

计算条件为相同质量的球形和柱形破片,球形破片直径为 10 mm,柱形破片分别为∅10 mm×6.67 mm和∅20 mm×1.67 mm 两种,铝壳厚度 2.5 mm,装药厚度 50 mm。

数值模拟计算得到的炸药临界起爆速度分别为 2 425 m/s、1 250 m/s 和 925 m/s。计算结果表明,在破片质量一定的条件下,炸药的临界起爆速度与破片撞击壳体的接触面积有关,直径越大,即撞击接触面积越大,所需的临界起爆速度越小。

4 结 论

采用 AUTODYN-2D 软件,对不同尺寸球形和柱形钢质破片,以不同速度对带铝壳 Octol 炸药的冲击过程进行数值模拟,通过数值模拟结果,认清了炸药的起爆机理和初步规律。主要结论如下:

(1) 带壳炸药受破片冲击的起爆点并不发生在炸药和壳体界面处。

(2) 破片起爆带铝壳装药的临界速度随壳体厚度的增加而增大。

(3) 在相同直径条件下,柱形破片起爆炸药的临界起爆速度要低于球形破片。

(4) 在相同质量条件下,破片起爆炸药的临界速度与接触面大小密切相关。

本文的研究为阶段性结果,破片对带壳炸药的冲击起爆尚需开展包括实验和三维数值模拟在内的研究,此工作正在进行之中。

References:

[1] Wang Sh Sh, Li Ch J, Ma X F, et al. An Experimental Study on the Initiation of Covered Charge Impacted by Tungsten Alloy Fragments [J]. Acta Armamentarii, 2001, 22(2): 189-191. (in Chinese)
王树山,李朝军,马晓飞,等. 钨合金破片对屏蔽装药撞击起爆的实验研究 [J]. 兵工学报, 2001, 22(2): 189-191.

[2] Hong J H, Liu T. A Study of Fragment Penetrating and Detonating a Target Missile [J]. Acta Armamentarii, 2003, 24(3): 316-321. (in Chinese)
洪建华,刘 彤. 杀伤破片侵彻击穿和引爆靶弹的分析与研究 [J]. 兵工学报, 2003, 24(3): 316-321.

[3] Interactive Non-Linear Dynamic Analysis Software AUTODYNTM User Manual. Revision 3.0 [CP]. [s. l.]: Century Dynamics Inc, 1997.

[4] Lee E L, Tarver C M. Phenomenological Model of Shock Initiation in Heterogeneous Explosives [J]. Physics of Fluids, 1980, 23(12): 2362.

[5] David D. Prediction the Initiation of High Explosive in Warheads Subjected to Fragment Impact [A]. //Second Ballistics Symposium on Classified Topics ADPA [C]. 1992: 10.

Numerical Simulation of Fragment Impacting on Charge with Aluminum Shell

CHEN Hai-Li, JIANG Jian-Wei, MEN Jian-Bing

(*State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Numerical simulation for the initiation or ignition of explosive with aluminum shell was carried out following the Lee-Tarver initiation model of the Autodyn-2D code when it was impacted respectively by sphere or column form fragment. The influence on charge detonation of the shape and velocity of fragments, and the thickness of aluminum was analyzed. By means of the "up-down" method, the critical detonation velocity of Octol was obtained.

Key words: fragment; impact initiation; numerical simulation; critical velocity for ignition