

doi: 10.7690/bgzd.2015.05.004

## 射弹引起的鱼雷自导系统毁伤仿真

胡小利<sup>1</sup>, 王炳<sup>2</sup>, 朱惠民<sup>3</sup>

(1. 南海舰队司令部, 广东 湛江 524000; 2. 海军装备部, 北京 100084;  
3. 海军工程大学指挥与控制系, 武汉 430033)

**摘要:** 鱼雷自导系统毁伤评估模型是研究鱼雷与反鱼雷对抗中的关键技术, 通过三维非线性动力学仿真软件 ANSYS/LS-DYNA 对射弹侵彻毁伤鱼雷自导系统进行数值模拟, 分析研究间隔靶的弹道极限速度与侵彻靶板层数、射弹与靶版的变形规律、速度位移规律和自导系统的毁伤概率等之间的关系。

**关键词:** 鱼雷; 自导系统; 等效靶; 数值模拟; ANSYS/LS-DYNA

**中图分类号:** TJ630.6 **文献标志码:** A

## Numerical Simulation on Torpedo Homing System Damage by Projectile

Hu Xiaoli<sup>1</sup>, Wang Bing<sup>2</sup>, Zhu Huimin<sup>3</sup>

(1. *The South China Sea Fleet Headquarters, Zhanjiang 524000, China*; 2. *Naval Equipment Department of PLA, Beijing 100084, China*; 3. *Department of Command & Control, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China*)

**Abstract:** The torpedo homing system evaluation model is the key technology of the torpedo and anti torpedo countermeasure researching. The numerical simulation of penetration projectiles to damaging torpedo homing system are studied by the three-dimensional-nonlinear dynamics simulation software ANSYS/LS-DYNA. The author analyzed the relationship between the ballistic limit speeds of the spaced targets and target layers of penetration, projectile and the deformation of target version, displacement of velocity and the damage probability of homing system.

**Keywords:** torpedo; homing system; equivalent target; numerical simulation; ANSYS/LS-DYNA

### 0 引言

自导系统可以看作是鱼雷的“眼睛”, 它对于鱼雷一系列进攻动作的实施具有关键作用, 一旦损坏, 将导致鱼雷不能发现目标, 使鱼雷丧失进攻能力, 最终导致鱼雷能源耗尽, 自沉大海。目前反鱼雷技术迅猛发展, 使用硬杀伤技术是水面舰艇对抗鱼雷的主要发展趋势<sup>[1]</sup>。用超空泡射弹技术挑战各种鱼雷攻击技术, 是舰艇水下末端防御武器系统中一个不容忽视的重要发展方向<sup>[2]</sup>。鉴于鱼雷自导系统强度低, 且作用巨大, 必须将此作为鱼雷毁伤研究的重点。但是现有的各种理论和实验研究方法都有各自不同的难点与条件限制<sup>[3]</sup>。侵彻问题的计算机仿真具有经济性与高效性特点, 愈来愈受到科研人员的普遍重视<sup>[4]</sup>, 计算方法日益完善。

笔者将多层间隔靶板系统视为鱼雷自导系统的毁伤等效靶, 建立了数值计算模型, 通过三维非线性动力学分析软件 ANSYS/LS-DYNA 仿真, 验证了鱼雷自导系统毁伤评估模型的可行性和正确性。

### 1 等效毁伤模型

自导系统是鱼雷的核心系统, 其工作状态的好

坏直接关系到鱼雷任务的成功与否。自导系统关键部件从头部顶点起, 依次为换能器基阵、发射机、接收机、信号处理电路和系统管理等。沿弹体轴向, 它们采用板式并行多层排列结构连接。各自等效强度相当于 1~2 mm 厚度 LY12CZ 硬铝。基阵可以是平面的、柱面的或球面的。通常, 基阵前段有导流罩, 保持雷顶的线形和表面光洁度, 以降低流噪声。导流罩的材料使用钢、玻璃钢或透声橡胶。为了降低通过雷体的传导噪声, 基阵应与雷体悬浮隔离。等效强度相当于 2~3 mm 厚度 LY12CZ 硬铝。

射弹从自导舱侧向进行攻击时, 除对换能器基阵、信号处理电路等关键部件预计最多具备穿透 2 mm 硬铝的能力即可产生损伤外, 其他部件的损伤均需满足击穿 3~4 mm 厚度硬铝板后, 尚有一定的剩余动能。

射弹从自导舱头部顶端沿鱼雷雷体轴向进行攻击时, 命中自导舱, 则有 2 种可能: 1) 射弹只对自导舱造成毁伤, 无法再穿透战斗部; 2) 射弹着速较大, 射弹穿透自导舱, 再穿透战斗部防护装甲, 引爆战斗部。在目前无法对真实目标进行实弹损伤试验和详细结构测绘的情况下, 根据自导系统上述结

收稿日期: 2015-03-12; 修回日期: 2015-04-30

作者简介: 胡小利(1975—), 男, 陕西人, 本科, 从事舰炮武器系统研究。

构状况及声电元器件多、中间存在多层间隙等特征，假定射弹贯穿整个自导系统需要具备穿透总厚度为 10~20 mm 的 LY12CZ 硬铝多层间隔靶的能力。

综合上述分析，笔者选定多层间隔靶板系统为自导系统的损伤等效靶模型。单一靶板为 2 mm 厚度 LY12CZ 硬铝 (面积 0.5 m×0.5 m)，2 层间隔 20 mm，层数为 6。

### 2 数值计算模型

由于问题的几何与受力的对称性，为了节省计算时间，提高效率，可取 1/2 结构来建立二维数值计算模型，如图 1。其中靶板为前文所得的等效模型尺寸。射弹长径比为 1:10，其中弹体直径 30 mm，锥状部分长 183 mm，圆柱部分长 117 mm。

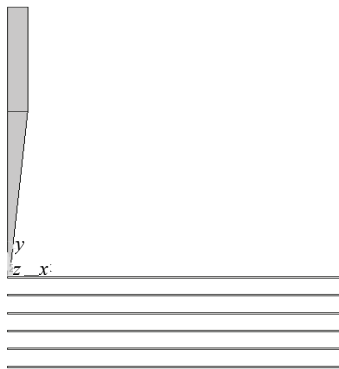


图 1 二维数值计算模型

计算中射弹和靶板均采用 Lagrangian 四面实体单元进行网格划分，模型共划分单元 1 460 个，其中射弹单元数目为 500 个，每层靶板单元数目为 160 个；在相应的对称边界施加对称边界条件，在靶板

边施加固定边界约束，载荷为射弹的着靶速度；接触算法采用 \*CONTACT\_2 D\_AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE 关键字<sup>[5-6]</sup>。

射弹材料为钨合金，靶板材料为硬铝。射弹及硬铝靶板均选用 Johnson-Cook 材料模型和 Grüneisen 状态方程。计算中采用的主要材料参数如表 1 所示。

表 1 主要材料参数

材料	射弹	靶板	材料	射弹	靶板
$\rho/(g/cm^3)$	17.6	2.77	N	0.12	0.73
A/MPa	1 806	369	C	0.016	0.008 3
B/MPa	177	684	M	1	1.7

### 3 结果分析

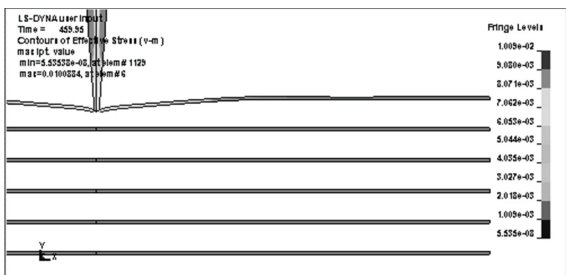
在薄板体撞击中，侵入问题已经显得不重要，重要的是弹道极限速度与侵彻间隔靶板层数。弹道极限速度可以准确预报弹体在给定角度下是否能有效击穿，而侵彻间隔靶层数可以了解弹体不同着靶速度对靶板的破坏程度。

计算过程中，采用“升-降法”调整射弹的着靶速度反复进行计算，得到射弹不同着靶速度下的穿透靶板数情况，见表 2。

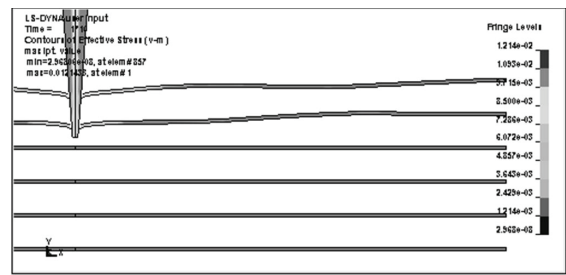
表 2 射弹着靶速度与穿透靶板数

速度 $v/(m/s)$	穿透靶板数 $N$	速度 $v/(m/s)$	穿透靶板数 $N$
$\leq 4$	0	16~18	4
5~9	1	19~21	5
10~11	2	$\geq 22$	6
12~15	3		

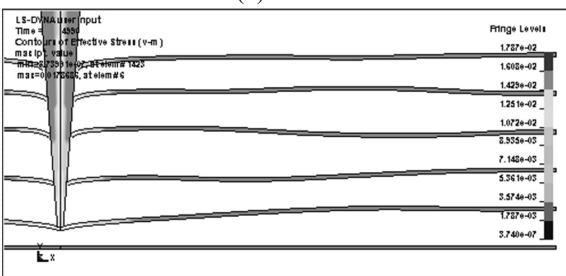
图 2 为射弹着靶速度 22 m/s 下，不同时间弹靶变形及等效应力云图。由于钨质射弹与铝质靶板材料强度相差悬殊，仿真结果表明：射弹贯穿靶板后，不出现质量销蚀，几乎不变形。



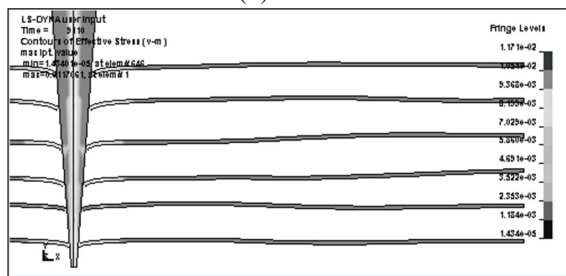
(a)  $N=1$



(b)  $N=2$



(c)  $N=4$



(d)  $N=6$

图 2 射弹侵彻多层间隔靶过程

图 3 给出了靶板被贯穿后的变形情况及 Von-Mises 应力云图。由图可知，靶板发生延性扩孔以外，靶板还发生明显的弯曲变形。

图 4 为射弹着靶速度 22 m/s 下的速度和位移时程曲线。由图中速度时程曲线可知，弹丸以较低的着靶速度侵彻靶板时，当弹丸速度为零后，随后弹

丸出现了反弹速度，这主要是由于弹丸侵彻造成靶板整体产生向下弯曲，随着靶板变形的恢复，使弹丸具有反向运动的速度。从图 4 位移时程曲线中可以看出，弹丸在侵彻过程中的位移达到最大后，并不保持不变，而是缓慢减小，这也说明弹丸在侵彻后期存在反向运动。

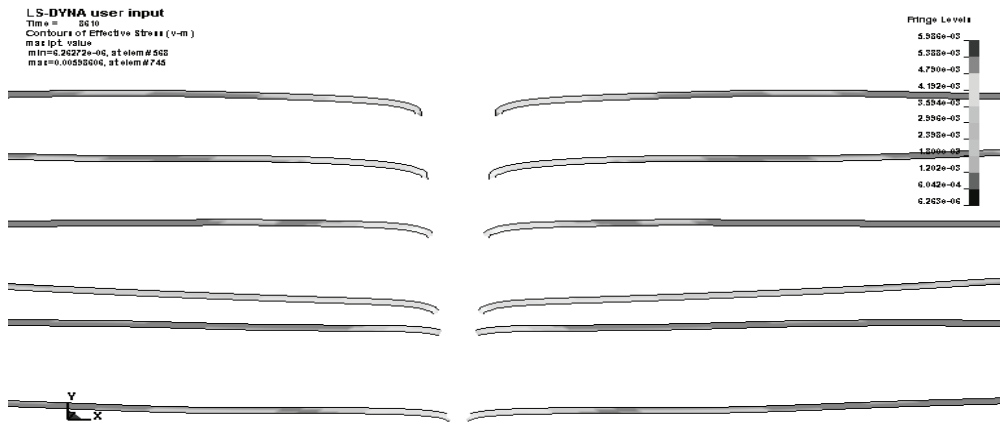


图 3 等间隔靶板毁伤云图

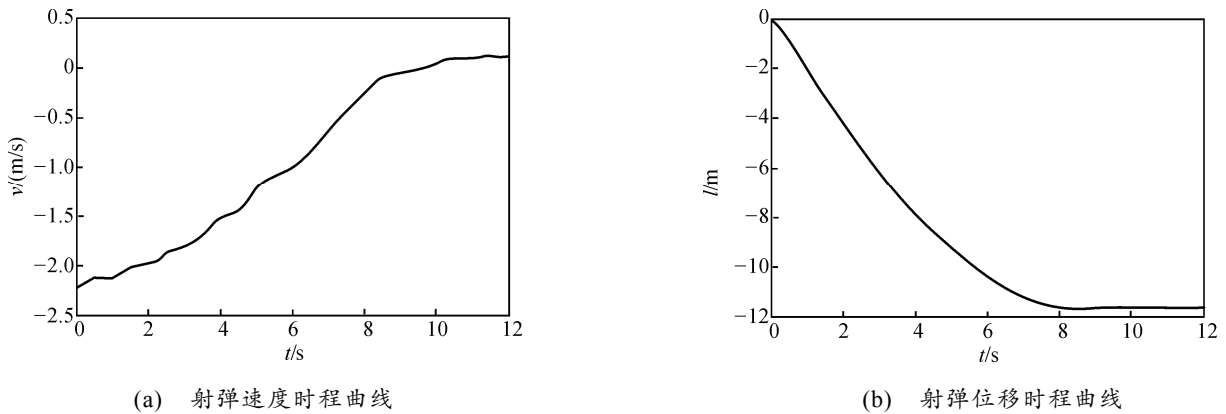


图 4 射弹速度、位移时程曲线

在实际应用中，毁伤评估是一项重要的工作。根据自导系统毁伤等效靶，假定单发射弹命中弹载计算机或自导控制信号传输线路为小概率事件而不予考虑。一般情况下，单发射弹命中自导系统部件所造成的自导系统毁伤概率  $P$  与射弹侵彻层数  $N$  的关系初步拟为：

射弹侧面攻击自导舱

$$P = \begin{cases} 0.3 & N \geq 3 \\ 0.2 & N = 2 \\ 0.1 & N = 1 \\ 0.0 & N = 0 \end{cases} \quad (1)$$

射弹正面迎头攻击自导舱

$$P = \begin{cases} 1.0 & N \geq 6 \\ 0.8 & N = 5 \\ 0.6 & N = 4 \\ 0.5 & N = 3 \\ 0.3 & N = 2 \\ 0.2 & N = 1 \\ 0.0 & N = 0 \end{cases} \quad (2)$$

由此可得射弹不同着靶速度下正面迎头攻击自导舱的毁伤概率曲线，如图 5。由图可知自导系统是鱼雷的薄弱舱段，射弹侵彻鱼雷壳体后，自导系统在较低着的靶速度下，即可造成较大的毁伤概率。