

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.02.010

半穿甲战斗部自锻破片模型

侯博^{1,2}, 许腾¹, 蒋贇³

(1. 海军指挥学院合同战术教研室, 南京 210016; 2. 中国人民解放军 91841 部队, 广东 湛江 524009;
3. 海军兵种指挥学院作战环境教研室, 广州 510430)

摘要: 针对半穿甲战斗部对轻薄装甲目标具有极大的毁伤效果的需求, 提出一种研究自锻破片的空间运动及其毁伤效能的方法。通过研究分析自锻破片的生成机理及运动规律, 初步建立了半穿甲战斗部自锻破片的模型。该模型可为今后研究自锻破片空间运动提供参考。

关键词: 半穿甲; 战斗部; 自锻破片; 模型

中图分类号: TJ761.4⁺4 **文献标志码:** A

The Model of Semi-Armor-Piercing Warhead's Self-Forging-Fragments

Hou Bo^{1,2}, Xu Teng¹, Jiang Yun³

(1. Staff Room of Combined-Arms Tactics, Naval Command College, Nanjing 210016, China;

2. No. 91841 Unit of PLA, Zhanjiang 524009, China;

3. Staff Room of Battlefield Environment, Naval Arms Command Academy, Guangzhou 510430, China)

Abstract: Because Semi-Armor-Piercing warhead has tremendous destroying effects to thin armor targets, a method to study self-forging-fragment's spatial movement and damage effectiveness is put forward for the needs of research. Based on researching and analyzing the producing mechanism and moving regularity of semi-armor-piercing warhead's self-forging-fragments, the fundamental model is built up. The model can provide some reference to study self-forging-fragment's spatial movement.

Key words: semi-armor-piercing; warhead; self-forging-fragments; model

0 引言

自 20 世纪 50 年代以来, 反舰导弹逐步成为现代海战中的主要武器, 世界各国海军战斗舰艇几乎都装备了性能各异的反舰导弹^[1]。战斗部是它唯一的有效载荷, 又是直接执行战斗任务的部件^[2]。

由于现代新建造的军舰大多是装甲较薄的驱逐舰、护卫舰和导弹快艇等, 而半穿甲爆破型战斗部是目前对轻薄装甲目标毁伤效果最好的战斗部类型, 所以近年来的反舰导弹多采用半穿甲爆破型战斗部。半穿甲爆破型战斗部借助导弹本身的动能, 使弹头钻入军舰内部爆炸, 靠自锻破片、随机破片和冲击波破坏军舰^[3]。因为在船体内爆炸, 战斗部的全部能量都可作用于目标舰船, 因此可以获得最大的爆破效果, 对舰体产生最大的破坏。

1 自锻破片

自锻破片是采用特殊结构的药型罩, 在爆炸作用下自锻成预设形状的弹丸。因为自锻破片质量大, 弹丸速度高, 结构形状有利于破甲效果^[4]。自锻破片在舰体内部可充分发挥其破坏效果, 对于一般大

中型驱逐舰、护卫舰(舰船长度 150~180 m, 宽 16~18 m)来说, 如果半穿甲爆破型战斗部钻入舰体内 3~4 m 处爆炸, 自锻破片可穿透舰船的左右舷及底板。由于自锻破片的作用距离远, 在贯穿舰船舱壁时还会产生二次破片, 因此击中舰船弹药库、锅炉、主机的可能性更大。而一旦击中这些关键部位, 可能会引起连锁反应, 从而使舰船彻底丧失战斗力。

如果药形罩的锥角很大(120~150°), 战斗部爆炸时就不会把药形罩压缩成液态的金属射流, 而是会形成一个固态的金属体。这个金属体一般被叫做自锻弹丸或自锻破片, 其速度一般为 2 000~3 500 m/s, 形状短粗, 因此穿甲能力不如空心装药战斗部产生的金属射流。但它不受战斗部是否旋转的影响, 炸高对其穿甲能力影响也较小。自锻破片的穿甲能力主要取决于药形罩和战斗部装药的几何形状、性能和初始爆轰波阵面的形状等。与空心装药相比, 它适于在更远的距离上攻击更薄的装甲。

在半穿甲爆破型战斗部的破坏作用中, 自锻破片对舰船的破坏范围最大, 是主要的破坏因素。自锻破片的空间飞散模型可对模拟半穿甲战斗部在舰

收稿日期: 2011-09-01; 修回日期: 2011-09-28

作者简介: 侯博(1976—), 男, 陕西人, 博士研究生, 工程师, 中校, 从事海军合同战斗效能评估研究。

艇内部爆炸效果, 进而准确评估半穿甲战斗部毁伤效果提供借鉴和参考。图 1 为典型的半穿甲爆破型战斗部结构。

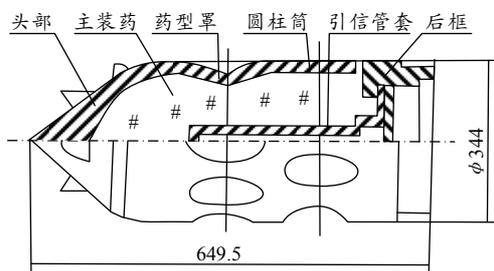


图 1 典型的半穿甲爆破型战斗部

2 自锻破片数量

目前很多半穿甲战斗部在设计制造时沿壳体表面都设计有 1~3 排药型罩。如德国的“鸬鹚-I”型导弹有 16 枚药型罩,“鸬鹚-II”型有 24 枚药型罩。药型罩的锥角为 140°, 呈椭圆形, 材料为低碳钢, 厚度 4 mm。“鸬鹚-II”型战斗部的 24 个大锥角药型分 3 排,“鸬鹚-I”型战斗部的 16 个药型罩分两排, 焊接在壳体表面, 每排各 8 个药型罩^[5]。美国“白眼星”反舰导弹, 其直径 382 mm 的战斗部壳体上有 1 排 8 个 120°锥角的药型罩, 起爆后形成 8 个自锻破片。

不同型号的半穿甲战斗部壳体表面的药型罩数量不同, 因此爆炸时产生的自锻破片数量也不相同, 具体数量由战斗部的具体型号决定。

3 自锻破片质量

在战斗部爆炸时, 大锥角药型罩 70%~80% 的金属形成自锻破片, 其余的形成随机破片。自锻破片呈弹丸形, 由药型罩翻转而成^[3]。因此自锻破片的质量约为药型罩质量的 70%~80%。即:

$$M_{ZD} = (0.7 \sim 0.8) \cdot M_{YXZ} \quad (1)$$

式中: M_{ZD} 为自锻破片质量; M_{YXZ} 为药型罩的质量。药型罩的质量也与具体导弹型号有关。

据文献分析,“鸬鹚-I、II”型导弹战斗部药型罩质量一般为 1.5~2.0 kg, 形成的自锻破片质量一般在 1.2~1.4 kg 之间^[1]。

4 自锻破片速度

按 Gurney 公式^[6-9]计算破片初速 V_0

$$V_0 = \delta \cdot \left(\frac{C/M}{1+0.5C/M} \right)^{1/2} \quad (2)$$

式中: δ 为 Gurney 常数, 其取值取决于炸药性质,

对于 TNT, $\delta=7\ 600$; C 为战斗部装药质量, kg; M 为战斗部壳体质量, kg。

在空气中破片飞行速度衰减规律公式^[8-10]:

$$V_R = V_0 \cdot e^{-\frac{C_D \cdot S \cdot \rho \cdot g \cdot R}{2m_f}} \quad (3)$$

式中: V_R 为破片速度, m/s; C_D 为破片阻力系数, 与破片的速度和形状有关, 一般取常数: 球形破片取 0.97, 圆柱形破片取 1.17, 规则矩形破片取 1.24, 不规则矩形破片和菱形破片取 1.5^[9]; R 为破片飞行距离, m; ρ 为空气密度, kg/m³; g 为重力加速度, m/s²; m_f 为破片质量, kg; S 为破片平均迎风面积, m², $S = Km_f^{2/3}$; K 为破片形状系数, m²/(kg)^{2/3}, 不规则破片 K 取 5×10^{-3} 。

据相关资料记载, 反舰导弹半穿甲战斗部的自锻破片初速一般在 1 800~2 400 m/s^[1]。

5 自锻破片空间飞散模型

5.1 战斗部爆炸点空间坐标系

要准确描述自锻破片在空间中的飞散状态, 就必须建立统一的空间坐标系。战斗部的空间坐标如图 2。

建立舰船坐标系 $OXYZ$: 以战斗部爆炸点为原点 O , 舰船的纵轴方向为 Z 轴, 垂直海平面方向为 Y 轴, 垂直舰船纵剖面方向为 X 轴。在爆炸点, 战斗部轴线与 XOZ 面的夹角为 α , 与 Y 轴的夹角为 $(90^\circ - \alpha)$; 战斗部轴线与 XOY 面的夹角为 β , 与 Z 轴的夹角为 $(90^\circ - \beta)$; 战斗部轴线与 YOZ 面的夹角为 γ , 与 X 轴的夹角为 $(90^\circ - \gamma)$ 。

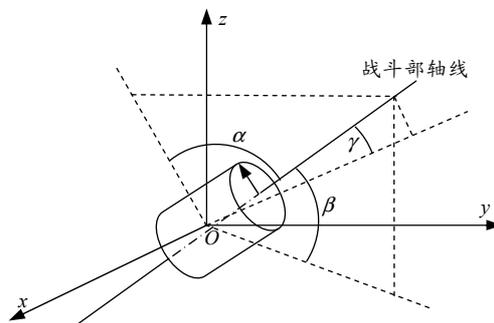


图 2 战斗部的空间坐标系

5.2 战斗部轴线与坐标轴之间夹角

首先建立战斗部爆炸点的空间坐标系, 如图 3。假设战斗部侵入舰船时的姿态为: 俯仰角 θ_1 , 方向角(相对于舰首方向) θ_2 。

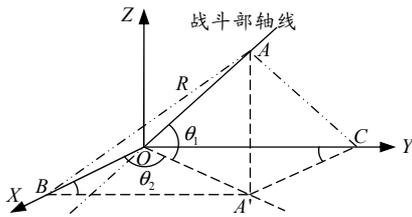


图 3 战斗部爆炸点的空间坐标系

设 $OA=R$, A' 为 A 点在 XOY 平面上的投影点。

则有:

$$\begin{cases} AA' = R \cdot \sin \theta_1 \\ OA' = R \cdot \cos \theta_1 \\ OB = R \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \\ OC = R \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \end{cases} \quad (4)$$

A 点的坐标 (X, Y, Z) 可由下式求得。

$$\begin{cases} X = OB = R \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \\ Y = OC = R \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \\ Z = A'A = R \cdot \sin \theta_1 \end{cases} \quad (5)$$

可得

$$\begin{aligned} AB &= \sqrt{OA^2 - OB^2} = R \cdot \sqrt{\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_2} \\ AC &= \sqrt{OA^2 - OC^2} = R \cdot \sqrt{\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_1 \cdot \sin^2 \theta_2} \end{aligned} \quad (6)$$

则由余弦定理可求得战斗部轴线与 X 轴的夹角 α 、与 Y 轴的夹角 β 以及与 Z 轴的夹角 γ :

$$\begin{aligned} \alpha &= \arccos(\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2) \\ \beta &= \arccos(\cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2) \\ \gamma &= 90^\circ - \theta_1 \end{aligned} \quad (7)$$

5.3 自锻破片空间飞散平面方程

建立自锻破片飞散空间模型直角坐标系 $OX'Y'Z'$: 以战斗部爆炸点为原点 O' (O 与 O' 重合), 战斗部轴线方向为 Y' 轴, 相当于将前面的战斗部爆炸点坐标系先沿垂直方向旋转 θ_1 角度, 再沿水平方向旋转 θ_2 角度。如图 4。

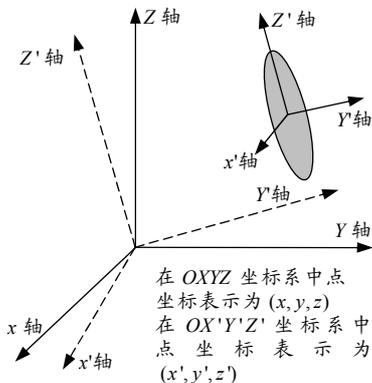


图 4 自锻破片空间飞散坐标系

由于药型罩沿着战斗部壳体均匀分布, 因此战斗部爆炸后, 自锻破片都沿着垂直于战斗部轴线的方向均匀飞散。战斗部的尺寸相对于舰船的尺寸来说很小, 为了便于计算, 可近似把整个战斗部看作坐标系中的一个点, 则自锻破片都由该点飞散出来, 且分布在垂直于战斗部轴线的平面之上。由于每个自锻破片飞散的初速度几乎一样, 因此可认为自锻破片的飞散平面为圆形^[11]。

在 $OX'Y'Z'$ 坐标系中自锻破片散布在 $X'OZ'$ 平面上, 则在 $OX'Y'Z'$ 坐标系中自锻破片的方程为

$$\begin{cases} X'^2 + Z'^2 = R^2 \\ Y' = 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中 R 为在战斗部爆炸后 t 时刻自锻破片飞行的距离。不考虑自锻破片速度衰减时, 飞行距离可近似由下式计算:

$$R = V_0 \cdot t \quad (9)$$

在 $OXYZ$ 坐标系 (图 3) 中, 由公式 (5) 求得 OA 的矢量 $(R \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2, R \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2, R \cdot \sin \theta_1)$, 则经过原点 O 且垂直于矢量 OA 的平面方程为:

$$R \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot X + R \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot Y + R \cdot \sin \theta_1 \cdot Z = 0 \quad (10)$$

自锻破片飞散圆面可以看作是由经过原点且垂直于矢量 OA 的平面与半径为 R 的球体相交而得, 其方程可由以下方程组表示:

$$\begin{cases} R \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot X + R \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot Y + R \cdot \sin \theta_1 \cdot Z = 0 \\ X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2 \end{cases} \quad (11)$$

5.4 自锻破片空间飞散角

假设半穿甲战斗部每排预设 N 个药型罩, 这些药型罩在爆炸后就会形成每排 N 个自锻破片。则每排 N 个自锻破片的飞散方向之间夹角均为 $\theta = (360/N)^\circ$ 。任意设定一个自锻破片 D_1 的飞散方向为 $\omega (0^\circ \leq \omega \leq \theta)$, 则其他自锻破片的飞散方向为 $D_2 = \omega + \theta, D_3 = \omega + 2\theta, \dots, D_N = \omega + (N-1) \cdot \theta$ 。

6 结束语

在目前对半穿甲战斗部毁伤能力的研究中, 还没有对自锻破片进行系统分析的, 其中, 尤其缺乏对自锻破片空间飞散规律的研究。作者较为系统地分析了半穿甲爆破型战斗部的自锻破片, 并初步建立了自锻破片的模型, 为研究自锻破片空间运动提供了方法。

参考文献:

[1] 叶本治, 黄启友, 戴君全, 等. 半穿甲反舰导弹战斗部的毁伤效果分析(综述)[J]. 爆轰波与冲击波, 1995(1): 37-44.

[2] 李静海. 舰舰导弹半穿甲型“多 P 装药”战斗部的分析与研究[J]. 舰船论证参考, 2002(1): 27-30.

[3] 李静海. 半穿甲爆破型反舰导弹战斗部毁伤效果分析[J]. 飞航导弹, 2005(7): 52-55.

[4] 虞德水, 于川, 张远平, 等. 半穿甲战斗部对模拟舰船结构毁伤效应试验研究[J]. 飞航导弹, 2005(7): 52-55.

[5] 王淑华, 高瑞, 蔡炳源. 导弹战斗部及其装药的发展研究[C]. 无人飞行器学会战斗部与毁伤效率专委会第一

届学术会议, 1990(1): 43-54.

[6] John Pearson. A Fragmentation Model for Cylindrical Warheads[R]. AD-A238153, 1990: 19.

[7] 卢云芳, 李翔宇, 林玉亮. 战斗部结构与原理[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 91-92.

[8] 李伟, 朱锡, 梅志远, 等. 战斗部舱内爆炸对舱室结构毁伤的实验研究[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(3): 34-37.

[9] 石全, 米双山, 王广彦, 等. 装备战伤理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 98-101.

[10] 杨云斌, 曲明, 钱立新. 破片战斗部威力仿真方法与仿真软件研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(10): 14-19.

[11] 常双君, 董国庆. 无损检测在提高导弹战斗部发射安全性中的应用[J]. 四川兵工学报, 2011, 31(6): 4.

(上接第 33 页)

$$R^4 = \begin{bmatrix} 0.414 & 0.152 & 0.755 \\ 0.271 & 0.503 & 0.368 \\ 0.602 & 0.333 & 0.468 \\ 0.377 & 1.000 & 0.568 \end{bmatrix},$$

$$R^5 = \begin{bmatrix} 0.204 & 0.319 & 0.910 \\ 0.190 & 0.327 & 0.631 \\ 0.601 & 0.245 & 0.481 \\ 1.000 & 0.441 & 0.966 \end{bmatrix},$$

$$R^6 = \begin{bmatrix} 0.329 & 0.487 & 1.000 \\ 0.260 & 0.572 & 0.513 \\ 0.641 & 0.294 & 0.267 \\ 0.513 & 0.350 & 0.279 \end{bmatrix},$$

$$R^7 = \begin{bmatrix} 0.156 & 0.723 & 0.624 \\ 1.000 & 0.166 & 0.169 \\ 0.254 & 0.976 & 0.229 \\ 0.851 & 0.461 & 0.132 \end{bmatrix}.$$

结合专家和指挥员意见, 运用 AHP 确定各决策目标的权重向量为 W ,

$$W = (0.050\ 4, 0.280\ 1, 0.050\ 4, 0.030\ 6, 0.258\ 7, 0.134\ 0, 0.195\ 8)$$

计算各局势在决策目标下的综合效果测度, 得到

$$R = \sum_{k=1}^7 W(k) \cdot R^k = \begin{bmatrix} 0.399 & 0.503 & 0.622 \\ 0.612 & 0.358 & 0.443 \\ 0.490 & 0.583 & 0.438 \\ 0.695 & 0.620 & 0.496 \end{bmatrix}$$

取最大效果测度对应的局势, 得出表 2 所示的火力方案优选的决策结果:

表 2 炮兵火力方案优选决策结果

火力方案 1	火力方案 2	火力方案 3	火力方案 4
不宜选用	直接选用	修改后选用	直接选用

由于火力方案 2 的效果测度值小于火力方案 4 的效果测度值, 因此若在作战时直接从预案中选用火力方案, 则优先选用火力方案 4。

4 结束语

结果表明: 基于灰色局势决策的炮兵火力方案优选法能够有效克服战场信息的不确定性和不完整性, 为炮兵指挥员选择火力方案提供了一种高效、科学的辅助决策方法。

参考文献:

[1] 刘树海. 炮兵作战指挥学概论[M]. 北京: 解放军出版社, 2001.

[2] 郝强, 等. 模糊灰色方法在防空兵作战分析中的应用[M]. 北京: 军事科学出版社, 1997.

[3] 王晓兵, 李义文, 薛佳. 基于灰色局势决策法的炮兵火力方案优选[J]. 沈阳炮兵学院学报, 20011(2): 31-32.

[4] 满玲, 等. 灰色的军事领域[M]. 北京: 解放军出版社, 1988.

[5] 马守华, 江素珍, 袁宏伟. 基于灰色局势决策理论的炮兵火力计划优选[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(5): 117-118.