

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.06.001

触发引信反辐射导弹毁伤概率研究

刘领先, 张文凯, 罗花锋, 童红俊

(中国人民解放军 91458 部队装备部军械处, 海南 三亚 572021)

摘要: 为了给反辐射导弹作战运用提供依据, 对空地反辐射导弹的毁伤概率进行研究。以只装备触发引信的反辐射导弹毁伤概率为例, 分析反辐射导弹侵彻过程、冲击波毁伤模型及破片毁伤模型, 探讨反辐射导弹对目标毁伤概率的计算方法, 并对其进行计算机仿真。仿真结果表明, 该模型是有效的。爆炸冲击波对目标的毁伤距离比破片对目标的毁伤距离要小; 随着炸点距目标最短距离的增加, 触发引信反辐射导弹毁伤概率逐渐减小。

关键词: 触发引信; 反辐射导弹; 杀伤概率

中图分类号: TJ765 **文献标志码:** A

Research on the Kill Probability of Anti-Radiation Missile with Contact Fuse

Liu Lingxian, Zhang Wenkai, Luo Huafeng, Tong Hongjun

(Ordnance Branch, Equipment Department, No. 91458 Unit of PLA, Sanya 572021, China)

Abstract: In order to provide the basis for the combat use of anti-radiation missile, research the kill probability of ground anti-radiation missile. Taking the anti-radiation missile kill probability as example, which is only equipped with impact fuse, the anti-radiation missile penetration process, the shock wave damage model and the damage fragments model are analyzed, the target of anti-radiation missile kill probability is calculated and much of computer simulation is run. The simulation results prove its effectiveness. Blast damage distance from the target is smaller than the fragments'. With the increasing of the shortest distance between the bombing location and the target, decrease the kill probability of the anti-radiation missile impact fuse.

Key words: contact fuse; anti-radiation missile; kill probability

0 引言

空地反辐射导弹(anti-radiation missile, ARM)是摧毁敌防空体系中雷达设备的机载压制性武器, 它利用敌方雷达或雷达干扰源所发出的电磁波作为导引信号, 将导弹导向目标, 可以摧毁防空系统的制导、警戒和引导雷达, 压制防空武器和预警指挥系统, 为空中进攻作战提供保障, 是现代战争中争取制电磁权不可缺少的硬杀伤武器。为了研究只装备触发引信的反辐射导弹的毁伤概率, 笔者从反辐射导弹侵彻作用、冲击波毁伤、破片毁伤 3 个方面进行研究, 并建立了毁伤概率模型。

1 导弹的侵彻作用

对于使用触发引信的反辐射导弹, 战斗部在冲击介质一段时间后, 战斗部装药才能全部爆轰完毕。如果反辐射导弹未能直接命中目标, 导弹将对地表产生侵彻效应, 侵彻的深度取决于爆轰完毕的时间, 时间的长短取决于引信的瞬发度和战斗部装药的爆轰时间等因素。导弹对地表的侵彻不仅会影响战斗部爆轰的高度, 还会减小导弹的速度, 从而影响反

辐射导弹的毁伤概率。按照萨布斯基公式^[1], 经过时间 t 后, 反辐射导弹爆炸时的速度如式 (1):

$$v_{bz} = \frac{1}{\sqrt{b}} \tan \left[\arctan(\sqrt{b}v_0) - \frac{\pi d^2 A j \sqrt{b} t}{4m} \right] \quad (1)$$

侵彻行程如式 (2):

$$L = \frac{2m}{\pi d^2 A j b} \ln \left[\frac{1+bv_0^2}{1+bv^2} \right] \quad (2)$$

式中: v_0 为导弹终点速度, m/s; m 为导弹质量, kg; d 为弹径, m; j 为与导弹形状有关的系数, j 可近似取值: 球形弹为 1, 钝头弹为 0.75, 远射弹为 0.5; t 为侵彻时间, s; A , b 为决定于介质的系数, 见表 1。

表 1 A 和 b 值表

介质名称	$A/(kg/ms^2)$	$b/(s^2/m^2)$
坚土	7.00×10^6	60×10^{-6}
松土	4.61×10^6	60×10^{-6}
湿土	2.66×10^6	80×10^{-6}
砂土、碎石	4.35×10^6	20×10^{-6}
树木	1.16×10^7	20×10^{-6}
砖	3.16×10^7	15×10^{-6}
岩石	$(4.40 \sim 5.52) \times 10^7$	15×10^{-6}

收稿日期: 2012-01-05; 修回日期: 2012-02-03

作者简介: 刘领先(1962—), 男, 湖南人, 硕士, 高级工程师, 从事信息工程与设施建设研究。

2 战斗部毁伤作用

2.1 冲击波毁伤作用

战斗部爆炸产物膨胀, 强烈压缩空气, 在空气中形成爆炸冲击波。冲击波作用规律可用空气冲击波参数临界值最大超压 Δp 和受压时的比冲 I 的标准杀伤规律^[2]描述如式 (3):

$$(\Delta p - p^*) \times (I - I^*) = K \quad (3)$$

式中: Δp 为空气冲击波波阵面的超压现有值; I 为空气冲击波的比冲值; p^* , I^* , K 为常数(在空气冲击波阵面的临界值), 这 3 个常数取决于目标的易损性。

战斗部爆炸产生的空气冲击波超压 Δp 和比冲 I 作用在目标上, 当满足条件 $(\Delta p - p^*) \times (I - I^*) \geq K$ 时, 能产生对目标受损程度达到毁坏的目的。

考虑到一部分气体能量要保证破片飞散, 超压值根据经过修正的萨道夫斯基公式计算:

$$\Delta p = 0.926 \times W_\theta^{1/3} / R + 3.764 \times (W_\theta^{1/3} / R)^2 + 13.287 \times (W_\theta^{1/3} / R)^3 \quad (4)$$

而空气冲击波的比冲量由式 (5) 计算:

$$I = 20 \times W_\theta^{2/3} / R \quad (5)$$

式中: Δp 为空气冲击波的超压值, kg/cm^2 ; I 为空气冲击波的比冲量, $\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2$; W_θ 为考虑装填系数后等效 TNT 当量的药量, kg ; R 为距爆破中心的距离, m 。

上述 3 个方程的解给出了对典型目标冲击波毁伤威力半径的最大值。

战斗部装药等效 TNT 当量的 W_θ 的确定, 如式 (6)~式 (8):

$$W_\theta = W_{\text{当}} \times f_c \quad (6)$$

$$W_{\text{当}} = K_r \times W \quad (7)$$

$$f_c = \begin{cases} 1 - (M/W)^2 / (1 + M/W), & 0 \leq M/W \leq 0.53 \\ 0.47 + 0.53 / (1 + M/W), & M/W > 0.53 \end{cases} \quad (8)$$

式中: K_r 为装药与 TNT 炸药的转换系数; W 为战斗部装药质量, kg ; M 为战斗部金属质量, kg ; f_c 为炸药转换系数。

2.2 破片毁伤作用

2.2.1 破片的初速

导弹战斗部爆炸时存在一定的终点速度, 破片

初速是战斗部静止爆炸时的破片初速度与导弹当时速度的矢量和, 战斗部静止爆炸时的破片初速度可由 Gurney 公式^[3]计算:

$$v_{jz} = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{W/M}{1+0.5(W/M)}} \quad (9)$$

式中: $\sqrt{2E}$ 为炸药的 Gurney 常数。

导弹爆炸时的速度由式 (1) 计算, 那么破片的初速如式 (10):

$$v_0 = \sqrt{v_{jz}^2 + v_{bz}^2 - 2v_{jz}v_{bz} \cos(180^\circ - \varphi)} \quad (10)$$

式中: φ 为战斗部静止爆炸时的破片初速度方向与反辐射导弹爆炸时的速度方向的夹角。

2.2.2 破片速度的衰减

破片在运动过程中, 受到重力及空气阻力的作用, 由于破片在击中目标之前飞行持续时间很短, 所以不考虑重力的影响, 仅考虑空气阻力的影响, 可视破片以一定的初速作直线减速运动, 速度衰减服从以下规律^[4], 如式 (11):

$$v_R = v_0 \cdot e^{-K_R R} \quad (11)$$

其中: $K_R = \frac{c\rho_0 A}{2m_e}$; $A = k_1 m_e^{2/3}$ 。

式中: v_R 为破片运动距离 R 处的速率, m/s ; v_0 为破片初速, m/s ; c 为空气的阻力系数(预制破片取 $c=1.24$); ρ_0 为空气密度, kg/m^3 ; m_e 为每枚破片质量, kg ; R 为破片运动距离, m ; A 为破片平均迎风面积, m^2 ; k_1 为破片形状系数, 不规则破片 k_1 取 $(4.5 \sim 5) \times 10^{-3}$ 。

2.2.3 破片毁伤目标的概率

1) 单枚破片击穿硬铝的概率^[5], 如式 (12):

$$P_e = \begin{cases} 0 & E_b < 4.7 \\ 1 + 2.65e^{-0.34E_b} - 2.96e^{-0.14E_b} & E_b \geq 4.7 \end{cases} \quad (12)$$

式中: $E_b = 1.02 \times 10^{-4} m_e^{1/2} V_R^2 / h$; P_e 为单枚破片击穿硬铝的概率; h 为目标等效硬铝厚度, mm 。

2) 破片杀伤目标的概率, 如式 (13)。

$$P_2 = 1 - e^{-nP_e} \quad (13)$$

式中: P_2 为破片对目标的杀伤概率; n 为落入目标易损面积上的破片数。

n 可用式 (14) 计算:

$$n = N \left(1 - e^{-\eta/R^2} \right) \quad (14)$$

式中: N 为战斗部破片总数; R 为炸点距目标距离,

m ; η 为破片从雷达不同方向侵彻时雷达易损系数, 表征破片从雷达的不同方向侵彻时雷达受损灵敏度。

3 算例分析

某型只装备触发引信反辐射导弹对某型雷达天线进行攻击, 天线为金属板结构, 露天固定配置。该雷达天线一般都是固定的, 不能移动, 主旋转机构的基座通过连接法兰盘和混凝土基座连接, 控制室一般在天线下方, 往往藏于山洞中或者泥土掩体内。根据对该雷达结构进行的分析, 反辐射导弹战斗部的毁伤元素对山洞或者建筑物内部的雷达设备毁伤概率很低, 所以战斗部的毁伤主要考虑对天线阵面的毁伤, 该型雷达天线阵的辐射元——移相器为波导管结构, 口部中心是一个比较脆弱的铁氧体, 由于铁氧体的尺寸非常小, 所以只考虑波导管的结构毁伤, 波导管结构强度大致相当于 LY-12 铝, 所以等效靶确定为 6 mm LY-12 铝板, 假设土壤介质为坚土, 反辐射导弹终点速度为 3 Ma, 触发引信瞬发度为 500 μ s。

1) 反辐射导弹侵彻过程相关参数取值见表 2。

表 2 反辐射导弹侵彻过程相关参数取值

参数	m/kg	d/m	$v_0/(\text{m/s})$	A	b	j
取值	300	0.35	1 020	7.0×10^6	60×10^{-6}	0.5

由式 (1)、(2) 可算得侵彻行程和反辐射导弹爆炸时的速度分别为: $L=0.5013 \text{ m}$, $v_{bz}=985.5862 \text{ m/s}$ 。

2) 某型雷达目标天线, 在冲击波作用下目标易损性指标见表 3。

表 3 目标易损性指标

目标	P^*/MPa	$I^*(\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$	K
易损指标	0.3	50	23

由式 (3)~式 (8) 可算得, 当满足条件 $0 < R < 6.037$ 时, 满足 $(\Delta p - p^*) \times (I - I^*) \geq K$, 能产生对目标受损程度达到毁坏的目的, 此时认为毁伤概率 $P_1 = 1$ 。

3) 破片毁伤过程相关参数取值见表 4。

表 4 破片毁伤过程相关参数取值

参数	取值	参数	取值
m_c/kg	8.4×10^{-3}	k_1	5×10^{-3}
h/mm	6	N	2 000
$\rho_0/(\text{kg}/\text{m}^3)$	1.25	η	0.5
C	1.24		

由式 (9)~式 (14) 可算得, 当满足条件 $0 < R < 14.3815$ 时, 破片将对目标产生毁伤。

4) 触发引信反辐射导弹毁伤的概率为

$$P = \begin{cases} 1, & 0 < R < 6.037 \\ P_2, & 6.037 < R < 14.3815 \end{cases}$$

以天线在地面的投影中心为坐标原点 O , X 轴为水平方向, Y 轴在水平面上垂直于 X 轴, 由右手定则确定 Z 轴, Z 为触发引信反辐射导弹毁伤的概率, 使用 Matlab 得到图形如图 1。

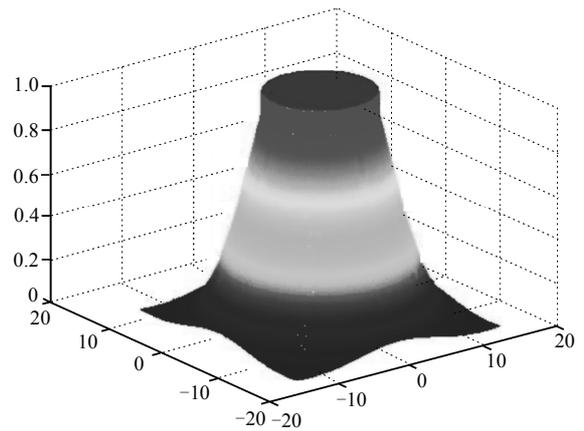


图 1 触发引信反辐射导弹对某型天线的毁伤概率

4 结论

由仿真结果可知: 如果触发引信的反辐射导弹未能直接命中目标, 导弹将对地表产生侵彻效应, 侵彻过程不仅会影响战斗部爆轰的高度, 还会减小导弹的速度, 从而影响反辐射导弹的毁伤概率; 爆炸冲击波对目标的毁伤距离比破片对目标的毁伤距离要小; 随着炸点距目标最短距离的增加, 触发引信反辐射导弹毁伤概率逐渐减小。

参考文献:

- [1] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [2] 秦玉勋, 赵辉, 刘加丛, 等. 反辐射导弹对目标毁伤能力评估[J]. 火箭与制导学报, 2003, 23(1): 141-143.
- [3] 张国伟. 终点效应及其应用技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [4] 彭征明, 李云芝, 罗小明. 反辐射导弹毁伤能力评估研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(3): 15-18.
- [5] 李延杰. 导弹武器系统的效能及其分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.