

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.12.008

## 弹载电子干扰机作战效能仿真评估

罗波, 毕义明, 李马成

(第二炮兵工程学院 基础部, 陕西 西安 710025)

**摘要:** 为评估弹载干扰机的作战效能, 在干扰评估准则的基础上, 建立干扰、探测模型, 通过分析反导系统于目标导弹之间的关系, 提出最小干扰距离指标, 并对几种典型反导武器系统的探测雷达进行干扰效果仿真计算, 分析其在最小干扰距离指标下的干信比, 得出弹载干扰机的作战效能。该研究对现代高技术战争条件下导弹攻防对抗具有实际意义和应用价值。

**关键词:** 干扰; 弹载干扰机; 最小干扰距离; 突防

**中图分类号:** TN974 **文献标识码:** A

## Simulation Evaluation for Combat Efficiency of Jammer Fixed in Missile

Luo Bo, Bi Yiming, Li Mashu

(Dept. of Basic Theories, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** To assess the efficiency of jammer fixed in missile, establishment interference and detect model on the basis of assessment criteria interference, by analyzing the relationship between antiballistic system and missile, bring forward an index of the minimum interference distance, according to simulation a few typical system's radar, analyze the sir signal to interference ratio from the index to give the Effectiveness of the jammer. The research has certain practical significance and applicative value in the missile attack-defense on modern high technology war conditions

**Keywords:** interference; jammer fixed in missile; minimum interference distance; penetration

### 0 引言

作为电子对抗技术的一个分支, 导弹电子攻防技术与火力打击武器系统紧密结合, 围绕探测与反探测, 识别与反识别, 拦截与反拦截等方面展开。导弹防御系统的4个要素“及时发现、正确识别、精确跟踪和有效拦截”<sup>[1]</sup>, 通过电子干扰手段破坏其要素环节提高导弹的突防生存能力, 使导弹武器作战效能得到最大程度的发挥。弹载干扰机装载在导弹上, 伴随弹头飞行, 能够对敌雷达实施近距离干扰, 在要求功率较小的情况下, 起到良好的干扰效果。故对弹载电子干扰机作战效能进行仿真评估, 以提高导弹的突防概率和作战效能。

### 1 干扰评估准则

电子干扰的基本类型有压制干扰和欺骗干扰, 如果干扰有效, 就能降低雷达及与该雷达有关的武器系统的效能, 通过影响雷达的干信比, 减小雷达检测/跟踪距离, 降低雷达的跟踪精度等, 影响反导系统的武器效能, 致使其探测不到或很晚才发现目标而不能进行拦截攻击, 从而提高导弹的突防能力。

#### 1.1 功率准则

功率准则又称信息损失准则, 在雷达系统被有效干扰时, 通过干扰与信号的功率比或其变化量来评估干扰效果, 通常用压制系数、自卫距离等功率

性的指标来表征<sup>[1]</sup>。功率准则在理论分析和实测方面比较方便, 是目前应用最广泛的准则, 适用于压制式干扰(包括隐身)的干扰效果评估。

#### 1.2 压制系数

压制系数表示对雷达实施有效干扰时, 雷达接收机输入端所需要最小干扰信号功率与目标回波信号功率之比:

$$K_s = \left( \frac{P_J}{P_S} \right)_{\min} \tag{1}$$

式中,  $K_s$  为压制系数;  $P_J$  为受干扰雷达输入端的干扰信号功率;  $P_S$  为受干扰雷达输入端的目标回波信号功率。

评估干扰效果, 必须确定检测概率下降到何种程度才表明干扰有效。通常取检测概率  $P_D = 0.1$  作为有效干扰的衡量指标, 即当检测概率下降到低于0.1时, 认为对雷达的干扰有效。

#### 1.3 自卫距离(烧穿距离)<sup>[2-3]</sup>

雷达接收的回波信号功率可用雷达方程计算, 雷达接收的目标回波功率  $P_{sr}$  的计算公式为:

$$P_{sr} = \frac{P_t G_t \sigma A_r D}{(4\pi)^2 R^4 L_r L_t} F^2(\alpha) \tag{2}$$

式中,  $P_t$  为雷达发射脉冲功率(W);  $G_t$  雷达发射天线增益;  $A_r$  雷达接收天线有效接收面积

收稿日期: 2010-06-09; 修回日期: 2010-08-05

作者简介: 罗波(1983-), 男, 广西人, 壮族, 硕士研究生, 从事导弹作战建模及软件仿真研究。

( $m^2$ );  $\sigma$  为目标的 RCS 有效值 ( $m^2$ );  $L_t$  为雷达发射损耗因子;  $L_r$  为雷达接收损耗因子;  $F(\alpha)$  为电磁波传播损耗因子;  $D$  为雷达天线增益。

对接收和发射使用同一天线的雷达, 有:

$$A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (3)$$

由两式可得到等效接收功率  $P_{sre}$  为:

$$P_{sre} = \frac{P_t G_t^2 \sigma \lambda^2 D_n}{(4\pi)^2 R^4 L_t L_r} F^2(\alpha) \quad (4)$$

当距离雷达  $R_j$  的干扰机对雷达进行干扰时, 雷达的干扰信号功率  $P_{jr}$  的计算公式为:

$$P_{jr} = \frac{P_j G_j A_{\eta} \gamma_j B_s}{4\pi R_j^2 L_r B_j} F'(\alpha) \quad (5)$$

式中,  $P_j$  为干扰机发射功率 (W);  $G_j$  为干扰机天线增益;  $A_{\eta}$  为在干扰机方向上雷达接收天线的有效接收面积 ( $m^2$ );  $\gamma_j$  为干扰信号与雷达信号极化不一致损失系数;  $R_j$  为雷达与干扰机之间距离 (m);  $B_s$  为雷达接收机等效带宽 (MHz);  $B_j$  为干扰信号带宽 (MHz);  $F'(\alpha)$  为干扰电磁波传播损耗因子。

当干扰为自卫式干扰时, 干扰信号从天线主瓣进入,  $R = R_j$ ,  $A_{\eta} = A_r$ ,  $F(\alpha) = F'(\alpha)$  可得到信干比方程:

$$\frac{S}{J} = \left( \frac{\sigma}{4\pi} \right) D_n \left( \frac{P_t}{P_j} \right) \left( \frac{G_t}{G_j} \right) \left( \frac{1}{R^2} \right) \left( \frac{B_j}{B_s} \right) \left( \frac{1}{L_t \gamma_j} \right) F(\alpha) \quad (6)$$

可见, 如果其他条件不变, 随着目标与雷达间的距离减小, 信干比逐渐增大。在满足一定虚警概率时, 干扰条件下信干比(S/J)大于等于接收机灵敏度时, 雷达就能检测出干扰遮蔽下目标。当信干比等于接收机灵敏度时, 雷达获得最大探测距离  $R_{max}$ , 常称之为雷达“烧穿距离”或“自卫距离”<sup>[3]</sup>。

烧穿距离是电子干扰中一个重要概念, 可从距离上衡量干扰的能力。自卫式干扰, 当目标离雷达的距离  $R > R_0$  (烧穿) 空域时, 满足干扰方程, 属于有效干扰区域;  $R = R_0$  时, 是干扰区域边界;  $R < R_0$  区域, 不能满足干扰方程, 不能有效遮盖目标回波信号, 称为暴露区。

## 2 仿真计算分析

导弹在突防过程中面临不同的电子威胁环境, 主要包括预警探测系统的早期预警探测; 防空拦截系统的跟踪制导与拦截等。

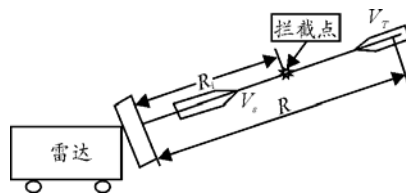


图 1 反导系统于导弹之间关系

反导系统与目标导弹之间的关系如图 1, 可表示为:

$$R = R_i + \frac{R_i}{V_s} V_T + T_s V_i \quad (7)$$

式中,  $R_i$  为拦截距离;  $R$  为探测距离;  $V_s$  为拦截弹的平均飞行速度;  $V_T$  为目标平均飞行速度;  $T_s$  为反导系统的系统反应时间。

设  $V_s = 3 \times 340$  m/s,  $V_T = 6 \times 340$  m/s,  $T_s$  分别取 10 s、20 s, 代入式 (7) 得到  $R_i$  与  $R$  的关系如表 1。

表 1  $R_i$  与  $R$  的关系

$R_i$ /km	5	10	15	20	25	30	
$R$ /km	$T_s = 10$ s	35.4	50.4	65.4	80.4	95.4	110.4
	$T_s = 20$ s	55.8	70.8	85.8	100.8	115.8	130.8

若反导系统得最小拦截距离为  $R_{min}$ , 可计算出雷达对导弹目标的探测距离必须大于数值  $R_{min}$ 。若雷达对具有自卫干扰的导弹探测距离小于  $R_{min}$ , 拦截系统就会失去拦截导弹目标的能力。如表 1 所示, 在  $R_i = 5$  km 时, 对应系统反应时间  $T_s = 10$  s 和 20 s 的  $R_{min}$  为 35.4 km 和 55.8 km。

以爱国者反导系统与典型的地面防空系统为例, 假设弹载自卫式干扰机的等效辐射功率为 5 W, 取  $L_t = 3$  dB,  $\gamma_j = -3$  dB;  $D_n = 3$  dB;  $F(\alpha) = 0.2$  dB, 干信比与距离间的关系为: 对“爱国者”武器系统雷达, 雷达峰值功率取 600 kW, 天线增益取 40 dB。

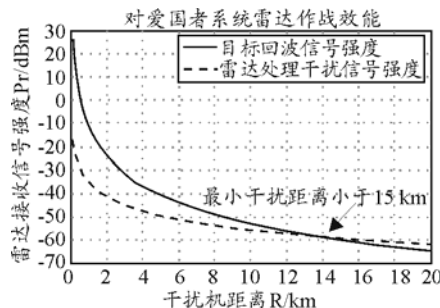


图 2 对爱国者雷达作战效能图

对于典型防空武器系统的跟踪雷达, 雷达峰值功率取 1 kW, 天线增益取 36 dB。

图 2、图 3 分别给出了干扰条件下, 干扰机在不同距离时, 干扰信号强度与雷达回波信号强度的

对比。从图 2、图 3 中可以看出，不同雷达在给出的最小干扰距离时，对雷达的干信比满足干扰要求：在自卫式干扰情况下，地面跟踪雷达探测距离不大于 5 km；爱国者反导系统雷达不大于 15 km，能够对防御方的雷达起到遮蔽效果，达到作战要求。

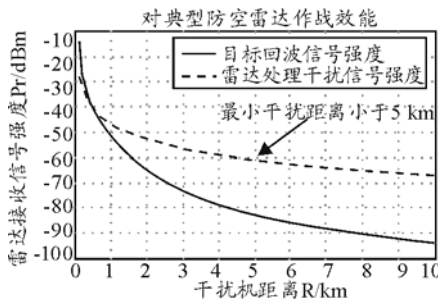


图 3 对典型防空雷达作战效能图

### 3 结束语

在现代高技术战争条件下，该研究对导弹攻防

\*\*\*\*\*

(上接第 27 页)

表 4 3 种赋权方法计算结果

计算方法	重量	体积	研发费用	生产费用
本征向量法	0.292 8	0.473	0.112 7	0.121 5
熵权法	0.191	0.131 8	0.380 8	0.296 3
综合集成法	0.267 8	0.282 8	0.234 6	0.214 8

根据熵权法的结果，研发费用和生产费用是优先考虑因素，而实际操作中，重量和体积应该是优先考虑因素，这说明仅仅依靠数据本身的信息来计算权重是不合理的，应该对熵权法计算所得权重修正。用本征向量法修正后，体积的权重最大，重量其次，然后是研发费用和生厂费用，符合实际情况。

#### 3.3 局势决策

根据计算出的权重，根据算法步骤 7)、8)对 9 个方案进行综合效果测度，如表 5。

表 5 最优决策表

计算方法	综合效果测度值	最优决策
本征向量法	(0.113 5, 0.082, 0.088, 0.109, 0.078 5, 0.095 5, 0.081 6, 0.135, 0.07)	方案 8
熵权法	(0.099 1, 0.156 3, 0.143, 0.110 6, 0.115 6, 0.104 9, 0.152 6, 0.081 4, 0.118 6)	方案 2
综合集成法	(0.101, 0.117 6, 0.117 4, 0.104 8, 0.101 1, 0.105 9, 0.118 9, 0.102 3, 0.092 6)	方案 7

从各方案的数据可以看出，方案 8 的体积很大，但是重量和生产费用都偏高。方案 2 的各指标比较合理，但是与方案 7 相比，它的重量、研发费用和生产费用 3 项指标都不够好。尽管方案 7 的体积指标偏低，但是由于其他 3 项指标都很优，因此为最佳方案，其次是方案 2。

对抗具有实际意义和应用价值。

### 参考文献:

- [1] 陆伟宁. 弹道导弹攻防对抗技术[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007.
- [2] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [3] 王黎光, 景占荣. 巡航导弹弹载干扰机性能分析与仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(14): 3838-3846.
- [4] 李丹, 童天爵, 毛少杰, 等. 雷达网电子对抗仿真及雷达自卫距离的修正[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1388-1390.
- [5] 车志宇, 关成斌, 王国宏. 压制干扰条件下雷达探测区域研究[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2009, 12(3): 47-51.
- [6] 刘明辉, 冯占林, 戴劲峰. 雷达网电子对抗建模及评估方法研[J]. 微计算机信息, 2008, 24(13): 237-239.
- [7] 邢福成, 康锡章, 王国宏. 干扰下雷达网的威力范围[J]. 火力指挥与控制, 2006, 31(7): 90-92.
- [8] 鲍鸿飞, 赵祚德, 杜毅. DEA方法在水雷障碍效能评估中的应用[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 66-68.

### 4 结束语

与文献[2]相比，该方法在各指标权重的确定上，不仅考虑了客观数据所提供的信息，也考虑了决策者的意图，使得整个决策过程既有逻辑的推理也有专家的经验判断，而且两者可靠程度的大小可通过取不同的  $\alpha$  和  $\beta$  值来实现，具有更好的科学性和可操作性。需要说明的是，指标间判断矩阵的获得，通常是多名专家共同意见的结果，而专家之间的权威性应充分反映在本征向量法的计算过程中，下一步，笔者将对该问题做进一步的探讨。

### 参考文献:

- [1] 李茂林. 多目标灰局势决策方法的改进及其应用[J]. 乐山师范学院学报, 2005, 20(12): 9-10.
- [2] 黄裕新, 余桂兰. 熵权法在灰色局势决策中的应用[J]. 武汉科技学院学报, 2006, 19(2): 77-79.
- [3] 陈德军, 张曙红, 陈绵云. 灰色一般局势决策及其应用研究[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 4(26): 423-425.
- [4] Thomas, L.D. Commonality analysis using clustering methods[J]. Operations Research, 1991, 39(4): 677-680.
- [5] 吴福初, 吴杰, 邹平. 基于灰色局势决策的空舰导弹方案优选研究[J]. 兵工自动化, 2008, 27(11): 18-19.
- [6] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 201-202.
- [7] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003: 425-443.
- [8] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 180-204.
- [9] 张昊, 殷硕, 程志高, 等. 基于神经网络的武器装备维修费用灰色预测[J]. 四川兵工学报, 2009(5): 52-54.