

文章编号: 1673-1522 (2008) 05-0547-04

# 单舰武器系统组合抗击反舰导弹的方案选优

王明明<sup>1</sup>, 曾家有<sup>2a</sup>, 黄 炬<sup>2b</sup>, 张 军<sup>2c</sup>

(1. 海军驻南京地区雷达系统军事代表室, 南京 210003;

2. 海军航空工程学院 a. 指挥系; b. 研究生管理大队; c. 基础部, 山东 烟台 264001)

摘 要: 通过对单舰各武器系统抗击反舰导弹的变换系数、防空御综合因子、火力指数、通道因子等分析, 建立各种组合抗击反舰导弹解析作战能力指数模型, 结合“费效比”比较, 得到选优方案; 通过用蒙特卡洛法来对某型舰艇抗击两种型号的反舰导弹进行实例计算, 得到各种抗击组合方案的作战能力指数和“费效比”; 经过仔细比较, 提出了电子对抗系统、舰空导弹武器系统和近程防御武器系统的抗击组合是最优抗击组合方案的观点。

关键词: 单舰; 反舰导弹; 抗击; 组合方案; 作战能力指数

中图分类号: TJ762

文献标志码: A

反舰导弹的技术水平和应用能力目前已经达到很高的水平, 在无干扰的情况下, 命中概率非常高, 对水面舰艇生存构成很大的威胁和严峻的挑战<sup>[1]</sup>。

为了有效防御反舰导弹的突击, 现今大多数军舰都装备有各种防御系统, 这些防御系统又分为硬杀伤和软杀伤两类自卫系统。硬杀伤武器系统包括舰空导弹武器系统、舰炮武器系统和近程防御武器系统等, 它们能够摧毁来袭导弹, 使其永久性失效; 软杀伤系统主要指电子战设备, 如箔条、一次性射频有源诱饵、红外干扰弹、舰载有源干扰机、激光致盲武器和烟幕等等, 它们能够干扰或欺骗导弹的制导系统, 使其偏离目标而脱靶<sup>[2]</sup>。本文针对舰载武

器系统抗击反舰导弹的组合方案选优进行研究。

## 1 方案选优涉及的几个概念

### 1.1 组合方案

将水面舰艇的舰空导弹武器系统、舰炮武器系统、近程防御系统和电子对抗系统分别定义为第 1 种武器系统、第 2 种武器系统、第 3 种武器系统和第 4 种武器系统, 分别记作  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 。在现代海战中, 认为电子对抗必然要参加抗击, 则可能的组合方案有:  $X_4$ 、 $X_1$  组合抗击, 记作  $X_{41}$ ;  $X_4$ 、 $X_2$  组合抗击, 记作  $X_{42}$ ;  $X_4$ 、 $X_3$  组合抗击, 记作  $X_{43}$ ;  $X_4$ 、 $X_1$  及  $X_2$  组合抗击, 记作  $X_{412}$ ;  $X_4$ 、 $X_1$  及  $X_3$

收稿日期: 2008-02-15

作者简介: 王明明 (1964-), 男, 工程师, 大学。

组合抗击，记作  $X_{413}$ ； $X_4$ 、 $X_2$  及  $X_3$  组合抗击，记作  $X_{423}$ ； $X_4$ 、 $X_1$ 、 $X_2$  及  $X_3$  组合抗击，记作  $X_{4123}$ 。

### 1.2 抗击组合的作战指数

对抗击组合选优的基本原则，是通过比较各种武器系统抗击组合的作战指数，得出指数最大的抗击组合，即认为是最佳的武器系统抗击组合。

武器系统组合抗击作战指数的数学模型如下：

$$F = C_{bk} \times C_k \times A \times W \times D_j, \quad (1)$$

式中： $C_{bk}$  为变换系数； $C_k$  为对空防御综合效能因子； $A$  为目标权行阵； $W$  为火力指数矩阵； $D_j$  为通道因子列阵。

### 1.3 抗击组合的费效比

在确定各个抗击组合的作战能力指数之后，我们引入“费效比”这一概念，用  $K_{fx}$  来表示。它有两方面的含义：

一是包含武器系统种类多的抗击组合与包含武器种类比该抗击组合少一种或几种的抗击组合相比，多出的那一种或那几种武器系统的相对弹药消耗量，即武器系统的弹药消耗量的数学期望与该武器系统弹药存贮量的比值，用  $M_a$  表示；二是包含武器系统种类多的抗击组合的作战能力指数与比该抗击组合包含武器种类少的抗击组合的作战能力指数的相对增加量，用  $F_a$  来表示。 $M_a$  与  $F_a$  的比值就被称为“费效比”。

## 2 单舰武器系统组合方案的作战能力计算

### 2.1 变换系数

变换系数主要是依据不同的计算系列确定的，例如与各军兵种自成系列的“装备能力指数”序列值及等价情况等，主要用途是比较不同舰艇之间作战能力的相对大小。因此，对于同一型号舰艇或者同一艘舰艇而言，变换系数的取值都是相同的。

### 2.2 对空防御综合效能因子

对空防御综合效能因子主要由舰艇平台保障能力因子、舰员的能力因子、指挥控制对空能力因子和通信能力因子组成。对同一艘舰艇上的各个武器系统，可认为对空防御综合效能因子的数值相同。

### 2.3 目标权行阵

武器系统所抗击的各种空中来袭目标对于舰艇的威胁程度并不相同。所以，对不同的目标必须进行不同的权重分配，建立目标权行阵。

$$A_i = R_i / \sum_{i=1}^4 R_i, \quad (2)$$

式中： $R_i$  为第  $i$  种目标对舰艇攻击时的命中概率。

### 2.4 火力指数矩阵的计算模型

火力指数矩阵中的各元素，主要反映武器系统

对空中各种威胁目标的抗击能力。在这里认为，武器系统抗击的各种威胁目标，是按一定间隔时间进行攻击的无限目标流，这样可以充分反映武器系统抗击空中目标的能力。

火力指数矩阵元素的计算公式为：

$$W_{ij} = \sum_{e=1}^l P_{ije} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_j}{\sum_{e=1}^l M_{ije}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta_{ij}}{360^\circ}}, \quad (3)$$

式中： $P_{ije}$ 为第  $j$  种武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击的毁伤概率； $N_j$ 为第  $j$  种武器系统在舰艇上的弹药存贮量； $M_{ije}$ 为第  $j$  种武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标弹药消耗量的数学期望； $\beta_{ij}$ 为第  $j$  种武器系统对第  $i$  种目标的射界（作用角度）； $l$ 为目标流中目标的总个数。

抗击单枚导弹，即将目标流中目标的总个数  $l$

取 1，则火力指数矩阵元素为：

$$W_{ij} = P_{ije} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_j}{M_{ije}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta_{ij}}{360^\circ}}。 \quad (4)$$

#### 2.4.1 舰空导弹武器系统

舰空导弹已经成为各国海军用来防御反舰导弹的首选武器。然而，由于受舰艇吨位的限制，每艘舰艇只能装载单一的舰空导弹<sup>[3]</sup>。舰空导弹对来袭目标的毁伤概率与发射导弹的数量、导弹本身的可靠性、系统制导可靠性、战斗部及引信可靠性等诸多因素有关。设单枚舰空导弹的杀伤概率为  $P_1$ ，则两枚齐射的杀伤概率：

$$P_2 = 1 - (1 - P_1)^2。 \quad (5)$$

将两枚齐射的杀伤概率作为舰空导弹系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击的毁伤概率来计算：

$$P_{i1e} = P_2。 \quad (6)$$

设舰空导弹武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击弹药消耗量的数学期望为  $M_{i1e}$ ，由此可得

出舰空导弹武器系统对第  $i$  种目标流的火力指数：

$$W_{i1} = P_{i1e} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_1}{M_{i1e}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta_{i1}}{360^\circ}}。 \quad (7)$$

#### 2.4.2 舰炮武器系统

设定舰炮武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击的毁伤概率为  $P_{i2e}$ ，舰炮武器系统射界为  $\beta_{i2}$ 。舰炮武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击弹药消耗量的数学期望可认为是全航路所能发射弹药量，所以：

$$M_{i2e} = \frac{V_{pfs}}{60} \times \frac{D_{\text{远}1} - D_{\text{近}1}}{V_d}, \quad (8)$$

式中： $V_{pfs}$ 为舰炮发射速度； $D_{\text{远}1}$ 为射击远界； $D_{\text{近}1}$ 为射击近界； $V_d$ 为反舰导弹速度。

由此可得舰炮武器系统的火力指数为：

$$W_{i2} = P_{i2e} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_2}{M_{i2e}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta_{i2}}{360^\circ}}。 \quad (9)$$

#### 2.4.3 近程防御武器系统

设定近程防御系统的  $\beta_{i3}$ ，对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标的毁伤概率为  $P_{i3e}$ 。近程防御系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击弹药消耗量的数学期望可

认为是全航路所能发射弹药量<sup>[4]</sup>，所以：

$$M_{i3e} = \frac{V_{jpf s}}{60} \times \frac{D_{远2} - D_{近2}}{V_d}, \quad (10)$$

式中： $V_{jpf s}$  为近程防御系统炮弹发射速度。

由此可得近程防御系统的火力指数为：

$$W_{i3} = P_{i3e} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_3}{M_{i3e}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\beta_{i3}}{360^\circ}}. \quad (11)$$

### 2.4.4 电子对抗系统

电子对抗系统对反舰导弹的抗击方法，主要是通过有源、无源干扰分系统实施干扰。因此，将电子对抗系统的火力指数用有源、无源干扰的乘积来计算，有源、无源干扰的火力指数分别用  $W_{i4y}$ 、 $W_{i4w}$  表示，其他参数的下标相对应，有：

$$W_{i4} = W_{i4w} \times W_{i4y}, \quad (12)$$

则电子干扰分系统对第  $i$  种目标流的火力指数为：

$$W_{i4} = P_{i4ew} P_{i4ey} \sqrt[4]{\frac{N_{4w} N_{4y}}{M_{i4ew} M_{i4ey}}} \sqrt[4]{\frac{\beta_{i4w} \beta_{i4y}}{360^\circ \times 360^\circ}}. \quad (13)$$

### 2.5 通道因子列阵

通道因子是武器系统的通道数。武器系统通道数的多少，决定了武器系统可同时对抗不同方向攻击的目标流的多少，也反映了武器系统通道的冗余备用能力，这是武器系统对空防御作战能力的重要客观因素。通道因子计算公式为：

$$D_j = d_j, \quad (14)$$

式中： $d_j$  为第  $j$  种武器系统的通道数。

根据以上武器系统组合抗击反舰导弹的作战指数数学模型中各要素的定义，在单舰艇平台，为了计算过程的简便，同时在不影响计算结果的前提下，

将武器系统组合抗击作战指数的数学模型简化为：

$$F = A \times W \times D. \quad (15)$$

## 3 单舰武器系统组合方案选优

### 3.1 各种组合的作战能力指数

根据可能的组合方案，由式(15)，各种组合的作战能力指数对应如下：

$$X_{41} \text{ 的作战能力指数： } F_{41} = A \times W_{41} \times D_{41};$$

$$X_{42} \text{ 的作战能力指数： } F_{42} = A \times W_{42} \times D_{42};$$

$$X_{43} \text{ 的作战能力指数： } F_{43} = A \times W_{43} \times D_{43};$$

$$X_{412} \text{ 的作战能力指数： } F_{412} = A \times W_{412} \times D_{412};$$

$$X_{413} \text{ 的作战能力指数： } F_{413} = A \times W_{413} \times D_{413};$$

$$X_{423} \text{ 的作战能力指数： } F_{423} = A \times W_{423} \times D_{423};$$

$$X_{4123} \text{ 的作战能力指数： } F_{4123} = A \times W_{4123} \times D_{4123}.$$

### 3.2 费效比比较与选优

将费效比设为  $K_{fx}$ ，根据前面的描述，即： $K_{fx} = M_a / F_a$ 。

如果  $F_a \geq M_a$ ，即费效比  $K_{fx} \leq 1$ ，认为包含武器系统种类多的组合确实优于比该抗击组合少一种或几种的抗击组合；如果  $F_a < M_a$ ，即费效比  $K_{fx} > 1$ ，则包含武器系统种类多的抗击组合并不优于比该抗击组合少一种或几种的抗击组合；在费效比相同下，从节约弹药的角度出发，认为比包含武器系统种类多的抗击组合少一种或几种武器的组合更优。

### 4 算例

以某型舰艇抗击“鱼叉”、“雄风 II”两型反舰导弹为例。设舰艇的火力通道数： $D_1 = D_2 = D_3 = 2$ ， $D_4 = 3$ ，“鱼叉”反舰导弹的单发命中概率为 0.95，“雄风 II”反舰导弹的单发命中概率为 0.9。由式(3)，可以得到目标权行阵：

$$A = [0.51, 0.49] \quad (16)$$

舰载武器系统对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击弹药消耗量的数学期望、对第  $i$  种目标流中第  $e$  个目标射击的毁伤概率可结合舰载武器系统的相关参数用蒙特卡洛法来求解。通过计算，得到：

$$\begin{cases} M_{i1e} = 2.29, P_{i1e} = 0.94, W_{i1} = 2.01 \\ M_{i2e} = 20.5, P_{i2e} = 0.12, W_{i2} = 0.23 \\ M_{i3e} = 513, P_{i3e} = 0.68, W_{i3} = 1.20 \\ M_{i4e} = 6.33, P_{i4e} = 0.4, W_{i4} = 0.69 \end{cases} \quad (17)$$

再将单舰携带的各武器系统弹药量和各武器系统的射界（工作角度）代入式(15)，可分别计算出各种组合方案的作战能力指数。

$X_{41}$  的作战能力指数：

$$F_{41} = A \times W_{41} \times D_{41} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 2.01 \\ 0.69 & 2.01 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix} = 6.09 \quad (18)$$

$X_{42}$  的作战能力指数：

$$F_{42} = A \times W_{42} \times D_{42} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 0.23 \\ 0.69 & 0.23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix} = 2.53 \quad (19)$$

$X_{43}$  的作战能力指数：

$$F_{43} = A \times W_{43} \times D_{43} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 1.20 \\ 0.69 & 1.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix} = 4.47 \quad (20)$$

$X_{412}$  的作战能力指数：

$$F_{412} = A \times W_{412} \times D_{412} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 2.01 & 0.23 \\ 0.69 & 2.01 & 0.23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = 6.55 \quad (21)$$

$X_{413}$  的作战能力指数：

$$F_{413} = A \times W_{413} \times D_{413} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 2.01 & 1.20 \\ 0.69 & 2.01 & 1.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = 8.49 \quad (22)$$

$X_{423}$  的作战能力指数：

$$F_{423} = A \times W_{423} \times D_{423} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 0.23 & 1.20 \\ 0.69 & 0.23 & 1.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = 4.93 \quad (23)$$

$X_{4123}$  的作战能力指数：

$$F_{4123} = A \times W_{4123} \times D_{4123} = [0.51, 0.49] \begin{bmatrix} 0.69 & 2.01 & 0.23 & 1.20 \\ 0.69 & 2.01 & 0.23 & 1.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = 8.95 \quad (24)$$

由以上的计算结果可以看出：

$$F_{4123} > F_{413} > F_{412} > F_{41} > F_{423} > F_{43} > F_{42} \quad (25)$$

对比方案  $X_{423}$  和  $X_{42}$ ， $M_a = 0.10$ ， $F_a = 0.95$ ， $K_{fx} = 0.11$ ；对比方案  $X_{423}$  和  $X_{43}$ ， $M_a = 0.06$ ， $F_a = 0.10$ ， $K_{fx} = 0.60$ ；对比方案  $X_{412}$  和  $X_{41}$ ， $M_a = 0.06$ ， $F_a = 0.08$ ， $K_{fx} = 0.75$ ；对比方案  $X_{412}$  和  $X_{42}$ ， $M_a = 0.05$ ， $F_a = 1.59$ ， $K_{fx} = 0.03$ ；对比方案  $X_{413}$  和  $X_{41}$ ， $M_a = 0.10$ ， $F_a = 0.39$ ， $K_{fx} = 0.26$ ；对比方案  $X_{413}$  和  $X_{43}$ ， $M_a = 0.05$ ， $F_a = 0.90$ ， $K_{fx} = 0.06$ ；对比方案  $X_{4123}$  和  $X_{412}$ ， $M_a = 0.10$ ， $F_a = 0.37$ ， $K_{fx} = 0.27$ ；对比方案  $X_{4123}$  和  $X_{423}$ ， $M_a = 0.05$ ， $F_a = 0.82$ ， $K_{fx} = 0.06$ ；对比方案  $X_{4123}$  和  $X_{413}$ ， $M_a = 0.06$ ， $F_a = 0.05$ ， $K_{fx} = 1.20$ 。

按照抗击组合选优的基本原则，作战能力指数最大的组合方案  $X_{4123}$  应该是最优的武器系统组合。但是通过仔细比较， $X_{4123}$  组合方法和作战能力指数

仅次于它的组合方法  $X_{413}$  的费效比, 不难发现, 组合方案  $X_{4123}$  和  $X_{413}$  费效比  $K_{fx} = 1.20 > 1$ 。因此, 最优的组合方案不是组合方案  $X_{4123}$ , 而是组合方案  $X_{413}$ , 即电子对抗系统、舰空导弹武器系统和近程防御武器系统的抗击组合方案。

## 5 结论

如完全按照分层防御的思想, 当受到反舰导弹攻击时, 舰艇上所有的武器系统都要参与抗击。从算例看到, 若结合“费效比”来选择, 最优的方案并非如此。对多个来袭目标的组合方案选优方法与对抗单个来袭目标的组合方案选优方法大致相同, 区别在于目标流中目标的总个数  $l$  的取值。对抗多个来袭目标时,  $l$  的取值要根据实际的来袭目标个数

来确定, 然后按照火力指数矩阵元素的计算公式, 分别计算出各个武器系统对多个来袭目标的总的作战能力指数, 经过比较即可确定出最优组合方案。

## 参考文献:

- [1] 于波, 姜宁, 马颖. 提高水面舰艇生存能力的电子干扰方法[J]. 航天电子对抗, 2000(4):28-29.
- [2] 王喜焱, 牛艳萍. 对反舰导弹的分层防御[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004(4):4-5.
- [3] 钟志通. 近程点防御导弹编队反导弹综合火力运用[J]. 战术导弹技术, 2002,24(5):11-14.
- [4] 宋贵宝, 孔丽, 李红亮. 密集阵反导系统拦截反舰导弹模型研究[J]. 系统仿真学报, 2004,16(10):2128-2129.

# Optimum Choice of Combination Plan about Single Warship's Weapon System Oppugn Anti-Ship Missile

WANG Ming-ming<sup>1</sup>, ZENG Jia-you<sup>2a</sup>, HUANG Xuan<sup>2b</sup>, ZHANG Jun<sup>2c</sup>

(1. Rader System Office of Navy in Nanjin, Nanjing 210003, China; 2. Naval Aeronautical and Astronautical University  
a. Department of Command; b. Graduate Students' Brigade; c. Department of Basic Sciences, Yantai Shandong 264001, China)

**Abstract:** Through analyzing the transformation coefficient, comprehensive factor of air defence, fire index, routeway factor to oppugn anti-ship missile by each weapon system of a single warship, the combat capability index model of various combination of single warship's weapon system to oppugn anti-ship missile was established. Combining cost-efficiency rate comparison, an optimum choice was obtained. Using Monte Carlo programme to calculate an example that a single warship oppugn two kinds of anti-ship missiles, the fire index number of various weapon system combination of a single warship and the number cost-efficiency rate were obtained. Through careful comparison, the combination plan of the electronic counterwork system, ship to air missile weapon system, near distance defense weapon system was an optimum choice.

**Key words:** single warship; anti-ship missile; oppugn; combination plan; combat capability index