

doi: 10.7690/bgzdh.2014.10.003

## 舰艇编队对抗效能评估

顾鸿, 赵晓东, 陈红江  
(海军指挥学院科研部, 南京 210016)

**摘要:** 为解决现代海战舰艇编队对抗效能评估问题, 对休斯模型加以改进, 综合考虑舰人的因素以及层次化防御、软硬手段结合的攻防特点对舰艇编队对抗效能的影响, 从进攻力、外层防御、中层防御、内层防御和对抗结果5个方面开展研究。算例分析结果证明: 改进后的休斯模型能有效地反映编队在导弹攻防作战中的兵力损耗情况, 为指挥员决策提供依据。

**关键词:** 作战模型; 效能评估; 层次防御

**中图分类号:** TJ83 **文献标志码:** A

## Combat Effectiveness Evaluation for Warship Formation

Gu Hong, Zhao Xiaodong, Chen Hongjiang  
(Scientific Research Department, Naval Command College, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** For dealing with combat effectiveness evaluation for warship formation in modern sea war, improve Hughes model, comprehensively consider these influence of human factors, layer defense, soft and hard means integration on warship formation, research on attack ability, external layer defense, middle layer defense, internal layer defense and defense result. The example analysis results show that the improved Hughes model can effectively show the formation force loss in missile attack, and give commander decision with reference.

**Keywords:** combat model; effectiveness evaluation; graded protection

### 0 引言

1967年10月21日, 埃及海军运用苏制科马尔级导弹艇, 4枚“冥河”导弹击沉以色列驱逐舰“埃拉特”号, 标志着水面舰艇海上作战由此进入导弹时代。时至今日, 导弹攻防更已成为舰艇编队海上对抗取胜的关键。因此, 有效地预测舰艇编队在导弹攻防作战过程中兵力损耗或作战能力变化情况<sup>[1]</sup>, 对于帮助指挥员定下恰当决心、适当调整部署与灵活运用战法具有积极意义。

采用经典的兰彻斯特方程对作战损耗进行定量分析的传统方法, 主要用于大规模兵团连续性作战。但是, 现代海战通常是舰艇编队之间的小规模战斗, 且由于导弹武器威力大、精度高, 往往一波攻击后战斗可能就已结束, 其兵力变化呈现“跳跃”性而非“连续”, 不宜采取兰彻斯特方程进行描述<sup>[2]</sup>。基于此, 笔者在休斯提出的舰艇编队导弹作战齐射模型基础上, 充分考虑预警探测、训练水平、士气等其他影响因素, 并结合现代舰艇分层对空防御的特点, 对齐射模型进行改进, 用于对舰艇编队对抗效能实施评估。

### 1 基本模型

休斯于1995年提出舰艇编队导弹作战的齐射

模型, 可用作舰艇编队对抗效能评估的基本模型, 具体模型<sup>[3]</sup>如下:

$$\begin{cases} \Delta A = \frac{\beta B - a_3 A}{a_1} \\ \Delta B = \frac{\alpha A - b_3 B}{b_1} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $A$ 、 $B$  为红、蓝方的初始兵力, 以各自参战舰艇的数量表示;  $\alpha$ 、 $\beta$  为红、蓝方单艘舰艇一次齐射的反舰导弹的数量;  $a_3$ 、 $b_3$  为红、蓝方单艘舰艇双方发射的舰空导弹的数量;  $a_1$ 、 $b_1$  为致使红、蓝方单艘舰艇丧失战斗力所需命中弹数;  $\Delta A$ 、 $\Delta B$  为红、蓝方的战损, 即一次齐射后各自损失的舰艇数量。

模型反映了以下基本概念:

**进攻力:** 进攻方一次齐射的反舰导弹总数, 等于红(蓝)方单艘舰艇一次齐射反舰导弹数量与红(蓝)方参战舰艇数量的乘积, 模型中以  $\alpha A(\beta B)$  表示;

**防御力:** 防御方能够拦截的反舰导弹的数量, 表现为红(蓝)方单艘舰艇所能发射舰空导弹数量与红(蓝)方参战舰艇的数量的乘积, 模型中以  $a_3 A(b_3 B)$  表示;

**生存力:** 红(蓝)方单艘舰艇丧失战斗力所需被命中弹数, 对应模型中的  $a_1(b_1)$ 。

据此, 齐射模型可统一解释为

收稿日期: 2014-05-11; 修回日期: 2014-06-09

作者简介: 顾鸿(1971—), 男, 江苏人, 博士, 副教授, 从事作战模拟及军事运筹研究。

$$\text{战损量} = \frac{\text{进攻力} - \text{防御力}}{\text{生存力}}$$

那么，作为衡量舰艇编队对抗主要效能指标的敌我交换比，即战损比，就可表示为

$$\text{FER} = \frac{\Delta B / B}{\Delta A / A}$$

## 2 模型改进

### 2.1 基本模型的不足

休斯提出的齐射模型(下称休斯模型)较好地反映了舰艇编队导弹作战的特点与规律，同时也存在一些局限与不足，主要表现在：

#### 1) 考虑因素比较单一。

休斯模型中，舰艇编队的进攻力(防御力)被认为仅为与单舰齐射反舰(舰空)导弹数量及编队舰艇数量有关。事实上，舰艇编队进攻力不仅取决于编队齐射反舰导弹的数量、性能等物质因素，同时还受到作战人员的指挥能力、训练操作水平和士气等人的因素的制约；防御力的情况与进攻力类似。图 1 列举了影响舰艇编队对抗效能的主要因素，其中既包括那些与装备数量、质量(如舰艇数量、导弹命中概率等)相关的物质因素，也包括训练水平、战备水平等人的因素。

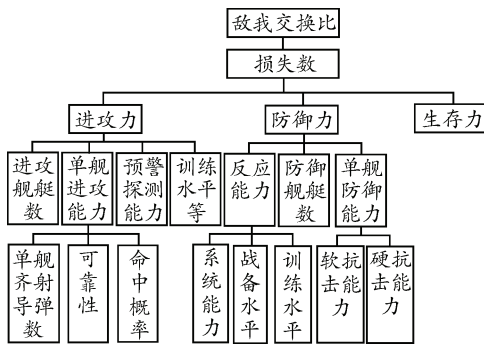


图 1 舰艇编队对抗效能的影响因素

#### 2) 未能充分体现舰艇编队对空防御的特点。

随着现代舰载防御系统的发展，饱和攻击已经成为对付水面舰艇编队对抗的基本战术。攻击方通过发射大量的反舰导弹，从多个方向同时突防，造成对方防空系统火力通道的饱和，使对方防空系统顾此失彼，从而大大提高空防的成功率，达到击毁目标的目的。

面对饱和攻击造成的威胁，舰艇编队对空防御呈现出层次化防御和抗扰结合的特点。首先，突袭兵器的多样化及其性能的不一致，编队对空火力边界的层次性等，决定了无法单纯依靠任何单一类型

的防空武器实施有效的对空防御，因此编队对空防御作战必须区分防御层次，形成层次结构；其次，编队对空防御作战中在分层次的基础上，需要对编队软硬武器系统进行统一部署与协调，对空袭目标流进行有条不紊地系统抗击。

在休斯模型中，舰艇编队的防御力仅仅被定义为舰空导弹的数量与编成内舰艇数量的乘积，并没有考虑舰艇编队对空防御在体系对抗条件下分层抗击的特点以及使用“软”手段实施对抗的情况，因而不能充分反映现代舰艇编队对空防御的特点。

### 2.2 对基本模型的改进

针对休斯模型的上述不足，在进行舰艇编队对抗效能评估的过程中，应当充分考虑包括人的因素在内的各种复杂因素对抗结果的影响，并结合舰艇编队对空防御的特点，对其加以改进<sup>[4-5]</sup>。

#### 1) 进攻力。

休斯模型中的进攻力指舰艇编队在一次齐射中所发射的反舰导弹数量，综合考虑编队的预警探测能力、反舰导弹的可靠性以及反舰导弹的杀伤概率等因素，可将进攻力进一步表示为：

$$\begin{cases} AA_0 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \cdot \alpha A \\ BA_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \cdot \beta B \end{cases} \quad (2)$$

式中， $AA_0$ 、 $BB_0$  分别表示红蓝双方客观拥有的攻击能力或是对敌方造成的实际威胁，又可称之为实际进攻力。

上式中，各参数定义分别如下：

$AA_0$ ( $BA_0$ )为红(蓝)方舰艇编队的实际进攻力； $\sigma_1$ ( $\tau_1$ )为红(蓝)方舰艇编队预警探测能力； $\sigma_2$ ( $\tau_2$ )为红(蓝)方所使用反舰导弹的可靠性； $\sigma_3$ ( $\tau_3$ )为红(蓝)方所使用反舰导弹的杀伤概率。

为了提高突防概率，进攻方可能使用伴飞诱饵来增加防御方的负担，从而提高反舰导弹的突防概率<sup>[6]</sup>。对于防御方而言，伴飞诱饵的使用会使其认为威胁目标的数量大于反舰导弹的实际数量，并对敌方的进攻力做出大于实际进攻力的判断。这种将伴飞诱饵计算在内的进攻力，由于比实际进攻力大，可称之为总体进攻力，并用下式表示：

$$\begin{cases} AA_a = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 (\alpha + \alpha_1) A \\ BA_a = \tau_1 \tau_2 \tau_3 (\beta + \beta_1) B \end{cases} \quad (3)$$

其中： $AA_a$ 、 $BA_a$  分别为红方、蓝方舰艇编队的总体进攻力； $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  为蓝方、红方单艘舰艇一次齐射的伴飞诱饵的数量。

2) 外层防御。

当面临反舰导弹威胁时，防御编队首先使用舰空导弹进行抗击，笔者称此种防御行动为外层防御。

外层防御(能)力与舰空导弹反应能力、单舰舰空导弹系统的火力通道数量以及防御编队中的舰艇数量有关，那么：

$$\begin{cases} AO = \sigma_4 \sigma_5 A \\ BO = \tau_4 \tau_5 B \end{cases} \quad (4)$$

式中： $\sigma_4(\tau_4)$ 为红(蓝)方舰空导弹反应能力系数； $\sigma_5(\tau_5)$ 为红(蓝)方单舰舰空导弹火力通道数。

对于采取防御行动的舰艇编队，其防御态势分为 2 种情况：饱和攻击防御和非饱和攻击防御。具体的判断依据为自身外层防御力与敌方总体进攻力的差值，当二者之差小于零时为饱和攻击防御，反之则为非饱和攻击防御。

2 种不同防御态势下，红(蓝)方突破外层防御的反舰导弹数量可通过下式计算得出：

$$\begin{cases} AOL = \begin{cases} AA_0(1-\sigma_6) & BO - AA_a \geq 0 \\ AA_0 - BO \cdot \sigma_6 \cdot \frac{AA_0}{AA_a} & BO - AA_a < 0 \end{cases} \\ BOL = \begin{cases} BA_0(1-\sigma_6) & AO - BA_a \geq 0 \\ BA_0 - AO \cdot \sigma_6 \cdot \frac{BA_0}{BA_a} & AO - BA_a < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

其中：AOL、BOL 分别为红方、蓝方突破敌方外层防御的反舰导弹数量； $\sigma_6$ 、 $\tau_6$  分别代表红、蓝方舰空导弹杀伤概率。

3) 中层防御。

对于突破外层防御的反舰导弹，防御编队使用箔条干扰弹、红外诱饵弹和雷达假目标等无源干扰装备，迷惑或欺骗来袭导弹的制导系统，达到使反舰导弹偏航脱靶，从而免遭攻击的目的<sup>[7]</sup>。

诱饵对来袭的干扰成功率可表示为

$$\begin{cases} APJ = 1 - \frac{1}{1 + \sigma_7 \sigma_8} \\ BPJ = 1 - \frac{1}{1 + \tau_7 \tau_8} \end{cases} \quad (6)$$

式中， $\sigma_7(\tau_7)$ 、 $\sigma_8(\tau_8)$ 分别表示红(蓝)方干扰诱饵的反应能力和单艘舰艇施放干扰诱饵的数量。

那么，在突破对方中层防御圈后，红(蓝)方剩余的反舰导弹数量为：

$$\begin{cases} AML = AOL(1 - BPJ) \\ BML = BOL(1 - APJ) \end{cases} \quad (7)$$

4) 内层防御。

当反舰导弹突破编队的多层防御体系，最后逼近舰艇时，防御舰艇使用末端舰空导弹、近程高速炮等武器实施内层防御。

由于内层防御的作战效能受到近防武器反应能力、内层防御火力通道数和内层防御武器效能的杀伤概率，那么，内层防御能力可表示为

$$\begin{cases} AI = \sigma_9 \sigma_{10} \sigma_{11} \\ BI = \tau_9 \tau_{10} \tau_{11} \end{cases} \quad (8)$$

其中： $\sigma_9(\tau_9)$ 为红(蓝)方近防武器的反应能力系数； $\sigma_{10}(\tau_{10})$ 为红(蓝)方近防武器的火力通道数量； $\sigma_{11}(\tau_{11})$ 为红(蓝)方近防武器的杀伤概率。

突破全部防御体系，最终命中目标的反舰导弹数量为：

$$\begin{cases} AIL = \begin{cases} AML(1 - \tau_{12}) & BI - AML \geq 0 \\ AML - BI \cdot \tau_{12} & BI - AML < 0 \end{cases} \\ BIL = \begin{cases} BML(1 - \sigma_{12}) & AI - BML \geq 0 \\ BML - AI \cdot \sigma_{12} & AI - BML < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

5) 对抗结果。

根据休斯模型的基本含义以及上述对其改进的结果，得到：

$$\begin{cases} \Delta A = \frac{BIL}{a_1} \\ \Delta B = \frac{AIL}{b_1} \end{cases} \quad (10)$$

3 算例分析

假设存在红、蓝 2 支水面舰艇编队，编队编成与基本能力如表 1 所示。

表 1 红、蓝编队编成与基本能力

舰艇编队	编成(A/B)	预警探测能力( $\sigma_1/\tau_1$ )	单舰生存力( $a_1/b_1$ )
红方	7	0.85	1.5
蓝方	6	0.60	1.0

有关双方进攻能力与各防御能力的各项参数分别如表 2~表 5 所示。

表 2 红、蓝进攻能力有关参数(单舰)

舰艇编队	齐射反舰导弹数量( $a/\beta$ )	反舰导弹可靠性( $\sigma_2/\tau_2$ )	反舰导弹杀伤概率( $\sigma_3/\tau_3$ )	伴飞诱饵数量( $a_1/\beta_1$ )
红方	8	0.95	0.85	2
蓝方	4	0.95	0.85	0

表 3 红、蓝外层防御能力有关参数(单舰)

舰艇编队	舰空导弹反应能力( $\sigma_4/\tau_4$ )	舰空导弹火力通道数量( $\sigma_5/\tau_5$ )	舰空导弹杀伤概率( $\sigma_6/\tau_6$ )
红方	0.9	5	0.68
蓝方	0.9	2	0.68

表 4 红、蓝中层防御能力有关参数(单舰)

舰艇编队	干扰诱饵反应能力( $\sigma_7/\tau_7$ )	干扰诱饵数量( $\sigma_8/\tau_8$ )
红方	0	1
蓝方	0.9	2

表 5 红、蓝内层防御能力有关参数(单舰)

舰艇编队	近防武器反应能力( $\sigma_9/\tau_9$ )	近防武器火力通道数量( $\sigma_{10}/\tau_{10}$ )	近防武器杀伤概率( $\sigma_{11}/\tau_{11}$ )
红方	0.85	3	0.68
蓝方	0.85	3	0.68

具体计算过程如表 6 所示。

表 6 红、蓝编队对抗效能计算过程

作战进程	对抗效能	红方	蓝方
初始情况	实际攻击力(AA <sub>0</sub> /BA <sub>0</sub> )	38.437	11.628
	总体攻击力(AA <sub>a</sub> /BA <sub>a</sub> )	48.046	11.628
外层防御	外层防御力(AO/BO)	31.5	10.8
	外层突防导弹数量(AOL/BOL)	32.562	3.722
中层防御	干扰成功率(API/BPI)	0	0.643
	中层突防导弹数量(AML/BML)	11.629	3.722
内层防御	内层防御力(AI/BI)	17.85	15.3
	内层突防导弹数量(AIL/BIL)	3.721	1.190

最终的计算结果如表 7 所示。

表 7 红、蓝编队对抗结果

舰艇编队	战损量	战损率	战损比
红方	0.794	0.113	0.183
蓝方	3.721	0.620	5.469

### 4 结束语

改进后的休斯模型不但有效地反映了人的因素对编队对抗效能的影响,而且充分体现了舰艇编队层次化防御的特点以及攻防手段的多样性,因而能够更加准确地描述舰艇编队在导弹攻防作战中的作战损耗情况,为指挥员决策提供依据。由于模型未

\*\*\*\*\*

(上接第 3 页)

干扰与反干扰是一个持续动态发展的过程。在采用各种新的干扰样式、抗干扰体制和技术后,还需对防空雷达反干扰能力的计算和分析进行研究。

### 参考文献:

[1] 李德成. 综合电子战技术词条[M]. 成都: 电子对抗国防科学技术重点实验室, 2001: 119.  
 [2] 王小念. 复杂电磁环境下雷达反干扰[M]. 北京: 解放军出版社, 2008: 5-10.  
 [3] 周一宇. 电子对抗原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 93-98.  
 [4] 邵国培. 电子对抗战术计算方法[M]. 北京: 解放军出版社, 2010: 1-15.

考虑文献[8]中提出的异类舰艇所组成编队的对抗情况,笔者将在今后的工作中进一步改进。

### 参考文献:

[1] 许小明,任耀峰,冯威. 齐射模型下的舰艇导弹作战战损分析[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(9): 135-138.  
 [2] 王标,任耀峰. 舰艇齐射战斗模型战损分析[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(2): 40-44.  
 [3] Hughes W P. A Salvo Model of Warship in Missile Combat Used to Evaluate Their Staying Power[J]. Naval Res. Logist, 1995, 42(2): 267-289.  
 [4] Nicholas E. Wissel. Surface Combatant Readiness to Confront A Sea Control Navy[D]. Monterey, California: Naval Post Graduate School, 2008.  
 [5] Ed Hlywa - Salvo Model for Anti-Surface Warfare Study [EB/OL]. www.weaponanalysis.com.  
 [6] 王斯福,刘永才,关世义,等. 伴飞诱饵支援条件下无人飞行器协同作战效能研究[J]. 宇航学报, 2007, 28(2): 498-502.  
 [7] 张雨,周刚. 国外舰载舷外无源干扰装备研究[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(8): 15-16.  
 [8] 王标,任耀峰. 基于异类齐射战斗模型的舰艇编队火力分配[J]. 兵工自动化, 2013, 32(2): 27-29.  
 [5] 张永顺. 雷达电子战原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 85-105.  
 [6] 张锡祥. 新体制雷达对抗导论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 79-96.  
 [7] 邵国培. 电子对抗作战效能分析[M]. 北京: 解放军出版社, 1998: 81-105.  
 [8] Skolnik M I. 雷达系统导论[M]. 3版. 左群声,等. 译. 北京: 电子工业出版社, 2006: 33-37.  
 [9] 王小念. 复杂电磁环境下对雷达的侦察及干扰[M]. 北京: 解放军出版社, 2008: 30-40.  
 [10] 余巍. 复杂电磁环境对火控雷达的影响及技术对抗途径[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(9): 11-13.  
 [11] Vakin S A. 电子战基本原理[M]. 邵国培,等. 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 33-37.