

doi: 10.7690/bgzdh.2015.02.010

## 基于熵权法的潜射反舰导弹作战效能灰色关联评估方法

巫银花<sup>1</sup>, 何常青<sup>2</sup>, 宋勇<sup>1</sup>

(1. 海军指挥学院海战实验室, 南京 210016; 2. 海军指挥学院训练部, 南京 210016)

**摘要:** 为了提高潜射反舰导弹系统的作战效能, 提出一种潜射反舰导弹效能综合优化评估方法。运用信息熵和灰色关联分析理论对潜射反舰导弹作战效能进行综合评估, 论述基于熵权法的潜射反舰导弹效能灰色关联评估方法的具体评估过程, 并结合潜射反舰导弹系统进行应用分析, 有效解决了潜射反舰导弹效能评估中存在着指标信息不确定和指标间关系不明确的问题。该方法为潜射反舰导弹系统的论证、设计和改进提供了科学的理论决策依据。

**关键词:** 潜射反舰导弹; 熵权; 灰色关联分析

**中图分类号:** TJ765.4 **文献标志码:** A

## Evaluation Method of Submarine Anti-Ship Missile Effectiveness Based on the Theory of Information Entropy and Grey System

Wu Yinhu<sup>1</sup>, He Changqing<sup>2</sup>, Song Yong<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Naval Campaigns &amp; Tactics, Navy Command College, Nanjing 210016, China;

2. Department of Training, Navy Command College, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to improve the combat effectiveness of submarine anti-ship missile system, a synthesis evaluation method of submarine anti-ship missile effectiveness is proposed. The theory of information entropy and grey system is applied, and the basic procedures of the method are described. An example of submarine anti-ship missile systems has been used to illustrate the rationality and feasibility of the method, solving the problems of index uncertainty information and unknown relationship between indexes in effectiveness evaluation of submarine anti-ship missile system. The method provides a scientific decision foundation theoretically for demonstration, design and improvement of the submarine anti-ship missile system.

**Keywords:** submarine anti-ship missile; entropy weight; grey associative analysis

## 0 引言

新形势下, 各国海军将提高远程精确打击能力作为一项首要任务。潜艇是重要的海上作战力量, 潜射反舰导弹依靠潜艇这个隐蔽平台, 已成为攻击水面舰艇特别是航母编队的有效武器。潜射反舰导弹的飞行速度快、射程远、发射扇面大、攻击阵位选择灵活、使用方便等优点, 是鱼雷武器不可比拟的。因此, 使用潜射反舰导弹攻击敌舰将成为潜艇作战的主要手段。对潜射反舰导弹的作战效能进行定量分析, 能为其研制、使用和改进提供重要决策理论依据。

潜射反舰导弹系统<sup>[1]</sup>作为一个复杂的技术系统, 存在着信息不确定性、指标间相互关系不明确等问题, 是部分信息明确、部分信息不明确的贫信息、不确定性系统, 可以看作是一个灰色系统。灰色系统理论对信息不精确、不完全确知的小样本系统有明显的理论分析优势。由于灰色关联度分析法突破了传统精确数学所受的约束, 具有计算简便、排序明确、对数据分布类型及变量之间的相关性无特殊要求等特点, 熵权法克服了传统方法由于人为

因素对权重确定的影响。基于此, 笔者运用灰色关联法<sup>[2]</sup>与熵权法<sup>[3]</sup>相结合的方法对潜射反舰导弹的作战效能评估进行了研究, 提出了一种潜射反舰导弹效能综合优化评估方法, 并验证了该模型的客观、合理和有效性。

## 1 基于熵权的灰色关联分析法

灰色关联分析法是一种分析各评估指标数据与最优参考值接近程度的方法, 它克服了传统评估方法对各指标关系处理不当的缺陷, 并且具有指标数据小样本和无需知道分布概率等优点, 可以为潜射反舰导弹作战效能评估提供理论基础和数学依据。

## 1.1 决策矩阵的确定

假设有  $m$  型潜射反舰导弹, 记为集合  $U$ :  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ ; 影响潜射反舰导弹作战效能的因素(指标)有  $n$  个, 记为集合  $V$ :  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 。记方案  $U_i$  对评价指标  $V_k$  的属性值为  $P_{ik}^i (i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n)$ 。确定属性矩阵  $D$ , 设虚拟方案(最优方案)  $U_0$  的指标值集合为:  $F^* = [P_{11}^*, P_{21}^*, \dots, P_{n1}^*]$ , 式中  $P_{k1}^* (k=1, 2, \dots, n)$  为第  $k$  个指标的最优值。此最优值可

收稿日期: 2014-08-26; 修回日期: 2014-09-30

作者简介: 巫银花(1969—), 女, 江苏人, 博士, 副教授, 从事军事运筹与计算机网络研究。

是诸方案中最优值(对于效益型指标即某一指标取大值为好,则取该指标在各个方案中的最大值;对于成本型指标即取小值为好,则取各个方案中最小值),也可以是评估者公认的最优值。此时含有虚拟方案的增广矩阵  $D$  为方案集合  $U$  对指标集合  $V$  的决策矩阵。

$$D = \begin{bmatrix} P_1^* & P_2^* & \cdots & P_n^* \\ P_1^l & P_2^l & \cdots & P_n^l \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_1^m & P_2^m & \cdots & P_n^m \end{bmatrix}$$

### 1.2 指标的标准化处理

各项评估指标之间存在着性质、范围和度量方式的不同,为了综合考量,使各指标共同表征潜射反舰导弹的综合作战效能,保证指标间相同因素的可比性,有必要对各指标原始数据进行无量纲化即标准化处理。进行标准化处理,令  $Z_k^i = \frac{P_k^i}{P_k^*}$  (效益型指标)、 $Z_k^i = \frac{P_k^i}{P_k^l}$  (成本型指标),  $i=1,2,\dots,m$ ;  $k=1,2,\dots,n$ , 得到标准化矩阵

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1^* & Z_2^* & \cdots & Z_n^* \\ Z_1^l & Z_2^l & \cdots & Z_n^l \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_1^m & Z_2^m & \cdots & Z_n^m \end{bmatrix}$$

### 1.3 关联矩阵的确定

根据灰色系统理论,将  $\{Z^*\}=[Z_1^*,Z_2^*,\dots,Z_n^*]$  作为母序列(参考序列),将  $\{Z\}=[Z_1^i,Z_2^i,\dots,Z_n^i]$  作为被比较序列,则用关联分析法分别求得各方案与虚拟方案间的关联系数  $\xi_i(k)$ ,即

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |Z_k^* - Z_k^i| + \rho \max_i \max_k |Z_k^* - Z_k^i|}{|Z_k^* - Z_k^i| + \rho \max_i \max_k |Z_k^* - Z_k^i|} \quad (1)$$

式中  $\rho \in [0,1]$ ,一般取  $\rho=0.5$ 。

这样得灰色关联矩阵

$$R = \begin{bmatrix} \xi_1(1) & \xi_1(2) & \cdots & \xi_1(n) \\ \xi_2(1) & \xi_2(2) & \cdots & \xi_2(n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \xi_m(1) & \xi_m(2) & \cdots & \xi_m(n) \end{bmatrix}$$

### 1.4 评估指标权重的确定

由于方案各指标间的重要性不同,因此需要进行加权处理,从权重确定的方法<sup>[4-5]</sup>来看,可以分为

2类:一是利用专家或个人的知识或经验进行确定,称之为主观赋权法;二是从指标的统计性质,由所得的测量数据本身决定,称之为客观赋权法。主观赋权法依赖经验判断,没有体现决策目标集本身拥有的决策信息,可能造成评价结果由于人的主观因素而形成偏差。信息熵权法是一种有效的客观赋权法,笔者采用信息熵权法确定权重,计算步骤为:

1) 标准化评价矩阵的获取。由 1.2 得标准化矩阵为

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1^1 & Z_2^1 & \cdots & Z_n^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_1^m & Z_2^m & \cdots & Z_n^m \end{bmatrix}$$

2) 计算熵值。设第  $k$  项评价指标的输出熵为

$$e_k = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{ik} \ln f_{ik} \quad (2)$$

其中  $f_{ij} = \frac{Z_k^i}{\sum_{i=1}^m Z_k^i}$ ,  $e_k \geq 0$  ( $i=1,\dots,m; k=1,\dots,n$ )。

3) 计算差异系数  $g_k$ 。 $g_k=1-e_k$ ,  $g_k$  反映了评价对象对应于各评价指标的数值差异性大小, $g_k$  越大,指标越重要,反之亦然。

4) 确定熵权  $w_k$ :  $w_k = g_k / \sum_{k=1}^n g_k$ 。

得到各指标间的加权向量  $W=[w_1,w_2,\dots,w_n]^T$ 。

### 1.5 灰色关联度的计算

根据灰色关联矩阵得灰色关联度计算模型为

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (3)$$

考虑各指标的重要性差异,进行加权,得到基于熵权的灰色关联度的评估模型为

$$\gamma'_i = \sum_{k=1}^n w_k \cdot \xi_i(k) \quad (4)$$

根据评估值大小排序,就可得到各方案优劣的顺序。

## 2 潜射反舰导弹作战效能指标体系

潜射反舰导弹作战效能是指潜射反舰导弹在规定作战任务下实施作战指令,完成命中毁伤任务目标程度的量度。它是潜射反舰导弹的可用性、任务可信性及作战能力的综合反映。根据潜射反舰导弹的主要任务,结合战术技术特点,笔者选取具有代表性和可操作性的潜射反舰导弹作战效能评估指标体系如图 1 所示。

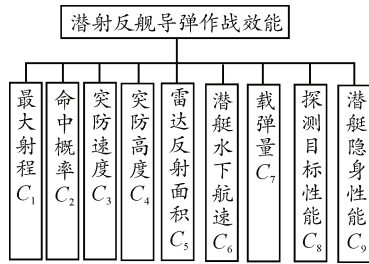


图 1 潜射反舰导弹作战效能评估指标体系结构

反舰导弹攻击舰艇首先突破敌方对空防御系统的拦截，进入预定的攻击目标区。所以在上述作战效能指标中，导弹的最大射程、命中概率、突防速

度、潜艇水下航速、载弹量、潜艇探测目标性能、潜艇隐身性能皆属效益型指标。相对于作战效能突防高度、雷达反射面积属成本型指标。

### 3 实例应用

笔者选取国外 4 种潜射反舰导弹<sup>[6]</sup>(分别是潜射型战斧导弹、俄罗斯 SS-N-19 花岗岩导弹、法国的飞鱼潜射反舰导弹、捕鲸叉潜射反舰导弹)构成 1 个评估对象集(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>,A<sub>4</sub>)，通过查阅资料并经专家经验估算等，待评各型潜射反舰导弹的评价指标样本数据值见表 1。指标参数标准化结果如表 2。

表 1 各型反舰导弹指标参数

评估对象	C <sub>1</sub> /km	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> /m	C <sub>5</sub> /m <sup>2</sup>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub> /m	C <sub>8</sub> /kg	C <sub>9</sub> /m
A <sub>1</sub>	550	0.80	3.00	15	0.05	33	24	0.9	0.9
A <sub>2</sub>	460	0.80	0.80	10	0.15	39	26	0.9	0.9
A <sub>3</sub>	70	0.90	0.93	5	0.10	25	9	0.7	0.7
A <sub>4</sub>	130	0.75	0.75	10	0.10	32	13	0.7	0.7
最优值	550	0.90	3.00	5	0.05	39	26	0.9	0.9

表 2 指标参数标准化结果

评估对象	C <sub>1</sub> /km	C <sub>2</sub> /m	C <sub>3</sub> /kn	C <sub>4</sub> (°)	C <sub>5</sub> /m	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub> /m	C <sub>8</sub> /kg	C <sub>9</sub> /m
A <sub>1</sub>	1.00	0.89	1.00	0.33	1.00	0.85	0.92	1.00	1.00
A <sub>2</sub>	0.84	0.89	0.27	0.50	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00
A <sub>3</sub>	0.13	1.00	0.31	1.00	0.50	0.64	0.35	0.78	0.78
A <sub>4</sub>	0.24	0.83	0.25	0.50	0.50	0.82	0.50	0.78	0.78

其次，根据熵权法获得评估指标的权重向量：

$$W=[0.18,0.19,0.08,0.06,0.06,0.05,0.05,0.18,0.15]^T$$

根据灰色关联系数的计算公式，两级最小差与两级最大差分别为：

$$\min_i \min_k |Z_k^* - Z_k^i| = 0 \quad \max_i \max_k |Z_k^* - Z_k^i| = 0.4$$

取  $\xi=0.5$ ，可以算得各型潜射反舰导弹关于各指标的灰色关联度值。

由公式 (4) 得到 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub> 型潜射反舰导弹基于熵权的灰色关联度的评估值分别为：

$$0.928 \ 2, 0.792 \ 3, 0.686 \ 2, 0.595 \ 8$$

这与模糊综合评估结果一致，也与实际情况相符，潜射型战斧导弹在潜艇上既可用鱼雷发射管发射，也可用垂直发射器发射。导弹在航行中，采用惯性制导加地形匹配或卫星全球定位修正制导，海上巡航高度为 7~15 m，有很强的低空突防能力，是美军在不断测试和改进中的导弹。SS-N-19 型导弹是前苏联 70 年代末设计的，它是专门用来攻击美国的航母战斗群，俄罗斯的工业部门新开发的厘米波雷达已经在 SS-N-19 型导弹的寻的系统上起到了重要作用。飞鱼反舰导弹(Exocet)是一款由法国研发制造的反舰导弹，在 1980 年开始正式服役后，历经许多实战经验，是一种整体性能评价优异的反舰导弹系统。捕鲸叉潜射反舰导弹是美国研制的一种全天候、远距离反舰导弹。用于攻击出水潜艇、

驱逐舰、大型战舰、巡逻艇、导弹快艇和商船等水上目标。1965 年开始研制，1972 年首次试验，1979 年装备部队。特点是具有多用性、通用性和可靠性。

### 4 结论

通过对潜射反舰导弹作战效能指标体系进行分析研究，笔者结合熵权法和灰色关联分析法，提出了潜射反舰导弹作战效能评估方法，克服模糊综合评判人为因素对权重的影响。经过实例验证，结果表明：该方法客观稳定，有精度高、计算简单、方便灵活、便于计算机实现的特点，为潜射反舰导弹的设计研发、改进和推广提供了科学的理论依据，满足了决策的需要，具有较大的理论意义和应用价值。

### 参考文献：

- [1] 王永洁, 纪永清, 江兆涛, 等. 潜射反舰导弹综合作战效能研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2006, 21(2): 271-274.
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 125-210.
- [3] 傅祖芸. 信息论-基础理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 198-255.
- [4] 孟庆玉, 张静远, 宋保维. 鱼雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 94-130.
- [5] 甄涛. 地地导弹武器作战效能评估方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 75-153.
- [6] 张剑. 军事装备系统的效能分析、优化与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 41-99.