

doi:10.3969/j.issn.1003-3106.2024.05.026

引用格式:唐伟广,徐超,康彦肖.基于组合赋权 TOPSIS 的海上目标威胁评估[J].无线电工程,2024,54(5):1286-1293.  
[TANG Weiguang, XU Chao, KANG Yanxiao. Threat Assessment of Maritime Targets Based on Combined Weighted TOPSIS[J]. Radio Engineering, 2024, 54(5):1286-1293.]

## 基于组合赋权 TOPSIS 的海上目标威胁评估

唐伟广<sup>1</sup>, 徐超<sup>2</sup>, 康彦肖<sup>1</sup>

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081;  
2. 中国人民解放军 91977 部队, 北京 100010)

**摘要:**提出一种基于融合主客观信息组合赋权逼近理想解(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)的海上目标威胁评估模型。从目标的作战能力、活动情况和其他影响因素构建海上目标威胁评估指标体系;在层次分析法(Antalytical Hierarchy Process, AHP)和熵权法的基础上运用线性加权组合法确定主客观综合指标权重;利用 TOPSIS 法计算各目标的正负理想解相对贴近度,获得目标的威胁度排序。通过仿真实例证明了所提海上目标威胁评估方法的有效性。

**关键词:**海上目标威胁评估;层次分析法;熵权法;逼近理想值

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:1003-3106(2024)05-1286-08

## Threat Assessment of Maritime Targets Based on Combined Weighted TOPSIS

TANG Weiguang<sup>1</sup>, XU Chao<sup>2</sup>, KANG Yanxiao<sup>1</sup>

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China;  
2. Unit 91977, PLA, Beijing 100010, China)

**Abstract:** A maritime target threat assessment model based on the combination of subjective and objective information and weighted Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) is proposed. The method firstly constructs a threat assessment index system for maritime targets from the target's combat capability, activities and influence factor; secondly, the linear weighted combination method is used to determine the weight of subjective and objective comprehensive indicators on the basis of Analytical Hierarchy Process (AHP) and entropy weight method; finally, the TOPSIS method is used to calculate the relative closeness of the positive and negative ideal solutions of each target, and obtain the threat ranking of the targets. Simulation examples demonstrate the effectiveness of the proposed threat assessment model for maritime targets.

**Keywords:** maritime target threat assessment; AHP; entropy weight method; TOPSIS

### 0 引言

海上目标威胁评估作为现代海上信息化作战重要一环,由于复杂的海战场环境和影响因素,不同作战任务和样式,作战过程也瞬息万变,威胁评估存在一定难度。目前,针对不同的应用场景涌现了各种成熟目标威胁评估方法,其中文献[1-5]主要基于组合赋权、直觉模糊和变权等逼近理想解(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)进行空中目标威胁评估,分别对不同的评估指标、层次分析和权重等进行分析研究;文献[6-9]利用各种贝叶斯网络法进行威胁意图分析评估;文

献[10-15]对各种情况和影响因素下的海上目标威胁评估进行论述;文献[16-17]研究了多目标威胁评估方法;文献[18]建立了基于目标类型特征、作战能力和机动能力等的威胁评估模型。

本文提出基于组合权重 TOPSIS 的海上目标威胁评估模型,忽略了不同评估指标权重的不确定性,尽可能地接近正理想解和远离负理想解,计算贴近度大小判断威胁程度。该算法理论完善,实现方法简单合理,便于工程应用,为实现海上目标威胁评估提供了可靠的方法。

收稿日期:2024-01-10

1 本方法技术路线

本方法首先分析海上目标威胁因素构建评估指标体系;其次采用层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 确定主观权重、熵权法获得客观权重,其中主观权重通过不断改进,逐渐趋于稳定;最后全面考虑主客观信息后获得目标组合权重,形成目标决策矩阵信息,利用 TOPSIS 计算贴近度进行海上目标威胁度排序。其中在 TOPSIS 经典方法基础上,本文创新地将主观权重和客观权重的组合赋权,通过构建的海上目标威胁评估指标模型,实现一种新的可工程应用的海上目标威胁评估方法。技术路线如图 1 所示。

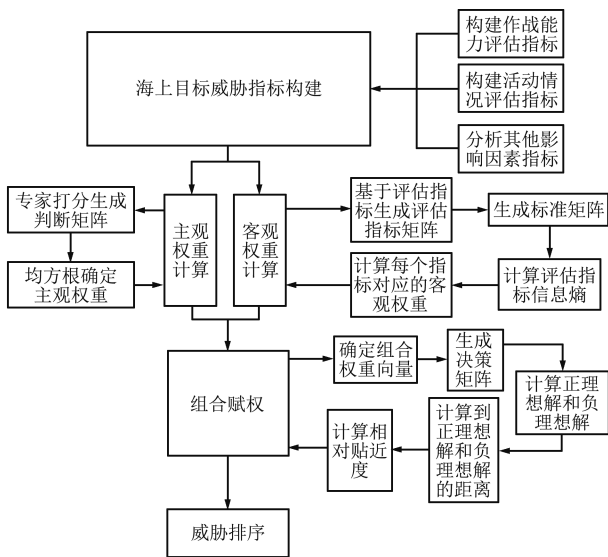


图 1 海上目标威胁评估技术路线

Fig. 1 Maritime target threat assessment technical roadmap

2 海上目标威胁指标体系构建

基于复杂海战场目标情况,构建的海上目标威胁评估指标体系如图 2 所示,主要考虑海上目标作战能力、活动情况和其他影响因素。

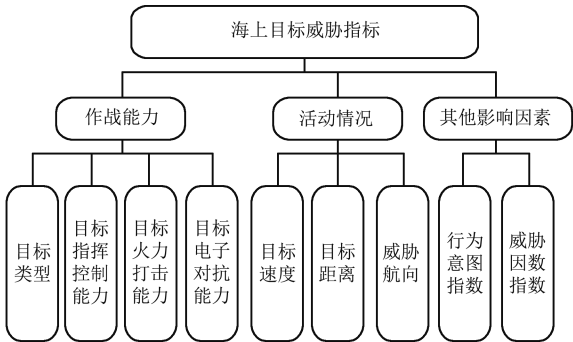


图 2 海上目标威胁评估指标体系

Fig. 2 Maritime target threat assessment index system

2.1 作战能力

① 目标类型:不同的目标类型对我方的威胁程度不同,水面舰艇主要分为编队、航母、巡洋舰、驱逐舰、护卫舰和其他类型舰船等。综合根据目标固有属性定义目标威胁评估指数,并对威胁度进行量化,如表 1 所示。

表 1 目标类型威胁度量化

Tab. 1 Threat metrics of target type			
序号	舰船目标类型	评估指数	威胁度
1	航母编队	18	0.90
2	两栖编队	16	0.80
3	航母	14	0.70
4	两栖舰	12	0.60
5	潜艇	10	0.50
6	巡洋舰	8	0.40
7	驱逐舰	6	0.30
8	护卫舰	4	0.20
9	其他特种舰船	3	0.15
10	民船	1	0.05

② 目标指挥控制能力:包括目标预警探测、信息通信、信息处理、指挥决策和行动控制等能力,具体指标是对相同目标大小、高度及气象条件下探测距离,信息通联状态、信息处理程度、指挥决策水平和行动执行情况等影响因子的综合评估,对应的影响度可分别约定为 0.2、0.3、0.1、0.2 和 0.1,剩余 0.1 作为综合判断因子。综合评估后按照表 2 对指挥控制能力的威胁度量化。

③ 目标火力打击能力:可体现在敌方目标携带武器的数量、有效射程、射速、种类、命中精度和同时发射能力,以及目标本身属性,按照表 2 对目标火力打击能力的强弱进行威胁度的量化。

④ 目标电子对抗能力:干扰、抗干扰是影响目标作战能力的重要因素,依据表 2 对目标威胁程度进行量化。

表 2 目标能力指数的威胁度量化

Tab. 2 Threat metrics of target capability index							
目标各种能力	极弱	弱	较弱	中	较强	强	极强
威胁度	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9

2.2 活动情况

① 目标速度:目标速度威胁指标反映了目标运动状态的威胁程度,运动状态不仅与作战意图有较大的关联,而且目标运动得越快,其位置和所处的环境变化也越快,我方舰载机实施瞄准、跟踪和打击的难度越大,其生存能力越强。因此,主要考虑速度标

量比值的大小,其指标的处理按下式进行:

$$I_v = 1 - e^{\alpha \cdot v} > 0, \quad (1)$$

式中: $\alpha = -0.02$ 。

② 目标威胁航向:目标威胁航向角度是目标火力打击方向与双方舰载平台之间连线的夹角。由于目标武器平台可进行旋转,目标的攻击方向与目标的运动方向并不一致。当目标火力打击方向指向我方舰载机,我方舰载火力打击方向指向目标的相反方向时,目标的进入角度最大,目标的威胁度最大。计算如下:

$$I_\theta = \begin{cases} (1 - \alpha_\theta) e^{\gamma_\theta |\theta|} + \alpha_\theta, & |\theta| < \theta_0 \\ \alpha_\theta, & |\theta| \geq \theta_0 \end{cases}, \quad (2)$$

式中: $\theta_0 = 90^\circ, \alpha_\theta = 0.3, \gamma_\theta = -0.015$ 。

③ 目标距离:距离越近,给我方的防御时间越短,对我方平台的威胁度越大。因此,其隶属度数值应随距离增加而单调下降,此外不同阶段其威胁度的变化趋势不同,当距离越近,其威胁度的变化趋势越快。具体计算如下:

$$I_r = \begin{cases} 1, & d < d_0 \\ (1 - \alpha_d) e^{\gamma_d (d - d_0)} + \alpha_d, & d \geq d_0 \end{cases}, \quad (3)$$

式中: $d_0 = 10, \alpha_d = 0.15, \gamma_d = -0.008$ 。

### 2.3 其他影响因素

① 行为意图:结合军事作战知识,将行为意图分为攻击、电子战、威慑、掩护、协同、侦察、训练、日常巡逻和规避。当敌方目标发起攻击,对我方造成的威胁程度比较高;当敌方进行电子战时,影响我方对敌方目标信息获取能力,从而影响我方的作战决策和指挥;当敌方具有掩护意图或规避的意图时,对我方的威胁程度减小。行为意图的威胁度量化如表3所示。

表3 目标行为意图的威胁度量化

Tab.3 Threat metrics of target behavioral intention

攻击企图	攻击	电子战	威慑	掩护	协同	侦察	训练	日常巡逻	规避
威胁度	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

② 威胁因素:包括所处的气象环境、国际舆论、目标活动规律和突变情况因素组成的威胁因素之和,如表4所示。

表4 威胁因素度量化

Tab.4 Metrics of threat factor

序号	威胁因素类型	评估指数	威胁度
1	气象环境	0~5	0~0.1
2	国际舆论	0~5	0~0.1
3	目标活动规律	0~5	0~0.1
4	突变情况	0~5	0~0.1
5	其他情况	0~5	0~0.1

## 3 基于组合权重 TOPSIS 的海上目标威胁评估模型

### 3.1 主观权重的求取

真实战场的情况错综复杂,对指挥员的专业能力、实战经验以及心理素质都有极高的要求,在威胁评估中融合专家指挥经验十分重要。利用 AHP 可通过不同的标度将所有评估指标的重要程度进行两两对比,提高评估结果的可靠性。具体步骤如下:

① 通过对指标重要程度的两两对比,由专家打分得到判断矩阵  $C = (c_{ij})_{m \times m}$ , 计算如下:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mm} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

式(5)表示指标  $c_{ij}$  相对于指标  $c_j$  的相对权重:

$$c_{ij} = \begin{cases} v, & i \text{ 比 } j \text{ 重要} \\ \frac{1}{v}, & j \text{ 比 } i \text{ 重要} \end{cases}, \quad (5)$$

式中: $v = 1, 2, \dots, 9$ ,  $v$  数值越大说明指标  $i$  相对于指标  $j$  越重要。

② 利用均方根法确定指标的主观权重:

$$w'_i = \frac{\bar{w}'_i}{\sum_{i=1}^m \bar{w}'_i}, \quad (6)$$

式中: $\bar{w}'_i = \sqrt{\frac{1}{m} M_i}$ ,  $M_i = \prod_{j=1}^m c_{ij}$ ,  $\sum_{i=1}^m w'_i = 1$ 。

③ 为了提高权重的可靠性,降低结果的不确定性,需要对主观权重进行一致性检验。

设  $C = (c_{ij})$ ,  $D = (d_i)_{m \times 1} = C \cdot w'^T$ , 则一致性指标为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}, \quad (7)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{d_i}{m w'_i}, \quad (8)$$

式中: $m$  为评估指标的个数,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵的最大特征值。当  $CI \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon = 0.001$ ) 时,判断矩阵满足一致性检验,则计算出的权重值即主观权重值  $w'$ , 当不满足一致性检验条件时,需对一致性指标进行修正,计算公式为:

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (9)$$

式中: $RI$  为修正系数,  $RI$  会随矩阵  $C$  的维度  $m$  变化而变化,如表5所示。

表 5 修正系数  
Tab. 5 Correction index

<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0.00	0.00	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

一般情况下,当  $CR \leq 0.1$  时,可以认为判断矩阵满足一致性要求,此时就可以得到主观权重值。

3.2 客观权重的求取

熵权法是以信息论中熵为基础,利用数据的效用值来修正指标的权重系数,有效地避免了由主观赋权产生的随意性,客观性更强。具体步骤如下:

① 将  $n$  个评价对象的  $m$  项指标值排列成如下的评估指标矩阵:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & \cdots & \bar{a}_{1m} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} & \cdots & \bar{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \cdots & \bar{a}_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于各个指标的量纲不同,得到预测矩阵后需要对矩阵进行规范化处理得到标准矩阵  $A$ ,  $A$  中的元素  $a'_{ij}$  计算如下。

效益性指标:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{(j,\min)}}{a_{(j,\max)} - a_{(j,\min)}}, i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, 2, \cdots, m, \quad (11)$$

成本型指标:

$$a'_{ij} = \frac{a_{(j,\max)} - a_{ij}}{a_{(j,\max)} - a_{(j,\min)}}, i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, 2, \cdots, m. \quad (12)$$

② 利用标准矩阵  $A$ , 计算评估指标的信息熵  $e_j$ :

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n a'_{ij} \ln a'_{ij}, j = 1, 2, \cdots, m, \quad (13)$$

特别地,当  $a'_{ij}=0$  时,  $a'_{ij} \ln a'_{ij}=0$ 。

③ 确定指标  $j$  的客观权重  $w''_j$ :

$$w''_j = \frac{1 - e_j}{\sum_k (1 - e_k)}. \quad (14)$$

表 6 海上目标威胁评估指标信息

Tab. 6 Information on indicators of threat assessment of maritime targets

目标序号	类型	指挥控制能力	火力打击能力	电子对抗能力	速度/(km/h)	距离/km	威胁航向/(°)	行为意图指数	威胁因数指数
A	3	0.35	0.40	0.25	65	110	60	0.40	0.55
B	5	0.45	0.45	0.50	55	90	45	0.55	0.40
C	6	0.55	0.55	0.40	35	130	50	0.50	0.45
D	2	0.75	0.80	0.85	75	60	30	0.90	0.80
E	1	0.80	0.70	0.75	80	80	-75	0.80	0.70
F	7	0.30	0.25	0.25	40	130	80	0.20	0.30
G	4	0.50	0.35	0.30	50	85	-70	0.45	0.50
H	8	0.15	0.20	0.30	30	140	90	0.20	0.20

3.3 基于组合权重的 TOPSIS

为既兼顾评估专家对指标的偏好,又力争减少客观赋权的不确定性,采用线性加权的方法对权重进行处理,较准确地体现指标的重要程度,定义组合权重向量  $w$ :

$$w_j = aw'_j + bw''_j (j = 1, 2, \cdots, m), \quad (15)$$

式中: $a$  为主观权重的影响因子,  $b$  为客观权重的影响因子, 满足  $0 \leq a, b \leq 1, a + b = 1$ , 可以通过改变  $a$  和  $b$  的值来体现主客观权重的相对重要程度。采用组合权重对标准矩阵加权后得到决策矩阵  $X$ , 利用 TOPSIS 方法计算各目标的贴近度, 计算步骤如下。

① 计算正理想解  $X^+$  和负理想解  $X^-$ :

$$X^+ = \{\max_{1 \leq j \leq m} x_{ij} \mid i \in [1, n]\} = (x_1^+, x_2^+, \cdots, x_m^+), \quad (16)$$

$$X^- = \{\min_{1 \leq j \leq m} x_{ij} \mid i \in [1, n]\} = (x_1^-, x_2^-, \cdots, x_m^-). \quad (17)$$

② 分别计算到正理想解和负理想解的距离  $S_i^+$  和  $S_i^-$ :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^+)^2}, i = 1, 2, \cdots, n, \quad (18)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^-)^2}, i = 1, 2, \cdots, n. \quad (19)$$

③ 计算相对贴近度:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \cdots, n. \quad (20)$$

相对贴近度可以表征目标威胁评估程度, 相对贴近度大的, 则威胁程度高。

4 仿真实例

4.1  $t_1$  时刻仿真试验

假设一次海上战斗中, 在  $t_1$  时刻我方通过各种传感器获取了敌方 8 批目标的威胁评估指标参数, 如表 6 所示。

通过询问相关专家,并查阅参考文献后建立判断矩阵,判断矩阵的具体数值为:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/5 & 1/7 & 7 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 6 & 1 & 3 & 2 & 7 & 2 & 5 & 3 & 2 \\ 5 & 1/3 & 1 & 1/2 & 5 & 2 & 1 & 1/2 & 1 \\ 7 & 1/2 & 2 & 1 & 5 & 3 & 5 & 1/3 & 2 \\ 1 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/3 \\ 3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 3 & 1 & 2 & 2 & 5 \\ 2 & 1/5 & 1 & 1/5 & 3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 2 & 1/3 & 2 & 3 & 2 & 1/2 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1/2 & 3 & 1/5 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

利用式(6)计算各指标的主观权重向量: $w'_j = [0.031\ 6, 0.241\ 9, 0.105\ 4, 0.176\ 0, 0.031\ 1, 0.135\ 2, 0.055\ 0, 0.138\ 4, 0.085\ 3]$ ,并根据式(8)求得判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max} = 10.122$ ,利用式(7)进行一致性检验, $CI = 0.14$ ,通过查表1得到修正系数 $RI = 1.45$ ,根据式(9)计算得到一致性检验指标 $CR = 0.096 < 0.1$ ,满足判断矩阵的一致性检验条件,故该权重向量可信度较高。

按照威胁隶属度公式对表6进行标准化处理得到的目标威胁评估矩阵,如表7所示。

表7 标准化后的目标威胁评估矩阵  
Tab.7 Standardized target threat assessment matrix

目标序号	类型	指挥控制能力	火力打击能力	电子对抗能力	速度/(km/h)	距离/km	威胁航向/(°)	行为意图指数	威胁因数指数
A	0.7	0.35	0.40	0.25	0.727 4	0.532 0	0.584 6	0.40	0.55
B	0.5	0.45	0.45	0.50	0.667 1	0.598 2	0.656 4	0.55	0.40
C	0.4	0.55	0.55	0.40	0.503 4	0.475 5	0.630 7	0.50	0.45
D	0.8	0.75	0.80	0.85	0.776 8	0.719 8	0.746 4	0.90	0.80
E	0.9	0.80	0.70	0.75	0.798 1	0.635 6	0.527 3	0.80	0.70
F	0.3	0.30	0.25	0.25	0.550 6	0.427 4	0.510 9	0.20	0.30
G	0.6	0.50	0.35	0.30	0.632 1	0.616 5	0.545 0	0.45	0.50
H	0.2	0.15	0.20	0.30	0.451 2	0.450 5	0.300 0	0.20	0.20

利用熵权法计算得到各评估指标的客观权重: $w'' = [0.094\ 5, 0.084\ 3, 0.114\ 0, 0.215\ 4, 0.092\ 8, 0.116\ 6, 0.057\ 8, 0.135\ 6, 0.089\ 1]$ 。

当影响因子 $a$ 、 $b$ 取不同值时,利用式(15)对主

观权重和客观权重组合赋权,计算的组合权重结果如表8所示。其中当 $a = 0, b = 1$ 时,组合权重即客观权重;相应地,当 $a = 1, b = 0$ 时,组合权重则为主观权重。

表8 综合权重的计算  
Tab.8 Calculation of comprehensive weights

影响因子	组合权重
$a = 0, b = 1$	$[0.094\ 5, 0.084\ 3, 0.114\ 0, 0.215\ 4, 0.092\ 8, 0.116\ 6, 0.057\ 8, 0.135\ 6, 0.089\ 1]$
$a = 0.2, b = 0.8$	$[0.081\ 9, 0.115\ 9, 0.112\ 3, 0.207\ 0, 0.080\ 5, 0.120\ 3, 0.057\ 0, 0.136\ 0, 0.088\ 3]$
$a = 0.5, b = 0.5$	$[0.063\ 0, 0.163\ 1, 0.109\ 7, 0.195\ 7, 0.061\ 9, 0.125\ 9, 0.056\ 4, 0.137\ 0, 0.087\ 2]$
$a = 0.8, b = 0.2$	$[0.044\ 2, 0.210\ 4, 0.107\ 1, 0.183\ 9, 0.043\ 4, 0.131\ 5, 0.055\ 6, 0.137\ 8, 0.086\ 1]$
$a = 1, b = 0$	$[0.031\ 6, 0.241\ 9, 0.105\ 4, 0.176\ 0, 0.031\ 1, 0.135\ 2, 0.055\ 0, 0.138\ 4, 0.085\ 3]$

当  $a=0.5, b=0.5$  时,对标准化目标威胁评估矩阵利用综合权重进行加权处理,得到加权矩阵,根据式(16)、式(17)计算得到的正负理想解为:

$$X^+ = (0.164\ 6, 0.117\ 9, 0.128\ 1, 0.010\ 4, 0.032\ 1, 0.195\ 9, 0.147\ 2, 0.208\ 0), \quad (22)$$

$$X^- = (0.070\ 3, 0.097\ 7, 0.096\ 5, 0.208\ 5, 0.189\ 0, 0.030\ 4, 0.083\ 7, 0.010\ 2). \quad (23)$$

目标威胁评估结果: $D>E>B>C>G>A>F>H$ 。当影响因子  $a、b$  取不同值时,采用 TOPSIS 法中式(18)~式(20)对各目标的与正理想解的相对贴近度进行计算,对应的目标威胁评估结果如图 3 和表 9 所示。当  $a、b$  分别取值: $a=0、b=1, a=0.2、b=0.8, a=0.5、b=0.5$ , 目标威胁排序为: $D>E>B>C>G>A>F>H$ ;当  $a、b$  分别取值: $a=0.8、b=0.2, a=1、b=0$ , 目标威胁排序为: $D>E>C>B>G>A>F>H$ 。

表 9 基于加权 TOPSIS 的目标威胁评估结果

Tab.9 Target threat assessment results based on weighted TOPSIS

影响因子	相对贴近度	威胁排序
$a=0, b=1$	(0.320 0, 0.449 0, 0.376 3, 0.951 0, 0.844 0, 0.110 6, 0.328 9, 0.052 2)	$D>E>B>C>G>A>F>H$
$a=0.2, b=0.8$	(0.310 7, 0.450 5, 0.396 2, 0.952 6, 0.847 0, 0.118 7, 0.339 5, 0.050 4)	$D>E>B>C>G>A>F>H$
$a=0.5, b=0.5$	(0.299 3, 0.453 2, 0.429 6, 0.952 5, 0.854 7, 0.134 3, 0.362 4, 0.046 8)	$D>E>B>C>G>A>F>H$
$a=0.8, b=0.2$	(0.292 9, 0.455 8, 0.462 9, 0.949 9, 0.865 4, 0.150 9, 0.389 6, 0.042 3)	$D>E>C>B>G>A>F>H$
$a=1, b=0$	(0.291 5, 0.457 4, 0.483 1, 0.947 4, 0.873 2, 0.161 3, 0.407 9, 0.039 1)	$D>E>C>B>G>A>F>H$

4.2  $t_2$  时刻仿真试验

在  $t_2$  时刻,这 8 批目标的威胁评估指标参数如表 10 所示。对这 8 批目标的威胁评估过程如下

所示。按照威胁隶属度公式对表 10 进行标准化处理得到的目标威胁评估矩阵如表 11 所示。

表 10 海上目标威胁评估指标信息

Tab.10 Information on indicators of threat assessment of maritime targets

目标序号	类型	指挥控制能力	火力打击能力	电子对抗能力	速度/(km/h)	距离/km	威胁航向/(°)	行为意图指数	威胁指数
A	3	0.35	0.40	0.55	75	90	30	0.60	0.65
B	5	0.40	0.40	0.50	50	80	35	0.55	0.40
C	6	0.45	0.50	0.45	40	120	40	0.55	0.55
D	2	0.75	0.80	0.75	65	90	60	0.80	0.70
E	1	0.80	0.90	0.75	100	50	-35	0.95	0.85
F	7	0.30	0.25	0.35	50	120	70	0.25	0.35
G	4	0.50	0.45	0.50	40	95	-60	0.55	0.55
H	8	0.15	0.25	0.35	40	150	80	0.30	0.25

表 11 标准化后的目标威胁评估矩阵

Tab.11 Standardized target threat assessment matrix

目标序号	类型	指挥控制能力	火力打击能力	电子对抗能力	速度/(km/h)	距离/km	威胁航向/(°)	行为意图指数	威胁指数
A	0.7	0.35	0.4	0.55	0.776 8	0.598 2	0.746 4	0.6	0.65
B	0.5	0.40	0.4	0.5	0.632 1	0.635 6	0.714 1	0.55	0.40

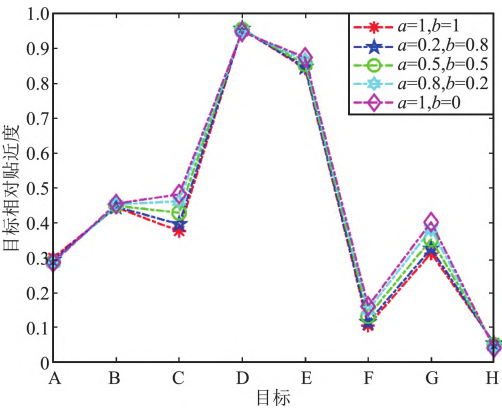


图 3 不同权重因子下目标相对贴近度

Fig.3 Relative closeness of the target under different weight factors

续表

目标序号	类型	指挥控制能力	火力打击能力	电子对抗能力	速度/(km/h)	距离/km	威胁航向/(°)	行为意图指数	威胁指数
C	0.4	0.45	0.50	0.45	0.550 6	0.502 6	0.684 2	0.55	0.55
D	0.8	0.75	0.80	0.75	0.727 4	0.598 2	0.584 6	0.80	0.70
E	0.9	0.80	0.90	0.75	0.864 6	0.767 2	0.714 1	0.95	0.85
F	0.3	0.30	0.25	0.35	0.632 1	0.502 6	0.545 0	0.25	0.35
G	0.6	0.50	0.45	0.50	0.550 6	0.580 7	0.584 6	0.55	0.55
H	0.2	0.15	0.25	0.35	0.550 6	0.427 4	0.510 9	0.30	0.25

利用熵权法计算得到各评估指标的客观权重为:

$$w'' = [0.087\ 8, 0.083\ 0, 0.150\ 0, 0.135\ 3, 0.192\ 8, 0.080\ 5, 0.092\ 7, 0.093\ 6, 0.084\ 3]。 \quad (24)$$

当影响因子取  $a=0.5, b=0.5$  时,利用式(15)对主观权重和客观权重组合赋权,计算的组合权重结果为:

$$w = [0.059\ 7, 0.162\ 5, 0.127\ 7, 0.155\ 6, 0.111\ 9, 0.107\ 9, 0.073\ 9, 0.116\ 0, 0.084\ 8]。 \quad (25)$$

根据式(16)、式(17)计算得到的正负理想解:

$$X^+ = (0.113\ 6, 0.122\ 0, 0.117\ 4, 0.038\ 0, 0.002\ 4, 0.169\ 6, 0.110\ 0, 0.186\ 6), \quad (26)$$

$$X^- = (0.085\ 8, 0.071\ 2, 0.076\ 6, 0.160\ 9, 0.188\ 8, 0.029\ 3, 0.084\ 6, 0.005\ 8)。 \quad (27)$$

采用 TOPSIS 法中式(18)~式(20)对各目标与正理想解的相对贴近度进行计算,计算结果为:(0.430 4, 0.368 6, 0.394 8, 0.809 1, 0.987 5, 0.147 2, 0.434 9, 0.030 1)。目标威胁评估结果: $E>D>G>A>C>B>F>H$ 。

4.3 仿真试验分析

① 试验参数分析

试验过程中试验数据主要包括记录的评估指标体系参数  $\bar{A}$ 、客观权重  $A$ 、专家打分的主观权重  $C$ 、一致性指标  $CI$ 、修正系数  $RI$ 、组合权重的影响因子 ( $a, b$ )、正理想解和负理想解的距离  $S_i^+$  和  $S_i^-$ 、相对贴近度  $C_i^*$ ;其中  $\bar{A}$  受系统探测、识别等因数以及评估指标影响;同时主观权重  $C$  由专家对影响因素两两对比的重要程度确定,  $a, b$  作为输入条件,其他参数都是通过计算得到的。本文方法是实现在  $\bar{A}$  和  $C$  能够事先确定,作为原始输入的情况下,验证计算海上目标威胁的评估能力和可行性。2 次试验参数中目标保持不变,运动属性发生变化,计算目标威胁程度,和实际情况贴近。

② 试验结果分析

结合表 8 及表 12 数据,与  $t_1$  时刻相比,目标 E 加速向我方逼近,各指标数据均表明其对我方的威胁程度呈上升趋势;而目标 D 则远离我方,其对我方的威胁程度呈下降趋势,这与仿真试验结果一致,说明基于主客观组合赋权 TOPSIS 目标威胁评估方法是合理有效的。另外,仿真试验结果可进一步为指挥决策人员提供灵活的威胁排序方式。

增加试验,如果变化主观权重  $C$ ,可以看出其对目标 C 和目标 G 影响度会偏大,将主要影响目标 C、目标 G 和目标 B 的排序情况;如果试验改变客观权重  $\bar{A}$ ,对 D、E 现在排名靠前的威胁数值影响稍大,对排名靠后的影响度不大。

上述结果可得出以下结论:综合权重仅由主观权重决定,即数据主要由专家经验获得时,计算结果的标准差较大;综合权重只由客观权重影响时,数据全部由探测数据或经理论推理的客观数据组成,计算结果的标准差较大;而主客观权重共同决定的组合权重得到结果的标准差介于二者之间,此结果既减少了客观权重引起的信息的不确定性,又降低了主观赋权的随意性。结合定性分析,能够证明该目标威胁排序合理且符合实际。仿真试验结果可进一步为决策人员提供灵活的威胁排序结果。

4.4 实际应用分析

① 实际环境考虑分析

由于实际复杂海战场环境,应针对源头进行早期预警侦察,自敌方从基地出发进行跟踪监视,尽早发现敌方编队活动情况,依据活动规律,分析预测其可能的活动区域和意图,利用构建的指标体系,尽早对敌目标进行威胁评估,并依据实时探测情况,调整评估参数,更新威胁评估结论。

针对较多不确定的因素,如临时发现的目标,应尽量通过各种手段进行跟踪监视识别,如果无法识别目标类型,可通过其航行速度,几何外形大小,初

步确定其类型,其各种作战能力可按照中间值处理,主观权重影响因子 $\alpha$ 取相对较小的值。

### ② 本方法的优缺点

本方法的优点为提供一种相对平衡的目标威胁评估算法,减少客观带来的不确定性和主观带来的随意性,同时由于评估指标的确定性,主观判断矩阵通过试验通常情况下能够趋于稳定,同时计算方法简单可靠,实际应用便捷可行。其缺点为构建的指标参数与实际目标信息不是强关联,存在一定评估误差,但归一化后和通过主观权重的组合,影响度有限。

### ③ 应用参考启示

传统的海上目标威胁评估没有考虑主观评价与客观分析存在的差异对威胁的影响,本方法应用组合赋权 TOPSIS 的方法,能够快速应用于工程应用中,可操作性强,评估结果合理、可靠。下一步将与实际作战和仿真推演过程进行总结归纳、比较,通过模拟各种复杂的战场环境,反复仿真试验过程,使评估参数更加贴近实际,修正威胁评估指标,为海上作战预先判断威胁提供新的方法和思路。

## 5 结论

本文提出了一种基于组合赋权 TOPSIS 的海上目标威胁评估方法,主要结论如下:

① 建立了海上目标威胁评估体系,详尽阐述了该体系中各评估指标的特点,构建了各指标的数学模型。

② 采用 AHP 确定主观权重,采用熵权法确定客观权重,并利用组合赋权法求取主客观综合权重。试验结果表明组合赋权法确定的指标权重较单独使用主观赋权或客观赋权更具合理性。

③ 采用组合权重对目标威胁决策矩阵加权处理后利用 TOPSIS 法得到目标威胁排序。试验结果表明目标威胁评估结果符合实际,可为指挥员提供有效的辅助决策。



### 参考文献

- [1] 靳崇,孙娟,王永佳,等.基于直觉模糊 TOPSIS 和变权 VIKOR 的防空目标威胁综合评估[J].系统工程与电子技术,2022,44(1):172-180.
- [2] 杨璐,刘付显,张涛,等.基于组合赋权-TOPSIS 法的舰艇编队空中目标威胁评估模型[J].电光与控制,2019,26(8):6-11.
- [3] 王思远,王刚,张家瑞.基于变权 TOPSIS 法的防空目标威胁评估方法[J].弹箭与制导学报,2019,39(6):171-176.
- [4] 张浩为,谢军伟,葛佳昂,等.改进 TOPSIS 法的多时刻融合直觉模糊威胁评估[J].控制与决策,2019,34(4):811-815.
- [5] 王俊玲.基于 Topsis 对无人艇保卫目标威胁程度的评价[J].信息系统工程,2017,24(10):135-137.
- [6] 樊振华,师本慧,陈金勇,等.基于动态贝叶斯网络的意图分析算法[J].无线电工程,2017,47(11):41-44.
- [7] 李旭辉,顾颖彦,韩兴豪,等.基于动态云贝叶斯网络的舰艇防空目标威胁评估[J].舰船电子对抗,2021,44(1):38-44.
- [8] 刘诗瑶,王明,习朝辉,等.基于动态贝叶斯网络的无人战车目标威胁评估[J].火力与指挥控制,2021,46(4):59-64.
- [9] 翟贵敏,董龙明,邱瑞波,等.基于贝叶斯网络的空中目标威胁估计算法[J].火力与指挥控制,2016,41(11):90-93.
- [10] 王葵,腾克难,陈健,等.特征数据缺失下海上要地防空威胁评估[J].舰船电子工程,2022,42(4):22-25.
- [11] 杨童瑶,杨风暴,吉琳娜,等.基于行为意图的海上目标动态威胁评估[J].探测与控制学报,2021,43(6):84-91.
- [12] 黄钦龙,刘忠,夏家伟.海上近岸目标威胁评估模型[J].指挥控制与仿真,2019,41(5):21-26.
- [13] 李冬雷,姜礼平.基于核主成分分析方法的水面舰艇空中目标威胁评估[J].指挥控制与仿真,2016,38(4):32-35.
- [14] 苏瑶.基于权重自适应的舰艇防空目标威胁评估研究[C]//第八届中国指挥控制大会论文集.北京:兵器工业出版社,2020:578-582.
- [15] 李寒雨,秦克,李家志,等.一种基于改进迭代决策树算法的目标威胁评估模型[J].舰船电子工程,2017,37(10):25-29.
- [16] 高杨,黄仰超,程国兵,等.直觉模糊信息下基于 VIKOR 和三支决策的多目标威胁评估方法[J].电子学报,2021,49(3):542-549.
- [17] 侯思尧,李永光,陈思静,等.利用主客观集成赋权法的多目标威胁评估[J].电讯技术,2019,59(8):956-961.
- [18] 李智,齐莹莹,王莉.基于 DBN 和证据网络的目标威胁评估方法研究[J].航天电子对抗,2022,38(2):38-43.

### 作者简介

唐伟广 男,(1982—),硕士,高级工程师。

徐超 男,(1986—),博士,工程师。主要研究方向:数据融合、目标识别。

康彦肖 女,(1975—),正高级工程师。