

不完全信息下的反 TBM 威胁评估

徐浩¹, 邢清华¹, 黄兴², 王莎¹

(1. 空军工程大学防空反导学院, 西安 710051; 2. 中国人民解放军 94907 部队, 南昌 330013)

摘要: 针对现有反 TBM 威胁评估方法很难在指标信息不完全的情况下进行评估的问题, 提出了一种基于证据推理的反 TBM 威胁评估方法。对处于助推段飞行 TBM 的威胁评估影响因素进行了深入分析, 建立了相应的威胁评估层次结构模型, 并分析了指标信息不完全的问题; 将证据推理方法应用于不完全信息下的反 TBM 威胁评估, 给出了相应的方法步骤; 通过算例分析, 证明了所提方法可有效解决指标信息不完全的反 TBM 威胁评估问题。

关键词: 反战术弹道导弹; 威胁评估; 不完全信息; 证据推理

中图分类号: E911 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)11-0047-05

Threat Assessment in Anti-TBM Combat with Incomplete Information

XU Hao¹, XING Qing-hua¹, HUANG Xing², WANG Sha¹

(1. Institute of Air and Missile Defense, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

2. No. 94907 Unit of PLA, Nanchang 330013, China)

Abstract: Considering that it is difficult to make threat assessment in anti-TBM (Tactical Ballistic Missile) combat with incomplete index information by using the existing threat assessment methods, a threat assessment method based on Evidential Reasoning (ER) was proposed. First, the threat assessment factors of TBM in boost phase were analyzed, the hierarchical structure model for threat assessment was constructed, and analysis was made to the issue of incomplete index information. Then, the ER method was applied to conduct threat assessment in anti-TBM combat with incomplete index information, and the detailed steps of the method were put forward. At last, analysis of examples showed that the proposed method can deal with the threat assessment problem in anti-TBM combat effectively.

Key words: anti-TBM; threat assessment; incomplete information; evidential reasoning

0 引言

威胁评估作为反战术弹道导弹(TBM)指挥决策的重要环节,是预警协同探测^[1-2]和目标优化分配^[3]的前提条件,对反 TBM 作战效能的发挥具有重要影响。目前,已有学者采用 TOPSIS 法^[4]、层次熵法^[5]、综合 FCM 法^[6]、连乘法^[7]、加权求和法^[8]对反 TBM 威胁评估进行了深入研究,并取得了丰硕的研究成果,为反 TBM 指控系统中的威胁评估提供了非常重要的模型和算法支持。然而,在反 TBM 作战过程中,由于战前收集的敌方 TBM 情报信息不足、预警探测系统探测到

的目标信息不全,会出现威胁评估指标信息不完全的情况。这种情况下,现有的反 TBM 威胁评估方法^[4-8]很难适用。为此,本文试图利用可以有效解决不完全信息下多指标评估问题的证据推理(Evidential Reasoning, ER)方法^[9-12]开展反 TBM 威胁评估研究,提出一种用于不完全信息下威胁评估的实用方法。

1 不完全信息下的反 TBM 威胁评估问题

本文主要针对处于助推段飞行的多个来袭 TBM 目标进行威胁评估。首先分析影响反 TBM 威胁评估的因素,然后建立威胁评估指标体系,最后对指标信息不完全的问题进行说明。

1.1 反 TBM 威胁评估因素分析

由文献[4-8]可知,落点偏差、弹头威力、射程、关机点速度、再入速度、突防能力和 RCS 等来袭 TBM 性能

收稿日期:2015-09-23

修回日期:2015-12-03

作者简介:徐浩(1988—),男,湖南益阳人,博士生,研究方向为防空反导指挥决策分析。

以及攻击方实战能力和作战理念等攻击方因素,被保卫目标的重要程度、抗毁能力、拦截系统性能等防御方因素,以及来袭 TBM 与被保卫目标的距离、拦截剩余时间、航路捷径与交会角等双方关系因素,都是影响反 TBM 威胁评估的重要因素。然而,来袭 TBM 处于助推段飞行时,预警探测系统所能探测到的目标信息比较少,这种情况下,进行威胁评估主要依靠战前收集的敌方 TBM 部署信息。图 1 给出了对处于助推段飞行的 TBM 目标威胁评估的影响因素进行分析的思路。首先,根据导弹预警卫星探测到的 TBM 发射信息,判断各 TBM 的发射点;然后,根据战前收集的敌方 TBM 部署信息,判断各 TBM 的弹头威力、射程和技术水平等因素;最后,由各 TBM 的射程和射向判断受袭的要地,分析受袭要地的重要程度等因素。由此可知,影响助推段飞行的 TBM 威胁评估的主要因素有 TBM 发射点、弹头威力、射程、技术水平和射向,以及受袭要地的重要程度。其中,发射点对反 TBM 威胁评估的影响可以通过弹头威力、射程和技术水平等因素体现,同理,TBM 射向也只是一个间接因素。下面主要对弹头威力、射程、技术水平和受袭要地的重要程度等 4 个因素进行分析。

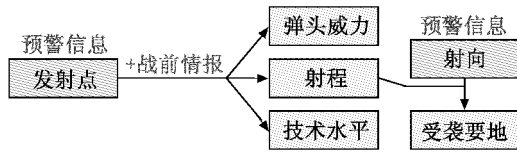


图 1 助推段飞行的 TBM 威胁评估影响因素分析思路
Fig. 1 The process for analyzing threat assessment factors of TBM in boost phase

1) 弹头威力。TBM 弹头威力的大小直接关系到对受袭要地的损伤程度,弹头威力越大,要地受损的程度就会越大。换言之,弹头威力越大,TBM 威胁值越大。处于助推段飞行的 TBM 弹头威力大小,主要是利用导弹预警卫星观测到的目标特征与装订在反 TBM 指控系统中该发射点 TBM 信息进行匹配得到。

2) 射程。射程越远,TBM 的飞行速度越大,反 TBM 系统越难对其进行拦截;一般情况下,射程越远,TBM 载弹量就越大,将对受袭要地造成的损伤也就越大。因此,射程越远,TBM 威胁值越大。对处于助推段飞行 TBM 的射程估计方法与弹头威力估计方法类似。

3) 技术水平。技术水平主要指 TBM 的突防能力及射击精度等信息。突防能力越强,反 TBM 系统越难拦截,要地受到攻击的可能性越大;射击精度越高,同等弹头威力条件下,对受袭要地造成的损伤将越大。因此,技术水平越高,TBM 威胁值越大。对技术水平的估计,主要依靠战前收集的敌方 TBM 情报信息进行判断。

4) 受袭要地的重要程度。受袭要地的重要程度

主要由要地内政治、军事和经济目标等的重要程度决定。受袭要地的重要程度越高,被 TBM 攻击后造成的政治、军事和经济损失也就越大,因此,受袭要地的重要程度越高,TBM 威胁值越大。受到 TBM 攻击的要地重要程度,主要依据 TBM 射程和射向判断受袭的要地后从反 TBM 指控系统中直接读取该要地的重要程度。

1.2 反 TBM 威胁评估模型构建

根据 1.1 节的分析,选取 TBM 弹头威力、射程、精度和突防能力,以及要地重要程度作为反 TBM 威胁评估的指标,并建立如图 2 所示威胁评估层次结构模型。其中,TBM 弹头威力、突防能力和要地重要程度是定性指标,使用等级描述,具体如表 1 所示;射程威胁值的计算参考文献[8]所介绍的方法,具体如式(1)所示;TBM 射击精度威胁值是根据现有弹道导弹射击精度特点进行线性插值计算得到,具体如式(2)所示。

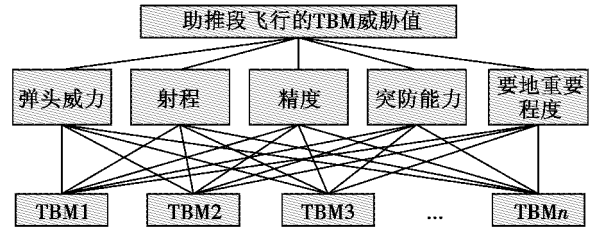


图 2 反 TBM 威胁评估层次结构模型

Fig. 2 The hierarchical structure model for threat assessment in anti-TBM combat

表 1 威胁评估定性指标的等级描述

Table 1 The ranking description for the qualitative threat assessment indexes

等级	弹头威力	突防能力	要地重要程度
H_1	微弱	非常弱	不重要
H_2	较小	较弱	一般
H_3	中等	中等	中等
H_4	较大	较强	重要
H_5	非常大	非常强	非常重要

$$w(L) = \begin{cases} 0.4 & L \leq 300 \\ 0.4 + \frac{0.25 \times (L - 300)}{1000 - 300} & 300 < L \leq 1000 \\ 0.65 + \frac{0.35 \times (L - 1000)}{3500 - 1000} & 1000 < L \leq 3500 \end{cases} \quad (1)$$

$$w(J) = \begin{cases} 1 & J < 20 \\ 0.7 + 0.3 \times \frac{50 - J}{50 - 20} & 20 \leq J < 50 \\ 0.5 + 0.2 \times \frac{200 - J}{200 - 50} & 50 \leq J < 200 \\ 0.2 + 0.3 \times \frac{1000 - J}{1000 - 200} & 200 \leq J < 1000 \\ 0.2 & J \geq 1000 \end{cases} \quad (2)$$

式中: L 是 TBM 的射程,单位 km; $w(L)$ 是射程威胁值; J

是 TBM 的射击精度 CEP,单位 m; $w(J)$ 是精度威胁值。

1.3 反 TBM 威胁评估信息不完全问题分析

由于战前收集的敌方 TBM 情报不完全,在作战过程中反 TBM 指控系统只能提供用于威胁评估的部分指标信息。例如,对 3 个来袭 TBM 目标进行威胁评估,可能出现的评估指标信息不完全情况如表 2 所示,其中,TBM1 的精度指标信息缺失,TBM2 的弹头威力指标信息缺失。本文就是对由于信息不完全造成部分指标信息缺失情况下的 TBM 威胁进行评估。

表 2 威胁评估指标信息不完全的情况

Table 2 The example of threat assessment in anti-TBM combat with incomplete index information

指标	TBM1	TBM2	TBM3
弹头威力	较小	-	非常大
射程/km	300	1500	2000
精度/m	-	65	500
突防能力	中等	较强	较弱
要地重要程度	一般	中等	重要

2 不完全信息下的反 TBM 威胁评估方法

由上文的分析可知,不完全信息下的反 TBM 威胁评估问题实质上是指标信息不完全的多属性决策问题,本文将借助证据推理方法加以解决。

2.1 不完全信息下的反 TBM 威胁评估数学建模

设反 TBM 威胁评估框架为 $S = (U, C, W, f)$ 。其中, $U = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 为来袭 TBM 目标集, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 为威胁评估指标集, W 为决策矩阵,映射 $f: U \times C \rightarrow W$,且 $f(b_i, c_j)$ 为第 i 个 TBM 的第 j 个指标的指标值。那么,指标信息不完全的反 TBM 威胁评估的决策矩阵 W 中至少有一个空缺值,即至少有一个 TBM 目标 $b_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 对应的指标值 $w_{ij} (j = 1, 2, \dots, m)$ 是空缺的。因此,本文研究的不完全信息下反 TBM 威胁评估,就是在决策矩阵 W 含有空缺值的情况下,对来袭 TBM 目标 b_1, b_2, \dots, b_n 的威胁值大小进行评估和排序。

2.2 基于 ER 的不完全信息下反 TBM 威胁评估

针对决策矩阵 W 含有空缺值的情况,本文采用证据推理方法进行反 TBM 威胁评估。下面给出基于 ER 的不完全信息下反 TBM 威胁评估步骤。

1) 构建决策矩阵 W 。 n 个来袭 TBM 对应 m 个威胁评估指标的决策矩阵 W 的构成为

$$W = (f(b_i, c_j))_{n \times m} \quad (3)$$

W 中的元素 $w_{ij} = f(b_i, c_j)$ 是第 i 个 TBM 的第 j 个指标的指标值。对于定量指标,使用式(1)和式(2)进行指标值的计算;对于定性指标,表 1 中的 5 个等级的量化值分别为 $w(H_1) = 0.01, w(H_2) = 0.25, w(H_3) = 0.5,$

$w(H_4) = 0.75$ 和 $w(H_5) = 1$ 。

2) 确定各指标对应的焦元。在某个指标下,如果某个 TBM 的指标值存在,表明存在一定的可能性使得该指标(证据)支持该 TBM 威胁最大,因此,视该 TBM 为该指标(证据)对应的一个焦元;如果某个 TBM 的指标值空缺,表明存在一定的可能性使得该指标(证据)无法区分各 TBM 威胁的大小,即支持所有 TBM 威胁都为最大,因此视来袭 TBM 目标集 U (即识别框架)为该指标的一个焦元。并且,将第 j 个指标对应的焦元表示为 $A_k^j (k \leq n)$ 。

3) 分配各指标对应焦元的基本概率。

① 计算各指标对应焦元的偏好值。某个指标对应焦元的偏好值是指该指标(证据)支持该焦元的偏好程度,算式为

$$p(A_k^j) = w_{kj} / \sum_{k=1}^n w_{kj} \quad (4)$$

式中, w_{kj} 是第 j 个指标对应的焦元 A_k^j 所对应的指标值,当 $A_k^j = U$ 时,取 $w_{kj} = 1^{[9]}$ 。

② 计算各焦元的基本概率分配值。各焦元的基本概率分配值算式^[13]为

$$m(A_k^j) = \begin{cases} \omega_j \times p(A_k^j) & A_k^j \neq U \\ 1 - \sum_{k=1}^n (\omega_j \times p(A_k^j)) & A_k^j = U \end{cases} \quad (5)$$

式中, ω_j 是第 j 个指标的权重,指标权重 $\omega_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 满足 $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$,在战前由军事专家给出,并装订在反 TBM 指控系统中。

4) 进行证据合成。将反 TBM 威胁评估的 m 个指标视为 m 个证据源,根据 D-S 证据理论^[9],进行如下证据合成

$$m(E) = (m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_m)(E) = \begin{cases} 0 & E = \emptyset \\ \frac{\sum_{\cap A_k^j = E} \prod_{1 \leq j \leq m} m_j(A_k^j)}{1 - K} & E \neq \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

式中: E 为各指标对应焦元的交集; $m_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 为各指标的基本概率分配函数; K 为冲突系数^[9],其算式为

$$K = \sum_{\cap A_k^j = \emptyset} \prod_{1 \leq j \leq m} m_j(A_k^j) \quad (7)$$

5) 计算各 TBM 威胁值。使用证据理论^[9]中的信度函数和似真函数计算得到的值作为各 TBM 威胁值的下限和上限,具体为

$$Bel(\{b_i\}) = \sum_{E \subseteq b_i} m(E) \quad (8)$$

$$Pls(\{b_i\}) = \sum_{b_i \subseteq E} m(E) \quad (9)$$

则各 TBM 的威胁值为 $w(b_i) = [Bel(\{b_i\}), Pls(\{b_i\})]$ 。

6) 进行威胁排序。依据区间数比较的可能度公式^[9]对各 TBM 威胁值进行排序,具体方法如下:设两个 TBM 目标 b_f 和 b_g 的威胁值分别为 $w(b_f) = [Bel(\{b_f\}), Pls(\{b_f\})]$ 和 $w(b_g) = [Bel(\{b_g\}), Pls(\{b_g\})]$, 则 b_f 的威胁值比 b_g 的大可能度为

$$P(w(b_f) > w(b_g)) = \min \{ \max((Pls(\{b_f\}) - Bel(\{b_g\})) / (Pls(\{b_f\}) - Bel(\{b_f\}) + Pls(\{b_g\}) - Bel(\{b_g\})), 0), 1 \} \quad (10)$$

如果 $P(w(b_f) > w(b_g)) > 0.5$, 则 b_f 的威胁值比 b_g 的威胁值大; 如果 $P(w(b_f) > w(b_g)) = 0.5$, 则 b_f 的威胁值和 b_g 的威胁值一样大; 如果 $P(w(b_f) > w(b_g)) < 0.5$, 则 b_f 的威胁值比 b_g 的威胁值小。

3 不完全信息下的反 TBM 威胁评估算例

需要对 5 个正处于助推段飞行的 TBM 目标 $\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$ 进行威胁评估, 各 TBM 的威胁评估指标信息如表 3 所示, 威胁评估指标集 $C = \{\text{弹头威力 } c_1, \text{射程 } c_2, \text{精度 } c_3, \text{突防能力 } c_4, \text{要地重要程度 } c_5\}$, 各指标权重为 $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5) = (0.17, 0.35, 0.1, 0.08, 0.3)$ 。

表 3 反 TBM 威胁评估指标信息

Table 3 The index information for threat assessment in anti-TBM combat

TBM	弹头威力	射程/km	精度/m	突防能力	要地重要程度
b_1	较小	300	-	中等	一般
b_2	-	1500	65	较强	中等
b_3	非常大	2000	500	较弱	非常重要
b_4	较小	600	100	-	一般
b_5	较大	3000	20	较强	重要

首先, 由表 3 的指标信息构建反 TBM 威胁评估决策矩阵如表 4 所示, 并得到如表 5 所示的各指标对应的焦元。

表 4 反 TBM 威胁评估决策矩阵

Table 4 The decision matrix for threat assessment in anti-TBM combat

TBM	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
b_1	0.25	0.400	-	0.5	0.25
b_2	-	0.720	0.680	0.75	0.5
b_3	1	0.790	0.388	0.25	1
b_4	0.25	0.507	0.630	-	0.25
b_5	0.75	0.930	1	0.75	0.75

然后, 利用表 4 和表 5 及式(4)和式(5), 计算得到各指标对应焦元的基本概率分配值如表 6 所示。虽然表 5 中, 指标 c_2 和 c_3 对应的焦元没有全集 U , 但为了综合各指标权重进行基本概率分配, 在表 6 中对指标 c_2 和 c_3 设置焦元 U 。

表 5 各指标对应焦元

Table 5 The focal elements corresponding to each index

指标	焦元
c_1	$\{b_1\}, \{b_3\}, \{b_4\}, \{b_5\}, U$
c_2	$\{b_1\}, \{b_2\}, \{b_3\}, \{b_4\}, \{b_5\}$
c_3	$\{b_2\}, \{b_3\}, \{b_4\}, \{b_5\}, U$
c_4	$\{b_1\}, \{b_2\}, \{b_3\}, \{b_5\}, U$
c_5	$\{b_1\}, \{b_2\}, \{b_3\}, \{b_4\}, \{b_5\}$

表 6 各指标对应焦元的基本概率分配值

Table 6 The basic probability assignment for each index

指标	焦元基本概率分配值
c_1	$m_1(\{b_1\}) = 0.0131, m_1(\{b_3\}) = 0.0524, m_1(\{b_4\}) = 0.0131, m_1(\{b_5\}) = 0.0393, m_1(U) = 0.8821$
c_2	$m_2(\{b_1\}) = 0.0418, m_2(\{b_2\}) = 0.0753, m_2(\{b_3\}) = 0.0826, m_2(\{b_4\}) = 0.0530, m_2(\{b_5\}) = 0.0973, m_2(U) = 0.6500$
c_3	$m_3(\{b_2\}) = 0.0184, m_3(\{b_3\}) = 0.0105, m_3(\{b_4\}) = 0.0170, m_3(\{b_5\}) = 0.0270, m_3(U) = 0.9271$
c_4	$m_4(\{b_1\}) = 0.0120, m_4(\{b_2\}) = 0.0180, m_4(\{b_3\}) = 0.0060, m_4(\{b_5\}) = 0.0180, m_4(U) = 0.9460$
c_5	$m_5(\{b_1\}) = 0.0273, m_5(\{b_2\}) = 0.0545, m_5(\{b_3\}) = 0.1091, m_5(\{b_4\}) = 0.0273, m_5(\{b_5\}) = 0.0818, m_5(U) = 0.7000$

最后, 利用式(6)进行证据合成, 并利用式(8)和式(9)计算各 TBM 的威胁值, 计算结果如表 7 所示。并利用式(10)计算各 TBM 威胁值相互比较的可能度, 则有 $P(w(b_5) > w(b_3)) > 0.5, P(w(b_3) > w(b_2)) > 0.5, P(w(b_2) > w(b_4)) > 0.5, P(w(b_4) > w(b_1)) > 0.5$ 。因此, 目标威胁由大到小排序为 b_5, b_3, b_2, b_4, b_1 。

表 7 各 TBM 威胁值

Table 7 The threat value of each TBM

证据合成结果	各 TBM 威胁值
$m(\{b_1\}) = 0.0578$	$w(b_1) = [0.0578, 0.4818]$
$m(\{b_2\}) = 0.1060$	$w(b_2) = [0.1060, 0.5300]$
$m(\{b_3\}) = 0.1715$	$w(b_3) = [0.1715, 0.5955]$
$m(\{b_4\}) = 0.0684$	$w(b_4) = [0.0684, 0.4924]$
$m(\{b_5\}) = 0.1723$	$w(b_5) = [0.1723, 0.5963]$
$m(U) = 0.4240$	

直观上看, TBM 目标 b_3 和 b_5 相比, 虽然弹头威力相对较大, 但是, 由于战术弹道导弹的弹头都是常规弹头, 弹头威力相差不会太大, 因而对威胁排序的影响也不会太大; 虽然 b_3 攻击的要地重要程度比 b_5 的大, 但是, 由于其精度非常低, 因而对受袭要地造成的威胁不会比 b_5 的大; 并且从射程和突防能力两个指标来看, b_3 都比 b_5 要差很多, 相对容易被反 TBM 系统拦截, 因此, TBM 目标 b_3 相对 b_5 的威胁较小。TBM 目标 b_2 的射程比 b_4 要大得多, 由反 TBM 作战经验知 b_2 的弹头威力不会比 b_4 小很多; 由精度指标可知, b_2 的技术水平比 b_4 要高, 因而 b_2 的突防能力不会比 b_4 差很多; 而 b_2 攻击的要地重

要程度比 b_4 的大,因此 TBM 目标 b_2 相对 b_4 的威胁要大。同理,可以得出 TBM 目标 b_3 相对 b_2 的威胁要大, b_4 相对 b_1 的威胁要大的直观结论。因此,从直观上就可以证明本文给出的威胁排序是合理的,这也说明本文所提出的威胁评估方法是可行的。

4 小结

本文在深入分析助推段飞行的 TBM 威胁评估影响因素的基础上,对反 TBM 的威胁评估指标信息不完全的问题进行了分析,然后利用证据推理方法开展了不完全信息下的反 TBM 威胁评估,并通过实例验证了方法的可行性。将证据推理方法应用于反 TBM 威胁评估,有效解决了针对助推段飞行的 TBM 进行威胁评估时指标信息不完全的问题,促进了证据推理方法的应用研究,因而,本文的研究具有一定的理论意义;针对助推段飞行的 TBM 威胁评估研究成果可以应用于反 TBM 协同探测^[1-2]和中段反 TBM 火力分配^[3],因而本文的研究具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 任俊亮,邢清华,邹志刚,等. 基于一维距离像识别的反导雷达配置模型研究[J]. 电光与控制,2014,21(3):76-79,91. (REN J L, XING Q H, ZOU Z G, et al. Deployment of target recognition radar based on range profile in missile defense system [J]. Electronics Optics & Control, 2014, 21(3):76-79, 91.)
- [2] 任俊亮,邢清华,李龙跃,等. 反导预警资源的调度策略与模型研究[J]. 现代防御技术,2015,43(3):107-112. (REN J L, XING Q H, LI L Y, et al. Model and scheduling strategy of early warning resources schedule in missile defense operation [J]. Modern Defence Technology, 2015, 43(3):107-112.)
- [3] 肖金科,王刚,刘昌云,等. 多层反导目标分配建模及其优化方法研究[J]. 电光与控制,2013,20(10):62-65. (XIAO J K, WANG G, LIU C Y, et al. Target assignment modeling of multi-layered anti-missile system and its optimization [J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(10):62-65.)
- [4] 范学渊,邢清华,黄沛,等. 基于 TOPSIS 的战区高层反导威胁评估[J]. 现代防御技术,2012,40(4):108-112. (FAN X Y, XING Q H, HUANG P, et al. Threat assessment of the high altitude area ballistic missile defense based on TOPSIS [J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(4):108-112.)
- [5] 罗亮,刘健,朱永水. 基于层次熵模型的弹道导弹威胁评估[J]. 现代防御技术,2012,40(6):76-80,92. (LUO L, LIU J, ZHU Y S. Ballistic missile threat assessment based on AHP-entropy mode [J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(6):76-80, 92.)
- [6] CHEN J, YU G H, GAO X G. Cooperative threat assessment of multi-aircrafts based on synthetic fuzzy cognitive map [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Science, 2012, 17(2):228-232.
- [7] 代进进,李相民. 舰艇编队网络化防空作战空袭目标威胁评估[J]. 系统工程与电子技术,2013,35(3):532-538. (DAI J J, LI X M. Threat evaluation of air strike targets for warship formation networked air-defense operation [J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(3):532-538.)
- [8] 全杰. 弹道导弹目标威胁评估模型和算法[J]. 现代防御技术,2014,42(4):24-30,79. (QUAN J. Model and algorithm in threaten assessment of ballistic missile [J]. Modern Defence Technology, 2014, 42(4):24-30, 79.)
- [9] HUA Z S, GONG B G, XU X Y. A DS-AHP approach for multi-attribute decision making problem with incomplete information [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34:2221-2227.
- [10] 刘睿渊,邢清华,冯卉. 改进证据模型下的防空武器系统生存能力评估[J]. 电光与控制,2009,16(10):94-97. (LIU R Y, XING Q H, FENG H. Survivability evaluation of air defense weapon system based on improved evidence model [J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(10):94-97.)
- [11] 周磊,郑震山,金惠明. 基于信息融合的作战效能评估方法[J]. 电光与控制,2015,22(7):34-37,47. (ZHOU L, ZHENG Z S, JIN H M. An effectiveness evaluation method based on information fusion [J]. Electronics Optics & Control, 2015, 22(7):34-37, 47.)
- [12] 施海柳,王应明,陈圣群. 不完全信息下考虑效率和规模的多时点并购决策[J]. 运筹学学报,2015,19(1):65-76. (SHI H L, WANG Y M, CHEN S Q. Multi-period mergers and acquisitions (M & A) decision in consideration of efficiency and scale under the incomplete information [J]. Operations Research Transactions, 2015, 19(1):65-76.)
- [13] YANG J B, XU D L. On the evidential reasoning algorithm for multiple attribute decision analysis under uncertainty [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2002, 32(3):289-304.