

基于阶段权和可能势的反导作战方案评估

范海雄, 刘付显, 马军林, 夏璐

(空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051)

摘要 针对反导作战方案评估的现实需求, 提出了一种基于阶段权和可能势的方案评估方法。首先, 在分析现有军事方案评估方法的基础上, 提出了方案分段动态评估思想, 并设计了阶段权度量公式; 然后, 构建了作战方案的评估指标体系, 并结合相对确定可能势、相对乐观可能势、相对悲观可能势和广义势等度量, 对反导作战方案评估方法具体环节进行了设计; 最后, 结合举例, 对所提方法及其关键环节进行了验证分析。结果证明: 所提方法不仅能有效解决反导作战方案评估问题, 而且有助于指挥员做出带有偏好信息的优选决策。

关键词 动态评估; 反导作战方案; 阶段权; 可能势; 集对分析

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.01.007

中图分类号 TP302.7 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)01-0030-05

Anti-missile Campaign Scheme Evaluation Based on Phase Weight and Probability Potential

FAN Hai-xiong, LIU Fu-xian, Ma Jun-lin, XIA Lu

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: A new anti-missile campaign scheme evaluation method based on phase weight and probability potential is proposed. Firstly, on the basis of analyzing existing evaluation methods, the scheme phase dynamic evaluation idea is brought up and the phase weight measurement formula is designed. Moreover, the campaign scheme evaluation index system and index measurements are constructed; and combined with relative certain probability potential, relative optimism probability potential, relative pessimism probability potential and generalized potential, the detail steps of new method are designed. Finally, the performance of the new method and its detail steps are verified and analyzed, the result shows that the new method not only can solve the anti-missile campaign scheme evaluation problem, but also can help commander to make an optimization decision with preference information.

Key words: dynamic evaluation; anti-missile campaign scheme; phase weight; probability potential; set pair analysis

作战方案评估是以一定的标准来对作战方案的可行与否、好坏优劣进行评估, 进而辅助决策者选择最优方案, 其本质是具有有限个候选方案的多方案

决策问题^[1]。近年来, 多位学者分别从各自专业出发对装备保障^[2]、防空作战^[3]、联合(战役)作战和潜艇作战等多个领域的方案评估问题进行了研究, 但就目前掌握的资料看, 针对反导作战方案评估或优

收稿日期: 2012-10-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272011); 空军工程大学防空反导学院优秀博士论文扶持基金资助项目(DY12104)

作者简介: 范海雄(1983—), 男, 浙江宁波人, 博士生, 主要从事智能决策与智能决策支持系统研究。

E-mail: fhx403466381@163.com

选的研究较为少见。反导作战具有实效性强和决策难度大等特点,方案制定所依赖的信息具有来源广泛、种类复杂和模糊性等特点,这都导致反导作战方案往往具有一定的不确定性。本文针对上述特点,以集对分析(Set Pair Analysis, SPA)^[4]为理论工具,在对现有评估方法进行分析的基础上,提出了基于阶段权的方案动态评估思想,并对反导作战方案评估指标、排序准则及其具体方法进行研究。

1 集对分析在军事方案评估中的应用及问题分析

集对分析^[4]是一种关于不确定系统同异反定量分析的系统分析方法。用同异反系数(简称联系度)统一描述系统的各种不确定性,其基本定义为:

$$\mu = a + b\alpha + c\beta \quad (1)$$

式中: a 、 b 和 c 分别为 μ 的同一度、差异度和对立度,且 $a+b+c=1$; α 为差异标记符号,取值区间为 $[-1, 1]$; β 为对立标记符号,规定取值为 -1 。文献^[4]定义 a 与 c 的比值 a/c 为集对势,记为 $\text{SHI}(\mu)$,并给出了其势级的划分和具体排序方法。

集对分析从问题本身分离出相对确定性信息和不确定性信息,在相对确定条件下进行决策,然后利用相对不确定性信息对决策结果进行稳定性分析^[5],在多方面取得了一定的效果,但尚存在如下问题:

1)未考虑方案执行过程中态势演化对评估结果的影响。现有方法多将方案看做静止的整体,忽略了指标值的动态变化。假设,第 i 个方案的第 j 个子方案的同一度为 a_{ij} ,差异度为 b_{ij} ,对立度为 c_{ij} 。现有两种方案的集对分析同异反系数为:

$$a = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.6 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 \end{bmatrix}, \\ c = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 \\ 0.5 & 0.1 \end{bmatrix}$$

依据静止的观点(子方案重要比例系数为0.5:0.5)分析可得,上述两种方案的最终联系度都为 $\mu = 0.5 + 0.2\alpha + 0.3\beta$,即两者为同势,不存在优劣差异,这与实际情况相矛盾。

2)排序方法不合理,排序结果易出现矛盾和失真现象。目前基于集对分析的军事领域方案评估的排序方法主要包括势级排序^[4]和相对贴进度($\lambda = a/(a+c)$)排序^[5],但上述方法都存在问题。例如:若两种方案的联系度分别为 $\mu_1 = 0.5 + 0.2\alpha + 0.3\beta$ 和 $\mu_2 = 0.5625 + 0.1\alpha + 0.3375\beta$,按势级和相对贴近

度计算可得 $\text{SHI}(\mu_1) = \text{SHI}(\mu_2) = 5/3$, $\lambda(\mu_1) = \lambda(\mu_2) = 5/8$,即现有排序方法不能分辨等势方案。

2 基于阶段权和可能势的评估方法

2.1 反导作战方案评估指标体系

依据反导作战方案构成特点,这里将反导作战方案评估指标体系分为6大部分,其具体含义如下所示:

1)效益性。效益性是对反导作战方案执行结果的费用和效用的度量,主要包括资源消耗和杀伤目标价值。

2)可信性。可信性是指所制定的作战方案的可信程度的度量,一般用方案制定所依赖的情报和信息的可信度来进行描述。

3)一致性。一致性是指反导作战方案符合上级作战意图、命令和战场态势的程度,这里采用所制定方案中作战问题描述与当前态势、上级命令的相似程度进行度量^[8]。

4)风险性。风险性是指反导作战方案实施过程中发生不利情况的可能性,采用拦截武器系统对来袭导弹的最大单发漏截概率来对反导作战方案的风险进行度量^[8]。

5)应变性。应变性是反导作战方案对战场态势实时变化适应程度的量度,可用资源弹性、作战能力弹性、时间余量弹性和空间余量弹性等子指标进行度量,这里用资源弹性和雷达制导余量来进行度量。

6)复杂性。复杂性是指反导作战方案被实施的难易程度,作战方案最终以作战行动序列的形式由作战实体通过交互活动来完成,采用行动序列执行的复杂性和实体交互的复杂性来对其进行度量。

2.2 方案排序依据和演化分析度量

针对现有方法中存在的问题,引入文献^[9]中的相对确定可能势作为排序依据,具体定义见式(2),并将文献^[9]中的相对乐观可能势和相对悲观可能势作为方案演化分析的有偏好度量,具体定义见式(3)~(4)。

$$\text{SHI}(\mu) = 2a/(b+c) - c/(a+b) \quad (2)$$

$$\text{SHI}_o(\mu) = (2a+\gamma b)k(1-\gamma)b+c - c/(a+b) \quad (3)$$

$$\text{SHI}_p(\mu) = 2a/(b+c) - (c+\gamma b)/(a+(1-\gamma)b) \quad (4)$$

式(3)~(4)中: $\gamma \in [0, 1]$; $\text{SHI}_o(\mu)$ 反应了 b 向同一度 a 转化的趋势; $\text{SHI}_p(\mu)$ 反应了 b 向差异度 c 转化的趋势。

定义1(方案广义势) 将如式(5)所示的分段函数值称为方案的广义势,并将其作为方案演化分析的无偏好度量。

$$\text{SHI}_k(\mu) = \begin{cases} e^a / e^{(c-b \times a)}, & \alpha \in [-1, 0) \\ e^{(a+b \times a)} / e^c, & \alpha \in [0, 1] \end{cases} \quad (5)$$

2.3 方案评估步骤方法

2.3.1 方案评估阶段权及其计算

定义方案评估阶段权如下:

定义 2(方案评估阶段权) 是指按照目标批次对方案进行阶段划分的基础上,通过计算获得的单阶段目标关系系数和与方案总关系系数和的比值。这里将目标批次间的关系概括为主次配合关系、先后巩固关系和无联系,其具体定义如下:

定义 3(主次配合关系) 指不同批次目标为突袭保卫要地而可能存在的战术配合关系,如:一批目标为佯攻,另一批目标为主攻。令两批目标由于主次配合关系而产生的比例系数分别为 k_1 和 k_2 ,且 $k_1 + k_2 = 1$ 。

定义 4(先后巩固关系) 指某批目标为增强和扩大另一批目标突袭效果而存在的关系。令两批目标由于先后巩固关系而产生的比例系数分别为 k_3 和 k_4 ,且 $k_3 + k_4 = 1$ 。

定义 5(无联系) 指不同批次目标间不存在明显配合或巩固的关系。令两批目标由于无联系而产生的比例系数为 $k_5 = k_6 = 0.5$ 。

依据所定义的目标批次间关系,拦截 l 批来袭目标的作战方案的第 r 阶段的评估权重系数计算见式(6)。

$$\begin{cases} w'_r = \sum_{i=1}^3 (l_{(2i-1)r} k_{(2i-1)} + l_{(2i)r} k_{(2i)}) / w'_{\text{ALL}} \\ w'_{\text{ALL}} = (0.5l(l-1)) \\ \sum_{i=1}^3 (l_{(2i-1)r} + l_{(2i)r}) = (l-1) \end{cases} \quad (6)$$

式中: k_i 为第 i 种关系系数; $l_{(2i-1)r}$ 、 $l_{(2i)r}$ 分别为方案第 r 阶段所具有第 i 种关系系数 $k_{(2i-1)}$ 和 $k_{(2i)}$ 的数量, l 为来袭目标批次; w'_{ALL} 为具有 l 批目标的作战方案所有关系系数的总和。

2.3.2 单阶段评估指标归一化及其权重计算

假设,作战方案第 r 阶段的评估指标决策矩阵为 D_r , D_r 为一个 $n \times 10$ 的矩阵,具体如式(7)所示:

$$D_r = \begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1(10)} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{n(10)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, n 为候选反导作战方案数,由于作战方案各评估指标值存在量纲差异,故依据式(8)对式(7)进行归一化处理得公式(9):

$$C'_{ij} = \begin{cases} C_{ij} / \max_{1 \leq i \leq n} (C_{ij}), & j = \{2, 3, 4, 5, 7, 8\} \\ \min_{1 \leq i \leq n} (C_{ij}) / C_{ij}, & j \in \{1, 6, 9, 10\} \end{cases} \quad (8)$$

$$D'_r = \begin{bmatrix} C'_{11} & \cdots & C'_{1(10)} \\ \vdots & & \vdots \\ C'_{n1} & \cdots & C'_{n(10)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

对式(9)应用熵权法^[10]计算方案第 r 阶段各指标权重。其中,第 j ($j = 1, 2, \dots, 10$) 个评估指标权重的计算见式(10)。

$$w'_j = \left(1 + \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n C'_{ij} \ln C'_{ij} \right) / \left(10 - \sum_{j=1}^{10} \left(-\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n C'_{ij} \ln C'_{ij} \right) \right) \quad (10)$$

2.3.3 单阶段方案联系度计算

假设, $C_{\text{best}} = \{C_{1\text{best}}, C_{2\text{best}}, \dots, C_{n\text{best}}\}$ 为第 r 阶段局部理想最优效果,当 $j \in \{2, 3, 4, 5, 7, 8\}$ 时, $C_{j\text{best}} = \max_{1 \leq i \leq n} (C'_{ij})$; 当 $j \in \{1, 6, 9, 10\}$, $C_{j\text{best}} = \min_{1 \leq i \leq n} (C'_{ij})$ 。 $C_{\text{worst}} = \{C_{1\text{worst}}, C_{2\text{worst}}, \dots, C_{n\text{worst}}\}$ 为第 r 阶段局部理想最差效果,当 $j \in \{2, 3, 4, 5, 7, 8\}$ 时, $C_{j\text{worst}} = \min_{1 \leq i \leq n} (C'_{ij})$; 当 $j \in \{1, 6, 9, 10\}$, $C_{j\text{worst}} = \max_{1 \leq i \leq n} (C'_{ij})$, 则方案 i 的第 r 阶段评估的第 j 个指标的同一度 a'_{ij} 、对立度 c'_{ij} 和差异度 b'_{ij} 如式(11)所示,并将式(10)代入式(11)方案 i 的第 r 阶段的联系度见式(12)。

$$\begin{cases} a'_{ij} = C'_{ij} / (C_{j\text{best}} + C_{j\text{worst}}) \\ c'_{ij} = (C_{i\text{best}} C_{j\text{worst}}) / (C'_{ij} (C_{i\text{best}} + C_{j\text{worst}})) \\ b'_{ij} = 1 - a'_{ij} - c'_{ij} \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu'_i = \left(\sum_{j=1}^{10} a'_{ij} w'_j \right) + \left(\alpha \sum_{j=1}^{10} b'_{ij} w'_j \right) + \left(\beta \sum_{j=1}^{10} c'_{ij} w'_j \right) \quad (12)$$

2.3.4 方案综合计算与分析

将式(6)的计算结果代入式(12)可得方案 i 的综合联系度 μ_i , 具体见式(13)。

$$\begin{aligned} \mu_i &= \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^{10} a'_{ij} w'_j w'_r + \\ &\alpha \left(1 - \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^{10} b'_{ij} w'_j w'_r - \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^{10} c'_{ij} w'_j w'_r \right) + \\ &\beta \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^{10} a'_{ij} w'_j w'_r \end{aligned} \quad (13)$$

将式(13)的计算结果分别代入式(2)~(5), 求得方案的可能势、相对乐观可能势、相对悲观可能势和广义势,基于这些势对作战方案集进行排序和动态演化分析。

3 验证及分析

3.1 方法有效性验证

假设,例中的消耗资源只考虑高层和低层 2 种拦截弹(价值分别为 3 000 元和 1 000 元),对应的单发杀伤概率分别为 0.9 和 0.85,作战背景为单套武

器系统拦截 T_1 、 T_2 和 T_3 等 3 批目标,目标之间的关系 R_{12} 、 R_{23} 、 R_{13} 分别为先后巩固关系($k_1=0.6$, $k_2=0.4$)、无联系和无联系,共有 5 个可划分为 3 个阶

段的候选方案,且它们的阶段决策矩阵分别为 D_1 、 D_2 和 D_3 :

$$D_1 = \begin{bmatrix} 3\ 000 & 5\ 000 & 0.75 & 0.67 & 0.95 & 0.10 & 0.98 & 0.937\ 5 & 79 & 108 \\ 3\ 000 & 5\ 000 & 0.75 & 0.67 & 0.95 & 0.10 & 0.98 & 0.937\ 5 & 79 & 108 \\ 4\ 000 & 5\ 000 & 0.85 & 0.65 & 0.89 & 0.15 & 0.96 & 0.875\ 0 & 84 & 109 \\ 5\ 000 & 5\ 000 & 0.80 & 0.60 & 0.85 & 0.15 & 0.94 & 0.812\ 5 & 80 & 110 \\ 5\ 000 & 5\ 000 & 0.85 & 0.75 & 0.92 & 0.15 & 0.94 & 0.812\ 5 & 79 & 112 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} 6\ 000 & 5\ 000 & 0.80 & 0.80 & 0.92 & 0.10 & 0.96 & 0.875\ 0 & 69 & 100 \\ 6\ 000 & 5\ 000 & 0.80 & 0.80 & 0.92 & 0.10 & 0.96 & 0.875\ 0 & 69 & 100 \\ 4\ 000 & 5\ 000 & 0.87 & 0.79 & 0.87 & 0.15 & 0.96 & 0.875\ 0 & 72 & 103 \\ 5\ 000 & 5\ 000 & 0.82 & 0.75 & 0.90 & 0.15 & 0.94 & 0.812\ 5 & 74 & 102 \\ 5\ 000 & 5\ 000 & 0.82 & 0.75 & 0.90 & 0.15 & 0.94 & 0.812\ 5 & 74 & 102 \end{bmatrix}$$

$$D_3 = \begin{bmatrix} 5\ 000 & 4\ 000 & 0.85 & 0.89 & 0.90 & 0.15 & 0.94 & 0.812\ 5 & 67 & 100 \\ 3\ 000 & 4\ 000 & 0.93 & 0.94 & 0.89 & 0.10 & 0.98 & 0.937\ 5 & 66 & 100 \\ 3\ 000 & 4\ 000 & 0.82 & 0.80 & 0.85 & 0.10 & 0.98 & 0.937\ 5 & 62 & 98 \\ 3\ 000 & 4\ 000 & 0.95 & 0.87 & 0.90 & 0.10 & 0.98 & 0.937\ 5 & 64 & 99 \\ 4\ 000 & 4\ 000 & 0.90 & 0.84 & 0.87 & 0.15 & 0.96 & 0.875\ 0 & 62 & 98 \end{bmatrix}$$

应用式(6)对评估方案进行计算,可得方案集的阶段权向量 $w'=[0.366\ 7\ 0.300\ 0\ 0.333\ 3]$ 。

依据式(7)~(10),对 D_1 、 D_2 和 D_3 进行归一化和指标权重计算,可得决策矩阵的指标权重矩阵 w :

$$w = \begin{bmatrix} 0.060\ 3 & 0.124\ 4 & 0.102\ 9 & 0.085\ 4 & 0.109\ 6 & 0.061\ 7 & 0.116\ 6 & 0.100\ 3 & 0.119\ 0 & 0.119\ 6 \\ 0.052\ 8 & 0.119\ 4 & 0.099\ 7 & 0.109\ 5 & 0.112\ 3 & 0.059\ 3 & 0.116\ 4 & 0.109\ 2 & 0.106\ 7 & 0.114\ 4 \\ 0.078\ 7 & 0.116\ 5 & 0.094\ 9 & 0.090\ 3 & 0.109\ 4 & 0.077\ 3 & 0.112\ 1 & 0.102\ 8 & 0.104\ 8 & 0.112\ 9 \end{bmatrix}$$

将方案集的阶段权向量 w' 、指标权重矩阵 w 和归一化后的方案决策矩阵代入式(11)~(13),最终获得评估方案集的相对确定可能势向量 $SHI(\mu)=[1.466\ 7\ 1.009\ 8\ 1.151\ 4\ 1.196\ 8\ 1.318\ 6]$ 。按照相对确定可能势,可得方案的排序为:方案 1>方案 5>方案 3>方案 4>方案 2。这与实际结果一致,即将相对确定可能势作为方案优劣的排序依据是可行有效的。

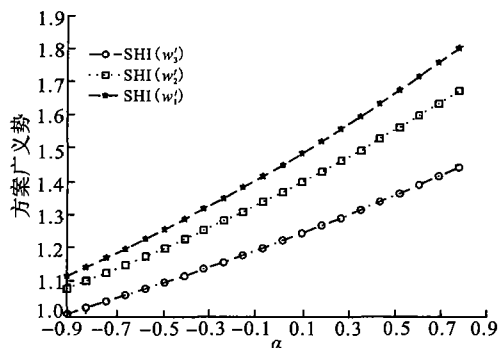


图 1 方案广义势变化曲线

Fig. 1 Scheme generalized potential change curve graph

3.2 阶段权系数有效性验证与分析

为证明基于阶段权的动态作战方案评估的性能,验证采用第 1 节问题分析中的数据(a 、 b 和 c),并令对比的阶段权系数分别为 $w'_1=[0.5\ 0.5]$ 、 $w'_2=[0.7\ 0.3]$ 和 $w'_3=[0.8\ 0.2]$ 。对数据进行加权求和,得方案的同异反系数矩阵分别为:

$$\mu_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.3 \\ 0.5 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix}, \mu_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.3 \\ 0.54 & 0.24 & 0.22 \end{bmatrix},$$

$$\mu_3 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.3 \\ 0.56 & 0.26 & 0.18 \end{bmatrix}$$

应用式(5)分别对 μ_1 、 μ_2 和 μ_3 中的第 2 个方案进行无偏好分析,得图 1 的方案广义势变化曲线。

结合图 1 曲线,对 μ_1 、 μ_2 和 μ_3 分析可得:① 用静态评估的角度对方案进行评估,即 w'_1 情况下,最终得到的 2 方案为同势($a>c>b$),这实际结果存在矛盾;② 而用 w'_2 、 w'_3 计算得到的结果分别为同势和均势,这与方案随时间演化的实际相一致,即阶段权能增强方法对于态势演化的评估效果。

3.3 方案动态演化的有偏好分析

若利用相对确定可能势不能区分不同方案时,则需利用相对乐观可能势和相对悲观可能势对方案的态势演化进行动态分析,并依据决策偏好选择对应的最优方案。实验采用如 μ 所示的方案同异反系

数矩阵为验证数据,其中,方案 $P_1 \sim P_6$ 都为同势,方案 P_7 为均势,方案 P_8 为反势,并取 γ 的取值间隔为 0.1,对数据应用式(4)可得图 2 的方案演化曲线。对曲线进行分析可得:① 方案 $P_1 \sim P_6$ 不会随态势而劣于方案 P_7 和方案 P_8 ;② 图中以 CP_{78} 点代表的点可作为决策偏好的分界点。

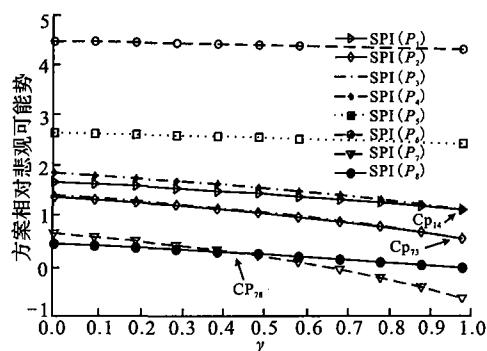


图 2 基于悲观可能势的演化曲线图
Fig. 2 Pessimism probability potential evolution curve

4 结语

以集对分析方法为工具,针对现有方法的不足,结合相对确定可能势、相对乐观可能势、相对悲观可能势和广义势等度量,设计了一种反导作战方案评估方法,并通过多个实例,验证了所提方法及其关键环节的可行性和有效性。为反导作战方案评估提供了有力的方法支撑,拓展了集对分析方法在军事领域的应用范围。

参考文献(References):

- [1] 陈培彬. 炮兵指挥决策中优选作战方案的神经网络模型[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(2): 78-80.
CHEN Peibin. NN model of optimizing operational scheme of artillery command and decision [J]. Fire control and command control, 2006, 31(2): 78-80. (in Chinese)
- [2] 严盛文, 车飞, 王宏伟, 等. 基于综合集对分析的航材保障效能评估[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2011, 12(3): 30-39.
YAN Shengwen, CHE Fei, WANG Hongwei, et al. Effectiveness evaluation of aviation material support based on synthesis set pair analysis[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2011, 12(3): 30-39. (in Chinese)
- [3] 李勇, 杨光, 尤志锋. 大区域防空作战条件下防空兵作战方案的优选[J]. 现代防御技术, 2007, 21(4): 31-36.
LI Yong, YANG Guang, YOU Zhifeng. Optimum
- select of lines of operation in the large area air defence operation[J]. Modern defence technology, 2007, 21(4): 31-36. (in Chinese)
- [4] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.
ZHAO Keqin. Set pair analysis and its preliminary application [M]. Hangzhou: Zhejiang science and technology press, 2000. (in Chinese)
- [5] 张斌. 多目标系统决策的模糊集对分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(12): 108-114.
ZHANG Bin. The fuzzy set pair analysis way of multi-objective system decision [J]. Systems engineering theory & practice, 1997, 17(12): 108-114. (in Chinese)
- [6] 马洪文, 魏俊, 高艳章, 等. 基于集对分析的战时车辆装备保障方案评估[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(14): 1671-1815.
MA Hongwen, WEI Jun, GAO Yangzhang, et al. Vehicle equipment support project decisional model according to set pair analysis [J]. Science technology and engineering, 2010, 10(14): 1671-1815. (in Chinese)
- [7] 董文洪, 易波, 林强. 基于集对分析的无人机攻势布雷方案优选[J]. 计算机应用, 2011, 31(10): 2818-2820.
DONG Hongwen, YI Bo, LIN Qiang. Preferable selection of offensive mine-laying plans for unmanned aerial vehicles based on set pair analysis [J]. Journal of computer applications, 2011, 31(10): 2818-2820. (in Chinese)
- [8] 范海雄, 刘付显, 夏璐. 融合裕度和否决权的案例相似度量方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(12): 261-264.
FAN Haixiong, LIU Fuxian, XIA Lu. Case similarity computation method of fusing margin and veto power [J]. Computer engineering and applications, 2012, 38(12): 261-264. (in Chinese)
- [9] 杨俊杰, 周建中, 方仍存, 等. 基于集对分析的不确定多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2008, 23(12): 1423-1426.
YANG Junjie, ZHOU Jianzhong, FANG Rengcun, et al. Uncertain multi-attribute decision making methods based on set pair analysis [J]. Control and decision, 2008, 23(12): 1423-1426. (in Chinese)
- [10] Li Xiangxin, Wang Kongsan, Liu Liwen, et al. Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines [J]. Procedia engineering, 2011, 26(14): 2085-2091.

(编辑: 田新华)