

基于不确定多属性决策的防空重点保卫目标优选与排序

宁伟华, 李海龙, 席吉虎
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:分析了防空重点保卫目标优选的依据和原则,构建了评价保卫目标重要程度的指标体系。分析表明,重点保卫目标优选问题属于一种特殊的不确定多属性决策问题,利用区间数理论,给出了问题的一种解法,算例表明该方法可行、有效。

关键词:多属性决策;保卫目标;优选;区间数

中图分类号: O221.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0028-04

防区内重点保卫目标的优选与排序,是防空兵力优化部署的前提,是防空作战运筹的重要环节,贯穿着防空作战的整个过程。本文构建了评价防空保卫目标重要性的指标体系,鉴于指标体系中定性、定量属性同时存在,定量属性难以准确量化,各属性权重难以确定,文中采用一种属性值和权重均为区间数的不确定多属性决策模型来解决此问题。

1 防空重点保卫目标优选的基本理论

1.1 防空重点保卫目标优选的依据和原则

防空重点保卫目标优选的依据是上级意图,所担负的掩护任务,敌空袭意图,保卫目标价值,保卫目标特性以及我防空能力。防空重要保卫目标优选的原则是:①目的性原则。防空保卫目标优选必须以符合上级意图,与防空作战目的和掩护任务相一致为根本原则。②价值性原则。③主动性原则。是指对那些自身安全与否,能直接关系到我防空作战的战略主动性的争夺和保持的目标,应优先予以重点保卫。④可行性原则。是指选择重点保卫目标不仅要根据主观需要,而且要考虑客观可能。⑤非相关性原则。是指选择出的重点保卫目标应该都是非相关的。一般地,当目标实际间距 $\nabla D \leq 0.2R_{火力}$ ($R_{火力}$ 为火力杀伤半径)时,取相关程度为1,即目标相关,需要进行目标合并;否则,取相关程度为0,不进行合并^[1]。

1.2 评价防空保卫目标重要程度的指标体系

本着多属性决策指标体系构建的目的性、全面性、独立性、层次性原则,构建的评价防空保卫目标重要程度的指标体系如图1所示。

图1所示的指标体系,大多数为定性指标。经济价值 C_{11} 、目标幅员 C_{311} 等指标虽然为定量指标,但是其值难以准确给出,更多时候以区间值形式给出。定性指标可以以折线的形式来表征。比如, {很好,好,一般,差,很差}可以用 $\{[0.8,1],[0.6,0.8],[0.4,0.6],[0.2,0.4],[0,0.2]\}$ 来对应表示。另外,由于目标优选本身的复杂性,各属性的权重也难以准确给出,但可以考虑以区间数的形式给出大概值。

2 基于不确定多属性决策的防空重要保卫目标优选与排序

2.1 区间数的定义及运算规则

收稿日期:2005-06-13

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:宁伟华(1976-),男,山西稷山人,博士生,主要从事防空作战决策分析研究。

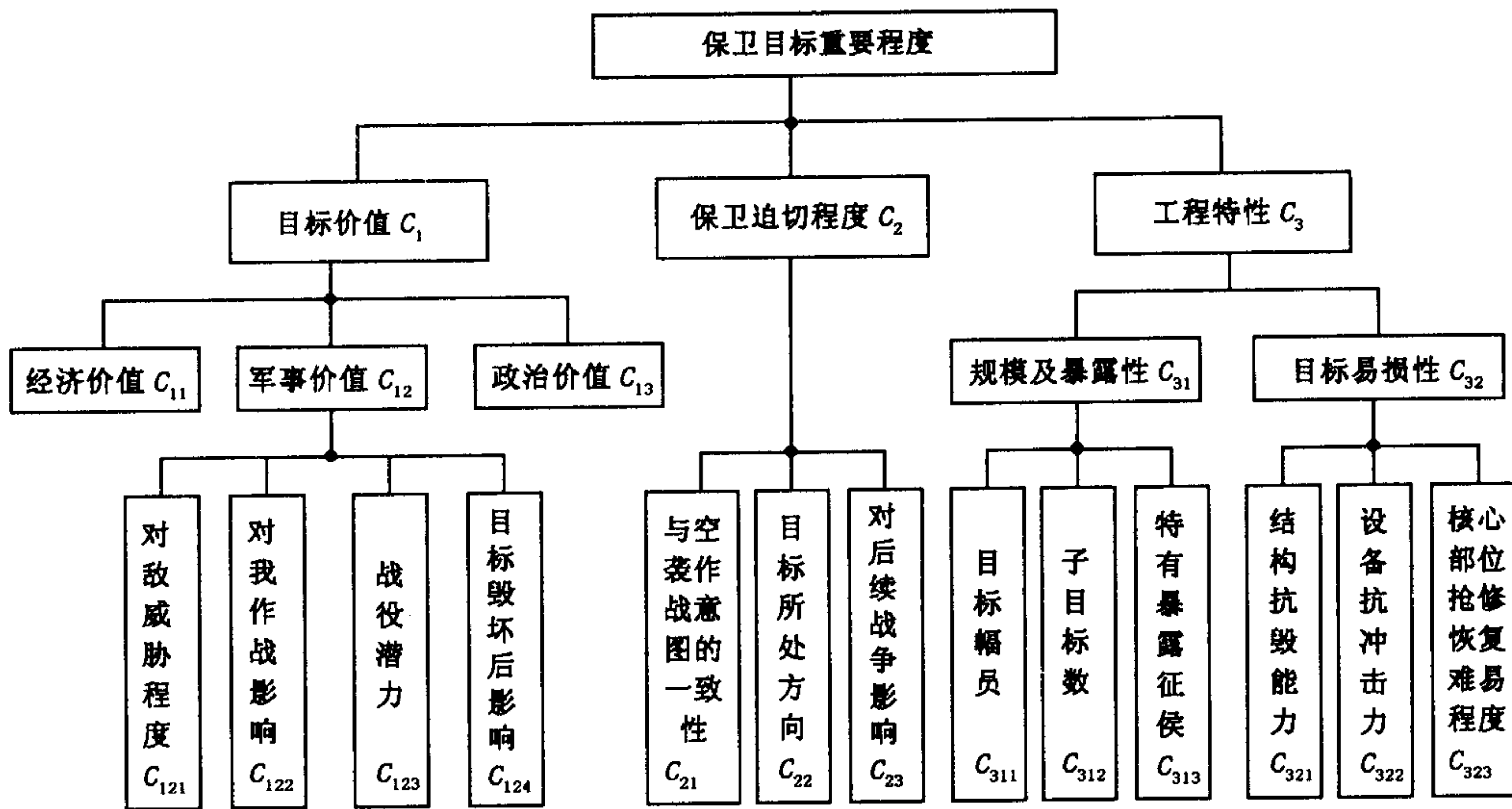


图1 防空保卫目标重要程度评价体系

定义1^[2] 记 $A = [a^-, a^+] = \{x | 0 < a^- \leq x \leq a^+\}$, 称 A 为一个区间数。

定义2^[2] 设 $A = [a^-, a^+]$, $B = [b^-, b^+]$ 为两个区间数, 则它们的加法、乘法、除法运算分别定义如下:

$A + B = [a^- + b^-, a^+ + b^+]$; $\alpha A = [\alpha a^-, \alpha a^+]$ (α 为任一正实数); $AB = [a^- \cdot b^-, a^+ \cdot b^+]$; $\frac{A}{B} = [\frac{a^-}{b^+}, \frac{a^+}{b^-}]$,

特别地 $\frac{1}{B} = [\frac{1}{b^+}, \frac{1}{b^-}]$ 。

2.2 不确定多属性决策问题及其解法

对于属性权重及决策矩阵元素均以区间数方式给出的不确定多属性决策问题, 一般可以描述为以下形式: 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为方案集合, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为属性集, $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 为属性的权重向量, 其中, $w_i \in [w_i^-, w_i^+]$, $0 \leq w_i^- < w_i^+$, 且有 $\sum_{i=1}^m w_i^- \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i^+ \geq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。对于方案 $x_j \in X$, 按第 i 个属性 u_i 进行测度, 得到 x_j 关于 u_i 的属性值, 记为区间数 $a_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$, 于是可以得到决策矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 由于指标量纲的不同, 需对决策矩阵 A 进行规范化, 再运用适当的算法对方案进行排序, 求出最优方案。

为方便表达, 记 $Q_i (i = 1, 2)$ 为分别表示效益型属性、成本型属性的下标集合, 记 $M = \{1, 2, \dots, m\}, N = \{1, 2, \dots, n\}$ 。设决策矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 规范化后为 $B = (b_{ij})_{m \times n}$, 且 $b_{ij} = [b_{ij}^-, b_{ij}^+]$ 。决策矩阵的规范化方法一般有比重变换法^[3] 和欧氏范数法^[4]。比重变换法的公式如下:

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij}, i \in Q_1 \quad (1) ; \quad b_{ij} = (1/a_{ij}^+) / \sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^+), i \in Q_2 \quad (2)$$

根据区间数的运算规则, 式(1) 与式(2) 可进一步写成:

$$\begin{cases} b_{ij}^- = a_{ij}^- / \sum_{j=1}^n a_{ij}^+ \\ b_{ij}^+ = a_{ij}^+ / \sum_{j=1}^n a_{ij}^- \end{cases} \quad i \in Q_1 \quad (3) ; \quad \begin{cases} b_{ij}^- = (1/a_{ij}^+) / \sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^+) \\ b_{ij}^+ = (1/a_{ij}^-) / \sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^-) \end{cases} \quad i \in Q_2 \quad (4)$$

如何用区间数决策矩阵和区间数权重向量来对方案进行排序呢? 文献[5] 提出了每个方案均单独处理的线性规划方法, 文献[5] 对文献[4] 的线性规划模型作了改进, 提出了单目标最优化的决策模型, 具有简洁、合理、计算量小的优点, 适宜推广。其模型如下:

$$\max z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{ij}^+ - b_{ij}^-) w_i$$

$$s. t. \begin{cases} w_i^- \leq w_i \leq w_i^+, & i \in M \\ \sum_{i=1}^m w_i = 1 \end{cases} \quad (5)$$

设由式(5)求出的最优解为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 则方案 x_j 的综合属性值为区间数 $z_j = [z_j^-, z_j^+]$, $z_j^- =$

$$\sum_{i=1}^m b_{ij}^- w_i, z_j^+ = \sum_{i=1}^m b_{ij}^+ w_i, j \in N \quad (6)$$

2.3 区间数的排序

比较各方案的排序,也即是比较各区间数的大小。现引入区间数两两比较的可能度概念:

定义 3^[6] 设 $A = [a^-, a^+], B = [b^-, b^+]$, 为两个区间数,则称

$$P(A \geq B) = \frac{\max(0, (a^+ + b^+) - (a^- + b^-) - \max(0, b^+ - a^-))}{(a^+ + b^+) + (a^- + b^-)} \quad (7)$$

为 $A \geq B$ 的可能度。

利用式(7)对所有方案的综合属性值 $z_j = [z_j^-, z_j^+]$ ($j \in N$) 进行两两比较,建立可能度矩阵 $P = (P_{ij})_{n \times n}$, 其中 $P_{ij} = P(z_i \geq z_j)$ 。可知, $P_{ii} = 0.5$ 且 $P_{ij} + P_{ji} = 1$, 所以矩阵 P 是一个互补判断矩阵。利用文献[7,8]给出的互补判断矩阵排序公式进行求解:

$$s_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{j=1}^n P_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right), i \in N \quad (8)$$

则向量 $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ 即为互补判断矩阵 P 的排序向量,比较其中各分量的大小,即得出各方案的排序。事实上,只需要比较 $\sum_{j=1}^n P_{ij}$ 的大小,就可得出各方案的排序结果。

3 算例分析

图 1 所示的指标体系有多个层次,需从低层向高层多次运用文中所讲方法,才能最终得出各方案的排序。比如,根据属性 $C_{121}, C_{122}, C_{123}, C_{124}$ 的区间数值及其对应的区间数权重 $w_{121}, w_{122}, w_{123}, w_{124}$, 利用式(5)和式(6)计算出第 i 种方案的属性 $C_{12}(i)$ 的区间数值。再根据属性 C_{11}, C_{12}, C_{13} 的区间数值及其对应的区间数权重 w_{11}, w_{12}, w_{13} , 计算第 i 种方案的属性 $C_1(i)$ 的区间数值。最后根据属性 C_1, C_2, C_3 的区间数值及其对应的区间数权重 w_1, w_2, w_3 , 计算第 i 种方案的综合属性值 z_i 。比较 z_i ($i \in N$) 的大小,得出最终防空重点保卫目标的排序结果。

假设通过计算得出 5 个保卫目标在属性 C_1, C_2, C_3 下的区间数值,通过综合各位专家打分,得出区间数权重 w_1, w_2, w_3 , 则该问题的决策矩阵与权重向量范围如表 1 所示。

表 1 规范化前的决策矩阵和属性权重范围

	w_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
C_1	[0.4, 0.6]	[0.85, 0.9]	[0.55, 0.6]	[0.25, 0.3]	[0.7, 0.76]	[0.25, 0.4]
C_2	[0.3, 0.4]	[0.6, 0.7]	[0.38, 0.4]	[0.38, 0.5]	[0.62, 0.74]	[0.3, 0.67]
C_3	[0.1, 0.2]	[0.37, 0.48]	[0.6, 0.75]	[0.4, 0.51]	[0.8, 0.94]	[0.4, 0.6]

由于 C_1, C_2, C_3 均为效益型属性,所以根据式(3)对决策矩阵进行规范化,结果如表 2。

表 2 规范化后的决策矩阵

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
C_1	[0.287 1, 0.346 1]	[0.185 8, 0.230 7]	[0.084 4, 0.115 3]	[0.236 4, 0.292 3]	[0.084 4, 0.153 8]
C_2	[0.199 3, 0.294 1]	[0.126 2, 0.168 0]	[0.126 2, 0.210 0]	[0.205 9, 0.310 9]	[0.132 8, 0.281 5]
C_3	[0.112 8, 0.186 7]	[0.182 9, 0.291 8]	[0.121 9, 0.198 4]	[0.243 9, 0.365 7]	[0.121 9, 0.233 4]

解线性规划模型(5),可得: $w = (w_1, w_2, w_3) = (0.4, 0.4, 0.2)$ 。

由式(6)可得: $z_1 = [0.217 1, 0.293 4], z_2 = [0.161 3, 0.217 8], z_3 = [0.108 6, 0.168 9], z_4 = [0.225 7, 0.314 4], z_5 = [0.111 2, 0.220 8]$ 。

根据式(7),构建互补判断矩阵如下:

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9947 & 1 & 0.4103 & 0.98 \\ 0.0053 & 0.5 & 0.9278 & 0 & 0.6418 \\ 0 & 0.0722 & 0.5 & 0 & 0.3431 \\ 0.5897 & 1 & 1 & 0.51 & 1 \\ 0.02 & 0.3582 & 0.6569 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

由式(8)可求得互补判断矩阵 P 的排序向量如下:

$$s = (0.2695, 0.1787, 0.1207, 0.2794, 0.1517)$$

于是各方案排序为: $x_4 > x_1 > x_2 > x_5 > x_3$, 此结果与专家的意见一致, 这表明此方法可行、有效。

4 结束语

本文构建了评价保卫目标重要程度的指标体系, 采用一种基于单目标线性规划的求解不确定多属性决策问题的方法, 解决了防空重点保卫目标的优选和排序问题。对于不确定多属性决策问题, 已提出的解决方案不少, 但每种方案的合理性、有效性及其误差值得深入研究。

参考文献:

- [1] 王洁, 娄寿春, 王颖龙, 等. 基于模糊神经网络防空重点保卫目标的选择[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1): 158 - 161.
- [2] 韦兰用, 韦振中. 区间数判断矩阵中区间数的运算[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(9): 75 - 79.
- [3] Goh C H, Tung Y C A, Cheng C H. A Revised Weighted Sum Decision Model for Robot Selection[J]. Computers & Industrial Engineering, 1996, 30(2): 412 - 419.
- [4] 达庆利, 徐泽水. 不确定多属性决策的单目标最优化模型[J]. 系统工程学报, 2002, 17(1): 50 - 55.
- [5] Bryson N, Mobolurin A. An Action Learning Evaluation Procedure for Multiple Criteria Decision Making Problems[J]. European Journal of Operational Research. 1996, 96: 379 - 386.
- [6] Sajjad Zahir M. Incorporation the uncertainty of decision judgements in the analytic hierarchy process[A]. European Journal of Operational Research[C]. 1991, 53 - 55.
- [7] 徐泽水. 模型互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311 - 314.
- [8] 刘春波, 申卯兴, 刘建仓, 等. 防空战略区域综合评价模型[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(3): 33 - 35.

(编辑: 田新华)

Selecting and Sequencing of the Important Defending Targets in Defense Zone Based on the Uncertain Multi - attribute Decision Making

NING Wei - hua, LI Hai - long, XI Ji - hu

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: The principle and foundation of selecting and sequencing the important defending targets in defense zone are analyzed. On this basis, the index system of evaluating the importance degree of defending targets is built. The analysis shows that the selecting problem of defending targets is a special uncertain multi - attribute decision making problem. A solution to this problem is given out. Finally, an example is used to show that the solution is feasible and effective.

Key words: multi - attribute decision making; defending target; selecting; interval numbers