

基于 Fuzzy-AHP 的导弹发射阵地评估方法

吴晓露, 刘顺成, 马克, 李霆巍

(解放军第二炮兵青州士官学校, 山东 青州 262500)

摘要: 战术导弹的发射阵地选择评估是导弹作战兵力运筹的重要组成部分, 其本质是一多准则多属性决策问题。传统的层次分析法无法明确描述这类问题中所蕴涵的不确定性, 通过模糊理论的引入, 研究了战术导弹发射阵地选择的 Fuzzy-AHP 方法, 应用实例说明了该方法的可行性和有效性。

关键词: 指标体系; 层次分析法; 模糊理论; 评估

引言

导弹作战是现代战争中最为重要的作战样式之一, 而战术导弹则是导弹战中的主战武器。战术导弹的火力特点决定了发射阵地选择是其地面预规划的重要环节, 直接影响导弹武器系统的作战能力、命中精度、生存能力等。在作战任务中, 欲打击目标的方位、防护能力、目标物理性质及预期的打击效果等都制约着发射阵地的选择。但从目前作战筹划的现状来看, 决策人员往往是凭借经验对各阵地做出定性的评价, 而极少进行必要的定量分析, 这样的结果难免受决策者经验的局限, 不能有效地做出最优决策^[1]。本文利用模糊综合评判和层次分析法相结合的Fuzzy-AHP方法对发射阵地选择进行评估, 得出的结果将更科学更可靠。

1 发射阵地选择的 Fuzzy-AHP 评估模型

1.1 构造发射阵地选择的指标体系

在实施战术导弹发射阵地的选择时, 除了要考虑导弹的自身战术特性外, 还需综合考虑阵地交通条件的便利性、通信指挥网络的顺畅与完备性、阵地的生存防护能力以及导弹的火力要求等因素, 在战时必须对其进行系统设计、全面衡量, 实现阵地的优化选择。图1是发射阵地选择指标体系, 它显示了影响导弹发射阵地选择的各要素及其之间的关系^[2]。

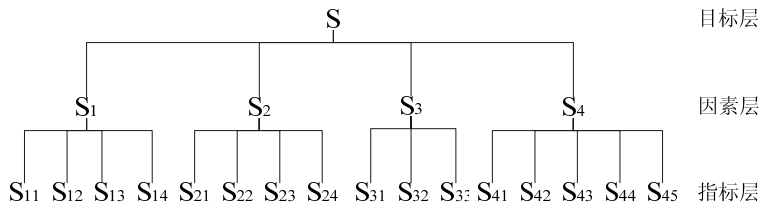


图1 发射阵地选择问题的指标体系

整个指标体系由三级递阶结构组成, 图中字母代表的含义分别为:

S—最优发射阵地选择; S_1 —交通条件; S_{11} —与公路、铁路干道距离; S_{12} —道路通行情况; S_{13} —道路遇袭恢复能力; S_{14} —阵地互通性; S_2 —通信指挥能力; S_{21} —自动化指挥网; S_{22} —有线通信; S_{23} —无线通信; S_{24} —指挥所位置; S_3 —生存防护能力; S_{31} —阵地伪装隐蔽情况; S_{32} —周围设施防护能力; S_{33} —机动距离; S_4 —火力限制条件; S_{41} —敌情顾虑; S_{42} —气象窗口; S_{43} —突防有利程度; S_{44} —射程有利程度; S_{45} —射向有利程度。

1.2 发射阵地选择的 Fuzzy-AHP 模型

1.2.1 发射阵地选择问题中的模糊理论

美国控制论专家L.A.Zadeh教授于1965年发表了题为《Fuzzy Sets》的论文, 从而宣告模糊数学的诞生。Zadeh发现传统数学理论, 例如Cantor的集合论, 很难描述“亦此亦彼”现象^[3]。然而在导弹发射阵地选择问题中, 从影响决策结果的各因素指标可以看出, 其中既有可以用Cantor集进行描述的确定性指标, 如 S_{11} 、 S_{12} 、 S_{33} 等, 这些指标能够通过测量和计算获得确定的结果。除此之外也有如 S_{13} 、 S_{14} 、 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 等等绝大多数的不确定性的、“模糊”的指标, 它们则不能用一个简单的数值或概率值加以合理地界定。因此针对这样的问题, 本文借助模糊数学理论来进行描述。

1.2.2 发射阵地选择的评估准备工作

(1) 建立因素集

根据导弹发射阵地选择的指标体系，建立如下的两级因素集：

一级因素集由指标体系中因素层各要素构成： $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ ；

二级因素集由指标体系中指标层各要素构成： $S_1 = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}\}$ 、 $S_2 = \{S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}\}$ 、 $S_3 = \{S_{31}, S_{32}, S_{33}\}$ 、 $S_4 = \{S_{41}, S_{42}, S_{43}, S_{44}, S_{45}\}$ 。

(2) 设计判断集

在这里我们设定判断集为 $V = (\text{非常适合}, \text{比较适合}, \text{适合}, \text{不适合})$ 这四个评语等级。

(3) B信息的处理

模糊评判矩阵 R_i 和因素的权值 W 在经过合成之后得到了评判结果的模糊序列 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ，如何利用评判结果 B 给出受评者最终的评判结论是模糊综合评判中的重要环节。

若判断集 $V = (\text{一级}, \text{二级}, \text{三级}, \text{四级}, \text{五级})$ ，评判结果 $B = (0.05, 0.2, 0.79, 0.8, 0.05)$ ，如果按照最大隶属度原则 $\max_j b_j$ ，该受评对象将被认定为四级。但通过分析，该对象之于评语等级三级的隶属度仅略小于四级，显然对其应划归到三级还是四级有较大的分歧，此时只能判定他处在等级三级到四级之间。为克服这种结果处理方法的缺点，对受评对象做出更科学、精确的评判，需充分利用判断矩阵 R 、权值 W 以及评判结果 B 中的信息。为此引入两个参数：等级参数和程度系数，分别用 D 和 e 表示，通过它们将模糊评判矩阵与评判结果 B 进一步量化。

等级参数 D 的作用是将判断集 V 中的等级进行量化，依据各等级对最高级(如最好、最优、最适合等)的隶属程度进行。比如判断集的论域 V 为(非常适合, 比较适合, 适合, 不适合)，则其等级参数可表示为 $D = (0.9, 0.75, 0.6, 0.45)$ 。含义为：评语等级“非常适合”之于最高评语级“最适合”的隶属度为0.9，“适合”之于“最适合”的隶属度则为0.75等等。

程度系数 e 表示受评对象某因素之于好、优、高的属于程度。它既可表示单项因素也可以表示其总体结果对于好、优、高的属于程度^[4]。对于第 k 个因素的程度系数，其计算公式为：

$$e_k = R_{ik} \cdot D^T \quad (1)$$

其中， R_{ik} 表示评判矩阵 R_i 中第 k 个因素对评语等级的隶属度， e_k 表示第 k 个因素的程度系数， D 表示前面所介绍的等级参数。对于各项因素的程度系数，可以用程度系数矩阵 E 表示为

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n] \quad (2)$$

针对同层次各因素的程度系数，可利用各因素的权重关系进行综合从而求出上一级指标直至总目标的程度系数，得出总目标的程度系数 e 后，若需进行等级评定，可依据总目标的程度系数进行。程度系数与哪个等级参数最接近，那么受评者就属于哪个等级，且程度系数表示其对于该等级的隶属度的大小。

1.3 构建Fuzzy-AHP模型

Fuzzy-AHP 是综合利用模糊综合评判的模糊化定量分析及 AHP 法的递阶层次计算和两两对比确定权重的特点而形成的评估方法。本文利用该方法，构造了问题的评估模型。对图 2 所示的目标层次结构首先利用 AHP 方法确定各层次指标的权重系数 W_j ，然后通过专家调查的方式确定受评对象每一项因素(即最末一级评价指标)的模糊综合评判矩阵 R 后，即可利用 R 与等级参数 D 的乘积得到每一项最末级指标的程度系数 e ，再将其与相应指标的权系数相乘，即求出上一级指标的程度系数，依此类推，直至求出最终问题总体目标的程度系数，也即是模糊综合评价的最终结果。综上所述，Fuzzy-AHP 评估模型可用下面的式(3)表述：

$$\begin{cases} e_i^{(j+1)} = R_i^{(j+1)} D^T \\ E^{(j+1)} = [e_1^{(j+1)} \quad e_2^{(j+1)} \quad \dots \quad e_n^{(j+1)}] \quad j=0,1,\dots \\ e^{(j)} = W_{j+1} (E^{(j+1)})^T \end{cases} \quad (3)$$

特别指出，式(3)中 $R_i^{(j+1)}$ 为处在指标体系中第 $j+1$ 层针对 i 因素相对各判断等级的隶属度， $e_i^{(j+1)}$ 则为其程度系数， D 为确定的等级参数， W_{j+1} 是第 $j+1$ 层上诸因素权系数行向量， $E^{(j+1)}$ 为第 $j+1$ 层各指标的程度系数行向量， $e^{(j)}$ 为相应的上一级评价指标的程度系数，当 $j=0$ 时，即得到问题总目标的评判结果 $e^{(0)}$ 。

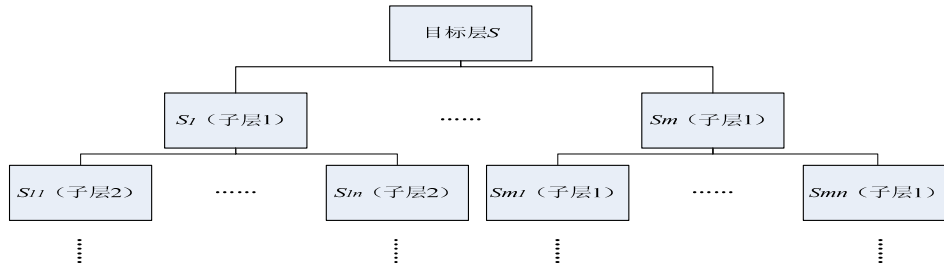


图 2 Fuzzy-AHP 问题中的目标层次结构

2 实例评估

利用AHP法确定影响导弹发射阵地选择的各因素权值^[2]，限于篇幅解算过程不予赘述，得出

$(w_{S1}, w_{S2}, w_{S3}, w_{S4}) = (0.078, 0.200, 0.200, 0.522)$, $(w_{S11}, w_{S12}, w_{S13}, w_{S14}) = (0.074, 0.604, 0.201, 0.121)$, $(w_{S21}, w_{S22}, w_{S23}, w_{S24}) = (0.563, 0.118, 0.261, 0.055)$, $(w_{S31}, w_{S32}, w_{S33}) = (0.637, 0.105, 0.258)$, $(w_{S41}, w_{S42}, w_{S43}, w_{S44}, w_{S45}) = (0.033, 0.129, 0.063, 0.262, 0.513)$ 。

假设经参谋人员和决策人员依据二级指标对阵地进行评价^[5]，得到模糊判断矩阵如下：

$$R_{S1} = \begin{bmatrix} 0 & 0.55 & 0.45 & 0 \\ 0.65 & 0.35 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.45 & 0.35 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad R_{S2} = \begin{bmatrix} 0 & 0.65 & 0.35 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.65 & 0.35 & 0 \end{bmatrix} \quad R_{S3} = \begin{bmatrix} 0 & 0.45 & 0.55 & 0 \\ 0 & 0.55 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \quad R_{S4} = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.55 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.45 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.55 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

矩阵的行对应于影响决策的各项因素指标，各列与相应的判断等级对应，数值则代表了该备选阵地在该指标下的合适程度，它是个模糊值。在获得了各模糊判断矩阵后，便可依据式（3）进行综合评估，计算各二级指标程度系数：

$$e_{S_{11}}^{(2)} = [0 \ 0.55 \ 0.45 \ 0] \cdot [0.9 \ 0.75 \ 0.6 \ 0.45]^T = 0.6825 \quad e_{S_{12}}^{(2)} = [0.65 \ 0.35 \ 0 \ 0] \cdot [0.9 \ 0.75 \ 0.6 \ 0.45]^T = 0.8475$$

$$e_{S_{13}}^{(2)} = [0.2 \ 0.45 \ 0.35 \ 0] \cdot [0.9 \ 0.75 \ 0.6 \ 0.45]^T = 0.7275 \quad e_{S_{14}}^{(2)} = [0.6 \ 0.3 \ 0.1 \ 0] \cdot [0.9 \ 0.75 \ 0.6 \ 0.45]^T = 0.825$$

同样的方法可求出 $e_{S_{21}}^{(2)} = 0.6975$ ， $e_{S_{22}}^{(2)} = 0.675$ ， $e_{S_{23}}^{(2)} = 0.735$ ， $e_{S_{24}}^{(2)} = 0.6975$ ； $e_{S_{31}}^{(2)} = 0.6675$ ， $e_{S_{32}}^{(2)} = 0.6825$ ，

$e_{S_{33}}^{(2)} = 0.72$ ； $e_{S_{41}}^{(2)} = 0.8175$ ， $e_{S_{42}}^{(2)} = 0.885$ ， $e_{S_{43}}^{(2)} = 0.7425$ ， $e_{S_{44}}^{(2)} = 0.87$ ， $e_{S_{45}}^{(2)} = 0.8175$ 。根据式（3），由二级指标的程度系数计算一级因素集指标的程度系数：

$$e_{S_1}^{(1)} = [w_{S11} \ w_{S12} \ w_{S13} \ w_{S14}] \cdot [e_{S_{11}}^{(2)} \ e_{S_{12}}^{(2)} \ e_{S_{13}}^{(2)} \ e_{S_{14}}^{(2)}]^T$$

$$= [0.074 \ 0.604 \ 0.201 \ 0.121] \cdot [0.6825 \ 0.8475 \ 0.7275 \ 0.825]^T = 0.8084$$

$$e_{S_2}^{(1)} = [w_{S21} \ w_{S22} \ w_{S23} \ w_{S24}] \cdot [e_{S_{21}}^{(2)} \ e_{S_{22}}^{(2)} \ e_{S_{23}}^{(2)} \ e_{S_{24}}^{(2)}]^T$$

$$= [0.563 \ 0.118 \ 0.261 \ 0.055] \cdot [0.6975 \ 0.675 \ 0.735 \ 0.6975]^T = 0.7025$$

$$e_{S_3}^{(1)} = [w_{S31} \ w_{S32} \ w_{S33}] \cdot [e_{S_{31}}^{(2)} \ e_{S_{32}}^{(2)} \ e_{S_{33}}^{(2)}]^T$$

$$= [0.637 \ 0.105 \ 0.258] \cdot [0.6675 \ 0.6825 \ 0.72]^T = 0.6826$$

$$e_{S_4}^{(1)} = [w_{S41} \ w_{S42} \ w_{S43} \ w_{S44} \ w_{S45}] \cdot [e_{S_{41}}^{(2)} \ e_{S_{42}}^{(2)} \ e_{S_{43}}^{(2)} \ e_{S_{44}}^{(2)} \ e_{S_{45}}^{(2)}]^T$$

$$= [0.033 \ 0.129 \ 0.063 \ 0.262 \ 0.513] \cdot [0.8175 \ 0.885 \ 0.7425 \ 0.87 \ 0.8175]^T = 0.8352$$

由一级指标的程度系数最终确定系统总目标的程度系数:

$$\begin{aligned} e^{(0)} &= [w_{S1} \quad w_{S2} \quad w_{S3} \quad w_{S4}] \cdot [e_{S1}^{(1)} \quad e_{S2}^{(1)} \quad e_{S3}^{(1)} \quad e_{S4}^{(1)}]^T \\ &= [0.078 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.522] \cdot [0.8064 \quad 0.7025 \quad 0.6826 \quad 0.8352]^T = 0.7761 \end{aligned}$$

$e^{(0)}$ 即为综合考虑了发射阵地各影响要素后总的程度系数。从结果来看,该阵地适于发射任务的程度系数为0.7761,接近于等级参数的第二级(0.75),因此,认定其评估结论为判断集V的第二级,即“比较适合”用于执行发射任务。

3 结束语

将Fuzzy-AHP用于导弹发射阵地选择的评估,解决了以往定量分析困难的问题,其过程对一些模糊、不确定的因素得到了有效地处理。所建模型能较准确地对战术导弹发射阵地进行评价,符合导弹作战的实际,为研究自动化指挥控制系统提供了一种新的思路。该方法和模型具有易实现、可操作、适应性强等特点,也可用于其它相关问题的分析与评价。

参考文献

- [1]毕义明,汪民乐,杨萍等.第二炮兵运筹学[M].北京:军事科学出版社,2005.
- [2]朱昱,舒健生.层次分析法在选择导弹发射阵地中的应用[J].火力与指挥控制,2002,27(2):69-71.
- [3]何新贵.模糊知识处理的理论与技术[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [4]Jefey. S. Schippmann. The Practice of Competency Modeling. Personal Psychology, 2000(53):707.
- [5]罗晓芳.管理干部综合素质模糊评价体系的神经网络模型[J].科技通报,2004,20(3):225-228.