

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.01.012

灰色层次分析法在舰艇防空作战方案优选中的应用

谭乐祖¹, 任东彦², 李大鹏²

(1. 海军航空工程学院 指挥系, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 研究生 5 队, 山东 烟台 264001)

摘要: 在灰色评估法存在的不足的基础上, 将层次分析法与灰色评估法相结合, 建立了基于 AHP 的舰艇防空作战能力灰色评估模型, 给出了舰艇防空作战能力评估的具体过程。应用层次分析法的原理, 对目标进行逐层分解, 通过定性分析对具体对象进行确定。并以舰艇防空作战能力为例, 介绍了该模型的具体应用。结果表明, 该方法科学合理, 能减少主观因素的影响, 提高评估结论的准确性, 为舰艇部队舰艇防空作战能力提供了一种有效的方法。

关键词: 灰色系统; 层次分析法; 评估模型

中图分类号: N941.5 **文献标识码:** A

Application of Grey AHP in Optimization Plane of Naval Ships Air Defense Combat

TAN Le-zu¹, REN Dong-yan², LI Da-peng²

(1. Dept. of Command, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. No. 5 Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: On the basis of the defects of grey evaluation, combined the analytic hierarchy process (AHP) with grey evaluation model of the aerial defense power of naval ships based on AHP is established, and basic procedures of the model is described. Make use of the principle of AHP, carry on the layer decomposition to the target, ascertain target by qualitative analysis. Taking the aerial defense power of warship as example, introduce the application of the model. The result shows that the method is rational and it can reduce the influence of subjective factor and improve the accuracy of the evaluation conclusion. It provides an efficiency method for improving the air defense ability of naval ship.

Keywords: Grey system; AHP; Evaluation model

0 引言

由于现代航空、航天技术的进步和精确制导、微电子、隐身和发动机技术的发展, 空中作战平台(导弹、飞机等)呈现出许多新的特点, 空中攻击的样式越来越多样化, 水面舰艇所受的空中威胁在不断增大。灰色系统理论以“小样本”、“贫信息”、不确定性系统为研究对象, 通过对部分已知信息的生成、开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行状况的正确判断^[1]。灰色评估法可以提高评估的精确度及有效性, 但存在以下不足: 一是对评估对象没有提出比较客观的评估指标体系; 二是各评估指标对于目标的权重没有给出有效的解决办法^[2]。故将层次分析法与灰色评估法相结合, 建立基于 AHP 的舰艇防空作战能力灰色评估模型, 以解决该问题。

1 基于 AHP 的灰色评估模型的建立

1.1 评价指标 A 的评估值矩阵 $D_{JI}^{(k)}$ 的确定

在调查研究的基础上, 应用层次分析原理, 经反复论证, 对目标逐层分解, 使同层次之间元素的

含义互不交叉, 相邻上下层之间为“父子”关系^[3]。

根据简易表格法, 由决策者(专家)按以下 9 个等级打分: 最重要(一), 相邻中值(二), 很重要(三), 相邻中值(四), 比较重要(五), 相邻中值(六), 稍重要(七), 相邻中值(八), 不重要(九); 得判断矩阵和相应的矩阵。根据权重求解方法计算相邻层次下层元素对于上层元素的相对权重, 在此基础上再算出底层元素对于目标的合成权重 w :

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$$

对于 m 个评估指标, 假设有 n 个专家参与评估, 第 k ($k = 1, 2, \dots, n$) 个评估者对于第 i 个评估指标给出的评分是 d_k , 则指标的评估样本矩阵 $D_{JI}^{(k)}$ 为:

$$D_{JI}^{(k)} = \begin{bmatrix} d_{11}^{(k)} & d_{12}^{(k)} & \dots & \dots & d_{1m}^{(k)} \\ d_{21}^{(k)} & d_{22}^{(k)} & \dots & \dots & d_{2m}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1}^{(k)} & d_{n2}^{(k)} & \dots & \dots & d_{nm}^{(k)} \end{bmatrix}$$

收稿日期: 2009-07-17; 修回日期: 2009-09-09

作者简介: 谭乐祖 (1965-), 男, 山东人, 硕士毕业于海军指挥学院, 从事作战模型与文件研究。

1.2 计算灰色评估系数及权矩阵

确定评估灰类就是要确定评估灰类的等级数、灰类的灰数以及灰数的白化权函数, 针对具体对象, 通过定性分析确定^[4]。

对于评估指标, 第 $j(j=1, 2, \dots, n)$ 个评估灰类的灰色评估系数记为 n_{ij} , 各个评估灰类的总灰色评估系数记为 n_i , 则:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p f_j(d_i^k); x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

由 $\{n_i^{(1)}\}$ 及 $n_i^{(1)}$, 得到受评者对于评估指标 i 的灰色评估权向量为:

$$r_1^{(i)} = (r_{11}^{(i)}, r_{12}^{(i)}, \dots, r_{1n}^{(i)}) = (n_{11}^{(i)} / n_1^{(i)}, n_{12}^{(i)} / n_1^{(i)}, \dots, n_{1n}^{(i)} / n_1^{(i)})$$

同理可得受评者对于评估指标 1 的灰色评估权向量 $r_2^{(1)} \sim r_n^{(1)}$, 从而构成各受评者对于评估指标 1 的评估权矩阵 $R^{(1)}$ 。同理, 可得评估指标 2 ~ n 的评估权矩阵。

1.3 不同评估指标的评估

由 $R^{(1)}$ 可得 1 受评者对评估指标 1 的最大灰色评估权:

$$r_1^{*(1)} = \max_i \{r_{1i}^{(1)}\}$$

同理可得受评者对评估指标 1 的最大灰色评估权和 n 个受评者对于评估指标 1 灰色评估权向量:

$$r^{*(1)} = (r_1^{*(1)}, r_2^{*(1)}, \dots, r_n^{*(1)})$$

同理可得评估指标 2 ~ m 的灰色评估权向量 $r^{*(2)} \sim r^{*(m)}$, 并形成评估权矩阵 r^* 。

1.4 综合评估

记评估权矩阵 r^* 的列向量的转置向量为 r_j , 则为受评者综合评估指标后的综合评估权向量, 计算 $r_j w$ (w 为 8 个评价指标对于目标的组合权重, 第 2 步已算出), 可得各受评者对评估目标的综合分^[5]。

2 舰艇防空作战能力的灰色层次评估

舰艇防空作战能力评估是一个多因素复杂系统的评估问题, 评估指标受多方面因素的影响, 评估中信息的不完备使指标难以量化, 评估人员的经验、分辨能力、认识水平存在一定局限性等, 充分表明了舰艇防空作战能力评估的“灰性”。因此, 在定性的基础上, 采用灰色系统理论和层次分析法进行定

量分析, 对舰艇防空作战能力进行评估。

2.1 构建舰艇防空作战能力的层次结构模型

根据对舰艇防空作战能力的分析, 主要考虑因素: 导弹拦截能力, 主炮抗击能力, 末端防御能力, 抗干扰能力, 信息获取能力, 战术先进性, 人员素质, 训练水平。建立方案评估层次结构模型如图 1。

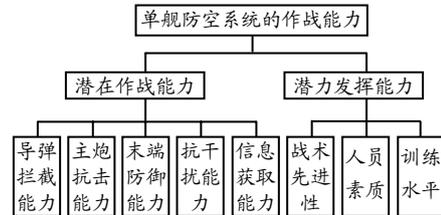


图 1 舰艇防空作战能力评价层次结构模型

2.2 评价指标 A 的评估值矩阵 $D_{ij}^{(k)}$ 的确定

图 1 已给出了单舰防空作战能力的层次分析的指标体系, 由上自下分 A 、 B 、 C 层, 其底层元素即为所求的评估指标^[6]。

由决策者 (专家) 打分得判断矩阵为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 3 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 3 & 1 & 2 & 4 \\ 1/3 & 2 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

用和法算得 A_1 、 A_2 和 A_3 的特征向量分别为 $w^1 = (0.75, 0.25)^T$ 、 $w^2 = (0.4439, 0.1051, 0.2792, 0.1718, 0.0665)^T$ 和 $w^3 = (0.6334, 0.2605, 0.1061)^T$, 特征向量的分量就是该相应元素对于上层元素的相对权重。将上面的计算结果列表, 见表 1, 则 $B^1 = (0.75, 0.25)$, C 层元素对目标 A 的组合权重 (组合排序) 为:

$$w = C^2 B^1 = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8)^T$$

表 1 底层元素对于目标的组合权重

层次 C	$B_1 (0.75)$	$B_2 (0.75)$	层次 C 对于 A 的组合排序
C_1	0.443 9	0	0.332 9
C_2	0.105 1	0	0.078 8
C_3	0.279 2	0	0.209 4
C_4	0.171 8	0	0.128 9
C_5	0.066 5	0	0.049 9
C_6	0	0.633 4	0.158 4
C_7	0	0.260 5	0.065 1
C_8	0	0.106 1	0.026 5

设有 5 组评估者, 5 个受评者, 评估者指决策

者(专家), 受评者指各型舰艇; 8 个评估指标为防空系统层次图所示的底层的 8 个元素。为简化计算, 规定评估者的给分范围 1~10 分, 根据 5 组评估者的评分表格, 得到评价指标值矩阵 $D_{JI}^{(1)} \sim D_{JI}^{(8)}$ 如下:

$$D_{JI}^{(1)} = \begin{bmatrix} d_{11}^{(1)} & d_{12}^{(1)} & d_{13}^{(1)} & d_{14}^{(1)} & d_{15}^{(1)} \\ d_{21}^{(1)} & d_{22}^{(1)} & d_{23}^{(1)} & d_{24}^{(1)} & d_{25}^{(1)} \\ d_{31}^{(1)} & d_{32}^{(1)} & d_{33}^{(1)} & d_{34}^{(1)} & d_{35}^{(1)} \\ d_{41}^{(1)} & d_{42}^{(1)} & d_{43}^{(1)} & d_{44}^{(1)} & d_{45}^{(1)} \\ d_{51}^{(1)} & d_{52}^{(1)} & d_{53}^{(1)} & d_{54}^{(1)} & d_{55}^{(1)} \end{bmatrix}$$

2.3 计算灰色评估系数及权矩阵

设 $K=4$, 即 $K=1, 2, 3, 4$ 有 4 个评估灰类, 分别是“优”, “良”, “中”, “差” 4 级, 其相应的灰数及白化权函数如下:

第 1 类“优” ($K=1$), 设定灰数 $\otimes 1 \in [9, \infty)$, 白化权函数 f_1 , 如图 2;

第 2 类“良” ($K=2$), 设定灰数 $\otimes 2 \in [0, 7, 14]$, 白化权函数 f_2 , 如图 3;

第 3 类“中” ($K=3$), 设定灰数 $\otimes 3 \in [0, 5, 10]$, 白化权函数 f_3 , 如图 4;

第 4 类“差” ($K=4$), 设定灰数 $\otimes 4 \in [0, 1, 4]$, 白化权函数 f_4 , 如图 5;

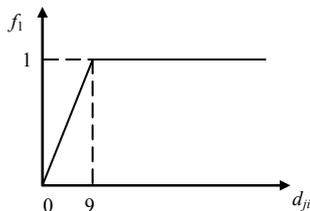


图 2 第 1 类白化权函数

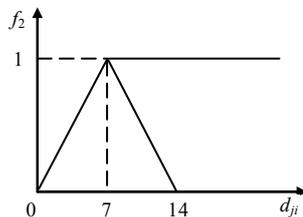


图 3 第 2 类白化权函数

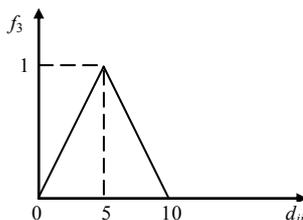


图 4 第 3 类白化权函数

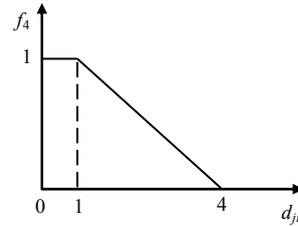


图 5 第 4 类白化权函数

对于评估指标 1, 受评者属各灰类的评估系数为:

$$k=1 \quad n_{11}^{(1)} = f_1^{(8)} + f_1^{(7)} + f_1^{(10)} + f_1^9 + f_1^{(6)} = 4.24$$

$$k=2 \quad n_{12}^{(1)} = f_2^{(8)} + f_2^{(7)} + f_2^{(10)} + f_2^9 + f_2^{(6)} = 4.0$$

$$k=3 \quad n_{13}^{(1)} = f_3^{(8)} + f_3^{(7)} + f_3^{(10)} + f_3^9 + f_3^{(6)} = 2.0$$

$$k=4 \quad n_{14}^{(1)} = f_4^{(8)} + f_4^{(7)} + f_4^{(10)} + f_4^9 + f_4^{(6)} = 0$$

受评者对评估指标 1 的总评估系数为:

$$n_1^{(1)} = \sum_{i=1}^4 n_{1i}^{(1)} = n_{11}^{(1)} + n_{12}^{(1)} + n_{13}^{(1)} + n_{14}^{(1)} = 10.232 2$$

由 $\{n_{1i}^{(1)}\}$ 及 $n_1^{(1)}$, 得到受评者对于评估指标 1 的灰评估权向量:

$$r_1^{(1)} = (n_{11}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{12}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{13}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{14}^{(1)} / n_1^{(1)}) = (0.419 4, 0.387 1, 0.193 5, 0)$$

同理可得受评者对于评估指标 1 的灰色评估权向量 $r_2^{(1)} \sim r_5^{(1)}$, 从而构成各受评者对于评估指标 1 的评估权矩阵 $R^{(1)}$:

$$R^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)} & r_{12}^{(1)} & r_{13}^{(1)} & r_{14}^{(1)} \\ r_{21}^{(1)} & r_{22}^{(1)} & r_{23}^{(1)} & r_{24}^{(1)} \\ r_{31}^{(1)} & r_{32}^{(1)} & r_{33}^{(1)} & r_{34}^{(1)} \\ r_{41}^{(1)} & r_{42}^{(1)} & r_{43}^{(1)} & r_{44}^{(1)} \\ r_{51}^{(1)} & r_{52}^{(1)} & r_{53}^{(1)} & r_{54}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.419 4 & 0.387 1 & 0.193 5 & 0 \\ 0.383 8 & 0.373 4 & 0.242 7 & 0 \\ 0.379 0 & 0.348 1 & 0.272 9 & 0 \\ 0.342 5 & 0.411 0 & 0.246 5 & 0 \\ 0.323 9 & 0.362 7 & 0.282 1 & 0 \end{bmatrix}$$

同理可得评估指标 2~8 的评估权矩阵。

2.4 不同评估指标的评估

由 $R^{(1)}$ 可得 1 受评者对评估指标 1 的最大灰色评估权:

$$r_1^{*(1)} = \max_i \{r_{1i}^{(1)}\} = \max \{0.419 4, 0.387 1, 0.193 5, 0\} = 0.419 4$$

同理可得受评者对评估指标 1 的最大灰色评估权和 5 个受评者对于评估指标 1 的灰色评估权向量:

$$r^{*(1)} = (r_1^{*(1)}, r_2^{*(1)}, r_3^{*(1)}, r_4^{*(1)}, r_5^{*(1)}) = (0.419 4, 0.383 8, 0.379 0, 0.411 0, 0.362 7)$$

同理可得评估指标 2~8 的灰色评估权向量 $r^{*(2)} \sim r^{*(8)}$, 并形成评估权矩阵 r^* 。 (下转第 53 页)

[3] 司书宾, 孙树栋, 韩光臣, 等. 基于三角模糊数的综合保障评价指标权重分析[J]. 西北工业大学学报, 2004, 12(6): 659-692.

[4] 姜艳萍, 樊治平. 一种三角模糊数互补判断矩阵的排序方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(7): 34-36.

[5] 肖钰, 李华. 基于三角模糊数的判断矩阵的改进及其应用[J]. 模糊系统与数学, 2003, 17(2): 59-64.

[6] 韩庆兰, 杨涛. AHP 算法和三角模糊数在虚拟企业的盟

员选择中的应用[J]. 运筹与管理, 2003, 12(1): 17-21.

[7] Ling Wang, Jian Chu, Jun Wu. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 107(1): 151-163.

[8] Leung L C, Cao D. On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 124(1): 102-113.

(上接第 42 页)

2.5 综合评估

计算 $r_j w$ (w 为 8 个评价指标对于目标的组合权重), 可得各受评者对评估目标(舰艇防空作战能力)的综合分如下:

$$r_1 w = 0.4233; r_2 w = 0.4500; r_3 w = 0.4186$$

$$r_4 w = 0.3981; r_5 w = 0.3896$$

其排列顺序为 $r_2 w > r_1 w > r_3 w > r_4 w > r_5 w$, 即第 2 个方案综合防空作战能力最强。

3 结论

该方案克服了传统方案选择的不足, 解决了方案评选中无法定量分析的问题, 可减少主观因素的影响, 提高评估结论的准确性、科学性、可靠性,

(上接第 49 页)

主要包括对远方空情仿真、近方空情仿真以及作战单元本级制导雷达发现目标的仿真。

(2) 单发毁伤仿真

地空导弹的毁伤通常用杀伤概率或数学期望表示。其毁伤因素包括部队战斗力、指挥控制效率、射击条件、空战目标类型等有关。

单发导弹理论命中概率^[3-4]:

$$P_1^* = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi^*(y, z) f^*(y, z) G_0^*(y, z) dy dz, \text{ 其中 } \varphi^*(y, z)$$

为制导误差概率密度, $f^*(y, z)$ 为引信启动概率密度, $G_0^*(y, z)$ 为目标条件下坐标杀伤规律密度。在仿真中可以采用简化模型: $P_1^* = \zeta_d \zeta_j P_1$ 。其中, ζ_d

为电子干扰影响系数, ζ_j 为目标机动影响系数, P_1 为单发导弹在正常条件下的命中概率。

3) 连续毁伤仿真

当发射 n 枚导弹对单个目标攻击时, 其杀伤概率为: $P^* = 1 - (1 - P_1^*)^n$ 。

$$\text{可射击目标数量为: } N = \text{int} \left[1 + \frac{t_{mff} - \Delta t(n-1)}{t_{zh} - \Delta t_{pc}} \right]$$

为舰艇部队防空作战能力评估提供了有效的方法。

参考文献:

[1] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[2] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.

[3] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.

[4] 王清印, 王峰松, 左其亭, 等. 灰色数学基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.

[5] 吕艳辉. 基于 AHP 的灰色评估模型及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2005(8): 80-82.

[6] 郭齐胜, 杨秀月, 王杏林, 等. 系统建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[7] 肖斌, 陈军. 层次分析法在炮兵选择射击目标中的应用[J]. 四川兵工学报, 2008(2): 42-44.

其中, t_{mff} 为目标在发射区飞行时间, Δt 为导弹发射间隔, n 为导弹发射数量, t_{zh} 为射击的转火时间, Δt_{pc} 为目标的批次间隔。

$$\text{消灭目标期望: } M = \sum_{i=1}^N P_1^i. \text{ 其中, } P_1^i \text{ 为对第}$$

i 个目标杀伤概率, N 为可射击目标数。

3 结束语

该研究采用计算机仿真技术进行网上指挥作业和方案推演评估, 可有效提高指挥班子的组织筹划能力、指挥控制能力和临机处置能力。

参考文献:

[1] 郝金生, 余敏健. 军队指挥自动化指挥系统概论 - 指挥引导分册[M]. 北京: 军事科学出版社, 1995.

[2] 王凤山. 现代防空学[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.

[3] 徐浩军. 作战航空综合体及其效能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[4] 来斌, 牛存良. 防空作战模拟与效能评估[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.