

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.10.012

基于模糊理论的舰艇编队防空作战能力评估

张旭东¹, 彭杰^{2,3}, 王健², 盖炳良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管理大队, 山东 烟台 264001;
3. 海军 91245 部队, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 针对当前水面舰艇编队面临的空中威胁问题, 在综合考虑影响水面舰艇编队防空能力各种因素的基础上, 建立基于模糊理论的舰艇编队防空作战能力评估方法。根据水面舰艇编队防空作战过程建立相应的评估指标体系, 采用加权平均的原则进行选取, 计算各级评估因素的隶属度函数及其组成的模糊关系矩阵, 并以实例进行分析。结果表明, 该方法能将不同水面舰艇编队的防空作战能力用评估值统一表示出来, 可操作性强, 结果直观明了。

关键词: 模糊综合评判; 防空作战能力; 水面舰艇编队; 量化评估

中图分类号: TJ762.3 **文献标志码:** A

Evaluation of Air Defense Combat Capacity in Surface Ship Formation Based on Fuzzy Theory

Zhang Xudong¹, Peng Jie^{2,3}, Wang Jian², Gai Bingliang²

(1. Dept. of Command, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
3. No. 91245 Unit of Navy, Huludao 125105, China)

Abstract: In view of the current surface ship formation of threat facing the air, On the basis of the influence of various factors air defense capability are calculated, established evaluation of air defense combat capacity in surface ship formation based on fuzzy theory. According to the surface ship formation air defense operations process set up a corresponding evaluation index system, using the principle of the weighted average was chosen by the calculation of evaluation factors, at various levels of membership functions of the fuzzy relation matrix and its composition and analyzed with practical example. The results show that the method can will different surface ship formation of air combat with evaluation value unified said out, the maneuverability is strong, the results intuitive and clear.

Keywords: fuzzy comprehensive evaluation; air defense combat ability; surface ship formation; quantitative evaluation

0 引言

水面舰艇编队防空作战能力是指编队在海上作战中, 依靠编队自身所携带的兵力兵器对空中来袭目标(包括飞机、导弹)进行抗击的能力。由于现代导弹技术的发展, 海战逐渐呈现出超视距、高强度、全方位的特点, 单艘舰艇已很难对付来自各方面的威胁, 这就要求舰艇之间能够快速建立自适应性的协同合作机制。据不完全统计, 1967—1982年的5次海战中, 各种类型的舰艇共被击沉48艘, 其中28艘是被反舰导弹击中的^[1]。因此, 日趋广泛的空中打击将成为水面舰艇编队的主要威胁, 如何建立有效的防空体系成为水面舰艇编队亟需解决的现实问题之一。对水面舰艇编队防空能力进行量化, 将会给战场指挥员提供一定的辅助决策支持, 也会使水面舰艇部队的作战训练更具针对性。因此, 笔者综合考虑影响水面舰艇编队防空能力的各种因素,

运用模糊综合评判法把定性问题转化为定量问题, 从而使水面舰艇编队防空能力评估更具科学性和合理性。

1 评估指标体系的选取

无论一个编队系统的组成与结构如何复杂, 都由侦察预警能力、指挥控制能力、火力打击能力和电子战能力4个要素组成^[2]。水面舰艇编队防空作战能力能否正常发挥, 是以作战流程是否稳定顺畅的运转为前提的。作战流程是一个由信息流、控制流、能量流等综合形成的流程^[3], 如图1。

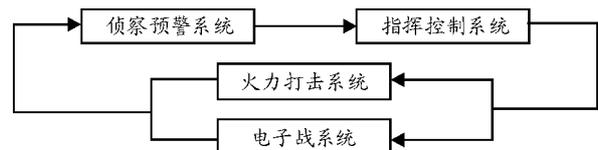


图1 水面舰艇编队作战流程示意图

收稿日期: 2011-05-16; 修回日期: 2011-07-05

作者简介: 张旭东(1967—), 男, 山东人, 硕士, 副教授, 从事海军兵种作战、军事智能决策研究。

根据以上编队作战流程，建立如图 2 的评估指标体系。

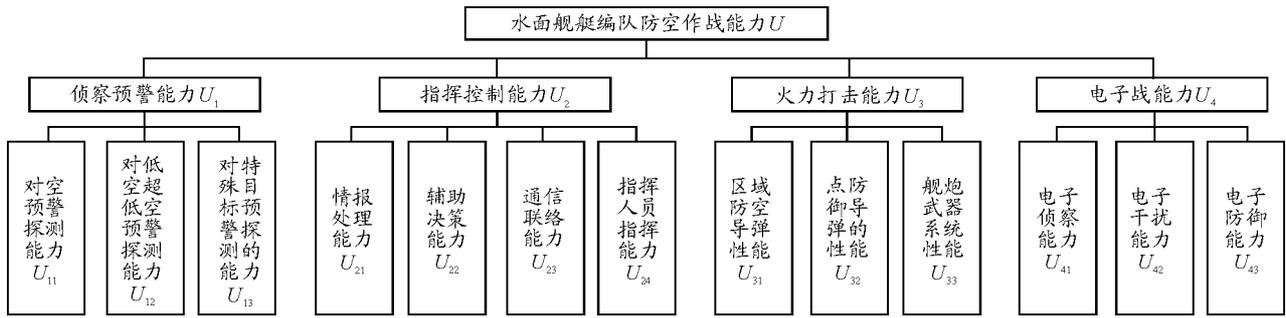


图 2 水面舰艇编队防空作战能力评估指标体系

2 模糊综合评判模型的建立

1) 确定评判对象的因素(指标)集合 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ 共 m 个因素, 其中 $U_i (i=1, 2, \dots, m)$ 是 U 中的一个指标, $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}\}$, $U_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ 是指标集 U_i 中的一个指标;

2) 确定评语集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 表示由高到低的评语。比如 $V = \{\text{很好}(v_1), \text{较好}(v_2), \text{一般}(v_3), \text{较差}(v_4), \text{很差}(v_5)\}$, 依具体情况而定;

3) 确定评判权重向量, 权重集反映各因素对评价结果的影响程度, 即各因素的重要程度, 是决策者对诸准则因素综合权衡的结果。例如, 对评估指标进行综合评判, 设 U_1 权重为 μ_1 , U_2 权重为 μ_2 等, 这些权重组成 U 上的一个模糊子集 $A^{[4]}$, 即 $A = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$;

4) 设 R 为单因素的评价矩阵, $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其中 r_{ij} 表示 U_i 被评为 V_j 的隶属程度, 并注意保持其归一化。由于水面舰艇编队防空作战能力指标的复杂性, 难以用具体的模糊分布来确定, 因此采用专家评判方法较为合适。设邀请 X 名专家进行调查, X_{ij} 表示 U_i 被评为 v_j 的专家人数, 设计单层次指标的专家评判调查表如表 1^[5]。

表 1 单层次指标的专家评判调查表

因素集	评语集			
	v_1	v_2	...	v_n
U_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
U_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
U_m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}

5) 选择合成算子。利用模糊矩阵的合成运算, 得模糊综合评判结果为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 。按照模糊

关系运算规则有 $B = A \circ R$, 其中“ \circ ”为模糊合成算子。权重向量 A 与评判矩阵 R 的合成, 一般用 $M(*, *)$ 表示, M 表示计算模式, “ $*$ ”表示广义模糊运算的各种算子。模糊子集的运算算子常见的有以下 4 种: \wedge 表示取小运算; \vee 表示取大运算; \bullet 表示乘积运算; \oplus 表示求和运算。各种算子的算式及它们的常见复合如表 2。

表 2 几种常见算子的算式及其复合

序号	算子符号	一级算式	二级算式	特点
1	(\wedge, \vee)	$a \wedge b = \min(a, b)$	$a \vee b = \max(a, b)$	强调主因素型
2	(\bullet, \vee)	$a \bullet b = ab$	$a \vee b = \max(a, b)$	强调主因素型
3	(\bullet, \oplus)	$a \bullet b = ab$	$a \oplus b = a + b$	加权平均型

本评估体系的模糊算子采用 $M(\bullet, \oplus)$ 算子, 不仅考虑了所有因素对系统的影响, 而且保留了单因素评判矩阵的全部信息, 适用于兼顾对综合评判起作用各因素。

6) 评判指标的处理。对多层次指标体系, 按以上模型由底层向上递推计算上一层次指标的评价结果, 根据计算得各分值, 再向上递推直到目标层。评判指标 $b_i (i=1, 2, \dots, m)$ 求出以后, 一般可按以下方法确定被评判对象的具体等级^[6]:

① 最大隶属度法

在最大隶属度法中, 即取与最大 b_i 相对应的评价元素为评价结果, 若相同或相近的最大指标值有多个时, 很难确定出评判结果, 同时也会丢失一部分有用的信息。

② 加权平均法

以 b_i 为权值, 对评判集中各元素进行加权平均, 其值作为评判的最终结果^[7], 按加权平均原则,

用 B 中对应分量将各等级的秩加权求和, 其公式可表示为:

$$u^* = \sum_{i=1}^n \mu(v_i) \cdot b_i^k / \sum_{i=1}^n b_i^k \quad (1)$$

其中, k 为待定系数 ($k=1$ 或 $k=2$), 目的是控制较大的 b_i 所起的作用^[8]。

③ 模糊分析法

这种方法是直接把评判指标作为评判结果, 或将评判指标归一化, 用归一化的评判指标作为评判结果。

上述评判指标的取值方法, 并不具有通用性, 需视评判目标不同而异。

笔者对舰艇编队防空能力进行评估, 需兼顾各种指标的影响, 对评估结果进行量化, 需要得到一个具体的评估值。加权平均法不仅考虑了所有因素对系统的影响, 而且保留了单因素评判矩阵的全部信息, 适用于文中讨论的指标。根据加权平均原则, 得到被评事物相对于评语集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的位置, 比较后被评估对象的优劣程度便可一目了然。

3 实例分析

1) 评估因素集 U 的选取

对某水面舰艇编队防空作战能力进行综合评估, 所考虑的评估因素如图 2 所示, $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, $U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}\}$, $U_2 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\}$, $U_3 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\}$, $U_4 = \{U_{41}, U_{42}, U_{43}\}$ 。

2) 评语集 V 的选取

评语集分为 4 级, 评语等级集合 $V = \{\text{好}(v_1), \text{较好}(v_2), \text{一般}(v_3), \text{差}(v_4)\}$, 其对应的分数值为 $V = \{\text{好}(0.9), \text{较好}(0.7), \text{一般}(0.5), \text{差}(0.3)\}$ 。

3) 确定评判权重向量

运用 AHP 方法对各级指标权重进行评估, 大致可分为以下 5 个步骤:

① 建立系统的递阶层次结构。文中的评估模型包括目标层、一级评估指标层和二级评估指标层;

② 构造比较判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层某因素而言, 本层次与之有关的各因素之间的相对重要性;

③ 层次单排序。所谓层次单排序是指, 根据

判断矩阵计算对于上一层某因素而言, 本层次与之有关联的因素重要性次序的权值, 它是本层次所有因素相对上一层而言的重要性进行排序的基础。

④ 层次总排序。层次总排序是指利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可以计算针对上一层而言, 本层次所有因素重要性的权值。

⑤ 一致性检验。为评价层次总排序的计算结果的一致性, 需要计算与单排序类似的检验量。

按照 AHP 方法, 对各级评估指标进行比较、排序、计算, 得各级评估指标的权系数矩阵分别为: $A = (0.2, 0.2, 0.3, 0.3)$, $A_1 = (0.3, 0.4, 0.3)$, $A_2 = (0.3, 0.2, 0.3, 0.2)$, $A_3 = (0.5, 0.4, 0.1)$, $A_4 = (0.2, 0.5, 0.3)$, 如表 3。

表 3 水面舰艇编队防空作战能力指标评估值及权重

一级评估指标及权重	二级评估指标及权重	好	较好	一般	差
侦察预警能力 $\mu_1(0.2)$	对空预警探测能力 $\mu_{11}(0.3)$	3	4	2	1
	对(起)低空预警探测能力 $\mu_{12}(0.4)$	4	3	3	0
	对特殊目标预警探测能力 $\mu_{13}(0.3)$	2	4	3	1
指挥控制能力 $\mu_2(0.2)$	情报处理能力 $\mu_{21}(0.3)$	3	5	2	0
	辅助决策能力 $\mu_{22}(0.2)$	4	4	2	0
	通信联络能力 $\mu_{23}(0.3)$	2	4	2	2
	人员指挥能力 $\mu_{24}(0.2)$	2	6	2	0
火力打击能力 $\mu_3(0.3)$	区域防空导弹性能 $\mu_{31}(0.5)$	3	5	2	0
	点防御导弹性能 $\mu_{32}(0.4)$	4	3	3	0
	舰炮武器系统性能 $\mu_{33}(0.1)$	4	4	2	0
电子战能力 $\mu_4(0.3)$	电子侦察能力 $\mu_{41}(0.2)$	3	5	1	1
	电子干扰能力 $\mu_{42}(0.5)$	4	4	2	0
	电子防御能力 $\mu_{43}(0.3)$	4	3	3	0

4) 多级因素评判

进行多级因素评判, 建立因素论域和评语论域之间的模糊关系矩阵, 由二级评估因素向上递推计算一级评估因素指标的评估结果。邀请 10 位相关领域专家对该水面舰艇编队防空作战能力进行评估, 对二级 13 个因素进行打分, 评估值及权重如表 3 所示。

5) 进行综合评价

由表 3 得, 权系数矩阵为: $A_1 = (0.3, 0.4, 0.3)$, $A_2 = (0.3, 0.2, 0.3, 0.2)$, $A_3 = (0.5, 0.4, 0.1)$, $A_4 = (0.2, 0.5, 0.3)$, 评判矩阵(进行归一化处理)为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \quad R_3 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

通过权系数矩阵与评判矩阵的模糊变换得:

$$A_1 \circ R_1 = (0.3, 0.4, 0.3) \circ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} = (0.31, 0.36, 0.27, 0.06)$$

$$A_2 \circ R_2 = (0.3, 0.2, 0.3, 0.2) \circ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = (0.27, 0.47, 0.2, 0.06)$$

$$A_3 \circ R_3 = (0.5, 0.4, 0.1) \circ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = (0.35, 0.41, 0.24, 0)$$

$$A_4 \circ R_4 = (0.2, 0.5, 0.3) \circ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} = (0.38, 0.39, 0.21, 0.02)$$

二级综合评判结果为

$$B = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ A_3 \circ R_3 \\ A_4 \circ R_4 \end{bmatrix} = (0.2, 0.2, 0.3, 0.3) \circ \begin{bmatrix} 0.31 & 0.36 & 0.27 & 0.06 \\ 0.27 & 0.47 & 0.2 & 0.06 \\ 0.35 & 0.41 & 0.24 & 0 \\ 0.38 & 0.39 & 0.21 & 0.02 \end{bmatrix} = (0.335, 0.406, 0.229, 0.03)$$

根据加权平均的原则, 由 $B = (0.335, 0.406, 0.229, 0.03)$, $V = \{0.9, 0.7, 0.5, 0.3\}$, 得

$$u_{k=1}^* = \frac{0.9 \times 0.335 + 0.7 \times 0.406 + 0.5 \times 0.229 + 0.3 \times 0.03}{0.335 + 0.406 + 0.229 + 0.03} = 0.7092$$

因此, 该水面舰艇编队的防空作战能力为较好。

4 结论

水面舰艇编队防空作战能力多层次的评估方法, 能将不同编队的防空能力用评估值统一表示出来, 可操作性强, 结果直观明了。但由于影响水面舰艇编队防空作战能力指标因素很多, 在选取指标时, 对于人员的能力素质等因素考虑得还比较少, 还将在下一步的工作中进行改进。

参考文献:

- [1] 王昭. 基于模糊专家系统的舰艇反导辅助决策系统设计[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2010.
- [2] 武涛, 夏惠诚. 水面舰艇编队系统对空作战能力研究[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 108.
- [3] 谭安胜. 水面舰艇编队作战运筹分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 47.
- [4] 刑昌凤, 李敏勇, 吴玲. 舰载武器系统效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [5] 姜华, 贾春雨, 袁文波. 基于模糊层次分析法的防空信息战作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2006, 25(6): 11.
- [6] 张海英. 智能决策支持系统的设计与应用[D]. 西安: 西安理工大学, 2002.
- [7] 张旭东, 王昭, 孙洁. 舰艇编队雷达组网探测研究[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 8.
- [8] 陈光亭, 裴哲勇. 数学建模[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.