

基于模糊 AHP 的岸基侦察预警能力评估^①

瞿 丰^② 黄高明 黎铁冰

(海军工程大学电子工程学院 武汉 430033)

摘 要 为了解岸基侦察预警体系对海上目标的侦察预警能力和促进情报保障能力的发挥,进行了基于模糊层次分析法(AHP)的侦察预警能力评估研究。首先,在综合考虑装备性能、战术运用和信息化水平等多方面影响因素的基础上,用层次分析法和模糊评判相结合的方法建立了岸基侦察预警能力评估指标体系,构建了评估模型,然后结合实例对岸基侦察预警能力进行定性与定量相结合的评估。评估结果表明,该方法可有效解决岸基侦察预警能力评估中存在的模糊性和不确定性。

关键词 侦察预警, 能力评估, 层次分析法(AHP)

0 引言

岸基侦察预警体系是信息作战及海岸防御的重要力量组成,是获取海上目标信息的重要手段。对岸基侦察预警能力的科学评估,有利于掌控侦察预警体系薄弱环节,有利于促进侦察装备发展和预警情报体系建设,有利于更好地发挥岸基侦察预警在信息作战和海岸防御中的情报保障作用^[1]。由于岸基侦察预警是一个庞大的复杂系统,系统信息的不完全、不确定和不确定性给定量评估带来很大的困难,模糊集理论和灰色系统理论恰是处理模糊问题的有力工具。本文将层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和模糊评判相结合,充分发挥两者的优势,借助专家经验,在定性分析的基础上进行量化处理,对岸基侦察预警体系进行了有效评估^[2,3]。

1 岸基侦察预警能力评估指标体系

岸基侦察预警系统是典型的多源传感器信息融合系统,装备战技指标繁杂,因此,评估指标的建立应从体系协同作战角度出发,坚持完备性、合理性和

科学性原则,综合考虑诸方面因素^[4]。本文从目标情报获取能力、情报信息处理能力、情报传输分发能力、战场生存能力、综合保障能力等5个方面建立一级指标,并在此基础上细分二、三级指标。其中目标情报获取能力是评价侦察预警能力的主要指标,它反映了侦察预警装备完成所赋予作战任务的能力,指标体系详见表1。限于篇幅,本文仅给出体系结构,至于各指标因素的含义及计算模型另文表述。

2 侦察预警能力评估模型及解算方法

2.1 建立评估因素集

评估因素集可用集合 U 表示, $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ 。据表1建立的侦察预警能力评估指标体系,其指标集合为: $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ 。对于每个子集 $U_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 都有其子评价因素 $U_{ij} (i = 1, 2, 3, 4, 5, j = 1, 2, \dots, n_i, n_i$ 为 U_i 下因素的个数),即: $U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\}, U_2 = \{U_{21}, U_{22}\}, U_3 = \{U_{31}, U_{32}\}, U_4 = \{U_{41}, U_{42}, U_{43}\}, U_5 = \{U_{51}, U_{52}, U_{53}, U_{54}\}$ 。同样,对每个子集 U_{ij} 亦又有其子属评价因素 $U_{ijk} (i = 1, 2, 3, 4, 5, j = 1, 2, \dots, n_i, n_i$ 为 U_i 下因

① 国家社会科学基金(16GJ003-102)资助项目。

② 男,1992年生,硕士;研究方向:海军信息对抗情报分析与处理;联系人,E-mail: 532997215@qq.com
(收稿日期:2016-06-05)

(续表 1)

素的个数, $k = 1, 2, \dots, m_{ij}$, m_{ij} 为 U_{ij} 下因素的个数), 即有: $U_{11} = \{U_{111}, U_{112}, U_{113}, U_{114}\}$, $U_{12} = \{U_{121}, U_{122}, U_{123}, U_{124}\}$, $U_{13} = \{U_{131}, U_{132}, U_{133}\}$, $U_{14} = \{U_{141}, U_{142}, U_{143}, U_{144}\}$, $U_{21} = \{U_{211}, U_{212}, U_{213}\}$, $\dots, U_{54} = \{U_{541}, U_{542}, U_{543}\}$, 共三层 21 个子集。

表 1 岸基侦察预警能力评估指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	
岸基侦察预警能力 U	目标情报获取能力 U_1	目标探测范围 U_{11}	对海探测范围 U_{111}
		目标探测范围 U_{11}	对空探测范围 U_{112}
			对超低空探测范围 U_{113}
			对水下探测范围 U_{114}
	目标情报精度 U_{12}	目标定位精度 U_{121}	对海上目标定位精度 U_{121}
		目标定位精度 U_{12}	对空中目标定位精度 U_{122}
			对超低空目标定位精度 U_{123}
			对水下目标定位精度 U_{124}
	目标识别能力 U_{13}	敌我识别率 U_{131}	
		类型识别率 U_{132}	
		属性识别率 U_{133}	
	情报支援能力 U_{14}	情报支援能力 U_{14}	上级情报机构支援能力 U_{141}
		情报支援能力 U_{14}	友邻单位情报支援能力 U_{142}
			民用机构情报支援能力 U_{143}
本级情报共享率 U_{144}			
情报信息处理能力 U_2	情报分析能力 U_{21}	目标情报分析能力 U_{211}	
	情报分析能力 U_{21}	信号情报分析能力 U_{212}	
		声像情报分析能力 U_{213}	
		数据融合能力 U_{22}	融合的层次 U_{221}
情报传输分发能力 U_3	情报传输能力 U_{31}	数据源对象与数量 U_{222}	
		融合质量 U_{223}	
		传输速率 U_{311}	
	情报传输能力 U_{31}	传输容量 U_{312}	
		误码率 U_{313}	
		安全与保密 U_{314}	
		分发管理	分发速度 U_{321}
	分发管理能力 U_{32}	分发质量 U_{322}	
		分发层级 U_{323}	
		反侦察能力 U_{41}	伪装隐蔽能力 U_{411}
反侦察能力 U_{41}	功率管理能力 U_{412}		
	空间管理能力 U_{413}		
	信号选择能力 U_{414}		
战场生存能力 U_4	抗干扰能力 U_{42}	抗自然(海杂波)干扰能力 U_{421}	
		抗光电干扰能力 U_{422}	
		抗雷达无源干扰能力 U_{423}	
		抗雷达有源干扰能力 U_{424}	
	抗摧毁能力 U_{43}	防御工事水平 U_{431}	
		机动能力 U_{432}	
抗摧毁能力 U_{43}	抗电磁毁伤能力 U_{433}		
	抗反辐射攻击能力 U_{434}		

岸基侦察预警能力 U	装备保障能力 U_{51}	自保障能力 U_{511}
		可靠性 U_{512}
		可维修性 U_{513}
		动态调配能力 U_{514}
	通信保障能力 U_{52}	一体化保障能力 U_{521}
		网络支撑能力 U_{522}
		频谱管控能力 U_{523}
		信道抗毁能力 U_{524}
	后勤保障能力 U_{53}	物资补给能力 U_{531}
		军需供给能力 U_{532}
		卫勤保障能力 U_{533}
	伪装防护能力 U_{54}	伪装能力 U_{541}
		工程保障能力 U_{542}
		防化保障能力 U_{543}

2.2 确定评价指标权重集

指标权重反映指标因子在评价中的贡献,它直接影响到综合评价结果。本文采用层次分析法(AHP)确定各指标因素相对于上一级指标的重要度权值。为保证评价的客观准确性,采用德尔菲(Delphi)法——专家意见法、征集指标因素两两比较的重要度,并按 Satty1-9 标度(见表 2)取其均值构造模糊判断矩阵。

表 2 判断矩阵标度表

标度 a_{ij}	含义	说明
1	表示 a_i 与 a_j 同样重要	若 a_i 与 a_j 处于两相邻
3	表示 a_i 比 a_j 稍微重要	判断之间,则取 2、4、6、
5	表示 a_i 比 a_j 重要	8 之一;若求 a_j 对 a_i 的
7	表示 a_i 比 a_j 重要得多	相对重要程度则取其
9	表示 a_i 比 a_j 极其重要	倒数。

由于指标体系是多层的,故应对每一层都要构建一个判断矩阵,显然针对本文的评估因素集共要构建 21 个判断矩阵,针对集合 U 的模糊判断矩阵可表示为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

其中: n 为本层的指标维数(对第一层 $n = 5$), $a_{ij} =$

$\frac{\sum_{k=1}^p a_{ijk}}{p}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, p$), a_{ij} 为专家给出的判断矩阵标度的均值, p 为聘请的专家人数。

同理可得其余 20 个判断矩阵。

然后,利用 Matlab 软件对于每一个模糊判断矩阵,求出最大特征根所对应的特征向量 W 。

具体算法是:采用方根法,先计算判断矩阵 A 上每一行元素的乘积

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

再求 M_i 的 n 次方根

$$\overline{M}_i = \sqrt[n]{M_i} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

对向量 \overline{M}_i 作归一化处理,即

$$W_i = \overline{M}_i / \sum_{i=1}^n \overline{M}_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

则 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 即为判断矩阵 A 的特征

向量。

再计算判断矩阵 A 的最大特征根值 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (5)$$

式中 $(AW)_i$ 表示判断矩阵 A 与特征向量 W 乘积的第 i 个元素。

用同样方法,可求出其他 20 个判断矩阵的特征向量和最大特征根值^[5]。

以上所得判断矩阵的特征向量即为其各自相应的权值,这些权值是否合理,需要对判断矩阵进行一致性检验,检验规则为

$$CR = CI/RI \quad (6)$$

式中: CR 是判断矩阵随机一致性比率; CI 是判断矩阵一般一致性指标, $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$, n 为判断矩阵阶数; RI 是判断矩阵平均随机一致性比率。

对于 1~9 阶的判断矩阵,其 RI 值如表 3 所示。

表 3 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.000	0.000	0.515	0.893	1.119	1.249	1.345	1.420	1.462

根据经验, $CR < 0.1$ 时,认为是可接受的,否则,要调整判断矩阵的因素比较值,直到满意为止^[6]。

2.3 选取评语集

由于指标因素大多是非定量的,即使对定量的指标因素也因其量纲不一致而不能直接反映相对差异程度,为了衡量评价目标的优劣,采用流行的等级

法,将评语集定义为 7 个等级,即很好、好、较好、一般、较差、差、很差,相应的评语集为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_q\}$, 其中 $q = 7$ 。每一个等级可赋予相应的数值^[7],如表 4 所示。

表 4 评语等级分值表

评语等级	很好	好	较好	一般	较差	差	很差
对应分值	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1

2.4 单因素模糊评价

为了保证评价的客观公正,评价组的构成应尽量覆盖各方面相关人员。设评价组由 m 人组成,其中指挥员 m_1 个、情报分析员 m_2 个、分队领导 m_3 个、一线操作人员 m_4 个、后装保障人员 m_5 个,分别对每一个单因素(本例中的第三级指标)进行投票打分,

经加权平均及归一化处理,即可得到单因素的模糊评价矩阵 R_i :

$$R_i = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1q} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nq} \end{bmatrix}_{n \times q} \quad (7)$$

式中: q 为评价等级数, 本例 $q = 7$; n 为因素个数, 本例对“目标探测范围”来讲 $n = 4$, 对“情报分析能力”来讲 $n = 3, \dots$

同理可获得另外 14 个单因素模糊评价矩阵。

2.5 综合模糊评价

综合模糊评判就是利用权向量 W 与评价矩阵 R 的模糊变换得到模糊评判集 S , 即

$$S = W \cdot R = (S_1, S_2, \dots, S_q) \quad (8)$$

综合评判实际上是一个逐级递进评判的过程。对本例来说, 首先将 2.2 节求取的三级指标相对于各自二级指标的 15 个权向量与 2.4 节获取的 15 个单因素模糊评价矩阵分别按上式进行模糊变换, 得到 15 个针对二级指标的评价向量(限于篇幅, 略)。然后分别将属于某一指标子集部分的评价向量构成一个评价矩阵, 这样又建立 5 个评价矩阵。再将这 5 个矩阵与相应的权向量进行模糊变换, 得到 5 个针对一级指标的评价向量, 最后将这 5 个评价向量构建 1 个最终评价矩阵 R , 并与一级指标权向量 W 进行模糊变换, 从而获得最终评判集 $S = (S_1, S_2, \dots, S_q)$, 最后依据最大隶属度原则, 确定评判结果 $V = S_k = \max(S_1, S_2, \dots, S_q)$ 。

3 实例分析

为验证本文所设立的评估指标及评估模型, 以某侦察预警系统为例进行分析, 对所具备岸基侦察预警能力进行评估^[8]。由于指标体系复杂, 计算量较大, 本文只对二级指标进行计算分析。

首先以第一层指标为代表, 根据专家意见, 对各项因素两两比较建立判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 4 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 & 4 & 4 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}_{5 \times 5} \quad (9)$$

用 Matlab 软件求得其最大特征根 $\lambda_{\max} =$

5.3164 及归一化的特征向量 $W = (0.4745 \ 0.2566 \ 0.1259 \ 0.0771 \ 0.0658)$, 再根据一致性检验结果认为是可接受的按照以上步骤和算法, 同理得出剩下 5 个判断矩阵的特征向量值:

$$W_1 = (0.4210 \ 0.3856 \ 0.1485 \ 0.0449) \quad (10)$$

$$W_2 = (0.6854 \ 0.3146) \quad (11)$$

$$W_3 = (0.4277 \ 0.5723) \quad (12)$$

$$W_4 = (0.4124 \ 0.3975 \ 0.1901) \quad (13)$$

$$W_5 = (0.3975 \ 0.3458 \ 0.1586 \ 0.0981) \quad (14)$$

然后组织 2 名指挥员、2 名情报分析员、2 名分队领导、2 名一线操作人员和 2 名后装保障人员分别按照评语等级对二级指标进行评价, 将评价结果进行经加权平均及归一化处理, 确定单因素模糊评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.5 & 0.05 & 0.05 & 0 \\ 0.04 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.06 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0.1 & 0.15 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.65 & 0.05 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 7} \quad (15)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.1 & 0.3 & 0.45 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.25 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{2 \times 7} \quad (16)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.25 & 0.25 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.1 & 0.2 & 0.15 & 0.15 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}_{2 \times 7} \quad (17)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.25 & 0.25 & 0.35 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.15 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.15 & 0.4 & 0.15 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{3 \times 7} \quad (18)$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.15 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.35 & 0.15 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0.15 & 0.25 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 7} \quad (19)$$

最后依据 2.5 节所示的方法进行模糊综合评价, 结果如下:

$$S_1 = W_1 R_1 = [0.0649 \ 0.1421 \ 0.1890$$

$$0.5216 \ 0.0613 \ 0.0210 \ 0] \quad (20)$$

$$S_2 = W_2 R_2 = [0.0657 \ 0.1000 \ 0.2843 \ 0.4343 \\ 0.1157 \ 0 \ 0] \quad (21)$$

$$S_3 = W_3 R_3 = [0.1286 \ 0.1642 \ 0.2214 \ 0.2142 \\ 0.1286 \ 0.1431 \ 0] \quad (22)$$

$$S_4 = W_4 R_4 = [0.0984 \ 0.2111 \ 0.2388 \ 0.3319 \\ 0.1199 \ 0 \ 0] \quad (23)$$

$$S_5 = W_5 R_5 = [0.1098 \ 0.2098 \ 0.3282 \ 0.2818 \\ 0.0703 \ 0 \ 0] \quad (24)$$

从而获得最终评判集:

$$S = WR = [0.0787 \ 0.1438 \ 0.2305 \ 0.4300 \\ 0.0888 \ 0.0280 \ 0] \quad (25)$$

由此可知,模糊综合评价法评判结论为很好、好、较好、一般、较差、差、很差的占比分别为7%、14%、23%、43%、8%和2%。根据最大隶属度原则,最终认定该系统的岸基侦察预警能力评估结果为一般。可以看出,该系统对目标探测范围有限,精度较为一般,情报处理分发的效率也不高,战场生存能力特别是抗摧毁能力较为薄弱,该岸基侦察预警系统应加强以上方面的建设。

4 结 论

开展侦察预警能力评估,对于完善侦察预警体系结构,发展侦察预警装备,满足情报保障任务需求,提高侦察预警能力具有十分重要的意义。由于

岸基侦察预警能力指标繁杂且具有不确定性,本研究综合运用模糊集理论和层次分析法,构建了具有层次结构的岸基侦察预警能力指标体系,建立了基于模糊AHP的综合评判模型,并给出了具体的评判步骤和方法,实现了岸基侦察预警能力定性定量相结合的评价,使得对侦察预警能力的评估更加客观、准确,具有更强的实用性和可操作性。

参考文献

- [1] Jassemi-Zargani R, Robbins W, Helleur C. Virtual intelligence, surveillance and reconnaissance evaluation environment. In: Proceedings of the 2010 Summer Simulation Multiconference, Ottawa, Canada, 2010. 427-432
- [2] Noran O. A systematic evaluation of the C4ISR AF using ISO15704 Annex A. *Computers in Industry*, 2005, 56(5): 407-427
- [3] Tribble J. Using system of systems engineering to strengthen carrier strike group C4ISR readiness evaluation. *International Journal of System of Systems Engineering*, 2011, 2(2/3): 98-111
- [4] 朱晓亮,蔡群,朱华振. 基于多层次灰色理论的电子对抗侦察部队侦察能力评估. *雷达与对抗*, 2012, 32(4): 15-17
- [5] 郭煌,郭建胜,惠晓滨等. 灰色理论和模糊数学相结合的装备保障能力评估模型. *火力与指挥控制*, 2009, 34(3): 75-78
- [6] 姚华飞,赵光磊. 基于灰色AHP的防空预警探测系统效能评估. *国外电子测量技术*, 2013, 32(5): 44-48
- [7] 左学胜,屈洋. 基于任务分析的装备保障能力评估研究. *现代防御技术*, 2014, 42(4): 154-159
- [8] 李鑫. 航天试验装备保障能力模糊综合评估研究. *装备学院学报*, 2012, 23(2): 100-104

Evaluation of the ability of land-based reconnaissance and early-warning based on fuzzy AHP

Qu Feng, Huang Gaoming, Li Tiebing

(College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033)

Abstract

To investigate a land-based reconnaissance and early-warning system's ability of reconnoitering the objects at sea and promote the function of intelligence support, a study on scientific evaluation of the ability of land-based reconnaissance and early-warning based on fuzzy analytic hierarchy process (AHP) was conducted. Firstly, with variety of influential factors such as equipment performance, tactics application and level of information technology being considered, an index system for evaluation of the ability of land-based reconnaissance and early-warning was established and an evaluation model was created by using the method of combining the AHP and fuzzy evaluation. Then, a qualitative and quantitative evaluation for the ability of land-based reconnaissance and early-warning was conducted by combining an example, and the result shows that the proposed evaluation method can effectively solve the problems of fuzziness and uncertainty in evaluation of the ability of land-based reconnaissance and early-warning.

Key words: reconnaissance and early-warning, ability evaluation, analytic hierarchy process (AHP)