

文章编号:1001-2486(2011)04-0168-07

基于仿真的潜艇装备作战能力 ANP 幂指数评估方法^{*}

石福丽¹,方志刚²,杨峰¹,许永平¹,吴国栋¹

(1. 国防科技大学 信息系统与管理学院,湖南长沙 410073; 2. 海军装备研究院,北京 100161)

摘要:针对潜艇装备作战能力幂指数评估模型中评估指标之间存在相互依赖或影响关系,以及评估过程主观性较强的情况,建立了基于仿真的潜艇装备作战能力 ANP 幂指数评估流程;以潜艇反舰作战能力评估为例,给出了网络化评估指标体系设计与优化方法;基于专家和仿真数据的 ANP 超矩阵构建方法以及基于指标权重的幂指数评估模型构建方法,建立了基于仿真的潜艇反舰作战能力 ANP 幂指数模型,并将评估结果与通常的 AHP 幂指数评估模型的评估结果进行了比较分析,验证了方法的合理性和有效性。

关键词:作战能力评估;幂指数;网络分析法;相关分析;网络化指标;超矩阵

中图分类号:E211 文献标识码:A

ANP Power Index Evaluation Method for Operational Capability of Submarine Equipment Based on Simulation

SHI Fu-li¹, FANG Zhi-gang², YANG Feng¹, XU Yong-ping¹, WU Guo-dong¹

(1. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Institute of Naval Equipment, Beijing 100161, China)

Abstract: In order to cope with the interdependence and interrelationship between evaluation criteria in conventional power index model, and to eliminate the subjectivity of expert's preference in the evaluation process, this study proposes a framework to create a novel Analytic Network Process (ANP) power index model for operational capability evaluation of submarine equipments based on simulation experiment. Then, by taking an anti-ship operations scenario of submarine as example, the method to design and optimize of networked evaluation index system, the approach to construct ANP Supermatrix based on expert's knowledge and simulation, and the approach to construct power index model based on criteria weights, were presented in detail. Through comparing and analyzing the results of ANP power index model and the results of AHP power index model for operational capability of submarine anti-ship, the feasibility and effectiveness of proposed framework was verified.

Key words: operational capability evaluation; power index; analytic network process; correlation analysis; networked criterion; supermatrix

潜艇装备作战能力(submarine equipment operational capability, SEOC)是对潜艇在所处战役战术环境、作战对象等条件下完成所赋予的作战任务程度的一种抽象或综合表述^[1]。SEOC 评估是潜艇装备研制、训练和作战使用过程中的一项重要工作。SEOC 评估工作的好坏,评估结果可信度的高低,将影响新型潜艇方案的选择决策,新型潜艇的战法研究,装备训练和装备作战运用等。

常见的作战能力评估方法很多,如 ADC 模型、QJM 模型、AHP 方法、兰切斯特方程、作战效果解析计算、德尔菲(Delphi)法、模糊综合评判法、SEA 方法、作战模拟和作战能力指数法等^[1]。但

是由于潜艇作战所涉及的作战环境和作战对象复杂,在实际应用中选取何种方法评估 SEOC,要充分考虑潜艇作战的具体特点。经调研,各研究单位^[1]常用作战能力指数和作战模拟法评估潜艇装备作战能力,而解析计算方法常用于计算潜艇作战过程中某一阶段的局部能力。其中,武器装备作战能力(weapon equipment operational capability, WEOC)指数法^[1-11]在国内外的研究和应用已有几十年的历史。在国内,徐瑞恩^[2-3]研究发现 WEOC 可视为其若干性能指标的函数,提出了确定 WEOC 指数的幂指数方法,该方法对论证宏观大系统十分有用。刘奇志^[5]分析论证了量化

* 收稿日期:2010-11-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91024015,61074107);国家省部委资助项目(513040102)

作者简介:石福丽(1983—),女,博士生。

WEOC 的两个基本问题,即量化条件和量化函数类型及相关参数关系,从数学上证明了如果要求决定 WEOC 的参数值线性变化时,WEOC 指数的相对比值不变,唯一可选用的函数类型为幂函数积;并进一步提出了构建武器装备作战效能指数模型的一般方法,指出幂指数积模型为量纲分析建模的特例^[6]。王希星等^[7]在深入分析武器性能改进与武器系统作战能力提高的可能规律的基础上,修正了幂指数定理的边际效益递减律的假设和幂指数小于等于 1 的结论,进一步奠定了幂指数定理的理论基础。

但是,在通常的 SEOC 幂指数评估模型^[1]中,研究者只建立层次递阶结构的评估指标体系。实际上由于潜艇装备的复杂性^[12],SEOC 评估指标之间常常存在相互影响或依赖的关系^[13],如在潜艇反舰作战能力评估中,潜艇水下最大航速与下潜深度之间存在着相互影响关系^[13];且通常的幂指数评估模型是根据专家经验判断构建的,具有较强的主观性。而作战仿真能通过构建逼真的对抗环境相对客观地评估 SEOC,但目前仿真采集的数据主要限于定量信息,有不少重要的定性信息仍难以获取和表达。若能将专家经验与作战仿真结合起来评估 SEOC,将会有效提升评估结果的合理性与可信性。本文在考虑潜艇装备评估指标之间存在相互影响或依赖关系的基础上,给出了利用专家判断和仿真数据构建 SEOC 幂指数评估模型的过程。

1 评估流程

在建立 SEOC 幂指数评估模型的过程中,构建评估指标体系和确定幂指数系数是两项主要工作。如前文所述,由于指标之间的相互影响关系,使得通常的基于层次递阶结构的评估指标体系和基于层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 的幂指数系数确定方法不能完全反映潜艇系统的本质^[13]。如果层次递阶结构的评估指标体系中,同层内或不同层指标间除了支配影响关系外,仍存在相互影响或依赖关系,则可将其建立为网络结构的指标体系,称之为网络化评估指标体系。

网络分析法^[14] (Analytic Network Process, ANP) 是一种能用来处理具有反馈和相关关系的复杂决策问题的定量化方法,ANP 的决策原理与 AHP 基本相同,唯一不同的是前者考虑了指标之间的相互影响与依赖关系,能够解决网络化评估指标体系问题。另外,针对专家经验知识和仿真数据特点,融合多源信息评估 SEOC,能使评估结果更加

合理、可信。基于上述分析,本文提出了一种融合多评估源数据确定 SEOC 的 ANP 幂指数系数的方法,图 1 给出了评估模型的构建流程。

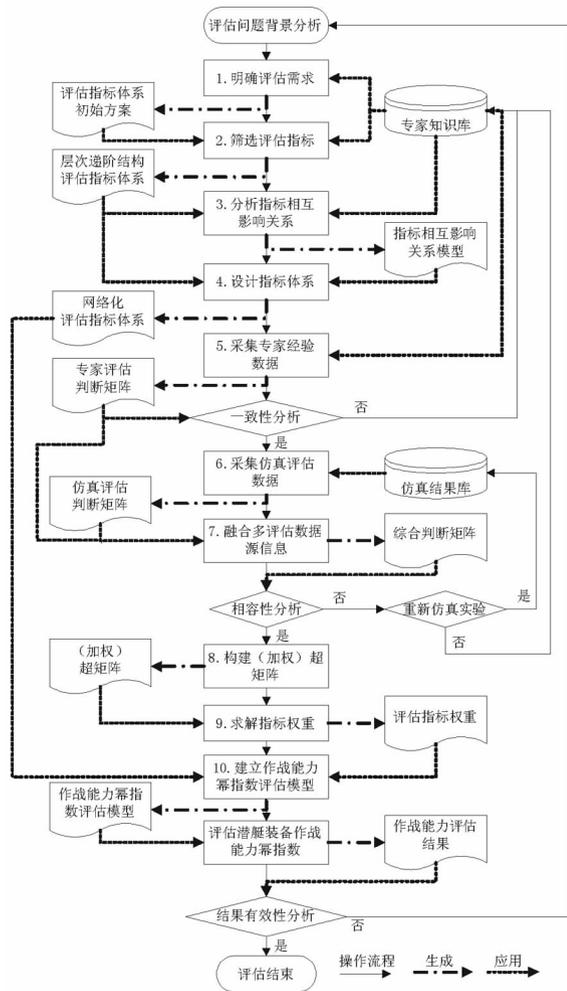


图 1 基于仿真的 ANP 幂指数评估模型构建流程
Fig.1 Construction process of ANP power index evaluation model based on simulation

2 实例分析

本例分析潜艇在指定海域执行反潜、反舰及侦察任务,限于篇幅只讨论其反舰作战能力评估,仿真实验以单艇对单舰作战进行设计,评估潜艇在一定的战役战术环境状态下完成其反舰作战使命任务程度的度量。这一能力通常受潜艇平台、探测系统、指控系统、武器系统和水声对抗系统等分系统性能的影响较大。

2.1 网络化评估指标体系的设计与优化

潜艇反舰作战能力网络化评估指标体系的设计与优化主要由图 1 中的前四个步骤完成。具体如下:

(1)明确评估需求

评估需求是评估活动的起点和归宿。明确评估需求包括明确评估对象、分析评估想定、规定评

估条件和定义评估指标。即针对某一评估对象，在一定评估想定下，给出评估指标体系初步方案。本文根据幂指数评估的特点，分析潜艇结构功能，依据评估指标体系设计原则，参考各类相关研究

所提的评估指标，对现有指标加以改进和综合，提出了潜艇反舰作战能力评估指标体系初步方案如表 1 所示。

表 1 潜艇反舰作战能力评估指标体系初步方案

Tab. 1 The initial evaluation criteria system of submarine anti-ship operational capability

潜艇反舰作战能力																				
簇	潜艇机动能力 C_1				潜艇探测能力 C_3					潜艇指控能力 C_4				反舰导弹作战能力 C_5						
指标	水下最大航速 I_1	水下续航力 I_2	潜艇自持力 I_3	潜艇回转半径 I_4	声纳探测作用距离 I_{10}	声纳探测精度 I_{11}	声纳探测精度 I_{12}	声纳探测范围 I_{13}	同时跟踪目标数 I_{14}	系统反时应用 I_{15}	同处理目标批数 I_{16}	目标抗抗示控精度 I_{18}	系统火控精度 I_{19}	导弹射程 I_{20}	导弹制导能力 I_{21}	导弹毁伤能力 I_{22}	导弹备用弹量 I_{23}	导弹使用系数 I_{24}		
	潜艇隐身能力 C_2				反舰鱼雷作战能力 C_6					水声对抗能力 C_7										
指标	目标反强度 I_6	潜艇下潜深度 I_7	潜艇辐射噪声 I_8	潜艇暴露率 I_9	雷航程 I_{25}	鱼雷速度 I_{26}	鱼雷制导能力 I_{27}	鱼雷毁伤能力 I_{28}	鱼雷噪声 I_{29}	鱼雷备弹量 I_{30}	气幕弹数量 I_{31}	气幕弹作用时间 I_{32}	气幕弹作用直径 I_{33}	噪声干扰器作用时间 I_{34}	噪声干扰器作用量 I_{35}	声诱饵航速 I_{36}	声诱饵数量 I_{37}	声诱饵作用时间 I_{38}	声诱饵辐射噪声 I_{39}	声诱饵作用时间 I_{40}

(2) 筛选评估指标

筛选评估指标主要是为了突出评估重点，进一步完善和优化指标体系，避免指标体系过于繁琐。本文采用改进 Delphi 法^[15]得到指标重要性大小，然后按需求将那些重要性小的指标剔除(具体的剔除数量由评估分析人员根据实际情况确定)，得到层次递阶结构的评估指标体系。

针对 SEOC 评估问题，假定给出的评估指标体系初步方案含有 n 个评估指标 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ ，专家组共有 m 个专家 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ，用 $M_j^{(k)}$ 表示第 k 个专家给出的指标 $I_j (j=1, \dots, n)$ 对目标的单个重要度。专家们分别确定各指标对目标的影响大小 $M_1^{(k)}, M_2^{(k)}, \dots, M_m^{(k)}$ ，定义指标 I_j 的总重要度为 $x_j = \sum_{k=1}^m M_j^{(k)}$ ， n 个指标总重要度的方差和为 $S = \sum_{j=1}^n x_j^2 - (\sum_{j=1}^n x_j)^2/n$ 。用 $C.I. = 12S/[m^2(n^3 - n)]$ 来描述 m 个专家意见的一致性程度，称 $C.I. (0 \leq C.I. \leq 1)$ 为一致性系数。若 $C.I.$ 接近于 1，表明多个专家的意见趋向一致，等于 1 表明意见完全一致(在实际应用中，需要给出一个一致性判断标准 $\delta (0 \leq \delta$

$\leq 1)$ ，当 $C.I. \geq \delta$ 时，就认为专家意见一致；反之，意见不一致)。

本文评估过程中邀请了 5 名与评估 SEOC 相关的领域专家参与征询，每次征询专家后计算专家们的一致性系数 $C.I.$ ，经过 3 轮反馈征询得 $C.I. = 0.8736$ (取 $\delta = 0.85$)，表明专家意见趋于一致。归一化并排序这 40 个指标的重要度(数据略)，按照排序结果累加指标的重要度，当累加到前 32 项时， $N = \sum_{i=1}^{32} N_i = 0.9546 > 0.95$ ，则选取前 32 项构建评估指标体系，删除其余指标。

(3) 分析指标相关性

分析指标相关性就是确定指标之间的相互影响关系，建立相关关系模型。本文采用信念图^[16]来描述专家经验信息，把专家对某两个指标间相关关系判断的信息表达为具有认识广度(知识度 $K (K \in [0, 1])$) 和认识深度(信心度 $C (C \in [0, 1])$) 的二维信息格式 $S(K, C)$ ，即外界主体对某两个指标间是否存在相关关系这一事件 A 的评判价值。在采用多专家独立判断方式下，可以看作是一个群决策过程。贝叶斯决策理论^[17]为该决策过程提供了良好的方法支持，根据

文献[17]有

$$\begin{cases} P(\theta = Y) = \alpha \prod_{i=1}^m (ck + (1-c)(1-k))_{p_i} \\ \alpha = 1 / \left(\prod_{i=1}^m (ck + (1-c)(1-k))_{p_i} + \prod_{i=1}^m (c(1-k) + (1-c)k)_{p_i} \right) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)类似贝叶斯形式,称为扩展的贝叶斯融合法。 $P(\theta = Y)$ 表示在一定准则下,所有专家认为两个指标 I_i 和 I_j 之间存在相关关系(Y)的概率; $[k, c]_p$ 分别表示专家 p 对所判断问题具有的知识度和信心度; α 为标准化因子, $p = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 表示专家集。利用式(1)将各专家提供的用于建立网络化评估指标体系的信息融合成一个概率值,称为指标关联度,即指标对之间存在相关关系的概率。进而, n 个指标两两之间的指标关联度可构成指标关联度矩阵 $\gamma = (\gamma_{ij})_{n \times n}$, $\gamma_{ij} \in [0, 1]$ 表示指标 I_i 对指标 I_j 的影响程度。

以分析指标 I_1 (水下最大航速)是否对指标 I_7 (潜艇下潜深度)存在影响为例,评估过程中邀请的5个专家对该问题的判断结果的信念图表达分别为 $(0.73, 0.60)$ 、 $(0.81, 0.79)$ 、 $(0.68, 0.80)$ 、 $(0.74, 0.88)$ 和 $(0.65, 0.83)$, 由式(1)计算得指标 I_1 与 I_7 之间的指标关联度 $\gamma_{17} = 0.9271$ 。

(4)设计指标体系

设计指标体系是指基于指标关联度矩阵 γ 将层次递阶结构的评估指标体系网络化。本文的评估指标 I_1, I_2, \dots, I_n 为指标体系的底层指标,不考虑自身的影响,则关联度矩阵 γ 中的 $\gamma_{ii} = 0$ 。由于只需判断指标之间是否存在相互影响关系,因此当 $\gamma_{ij} \leq 0.5$ 时用 0 替换,表示无影响; $\gamma_{ij} > 0.5$ 时用 1 替换,表示有影响,得到一个 0-1 矩阵 $\gamma^* = (\gamma_{ij}^*)_{n \times n}$ 。

首先,定义指标及其相关关系的图形化表示规则。在网络化指标体系图中,称指标 I_i 为节点,用小圆圈表示;根据指标属性将 n 个指标分为 m 组,每组分别含有 n_1, n_2, \dots, n_m 个指标 $\sum_{i=1}^m n_m = n$,称这 m 组指标为 m 个指标簇,简称为簇 C_1, C_2, \dots, C_m ,用椭圆表示;当 $\gamma_{ij}^* = 1$ 时,表示指标 I_i 对 I_j 有影响,用有向连接线表示,此时称指标 I_i 为子节点,指标 I_j 为父节点,箭头方向从

父节点指向子节点;若同时 $\gamma_{ji}^* = 1$,则说明指标 I_j 对 I_i 有反馈影响。当簇 C_i 内部节点之间存在相关关系时,称簇 C_i 存在内部依存性;当簇 C_i 内的指标和簇 C_j 内的指标之间存在相关关系时,称簇 C_i 与 C_j 之间存在外部依存性。然后,根据 γ_{ij}^* 的值构建并描述网络化评估指标体系,通过此过程建立的评估指标体系结构与 ANP 的描述模型一致。

评估人员让 5 名专家分别对 32 个指标之间的相互影响关系进行判断,基于本文 2.1 节提出的用信念图表达专家判断知识和信心度,利用扩展贝叶斯融合方法融合多专家判断信息,得评估指标体系的指标关联度矩阵 $(\gamma_{i,j})_{32 \times 32}$, 约简矩阵为 $(\gamma_{i,j}^*)_{32 \times 32}$ 。用图形表示评估指标体系中指标之间的相互影响关系,以及簇与簇之间的关系,建立网络化潜艇反舰作战能力评估指标体系(图 2),且在 Super Decision^[18] 软件中构建潜艇反舰作战能力评估网络模型。

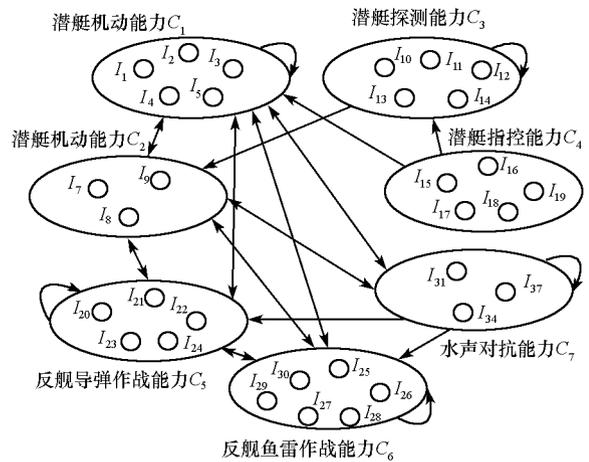


图 2 网络化潜艇反舰作战能力评估指标体系
Fig.2 Networked evaluation criteria system

2.2 基于专家和仿真数据的 ANP 超矩阵构建

基于专家和仿真数据的 ANP 超矩阵构建主要由图 1 中的步骤 5~8 完成。本节略去了一致性分析和相容性分析的内容,其余步骤为:

(1)采集专家经验数据

采集专家经验数据是指构建基于专家经验的判断矩阵。该步骤与 AHP 及常规 ANP 判断矩阵的构建过程相同,在各准则下,需要专家对受支配指标进行两两比较。

(2)采集仿真数据

采集仿真数据是指通过仿真分析某些定量指标之间的关联度,构建基于仿真数据的判断矩阵。该过程首先需要根据评估指标体系,建立能够实

现以下功能的仿真系统^[19]:在给定的使命任务下,输入一组战技指标值,能够输出潜艇装备在完成这类使命任务过程中,由这组战技指标所影响的上层作战能力指标值。本文评估中建立的潜艇单艇反舰作战仿真系统运行界面如图3所示。

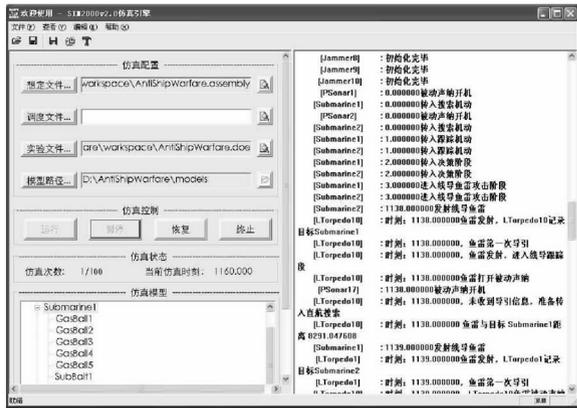


图3 潜艇反舰作战仿真

Fig.3 Submarine anti-ship operational simulation

假设输入的一组战技指标为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, x_i 为第 i 个指标,这组战技指标所影响的上层作战能力为 y , X_j ($j = 1, 2, \dots, N$) 为第 j 组实验指标值, y_j 为第 j 组实验对应的上层作战能力。使用最小二乘法建立各指标值与作战能力之间的拟合关系模型 $y = b_0 + \sum_{k=1}^n b_k x_k$, 求得 n 个战技指标值对 y 的影响系数向量 $B = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ 。两两比较这些影响系数,可形成由相对重要度构成的判断矩阵:

$$A = (b_i/b_j)_{n \times n} = (a_{ij})_{n \times n} \quad (2)$$

用微调公式(3)将矩阵 A 调整为 $A^* = (a_{ij}^*)_{n \times n}$, a_{ij}^* 符合 1-9 标度判断要求。 $[a_{ij}]$ 是四舍五入 a_{ij} 的取整运算。

$$a_{ij}^* = \begin{cases} 9 & a_{ij} \geq 9 \\ [a_{ij}] & 1 \leq a_{ij} \leq 9 \\ 1/[1/a_{ij}] & 1/9 \leq a_{ij} < 1 \\ 1/9 & 0 < a_{ij} < 1/9 \end{cases} \quad (3)$$

若在某准则下的一组判断中既有定性指标又有定量指标,则仿真数据可以作为专家判断时的参考信息。

(3) 融合多评估源数据

融合多评估源数据是指将多个专家(仿真作为虚拟专家)的判断矩阵融合为综合判断矩阵的过程。由于 ANP 超矩阵的各子列向量分别是其所对应判断矩阵的特征向量,则可直接综合判断矩阵或其排序向量融合多判断矩阵。由于各专家所处地位、知识经验和偏好的不同,所作的评估判

断重要性也可能有所不同,这需要在综合过程中考虑不同专家的重要性(即权重)。

设 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 、 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 为正互反判断矩阵,定义 A 与 B 的加法运算为 $C = A \oplus B$, 其中 $C = (c_{ij})_{n \times n}$, $c_{ij} = \begin{cases} a_{ij} + b_{ij} & i \leq j \\ 1/c_{ji} & i > j \end{cases}$; 定义 A 与 B 的 Hadamard 乘积为 $D = A \otimes B$, 其中 $D = (d_{ij})_{n \times n}$, $d_{ij} = a_{ij} \cdot b_{ij}$ 。

设某评估准则 c , 影响指标有 l 个: x_1, x_2, \dots, x_l , 评估专家集为 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, 第 k 位评估专家 p_k 在准则 c 下对影响指标进行两两比较的判断矩阵为 $A^{(k)} = (a_{ij}^{(k)})_{l \times l}$, 其特征值为 $w^{(k)}$, λ_i 为各专家的权重, $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ 。采用加权算术平均(式(4))或加权几何平均法(式(5))计算综合判断矩阵 \bar{A} 或 \tilde{A} 。

$$\bar{A} = \lambda_1 A^{(1)} \oplus \lambda_2 A^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_m A^{(m)} \quad (4)$$

$$\tilde{A} = [A^{(1)}]^{\lambda_1} \otimes [A^{(2)}]^{\lambda_2} \otimes \dots \otimes [A^{(m)}]^{\lambda_m} \quad (5)$$

类似地可计算综合排序向量 \bar{w} 和 \tilde{w} 。 \bar{A} 或 \tilde{A} 的特征向量和 \bar{w} 或 \tilde{w} 调整后都可作为超矩阵的子列向量。

(4) 构建(加权)超矩阵

与 AHP 不同, ANP 用超矩阵来存储模型中表示指标相关关系的数据,用权矩阵表示簇之间的相互影响程度,用加权超矩阵来存储整个模型中所有指标之间的相关关系。那么,在潜艇反舰作战能力评估中,基于上一步的融合结果可得原始超矩阵 W 。类似地,根据指标簇之间的相互影响关系,建立簇关系判断矩阵,用其特征向量构建权矩阵 U , 则加权超矩阵 $W^* = U \cdot W$ 。

2.3 基于指标权重的幂指数评估模型构建

(1) 求解指标权重

根据 ANP 原理, ANP 加权超矩阵的幂极限 $(W^*)^\infty$ 就是综合分析所有相互影响关系得到的指标权重。表 2 分别给出了基于 ANP 和 AHP 计算得到的潜艇反舰作战能力评估准则层各指标权重。

(2) 构建幂指数评估模型

潜艇反舰作战能力幂指数反映了影响潜艇反舰作战能力的各参数的相对重要度。归一化处理 ANP 模型计算结果, 可得各幂指数系数, 构建潜艇反舰作战能力幂指数评估模型为

$$W_{QJ} = W_{ME}^{a_{11}} W_{HE}^{a_{12}} W_{DE}^{a_{13}} W_{CE}^{a_{14}} W_{GME}^{a_{15}} W_{TE}^{a_{16}} W_{SAE}^{a_{17}} \\ = W_{ME}^{0.1459} W_{HE}^{0.0557} W_{DE}^{0.053} W_{CE}^{0.0373} W_{GME}^{0.2865} W_{TE}^{0.3762} W_{SAE}^{0.0455} \quad (6)$$

其中, W_{ME} 、 W_{HE} 、 W_{DE} 、 W_{CE} 、 W_{GME} 、 W_{TE} 和 W_{SAE} 分别

为潜艇机动、隐身、探测、指控、反舰导弹作战、反舰鱼雷作战和水声对抗等能力指数; $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7$ 分别是它们的幂指数系数。

同理,可建立潜艇各单项作战能力幂指数评估模型,如潜艇机动能力幂指数评估模型为

$$W_{ME} = k_{ME} (PV)^{\mu_{11}} (PS)^{\mu_{12}} (PD)^{\mu_{13}} (PR)^{\mu_{14}} (PA)^{\mu_{15}}$$

$$= k_{ME} (PV)^{0.5245} (PS)^{0.136} (PD)^{0.0581} (PR)^{0.1322}$$

$$(PA)^{0.1491} \tag{7}$$

其中, PV 为水下最大航速(节); PS 为水下最大续航力(海里); PD 为自持力(天); PR 为回转半径(米); PA 为旋回速率(角速度); $\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{14}, \mu_{15}$ 分别是 PV, PS, PD, PR 和 PA 对潜艇机动能力的影响指数。

表2 评估准则的相对权重

Tab.2 The relative weights of evaluation criteria

评估准则	潜艇机动能力	潜艇隐身能力	潜艇探测能力	潜艇指控能力	反舰导弹作战能力	反舰鱼雷作战能力	水声对抗能力
ANP 结果	0.028 414	0.010 842	0.010 326	0.007 264	0.055 801	0.073 280	0.008 853
ANP 排序	3	4	5	7	2	1	6
AHP 结果	0.032 320	0.081 925	0.081 923	0.042 032	0.175 984	0.070 317	0.015 498
AHP 排序	6	2	3	5	1	4	7

(3)结果分析

本例中有 5 种设计方案供评估、比较(各方案的性能指标等数据从略)。首先将各性能指标值按指标类型做规范化处理。同时,为实现不同能力指数的一致性和提高指数之间的对比效果,各指数计算公式一致性调整参数分别取 $k_{ME} = 30, k_{HE} = 30, k_{DE} = 30, k_{CE} = 20, k_{GME} = 35, k_{TE} = 35$ 和 $k_{SAE} = 20$ 。表 3 给出了基于 ANP 和 AHP 以及有无应用仿真时各方案的潜艇反舰作战能力指数排序。通过分析结果数据,以应用 AHP 且无仿真参

与的排序为基准,得出以下结论:

(1)仿真的参与使部分排序结果发生了变化,反映了专家确实具有主观偏好性。因此仿真的应用能在一定程度上降低评估的主观性,但仿真数据的可信度验证也是一个有待探索的问题。

(2)ANP 方法的使用也使部分排序结果发生了变化,反映了指标之间的相互影响确实对评估结果具有影响。因此,为了增加评估的有效性和可信性,需要在评估中考虑指标之间的相互影响。

表3 潜艇反舰作战能力指数排序

Tab.3 The order of submarine anti-ship operational capability index

指数排序		潜艇机动能力		潜艇隐身能力		潜艇探测能力		潜艇指控能力		反舰导弹作战能力		反舰鱼雷作战能力		水声对抗能力		潜艇反舰作战能力	
		无	有	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有
方案 I	AHP	3	3	1	1	2	3	1	1	1	2	2	2	2	3	1	2
	ANP	2	2	1	1	3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2
方案 II	AHP	5	5	3	3	5	5	5	5	3	1	4	5	5	5	5	4
	ANP	3	5	3	3	5	5	3	5	1	3	5	5	3	5	5	5
方案 III	AHP	1	1	2	2	1	1	2	3	2	3	1	1	1	1	2	1
	ANP	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	3	1	2	1	1	1
方案 IV	AHP	2	2	5	4	3	2	3	2	5	4	3	3	3	2	3	3
	ANP	4	4	4	5	2	3	4	4	4	5	1	3	4	4	3	3
方案 V	AHP	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5
	ANP	5	3	5	4	4	4	5	3	5	4	4	4	5	3	4	4

另外,从模型构建、数据处理及对比研究过程看,尽管 ANP 的网络结构远比 AHP 的递阶层次结构复杂,但它更能合理地反映潜艇的功能特点。因为 ANP 比 AHP 提供了更好的分解能力,特别是指标间影响网络的构建,使得问题定义更加明确,问题分析过程可追溯,能更好地适合于层次分解

过程和相互比较处理,有利于决策者对评估过程的宏观把握。

3 结论

在 SEOC 评估过程中,综合考虑影响评估结果的各个因素,能够增加评估结果的有效性和可

信性。论文所提方法为评估分析人员构建 SEOC 幂指数评估模型提供了有效的方法论指导与技术支持,且为从宏观性和相对性的角度快速评估潜艇装备综合作战能力奠定了基础。下一步的主要工作是验证该方法的科学性和提高该方法的易用性。

参考文献:

[1] 国内外现有潜艇作战能力评估方法综合分析研究[R]. 中国国防科学技术报告,2005.

[2] Stockfish J A. Models, Data, and War: A Critique of the Study of Conventional Forces[R]. ADA017609, May 1976.

[3] 徐瑞恩. 武器系统作战能力指数研究情况[J]. 军事系统工程, 1994(3): 33 - 38.

[4] 徐瑞恩. 武器装备效能模型和方法概论[J]. 装备指挥技术学院学报, 2002, 13(1): 1 - 5.

[5] 刘奇志. 武器作战力量化的条件及函数关系[J]. 军事系统工程, 1994(3): 39 - 42.

[6] 刘奇志. 武器作战效能指数模型与量纲分析理论[J]. 军事运筹与系统工程, 2001(3): 15 - 19.

[7] 王希星,尹健. 武器系统效能指数幂函数基本定理的修正[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(6): 15 - 19.

[8] 王文力,等. 基于幂指数法的坦克作战效能评估[J]. 射击

学报, 2007(2): 38 - 40.

[9] 王锐,等. 基于幂指数法和 AHP 的先进战斗机效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(11): 73 - 76.

[10] 韩晓明,等. 基于指数法的航空武器装备对比优势评估模型[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(6): 1410 - 1414.

[11] Sun S Y, Wang H H, Wang H Y. A Study on the Optimal Design Method of Naval Gun Weapon System[C]//2008 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2008), 3204 - 3208.

[12] John F S. Command and (Out of) Control: The Military Implications of Complexity Theory [C]//The Complexity, Global Politics and National Security Conference, 1996: 13 - 14.

[13] 许永平,等. 基于模糊积分的潜艇作战能力评估方法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 19 - 23.

[14] Saaty T L. The Analytic Network Process [M]. RWS Publications, Pittsburgh, 1996.

[15] 徐玖平,陈建中. 群决策理论与方法及实现[M]. 北京:清华大学出版社, 2009.

[16] Robust Decisions Inc. ACCORD (tm) Users Manual[R]. Version 2.5, Corvallis OR, 2008.

[17] Bruce D A. Bayesian Methods for Collaborative Decision-Making[R]. Robust Decisions Inc., 2003.

[18] www.superdecisions.com/~saaty.

[19] 许永平,等. 基于 QFD 与作战仿真的舰艇装备需求分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(1): 167 - 172.

(上接第 116 页)

参考文献:

[1] Berrou C, Glavieux A, Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes (1) [R]. Geneva, Switzerland, 1993.

[2] Lee L, Hammons A R, Sun F, et al. Application and Standardization of Turbo Codes in Third-Generation High-Speed Wireless Data Services[J]. IEEE Trans. Veh. Technol, 2000, 49(6): 2198 - 2207.

[3] Barbulescu S A. Iterative Decoding of Turbo Codes and Other Concatenated Codes[D]. University of South Australia, 1996.

[4] Hall E K, Wilson S G. Turbo Codes for Noncoherent Channels[R]. Phoenix, 1997.

[5] Hall E K, Wilson S G. Design and Analysis of Turbo Codes on Rayleigh Fading Channels [J]. IEEE J. Sel. Areas Commun, 1998, 16(20): 160 - 174.

[6] Shin H, Lee J H. Channel Reliability Estimation for Turbo Decoding in Rayleigh Fading Channels With Imperfect Channel Estimates[J]. IEEE Commun. Lett., 2002, 6(11): 503 - 505.

[7] Xu K, Wan J, Xu Z. A Simplified Method for Turbo Decoding over Rayleigh Fading Channels[R]. Beijing, China: 2010.

[8] Frenger P K. Turbo Decoding for Wireless Systems with Imperfect Channel Estimates [J]. IEEE Trans. Commun, 2000, 48(9): 1437 - 1440.

[9] Proakis J G. Digital Communications[M]. 5 ed. McGraw Hill, 2007.

[10] Robertson P, Hoehner P, Villebrun E. Optimal and Sub-Optimal Maximum A Posteriori Algorithms Suitable for Turbo Decoding [J]. Eur. Trans. Telecommun., 1997, 8(2): 119 - 125.

[11] Talakoub S, Sabeti L, Shahrava B, et al. An Improved Max-Log-MAP Algorithm for Turbo Decoding and Turbo Equalization[J]. IEEE Trans. Instrum. Meas., 2007, 56(3): 1058 - 1063.

[12] Worm A, Hoehner P, Wehn N. Turbo-Decoding Without SNR Estimation[J]. IEEE Commun. Lett., 2000, 4(6): 193 - 195.

[13] Vogt J, Finger A. Improving the Max-log-MAP TurboDecoder[J]. Electron. Lett., 2000, 36(23): 1937 - 1939.

[14] 罗鹏飞, 张文明. 随机信号分析与处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[15] Heo J, Chugg K M. Optimization of Scaling Soft Information in Iterative Decoding Via Density Evolution Methods [J]. IEEE Trans. Commun., 2005, 53(6): 957 - 961.

[16] Heo J. Analysis of Scaling Soft Information on Low Density Parity Check Code[J]. Electron. Lett., 2003, 39(2): 219 - 221.

[17] Chen J, Fossorier M P C. Near Optimum Universal Belief Propagation Based Decoding of Low-Density Parity Check Codes [J]. IEEE Trans. Commun., 2002, 50(3): 406 - 414.