

# 超空泡射弹对反鱼雷作战体系贡献率的评估

覃辉<sup>1</sup>, 翁辉<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 92730 部队, 海南 三亚 572000;  
2. 海军工程大学, 湖北 武汉 430033)

**摘要** 超空泡射弹具有水下高速打击能力, 在应对来袭鱼雷攻击时, 可以选择精准点射或密集发射形成弹幕的方式有效拦截目标。超空泡射弹与其他反鱼雷武器一同构成水下防御网, 为作战样式提供更多选择。首先利用层次分析法, 确定反鱼雷作战的各项能力指标权重; 然后针对不同武器的作战能力, 分别设计不同的品质效用函数, 由此计算出具体能力赋值。最后, 通过模型计算出超空泡射弹在反鱼雷作战中的体系贡献率, 以此推动与之相关的超空泡发生器、水下制导和水下高速推进系统等关键技术得到足够的重视和发展, 为后续研制生产和尽快投入部队形成战斗力提供参考。

**关键词** 超空泡射弹; 反鱼雷; 体系贡献率; 层次分析法; 品质效用函数

中图分类号 TJ413<sup>+</sup>.7 : TJ761.1

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2021)05-0372-08

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2021.05.005

## Evaluation of Contribution Rate of Supercavitation Projectile to Anti-torpedo Combat System

QIN Hui<sup>1</sup>, WENG Hui<sup>2</sup>

(1. No. 92730 Unit of PLA, Sanya 572000, China;  
2. Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract** Supercavitation projectile has the ability of underwater high-speed attack. When dealing with the attack of incoming torpedo, it can effectively intercept the target by means of precise point firing or dense firing to form a barrage. The supercavitation projectile, together with other anti-torpedo weapons, forms an underwater defense network, providing more options for combat styles. Firstly, this paper uses AHP to determine the weight of each capability index of anti-torpedo operations. Then, different quality utility functions are designed for the combat capability of different weapons, and the specific capability assignment is calculated accordingly. Finally, the system contribution rate of supercavitation projectile in anti-torpedo operations is calculated through the model, so as to promote the relevant key technologies such as supercavitation generator, underwater guidance and underwater high-speed propulsion system to get enough attention and development, which provides a reference for the subsequent development and production and the formation of combat effectiveness for navy forces as soon as possible.

**Key words** supercavitation projectile; anti-torpedo; system contribution rate; analytic hierarchy process; quality utility function

## 0 引言

装备体系贡献率是新装备研制发展的重要依据,在装备发展规划和立项论证等阶段中,装备体系贡献率作为一项重要的评判指标,指导实践过程的开展,具有十分重要的参考价值。习主席指出:“每一型武器装备要不要发展,发展多少,都要以对作战体系的贡献率为标准,纳入武器装备体系大盘子考虑”<sup>[1]</sup>。因此,装备体系贡献率的计算评估,应当作为装备发展体系顶层设计工作中的重要组成部分。

目前国内研究装备体系贡献率的方法呈现出多元化的特点,主要包括解析法、仿真法、评价法3类。解析法主要包括 Petri 法、能力指数法等,该类方法以建立数学模型、大数据统计为主,优点是效能指标比较明确、实用价值较广;缺点是计算过程复杂、计算量较大。仿真法主要包括作战模拟法、兵棋推演法等,该类方法以模拟推演、软件编程为主,优点是问题表述直观、实现途径较多;缺点是仿真模型构建困难、影响因素多且难以表述全面。评价法主要包括专家评价法、层次分析法等,该类方法以综合评判、经验输出为主,优点是操作灵活、对数据的依赖性较小、能够解决多种因素交融的问题;缺点是主观性较强、对行业内的专家依赖性较大。

当前研究体系贡献率比较普遍的思路,主要是研究某种新型装备加入体系之后所产生的效能,与之前体系的效能进行对比,得出其对未来作战能力提升所带来的价值。从而为装备发展规划与计划提供决策性支撑,为装备技术更新与变革提供方向性指导。

本文立足于新型装备发展和作战能力建设的角度,基于评价法和解析法,提出超空泡射弹对反鱼雷作战体系贡献率的分析方法,建立有效的评估模型,计算超空泡射弹对体系作战效能所带来的影响,初步提出加强研制发展超空泡射弹的相关建议。

## 1 装备体系贡献率的研究方法

计算装备的体系贡献率,首先要构建装备评价

指标体系,确定各项指标的具体内涵;然后利用层次分析法,设计各层级的指标权重<sup>[2]</sup>;之后,通过构建能力分析函数,计算出相对应的能力赋值,进行归一化处理;最后通过体系贡献率分析模型计算出该装备的体系贡献率结果。

### 1.1 指标评价体系的建立方法

指标评价体系要全面系统地反映研究对象的各项指标要求,尽可能科学合理、贴近实际<sup>[3]</sup>,基本上能够为相关业务部门提供指导性意见。

首先针对研究对象初步构建评价指标体系,通过该评价体系对与研究对象相互关联、相互制约的各项因素进行层次化、条理化分析,由此确定指标方案<sup>[4]</sup>。然后利用定量定性分析方法,确定各项因素对研究对象的影响程度,经过统计处理和归纳分析等步骤,对各项因素进行合理的取舍,确定最终的指标评价体系。

### 1.2 指标权重的计算方法

指标权重的计算主要采取层次分析法,通过构建判断矩阵,计算出各层级每一个元素的权重值。层次分析法具体步骤如下。

#### 1) 构建层次分析模型。

首先利用层次分析法建立结构模型,该模型主要包含决策层、中间层和方案层3层。

#### 2) 构建比较判断矩阵。

通过构建比较判断矩阵,对各个元素影响程度的大小进行判别比较,确定对上一层级元素  $B$ , 下层元素  $c_1, c_2, \dots, c_n$  的影响程度分别是多少。将元素  $c_i$  相对于上层级元素  $B$  的重要性指标定义为  $c_i$ , 将元素  $c_j$  相对于上层级元素  $B$  的重要性指标定义为  $c_j$ , 则下层  $n$  个元素所构成的判别矩阵,其具体表述如下:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

式中,  $a_{ij}$  为元素  $a_i$  与  $a_j$  相对于层级  $B$  的重要性之比, 即

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_j} \quad (2)$$

#### 3) 各元素相对权重的计算。

将每两元素之间判断对比的重要性程度,用数值化分为9个等级,具体赋值见表1。

表1 重要性程度比对赋值表

Table 1 Importance degree ratio assignment table

标度	重要性描述
1	表示2个元素相比,两者同样重要
3	表示2个元素相比,前者比后者稍微重要
5	表示2个元素相比,前者比后者比较重要
7	表示2个元素相比,前者比后者十分重要
9	表示2个元素相比,前者比后者绝对重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值

## 4) 一致性检验。

为了避免各类原因引起的偏差,造成判断逻辑出现矛盾,导致一致性不符合规定要求,所以还需要对判别矩阵一致性检验。

一致性检验公式为

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (3)$$

其中,一致性指标:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中:  $\lambda_{\max}$  为最大特征根;  $n$  为因子个数;  $R.I.$  为随机一致性指标。

当  $n \geq 3$ ,  $C.R. < 0.1$  时,满足一致性条件,否则将继续对判断矩阵进行修正,直到满足  $C.R. < 0.1$  时停止修正。

## 1.3 装备能力的评估方法

装备能力的评估有多种类型的研究方法,本文主要采用品质效用函数进行分析计算。考虑到不同的品质因素对装备本身的影响作用不同,有一部分品质因素指标越大越好,有一部分品质因素指标越小越好,还有一部分要求维持在一定的范围之内。在对装备能力进行评估时,首先将装备的各项品质因素进行合理分类,统一量纲,然后对每个品质因素建立起相应的效用函数模型,从而计算出每个品质因素的效用值。效用函数值的取值范围为[0, 1]之间的一个实数<sup>[5]</sup>。

若武器装备有  $n$  个品质因素  $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , 其性能指标值  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ , 品质因素的权重  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 。

性能指标的最大值点:

$$d_{\max} = (r_{\max}^1, r_{\max}^2, \dots, r_{\max}^n)$$

性能指标的最小值点:

$$d_{\min} = (r_{\min}^1, r_{\min}^2, \dots, r_{\min}^n)$$

若品质因素  $P_m$  要求越大越好,则采用如下形式的效用函数:

$$\mu_m(d_m) = \frac{d_m}{r_{\max}^m}, d_m \in [r_{\min}^m, r_{\max}^m] \quad (5)$$

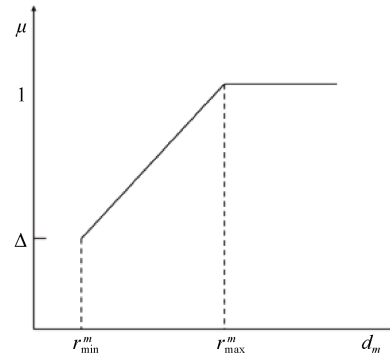


图1 品质因素要求越大越好

Fig.1 Quality factors is required to be larger-the-better

若品质因素  $P_m$  要求越小越好,则采用如下形式的效用函数:

$$\mu_m(d_m) = 1 + \frac{r_{\min}^m - d_m}{r_{\max}^m} \quad (6)$$

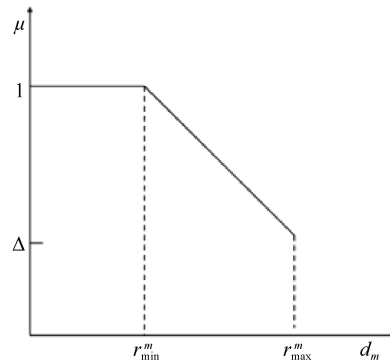


图2 品质因素要求越小越好

Fig.2 Quality factors is required to be smaller-the-better

若品质因素  $P_m$  要求在  $[r_1, r_2]$  范围为宜,则采用如下形式的效用函数:

$$\mu_m(d_m) = \begin{cases} \frac{d_m}{r_{\max}^m}, & d_m \in [r_{\min}^n, r_1] \\ 1, & d_m \in [r_1, r_2] \\ 1 + \frac{r_{\min}^m - d_m}{r_{\max}^m}, & d_m \in [r_2, r_{\max}^n] \end{cases} \quad (7)$$

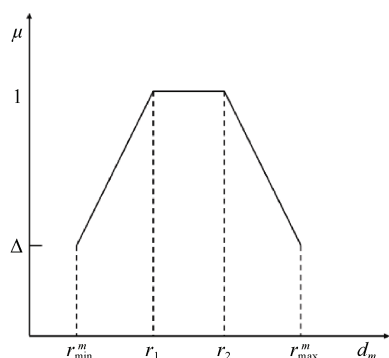


图3 品质因素为范围型函数图像

Fig.3 Quality factor is a range-type function graph

因此, 品质因素效用函数值的计算结果为<sup>[6]</sup>

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

应用线性加权法计算系统能力量化值为

$$C_m = \sum_{m=1}^n \omega_m \mu_m \quad (8)$$

#### 1.4 体系贡献率的解算方法

目前, 计算体系贡献率比较典型的模型为

$$R_A = \frac{C_1 - C_0}{C_0} \quad (9)$$

式中:  $R_A$  为装备 A 的贡献率;  $C_0$  为装备 A 加入之前的体系作战效能;  $C_1$  为装备 A 添加后的体系作战效能<sup>[7]</sup>。利用上述模型可用于对新型装备添加、新老装备替换以及老旧装备退役等问题的研究。

## 2 超空泡射弹体系贡献率建模

### 2.1 反鱼雷作战基本样式

反鱼雷作战是海军部队一个方向性的作战样式, 在海军作战体系当中, 反鱼雷作战能力的强弱是防御力评估的一个重要指标。

参与反鱼雷作战的武器装备主要分为软杀伤武器和硬杀伤武器2大类。其中, 软杀伤是利用各种干扰器材诱骗、干扰来袭鱼雷, 使其不能够对目标形成有效攻击, 主要包括干扰器、声诱饵、气幕弹等; 硬杀伤是指采用一定功能的武器装备对来袭鱼雷拦截、破坏或摧毁, 主要包括反鱼雷鱼雷、反鱼雷深弹、反鱼雷水雷、反鱼雷浮标、防鱼雷网等。

反鱼雷作战主要分为3个层次:

1) 远程防御层。在该防御层内, 舰艇主要进行声呐探测和预警, 及时发现来袭鱼雷, 并转入作

战阶段。受打击精度、距离和杀伤范围的影响, 该防御层以软杀伤为主, 硬杀伤为辅, 同时进行舰艇机动。

2) 中程防御层。在该防御层内, 舰艇主要实施软硬兼施的防御手段。通过合理优化选择多种打击器材, 采取多样式的配套打击组合, 对来袭鱼雷进行软硬杀伤。同时, 继续采取舰艇机动。

3) 近程防御层。该防御层为末端防御层, 鱼雷对舰艇的威胁较大, 单纯依靠舰艇机动已经无法完成有效防御。在该防御层内, 主要采取硬杀伤为主, 软杀伤为辅的防御形式<sup>[8]</sup>。

随着科学技术的不断发展, 参与反鱼雷作战的武器装备也向着提高探测预警能力、扩大有效毁伤距离、降低噪音、增大深度、增强杀伤力等多个方向发展。

超空泡技术是一项能够使水下航行体突破液体阻力、实现水下高速运动的技术。利用该技术研制出来的超空泡射弹, 在水中的运动速度和行程距离等方面均有较大提升, 能够有效参与舰艇的反鱼雷作战行动。因此, 在设计反鱼雷作战体系时, 可以将超空泡射弹列入组合方案当中。现阶段主要反鱼雷作战装备列于表2。

表2 反鱼雷作战装备列表

Table 2 List of anti-torpedo combat equipment

武器装备	距离	杀伤手段	防御方法
反鱼雷鱼雷	远、中、近程	硬杀伤	利用发射装置进行发射, 接近来袭鱼雷时进行引爆
火箭助推式深弹	远、中程	硬杀伤	利用火箭助推方式飞至目标附近海域, 在一定深度引爆
反鱼雷水雷	中、近程	硬杀伤	悬浮水中, 爆破后对水下目标形成杀伤
反鱼雷浮标	中、近程	硬杀伤	浮于水面, 爆破后对水下目标形成杀伤
投放式深弹	近程	硬杀伤	近距离投放引爆对来袭鱼雷形成杀伤
防鱼雷网	近程	硬杀伤	采用可引爆式或物理阻隔等进行阻拦
超空泡射弹	近程	硬杀伤	精确射击目标或形成弹幕
舰炮	近程	硬杀伤	对深度较浅的鱼雷进行射击, 局限性较大, 实用性不强

表2(续)

武器装备	距离	杀伤手段	防御方法
噪声干扰器	远、中程	软杀伤	模拟舰艇声场对来袭鱼雷进行诱骗
磁场模拟干扰器	远、中程	软杀伤	模拟舰艇磁场对来袭鱼雷进行诱骗
自航式诱饵	远、中程	软杀伤	以自航行方式模拟舰艇运动、声学特性
悬浮声诱饵	中、近程	软杀伤	悬浮水中, 模拟噪声, 形成干扰
气幕弹	近程	软杀伤	产生气幕形成屏障
拖曳式声诱饵	近程	软杀伤	拖于舰艇之后, 模拟噪声, 形成干扰
.....			

## 2.2 超空泡射弹评价指标的确立

在体系作战的背景下, 对反鱼雷作战任务完成影响较大的因素主要包括: 探测预警能力、平台机动能力、硬杀伤能力、软杀伤能力等。在评价作战体系效能时, 应以上述几种因素作为反鱼雷作战体系评价指标。

超空泡射弹属于硬杀伤手段, 所以选择超空泡射弹的硬杀伤能力作为其对反鱼雷作战体系贡献率的评价指标。对其中可以直接定量处理的因素进行相关的量化处理和归一化分析, 主要包括超空泡射弹的运动速度、发射密度、偏差范围、爆炸威力等基本指标。具体结构见图4。

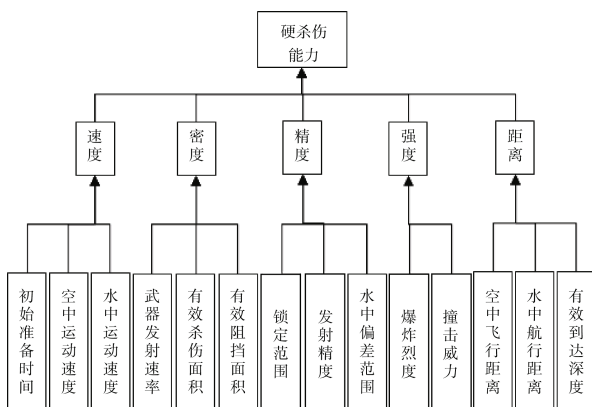


图4 硬杀伤能力指标结构图

Fig.4 Index structure diagram of hard-kill ability

## 2.3 反鱼雷作战层次分析建模

为完成反鱼雷作战任务, 需要启动3层防御手段对来袭鱼雷进行毁伤, 每一层级所涉及的效能类

型大致相同, 但各层级所注重的效能结果有所不同。因而需要利用层次分析法, 对各层级所注重的能力指标进行比较, 以此确定各项能力的指标权重。具体结构见图5。

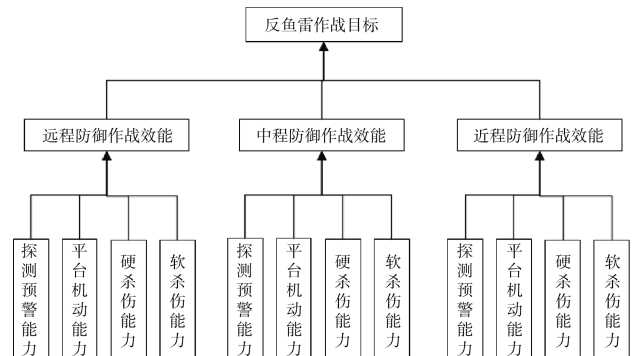


图5 反鱼雷作战目标结构图

Fig.5 Structure diagram of anti-torpedo combat target

通过两两比较法的运算思路, 构建比较判断矩阵, 对各个元素影响程度的大小进行判别比较, 进而得出各要素权重值, 即  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 。

## 2.4 反鱼雷兵器装备能力的评估

根据反鱼雷兵器的各项指标特性, 确定上限值和下限值, 在上限值和下限值之间, 各项指标按照一定的发展趋势进行变化。由此可以通过品质效用函数对反鱼雷兵器的各项能力指标进行计算, 得出具体的赋值。根据各项指标的含义, 品质效用函数的具体设计如下。

假设在反鱼雷作战行动中, 对防御兵器水下航行速度的期望值  $\mu_1$  最低为 10 kn, 最高为 200 kn。对航行速度品质因素进行分析, 该品质因素指标属于越大越好型, 所以其效用函数可设计为

$$\mu_1(d_1) = \begin{cases} 0, & d_1 \leq 10 \\ \frac{d_1}{200}, & d_1 \in [10, 200] \\ 1, & d_1 \geq 200 \end{cases} \quad (10)$$

假设在反鱼雷作战行动中, 为了准确击毁来袭鱼雷, 要求防御兵器到达目标的偏差范围尽可能缩小到最低。在有效战技术要求范围内, 对精度的期望值  $\mu_2$  最低为  $x_1$  m, 最高为  $x_2$  m。该品质效用函数可设计为

$$\mu_2(d_2) = \begin{cases} 1, & d_2 \leq x_1 \\ 1 + \frac{x_1 - d_m}{x_2}, & d_2 \in [x_1, x_2] \\ 0, & d_2 \geq x_2 \end{cases} \quad (11)$$

假设作战平台在实施目标搜索时突然发现来袭鱼雷, 需要利用防御兵器进行紧急防御。对于初始准备时间的最大允许值为 30 s, 要求反应时间越快越好, 则该品质因素指标属于越小越好, 所以其效用函数可设计为

$$\mu_3(d_3) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{30 - d_3}{30}\right)\right], & d_3 \leq 30 \\ 0, & d_3 \geq 30 \end{cases} \quad (12)$$

在不同的鱼雷防御层内, 对爆破性反鱼雷器材的爆炸杀伤范围有不同的要求。在中、远程防御层内, 爆炸杀伤范围品质因素指标属于趋大型; 而在远程防御层内, 该指标又属于范围型。

假设作战平台发现来袭鱼雷不断向己方靠近, 此时远程、中程均已无法完成防御任务, 需要启动近程防御系统。考虑使用投放式爆破性器材进行防御, 若爆破弹药的爆炸范围太小, 则满足不了防御要求; 若爆炸范围太大, 则容易造成自身舰艇平台的损伤。所以爆炸范围的品质因素指标属于维持在一定范围之内为好型, 其效用函数可设计为

$$\mu_4(d_4) = \begin{cases} \frac{d_4}{x_3}, & 0 \leq d_4 \leq x_3 \\ 1, & x_3 \leq d_4 \leq x_4 \\ 1 + \frac{x_3 - d_4}{x_4}, & d_4 \geq x_4 \end{cases} \quad (13)$$

针对某一类兵器而言, 依据上述思路, 可以继续对其余各类指标建立相应的品质效用函数。并由此计算出各类指标的效能取值:  $\mu_x = (\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn})$ , 其中  $x$  表示具体的作战兵器。

## 2.5 超空泡射弹体系贡献率的计算

利用 1.3 中的办法分别求取反鱼雷鱼雷、反鱼雷水雷、反鱼雷浮标、火箭式/投放式深弹、防鱼雷网、超空泡射弹的具体效能取值  $\mu_a, \mu_b, \dots, \mu_f$ 。对比超空泡射弹加入作战体系前后, 分别选取各类

指标的效能取值最大值。其中超空泡射弹加入作战体系之前, 各类指标的效能取值最大值为

$$\mu_{Amax} = (\mu_{Amax1}, \mu_{Amax2}, \dots, \mu_{Amaxn}) \quad (14)$$

式中,  $\mu_{nmax} = \text{Max}(\mu_{an}, \mu_{bn}, \mu_{cn}, \mu_{dn}, \mu_{en})$ 。

同理, 超空泡射弹加入作战体系之后, 各类指标的效能取值最大值为

$$\mu_{Bmax} = (\mu_{Bmax1}, \mu_{Bmax2}, \dots, \mu_{Bmaxn}) \quad (15)$$

式中,  $\mu_{nmax} = \text{Max}(\mu_{an}, \mu_{bn}, \mu_{cn}, \mu_{dn}, \mu_{en}, \mu_{fn})$ 。

将 1.2 中的计算结果  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$  分别代入式 (14) 和式 (15), 求得在反鱼雷作战行动中, 超空泡射弹加入作战体系前后的能力量化值  $C_0$  和  $C_1$ , 进而再通过式 (9) 求得超空泡射弹的体系贡献率。

## 3 实例分析

利用兵棋推演系统对某作战进程展开想定作业, 假设某舰在海上连续航行, 声呐突然发现 2 n mile 外有来袭鱼雷, 全舰按照反鱼雷作战 3 层防御手段展开对抗。

其中, 在近程防御层内, 选择以某型超空泡射弹为例, 对来袭鱼雷实施精确快速射击; 或是以连续射击的方式, 形成密集的水下弹幕, 对来袭鱼雷进行阻拦。

首先, 利用 yaahp10.3 软件进行辅助计算, 其工作步骤具体如下:

1) 绘制结构模型图。

2) 判断矩阵的赋值分析。模型建立之后, 邀请相关领域的专家及使用操作人员对项指标进行比较分析, 采取 1~9 的标度对两两元素之间进行评判打分, 示例列于表 3。

表 3 “中间层-方案层”比较判断矩阵  
Table 3 Comparison and judgment matrix of intermediate layer and scheme layer

近程防御作战效能	探测预警能力	平台机动能力	硬杀伤能力	软杀伤能力
探测预警能力	-	3	1/5	1/2
平台机动能力	-	-	1/6	1/3
硬杀伤能力	-	-	-	4
软杀伤能力	-	-	-	-



3) 对比较判断矩阵进行计算, 确定各层级内部所有因素的相对权重。表4和图6显示了近程防御作战效能的各因素权重计算结果。

表4 比较判断矩阵计算结果

Table 4 Calculation results of comparison and judgment matrix

近程防御作战效能	探测预警能力	平台机动能力	硬杀伤能力	软杀伤能力	权重计算结果
探测预警能力	1	3	0.2	0.5	0.134 8
平台机动能力	0.333 3	1	0.166 7	0.333 3	0.067 5
硬杀伤能力	5	6	1	4	0.599
软杀伤能力	2	3	0.25	1	0.198 8

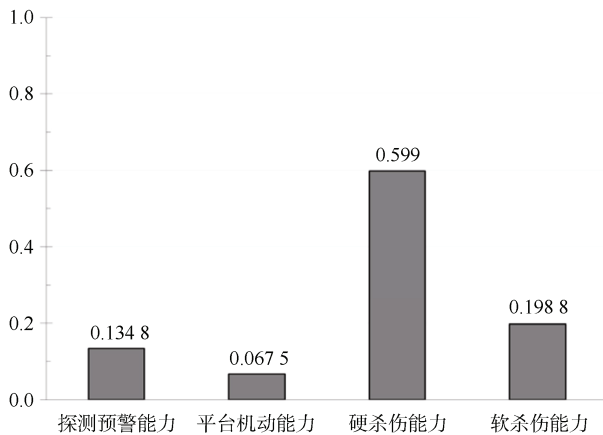


图6 比较判断矩阵计算结果

Fig.6 Calculation results of judgment matrix comparison

反鱼雷作战体系贡献率各评估指标的权重计算结果见图7。

其次, 确定体系作战能力的期望值。针对每一种反鱼雷作战兵器, 对照影响体系作战的各类能力, 设计出相应的品质因素效用函数。通过品质因素效用函数分别对每一种参与近程反鱼雷作战的水中兵器能力值进行计算, 分别筛选出超空泡射弹加入作战体系前后各类能力值的最大值 $\mu_{Amax}$ 和 $\mu_{Bmax}$ 。

选择近程防御层内的反鱼雷作战进行评估, 各种结果见表5~7(表中武器类别: T为反鱼雷雷、R为反鱼雷水雷、B为反鱼雷浮标、D为火箭式/投放式深弹、N为防鱼雷网、S为超空泡射弹, 每个武器类别选择合理的现役装备作为计算参考对象)。

最后进行体系贡献率计算。根据公式(8), 求出前后2种不同的作战效能, 即 $C_0=24.947\%$ 和 $C_1=32.345\%$ 。

根据公式(9), 求出超空泡射弹针对反鱼雷作战的体系贡献率为 $R_A=7.398\%$ 。

超空泡射弹的体系贡献率主要集中体现在其运动速度和距离、发射速率和精度, 以及它的撞击威力等方面, 这些方面所体现出来的价值明显优于其他类型的反鱼雷武器。在发展新型超空泡射弹的过程中, 应当将研制重心放在以上几个方面, 确保其优势在质量上得到巩固。

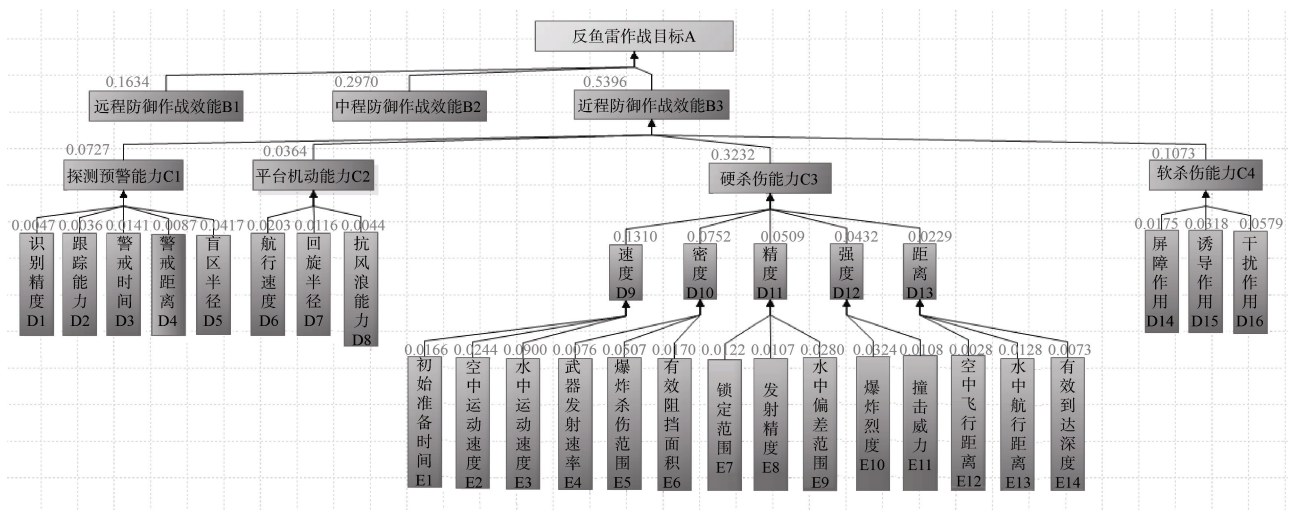


图7 反鱼雷作战体系贡献率各评估指标的权重计算结果

Fig.7 Weight calculation results of each evaluation index of contribution rate for anti-torpedo combat system

表 5 趋大型指标品质效用计算结果  
Table 5 Calculation results of quality utility for large scale

指标	指标类型	品质效用结果最		品质效用结果最	
		大值 $\mu_{Amax}$		大值 $\mu_{Bmax}$	
		取值	武器类别	取值	武器类别
空中运动速度	趋大型	0.795	D	1	S
水中运动速度	趋大型	0.425	T	1	S
武器发射速率	趋大型	0.615	D	0.975	S
有效阻挡面积	趋大型	0.455	N	0.956	S
发射精度	趋大型	0.880	T	0.920	S
爆炸烈度	趋大型	0.973	D	0.973	D
撞击威力	趋大型	0.825	T	0.926	S
空中飞行距离	趋大型	0.927	D	0.982	S
水中航行距离	趋大型	0.965	T	0.965	T
有效到达深度	趋大型	0.990	D	0.990	D

表 6 趋小型指标品质效用计算结果  
Table 6 Calculation results of quality utility for small scale

指标	指标类型	品质效用结果最		品质效用结果最	
		大值 $\mu_{Amax}$		大值 $\mu_{Bmax}$	
		取值	武器类别	取值	武器类别
初始准备时间	趋小型	0.910	R	0.995	S
锁定范围	趋小型	0.958	T	0.958	T
水中偏差范围	趋小型	0.856	T	0.965	S

表 7 范围型指标品质效用计算结果  
Table 7 Calculation results of quality utility of range type

指标	指标类型	品质效用结果最		品质效用结果最	
		大值 $\mu_{Amax}$		大值 $\mu_{Bmax}$	
		取值	武器类别	取值	武器类别
爆炸杀伤范围	范围型	1	T, D	1	T, D

同时，从整个计算过程进行分析还可以得出，对近程反鱼雷作战体系影响较大的因素主要包括水中运动速度、干扰作用和爆炸杀伤范围，其影响份额分别为 8.98%、5.79%和 4.93%。在这几类影响较大的因素当中，超空泡射弹只在水中运动速度这一项中占有优势，而干扰能力和爆破能力又恰好是其所欠缺的。这也说明了构建反鱼雷防御网，不能只单纯的依靠某种类型的武器，需要多种武器相

互配合，共同发挥其优势效能，才能够最终达到反鱼雷作战的最终目的。

未来在构建反鱼雷防御圈时，既要积极开展超空泡射弹相关技术的研制，发展新型超空泡射弹，同时也不能忽略其余几个方向的武器研制和使用搭配。

4 结束语

从客观的角度进行分析，超空泡射弹能够为反鱼雷作战效能的提升带来一定的影响，但影响力也并非是完全的。反鱼雷作战是一个系统性的作战样式，需要各种武器装备相互配合，才能达到最优的作战效果。未来甚至可以参照水面舰艇的“密集阵”近程防御系统，在潜艇上加装以发射高密度超空泡射弹的潜用近程防御系统。本文计算超空泡射弹的体系贡献率。用以满足装备在立项论证过程中所面临的装备体系贡献率计算需要，支撑上层对于装备发展的战略规划设计。

参考文献

[1] 赵辉. 武器装备发展方略研探[J]. 国防科技, 2016, 37 (4): 44-47.

[2] 毕文豪, 崔俊儒, 张安, 等. 新型远程空空导弹体系贡献度评估研究[J]. 电光与控制, 2020, 27 (8): 1-4.

[3] 潘星, 左督军, 张跃东. 基于系统动力学的装备体系贡献率评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43 (1): 112-120.

[4] 吕学义, 孙媛妮, 胡韬. 基于智能算法的装备采办经济效益评估研究[J]. 经济学, 2019, 2 (2): 81-83.

[5] 梁冬, 陈昶轶, 樊延平, 等. 基于 ADC 的装甲装备体系作战效能评估研究[J]. 微计算机信息, 2010, 26 (1-3): 15-17.

[6] 郭齐胜, 鄧志刚, 杨瑞平, 等. 装备效能评估概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

[7] 张军, 王建军, 张木, 等. “分布式杀伤”作战体系及其武器装备体系贡献度评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38 (6): 5-9.

[8] 陆达人. 舰艇反鱼雷防御的现状和发展[J]. 舰船科学技术, 1999, 21 (3): 10-13.

(责任编辑: 肖楚楚)