

【引用格式】谢志敏, 滕林苹, 马伟, 等. 水雷作战效能海洋环境影响评估[J]. 数字海洋与水下攻防, 2023, 6(2): 162-166.

水雷作战效能海洋环境影响评估

谢志敏^{1, 2}, 滕林苹^{3, 4}, 马伟^{3, 4}, 郝晓玉^{3, 4}

(1. 哈尔滨工程大学 水声学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 军事海洋环境建设办公室, 北京 100161;
3. 中国船舶集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003; 4. 清江创新中心, 湖北 武汉 430076)

摘要 提出并定性分析了海洋环境对水雷作战效能的影响, 提出了构造模糊隶属函数, 归一量化描述不同环境参数; 采用层次分析法构建水雷作战效能指标参数, 建立水雷作战效能与海洋环境参数之间的关联和层次结构, 构造环境参数到水雷效能的训练样本; 采用机器学习方法对海洋环境影响下水雷作战效能进行评估。通过实例, 给出了水雷作战效能量化评估过程。

关键词 水雷; 水下环境; 作战效能评估

中图分类号 TJ630.1

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2023)02-0162-05

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2023.02.005

Evaluation of Influence of Marine Environment on Mine Operational Effectiveness

XIE Zhimin^{1, 2}, TENG Linping^{3, 4}, MA Wei^{3, 4}, HAO Xiaoyu^{3, 4}

(1. College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;
2. Military Ocean Environment Construction Office, Beijing 100161, China; 3. No. 710 R&D Institute, CSSC,
Yichang 443003, China; 4. Qingjiang Innovation Center, Wuhan 430076, China)

Abstract In This paper, the influence of marine environment on mine operational effectiveness is put forward and analyzed qualitatively, and the fuzzy membership function is constructed to normalize and quantify different environment parameters. Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to construct the parameters of mine operational effectiveness, and then to establish the correlation and hierarchy as well as the evaluation model between mine operational effectiveness and marine environmental parameters. The machine learning method is used to evaluate the mine operational effectiveness under the influence of the marine environment. The quantitative evaluation process of mine operational effectiveness is given by an example.

Key words mine; underwater environment; operational effectiveness evaluation

0 引言

水雷是海军作战的重要兵器,也是当今具有战略威慑和战术毁伤双重功能的常规武器。水雷隐蔽性好、打击突然、持续作用时间长、威慑作用大,非常适合对敌进行港口封锁^[1],水雷的作战效能一般体现在水雷毁伤攻击能力、目标探测能力和生命

力等方面。水雷及水雷阵必须根据不同的海区信息并结合自身特点形成有效的使用组合,才能发挥水雷武器的最大作战效能。现代战争中布放使用水雷,首先根据战争规模、作战对象,研究确定水雷封控区域和水雷分布的空间位置;其次通过掌握封控区域的战场环境信息,并结合现役水雷打击对象、封锁半径、适用水深范围、抗流能力等战技指

标,选择水雷类型,依据敌情我情战场态势以及封控区域周边海洋环境信息,才能确定布雷方案^[2]。

准确地根据环境信息,建立环境要素与水雷效能参数的关联,开展海洋环境对水雷作战效能影响的评估方法和算法模型研究,对水雷作战效能进行评估,为部队训练和作战提供参考和依据,是现代战争中布雷使用水雷的第1步。然而,我军在此方面起步晚,投入不足,模型构建及评价体系与国外相比有较大差距^[3]。

水雷武器信息化智能化的发展,使得其对海洋环境更加敏感,水雷战术效能的发挥更易受海洋环境变化和要素特性的影响。

本文分析了海洋环境对水雷作战效能的影响,提出采用模糊隶属函数方法,归一化描述不同环境参数;采用层次分析法构建水雷作战效能指标参数,然后建立水雷作战效能与海洋环境之间的关联和层次结构;提出采用机器学习方法对环境影响下水雷作战效能进行评估,量化评估结果。

1 水雷的作战效能

装备作战效能就是装备在一定的作战条件下,遂行给定作战任务时达到预期可能目标的程度,也就是装备在一定条件下完成作战任务时所能发挥有效作用的程度^[3]。

在过去和未来战争中,水雷兵器的主要使命任务是:1)在抗登陆作战中,布设防御水雷障碍以打击敌舰船和阻止敌人登陆行动;2)在海上主要航道上,布设攻势和机动水雷障碍,打击敌战斗舰艇和运输船,破坏敌海上运输线,钳制敌人,支援我方其他兵力完成战斗任务;3)封锁敌岛屿、港口、基地,完成战略任务。

与鱼雷、深弹、导弹、舰炮等海军直接杀伤性武器相比,水雷对目标的毁伤具备长时性、延时性、隐蔽性以及无人自主性等特点。无论是沉底雷、锚雷均以一定数量规模布设于某一海域形成较大面积的危险区域——雷障,在潜伏待机期间通过无人自主方式进行舰船或潜艇目标的探测、识别^[4],对进入雷障封控区域的攻击目标通过原地引爆或主动打击的方式进行无人化攻击,从而实现限制敌舰

队、船舶行动,达到海域封锁或控制的目的。因此水雷的作战价值及效能评估体现于雷障整体形态、封控强度、危险等级及其坚韧性。

水雷装备的作战效能所关联的主要因素有使用环境条件、引信动作区域特性、总体布放性能、抗自然干扰性能(抗风浪、流、海生物、潮汐、泥沙掩埋等性能)、抗扫性能、抗水中爆炸性能、抗邻雷爆炸性能、水雷破坏半径(爆炸威力)、安全保障功能、锚雷偏降性能等。

引信动作区域特性,是指当目标进入水雷破坏威力范围以内时才引起动作的能力。通常要求水雷引信的动作区域特性与水雷装药的破坏半径匹配^[5]。

抗自然干扰性能,即布设在海水中的水雷应对包括暴雨、海浪、台风等自然干扰的能力。

抗扫性能:水雷主要依赖非触发引信智能化设计,通常通过研究舰船目标特性,采用多种难以模拟的舰船物理场引信,并以不同的组合排列方法来提高抗扫能力,同时在引信设计中采用定时、定次、防炸等多种方法增加扫雷的难度;在反猎对抗上,主要运用声隐身和磁、光等非声隐身技术采用特殊材料来制造雷体,防止水下探测设备对水雷的探测。

水雷破坏半径,体现了单个水雷对目标的毁伤特性,与爆炸威力有关。水雷爆炸的重要特征是爆炸点周围介质中发生急剧的压力突跃,其对舰船的破坏作用主要与水雷的装药量及其炸药特性、爆炸中心到舰船的距离、爆炸中心与舰船的相对位置、海深、海底底质、舰船结构和防护性能等因素有关。

2 影响水雷作战效能的环境因素简要分析

环境影响要素包含气象环境要素、水文环境要素、水声环境要素、地理环境要素、生物污损影响等。

布雷区域与驻泊点的航程距离及该航路涉及的海洋环境如海况、海流、最小深度等,会影响水雷型号的选择;布雷点的深度关系着水雷类型的选择;布雷区域的水文特性及变化规律,如水流剖面分布、水底特点和地形等影响锚雷偏降、沉底水雷掩埋,海洋生物的附生、海水温度和盐度影响水雷

使用寿命；海流大小会对水雷姿态产生影响，从而影响非触发引信动作性能及目标探测性能；海底坡度及底质影响着水雷漂移，极端情况会导致水雷失效或作用范围减小；风浪、海水温度和盐度等会改变水声环境，影响水声传播过程，从而影响水雷远程水声遥控距离、声引信探测距离、声引信对目标的识别效率；地磁、磁爆等会改变海洋磁场环境从而影响沉底水雷的磁引信性能，如磁值更启动距离、磁值更识别性能等。

1) 温盐度的影响。

水温影响水雷电池的寿命。水温越高，电池自然放电越快，寿命越短，从而缩短了水雷的战斗有效期。

水温高、盐度大的海区使用锚雷，会使锚索的腐蚀加快，缩短雷索的使用寿命。

温度和盐度的差异可影响水层分布，进而影响水的声性能和水雷探测器的声性能。

2) 深度的影响。

海区水深超过 60 m，常规沉底雷爆炸后就不能对水面舰船造成足够的杀伤作用。

3) 海流的影响。

水雷入水时受海流冲击，使其漂离预定位置，从而影响布雷准确性。若布雷水域流大，锚雷就会产生较大偏降，高潮时对吃水浅的敌舰船就会失去打击作用，沉底水雷布下后将会出现严重位移，雷区范围将会发生变化。

4) 底质的影响。

若海底底质是较厚的淤泥，沉底雷布下后 24 h 内就会被完全掩埋，超声和音响引信的水雷就会失去作用。

不规则的海底形貌和海底岩石区域，能形成声屏蔽，水雷可容易地隐蔽起来，这些情况显著体现在岸边海滩和浅水区。

5) 涡流的影响。

强烈的湍流和水中气泡饱和度，使得声、光探测系统失效。

6) 潮汐的影响。

潮汐引起海面水位的周期性升降，直接影响水雷深度的改变。潮汐对水雷水压的影响不能忽视。

对非触发沉底水雷，潮汐引起的水深变化直接

影响其水面破坏半径的大小，水面上升时破坏半径较小，水面下降时破坏半径增大。

7) 风浪的影响。

风浪大的海域，浅水锚雷容易出现断索、雷体漂浮于水面的现象，不仅会造成雷区稀化、暴露布雷企图，而且浮雷还会对非交战方和己方航行舰船、海上设施造成危害。风浪同时影响水雷探测性能。

8) 透明度的影响。

若海水透明度高，定深浅的锚雷和在浅水里航行的巡航水雷就易于被对方发现，失去其隐蔽性。

3 环境影响下水雷作战效能评估

水雷及水雷阵必须根据不同的海区信息并结合自身特点形成有效的使用组合，才能发挥水雷武器的最大作战效能。环境对作战效能的影响，如何将定性分析与定量分析结合，为水雷战决策指挥提供客观、定量的决策参考，是目前急需解决的问题。

针对具体的打击目标、封锁区域、时长和不同的战场敌我环境，不同的水雷有不同的作战使命。环境影响下水雷作战效能评估及量化的一般步骤简要举例如下。

第 1 步：建立环境因素到作战效能评估的层次结构。

从上到下，1 级效能为最终水雷作战效能 E ，即完成既定任务的能力，2 级作战效能为支持 1 级效能的能力，可分为：毁伤攻击能力 E_1 、目标探测能力 E_2 、生命力 E_3 。

将 2 级效能参数进一步细分为具体的参数指标：毁伤攻击能力分为破坏威力、破坏半径、动作概率；目标探测能力分为声探测、磁探测、水压探测能力；生命力分为抗猎扫能力、抗自然干扰能力和抗爆炸冲击能力等。这些效能参数指标直接受环境影响，受影响的程度一般可以构造固定的数学或物理模型支撑，比如环境噪声对声探测的影响、涌浪对水压探测的影响、水深对目标探测的影响等。最底层是相关的海洋环境要素，假设有 n 个环境要素。建立环境因素到作战效能的模型层次结构如图 1 所示。

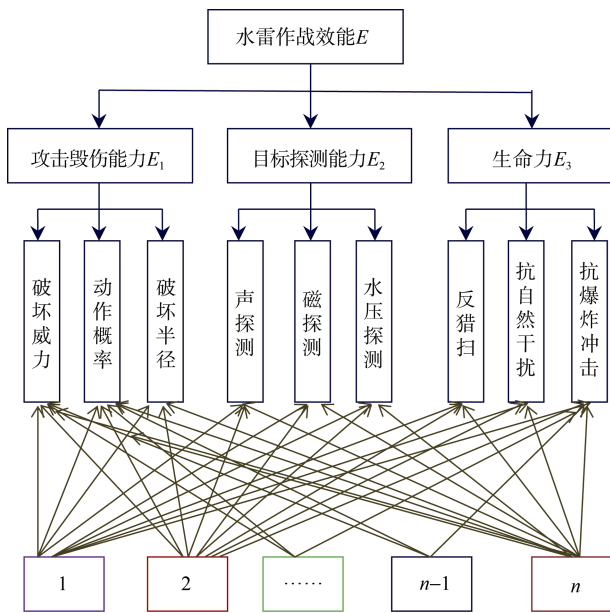


图 1 作战效能评估的层次结构

Fig. 1 Hierarchy of operational effectiveness evaluation

第 2 步: 构造模糊隶属函数对环境要素归一量化。

环境因素纷繁复杂, 表征方式不一, 根据不同的环境要素对水雷效能参数指标的影响程度, 对各类环境因素归一量化。把最有利于水雷作战效能发挥的环境因素取值接近“1”, 最不利的取值接近“0”。构造模糊隶属函数对环境要素归一量化。

本文以目标探测能力受涌浪、水深的影响程度, 来说明对涌浪、水深这 2 个海洋环境要素的归一量化过程。

GJB 7868—2012ZZ《建模与仿真海洋环境数据通用要求》对涌浪分为 9 个级别, 如表 1 中的前 3 列所示。针对图 1 中的第 3 级效能参数“水压探测”, 环境参数涌浪归一量化构造的模糊隶属函数为

$$\mu = 0.98 - \frac{x}{10}$$

式中: μ 为归一量化涌浪值, 待后续水雷作战效能评估模型处理; x 为得到的布雷区域涌浪预报海况级别。

海域水深对水雷效能有直接影响。假设水雷使用水深 40 m, 炸药破坏半径 30 m, 水深 25 m 是其最佳使用水深, 构造关于水深的中间对称型正态模糊隶属函数:

$$\mu = e^{-k(x-25)}$$

式中: μ 为归一量化水深值; x 为得到的布雷区域水深, 单位为 m; k 为常数, 根据实际情况和经验调整。函数图形如图 2。

表 1 涌浪等级归一量化
Table 1 Normalization of swells

海况级别 x	对应涌浪名	有效波高 $H_{1/3}$ 范围/m	归一量化值 μ
0	无涌	0	0.98
1	小涌	$H_{1/3} < 0.1$	0.88
2	小涌	$0.1 \leq H_{1/3} < 0.5$	0.78
3	中涌	$0.5 \leq H_{1/3} < 1.25$	0.68
4	中涌	$1.25 \leq H_{1/3} < 2.5$	0.58
5	大涌	$2.5 \leq H_{1/3} < 4$	0.48
6	大涌	$4 \leq H_{1/3} < 6$	0.38
7	巨涌	$6 \leq H_{1/3} < 9$	0.28
8	巨涌	$9 \leq H_{1/3} < 14$	0.18
9	巨涌	$14 \leq H_{1/3}$	0.08

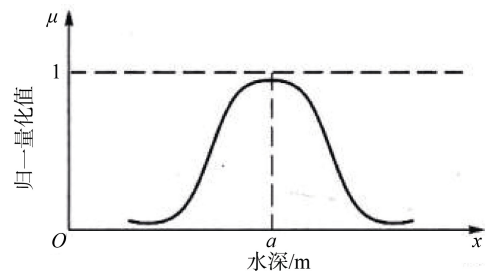


图 2 正态模糊隶属函数^[6]

Fig. 2 Normal fuzzy membership function

表 2 水深归一量化

Table 2 Normalization of water depths

水深 x/m	归一量化值 μ (k 取值 0.1)
5	0.13
10	0.22
20	0.6
25	1
30	0.6
40	0.22
45	0.13

同理, 对所有的海洋环境因素建立模糊隶属函数。将获取的水雷布放点环境参数带入所建立的模糊隶属函数, 得到归一量化值序列 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{n-1}, \alpha_n)$ 。

第 3 步：水雷作战效能评估。

采用图 3 所示的神经网络信号处理模型，对归一量化值序列进行综合处理，输入为当前归一量化的环境因素序列，输出为量化的 2 级效能评估参数。

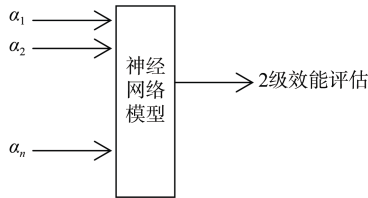


图 3 神经网络信号处理模型

Fig. 3 Neural network processing mode

神经网络是一种复杂的非线性处理系统，可实现复杂的非线性映射关系，更具吸引力的是，这种输入 / 输出映射关系可以通过自适应、自组织的有监督机器学习来实现^[7]。

神经网络模型是采用机器学习方式获得的。

机器学习 (Machine Learning) 在各个领域中得到了广泛的应用，并在应用领域中形成了自己固有的特色。目前最主要的应用领域有：专家系统、认识模拟、规划和问题求解、数据挖掘等^[8]。

环境因素到作战效能参数评估的目的是寻找一个函数，将环境因素转换为效能评估值。

机器学习首先要构建训练学习样本文件，依据专家知识构造或从数据库中抽取训练数据集。

训练样本数据组有 n 个输入变量 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ ， y_k 是该组数据的效能影响输出。将其定义为 $[0, 1]$ 区间上的一个数，用于描述不确定性观测数据的模糊状态，表示效能的可信度，“0”表示完全不能发挥效能，“1”表示能发挥最佳效能。

机器学习依次将所有样本作用于神经网络，网络通过误差反馈控制进行自适应学习，不断调整神经网络参数 (连接权值与阈值)，直到对应每个输入的网络实际输出等于或接近期望输出^[9]。

依照相同的方法，分别完成水雷 2 级作战效能评估后，得到毁伤攻击能力 E_1 、目标探测能力 E_2 、

生命力 E_3 ，根据水雷布雷使命和具体任务，对 2 级作战效能分配权重 W_1 、 W_2 、 W_3 ，各权重累加和为 1，则水雷作战效能 E 可表示为

$$E = E_1 \times W_1 + E_2 \times W_2 + E_3 \times W_3$$

4 结束语

本文提出并定性分析了海洋环境对水雷作战效能的影响，基于层次分解与多方法互补思想，用层次分析法对水雷作战效能水下环境影响评估问题作了结构分析，建立了水雷作战效能与海洋环境之间的目标关联和层次结构；提出了采用模糊隶属函数对环境因素进行归一量化，此基础上，提出了采用利用机器学习，代入专家经验，构造神经网络模型，建立环境因素到作战效能的非线性映射，从而得到了量化的水雷的综合作战效能评估，对海洋环境对水雷作战效能的影响提供了客观、定量的决策参考。本文的研究成果可应用于水雷战法研究和布雷作战训练。

参考文献

- [1] 余湖清, 孙朴. 水雷总体技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 方书甲. 海洋环境对海军装备性能的影响分析[J]. 舰船科学技术, 2004, 26 (2): 5-10.
- [3] 颜冰, 董理, 张晓兵. 水雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018.
- [4] 中国船舶重工集团公司. 海军武器装备与海战场环境概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [5] 陈韶华. 水下自主声探测[M]. 北京: 国防工业出版社, 2020.
- [6] 蔡鲲, 陈焕杰. 水雷引信技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [7] HAYKIN S. 神经网络原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [8] 雷国平, 肖科. 基于机器学习的基础算法研究综述[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2020, 12 (8): 18-19.
- [9] 周德华, 张小兵. 智能化水雷引信及其评估方法[J]. 海军工程大学学报, 2004, 16 (1): 48-53.

(责任编辑: 曹晓霖)