

基于贝叶斯—熵权法的岸舰导弹作战效能研究

张海峰,于忠琳,谢宇鹏

(海军航空大学,山东 烟台 264001)

摘要:通过系统分析岸舰导弹作战流程,确定了影响岸舰导弹作战效能的4个主要因素。选取了17个指标,构建了岸舰导弹作战效能评估模型,运用贝叶斯网络原理以及熵权法对模型进行仿真,并针对仿真结果,提出岸舰导弹战斗使用和装备发展对策建议。

关键词:岸舰导弹;贝叶斯网络;熵权法;效能评估

中图分类号:TJ761

文献标志码:A

海上作战力量是各国军事力量发展的重要部分,也是夺控制海权的主要力量支撑。其中,战斗舰艇作为主要海上作战平台的作用尤为突出。近年来,随着军事科学技术的不断发展,各国的海上力量也在迅速增强。比如日本,其海上自卫队舰艇编队的编组由10年前“八八”编队扩展为“十十”编队,其发展速度对周边国家构成了极大威胁^[1]。同时,反舰导弹武器也在飞速发展,但通过多平台发射反舰导弹对海上舰艇编队进行超视距打击,目前仍是打击水面舰艇的主要作战手段^[2]。

岸舰导弹是由机动式或固定式岸基平台发射的反舰导弹。岸舰导弹的主要优势是部署灵活、简便快捷以及目标毁伤能力较强。此外,还可以依托岸陆地形实现隐蔽机动和快打快撤,极大地提升了发射兵力的生存能力。随着岸舰导弹在射程、航路规划、飞行速度、抗干扰等方面性能的提高,岸舰导弹的优势越加明显,在未来对海突击作战中将发挥重要的火力骨干作用。

以往相关文献大多集中阐述反舰导弹的毁伤效能或对水面舰艇的突防效能等方面内容^[3-10],本文在充分分析以往反舰导弹效能研究文献的基础上,尝试从整个岸舰导弹武器系统作战流程出发,运用贝叶斯网络原理,建立岸舰导弹全作战流程的效能评估模型。

1 岸舰导弹作战流程分析

1.1 岸舰导弹武器系统

岸舰导弹武器系统通常由导弹、武器控制系统和技术支援系统组成。按照火力单元配置,一般单个火

力单元的基本配置为导弹发射车、武器控制车、维护保障车,某些型号还配有指挥车、导弹贮运车和雷达车^[11]等,如图1所示。岸基雷达的预警探测范围有限,难以满足现代战争中大范围、远距离作战需求。因此,目前典型的岸舰导弹系统,战时须要依靠上级指挥所提供目指信息。

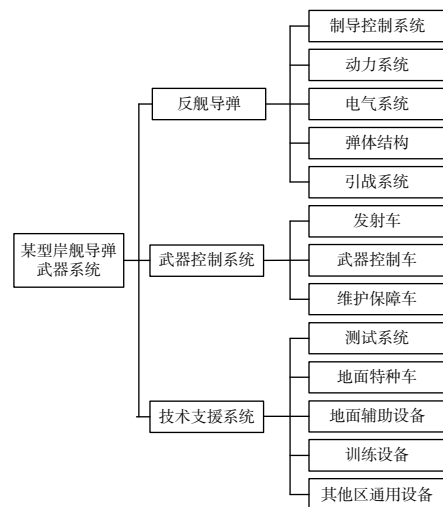


图1 某型岸舰导弹武器系统组成框图

Fig.1 Block diagram of a type of shore-ship missile weapon system

1.2 岸舰导弹作战流程

岸舰导弹作战流程总体上可归结为4个主要阶段:情报获取、机动待机、作战筹划、发射撤收。

在情报获取阶段,从上级指挥所获取所需的目指信息;在机动待机阶段,岸导兵力按照作战行动方案要求,按时由驻地隐蔽机动至发射阵地;在作战筹划

收稿日期:2020-07-01; 修回日期:2020-07-22

基金项目:国家社科基金军事学资助项目(2019-SKJJ-C-020)

作者简介:张海峰(1969-),男,副教授,硕士。

阶段,指挥员及指挥所人员对情报进行分析处理后,制定导弹攻击方案并报请上级指挥所批准;在发射以及撤收阶段,发射兵力将完成阵地展开、导弹射前准备、听令发射及撤收。作战流程如图2所示。

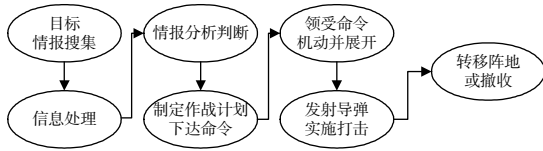


图2 某型岸舰导弹武器系统作战流程

Fig.2 Operational flow of a type of shore-ship missile weapon system

1.3 影响岸舰导弹作战效能的主要因素

由岸舰导弹作战流程可知,影响岸舰导弹作战效能的主要因素有:目指信息、指挥控制、生存能力、毁伤能力^[12]。其中,目指信息是否及时准确是前进指挥所能否做出准确判断并下达准确打击命令的关键,也是反舰导弹能否成功搜索目标并实施精确打击的前提;指挥控制在整个战斗行动中相当于人类大脑的作用,是确保参战兵力与岸舰导弹武器系统完美结合,最大限度地发挥部队战斗力的核心;战场生存能力是实施导弹突击行动的前提条件,只有保全自己才能消灭敌人,战场生存将贯穿岸导兵力机动行军、阵地展开、射前准备、导弹发射、撤收待机阶段;毁伤能力(火力打击能力)则是指整个导弹系统的作战过程,包括导弹的发射、飞行、制导、搜索、命中以及对敌毁伤概率,是整个武器系统完成作战任务的实施部分,决定了整个作战的成败。

2 岸舰导弹作战效能评价指标体系

对岸舰导弹武器系统整体作战效能进行评估,须要从定性和定量2个方面选取评价指标。通过前文对岸舰导弹武器系统整个作战流程分析,可依此确定岸舰导弹作战效能评价指标,并构建评价体系。

2.1 评价指标的选择

根据对相关文献研究^[13],很多功能性指标与时间性指标之间存在着耦合性关系。比如,部队的快速机动能力是功能性指标,而与之对应的部队机动时间是时间性指标。在实际作战中,机动能力强,机动时间必然会缩短。所以笔者认为,这2种指标存在于同一个评价体系中是不合理的。为了使评价体系更加合理,经综合考虑影响岸舰导弹作战效能的主要因素以及各影响因素所包含指标特性,最终确定评价指标如

下:

目指信息:目标探测能力、目标跟踪能力、目标数据处理能力、目标信息传输能力。

指挥控制:情报处理能力、态势判断能力、数据链传输能力、决策部署能力。

生存能力:部队训练水平、机动路线选择能力、发射阵地选择能力、武器系统本身性能(指雷达辐射值、整体目标大小、迷彩喷涂等隐蔽性固有性能)。

火力打击:发射装置可用性、飞行稳定性、目标选择与跟踪能力、末端突防能力、战斗部毁伤能力。

2.2 评价体系的构建

根据前文确定的17个评价指标确定岸舰导弹武器系统作战效能评价体系,如图3所示。

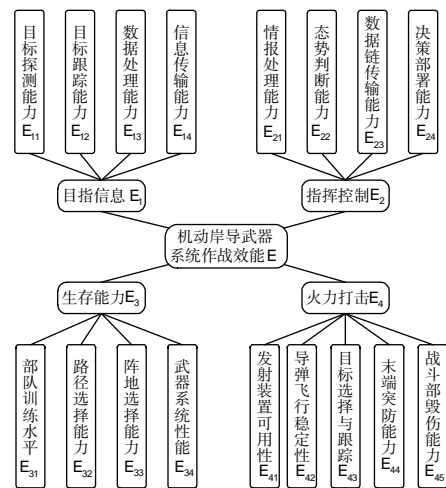


图3 某型岸舰导弹武器系统效能评价体系

Fig.3 Evaluation system for the effectiveness of a type of shore-ship missile weapon system

3 基于贝叶斯网络的岸舰导弹作战效能评估模型

3.1 贝叶斯网络

贝叶斯网络以贝叶斯公式为基础,是由网络结构以及条件概率构成的具有节点以及有向弧的有向无环图^[14]。如果用 G 来表示网络结构,用 P 来表示节点概率,则贝叶斯网络 B 可以表示为 $B = \langle G, P \rangle$;而假定网络结构 $G = \langle D, L \rangle$,其中,集合 L (line) 为有向线的集合, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$, D (dot) 为网络中的节点变量集, $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 。设 $1 \leq i \leq \dots \leq j \leq n$,则可以说,当存在有向线 $L_k = (D_i, D_j)$ 时,称 D_i 为有向线中的父节点, D_j 为有向线中的子节点;当不存在有向线 $L_k = (D_i, D_j)$ 时,即可以称没有子节点的节点为根节点,

没有父节点的节点为叶节点^[15]。以上是贝叶斯网络的基本构架。

在前文构建了岸舰导弹武器系统作战效能评价体系,根据贝叶斯网络基本架构,可以构建效能评估模型,见图4。

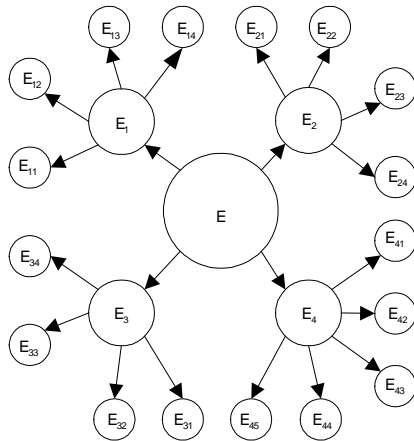


图4 岸舰导弹武器系统效能评估贝叶斯模型

Fig.4 Bayesian model of effectiveness evaluation shore-ship missile weapon system

3.2 效能评估实例

下面举例说明效能评估流程。

1)确定节点等级。根据导弹武器系统作战的实际情况,设定各子节点(E_{ij})等级{好,一般,差},即为{good, general, bad};设定各父节点(E 、 E_i)等级为{好,一般,差},即为{good, general, bad}。以0~1来具体划分等级,差:0~0.5,一般:0.5~0.75,好:0.75~1。

2)收集节点数据并计算先验概率。确定4个根节点的权重,其流程及计算公式为如下^[16]:

①对矩阵数据进行无量纲化处理,基本公式为

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (1)$$

式(1)中, $x_{i\max}$ 、 $x_{i\min}$ 分别为矩阵行数据的最大、最小值。

②对矩阵进行标准化处理,公式为

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^n x'_{ij}} \quad (2)$$

③计算第*i*项指标熵值,熵值计算公式为

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

运用下式得出各指标权重

$$\omega_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

④利用隶属度加权的方式求出根节点先验概率:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_j\}$, 其中, $p_j = \sum_{i=1}^n \omega_i \gamma_{ij}$, γ_{ij} 为节点隶属度^[17]。

⑤代入数据。以节点 E_1 为例。邀请8位专家对节点指标进行打分,见表1。

表1 专家打分情况表

Tab.1 Expert rating scoring table

节点指标	专家1	专家2	专家3	专家4	专家5	专家6	专家7	专家8
目标探测	84	92	74	48	89	94	59	77
目标跟踪	83	58	76	65	82	68	44	66
数据处理	85	91	88	87	90	73	83	85
数据传输	82	90	94	80	74	91	84	73

经过计算,得出节点先验概率为(0.661, 0.282, 0.057)。同理,可以计算出其他3个节点先验概率分别为:

$$E_2 : (0.193, 0.602, 0.205);$$

$$E_3 : (0.888, 0.112, 0);$$

$$E_4 : (0.875, 0.125, 0)。$$

3)使用Netica软件对作战效能进行评估。根据贝叶斯网络的基本原理,运用Netica进行仿真的基本步骤为:构造贝叶斯网络模型,输入节点CPT,再输入原始数据进行运算,即可得出仿真结果,如图5所示。

3.3 仿真结果分析

结合专家打分,得到如图5所示仿真结果,对数据进行分析,可以得到如下结论。

1)岸舰导弹在反舰作战方面的优势比较明显,在对海突击作战中应当注重发挥其优势。

根据仿真结果,岸舰导弹武器系统的生存能力各项数据都比较高。与其他平台发射的反舰导弹相比,岸舰导弹的优势在于其良好的技术稳定性、机动性以及可以依托岛岸达成的自身隐蔽性。空中飞机平台和海上舰艇平台均受到隐蔽性差和重复装填困难的局限,而潜艇平台虽然隐蔽性得到提升,但水下机动性以及数据沟通困难的劣势同样明显。与三者相比,机动式岸导兵力既可以利用复杂地形快速机动,实现隐蔽对海突击,又可以满足实施饱和攻击和重复装填,战术更灵活,相较而言,优势明显。

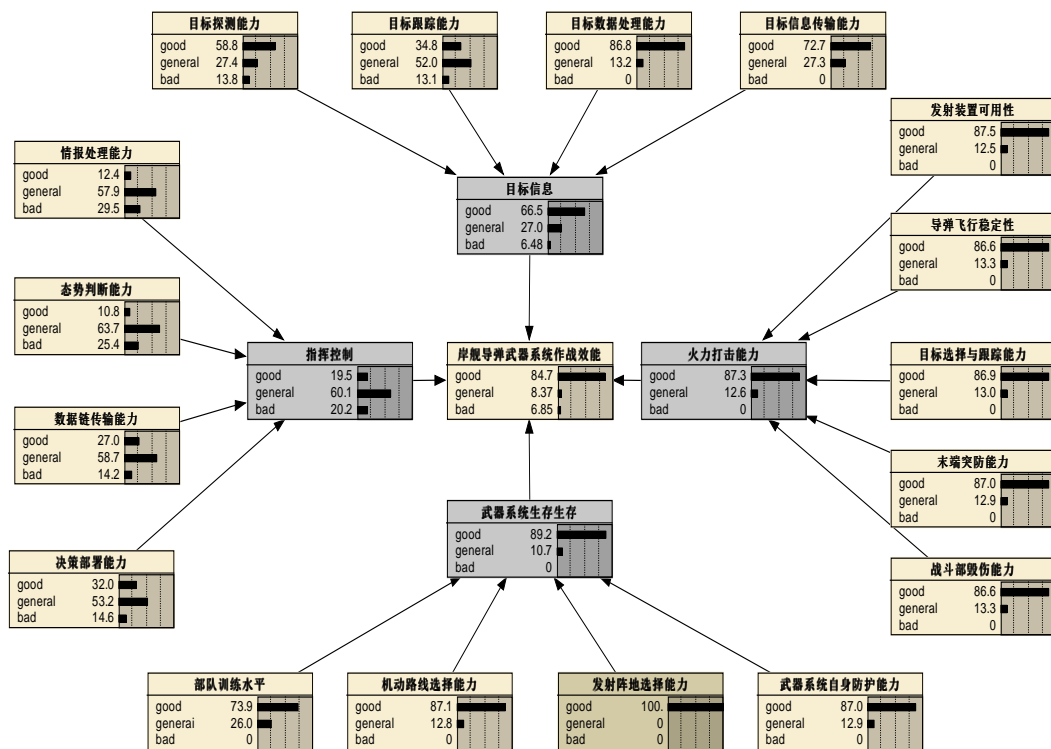


图5 Netica仿真结果

Fig.5 Netica simulation results

2)数据链路是岸舰导弹武器系统的神经网络,战时必须确保链路畅通。机动岸舰导弹能否发挥正常作战效能,前提是目标信息链路、指挥命令链路和武器控制链路的畅通与否。从贝叶斯网络图也可以看出,影响岸舰导弹作战效能的4个主要因素都离不开完整稳定的数据链传输网以及通讯网络,这也是岸舰导弹武器系统的重点环节。所以,在作战中,链路畅通显得尤为重要。

3)岸舰导弹武器系统技术性能是提升导弹突击效果的基本条件。在目标信息探测跟踪准确、指挥决策正确无误、武器系统确保生存前提下,导弹自身的技术性能将成为决定对海突击任务成败的关键,也是最根本的决定因素。因此,不断提升岸舰导弹技术性能是十分必要的。比如,增加多次攻击能力可以在导弹射程满足的前提下提升目标捕捉能力^[18];导弹飞行速度的提高可以增大突防概率;导弹航路规划能力的提高可以增大战场生存能力和突击效果;超低空巡航可以降低导弹被发现及拦截概率等。

4 结束语

本文从作战角度出发,系统分析了岸舰导弹武器系统的作战流程,并根据其作战流程,从目指信息、指挥控制、武器系统生存、火力打击4个方面选取17个

指标对导弹武器系统整体作战效能进行了评估,并依据仿真结果提出岸舰导弹战斗使用和装备发展相关对策建议。本文在指标选取时着重考虑功能性指标,在对时间性指标的考虑上有所欠缺,在以后的研究中将会对时间性指标加以侧重。

参考文献:

[1] 叶秋玲,赵林. 日本“万吨大驱”下水,欲重振海上雄风[J]. 军事文摘,2019(19):38-41.
 YE QIULING, ZHAO LIN. Japan's "ten-thousands ton large destroyer" was launched in an attempt to revive its maritime power[J]. Military Digest, 2019(19):38-41. (in Chinese)
 [2] 乔金水,曾清. 水面舰艇反导弹综合对抗方法[C]//中国造船工程学会电子技术学术委员会2006学术年会. 北京,2006:404-407.
 QIAO JINSHUI, ZENG QING. Comprehensive anti-missile countermeasures for surface ships[C]//The 2006 Academic Conference of the Electronic Technology Academic Committee of China Shipbuilding Engineering Society. Beijing, 2006:404-407. (in Chinese)
 [3] 巫银花,何长青,宋勇. 基于熵权法的潜射反舰导弹作

- 战效能灰色关联评估方法[J]. 兵工自动化, 2015, 34(2):40-42.
- WU YINHUA, HE CHANGQING, SONG YONG. Evaluation method of submarine anti-ship missile effectiveness based on the theory of information entropy and grey system[J]. Ordnance Industry Automation, 2015, 34(2):40-42. (in Chinese)
- [4] 吴惠喜, 董受全, 隋先辉, 等. 基于BP神经网络的反舰导弹作战效能模糊综合评估模型及其仿真[J]. 舰船电子对抗, 2010, 33(5):96-99.
- WU HUIXI, DONG SHOUQUAN, SUI XIANHUI, et al. Fuzzy integrative evaluation model of anti-ship missile operational effectiveness based on BP neural network and its simulation[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2010, 33(5):96-99. (in Chinese)
- [5] 杨世荣, 李新其, 李红霞. 基于改进ADC方法的陆基常规导弹主战系统作战效能评估模型[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26(6):20-23.
- YANG SHIRONG, LI XINQI, LI HONGXIA. Evaluation model of operational effectiveness based on the improved ADC for the main combat system of conventional land-missile[J]. Information Command Control System and Simulation Technology, 2004, 26(6):20-23. (in Chinese)
- [6] 鞠巍, 童幼堂, 王泽, 等. 基于集对分析法的反舰导弹武器作战效能评估[J]. 战术导弹技术, 2010(6):13-15.
- JU WEI, TONG YOUTANG, WANG ZE, et al. Evaluation of operational effectiveness for anti-ship missile weapon based on SPA-method[J]. Tactical Missile Technology, 2010(6):13-15. (in Chinese)
- [7] 王光源, 沙德鹏, 张有志, 等. 基于实战环境的反舰导弹武器系统作战效能评估[J]. 海军航空工程学院学报, 2017, 32(1):105-110.
- WANG GUANGYUAN, SHA DEPENG, ZHANG YOUZHI, et al. Combat effectiveness of anti-ship missile weapon system based on practical environment[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2017, 32(1):105-110. (in Chinese)
- [8] 薛锋, 滕克难, 欧阳中辉. 反舰导弹对水面舰艇编队航空导弹突防能力的研究[J]. 飞航导弹, 2003(5):35-37.
- XUE FENG, TENG KENAN, OUYANG ZHONGHUI. Study on the anti-ship missile's anti-ship formation missile's anti-aircraft capability[J]. Aerodynamic Missiles Journal, 2003(5):35-37. (in Chinese)
- [9] 于德新, 武志东, 张平. 基于“效率”的反舰导弹武器作战效能评估方法[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(2):20-22, 34.
- YU DEXIN, WU ZHIDONG, ZHANG PING. Methods for evaluating the operational effectiveness of anti-ship missile weapons based on “efficiency” [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2012, 33(2):20-22, 34. (in Chinese)
- [10] 栾孝丰, 温瑞. 基于UML和ADC法的舰载反舰导弹武器系统效能评估[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(8):135-137, 149.
- LUAN XIAOFENG, WEN RUI. Evaluation for ship-to-ship missile weapon system effectiveness based on UML and ADC method [J]. Computer and Digital Engineering, 2010, 38(8):135-137, 149. (in Chinese)
- [11] 孙胜, 王钦伟, 曹洁, 等. 反舰导弹研究现状与发展趋势综述[J]. 航天控制, 2017, 35(3):79-84.
- SUN SHENG, WANG QINWEI, CAO JIE, et al. A survey on research status and development trend for anti-ship missile[J]. Aerospace control, 2017, 35(3):79-84. (in Chinese)
- [12] 高晓光, 陈海洋, 符小卫, 等. 离散动态贝叶斯网络推理及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2016:56-65.
- GAO XIAOGUANG, CHEN HAIYANG, FU XIAOWEI, et al. Discrete dynamic bayesian networks inference and its application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016:56-65. (in Chinese)
- [13] 纪永清, 纪军, 沈培志. 海军武器系统作战效能评估[M]. 北京:海潮出版社, 2009:6-11.
- JI YONGQING, JI JUN, SHEN PEIZHI. Operational effectiveness assessment of naval weapon systems[M]. Beijing: Haichao Press, 2009:6-11. (in Chinese)
- [14] 舒建生, 姚群, 武健, 等. 基于贝叶斯网络的常规导弹反舰作战效能评估[J]. 火力指挥与控制, 2019, 44(1):114-118.
- SHU JIANSHENG, YAO QUN, WU JIAN, et al. Evaluation of conventional missile anti-ship combat effectiveness based on bayesian network[J]. Fire Control & Command Control, 2019, 44(1):114-118. (in Chinese)
- [15] 厉海涛, 金光, 周经伦, 等. 贝叶斯网络推理算法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(5):935-939.
- LI HAITAO, JIN GUANG, ZHOU JINGLUN, et al. Survey of Bayesian network inference algorithms[J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(5):935-939. (in Chinese)
- [16] 秦园丽, 张训立, 高桂清, 等. 基于ANP-熵权法的反舰

- 导弹作战体系效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(5):48-53.
- QIN YUANLI, ZHANG XUNLI, GAO GUIQING, et al. Effectiveness evaluation of anti-ship missile combat system based on ANP-entropy method[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2020, 41(5):48-53. (in Chinese)
- [17] 曹菲, 曹海, 朱晓菲. 武器电子系统质量评估[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014:74-82.
- CAO FEI, CAO HAI, ZHU XIAOFEI. Assessment of the quality of weapons electronic systems[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2014:74-82. (in Chinese)
- [18] 沈培志, 李吉, 王宗杰, 等. 反舰导弹8字形二次攻击目标搜索效能评估模型[J]. 海军航空工程学院学报, 2019, 34(5):453-458.
- SHEN PEIZHI, LI JI, WANG ZONGJIE, et al. Search efficiency evaluation model of anti-ship missile's 8-shaped second attack target[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2019, 34(5):453-458. (in Chinese)

Research on the Operational Effectiveness of Shore-ship Missiles Based on Bayesian-Entropy Weight Method

ZHANG Haifeng, YU Zhonglin, XIE Yupeng

(Naval Aviation University, Yantai Shandong 264001, China)

Abstract: Through systematic analysis of the combat process of shore-ship missiles, four main factors affecting the operational effectiveness of shore-ship missiles are determined. The 17 indicators were selected, the evaluation model of the operational effectiveness of the shore-ship missile was constructed, the model was simulated by the Bayesian network principle and the entropy weight method, countermeasures and suggestions for the operational application of shore-ship missile and equipment development were put forward based on the simulation results.

Key words: shore-ship missiles; Bayesian network; entropy weight method; effectiveness assessment

简讯:

舰载机基地舰载战斗机飞行学员实战化训练掠影

近日,海军航空大学训练基地组织舰载战斗机飞行学员开展编队、特技、陆基模拟着舰等课目训练。严格按照新大纲、新法规组训施训,依据“严把条件、科学统筹、优化模式、稳好节奏”的思路,着力提高飞行训练的准备质量、组训质量和保障质量,有效锤炼了飞行学员过硬的飞行技术和心理素质。

