

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.013

## 机载浮标搜潜系统搜潜效能评估模型

许爱强<sup>1</sup>, 盛沛<sup>2</sup>, 谭勳<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院 ATE 研究所 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为了对机载浮标搜潜系统的作战效能进行合理评估, 建立机载浮标搜潜系统的搜潜效能评估模型。利用 WSEIAC 系统效能评估模型, 量化搜潜效能指标, 建立机载浮标搜潜系统搜潜效能方程。将浮标阵列作为子系统, 考虑其成活率问题, 使模型更加贴合战术使用实际; 将搜潜过程分为检查维修阶段和执行任务阶段, 分别考虑其可维修性, 使模型更加贴合部队保障实际。仿真实验结果证明: 该模型切实可行, 为此类装备的研制、推广及作战使用提供辅助的决策依据。

**关键词:** 效能评估; 机载浮标搜潜系统; 浮标成活率

**中图分类号:** TJ67 **文献标志码:** A

## A Model for Evaluating Submarine Reconnaissance Effectiveness of Air-Borne Buoy Submarine Reconnaissance System

Xu Aiqiang<sup>1</sup>, Sheng Pei<sup>2</sup>, Tan Xu<sup>2</sup>

(1. Research Institute of ATE, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In order to evaluate the operational effectiveness of the air-borne buoy submarine reconnaissance system properly, the model for the air-borne buoy submarine reconnaissance system submarine reconnaissance effectiveness is established. By the way of the WSEIAC model, the guide lines is quantified, and the equation for the air-borne buoy submarine reconnaissance system submarine reconnaissance effectiveness is deduced. The way treating the buoy array as a subsystem and considering its survival rate makes the model correspond to the tactics reality; the way marking off the reconnaissance process as the maintenance stage and the task stage, considering their maintainability, makes the model correspond to the supportability reality. The simulation result shows its validity. This method offers the decision basis for development, improvement and combat of this kind of equipments.

**Keywords:** effectiveness evaluation; air-borne buoy submarine reconnaissance system; buoy survival rate

### 0 引言

自 1943 年加拿大空军在飞机上投下世界上第一枚声纳浮标起, 至今声纳浮标已经发展成为众多国家航空探潜的主要器材<sup>[1]</sup>。随着我海军逐渐从黄海走向蓝海, 所面临的海洋作战环境日益复杂, 反潜直升机作为现代航空反潜作战的一种重要平台, 在我海军的搜潜反潜作战中发挥着越来越重要的作用。机载浮标搜潜系统作为其基本设备之一, 可对潜艇的活动构成较大的威胁。因此, 对机载浮标搜潜系统的作战效能进行合理评估就显得尤为必要。

机载浮标搜潜系统也叫声纳浮标系统, 一般由机上浮标投放装置、多频道超短波浮标信号接收机、浮标信号处理和显示设备以及声纳浮标等组成<sup>[1]</sup>。声纳浮标是无线电声纳浮标的简称, 是反潜机布放于潜艇可能存在的海域, 并通过无线电发送目标信

息给载机的探潜器材<sup>[1-2]</sup>。声纳浮标是一次性使用器材, 工作后自沉海底。当发现浮标出现故障时, 无法对其进行维修, 只能采取补投等补救措施, 因此在进行效能评估时应考虑浮标成活率及补投战术对系统效能的影响。

我国目前比较热门的研究方向多在战术领域, 如浮标的最佳布放位置、浮标阵形对作战效能的影响等, 在自主研发航空反潜器材方面我国还处于起步阶段。因此, 笔者从设计特性、保障能力等方面对搜潜效能进行评估, 为我海军建设提供参考。

### 1 模型引用

按照美国工业武器系统效能咨询委员会的定义, 武器系统的效能是指系统完成任务的能力, 是一个系统满足一组特定任务要求程度的度量, 它是系统可用性、可信性和固有能力的综合反映, 其模

收稿日期: 2011-03-23; 修回日期: 2011-05-16

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140A25070208JB1402)

作者简介: 许爱强(1963—), 男, 山东人, 博士, 教授, 从事军用装备自动检测技术。

型<sup>[3]</sup>为  $E=A \cdot D \cdot C$ 。式中： $E$  为系统效能向量； $A$  为系统可用性向量； $D$  为系统可信性矩阵，用于描述系统处于不同状态的概率； $C$  为系统作战能力向量。

这种效能评估方法结构比较简单，计算方便，强调了武器系统的可靠性、维修性以及作战人员素质、可修复性等因素<sup>[4]</sup>。可以看出，系统可用性  $A$  和可信性  $D$  与评价对象的性能有关，而系统能力  $C$  与战场环境和任务要求等密切相关。机载浮标搜潜系统所工作的环境恰好符合这一特点，因此使用该模型较为合适。

单个浮标入水后出现故障是无法修复的，但对浮标阵列而言，搜潜效能与出现故障浮标的位置、浮标阵型、浮标失效时间和载机战术动作等众多因素有关。这种关系满足：当使用补投战术时，可认为无影响；不进行补投时，系统能力按一定函数关系降低。

## 2 搜潜效能指标量化

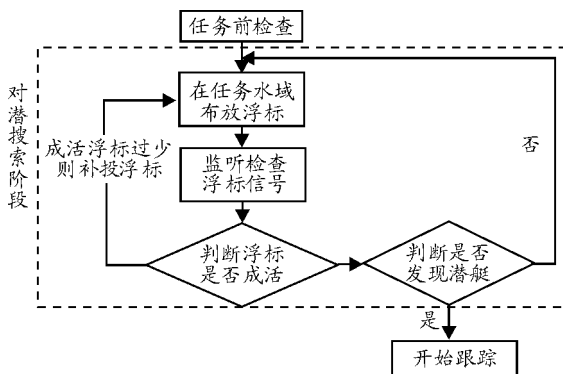


图 1 机载浮标搜潜系统作战流程图

为简便起见，作出如下假设：

- 1) 每枚浮标出现故障的概率均相等，与阵型等因素无关；
  - 2) 浮标只在入水时刻出现故障；
  - 3) 浮标正常工作的时间总大于任务规定时间。
- 则有：

$$k = \begin{cases} L & \text{不使用补投战术时} \\ 1 & \text{使用补投战术时} \end{cases}$$

式中： $k$  为浮标成活率对任务完成能力的影响因子； $L$  为浮标成活率。

综上所述，笔者提出机载浮标搜潜系统的搜潜效能方程如下：

$$E = k \cdot A \cdot D \cdot C \quad (1)$$

机载浮标搜潜系统的主要任务是利用探测、定位、计算和显示等手段，发现敌潜艇目标，进而成

功进行跟踪监视。机载浮标搜潜系统的作战流程图如图 1。其工作过程可简单划分为搜潜阶段和跟踪阶段。笔者只针对搜潜阶段对其进行探讨，即只建立机载浮标搜潜系统的搜潜效能评估模型。

### 2.1 可用性向量 $A$

机载浮标搜潜系统可用性向量是系统的基本可靠性参数。基本可靠性反映的是产品对维修人力的要求。确定基本可靠性参数时，应统计产品所有寿命单位(包括工作时间和储存等非工作时间)和所有的故障(包括影像任务和不影响任务的故障)<sup>[5-6]</sup>。

对于机载浮标搜潜系统而言，开机、供电、自检状态良好、浮标投放设备正常工作等说明系统的可用性得到实现，任何检查未通过都认为系统无法工作。因此系统主要有 2 种最有价值的状态，工作状态和故障状态，用向量表示为：

$$A = (\alpha_1, \alpha_2) \quad (2)$$

式中： $\alpha_1$  为系统处于工作状态下的概率； $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$  为系统处于故障状态下的概率。这里的  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  均为战备完好性参数，其量值与下列因素有密切关系：可靠性与维修性水平、保障系统的特性和保障资源的数量与配置等。更进一步有：

$$A = (\alpha_1, \alpha_2) = \left( \frac{T_{BF}}{T_{BF} + M_{CT} + T_{MLD}}, \frac{M_{CT} + T_{MLD}}{T_{BF} + M_{CT} + T_{MLD}} \right)$$

式中： $T_{BF}$  为平均故障间隔时间； $M_{CT}$  为平均故障修复时间；

$T_{MLD} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i$  为平均保障延误时间， $m$  为实际延误次数， $t_i$  为第  $i$  次延误时间<sup>[6]</sup>。

$T_{BF}$  是可靠性参数， $M_{CT}$  是保障性参数，均属系统固有参数； $m$  和  $t_i$  可在实际使用过程中统计得到。

### 2.2 可信性矩阵 $D$

与 2.1 中的基本可靠性参数不同的是，机载浮标搜潜系统的可信性矩阵是系统的任务可靠性参数。确定任务可靠性参数时，只统计那些在任务剖面内发生的影响任务成功的故障<sup>[7]</sup>。

机载浮标搜潜系统中的信息处理设备等工作时，可能出现故障，一般认为其服从指数分布<sup>[8]</sup>。由于远离地勤保障，系统工作期间出现的故障是很难修复的，因此其修复概率为 0，不可修复的概率为 1。

根据武器装备可信性矩阵的求法<sup>[3]</sup>可以得到机载浮标搜潜系统的可信性矩阵为:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - e^{-\lambda t} & e^{-\lambda t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $d_{11}$  表示系统工作期间保持正常状态的概率;  $d_{12}$  表示系统工作期间出现故障的概率;  $d_{21}$  表示系统工作期间故障的修复概率;  $d_{22}$  表示系统工作期间故障不可修复的概率;  $t$  为任务要求工作时间;

$\lambda = \frac{1}{T_{BF}}$  为系统故障率。

### 2.3 作战能力向量 $\mathbf{C}$

WSEIAC 模型中, 能力矩阵  $\mathbf{C}$  (向量) 是系统效能的集中体现, 也是求解效能的关键所在。一个类似于能力的概念是设计适当性, 用概率性术语表示系统的性能。设计适当性的概念被定义为: 已知一个系统在设计技术要求的范围内工作, 该系统成功地完成赋予它的任务的概率<sup>[3]</sup>。

这里的系统能力即探测目标的能力向量可表示为:

$$\mathbf{C} = (c_1, c_2)^T \quad (4)$$

以发现目标为任务的搜潜系统, 在处于正常工作状态下, 成功完成其任务的概率与装备设计特性、任务环境和人员操作等一系列因素有关。机载浮标搜潜系统的装备设计特性可分为 2 个方面: 信息处理系统的设计特性和声纳浮标的设计特性, 且均可以概率的形式给出。以上因素属于串联关系<sup>[3]</sup>, 因此根据条件概率公式有:

$$c_1 = \iint_S f(x, y) dx dy \cdot P_F \cdot P_C \cdot P_R \quad (5)$$

式中:  $S$  为浮标阵列作用 (封锁) 海域面积,  $f(x, y)$  为任务海域敌潜艇出现位置的概率密度函数;  $P_F$  为不考虑虚警条件下所采用战术浮标阵列发现目标的概率, 与目标水声特性、环境影响等因素有关;  $P_C$  为信息处理系统在正常工作情况下完成任务的概率;  $P_R$  为声纳员进行阈值设定等操作正确合理的概率。

显然, 海域面积  $S$  为任务给定参量;  $P_C$  为产品固有参数;  $P_R$  可由实际统计得到。  $f(x, y)$  与  $P_F$  的获取国内已有较成熟的研究成果, 可参考文献[9]。

故障状态下, 可认为系统不能完成任务, 则:

$$c_2 = 0 \quad (6)$$

### 3 建立作战效能方程

至此, 已对影响机载浮标搜潜系统作战效能的主要因素进行了量化, 由式 (1)~式 (6) 得出作战效能方程:

$$\begin{aligned} E &= k \cdot A \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{C} = \\ &k \cdot (\alpha_1, \alpha_2) \cdot \begin{bmatrix} 1 - e^{-\lambda t} & e^{-\lambda t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \end{pmatrix} = \\ &k \cdot \alpha_1 \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \iint_S f(x, y) dx dy \cdot P_F \cdot P_C \cdot P_R \end{aligned}$$

### 4 结束语

仿真试验结果证明该方法是切实可行的, 可为相关人员提供参考。但是在实际作战、训练的实践中还要考虑诸多因素, 因此实际模型要复杂得多。

### 参考文献:

- [1] 陈建勇, 鞠建波. 航空探潜原理[M]. 北京: 海潮出版社, 2005: 99-104.
- [2] 吴福初, 赵树民. 直升机反潜武装及战斗使用[M]. 北京: 海潮出版社, 2000: 152-153.
- [3] 胡晓惠, 蓝国兴. 武器装备效能分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 94-106.
- [4] 夏志军, 章新华. 一种鱼雷武器系统效能评估的方法[J]. 鱼雷技术, 2001, 9(3): 45-48.
- [5] 康新威, 肖恺. 空投 MK 46 - V 型鱼雷作战能力[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(2): 23.
- [6] 马绍民, 章国栋. 综合保障工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 17-18.
- [7] 陈学楚, 张铮敏, 陈云翔. 装备系统工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 69.
- [8] 池洁. 设备使用过程中的故障分布及可靠度变化分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(5): 51-54.
- [9] 丛红日. 声纳浮标阵搜潜效能通用仿真模型研究[J]. 系统仿真技术, 2010, 6(2): 104-109.