

# 基于专家打分法的自航水雷使用可用度评估方法

郭东旭, 侯发林

(中国人民解放军 91388 部队, 广东 湛江 524022)

**摘要** 战备完好性是衡量武器装备能否担负战备任务的重要战技指标。针对当前自航水雷战备完好性水平系统性评估需求, 适应试验鉴定模式改革背景下评价自航水雷综合保障情况的问题, 在对自航水雷寿命任务剖面分析的基础上, 对影响其战备完好性的重要参数使用可用度进行了研究, 给出了基于专家打分法的评估方法和模型, 该方法可有效分析评估自航水雷使用可用度。

**关键词** 自航水雷; 使用可用度; 专家打分法

**中图分类号** TJ630.7; TJ07 **文献标识码** A

## Evaluation Method for Operational Availability of Self-propelled Mine Based on Expert Scoring Method

GUO Dongxu, HOU Falin

(Unit No. 91388 of PLA, Zhanjiang 524022, China)

**Abstract** Integrity of combat readiness is an important tactical and technical index to measure whether weapons can take combat tasks. In view of evaluation requirements of combat readiness level system of self-propelled mine, in order to adapt the problem of evaluating comprehensive guarantee situation of self-propelled mine under background of test evaluation mode reform, based on the analysis of the self-propelled mine's life mission profile, this paper studies operational availability of important parameters which affect combat readiness, and gives evaluation methods and model based on expert scoring method. This method analyzes and evaluates operational availability of self-propelled mine.

**Key words** self-propelled mine; operational availability; expert scoring method

## 0 引言

自航水雷是海军攻防封锁作战的常规战略武器装备, 常年担负战备值班任务, 因此要求其随时应处于良好技术状态。战备完好性是指装备在平时和战时使用条件下, 能随时开始执行预定任务的能力<sup>[1]</sup>, 它是在编实力、可用性、保障性等的函数, 装备战备完好性是非常重要的性能参数。在衡量装备战备完好性时需考虑装备及其使用特点、可靠性、维修性、保障性, 以及保障资源的数量与配置等

方面, 它是一个装备评估的综合性指标, 也是对装备系统进行效能分析和综合保障分析的基础性指标<sup>[1]</sup>。

装备使用可用度是指与能工作时间和不能工作时间有关的一种可用性参数<sup>[2]</sup>, 是衡量装备战备完好性的重要指标之一。

## 1 自航水雷寿命周期任务剖面分析

水雷属于平时长期贮存, 战时一次布放使用的武器装备, 自航水雷更是具有技术准备要求高、储

存条件要求高、航行时间长、航程远、使用环境复杂、水下服役环境恶劣等技术特点。为有效评估自航水雷装备的战备完好性,需从其全寿命剖面分析

入手,即分析其从工厂交付到寿命终结期间所发生的事件情况。典型自航水雷全寿命周期剖面如图 1 所示。

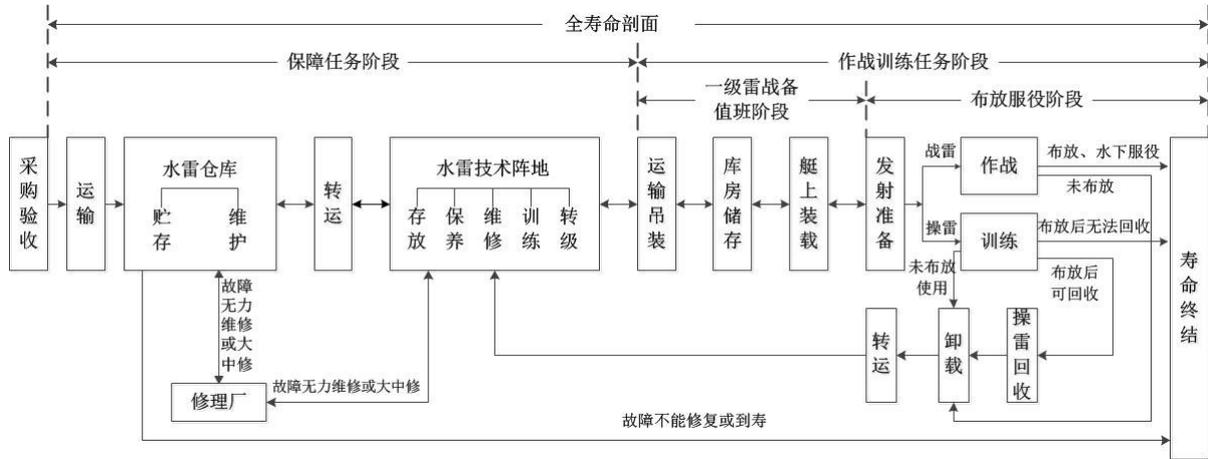


图 1 自航水雷全寿命周期任务剖面

Fig. 1 Mission section of whole life cycle of self-propelled mine

## 2 使用可用度参数分析

根据《GJB 451A—2005ZZ 可靠性维修性保障性术语》的有关定义,使用可用度的度量方法为产品的能工作时间与能工作时间+不能工作时间的和之比。使用可用度全面考虑了产品的工作时间、待机时间、修复性维修时间、预防性维修时间、保障资源延误时间和管理延误时间,能最客观真实地反映装备的战备完好性特点,可有效评估武器装备可随时遂行任务的能力<sup>[3]</sup>。因此可把使用可用度作为度量自航水雷战备完好性的指标。一般情况下使用可用度可表示为<sup>[4]</sup>

$$A_o = \frac{\text{能工作时间}}{\text{能工作时间} + \text{不能工作时间}} = \frac{T_o + T_N}{T_o + T_N + T_p + T_C + T_{DT}} \quad (1)$$

式中: $T_o$  为工作时间; $T_N$  为战备值班时间; $T_p$  为预防性维修总时间; $T_C$  为修复性维修总时间; $T_{DT}$  为保障资源延误和管理延误时间之和。

若自航水雷全年正常担负战备任务时,其使用可用度可转化为

$$A_o = \frac{1 \text{ 年的日历时间} - 1 \text{ 年的不能工作时间}}{1 \text{ 年的日历时间}} =$$

$$\frac{T - (T_p + T_C + T_{DT})}{T} \quad (2)$$

式中: $T$  为 1 年的日历时间总小时数; $T_p$  为平均年预防性维修总小时数; $T_C$  为平均年修复性维修总小时数; $T_{DT}$  为平均年保障延误总小时数。

进一步分解后, $T_C$ 、 $T_{DT}$  表达式为

$$T_C = \frac{T_w \cdot M_{TTR}}{k \cdot M_{TBF}} \quad (3)$$

$$T_{DT} = \frac{T_w \cdot M_{LDT}}{k \cdot M_{TBF}} \quad (4)$$

式中: $T_w$  为平均年工作总小时数; $M_{TBF}$  为平均故障间隔时间; $M_{TTR}$  为平均故障修复时间; $M_{LDT}$  为平均故障保障延误时间; $k$  为 1 年平均因开机工作发生的故障次数占总次数的比值<sup>[5]</sup>。

综合后,使用可用度可用下式表达:

$$A_o = 1 - \frac{T_o \cdot (M_{TTR} + M_{LDT})}{k \cdot M_{TBF} \cdot T} - \frac{T_p}{T} \quad (5)$$

## 3 自航水雷使用可用度评估模型

### 3.1 专家打分法

专家打分法又称为德尔菲法,是一种评估领域常用的方法,它组织若干对被评估装备熟悉的专家,依靠其经验、知识和个人价值观确定指标权重,并通过一定方式对指标权重独立发表见解,并用统

计方法做适当处理<sup>[6]</sup>。其具体做法如下<sup>[7]</sup>:

1) 组织  $r$  个专家,对每个指标影响因素  $X_j(j=1,2,\dots,n)$  的权重进行估计,得到各指标影响因素权重的估计值  $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{kn}(k=1,2,\dots,r)$ ;

2) 计算  $r$  个专家给出的权重估计值的平均值  $\bar{\omega}_j = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r \omega_{kj}(j=1,2,\dots,n)$ ;

3) 计算估计值和平均值的偏差  $\Delta_{kj} = |\omega_{kj} - \bar{\omega}_j|(k=1,2,\dots,r; j=1,2,\dots,n)$ ;

4) 对于偏差  $\Delta_{kj}$  较大的第  $j$  个指标权重估计值,再请第  $k$  个专家重新估计  $\omega_{kj}$ ,经过几轮反复直到偏差满足一定的要求为止,最后得到一组指标权重的平均估计修正值  $\bar{\omega}(j=1,2,\dots,n)$ 。

### 3.2 自航水雷使用可用度影响因素分析

按照相似水中兵器装备作为基准,使用相似装备类比分析法可确定某自航水雷使用可用度指标的影响因素。假设我们已有一种在役的 A 型自航水雷,现在又列装一种新型自航水雷 B 型,A 型水雷已有大量的部队实际使用数据证明其可基本满足部队使用可用度水平,现在我们需要评估 B 型水雷的使用可用度。通过技术分析,我们发现 A 型和 B 型水雷从结构原理、材料、使用方法等方面均有一定相似性,则可认为两型水雷为相似产品。我们以 A 型水雷为基准,用 A 型、B 型水雷的实际使用数据来分析 B 型水雷使用可用度的影响因素。

1) 自航水雷的使用强度。使用强度越大,则使用可用度越低;假设 A 型水雷年均使用  $a_s$  条次, B 型水雷年均使用  $b_s$  条次,则专家可根据  $a_s$  和  $b_s$  的数值比例关系判断 B 型水雷和 A 型水雷的使用强度相比的差别程度: $b_s > a_s$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷低; $b_s < a_s$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷高; $b_s = a_s$  表示 B 型水雷使用可用度与 A 型水雷相当。

2) 自航水雷的技术复杂程度。复杂程度越高,则使用可用度越低;假设 A 型水雷应用新技术程度为  $a_j$ , B 型水雷应用新技术程度为  $b_j$ ,则专家可根据  $a_j$  和  $b_j$  的强弱关系判断 B 型水雷和 A 型水雷的使用强度相比的差别程度, $b_j > a_j$  表示 B

型水雷使用可用度相比 A 型水雷低, $b_j < a_j$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷高, $b_j = a_j$  表示 B 型水雷使用可用度与 A 型水雷相当。

3) 自航水雷的可靠性增长改进程度。程度越高则使用可用度越高;假设根据寿命、存储可靠性、平均故障间隔时间等数据统计分析,A 型水雷可靠性、维修性综合水平为  $a_k$ , B 型水雷可靠性、维修性综合水平为  $b_k$ ,则专家可根据  $b_k$  相比  $a_k$  提高了多大程度判断 B 型水雷和 A 型水雷的使用强度相比的差别程度: $b_k < a_k$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷低; $b_k > a_k$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷高; $b_k = a_k$  表示 B 型水雷使用可用度与 A 型水雷相当。

4) 自航水雷的使用维修保障能力,能力越强则使用可用度越高。假设根据平均故障维修时间等数据统计分析,A 型水雷使用维修保障能力水平为  $a_r$ , B 型水雷使用维修保障能力水平为  $b_r$ ,则专家可根据  $b_r$  相比  $a_r$  的大小关系判断 B 型水雷和 A 型水雷的使用强度相比的差别程度, $b_r < a_r$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷低, $b_r > a_r$  表示 B 型水雷使用可用度相比 A 型水雷高, $b_r = a_r$  表示 B 型水雷使用可用度与 A 型水雷相当。

根据 A 型水雷和 B 型水雷使用可用度 4 个方面影响因素差别程度,以 A 型水雷 4 方面的程度为基准,专家可以从优、良、中、差 4 个等级档次判断 B 型水雷相比 A 型水雷在 4 个影响因素所达到的程度,并进行打分。

### 3.3 确定自航水雷使用可用度各影响因素的权重

推选  $n$  位专家对某自航水雷使用可用度  $A_0$  的各影响因素的影响程度进行打分,并由此分别计算各因素的权重系数<sup>[8]</sup>。分数等级按分值分为 (4,3,2,1),分数值越高则影响越大。故各因素的权重系数为

$$\omega_j = \left( \sum_{i=1}^n q_{ij} \right) / \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 q_{ij} \right)$$

式中: $n$  为专家数量; $q_{ij}$  为打分值。

### 3.4 统计计算专家打分情况

首先,确定对前述各影响因素打分的评分等级为 4 等,分别为 100、75、50、25,对应优、良、中、

差<sup>[7]</sup>。由选定的专家根据影响因素对使用可用度的影响原则分别对各个因素打分,计算各因素得分平均值:

$$\delta_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ij}$$

( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4; Q_{ij} = [100, 75, 50, 25]$ )

该自航水雷使用可用度指标的综合得分为

$$C = \sum_{j=1}^4 \omega_j \delta_j$$

其使用可用度指标评估值可用下式计算得出:

$$A_o = 1 - (1 - A_{ov}) \frac{\sum_{j=1}^4 50 \cdot \omega_j}{C}$$

#### 4 评估模型演示

假设某自航水雷使用可用度指标的目标值为 0.95, 评估者推选 5 位专家对其指标评估值进行打分, 打分统计为表 1、表 2, 其中  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$ 、 $\mu_4$  分别代表使用强度、复杂程度、改进程度、使用维修保障能力 4 个影响因素。

表 1 自航水雷使用可用度影响因素权重打分

Table 1 Weight scores of influence factors of self-propelled mine's operational availability

专家	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	备注
E1	3	2	4	1	
E2	1	3	2	3	
E3	2	4	3	2	$q_{ij} = [1, 2, 3, 4]$
E4	4	1	1	4	
E5	3	2	4	2	

表 2 自航水雷使用可用度影响因素打分

Table 2 Scores of influence factors of self-propelled mine's operational availability

专家	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	备注
E1	50	75	75	75	
E2	50	75	100	75	
E3	50	75	75	100	$Q_{ij} = [100, 75, 50, 25]$
E4	50	75	75	75	
E5	75	75	100	50	

对上述打分情况进行统计计算, 各影响因素权重系数分别为:  $\omega_1 = 0.2549$ ,  $\omega_2 = 0.2353$ ,  $\omega_3 =$

$0.2745$ ,  $\omega_4 = 0.2353$ 。

各因素的得分平均值为:  $\delta_1 = 55$ ,  $\delta_2 = 75$ ,  $\delta_3 = 85$ ,  $\delta_4 = 75$ 。

该自航水雷使用可用度综合得分为:  $C = 72.6470$ 。

则该自航水雷使用可用度指标的评估值为

$$A_o = 1 - (1 - 0.95) \frac{\sum_{j=1}^4 50 \cdot \omega_j}{C} = 0.9656$$

此次评估过程证实该自航水雷满足其使用可用度指标要求。

#### 5 结束语

自航水雷使用可用度是其战备完好性衡量参数之一, 反映了自航水雷的综合保障效能。基于专家打分法的评估模型演示案例的结果表明该评估模型方法可行、结论科学, 可有效应用于自航水雷使用可用度评估工作, 可为自航水雷综合保障效能评估提供理论依据和方法参考。

#### 参考文献

- [1] GJB 451A—2005 可靠性维修性保障性术语[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2005.
- [2] 单志伟. 装备综合保障工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [3] GJB 4180.5—2001 海军导弹装备综合保障要求训练和训练保障[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2001.
- [4] 唐雪梅, 李荣, 胡正东, 等. 武器装备综合试验与评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [5] 康锐. 可靠性维修性保障性工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [6] 马麟. 保障性设计分析与评价[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [7] 马亚龙, 邵秋峰, 孙明, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [8] 康锐. 型号可靠性维修性保障性技术规范[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [9] 王凯, 赵定海, 闫耀东, 等. 武器装备作战试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.