

doi: 10.7690/bgzd.2019.12.015

## 对潜通信系统效能评估

黎漫斯<sup>1</sup>, 刘静<sup>1</sup>, 胡志慧<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 91469 部队, 北京 100841; 2. 陆军航空兵学院, 北京 100123)

**摘要:** 为提高潜艇远海作战和训练时的通信效能, 对潜艇通信手段中的甚低频通信、艇载数据链通信、卫星通信、浮标通信 4 种通信手段进行评估分析。根据对潜通信问题的性质和要达到的目标, 建立有序的层次结构模型, 运用 360°反馈原理的 AHP 法确定指标权重, 对度量指标进行量化, 通过归一化处理, 得出 4 种通信手段的效能评估结果, 并对潜通信效能的主要影响因素进行了分析。该分析可为指挥人员运用对潜通信手段获得最佳的通信效能提供参考。

**关键词:** 武器系统; 通信手段; 潜艇通信; 效能评估; 通信装备

**中图分类号:** TJ83 **文献标志码:** A

## Effectiveness Evaluation of Submarine Communication System

Li Mansi<sup>1</sup>, Liu Jing<sup>1</sup>, Hu Zhihui<sup>2</sup>

(1. No. 91469 Unit of PLA, Beijing 100841, China; 2. Army Aviation Institute, Beijing 100123, China)

**Abstract:** In order to improve the communication efficiency of submarine in the offshore operation and training, analyze 4 communication means of submarine, such as VLF communication, data link communication on board, satellite communication and buoy communication. According to the nature of the submarine communication problem and the goal to be achieved, the paper established an orderly hierarchical structure model, uses AHP method based on 360 degree feedback principle to determine index weight, quantifies the metrics, through normalization, the effectiveness evaluation results of 4 communication means are obtained, and the main reasons affecting the effectiveness of submarine communication are analyzed in this paper. The analysis results can provide reference for commanders to use submarine communication means to obtain the best communication efficiency.

**Keywords:** weapons system; means of communication; submarine communication; effectiveness evaluation; communication equipment

### 0 引言

未来战争中, 掌握制海权是取得胜利的关键所在<sup>[1]</sup>。潜艇作为各国战略武器系统的重要组成部分, 作战效能的发挥与通信系统效能的发挥与否息息相关<sup>[2-3]</sup>。目前, 对潜通信手段均存在不足之处, 而现有对潜通信手段的效能评估结果由于受历史条件和信息化水平限制, 所反映的信息在全面性、准确性和及时性等方面已不能满足潜艇部队通信业务需求。对此, 有必要对对潜通信手段进行合理评估, 给出未来发展建议, 提高对潜通信整体效能, 以利于潜艇作战效能充分发挥。

层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP)<sup>[4]</sup>是美国著名运筹学家萨德 (Saaty) 在 20 世纪 70 年代中期提出用于决策和规划的方法, 是将决策者的定性判断和定量计算有效结合起来的决策和规划的分析方法。它把复杂的问题分解为各个组成因素, 将这些因素按支配关系分组成有序的递阶层次

结构, 通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性, 给出相对重要性之比的数量关系, 然后综合人的判断以决策诸因素相对重要性总的顺序, 适于复杂系统的固有效能评估。

360°反馈原理的特点是信息来源的多样性, 从而保证了反馈的准确性、客观性和全面性, 相对于其他方法具有较高的可信度和有效度。近年来, 360°反馈评价作为一种新型的绩效评价模式已经被通用电气公司、IBM 公司、美国电报电话公司以及壳牌石油公司等采用, 并给这些企业带来了良好的业绩<sup>[5-6]</sup>。考虑对潜通信效能研究涉及目标手段多、准则指标多, 笔者在确定权重时, 采用了基于 360°反馈原理的 AHP 方法, 确定了指标权重, 通过度量指标进行量化, 进行归一化处理, 得出对潜通信效能评估结果。

### 1 潜艇通信概述

潜艇是现代海战中必不可少的武器装备及战斗

收稿日期: 2019-09-11; 修回日期: 2019-10-05

作者简介: 黎漫斯 (1980—), 女, 北京人, 博士, 工程师, 从事通信装备系统效能评估与优化使用、通信系统仿真建模分析研究。E-mail: lixuancen@sina.com。

和反潜的主要力量，可在数百米水深中持续活动数月，具备极强的隐蔽性和攻击性<sup>[7-8]</sup>。由于深潜水下，潜艇不能及时获取信息，必须依靠通信来保障其水下作战和训练的指挥，即对潜通信系统效能及对潜艇战斗力的发挥起着举足轻重的作用<sup>[9]</sup>。

综观国内外不同类型的潜艇，通信系统大概由岸对潜、潜对岸、潜与潜、潜艇与飞机、潜艇与舰艇之间的对潜通信系统和潜艇综合内部通信系统，以及中心分配控制系统组成。对潜通信可用手段主要包括(从频段由低到高划分)超低频通信、甚低频通信、短波通信、超短波通信、艇载数据链通信、卫星通信、浮标通信。

## 2 对潜通信效能评估

对潜通信装备效能的研究涉及目标手段多、准则指标多<sup>[10]</sup>，故采用层次分析法。应用层次分析法，首先把要解决的问题层次系列化，即根据问题的性质和达到的目标，将问题分解为不同的组成因素，按照因素之间的相互影响和隶属关系将其分层聚类组合，形成一个递阶、有序的层次结构模型；然后针对模型中每一层次因素的相对重要性，依据对客观现实的判断给予定量表示，再利用数学方法确定每一层次全部因素相对重要性次序的权值；最后，通过综合计算各层因素相对重要性的权值，得到最底层(方案层)相对最高层(总目标)的相对重要性次序的组合权值<sup>[11]</sup>。

### 2.1 对潜通信系统效能评估指标体系分析

对潜通信系统是一种军事通信系统，因此，对潜通信需满足远海作战和训练需要达到的基本通信要求。实现对潜通信时，信息的传达必须达到迅速、准确、保密和不间断<sup>[12]</sup>的信息化建设目标，实现对潜通信装备建设与我国由近海防御向远海防卫型战略转变的同步发展和建设；为促进对潜通信系统更加高效、合理的组织运用，需提高对潜通信效能及编队作战时的通信效能，以达到提高编队整体作战效能的目的。

近年来，随着使命任务的调整，对潜艇作战、训练、保障方面提出了很多新的要求<sup>[13]</sup>，而现行的指标体系由于受当时历史条件和信息化水平限制，反映的信息在全面性、准确性和及时性方面已不能满足对潜通信在作战和训练方面的需求，具体表现在：指标体系不完善；指标范围不全面；部分指标的内涵和外延定义不尽合理；指标的评价和监控功

能运用不够合理。

为解决上述问题，必须构建与信息化建设发展相适应的新指标体系，使指标更加客观、科学、快速地反映对潜通信系统状况和对潜通信装备发展情况。在对目前对潜通信系统的使用情况进行分析的基础上，借鉴以往的经验教训，总结出对潜通信需求需着眼于水下作战使用，主要包括及时性、有效性、可靠性、隐蔽性、机动性需求等。对潜通信系统效能评估指标体系构建如图 1 所示。

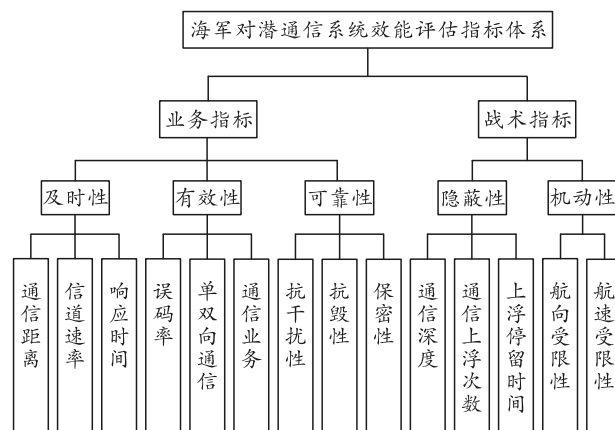


图 1 对潜通信系统效能评估指标体系

对潜通信系统在进行通信保障时受到多方面因素的影响。依据指标选取原则，围绕潜艇的使命任务、需求及手段特点<sup>[14-15]</sup>，从诸多影响潜艇通信效能的特征性能指标中选取影响较大的主要参数因子<sup>[16]</sup>，建立以业务性能指标和战术性能指标为基础，由及时性、有效性、可靠性、隐蔽性和机动性 5 大关键指标及其若干细化指标组成的效能指标体系。

及时性指标是指在一定的时间内，完成传输消息任务的时间概率特性，一般从系统的信道容量、响应时间等方面进行衡量；有效性指标是指信号到达接收端的准确概率特性，从系统的误码率、接收端的信噪比和信扰比等方面进行衡量，主要考虑信号的能量分布特性；可靠性指标主要考虑传输过程的可靠性和成功接收到信号的概率，一般由接收端的设备性能来决定；隐蔽性是指潜艇在通信的过程中被敌方发现的概率，主要取决于潜艇的收信深度；机动性主要是指通信过程对潜艇在水中机动性能的影响，包括对潜艇航向和航速的限制。

### 2.2 权重确定

权重是指各评估指标对评估对象影响程度的大小<sup>[17]</sup>。权是目标重要性的度量，应当综合反映决策人对目标的重要程度、各目标指标值的差异程度和可靠程度。评估指标权重是评估标准的重要组成部分。

分,合理确定权重,对系统综合评估工作有着重要的意义,因为权重体现着引导意图和价值观念。

目前,确定评估指标权重的方法较多,一般根据计算权系数时原始数据来源的不同,可分为主观赋权法、客观赋权法和综合赋权法。由于采集对潜通信系统使用的相关数据比较困难,存在某些数据不准确或缺失的情况。为避免权重分配不准确,选取主观赋权法中的层次分析法来确定权重;同时,为提高主观赋权的客观性,采用了 360°反馈原理。

综上所述,评估体系在确定权重时,采用基于 360°反馈原理的 AHP 方法。由专家、通信系统操作和使用人员组成的评估小组,分析甚低频通信、艇载数据链通信、卫星通信和浮标通信 4 种通信手段的相关数据,进行多轮打分考核,即请评委在彼此隔离的情况下,分别填写权重调查表,对每项指标做出“背靠背”的评价,将收集回来的调查结果整理后再反馈给评委,进行下轮调查。每个指标分为 4 个等级:优秀、良好、一般、差,每项指标只允许挑选一个等级。再将各评委填写的表格汇总,并将所评 4 个等级人数的百分比填写在相应的等级上,把统计结果返回给各评委,再给出相应的权重,这样进行多轮调查后将结果求平均,得出权重。

由以上打分法得到各层指标的权值分别为:业务指标 0.65,战术指标 0.35;准则指标中,及时性权重为 0.4,有效性权重为 0.3,可靠性权重为 0.3,隐蔽性权重为 0.7,机动性权重为 0.3;度量指标中权重分别为:通信距离 0.3,通信速率 0.4,响应时间 0.3,误码率 0.5,单双向通信 0.2,通信业务 0.3,抗干扰性 0.3,抗毁性 0.4,保密性 0.3,通信深度 0.5,通信上浮次数 0.25,上浮停留时间 0.25,航向受限性 0.5,航速受限性 0.5。

### 2.3 归一化值

对海军对潜通信系统的 4 种通信手段的通信距离、通信速率、响应时间、误码率等 14 个度量指标进行比较,归一化值即为不同方式对于各度量指标性能优劣的体现。其数学表述如下:

$$\begin{aligned} \text{通信距离: } P_1 &= [0.9, 0.7, 0.9, 0.9]^T; \\ \text{通信速率: } P_2 &= [0.3, 0.6, 1, 0.8]^T; \\ \text{响应时间: } P_3 &= [0.6, 0.8, 0.5, 0.5]^T; \\ \text{误码率: } P_4 &= [0.6, 0.4, 0.9, 0.9]^T; \\ \text{单双向通信: } P_5 &= [0.5, 0.5, 1, 1]^T; \\ \text{通信业务: } P_6 &= [0.6, 0.4, 0.7, 0.8]^T; \\ \text{抗干扰性: } P_7 &= [0.8, 0.4, 0.5, 0.9]^T; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{抗毁性: } P_8 &= [0.3, 0.9, 0.8, 1]^T; \\ \text{保密性: } P_9 &= [0.9, 0.7, 0.8, 0.8]^T; \\ \text{通信深度: } P_{10} &= [0.7, 0.7, 0.1, 1]^T; \\ \text{通信上浮次数: } P_{11} &= [1, 0.5, 0.5, 1]^T; \\ \text{上浮停留时间: } P_{12} &= [1, 0.8, 0.4, 1]^T; \\ \text{航向受限性: } P_{13} &= [0.7, 1, 1, 1]^T; \\ \text{航速受限性: } P_{14} &= [0.6, 0.8, 0.6, 0.8]^T. \end{aligned}$$

### 2.4 指标权重

对于 5 个准则指标,下属各指标的权重已经确定, $W_i$ 即为第  $i$  个准则下属各度量指标的权重矩阵。这里的权重值根据经验由专家打分法直接给出。其数学表述如下:

$$\begin{aligned} \text{及时性: } W_1 &= [0.3, 0.4, 0.3]^T; \\ \text{有效性: } W_2 &= [0.5, 0.2, 0.3]^T; \\ \text{可靠性: } W_3 &= [0.3, 0.4, 0.3]^T; \\ \text{隐蔽性: } W_4 &= [0.5, 0.25, 0.25]^T; \\ \text{机动性: } W_5 &= [0.5, 0.5]^T. \end{aligned}$$

### 2.5 准则效能

对应于 5 种指标 4 种通信手段的通信效能假设为  $E$ ,  $E_i$ 即为第  $i$  个指标下通信系统的通信效能,其数学表述如下:

$$\begin{aligned} \text{及时性: } E_1 &= [P_1, P_2, P_3] \times W_1; \\ \text{有效性: } E_2 &= [P_4, P_5, P_6] \times W_2; \\ \text{可靠性: } E_3 &= [P_7, P_8, P_9] \times W_3; \\ \text{隐蔽性: } E_4 &= [P_{10}, P_{11}, P_{12}] \times W_4; \\ \text{机动性: } E_5 &= [P_{13}, P_{14}] \times W_5. \end{aligned}$$

分别将  $P_i$  和  $W_i$  代入,可以得到对潜通信系统在及时性、有效性、可靠性、隐蔽性和机动性这 5 个指标下的通信效能:

$$\begin{aligned} E_1 &= [0.57, 0.69, 0.82, 0.74]^T; \\ E_2 &= [0.58, 0.42, 0.86, 0.89]^T; \\ E_3 &= [0.63, 0.69, 0.71, 0.91]^T; \\ E_4 &= [0.85, 0.675, 0.275, 1.000]^T; \\ E_5 &= [0.65, 0.90, 0.80, 0.90]^T. \end{aligned}$$

### 2.6 权重矩阵

假设业务指标和战术指标分别为  $M_1$  和  $M_2$ ,对于下属准则指标的权重矩阵数学表述分别如下:

$$\begin{aligned} \text{业务指标: } M_1 &= [0.4, 0.3, 0.3]^T; \\ \text{战术指标: } M_2 &= [0.7, 0.3]^T. \end{aligned}$$

假设 4 种通信手段对于业务指标和战术指标的通信效能为  $Q_1$  和  $Q_2$ , 得出:

$$\text{业务指标效能: } Q_1 = [E_1, E_2, E_3] \times M_1;$$

战术指标效能： $Q_2=[E_4, E_5] \times M_2$ ；

$Q_1=[0.591, 0.609, 0.799, 0.836]^T$ ；

$Q_2=[0.790, 0.742, 0.432, 0.970]^T$ 。

对潜通信系统的总体效能对于业务指标和战术指标的权重矩阵为：

$$U=[0.65, 0.35]^T。$$

4 种对潜通信手段的系统总体效能为：

$$A=[Q_1, Q_2] \times U。$$

将上述  $Q_1$ 、 $Q_2$  所得结果代入  $A$ ，可得甚低频通信、艇载数据链通信、卫星通信、浮标通信的通信效能为：

$$A=[0.660, 0.656, 0.671, 0.883]^T。$$

### 3 系统总体效能分析

根据上述计算可知：浮标通信的总体通信效能最高；其次为卫星通信；再次是甚低频通信；最后是艇载数据链。

浮标通信的突出优势在于其通信的及时性好，可靠性及有效性较好，机动性强，主要问题是隐蔽性差；卫星通信的及时性好，通信的有效性和可靠性都较高，机动性较强，缺陷是隐蔽性差，通信深度不符合潜艇隐蔽要求、停留时间长、有尾流，易暴露潜艇行踪；甚低频通信的隐蔽性很强，但是通信的及时性和有效性相对不足，机动性受限，主要问题是通信速率偏低、航向和航速受限；艇载数据链的机动性和隐蔽性较强，通信的及时性和可靠性一般，通信的有效性偏低，主要问题是通信速率偏低、高误码率和低抗干扰性。

### 4 结论

笔者对潜通信系统效能评估方法展开研究，得出不同对潜通信手段的通信效能，分析出对潜通信手段中甚低频通信、艇载数据链通信、卫星通信、浮标通信各自的优点和缺点，从而为指挥人员在不同情况下组织运用对潜通信手段获得最佳的通信效能提供参考。

### 参考文献：

- [1] 余高达. 军事装备学[M]. 北京：国防大学出版社，2000：37-40.
- [2] 杨坤，杜度. 国外对潜通信技术发展研究[J]. 舰船科学技术，2018(3)：153-157.
- [3] 李佳懂，王连文. UUV探潜效能评估方法研究[J]. 舰船科学技术，2016，S1：16-19.
- [4] 李涛. 高效信息化水平评估指标体系及综合评判模型研究[D]. 南京：中南大学，2005：6-9，13-14.
- [5] 王振宇. 新型绩效评价模式：360°反馈评价[J]. 中外企业文化，2002(9)：55-56.
- [6] 栾瑾彦，钱凤章. 360°反馈评价方法[J]. 油气田地面工程，2006，25(8)：70-72.
- [7] 虞霖方，夏爱萍，吴有俊. 对潜通信的现状及其发展趋势[J]. 舰船电子工程，2014，34(1)：1-3.
- [8] 胡国强，盛建兵. 对潜通信技术的基本应用[J]. 舰船电子对抗，2007，30(2)：83-87.
- [9] 陈强. 水下无人飞行器[M]. 北京：国防工业出版社，2014：26-34.
- [10] 卜广志，张宇文. 鱼雷武器系统作战效能的分析体系研究[J]. 舰船科学技术，2000，22(6)：16-19.
- [11] 周皓，侯建春. 战时装备维修保障能力评估指标体系研究[J]. 科技资讯导报，2007(8)：155-155.
- [12] 王光源，陈亮，李东. 潜艇通信浮标系统通信效能评估指标体系研究[J]. 舰船电子工程，2011，31(3)：22-25.
- [13] 陶雯，陈鼎鼎，何宁宁. 国外海军潜艇通信技术与装备发展[J]. 通信技术，2015，48(4)：376-381.
- [14] 王睿，姜宁. 作战任务中舰艇编队通信作战效能评估方法[J]. 现代防御技术，2018，46(1)：108-114.
- [15] 张杰，唐宏，苏凯. 效能评估方法研究[M]. 北京：国防工业出版社，2009：53-59.
- [16] 刘翠海，王文清. 外军潜艇通信关键技术与发展趋势[J]. 电讯技术，2011，51(7)：187-191.
- [17] MRINAL K M. Technical Evaluation of Military Ground Systems for Export Licensing: A Metric Approach[J]. Defense AR Journal, 2006, 13(1): 47-60.