

# 舰船海水管路腐蚀状态评估技术研究

张波<sup>1</sup>, 李向阳<sup>2</sup>, 董彩常<sup>1</sup>

(1. 钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国钢研科技集团有限公司, 北京 100081)

**摘要:**目的 研究建立舰船海水管路的腐蚀状态评估指标体系及评估方法。方法 通过经验选择影响舰船海水管路腐蚀状态的重要指标,并确定相应评估方法、评价标准及权重。结果 选择管材腐蚀程度、阴极保护状态、电绝缘保护状态、海水流速控制状态、密封材料密封状态5项参数组成海水管路系统腐蚀状态评估指标体系。结论 可选用层次-模糊法对海水管路腐蚀状态进行评估,其中层次分析法(AHP)用来确定评价指标权重,模糊综合评判法用来处理评价指标值。

**关键词:** 舰船; 海水管路; 评估; 腐蚀

**DOI:**10.7643/issn.1672-9242.2014.04.024

**中图分类号:** TG174      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2014)04-0120-05

## Research on Evaluation Technology for Corrosion State of Seawater Piping of Warship

ZHANG Bo<sup>1</sup>, LI Xiang-yang<sup>2</sup>, DONG Cai-chang<sup>1</sup>

(1. Qingdao Marine Corrosion Research Institute, Qingdao 266071, China;

2. China Iron & Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an evaluation index system and an evaluation method for corrosion state of seawater piping. **Methods** Important evaluation indexes for corrosion state of seawater piping of warship were chosen by experience, and then the appropriate evaluation methods, evaluation criteria and weights were determined. **Results** An evaluation index system for corrosion state of seawater piping was formed by five parameters, including the corrosion degree of pipe, the cathodic protection status, the electrical insulation protection status, the controlling state of seawater velocity, and the sealing state of sealing material. **Conclusion** Hierarchical-fuzzy method could be selected to evaluate the corrosion status of seawater pipeline. Analytic hierarchy process (AHP) was used to determine the weight of evaluation index, fuzzy comprehensive judgment method was used to handle the evaluation index value.

**KEY WORDS:** warship; seawater piping; evaluation; corrosion

收稿日期: 2014-04-28; 修订日期: 2014-05-05

Received: 2014-04-28; Revised: 2014-05-05

作者简介: 张波(1971—),男,山东青岛人,硕士,主要研究方向为金属的腐蚀与防护。

**Biography:** ZHANG Bo(1971—), Male, from Qingdao, Shandong, Master, Research focus: corrosion and protection of metals.

腐蚀不仅会大大缩短舰船海水管路服役寿命,降低在航率,而且直接影响舰船战术性能的发挥,甚至对舰船使用安全造成严重威胁。海军舰船在航行时如果因为海水管路腐蚀出现故障,不仅会影响舰船的军事使用性能,而且还有可能造成舰员的伤亡。因此,对舰船海水管路的腐蚀状态进行评估,客观地反映其安全性、可用性与耐久性,提前做预防性的工作,就会大大降低腐蚀事故的发生。

通过开展舰船海水管路腐蚀状态评估技术研究,建立舰船海水管路的腐蚀状态评估指标体系,并进行评估方法研究,旨在为海军在役舰船海水管路的检测维修提供技术支持,对于保证海军舰船的安全性和战斗力具有十分重要的意义。

## 1 典型研究方法的对比

### 1.1 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美国匹兹堡大学教授 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代初提出的一种分析问题的方法。它的提出背景是 1971 年 Saaty 为美国国防部搞的“应急计划”、1972 年为美国国家科学基金会研究电力分配问题和 1973 年为苏丹政府搞的运输计划。该方法的特点是定性定量相结合。目前, AHP 已成为综合评价问题研究中应用最为广泛的定权方法之一<sup>[1-2]</sup>。

AHP 法计算的结果最终是一组权系数或相对排序。作为权系数,可以直接代入模型用于计算,例如“加权”等模型中的权系数;作为方案间的相对排序,其本身就可用于决策。

AHP 法的求解思路是:将复杂问题分解为各组成因素,将这些因素按支配关系分组以形成有序的递阶层次结构,通过对各因素两两比较重要性的方式确定每一层次中因素的相对重要性,然后在递阶的层次结构内进行合成,得到最底层因素相对于目标重要性的总顺序。

### 1.2 质量功能展开法

质量功能展开 (Quality Function Deployment, QFD) 是一种结构化的需求分析方法,目前国内外许多研究中也该法用于评价指标权重的确定。该方法通过质量屋 (House of Quality, HOQ) 可以建立

用户需求与评价指标间的相关关系,量化得出评价指标的重要度,分析结果清晰直观、可追溯,突出了装备用户需求对评价结果的牵引作用<sup>[3-4]</sup>。

QFD 这一概念由日本质量专家赤尾洋二 1966 年首次提出,目的是为了在产品阶段就确定出制造过程中的质量控制要点,减少生产初期错误的发生。通过该方法,用户需求可以被转化为新产品开发过程中各阶段的技术要求,并确定出决定产品质量的关键技术特性,从而为产品优化设计的具体实施指出方向。

### 1.3 逼近理想解法

逼近理想解法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 是解决多目标综合评价的常用方法之一<sup>[5-6]</sup>。设一个多目标评估问题的备选方案集为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , 衡量方案优劣的属性向量为  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 。这时方案集  $X$  中每个方案  $x_i (i = 1, \dots, m)$  的  $n$  个属性值构成向量  $Y_i = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}\}$  作为  $n$  维空间中的一个点,它能唯一地表征方案  $X_i$ 。TOPSIS 通过构造出备选方案中的最优方案和最劣方案 (也就是正、负理想解),分别计算各个评价对象与最优方案和最劣方案之间的距离,获得各评价方案与最优方案的相对接近程度,以此作为评价方案优劣的依据。

### 1.4 模糊综合评判法

模糊综合评判 (Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE) 法是模糊数学领域中一个十分重要的分支。模糊数学是 1965 年由美国著名控制论专家 L. A. Zadeh 创立,它用数学方法研究和处理具有模糊性的现象。模糊性是人类思维的特点之一,模糊集合论是处理模糊现象的有效工具,而评价是人对事物的一种看法,思维的本质决定了其带有模糊的性质,因而模糊数学方法在系统评价领域得到了广泛的应用。当评价涉及多指标的事物时,可以利用模糊集合论对某一事物的各指标实现程度进行综合,然后根据给定的标准,得出综合评定性意见<sup>[7-9]</sup>。

### 1.5 几种典型方法的对比分析

对上述几种综合评估方法的优缺点以及用途进行归纳与总结,见表 1。

表1 典型评估方法优缺点对比

Table 1 Comparison of the advantages and disadvantages of typical evaluation methods

方法名称	优点	缺点	用途
AHP	建立在严格矩阵分析之上 易于掌握、适用面广	判断矩阵的一致性难以保证	
QFD	以用户需求为驱动 图形化分析方法,便于理解 结果可追溯	仅仅提供了计算框架,对于复杂系统,关系矩阵易过大	定权
TOPSIS	思路清晰、简单实用 适用于多方案优选	加入新方案时,易出现“逆序”	评估值 计算
FCE	能将模糊的定性信息 量化 适用于等级评估	对专家经验依赖性较大	

## 2 评估指标的选择

由系统评估的基本步骤可知,要评估海水管路系统的腐蚀状态,第一步工作就是对海水管路系统进行系统的分析,科学、合理地选取评估指标。一个复杂的系统,从不同角度评估,有不同的评估指标,要确定其指标就需要进行整理、分类和综合。确定评估指标体系时一般应遵循的原则有以下几点。

1) 目的性原则。选定指标是为了反映评估对象,因此所有指标都应具有较强的目的性,是为了反映系统的安全性。

2) 可行性和实用性原则。指标体系的设定要具有可操作性和实用性,要考虑到评估指标数据收集时、综合评估模型使用时的方便、快捷。

3) 实效性原则。所选指标不仅要能够反映一定时期内系统安全性变化,而且要具有适时性,在指标容易发生变化时也能适用。

4) 系统性原则。系统论的观点就是指应把事故当作一个整体或系统来加以考虑,因此,评估的指标应广泛、系统,能充分反映评估对象的优劣水平。

5) 定性和定量相结合原则。根据上述原则,确定评估指标时采用定性分析并借助于专家调查的手段<sup>[10-12]</sup>。因为资深专家有着一定的理论水平和丰富

的实践经验,他们是最有发言权的,他们认为对海水管路系统腐蚀状态影响大的一些因素对确定评估指标是有着极大的参考价值,甚至起着决定性的作用。

在综合考虑以上几个方面的基础上,经过一定的调查研究分析,对影响舰船海水管路系统腐蚀状态的诸多方面进行必要的筛选,加以合理归纳整理,选取了对海水管路系统防腐状态有直接影响的因素<sup>[13-16]</sup>,也就是评估指标,包括:材质腐蚀程度、阴极保护状态、电绝缘保护状态、管路海水流速控制状态、管路密封材料密封状态等。

## 3 评估指标体系的建立

根据舰船海水管路的腐蚀状态特征,选用层次-模糊法对海水管路的腐蚀状态进行评估,其中层次分析法用来确定评价指标权重,模糊综合评判法用来处理评价指标值。这两种方法都是应用广泛、技术成熟的综合评估方法。

1) 评估指标评价标准的确定。为了进行评价,在确定了评价指标后,还需要确定各评价指标的评价标准。按照科学性、合理性以及符合人们思维判读习惯的原则,将评价标准按照对舰船海水管路系统腐蚀状态影响的程度分为4个等级:A,B,C,D。各等级得分分别对应为90,70,50,30。对于定量指标,通过指标的参数值进行量化考核,对于无法直接量化考核与评定的定性指标,确定出相应的评价标准便于打分。海水管路系统防腐状态在材质腐蚀程度、阴极保护状态、电绝缘保护状态、海水流速控制状态和密封材料密封状态等5方面的等级评估标准见表2。

2) 评价指标权重的确定。首先,根据舰船海水管路系统腐蚀状态评估指标体系构造权重集,各指标权重集  $w_b = (w_{b1}, w_{b2}, w_{b3}, \dots)$ ;其次,构造评判矩阵,并求解出判断矩阵的特征向量。根据专家调查问卷,计算所有专家个体判断矩阵中每一信息元素的算术平均数和标准差,剔除超过算术平均数2个标准差以外的个体判断信息,然后再次计算算术平均数,得到各级判断矩阵。通过矩阵计算得到判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量。计算得到判断矩阵最大特征值对应的特征向量  $w_{b1} = 0.30$ ,  $w_{b2} = 0.15$ ,  $w_{b3} = 0.20$ ,  $w_{b4} = 0.20$ ,  $w_{b5} = 0.15$ 。然后,计算一致性指标,对判断矩阵进行一致性检验。

表 2 评估指标评价等级标准

Table 2 Evaluation grading standard of evaluation index

评估对象	评估指标	评价等级	相关描述
海水管路系统	材质腐蚀程度 (B1)	A 90	材质腐蚀减薄(0~5%)
		B 70	材质腐蚀减薄(5%~10%)
		C 50	材质腐蚀减薄(10%~20%)
		D 30	材质腐蚀减薄(>20%)
	阴极保护状态 (B2)	A 90	阴极保护状态好
		B 70	阴极保护状态较好
		C 50	阴极保护状态较差
		D 30	阴极保护失去作用
	电绝缘保护状态 (B3)	A 90	电绝缘保护状态好
		B 70	电绝缘保护状态较好
		C 50	电绝缘保护状态较差
		D 30	无电绝缘保护作用
	海水流速控制状态 (B4)	A 90	海水流速低于设计流速
		B 70	海水流速高于设计流速 0~5%
		C 50	海水流速高于设计流速 5~10%
D 30		海水流速高于设计流速 10%	
密封材料密封状态 (B5)	A 90	密封材料密封状态好	
	B 70	密封材料密封状态较好	
	C 50	密封材料密封状态较差	
	D 30	密封材料失去密封作用	

3) 舰船海水管路系统腐蚀状态评估。根据舰船海水管路系统腐蚀状态监测检测结果,参照评价标准对腐蚀状态评估指标进行打分。打分可以邀请行业内相关专家进行,对打分结果进行统计,统计表可见表 3。

表 3 专家打分统计表

Table 3 Statistics of score given by experts

评估指标及权重	材质腐蚀程度	阴极保护状态	电绝缘保护状态	海水流速控制状态	密封材料密封状态
	0.30	0.15	0.20	0.20	0.15
A(90)					
评价尺度 B(70)					
C(50)					
D(30)					
$\Sigma$					

根据专家打分表确定各因素的隶属于 A, B, C 和 D 的模糊隶属度,通过向量运算做模糊综合评判,可以得到舰船海水管路系统腐蚀状态评估结果。

根据计算结果划分舰船海水管路系统腐蚀状态等级。

1) A:90~100,表明目前防腐状态很好,可以满足使用要求;

2) B:70~90,表明目前防腐状态较好,可以满足使用要求,但存在个别问题需要注意;

3) C:50~70,表明目前防腐状态较差,存在不少问题,需进行处理后才可满足使用要求;

4) D:30~50,表明目前防腐状态很差,存在很多问题,不能满足使用要求。

根据以上综合评估结果,可以对舰船海水管路系统腐蚀状态进行总体评估。根据评估结果,发现薄弱环节和存在问题,提出有关建议,以指导舰船海水管路系统防腐措施的改进和优化。

## 4 结论

在对评估技术和方法综合分析的基础上,通过建立舰船海水管路的腐蚀状态评估指标体系,并开展海水管路腐蚀状态评估技术研究,得到以下结论。

1) 通过综合分析合理选取了海水管路系统防腐状态评估指标:材质腐蚀程度、阴极保护状态、电绝缘保护状态、管路海水流速控制状态、管路密封材料密封状态;

2) 选用层次-模糊法对海水管路的腐蚀状态进行了评估,其中层次分析法用来确定评价指标权重,模糊综合评判法用来处理评价指标值。

## 参考文献:

[1] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2000,23(4):581—585.  
 ZHUANG Suo-fa. Study of Synthetic Evaluation Model Based on Analytical Hierarchy Process [J]. Journal of Hefei University of Technology,2000,23(4):581—585.

[2] 吴月琴,傅耘,敖亮. 典型环境条件下装备环境适应性的评估方法[J]. 装备环境工程,2010,7(6):109—112.  
 WU Yue-qin, FU Yun, AO Liang. Equipment Environmental Worthiness Evaluation Method in Representative Envi-

- ronmental Condition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 109—112.
- [3] 赵武, 张颖, 石贵龙. 质量机能展开(QFD)研究综述[J]. 世界标准化与质量管理, 2007(4): 56—60.  
ZHAO Wu, ZHANG Ying, SHI Gui-long. Research Review of Quality Function Deployment[J]. World Standardization & Quality Management, 2007(4): 56—60.
- [4] 赵耀江, 张俭让, 桂祥友, 等. 安全评价理论与方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.  
ZHAO Yao-jiang, ZHANG Lian-rang, GUI Xiang-you, et al. The Theory and Method of Safety Evaluation[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2008.
- [5] 付巧峰. 关于 TOPSIS 法的研究[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(1): 190—193.  
FU Qiao-feng. Study on Topsis Method[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(1): 190—193.
- [6] 陈红艳. 改进理想解法及其在工程评价中的应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2004(5): 471—473.  
CHEN Hong-yan. Improved Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution and Its Application in Bid-evaluating of Construction Project[J]. Systems Engineering Theory Methodology Applications, 2004(5): 471—473.
- [7] 许晖. 综合安全评估方法在船舶安全领域应用中的问题与对策[J]. 世界海运, 2006(2): 19—23.  
XU Hui. Issues on Formal Safety Assessment Applying in the Field of Ship Safety and Counter Measures[J]. World Shipping, 2006(2): 19—23.
- [8] 王剑, 徐亚博. 模糊数学方法在安全评价中的应用[J]. 理论与探索, 2005(2): 33—35.  
WANG Jian, XU Ya-bo. Application of Fuzzy Mathematics Method in Safety Evaluation[J]. Theory and Research, 2005(2): 33—35.
- [9] 龚波涛. 模糊数学理论在安全评价工作中的运用[J]. 电力安全技术, 2000(4): 25—27.  
GONG Bo-tao. Application of Fuzzy Mathematics Theory in the Safety Evaluation Work[J]. Electric Safety Technology, 2000(4): 25—27.
- [10] 成二辉, 樊玉光, 周三平. 专家系统在腐蚀科学中的应用[J]. 化工装备技术, 2007, 28(5): 42—45.  
CHENG Er-hui, FAN Yu-guang, ZHOU San-ping. The Application of Expert System in Corrosion Science[J]. Chemical Equipment Technology, 2007, 28(5): 42—45.
- [11] 王德胜, 梁浩成. 专家系统技术在腐蚀科学中的应用[J]. 化工腐蚀与防护, 1996(3): 42—44.  
WANG De-sheng, LIANG Hao-cheng. Application of Expert System Technology in Corrosion Science[J]. Corrosion and Protection of Chemical Industry, 1996(3): 42—44.
- [12] 许翔, 周广猛, 郑智, 等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 环境装备工程, 2010, 7(5): 100—103.  
XU Xiang, ZHOU Guang-meng, ZHENG Zhi, et al. Research on Influence of Plateau Environment on Support Equipment and Its Environmental Worthiness[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 100—103.
- [13] 王成飞, 张荣昌, 路宝珠. FSA 在舰船设备安全评价中的应用[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(6): 128—130.  
WANG Cheng-fei, ZHANG Rong-chang, LU Bao-zhu. Application of FSA in Safety Assessment of Ship Equipment[J]. Sichuan Ordnance Journal, 2008, 29(6): 128—130.
- [14] 王海涛, 关辉, 韩恩厚, 等. 腐蚀损伤评价专家系统的研制及开发[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(2): 105—107.  
WANG Hai-tao, GUAN Hui, HAN En-hou, et al. Research and Development for Corrosion Damage Case Analysis and Expert System[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2004, 24(2): 105—107.
- [15] 侯建, 王伟伟, 邓春龙. 海水环境因素与材料腐蚀相关性研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 175—178.  
HOU Jian, WANG Wei-wei, DENG Chun-long. Study on Relation between Environmental Factors and Corrosion in Seawater[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 175—178.
- [16] 王小锋, 马俊, 刘春林, 等. 舰船通海系统管路腐蚀影响因素及控制方法浅析[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(12): 54—57.  
WANG Xiao-feng, MA Jun, LIU Chun-lin, et al. The Analyze on Influence Factors and Settlement about Corrosion of Pipeline in Marine Environments[J]. Ship Science and Technology, 2009, 31(12): 54—57.