

文章编号:1001—4500(2006)05—0039—05

回收阶段海底管道系统缺陷综合评估

谭开忍,肖 熙

(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院,上海,200030)

摘 要:建立了海底管道系统的缺陷模糊综合评判模型,引入层次分析法来确定各个因素的权重,可以相对的减少人为因素的影响。建立“致命损伤”的概念,方便管道系统的缺陷评估。

关键词:海底管道;缺陷评估;模糊综合评判;权重系数;层次分析法

中图分类号:P76 **文献标识码:**A

1 前言

对海底管道进行缺陷评估,是保证海底管道安全运行的重要手段。随着海底管道的使用,在海底管道进入其生命周期的回收阶段时,由于海底管道缺陷的长期积累,沿管道的全长范围内都分布有大量的缺陷。这些缺陷对海底管道的安全有极其重要的影响。在海底管道的回收阶段,管道运营管理者可能需要延长海底管道的使用。此时,为了保证海底管道的安全,必需要对海底管道进行缺陷评估。

随着国内外对海底管道安全的重视,出现了多种缺陷评估方式,有“适于使用”评估、完整性(整体性)评估、风险评估等。相应的有多种缺陷评估技术和评定规程,评定技术有极限载荷评定方法和基于断裂力学的评定方法及其他一些智能评定方法,如可靠性方法、有限元分析方法等。评定规程有 ASME B31G 方法、API 579 适用性评价方法等。这些评价技术和评价规程主要是针对单个的缺陷进行安全评估,至多是对相邻的多个缺陷进行模型化,考虑他们的相互影响,很少有对管道的缺陷从系统角度来进行缺陷评估。

本文从管道系统角度出发,综合考虑海底管道的缺陷等级、缺陷分布、缺陷维修性,建立海底管道缺陷的系统综合模糊评判模型。并在模糊综合评判模型中引入层次分析法(AHP)确定各个因素的权重系统,以减少人为因素的影响,提高模糊综合评判的客观性。

2 缺陷等级划分

根据单个缺陷对管道的安全的影响,及缺陷危害程度划分为 5 个级别,具体描述见表 1。

表 1 缺陷等级

类别		评定与结论
级别	描述	
1	留用	缺陷危害程度低,完全可以继续使用
2	修理	缺陷危害程度不严重,能维持正常运行
3	修理	缺陷危害程度较严重,需降压运行或予以修理
4	修理	缺陷危害程度严重,尽快降压和修理
5	更换	缺陷危害程度很严重,应尽快更换

3 管道系统缺陷分析

从图 1 中可以看出,对管道系统缺陷进行评估的步骤为:

收稿日期:2005-12-09
作者简介:谭开忍(1974~),男,博士生,从事船舶与海洋工程结构研究。
基金项目:国家海洋 863 项目(2001AA602021)资助。

- 1) 评估单个缺陷的等级;
- 2) 综合评估各级缺陷;
- 3) 综合评估管道系统的损伤程度。

4 管道系统缺陷模糊综合评判模型

4.1 评价集的确定

评价集是由评判对象可能做出的评判结果所组成的集合。对于含有缺陷的管道系统,根据能否使用的情况将管道系统分成致命、严重、比较严重、一般和轻度五个等级。其评价集记为:

$$V = \{\text{致命, 很严重, 比较严重, 一般, 轻度}\} = \{v_1, v_2, \dots, v_5\}$$

4.2 因素集的确定

要综合评判含有缺陷的海底管线系统的安全性,首先要确定影响管道是否能够继续使用的因素。本文中评价因素集为:

$$U = \{\text{一级缺陷, 二级缺陷, 三级缺陷, 四级缺陷, 五级缺陷}\}$$

每级缺陷又分为:

$$u_i = \{\text{缺陷数量, 缺陷分布, 维修费用}\}$$

因素体系、因素类和因素之间的关系记为:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_5\}$$

$$u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij}, \dots, u_{im_i}\}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, m_i; m_i$ 为第 i 个因素类的因素个数。

4.3 权重系数的确定

权重系数最常用的方法是通过专家调查。本文引入层次分析法(AHP)确定海底管道各因素的权重系数,可以降低权重系数确定过程中人为因素的影响。权重系数的具体确定步骤如下:

(1) 建立评判矩阵。评判矩阵是以上一层的某要素 E_h 为评判准则,对下一层元素进行两两比较来确定矩阵的元素值,如以 E_h 为评判准则的 n 阶评判矩阵形式为:

E_h	A_1	A_2	\dots	A_j	\dots	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1j}	\dots	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2j}	\dots	a_{2n}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
A_i	a_{i1}	a_{i2}	\dots	a_{ij}	\dots	a_{in}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
A_n	a_{n1}	a_{n2}	\dots	a_{nj}	\dots	a_{nn}

评判矩阵 A 中的元素 a_{ij} 表示从评判准则 E_h 角度考虑因素 A_i 对 A_j 的相对重要性,即

$$a_{ij} = \frac{W_i}{W_j}$$

式中: W_i 为 A_i 的重要度; W_j 为 A_j 的重要度。

评判尺度是表示因素 A_i 对因素 A_j 的相对重要性的数量尺度,常用的一种评判尺度为九值评判尺度(表2)。

表2 九值评价尺度表

描述判断	定义	评判尺度值
同样重要	对 E_h 而言, A_i 和 A_j 同样重要	1
稍微重要	对 E_h 而言, A_i 比 A_j 稍微重要	3
比较重要	对 E_h 而言, A_i 比 A_j 比较重要	5
很重要	对 E_h 而言, A_i 比 A_j 很重要	7
极为重要	对 E_h 而言, A_i 比 A_j 极为重要	9

注: 2、4、6、8 用于描述评判中的中间值。

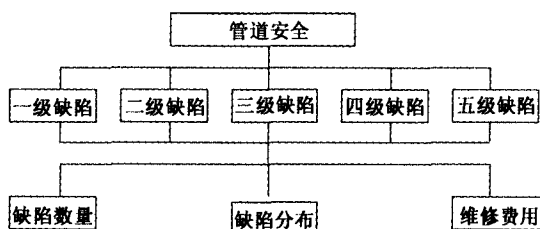


图1 海底管道系统缺陷分析图

(2) 计算权重系数。设向量为 $W = (W_1, W_2, \dots, W_i, W_n)$, W_i 为每个因素的权重系数, W_i 由下式计算:

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}$$

4.4 隶属度的确定

在进行模糊评判时,如何确定各个因素对应各个评判等级的隶属程度的大小是整个评判能否进行的关键。在模糊数学应用理论中,确定隶属函数或隶属度的方法有:模糊统计法、二元对比排序法、推理法、模糊分布法等及专家调查法。隶属函数或隶属度多由人们的评判作出,带有或多或少的主观性。为了减少误差,需要广泛收集各有关人员的评估意见,加以科学的综合,从实践效果中进行反馈,不断校正自己的认识达到预定目标。隶属度的确定过程在本质上是客观的。评判隶属度是否符合实际,主要看它是否正确的反映了元素隶属集合到不属于这一变化过程的整体特性,而不在于单个元素的隶属度如何。

4.5 模糊综合评判模型

根据文中所确定的评价集、评价因素、权重系数和评价因素隶属度建立评价矩阵,分为一级评判和二级评判。

(1) 一级评判

由一级缺陷下的三个因素 u_{11}, u_{12}, u_{13} 得出一级缺陷的综合评判向量 B_1 为:

$$B_1 = w_1 \cdot R_1$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \end{bmatrix}$$

同样,对于二、三、四和五级缺陷有:

$$B_2 = w_2 \cdot R_2 \quad B_3 = w_3 \cdot R_3 \quad B_4 = w_4 \cdot R_4 \quad B_5 = w_5 \cdot R_5$$

(2) 二级评判

根据一级评判的综合评判向量和各级缺陷的权重系数,进行二级评判。二级评判为:

$$B = W \cdot R = W \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

5 损伤严重度

评判结果采用向量表示不直观,很难判断管道是否能够继续使用。为此,引入“致命损伤”概念,认为 1 个“致命”相当于 2 个“很严重”或 5 个“比较严重”或 8 个“一般”或 10 个“轻度”。1 个“致命”取 1,则评判等级加权向量可定义为 $C = (1.0, 0.5, 0.2, 0.125, 0.1)$, 记为

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_n)$$

将 B 和 C 按对应项相乘再相加的方法进行合成,即

$$m = C \cdot B^T$$

m 表示损伤严重度, m 值越大,表明管道系统的损伤越严重。

6 算例

某海底管道进入回收期后,通过无损检测共有 3000 个缺陷。通过对单个缺陷进行评估,知道 1 级缺陷有 1020 个,2 级缺陷有 1011 个,3 级缺陷有 721 个,4 级缺陷有 241 个,5 级缺陷有 7 个。通过统计分析发现,1 级、2 级和 3 级缺陷沿全长都有分布,4 级缺陷分布在重腐蚀区,占管道全长的 20%,5 级缺陷在管道中 7%。

利用 4.3 节中的方法确定权重系数:

$$w_1 = (0.110, 0.309, 0.581), \quad w_2 = (0.110, 0.309, 0.581), \quad w_3 = (0.110, 0.309, 0.581),$$

$$w_4 = (0.110, 0.309, 0.581), \quad w_5 = (0.110, 0.309, 0.581)$$

$$W = (0.036, 0.059, 0.130, 0.264, 0.511)$$

利用专家打分方法确定评判矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.6 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.9 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.9 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

一阶模糊综合评判为:

$$B_1 = w_1 \cdot R_1 = (0.293, 0.142, 0.100, 0.116, 0.407) \quad B_2 = w_2 \cdot R_2 = (0.293, 0.142, 0.100, 0.349, 0.174)$$

$$B_3 = w_3 \cdot R_3 = (0.260, 0.164, 0.343, 0.174, 0.058) \quad B_4 = w_4 \cdot R_4 = (0.158, 0.421, 0.295, 0.084, 0.042)$$

$$B_5 = w_5 \cdot R_5 = (0.465, 0.058, 0.058, 0.042, 0.377)$$

则评判矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.293, & 0.142, & 0.100, & 0.116, & 0.407 \\ 0.293, & 0.142, & 0.100, & 0.349, & 0.174 \\ 0.260, & 0.164, & 0.343, & 0.174, & 0.058 \\ 0.158, & 0.421, & 0.295, & 0.084, & 0.042 \\ 0.465, & 0.058, & 0.058, & 0.042, & 0.377 \end{bmatrix}$$

二阶模糊综合评判为:

$$B = W \cdot R = (0.293, 0.176, 0.162, 0.091, 0.236)$$

管道系统的缺陷损伤度为:

$$m = C \cdot B^T = 0.448$$

评判结果为管道系统有 0.448 个致命损伤,损伤是比较严重的,如果还要继续使用,则需要酌情考虑。

7 结论

本文通过对海底管道的缺陷的系统评估分析,建立了海底管道缺陷的系统安全评估的模糊综合评判模型。在评估模型中,引入层次分析法来确定各因素的权重系数,可以相应减少人为因素的影响。建立致命损伤的概念,用致命损伤来评估管道系统的安全及能否继续使用,方便明了。

参考文献

- [1] 汪培庄, 李洪兴. 模糊系统理论与模糊计算机[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] Satty, T. L. The Analytic hierarchy Process[M]. McGraw Hill Inc, 1980, U. S. A.
- [3] 亓和平, 陈国明, 黄东升. 海洋钢结构裂纹危害性的综合评估[J]. 石油机械, 2002, 30(8):20~22.
- [4] 俞树荣. 压力容器焊接缺陷的模糊评定[J]. 甘肃工业大学学报, 1996, 22(1):63~67.
- [5] 任荣权, 于博生等. 失效严重度模糊综合评判[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 138~142.
- [6] 竺国荣, 丁长华. 压力容器安全状况等级的划分与评定[J]. 石油化工设备技术, 2000, 21(3): 50~52.

SYSTEM SYNTHESIS ASSESSMENT OF SUBMARINE PIPELINES IN THE PHASE OF RECYCLE

TAN Kairen, XIAO Xi

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: When submarine pipelines come into the phase of recycle, because of the accumulating of all types of defects, the safety of submarine pipelines will be threatened by these defects. Therefore, on this condition, besides each single defect should be assessed, the system of submarine pipelines should be assessed so that submarine pipelines can perform their task safely. On the condition of considering the safety and economy, the submarine pipelines are assessed. In the process of assessment, defects class, distributing and maintenance of defects are considered together. A fuzzy defect assessment model of submarine pipelines in the phase of recycle is proposed. AHP (Analytic Hierarchy Process) is used to obtain the power coefficient in the fuzzy assessment so as to reduce the artificial factors to improve the accuracy of the model. A concept of "fatal damnification" is proposed to predigest the system assessment of the submarine pipelines.

Key words: submarine pipelines, defect assessment, power coefficient, analytic hierarchy process

[上接第 38 页]

DETERIORATING RESISTANCE MODEL OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE UNDER THE CONDITION OF CHLORIDE—INDUCED CORROSION

WANG Licheng¹, SONG Guiting²

(Dalian University of Technology, Dalian, 116023 China;

Zhucheng Transport Control Station, Weifang, 262200 China)

Abstract: Chloride—induced corrosion of steel bars in reinforced concrete structures exposed to marine environments and de-icing salts has become the major cause of resistance deterioration. The modified Fick's second law of diffusion is used to describe the diffusion process of chloride penetration in concrete, thus the time of corrosion initiation of steel bar can be predicted. The corrosion rate models are developed for uniform corrosion, pitting corrosion and the corrosion condition they both exist, which set the foundation for analysis for deteriorating resistance. It is illustrated that the models constructed in this paper is rational.

Key words: chloride, reinforced concrete structure, resistance deterioration, corrosion