

文章编号: 1673-5196(2015)03-0070-03

# 模糊综合评价法对海洋立管的风险评价

梁 瑞, 杨玺庆

(兰州理工大学 石油化工学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 通过建立海洋立管评价指标体系, 根据模糊评价理论, 提出海洋立管失效风险的模糊综合评估模型. 运用专家打分法结合层次分析法确定指标权重, 通过实例计算, 对海洋立管失效风险进行定性和定量的评价.

**关键词:** 海洋立管; 模糊综合评价法; 层次分析法

中图分类号: TE38 文献标识码: A

## Fuzzy comprehensive evaluation method for risk assessment of marine riser

LIANG Rui, YANG Xi-qing

(College of Petrochemical Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** By means of establishing evaluation index system of marine riser and on the basis of fuzzy evaluation theory, a fuzzy comprehensive assessment model of marine riser failure risk was presented. Expert scoring method and hierarchy analysis method were used to determine the index weight, through calculation of an actual example, a qualitative and quantitative evaluation is conducted for assessment of marine riser failure risk.

**Key words:** marine riser; fuzzy comprehensive evaluation method; hierarchy analysis method

立管是连接水面浮式装置和海底设备的导管, 作为海上油气开采系统的重要部件, 在深水开发中被广泛应用<sup>[1-2]</sup>. 由于海洋立管特殊的施工工艺以及所处恶劣的海洋环境, 立管承受施工过程中产生的较大的施工应力和海洋环境产生的环境载荷, 因此, 立管成为整个海洋管道系统中重要而薄弱部分. 近年海洋立管破坏导致许多巨大经济损失、海洋环境污染等事故的发生, 国内外学者针对海洋立管事故原因进行广泛的研究, 并提出相应的防护措施. 但是由于引起海洋立管失效的因素众多, 考虑到其诸多因素的非定量性以及彼此的关联性特点, 运用模糊数学基本理论对模糊信息量化, 结合有关的统计数据以及国内外学者对海洋立管事故的分析, 建立海洋立管风险评估的基本模型, 实现对海洋立管的风险性评估.

### 1 模糊综合评判计算模型

模糊综合评判的基本思想是利用模糊线性变换

原理和最大隶属度原则<sup>[3]</sup>, 考虑到与评价对象相关的各个因素, 作出合理的综合评价, 具体步骤如下:

1) 建立因素集. 设因素集为  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ , 其中  $u_1, u_2, \dots, u_m$  表示评价对象相关的各个因素, 即评价指标.

2) 建立评价集. 设评价集为  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , 其中  $v_1, v_2, \dots, v_n$  表示评价等级.

3) 建立模糊关系矩阵. 对单因素  $u_i (i=1, 2, \dots, m)$  作单因素评价, 确定因素  $u_i$  对评语  $v_j (j=1, 2, \dots, n)$  的隶属度  $r_{ij}$ , 得到单因素评价集  $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ , 它是评语集  $V$  上的模糊子集, 给出一个模糊值映射,  $f: U \rightarrow V, u_i \rightarrow f(u_i)$ , 其中  $f(u_i) = r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$  为关于因素  $u_i$  的评语模糊向量,  $r_{ij}$  为关于因素  $u_i$  具有评语  $v_j$  的程度. 然后将  $m$  个单因素评价集作为行构成一个总的评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

4) 确定风险因素权重向量. 设权重向量为  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ , 其中权数  $a_i (i=1, 2, \dots, m)$  应满足

收稿日期: 2013-12-31

基金项目: 国家质检公益(201210026, 201310152), 甘肃财政厅基本科研业务项目(1205ZTC067)

作者简介: 梁 瑞(1968-), 男, 甘肃靖远人, 教授.

条件:  $\sum_{i=1}^m a_i = 1, a_i \geq 0$ .

5) 进行模糊综合评判. 通过单因素模糊评价矩阵  $R$  作模糊线性变换, 得到子目标的综合评价矩阵  $B_1 = A_1 \circ R_1 = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ . 其中, “ $\circ$ ” 表示广义模糊合成运算. 对于二层次模型, 根据图 1 给出的评判

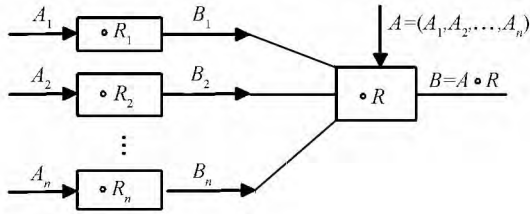


图 1 二层次模糊综合评价过程图

Fig. 1 Process diagram of double-layer fuzzy comprehensive evaluation

过程计算可得到最高层的评价结果. 对于综合评价结果  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$  中最大的  $b_j$  对应的等级  $v_j$  即为最佳的评判结果.

### 2 建立海洋立管评价指标体系

通过对国内外海洋立管事故资料的统计分析和学者的研究<sup>[4-9]</sup>, 确定引起海洋立管失效的原因, 通过对造成海洋立管失效影响因素的分析, 按照腐蚀、第三方破坏、设计因素、自然环境和误操作, 建立海洋立管安全评价指标体系, 将其因素分为两个层次, 其中一级指标 5 个, 二级指标 20 个, 图 2 给出详细的层次分析.

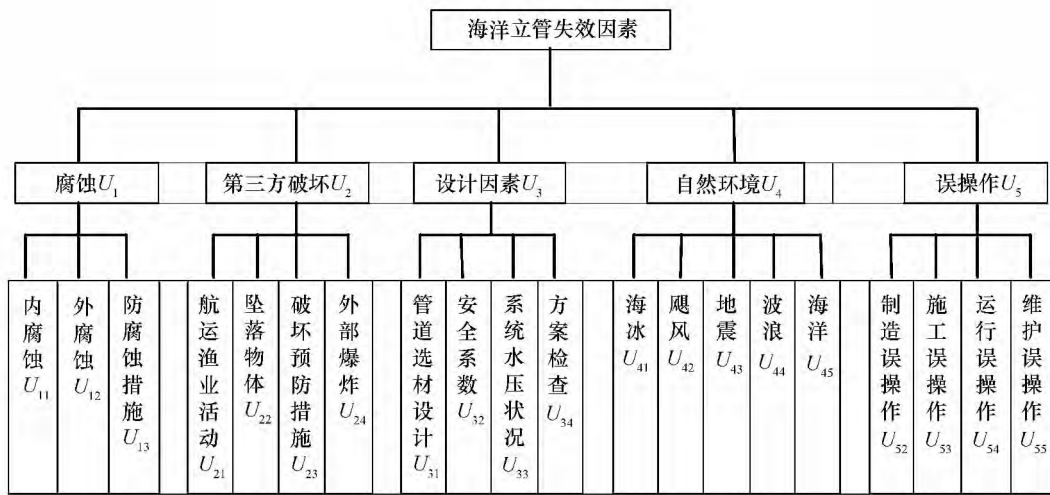


图 2 影响海洋立管失效因素的层次结构

Fig. 2 Hierarchical structure of influencing factors of marine riser failure

### 3 实例应用

本文以东海某钻井平台为例, 2001 年建成投产, 立管设计使用寿命 30 年, 材质为碳钢 (等级 X60), 全面了解其所处海域的风、浪、流等自然条件的基本特征, 结合立管自身数据参数对其进行海洋立管风险模糊综合评价.

#### 3.1 建立模糊集合

因素集将参考图 2, 分为两级, 中一级指标 5 个, 二级指标 21 个, 海洋立管的安全状况评价指标分为 5 级,  $V = \{ \text{优, 良, 中, 劣, 差} \}$ .

#### 3.2 确定各因素权重和模糊关系矩阵

通过多位具有丰富经验的海洋立管工程领域专家的打分结合层次分析法, 并且参文<sup>[9]</sup>确定了海洋立管风险因素权和模糊关系矩阵 (见表 1).

采用  $M(\wedge, \vee)$  算子, 即

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij})$$

其中, “ $\wedge$ ” 和 “ $\vee$ ” 分别表示取小取大运算,  $j = 1, 2, \dots, n$ . 此模型的特点是先将单因素  $u_i$  的评价评语  $v_j$  的隶属程度  $r_{ij}$  调整为  $r_{ij} = a_i \wedge r_{ij}$ , 其中  $j = 1, 2, \dots, n$ . 经过计算得到二级指标评判矩阵为

$$B_i = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.49 & 0.18 & 0.08 & 0 \\ 0.46 & 0.34 & 0.19 & 0.13 & 0.03 \\ 0.32 & 0.38 & 0.24 & 0.11 & 0.03 \\ 0.24 & 0.38 & 0.26 & 0.16 & 0 \\ 0.27 & 0.34 & 0.30 & 0.14 & 0 \end{bmatrix}$$

将上面的结果归一化处理得

$$B_i = [B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4 \ B_5]^T = \begin{bmatrix} 0.299 & 1 & 0.457 & 9 & 0.168 & 2 & 0.074 & 8 & 0 \\ 0.400 & 0 & 0.295 & 7 & 0.165 & 2 & 0.113 & 0 & 0.026 & 1 \\ 0.296 & 3 & 0.351 & 9 & 0.222 & 2 & 0.101 & 9 & 0.027 & 8 \\ 0.230 & 8 & 0.365 & 4 & 0.250 & 0 & 0.153 & 8 & 0 \\ 0.257 & 1 & 0.323 & 8 & 0.285 & 7 & 0.133 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

表 1 因素权重和隶属度表

Tab. 1 List of factor weight and membership

一级评价因素	二级评价因素	单因素评价矩阵					第二层 指标权重	第一层 指标权重
		优	良	中	劣	差		
腐蚀 $U_1$	内腐蚀 $U_{11}$	0.28	0.54	0.12	0.06	0	0.20	0.36
	外腐蚀 $U_{12}$	0.26	0.48	0.18	0.08	0	0.30	
	防腐措施 $U_{13}$	0.32	0.49	0.13	0.06	0	0.50	
第三方破坏 $U_2$	航运渔业活动 $U_{21}$	0.21	0.44	0.19	0.13	0.03	0.24	0.22
	坠落物体 $U_{22}$	0.33	0.52	0.15	0	0	0.12	
	破坏防范措施 $U_{23}$	0.32	0.36	0.21	0.11	0	0.18	
	外部爆炸 $U_{24}$	0.48	0.34	0.13	0.05	0	0.46	
设计因素 $U_3$	管道选材 $U_{31}$	0.23	0.39	0.24	0.11	0.03	0.14	0.11
	安全系数 $U_{32}$	0.21	0.52	0.27	0	0	0.16	
	水压试验状况 $U_{33}$	0.32	0.38	0.24	0.06	0	0.48	
	方案检查 $U_{34}$	0.31	0.33	0.23	0.11	0.02	0.22	
自然环境 $U_4$	海冰 $U_{41}$	0.41	0.34	0.19	0.06	0	0.12	0.15
	飓风 $U_{42}$	0.22	0.46	0.26	0.06	0	0.38	
	地震 $U_{43}$	0.30	0.40	0.19	0.11	0	0.24	
	波浪 $U_{44}$	0.08	0.31	0.45	0.16	0	0.16	
	海流 $U_{45}$	0.16	0.52	0.24	0.08	0	0.10	
误操作 $U_5$	制造误操作 $U_{52}$	0.31	0.39	0.21	0.09	0	0.21	0.16
	施工误操作 $U_{53}$	0.27	0.38	0.21	0.14	0	0.31	
	运行误操作 $U_{54}$	0.18	0.52	0.30	0	0	0.34	
	维护误操作 $U_{55}$	0.32	0.36	0.22	0.10	0	0.14	

一级指标评判矩阵为

$$B = A \cdot B_i = (0.36 \quad 0.22 \quad 0.11 \quad 0.15 \quad 0.16)$$

$$\begin{bmatrix} 0.299 & 1 & 0.457 & 9 & 0.168 & 2 & 0.074 & 8 & 0 \\ 0.400 & 0 & 0.295 & 7 & 0.165 & 2 & 0.113 & 0 & 0.026 & 1 \\ 0.296 & 3 & 0.351 & 9 & 0.222 & 2 & 0.101 & 9 & 0.027 & 8 \\ 0.230 & 8 & 0.365 & 4 & 0.250 & 0 & 0.153 & 8 & 0 \\ 0.257 & 1 & 0.323 & 8 & 0.285 & 7 & 0.133 & 3 & 0 \end{bmatrix} = (0.299 \quad 1 \quad 0.36 \quad 0.168 \quad 2 \quad 0.15 \quad 0.027 \quad 8)$$

将结果归一化处理得

$$B = (0.297 \quad 6 \quad 0.358 \quad 2 \quad 0.167 \quad 3 \quad 0.149 \quad 2 \quad 0.027 \quad 7)$$

通过最大隶属度法，

$$V_k = \max\{b_j\} = 0.358 \quad 2$$

所以安全状况为  $V_2$  级，即表明该平台的立管安全状况为良。

### 4 结论

运用模糊综合评价法，对运营中的海洋立管进行安全评价，减少了常规评价过程中一些主观因素造成的偏差，能很好的解决模糊性问题，使评价结果更具有客观性。本文建立的海洋立管风险评估的基本模型在实际运用中可以根据立管所处的环境以及运行状况做出调整，为运营中的海洋立管采取有效

的防护措施提供了理论依据，具有一定的工程实用价值。

参考文献：

[1] 宋儒鑫. 深水开发中的海底管道和海洋立管 [J]. 中国造船, 2002, 43(1): 238-251.

[2] 张长智, 王桂林, 段梦兰, 等. 深水开发中的几种新型混合生产立管系统 [J]. 石油矿场机械, 2010(9): 20-25.

[3] 陈水利, 李敬功, 王向公. 模糊集理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[4] CRUZ A M, KRAUSMANN E. Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2008, 21(6): 620-626.

[5] MACDONALD M. PARLOC; 2001, The updated loss of containment data for offshore pipelines [M]. London: Energy Institute, 2003: 15-16.

[6] 乐丛欢, 丁红岩, 董国海, 等. 基于模糊故障树的海洋立管破坏失效风险分析 [J]. 自然灾害学报, 2012, 21(2): 173-179.

[7] 宋青武. 海洋立管风险评价与安全措施研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.

[8] 俞树荣, 马 萌, 郭晓璐. 海洋平台立管基于风险的检验技术模型及其应用 [J]. 石油化工设备, 2013, 45(5): 69-73.

[9] 朱 倩, 周 晶. 模糊综合评价法在海底管线风险分析中的应用 [J]. 价值工程, 2013, 32(15): 68-70.