基于未确知测度的油气集输管道腐蚀风险评价

曹　峥（海洋石油工程股份有限公司，天津　300000）

摘　要：近年来由腐蚀导致的油气集输管道泄漏事故频发，腐蚀已经成为导致油气集输管道失效的重要原因之一，提出了油气集输管道腐蚀风险评价方法，评价结果可以用于指导油气集输管道日常检验和维修维护工作。在大量文献调研、与油田现场专家研讨的基础上，针对油气集输管道的特点，建立了油气集输管道腐蚀风险评价指标体系，包括 12 个定量评价指标和 7 个定性评价指标。将各评价指标划分为 5 个评价等级，采用未确知测度理论建立每个评价指标的单指标测度函数，采用信息熵理论确定各评价指标的权重，最后采用集对分析理论得到风险评价结果。利用该模型对某油田三条管道进行了评价，评价结果与历史检验数据较吻合。

关键词：油气集输管道；腐蚀风险评价；未确知测度；集对分析

0 引言

油气集输管道腐蚀相比于一般管道腐蚀比较严重，一旦腐蚀导致管道泄漏，会造成不可挽回的损失，因此油气集输管道的腐蚀问题已经成为导致管道失效的重要原因之一。

1 腐蚀风险评价指标体系

通过对油气集输管道腐蚀相关文献的调研，并结合某油田油田油气集输管道腐蚀失效数据，分析总结了导致油气集输管道腐蚀失效的相关因素，建立了油气集输管道腐蚀风险评价指标体系如表 1 所示。

该评价指标体系包括内腐蚀防护等级、输送介质腐蚀性、土壤腐蚀性和外腐蚀防护系统等级 4 个二级评价指标，以及内腐蚀防护类型 I_1、二氧化碳分压 I_2、流速 I_3、硫化氢分压 I_4、介质含水量 I_5、土壤含水量 I_6、土壤电阻率 I_7、氯离子含量 I_8、土壤氧化还原电位 I_9、土壤含盐量 I_{10}、土壤 pH 值 I_{11}、土壤质地 I_{12}、管道自然腐蚀电位 I_{13}、外防腐层类型 I_{14}、阴极保护电位 I_{15}、外防腐层质量 I_{16} 和外检测频率 I_{17}、杂散电流干扰 I_{18} 共 18 个三级评价指标，并将每个指标分为 5 个等级：Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级，分别对应于 $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$，表示发生失效的危险性极高、危险性较高、危险性一般、危险性较低和危险性低。可以得到 11 个定量指标 7 个定性指标。指标的分级标准如表 1、2 所示。

首先计算得到三级指标的单指标评价矩阵，同时应用信息熵法确定指标权重，并根据求得的权重和单指标评价矩阵计算得到修正因子的多指标综合测度评价向量，最后应用集对分析理论判断出腐蚀风险的评价等级。

2 单指标测度函数建立

构建油气集输管道的各指标的测度函数，根据各个指标的特点，决定选择最常用的直线型测度函数建立各个指标的单指标测度函数。

（1）

$$\begin{cases} Z_i(x)=\begin{cases} \dfrac{-x}{a_{i+1}-a_{i-1}}+\dfrac{a_{i+1}}{a_{i+1}-a_i}, a<x\le a_{i+1} \\ 0, x\le a_{i+1} \end{cases} \\ Z_{i+1}(x)=\begin{cases} 0, x\le a_i \\ \dfrac{x}{a_{i+1}-a_i}-\dfrac{a_i}{a_{i+1}-a_i}, a_i<x\le a_{i+1} \end{cases} \end{cases}$$

根据式（1）结合表 1、表 2 可以得到介质二氧化碳分压、流速、输送介质硫化氢分压、介质含水量、管道倾角、土壤含水量、土壤氯离子含量、土壤电阻率、土壤含盐量、土壤氧化还原电位、土壤 pH 值、管道自腐蚀电位 12 个定量评价指标的单指标测度函数。

3 评价等级确定

应用集对分析理论来判断腐蚀风险的未确知测度综合评价等级，腐蚀风险评价划分为 5 个等级，将 6 元联系数 μ 在区间 [-1，1] 上进行 5 等分，从而得到 [-1.0，-0.6]、[-0.6，–0.2]、[-0.2，0.2]、[0.2，0.6]、[0.6，1.0] 一共这 5 个区间，从右至左分别对应五个评价等级，对应的评价等级依次为Ⅴ级、Ⅳ级、Ⅲ级、Ⅱ级、Ⅰ级，评价等级与风险的关系如表 2。

下面来计算 5 元联系分量矩阵 E=[1，p_1，p_2，p_3，q]T；决定将对应区间 [-1，1] 从进行 4 等分，

表 1 各定量评价指标与对应的评价等级标准

二级指标	评价指标	I 级（C_1）	II 级（C_2）	III 级（C_3）	IV 级（C_4）	V 级（C_5）
输送介质	二氧化碳分压	＞ 2	1~2	0.5~1	0.01~0.5	＜ 0.01
	流速 /（m/s）	＞ 1.5	1.0~1.5	0.8~1.0	0.5~0.8	＜ 0.5
	硫化氢分压	＞ 5	1.5~5	0.8~1.5	0.1~0.8	＜ 0.1
	含水量 /（%）	＞ 85	50~85	10~50	5~10	＜ 5
土壤腐蚀性	含水量 /（%）	＜ 20	20~25	25~30	30~40	＞ 40
	电阻率 /（Ω · m）	＜ 10	10~20	20~35	35~50	＞ 50
	氯离子含量 /（%）	＞ 0.1	0.05~0.1	0.01~0.05	0.005~0.01	≤ 0.005
	ORP/（mv）	＜ 50	50~100	100~200	200~400	＞ 400
	含盐量 /（%）	＞ 0.75	0.45~0.75	0.15~0.45	0.05~0.15	≤ 0.05
	pH 值	＜ 4.5	4.5~5.5	5.5~7.0	7.0~8.5	＞ 8.5
	管道自然腐蚀电位 /（mv）	＜ -550	-550~-475	-475~-375	-375~-300	＞ -300

表 2 评价等级与风险等级的关系

评级等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
风险等级	高	较高	中	较低	低

表 3 管道等级评价结果

评价指标 \ 管道名称		管道 1	管道 2	管道 3
综合未确知测度	C_1	0.3331	0.2951	0.4601
	C_2	0.1324	0.0442	0.2045
	C_3	0.2269	0.0978	0.1492
	C_4	0.1517	0.2902	0.0443
	C_5	0.1504	0.2726	0.1418

联系数（μ）	0.1703	0.1005	0.3984
评价结果	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
腐蚀泄漏点个数 /（年 · 千公里）	0.276	0.231	0.351

得到 E=[1.0，0.5，0，-0.5，-1.0]T。

根据计算得到的多指标综合测度评价向量以及 5 元联系分量矩阵，可以计算求得最终的关联系数 μ。

4 实例应用

以某油田三条油气集输管道为例进行实例分析，采用 MATLAB 根据未确知测度评价方法，对以上三条管道的腐蚀修正因子评价等级进行了计算，计算结果为：

管道 1 的关联系数为 0.1703，腐蚀修正因子等级为Ⅲ级，并处于弱同势；

管道 2 的关联系数为 –0.1005，腐蚀修正因子等级为Ⅲ级，处于强同势；

管道 3 的关联系数为 0.3984，腐蚀修正因子等级为Ⅱ级，处于弱同势。

为了验证评价结果，与管道外检测数据进行对比。

以腐蚀泄漏点个数 /（年 · 千公里）作为验证指标，与等级评价结果进行了比较，具体结果如表 3。

可以看到，腐蚀风险的评价等级与泄漏点个数这个验证指标是吻合的，因此验证了未确知测度综合评价方法的准确性。

5 结论

①本文在大量文献调研以及和现场专家研讨的基础上，提出了更适用于油气集输管道的腐蚀风险评价指标体系；

②本文将建立的评价方法对三条油气集输管道的腐蚀风险进行了评价，并通过与历史检测数据的比较，验证了所建方法的可靠性。

参考文献：

[1]Bertuccio I , Moraleda M V B . Risk assessment of corrosion in oil and gas pipelines using fuzzy logic[J]. British Corrosion Journal, 2013, 47(7):553-558:8.

[2] 姬鄂豫 , 陈海玲 . 油气集输管道腐蚀的防治方向及安全检测 [J]. 油气田地面工程 ,2013,32(1):3.

[3]W.Kent Muhlbauer. Pipeline Risk Management Manual[M].Houston PublishingCompany, 1992:22.

[4] 陈利琼 , 吴世娟 , 卢泓方 ,et al. 输气管道腐蚀风险评价技术应用研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术 , 2015(3):3.

[5] 巴振宁 , 韩亚鑫 , 梁建文 . 基于改进 AHP 和模糊综合评价法的燃气管道腐蚀风险评价 [J]. 安全与环境学报 ,2018(6):6.

[6] 全恺 , 梁伟 , 张来斌 ,et al. 基于故障树与贝叶斯网络的川气东送管道风险分析 [J]. 油气储运 ,2017 (9):10.

[7] 陈春苗 . 基于未确知测度理论的生态城市建设评价方法研究 [D]. 天津 : 天津大学 ,2013:5.

[8]Zhao H Y , Li J . Unascertained Measure Evaluation in Financial Distress Prediction of Listed Company[J]. Applied Mechanics and Materials,2014,687-691:5:7.

[9]Lin W , Li Z Y , Liu M , et al. The Energy-Saving Evaluation of Construction Site Based on Green Building and Unascertained Measure[J].Applied Mechanics and Materials,2013,368-370(III):1314-1317:4.

[10] 熊娟 , 郑兴文 , 张文艳 ,et al. 西南地区某输油管道外腐蚀分析 [J]. 表面技术 ,2014(4):59-63:2.

[11]Cole I S , Marney D . The science of pipe corrosion: A review of the literature on the corrosion of ferrous metals in soils[J]. Corrosion Science,2012,56(none):0-16:4.

[12] 王丽元 . 含水原油管道内腐蚀寿命预测方法与试验研究 [D]. 北京化工大学 ,2013:4.

[13]Wang X, Yu H, Guan W, et al. CO_2 Corrosion Behavior of X52 Steel in Conditions of Service of Puguang Gas Field[J]. Journal of Materials Engineering, 014, volume 4(8):72-78:3.

作者简介：

曹峥（1993- ），男，汉族，内蒙古包头人，助理工程师，硕士，海洋石油工程股份有限公司，研究方向：石油化工。