

利用模糊综合评判评价注水管道腐蚀程度

喻西崇^{1,2}, 赵金洲¹, 李海荣³

1. 西南石油学院, 南充 637001; 2. 中海石油研究所中心, 北京 100027;
3. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 成都 610017

摘要:提出了利用模糊综合评判方法对注水管道进行腐蚀程度评价的具体方法, 并通过应用示例验证了该评价方法的实用性.

关键词:注水管道; 模糊综合评判; 腐蚀程度; 评价

中图分类号: TG174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2003)06-0345-03

USING FUZZY COMPREHENSIVE JUDGEMENT TO EVALUATE CORROSION DEGREE OF INJECTING PIPELINE

YU Xi-chong^{1,2}, ZHAO Jin-zhou¹, LI Hai-rong³

1. SouthWest Petroleum Institute, Nanchong 637001, China; 2. CNOOC Research Center, Beijing 100027, China;
3. Southwest Filiale of China Petroleum Group Engineering Limited Corporation, Chengdo 610017, China

ABSTRACT: In this paper methods of fuzzy comprehensive judgement is brought forward to evaluate corrosion degree of injecting pipeline, and calculating steps are also given. Finally, field examples are used to verify the applicability of this method.

KEY WORDS injecting pipeline; fuzzy comprehensive judgement; corrosion degree; evaluation

通常在注水管道腐蚀机理研究的同时, 需要进行注水管道的腐蚀程度评价. 注水管道的腐蚀程度评价较全面地考虑了注水管道失效的主要影响因素, 避免了只依靠失效概率进行注水管道失效严重程度评价的片面性^[1]. 对腐蚀地面注水管道的腐蚀程度进行定量评价是全面了解注水管道腐蚀情况基础, 是对注水管道进行剩余强度评价、剩余寿命预测以及可靠性分析的依据, 为水质处理流程、缓蚀剂、杀菌剂和防垢剂等筛选提供理论依据^[2]. 本文的目的是利用模糊综合评价技术对注水管道的腐蚀程度进行定量分析, 为腐蚀注水管道进行完整性评价和适用性评价提供理论基础.

1 综合评判地面注水管道的腐蚀程度

目前, 对注水腐蚀管道腐蚀程度进行定量评价主要是利用模糊综合评价技术. 即对受多种因素制约的事物或对象, 根据给出的评价标准和实测值, 经过模糊变换后对事物或对象作出一个总的评价. 模糊综合评价由因素集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、评价集

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 、权重 $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_n)$ 以及模糊关系矩阵 R 等四部分组成^[3].

(1) 因素集 X

注水管道腐蚀程度评价中的因素集由腐蚀影响主要因素组成, 即 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

(2) 评价集 V

评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 中的元素一般具有模糊性或不确定性, 在注水管道腐蚀评价中, 将评价集分成三个等级, 即

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} = \{\text{腐蚀弱, 一般腐蚀, 腐蚀较强}\}$

(3) 权重 \tilde{A} 的确定

权重 \tilde{A} 的确定方法有以下 2 种确定方法: 1) 专家打分方法: 通过专家组或工程技术人员对因素集中的各因素在评价集中的权重进行打分. 2) 灰色关联分析方法: 由灰色关联分析方法确定腐蚀影响因素的权重^[4,5].

在这 2 种方法中, 专家打分方法通常被用来确定含有不能定量描述的腐蚀影响因素权重确定方法, 这种方法通常需要腐蚀影响因素的测量数据少, 但确定结果也只能是经验的, 计算精度不高; 灰色关联分析能定量描述的腐蚀影响因素权重, 需要腐蚀影响因素的测量数据较多.

(5) 模糊关系矩阵 \tilde{R}

用 μ_{ij} 表示因素集 X 中影响因素 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 对于评价集 V 中评价等级 $v_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 的隶属度, 则模糊关系矩阵 \tilde{R} 为:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \dots & \mu_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (1)$$

其中, μ_{ij} 通过选取合适的隶属函数得到. 常用的隶属函数有: 指数分布、岭形分布、正态分布、梯形分布、T 形分布、柯西分布以及 k 次抛物线分布等 7 种. 如何选取较好的隶属函数在理论上还不成熟, 主要是凭借经验选取^[6].

在确定隶属函数的确定形式之间必须首先确定各影响因素是正指标还是负指标. 正指标是指随着数值的增大其影响程度增大, 负指标正好相反. 在注水管道中主要腐蚀影响因素中, 正指标和负指标的确定必须要在认真分析腐蚀机理的基础上才能确定. 比如在有缓蚀剂的注水管道中, 如果管壁比较光滑腐蚀不严重或内敷涂层比较完整等, 则流速增大缓蚀效果更好, 腐蚀程度减低, 流速为负指标; 若在没有加入缓蚀剂的注水管道, 则一般流速增大腐蚀加剧, 流速又为正指标. 又如 $\text{pH} < 8.5$ 时, 随着 pH 值增大腐蚀减弱为负指标, 但当 $\text{pH} > 8.5$, pH 增大腐蚀加剧为正指标. 但有的影响因素能肯定确定指标的正负, 如溶解氧、注水压力、 CO_2 含量、SRB 含量等肯定是正指标. 注水温度 < 65 , 温度升高, 生成疏松的 FeCO_3 膜、氧去极化反应速度加快、腐蚀电化学速率增大导致腐蚀加剧, 则温度为正指标; 但当注水温度 > 65 温度升高生成致密保护膜 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 以及细菌活性减弱导致腐蚀减弱, 则温度为负指标. 针对胜利油田注水管道腐蚀机理可以得到下面的结论: 没有加入缓蚀剂时流速为正指标, 加入缓蚀剂后为负指标; 当 $\text{pH} < 8.5$ 时 pH 值为负指标, 当 $\text{pH} > 8.5$ 时 pH 值为正指标; 注水温度 < 65 时温度为正指标, > 65 时温度为负指标.

下面以岭形分布为例说明隶属函数的确定方法. 对于正指标如溶解氧、注水压力、 CO_2 含量、SRB 含量、 $\text{pH} > 8.5$ 时 pH 值、没有加入缓蚀剂时流速以及温度 $T < 65$ 时的温度等

$$\mu_{i1}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_{i1} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i2} - a_{i1}} \left(x - \frac{a_{i1} + a_{i2}}{2} \right) & a_{i1} < x < a_{i2} \\ 0 & a_{i2} < x \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{i2}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_{i2} \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i2} - a_{i1}} \left(x - \frac{a_{i2} + a_{i1}}{2} \right) & a_{i2} < x < a_{i1} \\ 1 & a_{i1} < x < a_{i2} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i2} - a_{i1}} \left(x - \frac{a_{i2} + a_{i1}}{2} \right) & a_{i2} < x < a_{i1} \\ 0 & a_{i2} < x \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{i3}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_{i1} \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i2} - a_{i1}} \left(x - \frac{a_{i1} + a_{i2}}{2} \right) & a_{i1} < x < a_{i2} \\ 1 & a_{i2} < x \end{cases} \quad (4)$$

对于负指标如加入缓蚀剂后流速、 $\text{pH} < 8.5$ 时 pH 值以及温度 $T > 65$ 时的温度等影响因素的隶属函数对于在评价集中的隶属函数与正指标相同, 但对于评价集 v_1 和 v_3 却相反, 即:

$$\mu_{i1}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_{i1} \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i1} - a_{i2}} \left(x - \frac{a_{i1} + a_{i2}}{2} \right) & a_{i1} < x < a_{i2} \\ 1 & a_{i2} < x \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{i3}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_{i1} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_{i1} - a_{i2}} \left(x - \frac{a_{i1} + a_{i2}}{2} \right) & a_{i1} < x < a_{i2} \\ 0 & a_{i2} < x \end{cases} \quad (6)$$

根据 SY/T 5329 - 94 标准^[7], 确定各腐蚀因素状态的分级情况与取值范围如表 1 所示^[7].

Table 1 Classification evaluation of factor state

腐蚀主要影响因素	等级			取值范围	
	v_1 (弱)	v_2 (中)	v_3 (强)	a_{i1}	a_{i2}
x_1 : 溶解氧含量, mg/L	$< a_{i2}$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	0	7.5
x_2 : pH 值	$\text{pH} < 8.5$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$< a_{i1}$	4	8.5
	$\text{pH} > 8.5$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	8.5	12
x_3 : SRB 含量, 个	$< a_{i2}$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	25	5.0
x_4 : 注水温度, T	$T > 65$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$< a_{i1}$	65	90
	$T < 65$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	35	65
x_5 : 注水压力, MPa	$< a_{i2}$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	5	30
x_6 : CO_2 含量, mg/L	$< a_{i2}$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	0	200
x_7 : 流速	加入缓蚀剂	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$< a_{i1}$	0.1	3.0
	无缓蚀剂	$< a_{i2}$	$a_{i1} \sim a_{i2}$	$> a_{i1}$	0.1

Table 2 Test data and corrosion degree evaluation results for given injecting pipeline

测试时间	溶解氧含量 mg/L	注水 pH 值	SRB 个	注水温度	注水压力 MPa	CO ₂ 含量	注水流速 m/s	实测腐蚀速 率,mm/s	模糊综合 评判结果
99-01-01	2.201	6.56	296	61.34	15.201	3.4	1.178	0.187	一般
99-02-01	1.178	6.82	206	60.23	15.17	5.1	1.203	0.15	一般
99-03-01	1.175	6.92	198	54.67	16.15	4.5	1.178	0.106	一般
99-04-01	.25	7.35	184	55.45	14.055	3.2	1.175	0.077	一般
99-05-01	.31	6.87	196	54.34	13.78	2.3	1.055	0.103	一般
99-06-01	1.125	6.78	200	58.98	14.67	4.5	1.007	0.152	一般
99-07-01	2.9	6.65	231	59.87	14.87	4.7	1.125	0.184	一般
99-08-01	1.158	6.55	264	60.12	15.08	5	1.1349	0.214	一般
99-09-01	2.211	6.24	276	62.78	15.91	5.9	1.158	0.233	较强
99-10-01	1.159	6.79	280	58.98	15.159	3.0	1.211	0.236	较强

(5) 模糊综合评判

设评判结果组成的集合 \tilde{B} , 则作模糊变换

$$\tilde{B} = \tilde{A} \cdot \tilde{R} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (7)$$

$$\text{其中, } b_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \mu_{ij} \quad (8)$$

腐蚀影响因素对注水管道最终腐蚀程度取模糊综合评判结果 \tilde{B} 中绝对值最大的元素对应的腐蚀程度.

2 应用分析

以某油田注水实验区某注水管道水质测试数据为例,说明模糊综合评判进行腐蚀程度评价的具体步骤.该注水管道在不同测试时间下的水质测试数据以及利用模糊综合评判进行腐蚀程度的评价结果如表 2 所示.

在进行模糊综合评判时,因素集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 溶解氧, pH 值, SRB 温度, 压力, CO₂, 流速; 评价集 $V = \{v_1, v_2, v_3\} = \{\text{腐蚀弱, 一般腐蚀, 腐蚀较强}\}$; 权重 $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 通过灰色关联分析得到, 权重 $\tilde{A} = (0.877/5.627, 0.856/5.627, 0.84/5.627, 0.811/5.627, 0.78/5.627, 0.76/5.627, 0.736/5.627) = (0.156, 0.152, 0.149, 0.144, 0.137, 0.135, 0.128)$; 模糊关系矩阵中各影响因素的隶属函数采用岭形分布形式, 各影响因素的取值范围在前已有详细研究.

根据 SY/T 5329-94 标准, 腐蚀速率和腐蚀程度之间的对应关系: 当 $V_{\text{cor}} < 0.076$ mm/a 时, 腐蚀弱; 当 $0.076 < V_{\text{cor}} < 0.2$ mm/a 时, 一般腐蚀; 当 $V_{\text{cor}} > 0.2$ mm/a 时, 腐蚀较强.

从表 2 可以看出: 利用模糊综合评判可以方便地进行注水管道腐蚀程度评价.

3 结论

1 腐蚀程度评价结果可以作为对注水管道进行剩余强度评价、剩余寿命预测以及可靠性分析的依据, 为水质处理流程、缓蚀剂、杀菌剂和防垢剂等筛选提供科学依据.

2 本文提出了利用模糊综合评判方法对注水管道进行腐蚀程度评价的具体方法, 并通过应用示例验证了该评价方法的实用性.

3 模糊综合评判方法的关键是权重和模糊关系矩阵的确定. 为了进一步提高评判的精度, 有必要寻求更好的计算方法.

参考文献:

- [1] 陆柱. 油田水处理技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 100.
- [2] L. G. Gray. Effect of pH and temperature on the mechanism of carbon steel corrosion by aqueous carbon steel[J]. Corrosion, 1990, 40(2): 234.
- [3] 刘育骥. 石油工程模糊数学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994, 145.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中化工学院出版社, 1985, 229.
- [5] 喻西崇. 南充. 注水管道腐蚀影响因素及适用性评价技术研究[D]. 西南石油学院博士论文. 2002. 121.
- [6] 周剑秋. 含缺陷压力管道模糊失效概率的分析计算方法[J]. 南京化工大学学报, 1998, 20(4): 30.
- [7] 王搏. 油田注水腐蚀问题研究[J]. 西安石油学院学报, 2001, 16(2): 23.