

基于模糊理论的在役管道内涂层寿命评价方法

马卫锋¹ 费 凡² 刘冬梅³ 罗金恒¹ 蔡 克¹ 陈志昕¹ 赵新伟¹

1. 中国石油集团石油管工程技术研究院, 陕西 西安 710065

2. 中国石油北京天然气管道有限公司, 北京 100101

3. 陕西交通职业技术学院, 陕西 西安 710018

摘要:

由于管道内涂层无法直接检验、检查, 因此对在役管道内涂层运行期可靠性评估和寿命评价尤为重要。为提高在役管道内涂层寿命评价的科学性和合理性, 提出一种基于模糊理论的在役管道内涂层寿命评价模型。该模型利用模糊变换将分层指标的模糊评价转换为总体模糊评价, 结合评语集可求出最终评分。阐明该系统模型结构和具体步骤, 结合某天然气管道减阻内涂层实际情况确定的指标体系为 4 个一级指标和 24 个二级指标, 并应用于在役 5 年的天然气管道减阻内涂层寿命评估, 结果表明是可行的。

关键词:

管道; 模糊理论; 内涂层; 评价

文献标志码: B

文章编号: 1006-5539(2012)06-0005-04

0 前言

天然气管道减阻内涂层不但可将腐蚀性介质和管壁金属机械隔离, 保护金属不受腐蚀, 更能够降低管壁粗糙度, 减小流动的摩擦阻力, 增加输量。在设计输量一定时可以降低输送压力, 扩大增压站间距, 降低动力消耗, 节约钢材、施工和维护费用, 确保产品纯度, 使管内壁不会造成沉淀物的聚积(如垢或石蜡)^[1~3]。但是, 由于涂装生产过程中受表面处理和涂装工艺等因素影响, 往往会引起质点、针孔等缺陷, 造成管道内壁腐蚀。另一方面, 在服役过程中, 管道内涂层受天然气粉尘磨损作用、清管过程中的机械破坏和环境温度变化引起的蠕变应力影响, 导致内涂层剥离、划伤和表面光滑度下降。在役天然气管道内涂层的失效, 往

往是生产过程中涂层缺陷和运行过程中外界因素共同作用的结果。由于管道内涂层无法直接检验、检查, 所以, 对在役管道内涂层运行期可靠性评估和寿命评价尤为重要。

评价在役管道内涂层寿命考虑的风险包括: 涂层材料本身的性能、涂敷过程的重点工艺、涂层服役环境条件和内涂层本身的老化等, 这些风险要素本身又包含许多影响因素。在役管道内涂层寿命影响分析的评价包括多种因素和多个评价指标, 各个风险要素和评价指标间区分界限模糊, 各因素所处地位不同, 在评价中对评价结果的影响程度有所不同, 孤立地考虑其中一个或几个因素对管道内涂层寿命影响分析做出评价是不全面的, 不能准确反映管道内涂层的综合

收稿日期:

2012-03-07

基金项目:

国家石油公司论坛(NOC)框架项目(QT-KJ-09-064)

作者简介:

马卫锋(1979-), 男, 陕西周至县人, 工程师, 博士, 主要从事天然气管道减阻内涂层及管道复合修复补强技术等研究工作。

寿命评价结果。因此对在役管道内涂层寿命影响分析评价时,要兼顾各个影响因素,进行综合考虑。

模糊多层次综合评价方法对多因素、多层次的复杂问题评判效果较好,该方法主要是利用与评价对象有关的单因素评价结果,构成相应的评价矩阵,利用确定各因素重要性程度的权重因子作模糊变换,最终得到对评价对象的评价结果。提出了利用模糊多层次综合评价方法对在役管道内涂层寿命进行评价,评价结果更接近客观现实。

1 模糊综合评判模型

模糊综合评判模型就是应用模糊变换理论和最大隶属度原则,考虑与被评价实物相关的各个因素对其进行评价。在复杂的系统中,由于相关影响因素较多,各个因素之间往往有一定的层次关系^[4]。实际应用中,可把因素集合 U 按某些属性分成几类,先对每一类(因素较少)作初步评判,然后再对评判结果进行“类”之间的高层次综合评判。

评价算法的系统模型结构见图 1。

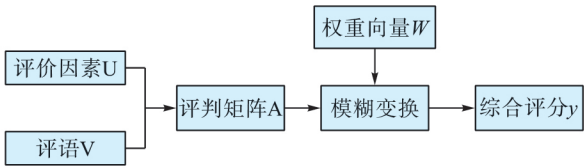


图 1 评价算法的系统模型结构

在模型中,通过对各指标项对应的模糊评价关系 R_i 与权重向量 W 的模糊变换,得到总体模糊评价关系 $Q=[q_1,q_2,\cdots,q_N]$,给每个等级 q_i 一个等级分数,求出综合评分 $y^{[5]}$ 。

$$y=QV^T$$

(1)

2 算法步骤

2.1 确定评价指标体系

结合文献资料及实际内涂层涂装工艺,按照层次化的方法为天然气管道内涂层建立评测指标体系。结合某天然气管道减阻内涂层实际情况,确定的指标体系为 4 个一级指标和 24 个二级指标,见表 1。

2.2 确定权重

采用层次分析法(AHP)确定评价指标权重,具体的标度评定标准见表 2。通过管道内涂层专家依照表 2 对确定的一级和二级指标分别两两对比,最终得到比较关系矩阵 $A=[a_{ij}]_{N\times N}$, a_{ij} 表示指标 u_i 对 u_j 的影响大小之比,规定 $a_{ji}=1/a_{ij}$ 。然后计算关系矩阵的特征向量及特征根,对关系矩阵进行一致性检验,最终计算

各指标相对于目标层的权重 W 。

表1 天然气管道内涂层评价指标体系

评价主体	评价指标	
	一级评价	二级评价
天然气管道内涂层寿命 U	涂层本身性能 U_1 0.40	附着力测试合格程度 U_{11} 0.27
		盐雾性能测试情况 U_{12} 0.18
		磨损系数测试情况 U_{13} 0.16
		弯曲性能合格程度 U_{14} 0.05
		硬度测试情况 U_{15} 0.03
		气压起泡合格程度 U_{16} 0.06
		水压起泡合格程度 U_{17} 0.03
		浸泡性能测试情况 U_{18} 0.08
		剥离性能合格程度 U_{19} 0.14
	涂敷过程因素 U_2 0.42	表面处理合格程度 U_{21} 0.26
		干膜厚度测试情况 U_{22} 0.15
		喷涂质量合格程度 U_{23} 0.20
		涂装缺陷检测情况 U_{24} 0.19
		涂敷环境条件情况(温度、湿度) U_{25} 0.11
		表面光洁度程度(锚纹深度、吸潮) U_{26} 0.05
		涂层光泽度程度(光滑减阻效果) U_{27} 0.04
	服役环境条件 U_3 0.12	天然气含腐蚀性气体(H_2S 、 CO_2)情况 U_{31} 0.48
		天然气除尘效果程度 U_{32} 0.16
		清管器检测损伤情况 U_{33} 0.16
		快速泄压影响程度 U_{34} 0.07
		输送压力变化情况 U_{35} 0.04
		输送温度变化情况 U_{36} 0.09
	涂层老化 U_4 0.06	涂层服役年龄影响程度 U_{41} 0.75
		环氧树脂热降解影响情况 U_{42} 0.25

表2 萨迪标度表

标度	定义
1	具有同等重要性
3	一个因素比另一个因素稍微重要
5	一个因素比另一个因素明显重要
7	一个因素比另一个因素强烈重要
9	一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	上述两个相邻判断的中间值
倒数	u_i 与 u_j 互为倒数,即 $a_{ji}=1/a_{ij}$

2.3 确定评语集

评语集 $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$

其中： $v_1=95$ 分（优秀）； $v_2=85$ 分（良好）； $v_3=75$ 分（中等）， $v_4=60$ 分（较差）； $v_5=40$ 分（很差）。

2.4 模糊变换处理

由管道内涂层专家对评价对象（某在役管道内涂层性能）进行评价，假设对指标 U_i 作出级别 v_j 评价的人数占该组所有评测人数的比例为 r_{ij} ，则 $R=[r_{ij}]_{M \times N}$ 构成了论域 $U \times V$ 上的模糊关系。使用权重向量 W 对 R 进行模糊变换，得到该层对应指标在论域 V 上的模糊关系 $Q=W \circ R$ ，将 Q 进行归一化处理后作为进行上一级指标评价的 R ，继续进行模糊变换可得到总体模糊评价。模糊变换的计算公式如下^[6]：

$$q_j=\bigvee_{i=1}^M (W_i \wedge r_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, N)$$

3 应用实例

结合某在役 5 年天然气管道减阻内涂层具体情况，介绍该方法的应用。

首先，根据评价算法的系统模型结构，设计了评价指标（表 1）和评语集，根据 AHP 法分别求出各层指标（第一、二层指标）的权重（表 1）。结合科研项目对某在役 5 年天然气管道减阻内涂层实验结果（根据 SY/T 6530-2002《非腐蚀性气体输送用管线管内涂层》开展试验），设计了涂层评价测评表，见表 3。聘请 10 名涂层涂覆、服役及老化等相关领域专家对该天然气管道减阻内涂层进行模糊评价。针对二级评价指标项统计每个评价级别的分布，得到四组模糊评价关系：

$$R_1=\begin{bmatrix} 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.7 & 0.3 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$
$$R_2=\begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$
$$R_3=\begin{bmatrix} 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_4=\begin{bmatrix} 0.0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

表 3 某在役天然气管道减阻内涂层评价测评表（获得票数）

评价目标	评价指标 (二级指标)	优秀	良好	中等	较差	很差
在役天然 气管道内 涂层寿命 U	附着力测试合格程度 U_{11}	0	3	7	0	0
	盐雾性能测试情况 U_{12}	0	0	3	4	3
	磨损系数测试情况 U_{13}	0	10	0	0	0
	弯曲性能合格程度 U_{14}	0	3	7	0	0
	硬度测试情况 U_{15}	0	10	0	0	0
	气压起泡合格程度 U_{16}	0	10	0	0	0
	水压起泡合格程度 U_{17}	0	10	0	0	0
	浸泡性能测试情况 U_{18}	0	0	0	7	3
	剥离性能合格程度 U_{19}	0	7	3	0	0
	表面处理合格程度 U_{21}	0	10	0	0	0
	干膜厚度测试情况 U_{22}	0	10	0	0	0
	喷涂质量合格程度 U_{23}	0	3	7	0	0
	涂装缺陷检测情况 U_{24}	0	0	10	0	0
	涂敷环境条件情况(温度、湿度) U_{25}	0	7	3	0	0
	表面光洁度程度(锚纹深度、吸潮) U_{26}	0	7	3	0	0
	涂层光泽度程度(光滑减阻效果) U_{27}	0	7	3	0	0
	天然气含腐蚀气体(H_2S 、 CO_2)情况 U_{31}	0	3	7	0	0
	天然气除尘效果程度 U_{32}	0	3	7	0	0
	清管器检测损伤情况 U_{33}	0	0	10	0	0
	快速泄压影响程度 U_{34}	0	7	3	0	0
	输送压力变化情况 U_{35}	0	10	0	0	0
	输送温度变化情况 U_{36}	0	10	0	0	0
	涂层服役年龄影响程度 U_{41}	0	3	4	3	0
	环氧树脂热降解影响情况 U_{42}	0	3	7	0	0

根据上文求得各级指标对应的权重向量，利用相应的权重向量进行模糊变换 $Q_i=W_{i0} R_i$ ，归一化得 Q_i ，得到一级指标的模糊评价关系：

$$R=[Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4]^T=\begin{bmatrix} 0.0 & 0.474 & 0.32 & 0.128 & 0.078 \\ 0.0 & 0.61 & 0.39 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.371 & 0.629 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.475 & 0.225 & 0.0 \end{bmatrix}$$

对 R 进行模糊变换，得到总体模糊评价：

$$Q=W_0 R=[0.0 \ 0.511 \ 0.321 \ 1 \ 0.104 \ 1 \ 0.063 \ 9]$$

该结果表明评价人员中无人认为某在役 5 年天然气管道减阻内涂层综合寿命优秀，51.1 % 的人认为

良好,32.11%的人认为中等,10.41%的人认为较差,6.39%的人认为很差。将总体模糊评价向量进行归一化处理后利用式(1)得到综合评分,该在役5年天然气管道减阻内涂层寿命评价最终得分为76分。

4 结束语

在役管道内涂层寿命影响分析的评价包括多种因素和多个评价指标,考虑其中的一些因素而对管道内涂层寿命影响进行评价是不全面的,不能准确反映出管道内涂层的综合寿命评价结果。为了兼顾各个影响因素,对多个相关因素综合考虑。提出了利用模糊多层次综合评价方法对在役管道内涂层寿命进行评价。针对某在役5年天然气管道减阻内涂层,结合内涂层实验室结果,经过专家测评和模型模糊变换处理,该在役5年天然气管道减阻内涂层寿命评价最终得分为76分。

参考文献:

- [1] 钱成文,刘广文,王武,等.天然气管道的内涂层减阻技术[J].油气储运,2001,20(3):1-6.
- [2] 牟健,陈渝,龚树鸣.陕京二线是否采用内涂层的探讨[J].天然气与石油,2003,21(3):26-34.
- [3] 郭成华,王健.内涂层管子的经济效果[J].天然气与石油,2002,20(3):6-7.
- [4] 龙学渊,袁宗明,李龙强.模糊多层次综合评判法在长输管线失效风险程度评判中的应用[J].新疆石油天然气,2006,2(2):89-92.
- [5] 吕云玲,全雪峰,孟晓红,等.利用模糊-BP神经网络评价高校教师教学质量[J].计算机时代,2009,(8):36-38.
- [6] 李鸿吉.模糊数学基础及实用算法[M].北京:科学出版社,2005.

中国石油举办首个高含硫气藏开发技术国际交流会

2012年10月12日,中国石油首个高含硫气藏开发技术国际交流会在成都举办。这次会议由集团公司高含硫气藏开采先导试验基地与西南油气田公司共同举办,以高含硫气藏安全、清洁、高效开发为主题,通过国际交流与合作,推动科技创新与进步。

国家发改委高技术产业司、中国工程院的相关人士,以及国内外70余名专家学者出席了会议。

我国高含硫天然气资源丰富,是长时期内天然气工业增储上产的主要接替资源之一。目前,四川盆地已探明高含硫天然气储量占全国同类资源储量的90%。但高含硫气藏埋藏深、地质条件复杂,资源利用面临毒性大、成本高、腐蚀性强等世界性难题。

2011年,“高含硫开采技术”被列为国家重点发展的石油勘探开采技术。集团公司在西南油气田成立了我国首个高含硫气藏开采先导试验基地。一年多来,这个基地实施了38项科研攻关项目,形成9项创新技术成果,申报24项专利。《大型高含硫气田安全开采及硫磺回收技术》获2011年国家科技进步二等奖。

在这次会议上,西南油气田相关负责人介绍了试验基地的发展思路:原始创新与集成创新相结合,基础研究与应用研究并重,气藏工程与工艺技术协同发展,持续强化技术攻关,推动我国高含硫气藏开发再上新台阶。15位中外专家展示了硫沉积预测、产能评价、气井安全和材料选择等领域的最新研究成果。

与会专家建议:要学习国外针对海上天然气井、高温高压气井实施的完整性管理办法;要逐步建立高含硫气井完整性管理制度和标准,填补世界范围这一领域的空白;通过国际交流合作,加强应用基础和超前技术储备研究,强化技术集成配套和成果转化,增强发展后劲。

(周舟 供稿)