

# 层次分析法在油气管道判废 综合评估上的应用

孙 伶<sup>1\*</sup>, 戚菁菁<sup>2</sup>, 赵光宇<sup>2</sup>, 汪 珉<sup>3</sup>, 陈振华<sup>2</sup>, 刘文会<sup>2</sup>, 赵晋云<sup>2</sup>

(1. 中国石油管道科技研究中心油气管道输送安全国家工程实验室, 河北 廊坊 065000;

2. 中国石油管道局工程有限公司, 河北 廊坊 065000;

3. 中国石油管道公司秦皇岛输油分公司, 河北 秦皇岛 066100)

**摘要:** 依托层次分析法构建了油气管道判废综合评估的层次分析法层次结构模型, 详细给出了判断矩阵层次排序和一致性检验的数学模型、具体方法和详细步骤, 并最终给出判断结果。层次分析法在油气管道判废综合评估上的应用, 综合了定性与定量分析、主观与客观判断, 可为油气管道运营企业决策老龄油气管道的废弃工作提供有效指导。

**关键词:** 油气管道; 判废; 综合评估

**中图分类号:** TE88

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2018)03-0238-03

**DOI:** 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.03.053

## Application of analytic hierarchy process in comprehensive evaluation of oil and gas pipelines

SUN Ling<sup>1\*</sup>, QI Jing-jing<sup>2</sup>, ZHAO Guang-yu<sup>2</sup>, WANG Min<sup>3</sup>, CHEN Zhen-hua<sup>2</sup>,  
LIU Wen-hui<sup>2</sup>, ZHAO Jin-yun<sup>2</sup>

(1. The National Engineering Laboratory of Oil & Gas Pipeline Transportation Safety, PetroChina Pipeline R&D Center,

Langfang 065000, China; 2. China Petroleum Pipeline Engineering Company Limited, Langfang 065000, China;

3. Qinhuangdao Oil & Gas Transportation Sub-Company, PetroChina Natural Gas Pipeline Company,  
Qinhuangdao 066100, China)

**Abstract:** Based on analytic hierarchy process (AHP), an AHP hierarchy model for comprehensive evaluation of judging oil and gas pipelines to be abandoned or not is set up. The mathematical model, specific methods and detailed steps of judging matrix level sort and consistency check are given in details, and final judge results are given. Application of AHP in abandonment evaluation of oil and gas pipeline combines qualitative with quantitative analysis, and subjective with objective judgment, and can provide effective guidance for oil and gas pipelines to decide abandonment of aging oil and gas pipelines.

**Key words:** oil and gas pipeline; decide to be abandoned; comprehensive evaluation

20 世纪 70 年代初, 美国运筹学家 T. L. Saaty 教授首次提出层次分析法, 该方法是一种定性与定量分析结合的综合决策分析方法, 具有一定的实用性, 可对一些较为复杂、模糊问题做出决策<sup>[1-2]</sup>。该方法的基本思路是将某个烦琐复杂的问题进行分解, 将分解得到的若干组合因素依照其支配关系而构造成递接的层次结构, 随后经过相互比较从而确定因素的相对重要性, 并综合主观判断分析, 最终确定这些因素的重要性排序和权重。我国最早引入层次分析法主要用于国内能源系统分析、经济管理、科研成果评价、武器系统、战略决策规划、财政管理、生态环境等领域, 取得了较好的应用效果<sup>[3-5]</sup>。由于

管道判废研究在国内首次开展, 涉及的因素较多, 因素之间相互关联、相互制约, 且没有定量的准则可参考。同时, 对于长输油气管道而言, 每条管道的技术状态和风险都可能不一样, 存在的问题也各有所差, 完全定量的准则不一定适用于每一条管道, 而完全定性的评价又往往受到人们主观判断的影响。层次分析法则为这类问题的决策和排序提供了一个新的、简洁而实用的建模方法。另外, 由于层次分析法具有一定灵活性, 可以根据需要增加或删减准则, 而不会影响整个评价模型<sup>[6]</sup>。例如, 管道输送的经济性在我国当前大多数的油气管道运行阶段原则上不予考虑, 但随着管道建设的发展, 或不同地区管网的

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-01-16

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科研项目(科研股 2014-2/2)

作者简介: 孙伶(1984-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为腐蚀与防护, 通讯联系人, 0316-2078479, 61578796@qq.com。

分布状况,在未来管道输送的经济性必将成为重要的参考准则。

## 1 层次分析法的应用逻辑及步骤

层次分析法的主要应用逻辑:①对决策对象进行分析辨认,根据实际业务特征,确认关键决策因素;②按照所有决策因素的关联关系,构造递阶层次结构;③构造判断矩阵,收集判断矩阵的主观评分数据;④根据主观判据,依照算法进行层次单排序并对结果进行一致性检验;⑤根据单排序的结果,进行层次总排序并对结果进行一致性检验,分析后得出结论<sup>[7]</sup>。

层次分析法一般分为4个步骤。

### (1) 构造递阶层次结构模型

在应用层次分析法时,首先要对该问题的各级层次进行梳理,进而构造出层次结构模型。该步骤的关键在于将复杂问题分解为若干元素的组成部分。所有元素之间具有一定的从属关系,即上一层次的因素作为准则对下一层次有关元素起支配作用。

### (2) 构造各层次的所有判断矩阵

当确定影响某一因素的各种因子在该因素中所占比重时,遇到的主要困难是这些比重常常不易量化。此外,当影响某一因素的因子数量比较多时,在分析各因子的影响程度时,经常因考虑片面而造成决策者提出与实际认为的重要性程度不相一致的数据,甚至有可能是一组相互矛盾的数据。

在应用层次分析法综合评估管道判废时,该过程依靠管道运行管理、完整性评价、风险评价等方面的专家,对各层次各因素进行两两相互比较,按照矩阵判断标度,将元素的重要性进行定量显示。对比时采用相对尺度,一般根据“1~9”标度确定2个指标间的重要性<sup>[8]</sup>,以提高不同因素比较时的准确度。

### (3) 层次单排序及一致性检验

单排序是针对主观结果的判断矩阵,通过数学方法(和值法、方根法、幂法)计算每一个判断矩阵各因素针对其准则的相对权重,并根据权重进行层次排序。一致性检验是通过计算一致性比例CR(Consistency Ratio)判断评估所构造矩阵的一致性。当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵的一致性可以接受;当 $CR > 0.1$ 时,判断矩阵一致性不可接受,需要综合主观判断对该判断矩阵进行重新修正<sup>[9]</sup>。

### (4) 层次总排序与检验

层次总排序是指判断矩阵中每一个因素针对最

上层目标层的相对权重,该权重的计算方法采用从上而下、逐层合成。

### (5) 结果分析

通过对上述排序结果进行综合分析,最终得出决策方案。

## 2 层次分析法在油气管道判废的应用流程

在油气管道判废评估中,以油气管道的风险水平、完整性状况、经济性评估、减缓措施评估、合规性评估等关键性指标建立评估层次结构,但不严格限于这5项影响因素,评估人员可根据工程实际选择相关因素进行综合评价。例如,运行经济性因素如果确定不考虑,可以不纳入评估模型,或在专家评分过程给予较低的重要性标度,降低其对最终评估结果的影响。

### 2.1 建立层次结构

依据层次分析法的基本原理和流程,分别建立目标层、准则层、方案层,绘出层次结构图(图1)。在本研究中,将管道判废评估分为1个目标层、2个准则层、1个方案层。

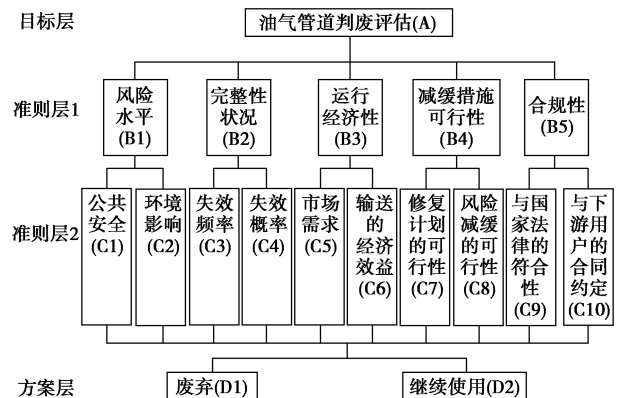


图1 层次分析各层次元素及结构

### 2.2 构造判断矩阵

将各层次各因素进行两两相互比较,按照矩阵判断标度,将元素的重要性进行定量显示。填写判断矩阵须由具有丰富管道运行维护经验的专家根据管道检测、评价、分析结果,针对各层次的元素的重要性程度按照1~9赋值。

$$A = [b_{ij}] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} \end{bmatrix} \quad (i, j = 1, 2, 3, 4, 5)$$

(1)

$$B = [c_{ij}] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} (i, j = 1, 2) \quad (2)$$

$$C = [d_{ij}] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} (i, j = 1, 2) \quad (3)$$

### 2.3 层次单排序和一致性检验

通过和值法计算判断矩阵中每一个因素的相对权重,计算步骤如下。

第一步:判断矩阵按列向量归一化

$$w_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (4)$$

式中,  $a_{ij}$  为矩阵中  $i$  行  $j$  列的数值;  $n$  为矩阵的阶数。

第二步:按行求和并归一化

$$w_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (5)$$

$$\tilde{w}_i = w_i / n \quad (6)$$

$$AW = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)^T \quad (7)$$

$AW$  即为判断矩阵中各因素对应的权重值。

第三步:一致性检验

计算最大特征值  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = (1/n) \sum_{i=1}^n (AW)_i / w_i \quad (8)$$

计算一致性指标  $CI$ :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (9)$$

查表确定平均随机一致性指标  $RI$ , 计算一致性比例  $CR$ :

$$CR = CI / RI \quad (10)$$

对判断矩阵, 阶数  $n < 3$  时, 无需进行一致性检验; 对于  $n > 3$  时, 需要进行判断矩阵的一致性检验。

### 2.4 层次总排序和一致性检验

由判断矩阵  $A$  可以计算出层次  $B$  的所有因素  $B_1, B_2, \dots, B_5$  对上一层次  $A$  的排序分别为:

$$AW_B = (W_{B1}, W_{B2}, \dots, W_{B5}) \quad (11)$$

由判断矩阵  $B_1, B_2, \dots, B_5$  可以计算出层次  $C$  中各因素对上一层次  $B$  的排序分别为  $(W_{c1}, W_{c2}), (W_{c3}, W_{c4}), \dots, (W_{c9}, W_{c10})$ 。

$B_1$	$C_1$	$C_2$	权重
$C_1$	1		
$C_2$		1	
$B_2$	$C_3$	$C_4$	权重
$C_3$	1		
$C_4$		1	
		$\vdots$	
$B_5$	$C_9$	$C_{10}$	权重
$C_9$	1		
$C_{10}$		1	

进一步可以计算出层次  $C$  对层次  $A$  的总排序为:

$$AW_C = (W_{c1}, W_{c2}, \dots, W_{c10}) = (W_{b1} \times W_{c1}, W_{b1} \times W_{c2}, W_{b2} \times W_{c3}, W_{b2} \times W_{c4}, \dots, W_{b5} \times W_{c9}, W_{b5} \times W_{c10}) \quad (12)$$

同样, 由判断矩阵  $C_1, C_2, \dots, C_{10}$  计算出层次  $D$  中各因素对上一层次  $C$  的排序, 进一步可以计算出层次  $C$  对层次  $A$  的总排序为:

$$AW_D = (W_{D1}, W_{D2}) = (\sum_{j=1}^{10} W_{Cj} d_{1j}, \sum_{j=1}^{10} W_{Cj} d_{2j}) \quad (13)$$

### 2.5 结果分析

通过对总排序结果的对比, 得出权重值高的作为决策方案, 即当管道废弃  $D1$  所对应的权重大于继续使用  $D2$  的权重时, 认为管道应该废弃。

### 3 结论

根据研究确立的油气管道判废评估关键指标, 将层次分析法引入到油气管道判废研究中, 可为其分析、规划、决策等提供科学的新方法、新思路; 计算模型简单、所需样本少、计算量小, 计算结果客观合理, 在面对多指标和多因素的评价问题上, 建立的基于层次分析法的管道判废综合评估模型, 形成了建立油气管道判废综合决策的机制, 可为油气管道判废工作的进一步开展提供技术支持。

### 参考文献

- [1] 孙成勋, 李红彦, 李润琴, 等. 层次分析法在管理水平综合评价中的应用[J]. 工业技术经济, 2013, (9): 72-78.
- [2] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
- [3] 杨小彬, 李和明, 尹忠东, 等. 基于层次分析法的配电网能效指标体系[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 146-150, 195.
- [4] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法在安全科学研究中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(2): 69-73.
- [5] 高娟. 层次分析法在油气储运工程中的应用探讨[J]. 中国石油石化, 2016, 21: 61-62.
- [6] 陈文洁, 余建星, 徐立新, 等. 基于改进模糊层次分析法的海底管道维修方法研究[J]. 中国海洋平台, 2016, 31(5): 80-83, 100.
- [7] 陈磊, 王桂萱, 赵杰. 基于层次分析法和 MATLAB 的运营期管道风险评价[J]. 大连大学学报, 2016, 37(6): 15-20.
- [8] 黄萍, 徐晶晶, 赖永生, 等. 基于 HFACS 和 AHP 的油气管道泄漏爆炸事故人因分析[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(6): 114-118.
- [9] 杨远, 杨烨, 郭海新. 基于 AHP 法的高含硫气田安全开发[J]. 石油石化节能, 2017, 7(6): 52-59. ■