

油气管道风险因素的权重赋值方法研究^{*}

赵忠刚¹ 姚安林² 赵学芬³ 薄英⁴

(1. 中国石油天然气管道科学研究院 2. 西南石油大学 3. 重庆科技学院 4. 中国石油管道公司科技中心)

赵忠刚等. 油气管道风险因素的权重赋值方法研究. 天然气工业, 2007, 27(7): 103-105.

摘要 对油气管道进行风险分析的一个核心问题就是对评价因子的赋权, 赋权的合理与否直接影响到评价结果的科学性和准确性。针对油气管道风险分析涉及的众多评价因素都具有模糊随机性的特点, 尽量减少各种权重确定方法对主观性的依赖, 对目前管道行业风险评价中赋权方法进行了归纳总结, 讨论了近十种主客观赋权方法的应用原理、步骤和效果, 并指出其各自的不足和改进方法。结合当前油气管道风险因素赋权研究的实际, 提出了有待深入研究的相关问题。

关键词 石油 天然气 管道 风险分析 权重 系数

在油气管道风险评价指标体系中减少权重确定的主观性, 对提高风险分析的评价精度与灵敏度、提高评价结果的质量可信度等, 具有十分重要的意义。

一、确定风险因素权重的可选方法

权重的确定方法主要有主观赋权法和客观赋权法。前者是由评价人员根据各项试验指标的重要性而赋权的一类方法; 后者是利用测试指标值所反映的客观信息确定权重的一类方法。下面所讨论的确定方法都是以 n 个参评因子, m 个监测点(或专家)组成的 $n \times m$ 样本为对象, 且所有因子的权重之和为 1, 即 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ 。

1. 以专家咨询值为判定依据的主观赋权法

根据数学解析途径的不同, 可分为以下类型。

(1) 统计分析法

采用德尔菲(Delphi)调查程序, 得到各参与专家的赋权方案, 然后进行统计分析, 得到各参评因子的权重。若 a_{ij} 表示第 i 个参评因子由第 j 位专家给定的权重咨询值, 则 i 因子的权重公式为:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \quad (1)$$

$$W_i = \frac{\bar{a}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_i} \quad (2)$$

该法还可再分为: 特征向量法、信息量模型法等。但此类方法没有考虑到专家间的差异。汤万金等(1996年)提出了改进方法, 建立了“专家可信度”的概念。将可信度差的专家咨询值剔除, 通过计算满足一定条件后, 才认可各专家的权重咨询值。

(2) 层次分析法

层次分析法(AHP)^[1,2]是一种定性和定量分析相结合的常见评价与决策方法。其对权重的确定需要对矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 计算来进行一致性检验。魏一鸣等(1995年)应用层次行列元素法对AHP权重分配模型进行了改进, 避免了做一致性检验的繁复工作; 谢崇宝等(1996年)建立了由初始判断矩阵经过 Fuzzy 几何平均形成的具有完全一致性矩阵的理论解, 简化了求取权向量的计算; 类似的研究成果还有改进层次分析法(杨敏等, 1992年)、判断矩阵启发式生成法(罗志辉等, 1993年)和权重最优估计层次分析法(何斌等, 1999年)。

(3) 灰色关联法

此法利用灰色系统原理, 基于评价因子序列的微观或者宏观接近来分析并确定因子对最终评价结果的贡献程度^[3,4]。

以 i 因子的专家咨询值作为比较数列 X_i , 且用所有权值中的最大者 $\omega = \max(a_{ij})$ 来构造参考数列

^{*} 本文为国家“十一五”支撑计划课题(编号: 2006BAK02B01)子专题“埋地钢质管道风险评估工程应用及数据积累”的部分研究成果。

作者简介: 赵忠刚, 1978年生, 工程师; 2006年获西南石油大学油气储运专业硕士学位, 从事管道安全和风险评价技术研究工作。地址: (065000)河北省廊坊市金光道51号。电话: (0316)2077664。E-mail: zherenshi@126.com

X_0 (数列项数与 X_i 相同,都为 m),即

$$X_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}; \quad X_0 = \{a_0, a_0, \dots, a_0\}.$$

$$\text{差数列: } \Delta_{0i}(K) = |X_0(K) - X_i(K)| \quad (3)$$

关联系数为:

$$\zeta_i(K) = \frac{\min \Delta_i + \rho \max \Delta_i}{\Delta_i(K) + \rho \max \Delta_i}, \quad \rho \in (0, 1) \quad (4)$$

$$\text{关联度为: } r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(K) \quad (5)$$

$$\text{权重为: } W_i = r_i / \sum_{i=1}^n r_i \quad (6)$$

这种方法在管道风险分析权重确定中应用还不多见,其效果有待进一步检验。

(4)模糊综合评判逆方法^[5]

由于油气管道系统的复杂性和评价信息欠缺,风险因素对整体评价结果的影响贡献还难以用精确的概念来表述,应用模糊集综合评判法来确定其权重是当前通行的做法。

综合评判数学模型一般步骤较常见,这里略去。模糊综合评判的逆问题是:根据专家给出的咨询值,构造判断矩阵 A 和评价结果 B ,求因素的权分配 W_i 。通常采用比较选择法,方法如下。

1)人为选择 k 个因素的权分配 W_1, W_2, \dots, W_k 。

2)求出 $B_j = A_n \circ R$, 其中 $j=1, 2, \dots, k$ 。

3)按照模糊集的择近原则,得到 B 最贴近的模糊集 B_0 , 且 $(B_0, B) = \max_j (B_j, B)$, 其中 (B_j, B) 是 B_j 与 B 的贴近度, 且 $(B_j, B) = \frac{1}{2} [BOB + 1 - B_j \odot B]$, 则 B_0 所对应的 W_0 即为理想的权分配方案。其中,合成运算 \circ 为 $V(\wedge)$ ——取小取大, \odot 为 $\wedge(V)$ ——取大取小。

应用此法时,因常用的取大取小算法使信息丢失较多,常出现模型失效的情况,所以,加权平均原则方法(潘峰等,2003年)针对模糊法中常用的最大隶属度原则进行了改进;钮晓鸣(1997年)在精确赋权的情况下引入了置信因子;张兴芳等(2001年)提出将专家的评判结果表示为区间数;若专家能用模糊语言给出影响因素赋权,则构造的权重集将会更加合理,于是赵德孜等(2004、2005年)提出了用三角模糊数量化模糊语言和将置信因子与梯形模糊数结合起来的赋权方法。

2.以评价因子标准值为判定依据的客观赋权法

在管道风险分析中,当某一评价因子被赋予一定的标准时(如泄漏气体的毒性),则可将分级标准确定为该评价因子的权重,主要分两种类型。

(1)简单赋权法

若某因子的标准值为 S_i , 则其相应的权重为:

$$W_i = (1/S_i) / \sum_{i=1}^n (1/S_i) \quad (7)$$

如果此评价因子的分级体系有 m 个级别,则应用简单赋权法就有相应的 m 个权重向量,当因素较多时,评价者若忽略了各因素间的细微差别,将导致评价结果相对粗糙;当给定评价因子的严格等级较为困难时,可以利用专家经验划分大致等级后再应用聚类法来确定评价因子权重。但聚类法没有突出主要因子的影响,有时会导致平均化的结果。

(2)阈域赋权法^[6]

若因子各级标准间的差值较大,则该因子只有增加一个较大的值,才能引起该因素的评价结果出现档次上的变化,说明该指标对评价结果的影响较小,故其权值也应较小,反之则大。其公式为:

$$f_i = \frac{1}{m-1} \left[\sum_{j=1}^{m-1} (S_{i,j+1} - S_{ij}) \right] \quad (8)$$

$$W_i = (1/f_i) / \sum_{i=1}^n (1/f_i) \quad (9)$$

式中: S_{ij} 为评价因子 i 的第 j 级标准值, $j \in m$, m 为级别数; f_i 实质上是因子 i 的各级标准间的平均差值。

3.以评价因子实测值为判定依据的客观赋权法

对那些容易得到的评价因子的数据,多采用实际测量值作为判定依据进行权重分配。设评价指标数为 m , 实测点数为 n , 各点的实测值为 C_{ij} 。

(1)熵赋权法^[7]

熵可以度量数据所提供的有效信息量。当评价对象在某项指标熵的值相差较大时,熵值较小,说明该指标提供的有效信息量较大,则该指标的权重也应越大;反之亦然。用该法确定权重有 3 个步骤。

1)原始数据矩阵进行标准化。即

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \dots & \ddots & \dots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

对该矩阵标准化得到: $R = (r_{ij})_{m \times n}$ (11)

式中: r_{ij} 为第 j 个评价对象在第 i 个评价指标上的标准值, $r_{ij} \in [0, 1]$ 。其中:

$$r_{ij} = \frac{|c_{ij} - \min_j \{c_{ij}\}|}{\max_j \{c_{ij}\} - \min_j \{c_{ij}\}} \quad (12)$$

2)定义熵。在有 m 个指标, n 个被评价对象的评估问题中,第 i 个指标的熵定义为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, $k = 1/\ln n$, 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

3) 定义熵权。定义了第 i 个指标的熵之后, 可得到第 i 个指标的熵权定义, 即

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (14)$$

使用熵权法赋权, 只经一次计算就得到适用于所有监测点的权重, 减少评价过程工作量, 同时考虑了多个样本间的联系, 削弱了异常值的影响。

(2) 主分量分析法

由于风险分析中的影响因素很多, 采用主分量分析法将主要影响因素提出来进行评价是合理的。因各主成分变量之间彼此非正交且独立, 在不损失主要信息的同时, 会反映原来较多变量信息。

主分量分析法步骤^[7]: ①对各因子进行相关分析, 确定相关系数矩阵 R ; ②计算矩阵 R 的特征值与特征向量; ③由特征值按雅可比(JACOBI)程序计算相应的特征值向量; ④计算主分量的累积方差贡献率 $G(r) = \sum_{i=1}^r \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$, 以此确定 $G(r) \geq 85\%$ 的主分量数; ⑤计算主分量中的载荷系数; ⑥将载荷系数归一化, 得各参评因子权重值。

主分量的求解方法是求矩阵 R 的特征值和特征向量, 目前多采用 JACOBI 旋转变换标准算法来求取。而朱国宇等(2003年)在监测样本信息的基础上, 利用正交旋转变换改进了权重求取方法。

4. 其他赋权法

(1) 回归系数法

回归系数法赋权是将评价因子作为自变量 (x_i), 以经济损益值等作为因变量 (y), 建立多元回归方程:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \cdots + b_n x_n \quad (15)$$

根据回归系数 b_i 计算标准回归系数 β , 则权重公式为:

$$w_i = |\beta_i| / \sum_{i=1}^n |\beta_i| \quad (16)$$

此法赋权在理论上是完善的, 但需大量而准确的实验数据和调查资料作依据, 因此可操作性较差。

(2) 多目标二级决策法^[8]

二级决策法是多目标决策的一类特殊问题, 即在有限个指标情况下, 对具体有限个方案进行综合

排序, 确定各指标的权重系数。下面以管道防腐为第一级决策, 各因素防腐为第二级决策进行说明。

这种方法分两步进行。

1) 确定一级管道防腐决策的权重分配。将基础决策矩阵 A 规范化和同向化得到矩阵 $B = (B_{ij})_{m \times n}$, 令 $R = (r_{ij})_{m \times n} = B \cdot W$, 定义决策矩阵 B 中各指标的理想值:

$$r_{ij}^+ = b_j^* \omega_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

将影响腐蚀评价要素的质量用其与理想值间的距离 d_j 来表示, 用下式描述:

$$d_j = \sum_{i=1}^m (r_{ij}^+ - r_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2 \omega_j^2 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (18)$$

d_j 越小, 说明评价要素的质量越好。通过构造多目标模型, 然后改造为等价的单目标最优化模型, 借助于拉格朗日函数可以解得:

$$\omega_j = \left\{ \left[\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2} \right] \left[\sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2 \right] \right\}^{-1} \quad (19)$$

式中: ω_j 为权重系数, b_j^+ 为决策矩阵 B 中各指标的理想值。

2) 将权重分配进行二级决策。将管道防腐要素作为指标集 $P' = \{P_1', P_2', \dots, P_n'\}$, 预防各个因素所引起的腐蚀作为方案集 $Q' = \{Q_1', Q_2', \dots, Q_m'\}$ 。

求得各评价要素加权综合指数 $a_{ij}' = \sum_{j=1}^n \omega_j a_{ij}$, 然后按照步骤 1) 确定二级决策矩阵 A' , 并经级差规范化处理形成决策矩阵 $B' = (B'_{ij})_{m \times n}$, 再由式(19)计算各要素的权重系数, 得到管道防腐各因素的权重分配。

二、赋权问题的讨论

权重赋值是影响管道风险评价结果质量的关键因素, 也决定以评价结果为依据所制订的风险管理的有效性和可靠性, 有必要在下述方向上对赋权问题进行更深入的研究。

(1) 油气管道风险因素的权重既涉及到多维赋权, 又涉及到多层赋权问题。如何对涉及面广泛的评价因素进行赋权, 还需要消化其他研究领域的赋权研究成果, 结合管道风险评估的实际情况进行移植、调整和深化等。

(2) 每种单一的赋权方法都难以将赋权的人为主观性完全消除, 于是将多种赋权方法进行融合和集成是必要的。这个过程既涉及到主观赋权法和客

观赋权法,又涉及到具体某几种赋权方法相结合的赋权技术。关键是怎样处理在进行权重融合时如何避免所引入的人为偏好系数。

(3)赋权技术的择优。油气管道风险分析还会有新的赋权方法。如何选择最优及符合管道安全评价问题实质的适用方法,还需进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 张华林,刘刚.层次分析法在石油安全评价中的应用[J].天然气工业,2006,26(4):135-137.
- [2] 蒋宏业,梁光川,于磊,等.层次分析法在管道穿越河流方案选择中的应用[J].西南石油学院学报,2005,27(2):80-83.
- [3] 劳期团.环境管理实用技术方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994.
- [4] 刘先涛,陈光胜,高军.多种方法排序集结的灰色关联分析方法[J].西南石油学院学报,2004,26(5):83-84.
- [5] 钟冠华.平均与“权”[J].统计教育,2003(2):13-15.
- [6] 陈玉成,李章平,曹秋华.环境质量评价中的赋权技术[J].重庆环境科学,1997,19(2):43-47.
- [7] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005,25(4):552-556.
- [8] 张若星.城市环境系统的权重分配——多目标二级决策法[J].云南科学环境,2000,19(1):62-64.

(修改回稿日期 2007-06-05 编辑 赵 勤)