

基于广义模糊数相似测度风险分析方法

张增刚¹, 郑贤斌², 李继志¹

(1. 中国石油大学(华东)机电工程学院, 东营 257061; 2. 中国石油集团安全环保技术研究院, 北京 100083)

摘要 为了提高风险评价信息的可信度, 在“单重心方法”(SCGM) 计算广义模糊数的重心点基础上, 提出了一种新的基于广义模糊数相似测度的模糊风险分析方法. 与现有的风险评价方法相比, 基于 SCGM 的模糊风险分析方法考虑了决策者意见的可信度, 灵活性和智能化程度更高. 以管道失效概率为例给出了该方法的操作步骤, 计算结果表明该方法能正确处理模糊风险分析问题, 可为安全管理工作提供充分的依据.

关键词 重心点; 广义模糊数; 相似测度; 模糊风险分析

Risk analysis method based on similarity measures of generalized fuzzy numbers

ZHANG Zeng-gang¹, ZHENG Xian-bin², LI Ji-zhi¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2. Research Institute of Safety and Environment Technology, China National Petroleum Corporation, Beijing 100083, China)

Abstract In order to enhance the credibility of the risk assessment information, a new fuzzy risk analysis method based on similarity measures of generalized fuzzy numbers was proposed. The simple center of gravity method (SCGM) is applied to measure the degree of similarity between trapezoidal or triangular generalized fuzzy numbers by calculating their center of gravity (COG) points. The proposed similarity measure, which can overcome the drawbacks of the existing methods, is developed to deal with fuzzy risk analysis problems. The fuzzy risk analysis method is more flexible and more intelligent due to the fact that it takes into account of the degrees of confidence of decision-makers' opinions. Analysis steps are listed by taking the example of failure probability of pipeline. The results indicate that the method proposed can correctly handle fuzzy risk analysis problem and provide enough references in the field of safety engineering management.

Keywords center-of-gravity; generalized fuzzy number; similarity measure; fuzzy risk analysis

1 引言

自 Zadeh^[1] 提出模糊集理论以来, 模糊数的相似性测度一直是研究的热点. 学者们提出了大量的方法以计算模糊数之间的相似性测度^[2-7]. 与正则模糊数相比, 扩展模糊数能更好地度量不确定信息. Chen^[2] 等对现有的扩展模糊数相似性测度方法做了比较, 指出了一些问题, 并提出了一种新的基于重心的方法. 可以看出, 这些方法大多利用模糊数的基本数字特征, 如重心、面积等来度量相似性. 然而, 在某些条件下, 这些方法仍然不能正确计算不同扩展模糊数之间的相似性. 为解决这一问题, 杜峰^[8] 在分析了现有几种相似性测度原理的基础上, 指出了它们的不足之处, 通过将每个扩展模糊数, 并引入了 Hausdroff 距离, 构造了新的相似性测度公式, 提出了一种新的度量扩展模糊数相似性的新方法, 该方法可以有效地度量扩展模糊数之间的相似性. 刘华文^[9] 针对 Tran 和 Duckstein 给出的区间数之间及模糊数之间的距离公式的不足, 给出其纠正性定义, 进而引入一种新的模糊数排序函数, 最后给出算例说明其有效性及优越性. 徐泽水^[10] 定义了区间直觉

收稿日期: 2009-07-07

资助项目: 国家自然科学基金(50878122)

作者简介: 张增刚(1971-), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 副教授, 主要研究方向为燃气、蒸汽管网输配及风险评价理论与技术.

模糊集相似度的概念, 并且基于 Hamming 距离、标准化的 Hamming 距离、加权的 Hamming Euclidean 距离、Euclidean 距离、标准化的 Euclidean 距离、加权的 Euclidean 距离等, 定义了一些区间直觉模糊集距离测度, 给出了区间直觉模糊集相似性测度.

采用传统的重心点 (Center of gravity, 简称 COG) 方法处理模糊化和模糊等级问题实用性强, 但也存在一些缺点, 如不能直接计算一个区间或实数的 COG 点, 且计算 COG 点也非常耗时. Chen^[11] 等提出的“单重心方法” (Simple center of gravity method, 简称 SCGM) 是基于二维向量或线性方程计算模糊数的 COG 点, 能克服传统的 COG 方法的不足. 在模糊决策和模糊风险分析方面, 度量模糊数的相似测度很重要^[12], 现有的相似测度方法计算两个广义模糊数间相似测度都存在一些不足, 如在一定的条件下不能正确计算两个广义模糊数间相似测度. 本文提出了一种基于模糊数的 COG 点计算两个广义模糊数间相似测度的新方法, 能正确处理模糊风险分析问题. 由于考虑了决策者意见的可信度, 与现有的风险分析方法相比, 所提出的模糊风险分析方法得到的评价信息更丰富, 灵活性和智能化程度更高.

2 模糊数相似测度

设两个梯形模糊数 \tilde{A} 和 \tilde{B} , 分别表示为 $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ 和 $\tilde{B}=(b_1, b_2, b_3, b_4)$, 则 \tilde{A} 和 \tilde{B} 的相似测度 $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 为^[12]:

$$S(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|}{4} \in [0, 1] \tag{1}$$

当 \tilde{A} 和 \tilde{B} 是三角模糊数, 分别表示为 $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3)$ 和 $\tilde{B}=(b_1, b_2, b_3)$, 则 \tilde{A} 和 \tilde{B} 的相似测度 $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 为^[3]:

$$S(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^3 |a_i - b_i|}{3} \tag{2}$$

若 $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 的值越大, 则模糊数 \tilde{A} 和 \tilde{B} 的相似测度越高.

3 单重心方法

所提出的 SCGM 法基于中间曲线. 设广义梯形模糊数 $\tilde{A}=(a, b, c, d; w)$, 中间曲线定义为^[13]:

$$\eta_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \alpha, & x = \text{med}(\tilde{A}_\alpha) \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \tag{3}$$

式中, $\alpha \in (0, w)$; \tilde{A}_α 是 \tilde{A} 的 α 截集, $\tilde{A}_\alpha = \{x : \mu_{\tilde{A}} > \alpha\}$; $\inf(\tilde{A}_\alpha)$ 表示 \tilde{A}_α 的下界^[14]; $\sup(\tilde{A}_\alpha)$ 表示 \tilde{A}_α 的上界^[14]; $\text{med}(\tilde{A}_\alpha) = [\inf(\tilde{A}_\alpha) + \sup(\tilde{A}_\alpha)]/2$ 表示模糊数 \tilde{A} 的 α 截集中间点.

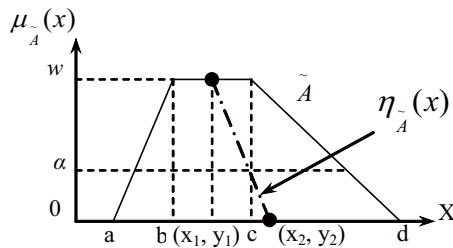


图 1 广义梯形模糊数 \tilde{A} 的中间曲线 $\eta_{\tilde{A}}(x)$

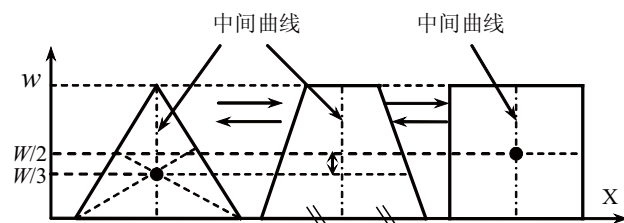


图 2 三角形和矩形重心间的梯形的重心

图 1 所示广义梯形模糊数 \tilde{A} 的中间曲线 $\eta_{\tilde{A}}(x)$ 是直线, 两点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 定义为:

$$x_1 = \frac{c+d}{2}, \quad y_1 = w; \quad 0 < w \leq 1 \tag{4}$$

$$x_2 = \frac{d+a}{2}, \quad y_2 = 0 \tag{5}$$

由图 1 可以看出, 中间曲线可定义为

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \tag{6}$$

由图 2 可以看出, 梯形 COG 的 y^* 位于三角形 COG 的 y^* (即 $y^* = w/3$) 和矩形 COG y^* (即 $y^* = w/2$) 之间. 因此, 梯形 COG 的 y^* 范围为 $\frac{w}{3} < y^* < \frac{w}{2}$, 其中 $0 < w \leq 1$.

设三角形是三角模糊数, 矩形是一个凸区间, 梯形是一个梯形模糊数, 可看出广义模糊数 \tilde{A} 的 COG 点在中间曲线上. 如果利用 COG 点的 y^* 值和中间曲线, 那么可得 COG 点的 x^* 值. 基于此, 提出一种新的 COG 方法—SCGM 方法. 如果 \tilde{A} 是一个广义梯形模糊数, 表示为 $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3, a_4; w_{\tilde{A}})$, 则 \tilde{A} 的 COG 点中 $y_{\tilde{A}}^*$ 为:

$$y_{\tilde{A}}^* = \begin{cases} \frac{w_{\tilde{A}} \times \left(\frac{a_3 - a_2}{a_4 - a_1}\right)}{6}, & \text{当 } a_1 \neq a_4 \text{ 和 } 0 < w_{\tilde{A}} \leq 1 \\ \frac{w_{\tilde{A}}}{2}, & \text{当 } a_1 = a_4 \text{ 和 } 0 < w_{\tilde{A}} \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

如果 \tilde{A} 是一个广义三角模糊数, 其中 $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_2, a_3; w_{\tilde{A}})$, 则 \tilde{A} 的 COG 点中 $y_{\tilde{A}}^*$ 为

$$y_{\tilde{A}}^* = \frac{w_{\tilde{A}} \times \left(\frac{a_2 - a_2}{a_3 - a_1} + 2\right)}{6} = \frac{w_{\tilde{A}} \times (0 + 2)}{6} = \frac{w_{\tilde{A}}}{3}.$$

如果 \tilde{A} 是一个凸区间, 其中 $\tilde{A}=(a_1, a_1, a_4, a_4; w_{\tilde{A}})$, 则 \tilde{A} 的 COG 点中 $y_{\tilde{A}}^*$ 为

$$y_{\tilde{A}}^* = \frac{w_{\tilde{A}} \times \left(\frac{a_4 - a_2}{a_4 - a_1} + 2\right)}{6} = \frac{w_{\tilde{A}} \times (1 + 2)}{6} = \frac{w_{\tilde{A}}}{2}.$$

基于式 (4)–(6), 可得 \tilde{A} 的 COG 点中 $x_{\tilde{A}}^*$:

$$x_{\tilde{A}}^* = \frac{y_{\tilde{A}}^* (x_2 - x_1) - x_2 y_1 + x_1 y_2}{y_2 - y_1} \quad (8)$$

其中 $x_1=(a_3 + a_2)/2$, $x_2=(a_4 + a_1)/2$, $y_2=0$, $y_1 = w_{\tilde{A}}$ 和 $0 < w_{\tilde{A}} \leq 1$. 故式 (8) 可改写为

$$x_{\tilde{A}}^* = \frac{y_{\tilde{A}}^* (a_3 + a_2) + (a_4 + a_1) (w_{\tilde{A}} - y_{\tilde{A}}^*)}{2w_{\tilde{A}}} \quad (9)$$

基于式 (7) 和式 (9), 可得广义三角模糊数 \tilde{A} 的 COG(\tilde{A})= $(x_{\tilde{A}}^*, y_{\tilde{A}}^*)$.

4 两个广义模糊数间新的相似测度

设两个广义模糊数 $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3, a_4; w_{\tilde{A}})$ 和 $\tilde{B}=(b_1, b_2, b_3, b_4; w_{\tilde{B}})$, $0 \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4 \leq 1$ 和 $0 \leq b_1 \leq b_2 \leq b_3 \leq b_4 \leq 1$. 首先, 利用式 (7) 和式 (9) 得 \tilde{A} 和 \tilde{B} 的 COG(\tilde{A})、COG(\tilde{B}), 分别表示为 COG(\tilde{A})= $(x_{\tilde{A}}^*, y_{\tilde{A}}^*)$ 、COG(\tilde{B})= $(x_{\tilde{B}}^*, y_{\tilde{B}}^*)$, 则 \tilde{A} 和 \tilde{B} 间的相似测度 $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 为:

$$S(\tilde{A}, \tilde{B}) = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|}{4}\right] \times \left(1 - |x_{\tilde{A}}^* - x_{\tilde{B}}^*|\right)^{B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}})} \times \frac{\min(y_{\tilde{A}}^*, y_{\tilde{B}}^*)}{\max(y_{\tilde{A}}^*, y_{\tilde{B}}^*)} \quad (10)$$

其中 $y_{\tilde{A}}^*, y_{\tilde{B}}^*$ 由式 (7) 可得, $x_{\tilde{A}}^*, x_{\tilde{B}}^*$ 由式 (9) 可得, $S(\tilde{A}, \tilde{B}) \in [0, 1]$, 且 $B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}})$ 定义为:

$$B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}}) = \begin{cases} 1, & \text{当 } S_{\tilde{A}} + S_{\tilde{B}} > 0 \\ 0, & \text{当 } S_{\tilde{A}} + S_{\tilde{B}} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

其中广义模糊数 \tilde{A} 和 \tilde{B} 间的基本长度分别为 $S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}}$, 其定义如下:

$$S_{\tilde{A}} = a_4 - a_1 \quad (12)$$

$$S_{\tilde{B}} = b_4 - b_1 \quad (13)$$

所提出的相似测度 $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 综合了几何距离 $[1 - (\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|/4)]$ 和重心距离 $(1 - |x_{\tilde{A}}^* - x_{\tilde{B}}^*|)^{B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}})}$. $B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}})$ 主要用来确定是否需要考虑 COG 距离. 如果 \tilde{A} 和 \tilde{B} 是实数 (即 $S_{\tilde{A}} + S_{\tilde{B}} = 0$), 那么不用考虑重心距离 (即 $B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}}) = 0$). 如果 \tilde{A} 和 \tilde{B} 任何一个为广义模糊数或都是广义模糊数 (即 $S_{\tilde{A}} + S_{\tilde{B}} \neq 0$), 那么必须考虑 COG 距离 (即 $B(S_{\tilde{A}}, S_{\tilde{B}}) = 1$), $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ 的值越大, 则 \tilde{A} 和 \tilde{B} 的相似测度越高.

5 基于广义模糊数相似测度的模糊风险分析

在文献 [15-18] 中, 基于模糊数算术运算的模糊权重均化方法进行风险分析, Chen^[3] 指出文献 [15] 和 [16] 中的模糊风险分析方法效率不高, 其原因在于进行复杂的模糊数算术运算和完成语言近似的计算需要耗费大量的时间. 因此, 文献 [3] 提出一种模糊风险分析方法由式 (1) 可得相似测度.

考虑管道中与管子相关的事件失效概率的模糊性与其损失严重度的模糊性, 建立了在环境原因 (蚀损斑腐蚀)、材质和施工原因 (应力腐蚀裂化、一般腐蚀、化学腐蚀、材料缺陷和施工及升级)、外力 (土地移动、冲蚀等和由设备所引起的机械损害) 等共同作用下的管道模糊风险分析模型. 美国记录的输送管道所受到的一种损害类型示例, 如图 3 所示^[19]. 图 3 中标出各事件的失效概率百分比值.

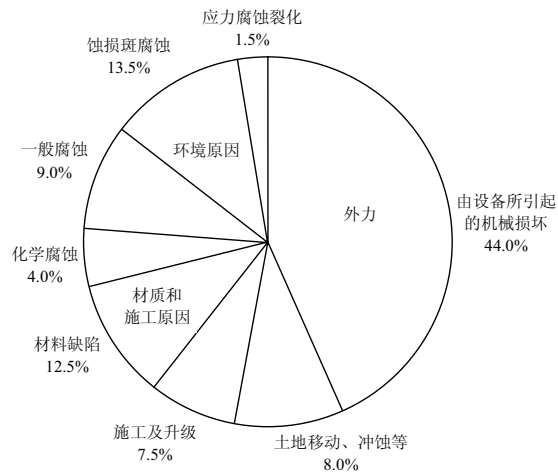


图 3 管线中与管子相关的事件

由文献 [15], 每个事件 A_i 由两个评价指标即 \tilde{R}_i 和 \tilde{W}_i , 其中 \tilde{R}_i 表示事件 A_i 的失效概率, \tilde{W}_i 表示 A_i 的损失严重度, 且 $1 \leq i \leq 8$. 所有的评价指标是用语言描述 (即“高”, “中等”, “低”, ...) \tilde{R}_i 和 \tilde{W}_i 的值. 本文采用一个 9 个元素组成的语言指标集 (梯形模糊数) 表示语言指标^[9-10].

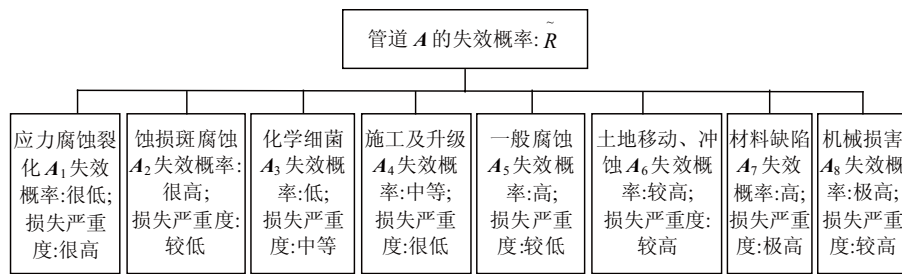


图 4 管道风险分析结构图

设事件 A 由 n 个子事件 A_1, A_2, \dots, A_n , 且设两个评价指标评价每个子事件 A_i , 即 \tilde{R}_i 和 \tilde{W}_i , 其中 \tilde{R}_i 表示子事件 A_i 的失效概率, \tilde{W}_i 表示子事件 A_i 的损失严重度, 且 $1 \leq i \leq n$. 下面提出评价管道 A 的失效概率算法如下:

第一步: 利用模糊数算术运算模糊权重均化方法和模糊数算术运算, 综合事件 A_i 的评价指标 \tilde{R}_i 和 \tilde{W}_i 得管道 A 的整个风险 \tilde{R} :

$$\tilde{R} = \left(\sum_{i=1}^n \tilde{W}_i \otimes \tilde{R}_i \right) / \sum_{i=1}^n \tilde{W}_i \quad (14)$$

第二步: 利用所提出的相似测度 (即式 (10)) 评价模糊数 \tilde{R} 和每个用语言描述的指标间的相似测度, 如表 1 所示, 再将模糊数 \tilde{R} 转换成最大相似测度的语言.

基于广义模糊数相似测度的模糊风险分析过程实例分析.

考虑决策者意见的可信度. 图 4 所示的管道风险分析结构图中, 管道 $A=(A_1, A_2, \dots, A_8)$, 其失效概率 \tilde{R} ; 每一个子事件 A_i 的损失严重度 \tilde{W}_i , 其中 $1 \leq i \leq 8$. \tilde{R}, \tilde{W}_i 的语言值如表 1 所示. 设有 3 个决策者对 8 个子事件 A_1-A_8 的失效概率, 如表 2 所示. 其中 w_{ij} 表示决策者 E_j 的评价子事件 A_i 失效概率 \tilde{R}_{ij} 的可信度, $1 \leq i \leq 8$ 和 $1 \leq j \leq 3$.

首先, 计算子事件 A_i 的失效概率 \tilde{R}_i , 其中 $1 \leq i \leq 8$. 设 $\tilde{R}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}; w_{ij})$ 是梯形模糊数, 则失

表 1 事件 $A_1 - A_8$ 的 \tilde{R}_i 和 \tilde{W}_i 的语言值

子事件	\tilde{R}_i	\tilde{W}_i
A_1	很低	很高
A_2	很高	高
A_3	低	中等
A_4	中等	很低
A_5	高	较低
A_6	较高	较高
A_7	高	极高
A_8	极高	较高

效概率 \tilde{R}_i 为

$$\tilde{R}_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \tilde{R}_{ij}}{3} = \left(\frac{\sum_{j=1}^3 a_{ij}}{3}, \frac{\sum_{j=1}^3 b_{ij}}{3}, \frac{\sum_{j=1}^3 c_{ij}}{3}, \frac{\sum_{j=1}^3 d_{ij}}{3}; \frac{\sum_{j=1}^3 w_{ij}}{3} \right) = (a_i, b_i, c_i, d_i; w_i) \quad (15)$$

表 2 由三个决策者对三个所评价子事件的失效概率语言值及其可信度

决策者 E_i	决策者 E_1	决策者 E_2	决策者 E_3
A_1	\tilde{R}_{11} = 很低 ($w_{11} = 0.8$)	\tilde{R}_{12} = 很低 ($w_{12} = 0.7$)	\tilde{R}_{13} = 较低 ($w_{13} = 0.9$)
A_2	\tilde{R}_{21} = 高 ($w_{21} = 0.7$)	\tilde{R}_{22} = 很高 ($w_{22} = 0.9$)	\tilde{R}_{23} = 较高 ($w_{23} = 0.8$)
A_3	\tilde{R}_{31} = 低 ($w_{31} = 0.8$)	\tilde{R}_{32} = 较低 ($w_{32} = 0.7$)	\tilde{R}_{33} = 中等 ($w_{33} = 0.6$)
A_4	\tilde{R}_{41} = 中等 ($w_{41} = 0.8$)	\tilde{R}_{42} = 中等 ($w_{42} = 1.0$)	\tilde{R}_{43} = 较低 ($w_{43} = 0.9$)
A_5	\tilde{R}_{51} = 高 ($w_{51} = 0.9$)	\tilde{R}_{52} = 较高 ($w_{52} = 0.8$)	\tilde{R}_{53} = 中等 ($w_{53} = 0.7$)
A_6	\tilde{R}_{61} = 较高 ($w_{61} = 0.6$)	\tilde{R}_{62} = 高 ($w_{62} = 0.7$)	\tilde{R}_{63} = 高 ($w_{63} = 0.8$)
A_7	\tilde{R}_{71} = 高 ($w_{71} = 1.0$)	\tilde{R}_{72} = 较高 ($w_{72} = 0.9$)	\tilde{R}_{73} = 很高 ($w_{73} = 0.8$)
A_8	\tilde{R}_{81} = 极高 ($w_{81} = 0.9$)	\tilde{R}_{82} = 很高 ($w_{82} = 0.7$)	\tilde{R}_{83} = 高 ($w_{83} = 0.5$)

由表 2 和式 (15), 可得:

$$\begin{aligned} \tilde{R}_1 &= (0.0567, 0.0733, 0.1200, 0.1400; 0.8); \tilde{R}_2 = (0.7433, 0.7967, 0.9067, 0.9433; 0.8); \\ \tilde{R}_3 &= (0.1767, 0.2433, 0.3733, 0.4333; 0.7); \tilde{R}_4 = (0.2700, 0.3467, 0.5067, 0.5733; 0.9); \\ \tilde{R}_5 &= (0.5400, 0.6067, 0.7667, 0.8267; 0.8); \tilde{R}_6 = (0.6733, 0.7300, 0.8800, 0.9333; 0.7); \\ \tilde{R}_7 &= (0.7433, 0.7967, 0.9067, 0.9433; 0.9); \tilde{R}_8 = (0.8833, 0.9200, 0.9733, 0.9900; 0.7); \end{aligned}$$

根据表 1 和表 2 的数据, 由式 (14) 采用 MATLAB 计算管道 A 的失效概率 \tilde{R} 为:

$$\begin{aligned} \tilde{R} &= \left[\tilde{R}_1 \otimes \text{很低} \oplus \tilde{R}_2 \otimes \text{很高} \oplus \tilde{R}_3 \otimes \text{低} \oplus \tilde{R}_4 \otimes \text{中等} \oplus \tilde{R}_5 \otimes \text{高} \oplus \tilde{R}_6 \otimes \text{较高} \oplus \tilde{R}_7 \otimes \text{高} \oplus \tilde{R}_8 \otimes \text{极高} \right] \\ &\emptyset \left[\text{很低} \oplus \text{很高} \oplus \text{低} \oplus \text{中等} \oplus \text{高} \oplus \text{较高} \oplus \text{高} \oplus \text{极高} \right] = (0.5187, 0.6313, 0.9587, 1.1450; 0.7) \end{aligned}$$

采用式 (7) 和式 (9) 得如表 1 所示的由九个单元语言集的 COG 点, 以及利用式 (12) 和式 (13), 得如表 3 所示的 S . 同理, 可得广义模糊数 \tilde{R} 的 COG 点, 其中 $\text{COG}(\tilde{R}) = (0.8111, 0.3943)$, 且广义模糊数 \tilde{R} 的 $S_{\tilde{R}} = 0.6263$.

根据式 (11) 和表 3, 可得 $B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{极低}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{很低}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{低}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{非极低}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{中等}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{较高}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{高}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{非高}}), B(S_{\tilde{R}}, S_{\text{极高}})$ 的值都等于 1. 由式 (10), 广义梯形模糊数 \tilde{R} 和表 1 所示的语言“极低”间的相似测度为

$$S(\tilde{R}, \text{极低}) = \left[1 - \frac{0.5187 + 0.6313 + 0.9587 + 1.1450}{4} \right] \times (1 - |0.8111 - 0|)^1 \times \frac{\min(0.3943, 0.5)}{\max(0.3943, 0.5)} = 0.0278.$$

同理, 可得到广义模糊数 \tilde{R} 和表 1 所示的其他语言间的相似测度为: $S(\tilde{R}, \text{很低}) = 0.0433, S(\tilde{R}, \text{低}) = 0.1032, S(\tilde{R}, \text{较低}) = 0.2133, S(\tilde{R}, \text{中等}) = 0.4315, S(\tilde{R}, \text{较高}) = 0.7187, S(\tilde{R}, \text{高}) = 0.7653, S(\tilde{R}, \text{很高}) = 0.6171, S(\tilde{R}, \text{极高}) = 0.4739$. 因为 $S(\tilde{R}, \text{高}) = 0.7653$ 有最大的值, 广义模糊数 \tilde{R} 就转变为语言“高”, 其中相似测度等于 0.7653, 即管道 A 的失效概率为高.

表 3 由九个单元语言集的 COG 点和基数

语言描述	COG 点	基数 S
极低	$\text{COG}(\text{极低}) = (0.0000, 0.5000)$	$S_{\text{极低}} = 0.00$
很低	$\text{COG}(\text{很低}) = (0.0255, 0.3810)$	$S_{\text{很低}} = 0.07$
低	$\text{COG}(\text{低}) = (0.1370, 0.4035)$	$S_{\text{低}} = 0.19$
较低	$\text{COG}(\text{较低}) = (0.2929, 0.4267)$	$S_{\text{较低}} = 0.25$
中等	$\text{COG}(\text{中等}) = (0.4892, 0.4192)$	$S_{\text{中等}} = 0.33$
较高	$\text{COG}(\text{较高}) = (0.7178, 0.4345)$	$S_{\text{较高}} = 0.28$
高	$\text{COG}(\text{高}) = (0.8471, 0.4267)$	$S_{\text{高}} = 0.25$
很高	$\text{COG}(\text{很高}) = (0.9745, 0.3810)$	$S_{\text{很高}} = 0.07$
极高	$\text{COG}(\text{极高}) = (1.0000, 0.5000)$	$S_{\text{极高}} = 0.00$

6 结论

本文采用 SCGM 计算广义模糊数的 COG, 然后基于 SCGM 提出了一种新的度量两个广义模糊数间相似测度的方法处理管道模糊风险分析问题。

1) 基于 SCGM 的模糊风险分析方法克服了现有的相似测度方法在一定的条件下不能正确计算两个广义模糊数间相似测度的不足, 该方法不仅能够正确计算出来, 且效率高。

2) 以管道失效为例, 将参数进行模糊化处理后, 可直接采用传统风险计算方法计算失效概率; 同时, 充分考虑决策者意见的可信度, 综合了各种不确定的影响因素, 其风险评价过程更符合工程实际。

3) 基于 SCGM 的模糊风险分析过程清晰、直观, 使用效果显著, 易于编制成通用的模糊风险分析软件系统, 工程推广性好, 故该方法在管道工程风险分析方面实用性强。

参考文献

- [1] Zadeh L. Fuzzy sets[J]. Inform and Control, 1965, 8: 338–356.
- [2] Chen S J, Chen S M. Fuzzy risk analysis base similarity measures of generalized fuzzy numbers[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003, 11(1): 45–56.
- [3] Chen S M. New methods for subjective mental work-load assessment and fuzzy risk analysis[J]. Cybernetics and Systems, 1996, 27(5): 449–472.
- [4] Lee H S. Optimal consensus of fuzzy opinions under group decision making environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 132(3): 303–315.
- [5] Li D F, Cheng C T. New similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and application to pattern recognitions[J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(13): 221–225.
- [6] Liang Z Z, Shi P F. Similarityistic measures on intuitionistic fuzzy sets[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(15): 2687–2693.
- [7] Pedrycy W. Fuzzy sets in pattern recognition: Accomplishments and challenges[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 90(2): 171–176.
- [8] 杜峰, 施文康, 邓勇. 基于 Hausdorff 距离的扩展模糊数相似性测度 [J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(4): 614–617.
Du F, Shi W K, Deng Y. A new similarity measure of generalized fuzzy numbers[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2005, 39(4): 614–617.
- [9] 刘华文. 基于距离测度的模糊数排序 [J]. 山东大学学报: 理学版, 2004, 39(2): 30–36.
Liu H W. Ranking fuzzy numbers based on a distance measure[J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2004, 39(2): 30–36.
- [10] Xu Z S. On correlation measures of intuitionistic fuzzy sets[C]//The 7th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning. Burgos: Lecture Notes in Computer Science, 2006: 16–24.
- [11] Chen S J, Chen S M. A new simple center-of-gravity method for handling the fuzzy ranking and defuzzification problems[C]//The 8th National Conf, Taiwan, Fuzzy Theory Applications, 2000: 66–74.
- [12] 韩立岩, 雷蕾. 基于模糊测度的公司债务违约风险分析 [J]. 管理科学与统计决策, 2006, 3(4): 25–40.
Han L Y, Lei L. The default risk analysis of corporate debts based on fuzzy measures[J]. Journal of Management Science & Statistical Decision, 2006, 3(4): 25–40.
- [13] Subasic P, Hirota K. Similarity rules and gradual rules for analogical and interpolative reasoning with imprecise data[J]. Fuzzy Sets Syst, 1998, 96(1): 53–75.
- [14] Klir G J, Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.
- [15] Kangari R, Riggs L S. Construction risk assessment by linguistics[J]. IEEE Trans Eng Manag, 1989, 36(2): 126–131.
- [16] Schmucker K J. Fuzzy Sets. Natural Language Computations and Risk Analysis[M]. Rockville, MD: Computer Science, 1984.
- [17] Zhang W R. Knowledge representation using linguistic fuzzy relations[D]. Univ South Carolina, Columbia: SC, 1986.
- [18] Chen S M. A new approach to handling fuzzy decision-making problems[J]. IEEE Trans Sys Man Cybern, 1988, 18(12): 1012–1016.
- [19] Crouch A E, Bubenik T A, Barnes B. Outlook on in-line inspection for stress corrosion cracking[C]//Pipeline Pigging & Integrity Monitoring Conference, Houston, 1994: 147–155.