

基于组合赋权-TOPSIS模型的城市燃气输送管道泄漏风险评价

张鑫雨¹, 贾真真^{1,2,3}, 叶青^{1,2,3}, 江继贤¹, 黄书恒¹, 金俊兵¹

¹湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭

²地下空间防火防爆材料与装备湖南省工程研究中心, 湖南 湘潭

³火灾爆炸防控与应急技术湖南省普通高等学校重点实验室, 湖南 湘潭

收稿日期: 2024年11月12日; 录用日期: 2024年11月26日; 发布日期: 2024年12月31日

摘要

燃气管道泄漏风险因素的评价分析是预防城市燃气输送管道火灾爆炸事故的重要一环, 为了客观评价城市燃气输送管道泄漏的风险, 本文提出了一种基于组合赋权-TOPSIS的城市燃气输送管道泄漏风险评价模型。首先基于文献调研、案例分析和专家咨询构建了城市燃气输送管道泄漏风险因素评价指标体系, 再基于博弈论思想将改进层次分析法和熵权法得到的主客观权重组合赋权, 并结合TOPSIS综合评价法构建城市燃气输送管道泄漏风险评价模型, 最后利用该模型对湖南省某市某一涵洞的燃气输送管道进行风险评价。结果表明: 1) 城市燃气输送管道泄漏的主要风险源为城市燃气管网的管道缺陷、管道本质安全、管道腐蚀和工作人员误操作, 其中工作人员误操作最为关键; 2) 基于本文所构建评价模型的评价结果可以使燃气集团清晰地掌握其安全生产管理中的薄弱环节, 为其制度的完善提供参考; 3) 本次综合评价模型为城市燃气输送管道的泄漏风险评价提供了新的方法。

关键词

燃气输送管道泄漏, 博弈论, 组合赋权, TOPSIS综合评价法, 风险评价

Based on the Combined Weighting-TOPSIS Model for Risk Assessment of Urban Natural Gas Transmission Pipeline Leakage

Xinyu Zhang¹, Zhenzhen Jia^{1,2,3}, Qing Ye^{1,2,3}, Jixian Jiang¹, Shuheng Huang¹, Junbing Jin¹

¹School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

²Hunan Engineering Research Center for Fire and Explosion Prevention Materials and Equipment in Underground Spaces, Xiangtan Hunan

³Key Laboratory of Fire and Explosion Prevention and Emergency Technology in Hunan Province, Xiangtan Hunan

文章引用: 张鑫雨, 贾真真, 叶青, 江继贤, 黄书恒, 金俊兵. 基于组合赋权-TOPSIS模型的城市燃气输送管道泄漏风险评价[J]. 现代管理, 2024, 14(12): 3350-3361. DOI: 10.12677/mm.2024.1412401

Abstract

The evaluation and analysis of risk factors associated with gas pipeline leakage is a crucial step in preventing fire and explosion incidents in urban gas transmission pipelines. To objectively assess the leakage risk of urban gas transmission pipelines, this article proposed a risk evaluation model based on a combination weighting-TOPSIS approach. Firstly, an evaluation index system for risk factors related to urban gas pipeline leakage was constructed through literature review, case analysis, and expert consultation. Then, based on the game theory concept, a combination of subjective and objective weights was derived using the improved Analytic Hierarchy Process (AHP) and the entropy weight method, which was integrated with the TOPSIS comprehensive evaluation method to develop the risk evaluation model for gas pipeline leakage. Finally, this model was applied to assess the risk of gas transmission pipelines in a culvert in a city in Hunan Province. The results indicate that: 1) The primary risk sources for urban gas pipeline leakage include pipeline defects, intrinsic safety of the pipeline, pipeline corrosion, and human error, with human error being the most critical factor; 2) The evaluation results based on the model developed in this study enable gas companies to clearly identify weaknesses in their safety management practices and provide references for improving their systems; 3) This comprehensive evaluation model offers a novel approach for assessing leakage risks in urban gas transmission pipelines.

Keywords

Gas Transmission Pipeline Leakage, Game Theory, Composite Assignment of Authority, TOPSIS Comprehensive Evaluation Method, Risk Assessment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

据中国城市燃气协会安全管理工作委员会 2023 年燃气事故的分析报告可知[1], 城市燃气事故主要由天然气和液化石油气两种气源引起, 其中由天然气引起的事故约占 40%, 而诱发天然气发生事故的最大因素是燃气管道的泄漏, 城市燃气输送管道因第三方施工破坏、金属管道腐蚀、动物咬噬软管等发生泄漏而导致火灾爆炸事故的案例层出不穷[2]。例如湖北省松原市发生的“7·4”城市燃气管道泄漏爆炸较大事故, 该事故共造成 7 人死亡、85 人受伤、直接经济损失 4419 万元, 事后经调查发现事故的直接原因是施工企业在施工过程中钻漏地下中压燃气管道, 导致燃气大量泄漏扩散并积聚, 最终遇不明点火源而引发爆炸。城市燃气管道泄漏事故的频繁发生, 暴露出安全监管存在漏洞、隐患排查有所缺陷、应急处置不够及时等深层次问题, 鉴于此, 本文针对城市燃气输送管道进行泄漏风险评价, 旨在深入研究并寻求城市燃气输送管道的主要风险源, 以降低事故发生的概率, 减少事故可能引发的财产损失和不良影响, 提升城市燃气输送管道的安全性。

风险评价技术在预防事故发生、分析事故致因、掌握事故特征方面起着重要作用, 孙永庆等研究发现, 风险评价技术是实现从安全管理向风险管理、从经验管理向科学管理过度的必要技术手段[3]。风险评价技术的合理应用能有效地预防相关事故的发生, 为更有效地进行风险评价, 学者们在考虑权重确定

方法时越来越合理科学,相较于应用单一的权重确定方式,组合赋权方法的应用更为广泛。例如姚天野等为综合主观权重和客观权重各自的片面性,提出了以组合赋权方法为基础的评价模型,并应用该模型评价了某城市区域的燃气管网,得出了该评价方法能实现对燃气管网风险有效评估的结论[4]。陆云才等应用基于组合赋权的管道腐蚀风险评价模型,对某引调水工程中 PCCP 输水管进行评价,结果发现该项目 PCCP 输水管道腐蚀风险等级为低风险水平[5]。黄敏等通过比较两种组合赋权方法得出的权重结果,发现它们总体趋势相互吻合,都能有效的评价天然气管道的失效风险[6]。与组合赋权法同样得到广泛应用的还有 TOPSIS 综合评价法,例如周杰基于 TOPSIS 综合评价法评估了结构构件的可靠性,并在鉴定成都市某厂房结构可靠性的应用中得出了该模型为结构构件可靠性评估提供了新方法的结论[7]。何晓龙利用 TOPSIS 综合评价法解决了场景指标优先级排序问题,发现该方法能有效实现对电力调度综合数据质量的评判[8]。孔飞采用 TOPSIS 评价模型研究了某湖泊的水资源安全健康状况,得出了该湖泊的水环境健康水平整体较好的评价结果[9]。但以上学者,都只是单一的使用组合赋权法或 TOPSIS 模型来进行风险评价,为了同时发挥组合赋权法的综合赋权优势和 TOPSIS 模型的优劣解综合排序优势,本文基于博弈论思想,构建了组合赋权-TOPSIS 城市燃气输送管道泄漏风险评价模型,并对湖南省某市某一涵洞的燃气输送管道泄漏风险进行评价。

2. 组合赋权-TOPSIS 模型构建

2.1. 风险评价流程

本文结合事故致因理论,通过事故案例分析、文献阅读、法规制度查阅等建立城市燃气输送管道泄漏风险评价指标体系;再基于博弈论思想结合改进层次分析法的主观权重和熵权法的客观权重确定出各个指标的权重,最后应用 TOPSIS 对城市燃气输送管道的泄漏风险进行综合评价,得出工程实例的风险评价结果。具体的评价流程如图 1 所示。

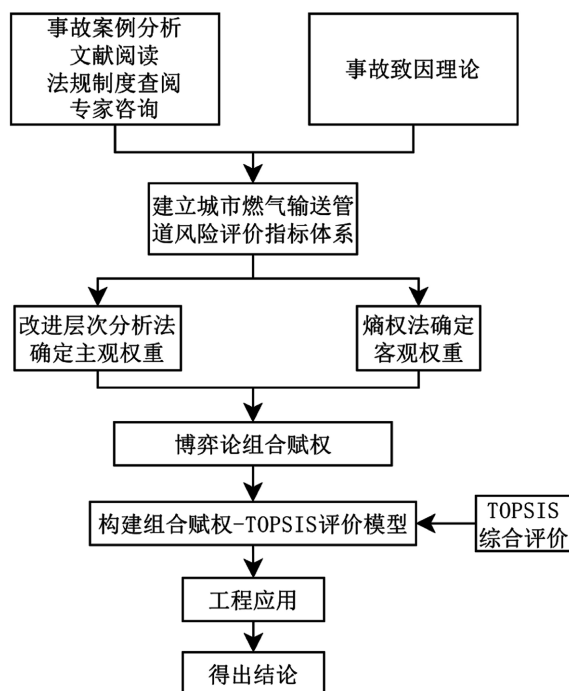


Figure 1. Evaluation flowchart

图 1. 评价流程图

2.2. 组合赋权

目前常见的确定权重的方法有层次分析法、熵权法、CRITIC法、变异系数法等[10]。然而这些单一的确定权重的方法都具有片面性[11]。因此在构建模型时可通过综合各单一的权重确定方法的优势进行组合赋权,以实现权重计算结果可靠性的提升。由此,本文基于博弈论思想将层次分析法、熵权法分别得到的主客观权重进行组合赋权。

组合赋权是指将各种单一模型得到的权重进行有机地结合,最终得到一个组合权重的方法[12]。目前常用的组合赋权方式有基于博弈论组合赋权、基于CRITIC组合赋权、基于熵值修正G1组合赋权等[13]。本文引入博弈论思想,对层次分析法、熵权法得到的主客观权重集进行组合赋权,科学地融合了主客观权重的优势。

2.2.1. 改进层次分析法确定主客观权重

层次分析法是指通过对分解后的决策问题进行定性定量分析并依此找出最优方案的决策方法[14]。由于传统层次分析法在实际应用过程中会出现判断矩阵不通过一致性检验而导致反复调整判断矩阵的情况,最终影响评价过程并增大计算量,因此本文采用改进层次分析法[15]确定主客观权重,利用三标度法和构建拟优传递矩阵来简化评价过程。

1) 建立层次结构模型。

基于层次分析法分解研究问题并依此构建层次结构模型的思路与方法,本文主要参考《城镇燃气管道完整性管理规范》(T/ZAWS 003-2024)、《燃气管道设施安全保护规程》(DB4201/T 622-2020)、《公用燃气压力管道风险分级管控和隐患排查治理技术规范》(DB2102/T 0078-2023)等标准规范,结合专家咨询、事故案例分析[16][17]、文献分析[18][19],共筛选出准则层的4项指标和因素层的18项指标,构建了城市燃气输送管道泄漏风险评价指标体系,如图2所示。

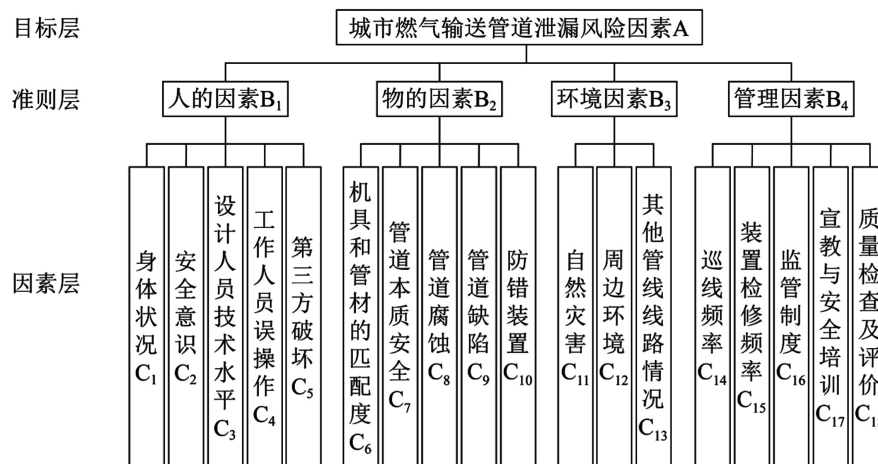


Figure 2. Evaluation index system chart

图2. 评价指标体系图

2) 构造比较矩阵 A' 。

$$A' = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \cdots & a'_{1n} \\ a'_{21} & a'_{22} & \cdots & a'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{n1} & a'_{n2} & \cdots & a'_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 为要素 i 与要素 j 重要性比较结果, $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,n$ 。

3) 计算重要程度排序指数 r_i 。

$$r_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (2)$$

其中, 重要程度排序指数 r_i 为比较矩阵 A' 中第 i 行所有元素之和。

4) 构造判断矩阵 A 。

$$a_{ij} = \begin{cases} \left[\frac{(r_i - r_j)(k_m - 1)}{r_{\max} - r_{\min}} + 1, r_i \geq r_j \right. \\ \left. \frac{(r_j - r_i)(k_m - 1)}{r_{\max} - r_{\min}} + 1 \right]^{-1}, r_i < r_j \end{cases} \quad (3)$$

其中, $r_{\max} = \max\{r_i\}$, $r_{\min} = \min\{r_i\}$, $k_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$ 。

5) 计算传递矩阵 B 。

对判断矩阵 A 取对数得到传递矩阵 B , 如式(4)所示。

$$b_{ij} = \lg a_{ij} \quad (4)$$

6) 构造最优传递矩阵 C 。

$$c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk}) \quad (5)$$

其中, n 是所在层级所取指标的总数。

7) 确定拟优传递矩阵 A^* 。将最优传递矩阵 C 的元素 C_{ij} 作为 10 的指数, 通过式(6)计算可得拟优传递矩阵 A^* 。

$$a_{ij}^* = 10^{c_{ij}} \quad (6)$$

8) 计算主观权重 W'_i 。

$$W'_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}^*}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}^*}} \quad (7)$$

2.2.2. 熵权法确定客观权重

熵权体现各指标数值变化对整体的影响, 熵权法具有客观但离散的特点[20]。

1) 构建判断矩阵 $E' = (e'_{kt})_{rs}$ 。

建立 r 个样本、 s 个评价因素的判断矩阵, 其中 $k=1,2,\dots,r$; $t=1,2,\dots,s$ 。

2) 判断 $E = (e_{kt})_{rs}$ 矩阵归一化。

$$e_{kt} = \begin{cases} \frac{e'_{kt} - e'_{\min}}{e'_{\max} - e'_{\min}}, \text{效益型指标} \\ \frac{e'_{\max} - e'_{kt}}{e'_{\max} - e'_{\min}}, \text{成本型指标} \end{cases} \quad (8)$$

其中, e'_{\min} 为同一指标下不同样本中的最小值; e'_{\max} 为同一指标下不同样本中的最大值。

3) 计算第 t 个指标的熵值和熵权, 如式(9)~(10)所示。

$$f_t = -\frac{1}{\ln r} \sum_{k=1}^r g_{kt} \cdot \ln g_{kt} \quad (9)$$

$$W'_t = \frac{h_t}{\sum_{t=1}^s h_t} \quad (10)$$

式(9)中 $g_{kt} = e_{kt} / \sum_{k=1}^r e_{kt}$ 为计算第 t 个指标第 k 个项目的数值比重。式(10)中 $h_t = 1 - f_t (t=1, 2, \dots, s)$, h_t 为第 t 个指标的变异指数。 W'_t 为第 t 个指标的权重。

2.2.3. 基于博弈论组合赋权

博弈论是指决策者以实现利益最大化为目的, 经过综合分析找到最优方案的过程[21]。

1) 解线性组合系数 α'_p 。

$$W = \sum_{p=1}^l \alpha'_p \cdot W_p^{rT} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} W'_1 \cdot W_1^{rT} & W'_1 \cdot W_2^{rT} & \cdots & W'_1 \cdot W_l^{rT} \\ W'_2 \cdot W_1^{rT} & W'_2 \cdot W_2^{rT} & \cdots & W'_2 \cdot W_l^{rT} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W'_l \cdot W_1^{rT} & W'_l \cdot W_2^{rT} & \cdots & W'_l \cdot W_l^{rT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha'_1 \\ \alpha'_2 \\ \vdots \\ \alpha'_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W'_1 \cdot W_1^{rT} \\ W'_2 \cdot W_2^{rT} \\ \vdots \\ W'_l \cdot W_l^{rT} \end{pmatrix} \quad (12)$$

其中, α'_p 为线性组合系数, 且 $\alpha'_p > 0$ 。

2) 解综合权重 W 。

将由式(12)求得的线性组合系数 α'_p 作归一化处理再带回式(11)中求解, 则可得出综合权重 W 。

2.3. TOPSIS 法综合评价

TOPSIS 法通过判断评价对象与正负理想的靠近程度来确定最优方案[22]。

1) 建立初始矩阵。

建立 n 个样本、 m 个评价指标的初始矩阵 $X' = (x'_{ij})_{nm}$ 。

$$X' = \begin{pmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \cdots & x'_{1m} \\ x'_{21} & x'_{22} & \cdots & x'_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_{n1} & x'_{n2} & \cdots & x'_{nm} \end{pmatrix} \quad (13)$$

2) 对初始矩阵进行归一化处理, 得归一化矩阵 $X = (x_{ij})_{nm}$ 。

3) 构建加权标准化矩阵 $Y = (y_{ij})_{nm}$ 。

$$Y = (y_{ij})_{nm} = W \cdot X = w \cdot (x_{ij})_{nm} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & \cdots & w_m x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{n1} & \cdots & w_m x_{nm} \end{bmatrix}, \text{ 其中 } W \text{ 是博弈论组合赋权得出得综合权重, } X \text{ 是}$$

进行归一化处理之后得矩阵。

4) 确定风险因素正负理想解 Y^+ 、 Y^- 。

$$\begin{cases} Y^+ = \left\{ \left(\max_n (y_{ij})_{nm} \mid m \in Q_1, \min_n (y_{ij})_{nm} \mid m \in Q_2 \right) \right\} \\ Y^- = \left\{ \left(\min_n (y_{ij})_{nm} \mid m \in Q_1, \max_n (y_{ij})_{nm} \mid m \in Q_2 \right) \right\} \end{cases} \quad (14)$$

其中 Y^+ 、 Y^- 分别为正、负理想解, Q_1 、 Q_2 分别为效益型指标和成本型指标。

5) 计算欧式距离。

$$\begin{cases} d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \\ d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \end{cases} \quad (15)$$

其中, d_i^+ 、 d_i^- 分别为样本指标到正负理想解的距离。

6) 计算贴进度。

$$Z_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (16)$$

其中, Z_i 为贴进度, $0 \leq Z_i \leq 1$; 当 $Z_i = 0$ 时, 样本指标为负理想解; 当 $Z_i = 1$ 时, 样本指标为正理想解。贴进度数值越大的代表样本指标越优。

2.4. 安全风险等级判据

参考行业规范标准、专家建议及相关文献[23]-[26], 将城市燃气输送管道的泄漏风险分为 4 级: IV 级(低风险)、III 级(一般风险)、II 级(较大风险)、I 级(重大风险), 安全风险等级评分标准见表 1。由于 TOPSIS 是多目标综合评价方法, 无法进行标准性评判而只能进行优劣排列, 为解决这一问题, 本文设置了三个固定的评价对象, P_1 、 P_2 、 P_3 , 其取值对应表 1 安全风险等级评分标准中的中间值 85、65、45。在评价单个或多个城市燃气输送管道时, 依照 TOPSIS 的计算原理可通过设置计算固定安全等级标度, P_1 、 P_2 、 P_3 , 对应计算相对贴进度为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 , 可以得出安全风险等级的评价标准, 见表 2。

Table 1. Criteria for assessing safety risk levels

表 1. 安全风险等级评分标准

评价等级	等级描述	分值区间
IV 级	低风险	(85, 100]
III 级	一般风险	(65, 85]
II 级	较大风险	(65, 45]
I 级	重大风险	(0, 45]

Table 2. Criteria for evaluating security risk levels

表 2. 安全风险等级评价标准

评价等级	等级描述	分值区间
IV 级	低风险	(Z_1 , 1]
III 级	一般风险	(Z_2 , Z_1]
II 级	较大风险	(Z_3 , Z_2]
I 级	重大风险	(0, Z_3]

3. 工程应用

本文将所构建的组合赋权-TOPSIS 模型应用于湖南省某市某一涵洞燃气输送管道泄漏风险评估过程中, 邀请 4 位专家进行风险评价。本次不考虑埋深及管道附属物的影响。该管道所用管材为钢管, 所处

地基情况良好而环境较为潮湿，容易引起管道腐蚀。

3.1. 指标权重确定

1) 计算主观权重。

以准则层($B_1 \sim B_4$)为例，按照改进层次分析法的步骤进行计算。准则层相当于目标层的判断矩阵 A-B 及其得出的权重见表 3。同理，可以计算出因素层 18 项指标的权重结果为 $W_1 = (0.007, 0.019, 0.186, 0.253, 0.135, 0.021, 0.126, 0.097, 0.073, 0.015, 0.001, 0.003, 0.002, 0.024, 0.017, 0.012, 0.006, 0.005)$ 。

Table 3. Judgment matrix A-B

表 3. 判断矩阵 A-B

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	W _{A-B}
B ₁	1	2	2	2	0.56
B ₂	0	1	2	0	0.12
B ₃	0	0	1	0	0.06
B ₄	0	2	2	1	0.26

2) 计算客观权重。

通过相关调研和 4 位专家打分，对燃气输送管道泄漏风险因素层的 18 项指标进行评分，4 位专家打分的情况见表 4。

Table 4. The rating situation

表 4. 评分情况

指标名称	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4
身体状况 C ₁	92	93	93	87
安全意识 C ₂	78	75	82	80
设计人员技术水平 C ₃	81	79	82	81
工作人员误操作 C ₄	89	87	91	90
第三方破坏 C ₅	95	93	96	94
机具和管材的匹配度 C ₆	90	89	95	91
管道本质安全 C ₇	90	92	91	90
管道腐蚀 C ₈	93	91	95	82
管道缺陷 C ₉	88	91	94	84
防错装置 C ₁₀	85	79	87	78
自然灾害 C ₁₁	84	86	79	85
周边环境 C ₁₂	88	90	94	96
其他管线线路情况 C ₁₃	88	86	91	83
巡线频率 C ₁₄	85	85	95	75
装置检修频率 C ₁₅	85	75	95	85
监管制度 C ₁₆	85	77	79	82
宣教与安全培训 C ₁₇	91	89	94	92
质量检查及评价 C ₁₈	93	91	95	92

按照熵权法的步骤处理表 4 的数据, 先应用式(8)得到标准判断矩阵, 再利用式(9)和式(10)计算熵值熵权, 计算得到评价指标的权重结果为 $W_2 = (0.039, 0.046, 0.041, 0.058, 0.050, 0.070, 0.101, 0.075, 0.053, 0.069, 0.041, 0.055, 0.049, 0.046, 0.046, 0.056, 0.047, 0.058)$ 。

3) 计算组合权重。

分别得出主客观权重 W_1 、 W_2 后, 再利用基于博弈论的组合赋权方法计算组合权重, 计算得出组合权重 $W = (0.006, 0.018, 0.189, 0.257, 0.136, 0.028, 0.123, 0.095, 0.071, 0.012, 0.002, 0.003, 0.001, 0.021, 0.015, 0.014, 0.005, 0.004)$, 具体组合权重结果见表 5。

Table 5. Composite weighting results
表 5. 组合权重结果

准则层	准则层组合权重	因素层	因素层组合权重
城市 燃气 输送 管道 泄漏 风险 因素 A	人的因素 B ₁	身体状况 C ₁	0.006
		安全意识 C ₂	0.018
		设计人员技术水平 C ₃	0.189
		工作人员误操作 C ₄	0.257
		第三方破坏 C ₅	0.136
		机具和管材的匹配度 C ₆	0.028
	物的因素 B ₂	管道本质安全 C ₇	0.123
		管道腐蚀 C ₈	0.095
		管道缺陷 C ₉	0.071
		防错装置 C ₁₀	0.012
		自然灾害 C ₁₁	0.002
		周边环境 C ₁₂	0.003
	环境因素 B ₃	其他管线线路情况 C ₁₃	0.001
		巡线频率 C ₁₄	0.021
		装置检修频率 C ₁₅	0.015
		管理制度 C ₁₆	0.014
		宣教与安全培训 C ₁₇	0.005
		质量检查及培训 C ₁₈	0.004
管理因素 B ₄	0.059		

3.2. TOPSIS 综合评价

现邀请 4 位专家对湖南省某市某一涵洞燃气输送管道结合工程实际情况进行打分, 将管道用符号 G 表示, 再对其做均权处理得到各个指标的分值, 初始评价价值见表 6, 其中 P₁、P₂、P₃ 是根据表 1 安全风险等级评分标准选出的三个固定点, 将其引入评价对象中, 可以更加清晰地对所评价的对象进行比较分析。再对表 6 的数据按照 TOPSIS 综合评价法的评价步骤进行计算, 先根据数据建立初始矩阵, 接着对其进行归一化处理, 并由此构建加权标准化矩阵, 最终应用式(14)~(16)计算得到指标的正、负理想解距离 d_i^+ 、 d_i^- 和相对贴进度 Z_i 。其计算结果详情见表 7。

3.3. 评价结果分析

由表 5 可知, 管道本质安全、工作人员误操作、管道缺陷、设计人员技术水平、管道腐蚀和第三方

Table 6. Initial evaluation value
表 6. 初始评价价值

指标名称	G	P ₁	P ₂	P ₃
身体状况 C ₁	92.25	85	65	45
安全意识 C ₂	79.25	85	65	45
设计人员技术水平 C ₃	80.75	85	65	45
工作人员误操作 C ₄	89.65	85	65	45
第三方破坏 C ₅	93.5	85	65	45
机具和管材的匹配度 C ₆	91.25	85	65	45
管道本质安全 C ₇	90.75	85	65	45
管道腐蚀 C ₈	89.25	85	65	45
管道缺陷 C ₉	89.25	85	65	45
防错装置 C ₁₀	82.75	85	65	45
自然灾害 C ₁₁	83.5	85	65	45
周边环境 C ₁₂	92	85	65	45
其他管线线路情况 C ₁₃	87	85	65	45
巡线频率 C ₁₄	85	85	65	45
装置检修频率 C ₁₅	85	85	65	45
监管制度 C ₁₆	80.75	85	65	45
宣教与安全培训 C ₁₇	91.5	85	65	45
质量检查及评价 C ₁₈	92.75	85	65	45

Table 7. Ideal solutions and fitting progress calculation results
表 7. 理想解和贴进度计算结果

项目	正理想解距离 d_i^+	负理想解距离 d_i^-	相对贴进度 Z_i	排序
G	0.26822809	0.93671136	0.77739289	1
P ₁	0.31275706	0.87801393	0.73734911	2
P ₂	0.53913906	0.46321046	0.46212469	3
P ₃	0.9553286	0.29554571	0.23627131	4

破坏的组合权重较大, 都在 0.07 以上; 而其他管线线路情况、周边环境、宣教与安全培训、质量检查及评价、身体状况和自然灾害的组合权重较小, 都在 0.006 以下。这说明实例中的燃气集团比较重视燃气管网的设计、管道敷设材料的选取、现场施工运营检修的实时监测以及管道的敷设技术; 而低权重的指标则反映了该燃气集团的薄弱点与疏漏处, 这说明燃气集团应该加强安全管理、重视安全文化与知识宣传和培训、规范操作流程和完善监管制度。

结合表 2 和表 7 可知, $Z_3 < Z_2 < Z_1 < Z_G$, 管道 G 的风险等级是 IV 级(低风险), 说明该燃气集团所敷设的管道泄漏风险低, 与现场实际情况相符, 可见基于组合赋权-TOPSIS 模型对湖南省某市某一涵洞燃气输送管道的评价是准确的。经过相关调研可知, 该燃气集团十分重视技术人才的选拔和管理层安全意识的强化, 只是存在安全管理制度和体系还不够完善以及员工本身文化水平不高、安全知识匮乏等问题,

导致在实际运行过程中会出现监管疏漏处和操作规范薄弱处的情况。因此,该企业应该加强员工的日常管理和指导,重视员工的技能培训,完善企业规章制度,形成良好的企业文化。

4. 结论

1) 构建了城市燃气输送管道泄漏风险因素评价指标体系,包含准则层的人物环管4个指标和管道本质安全、工作人员误操作、管道缺陷、管道腐蚀在内的因素层的18个指标。

2) 建立了基于组合赋权-TOPSIS的风险评价模型,该模型先基于博弈论思想将改进层次分析法和熵权法得到的主客观权重组合赋权,再引入TOPSIS模型划分风险等级并进行综合评价。

3) 应用了基于组合赋权-TOPSIS的风险评价模型对湖南省某市的某一涵洞燃气输送管道进行泄漏风险评价。最终得出结论:管道的风险等级是IV级(低风险)。准则层中人的因素占比最大,其次是物的因素、管理因素,最后是环境因素。因素层中管道本质安全、工作人员误操作、管道缺陷、设计人员技术水平、管道腐蚀和第三方破坏的组合权重较大,都在0.07以上;而其他管线线路情况、周边环境、宣教与安全培训、质量检查及评价、身体状况和自然灾害的组合权重较小,都在0.006以下。

4) 本文所建立的基于组合赋权-TOPSIS的风险评价模型引入博弈论思想科学组合了主客观权重,并结合TOPSIS综合评价法使评价结果更加准确合理;且该模型能有效地判断燃气管道泄漏风险等级,有助于企业根据评价结果反向排查各层的薄弱环节,为其决策提供依据。本次综合评价模型为城市燃气输送管道的泄漏风险评价提供了新的方法。

参考文献

- [1] 中国城市燃气协会安全管理工作委员会. 2023·第二季度报告暨半年综述[EB/OL]. <https://www.vzkoo.com/document/20230829ba5925d58bd9890e432409f8.html>, 2023-08-29.
- [2] 张翔, 沈周军. 论城镇燃气管道泄漏、爆炸事故处置[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(48): 12-15.
- [3] 孙永庆, 张晓庆, 张峥, 等. 我国燃气管道风险评估现状、差距及对策[J]. 天然气工业, 2004(5): 113-115+156.
- [4] 姚天野, 刘威. 基于AHP-熵权法组合赋权的燃气管网风险评估方法研究[J]. 结构工程师, 2019, 35(6): 93-101.
- [5] 陆云才, 康义博, 马财龙, 等. 基于组合赋权PCCP输水管道腐蚀风险评价研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7(6): 5-10.
- [6] 黄敏, 周德红, 樊旭岩, 等. 基于两种组合赋权法的天然气长输管道安全风险评估比较[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(2): 42-47.
- [7] 周杰. 基于TOPSIS法的结构可靠性评价研究[J]. 四川建筑, 2022, 42(1): 133-134+138.
- [8] 何晓龙. 基于TOPSIS方法的电力调度综合数据质量评价研究[J]. 电气应用, 2023, 42(10): 55-61.
- [9] 孔飞. 基于TOPSIS评价模型的水资源安全健康研究[J]. 地下水, 2024, 46(3): 227-229.
- [10] 巴振宁, 匡田, 梁建文, 等. 城市燃气管网运行安全风险评估研究进展[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(4): 533-537.
- [11] 黄忠宏, 帅健, 徐后佳, 等. 城镇燃气管道完整性管理效能评价方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(S1): 165-171.
- [12] 郝永梅, 高乾, 邢志祥, 等. 城市燃气管道失效风险等级评定方法研究[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2013, 25(2): 38-42.
- [13] 侯经纬, 刘香芝, 朱家琪, 等. 基于模糊综合层次评价的城市燃气管网风险评估[J]. 化学工程与装备, 2018(4): 153-157+168.
- [14] 杨振宏, 王璨, 胡世杰. 基于AHP的城市燃气管道安全模糊综合评判体系研究[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(2): 257-260.
- [15] 巴振宁, 韩亚鑫, 梁建文. 基于改进AHP和模糊综合评价法的燃气管道腐蚀风险评价[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2103-2109.
- [16] 湖南省住房和城乡建设厅. 松原市“7·4”城市燃气管道泄漏爆炸较大事故调查报告[EB/OL]. http://zjt.hubei.gov.cn/bmdt/ztl/hbcjda/dxgx/201910/t20191028_81441.shtml, 2018-01-26.

-
- [17] 龙岗政府在线. 深圳市龙岗区南湾街道“8·22”燃气泄漏事故调查报告[EB/OL]. <http://www.lg.gov.cn/attachment/0/983/983152/9862998.pdf>, 2021-08-23.
- [18] 赵翔宇. 城市燃气管道风险评价研究[J]. 山西建筑, 2012, 38(32): 162-164.
- [19] 漆小国, 赵昕怡, 谢尧玉. 城市燃气管网风险评价指标体系的构建[J]. 内蒙古石油化工, 2012, 38(19): 74-75.
- [20] 曾小康, 冯阳, 赖文庆, 等. 基于 AHP-熵权法的城市燃气管道风险评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(5): 130-135.
- [21] 乔庆, 徐兆凯, 王云亮. 基于 AHP-熵权法组合赋权的供水管网安全评估方法[J]. 城镇供水, 2022(6): 50-57.
- [22] 姜福川, 周师, 吴增彤, 等. 基于熵权-TOPSIS 法的煤矿安全投入决策分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(7): 24-29.
- [23] 陆飞. 城镇燃气管道的安全评价方法分析[J]. 化工管理, 2017(17): 229-230.
- [24] Brito, A.J., Almeida, A.T.D. and Mota, C.M.M. (2010) A Multicriteria Model for Risk Sorting of Natural Gas Pipelines Based on Electre Tri Integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research*, **200**, 812-821.
- [25] 卢辰菲. 城镇燃气管网系统风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2021.
- [26] 王春雪. 基于贝叶斯网络的城市燃气管道泄漏风险研究[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(4): 539-542.