

基于层次分析——模糊综合评价法的陆上溢油环境风险评价：以綦江为例

燕朝果¹, 李睿¹, 卢志明¹, 李梟^{2*}, 李治郡², 罗敏²

¹国家管网集团西南管道有限责任公司重庆维抢修中心, 重庆

²四川省地质工程勘察院集团有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2026年1月14日; 录用日期: 2026年2月24日; 发布日期: 2026年3月6日

摘要

本文以陆上输油管道穿越河流段为研究对象, 从管道失效易发性、溢油扩散性、环境敏感性和防护有效性四个方面构建评价指标体系, 采用层次分析法确定各级指标权重, 并结合模糊综合评价方法, 建立了陆上输油管道穿越段溢油环境风险评价模型。该模型能够综合反映不同影响因素对溢油环境风险的贡献程度, 为陆上输油管道溢油风险的科学评估与防控提供方法支撑和决策依据。此外, 本文选取綦江输油管道穿越段作为实例, 对其溢油环境风险等级进行评价。结果表明, 该穿越段溢油环境风险等级为III级, 属于中等风险水平, 验证了所建评价模型的可行性与适用性。研究成果可为陆上输油管道溢油事故的风险防范与应急管理提供参考。

关键词

层次分析法, 模糊评价法, 溢油环境风险评价

Environmental Risk Assessment of Onshore Oil Spill Based on Analytic Hierarchy Process-Fuzzy Comprehensive Evaluation: A Case Study of Qijiang

Chaoguo Yan¹, Rui Li¹, Zhiming Lu¹, Xiao Li^{2*}, Zhijun Li², Min Luo²

¹Chongqing Maintenance and Repair Center, Southwest Pipeline Co., Ltd., China Pipeline Network Corporation, Chongqing

²Sichuan Institute of Geological Engineering Investigation Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 燕朝果, 李睿, 卢志明, 李梟, 李治郡, 罗敏. 基于层次分析——模糊综合评价法的陆上溢油环境风险评价: 以綦江为例[J]. 石油天然气学报, 2026, 48(1): 80-91. DOI: 10.12677/jogt.2026.481010

Abstract

This study focuses on leakage risk assessment for river-crossing sections of onshore oil pipelines. An evaluation index system was established from four aspects: pipeline failure susceptibility, oil spill diffusion potential, environmental sensitivity, and protection effectiveness. The Analytic Hierarchy Process was used to determine the weights of the evaluation indicators, and a fuzzy comprehensive evaluation method was applied to develop an environmental risk assessment model for oil spills at onshore pipeline river-crossing sections. The model reflects the contribution of different factors to oil spill environmental risk and provides technical support for the scientific assessment and control of oil spill risks in onshore oil pipeline systems. The river-crossing section of the Qijiang oil pipeline was selected as a case study to evaluate its oil spill environmental risk level. The results indicate that the risk level of this section is classified as Level III, corresponding to a medium-risk category. This confirms the feasibility and applicability of the proposed evaluation model. The findings provide a technical basis for risk prevention and emergency management of oil spill incidents in onshore oil pipeline systems.

Keywords

Analytic Hierarchy Process (AHP), Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE), Environmental Risk Assessment of Oil Spill

Copyright © 2026 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

随着全球经济的快速发展和能源需求的持续增长,输油管道的建设和运营也日益复杂化。然而,管道系统在高压、高流量的环境下运行,潜在的安全隐患和环境风险不容忽视,油品泄漏事件的发生频率和危害影响逐渐引起广泛关注。美、加、中等国相继建立了泄漏溢油应急管理体系。整体来看,国内外对海洋溢油事故的经验积累和应急响应要优于内陆河流溢油事故。当前在溢油迁移路径模拟、溢油环境风险评价、溢油监测技术、溢油应急管理体系等方面的研究,多集中于海上溢油领域[1],针对陆上输油管道穿越河流段的油品泄漏风险评价研究相对较少[2]。

高压输油管道是现代能源基础设施的重要组成部分,承担着将石油从生产地运输到消费市场的关键任务。泄露油品一旦进入河流,随着河水向下游迁移,会对穿越段下游流域内的居民、水资源及动植物等造成严重的危害,不仅会造成严重的经济损失,还可能对周围环境造成严重影响,污染水源、土壤和空气,并对生态系统的生物多样性构成威胁[1][3]。

内陆河流中往往分布有大量的自然保护区、饮用水水源保护区以及鱼类产卵场、索饵场及越冬场等环境敏感区,一旦发生溢油事故,便可能对管道穿越段河流下游环境敏感区造成极大危害。因此,进行输油管道河流穿越段的溢油环境风险评价,对输油管道的稳定运营与泄漏预防具有重要指导作用[4]。

本文采用层次分析-模糊评判法对溢油环境风险进行评价,旨在构建溢油评价模型对溢油风险等级进行评价,以辅助各部门提前对溢油高风险段设置拦截措施,将可能发生的溢油扩散事件影响降到最低。

本文还利用建立的溢油评价模型对綦江管道穿越段进行了溢油风险等级评价，评价结果对于提升綦江的溢油风险防控能力具有重大意义。

2. 方法介绍

全过程环境风险评价，其关键是通过确定建立的评价指标体系的权重，然后建立其评价模型进行评价。本次利用层次分析法计算权重，然后参照模糊综合评价法，建立输油管道穿越段溢油环境风险的评价模型。

2.1. 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是将数学模型与实际经验相结合，定性定量相结合，将决策相关要素分解为目标层、准则层、指标层等层次[5]。AHP 由美国 T. L. Saaty 首次提出，该方法依托专家学者的指标理解、专业知识与经验，综合比较评价指标相对重要性[6][7]，评估指标间相互影响系数并赋予对应权重，适用于难定量描述但可系统分层的复杂体系。

2.2. 模糊综合评判

模糊综合评价法(Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE)，是综合、系统地考虑影响某事物或对象的各个因素，根据模糊数学的隶属度理论，把各因素的定性评价转化为定量评价[8][9]，对受到多种因素制约的事物或对象的优劣性或可行性做出评价的一种科学分析方法。该理论最早由美国自动控制专家查德(L. A. Zadeh)教授提出，在环境风险评价中，其实质上就是通过识别过程中的关键风险点来获得有关危险过程的重要推论。

3. 评价模型构建

针对输油管道溢油环境风险体系的多层次、高维性、随机性以及动态性等特征，考虑将层次分析法与模糊综合评价法结合，采用 AHP-FCE 模型对输油管道河流穿越段溢油环境风险进行综合评价，通过此模型能获得较为合适与全面的结果。AHP-FCE 综合评价流程见图 1。

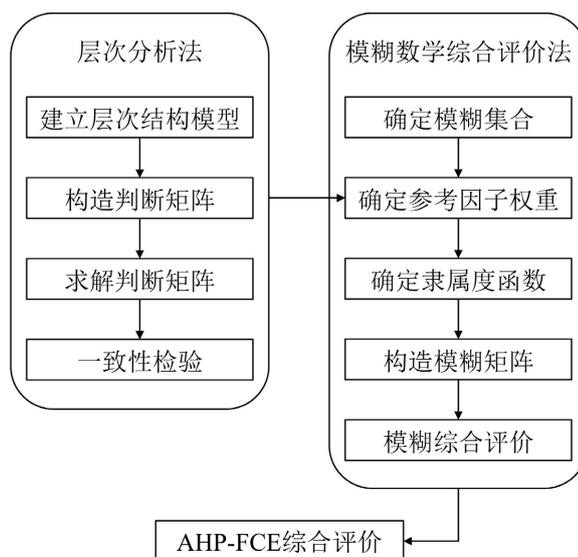


Figure 1. AHP-FCE comprehensive evaluation process
图 1. AHP-FCE 综合评价流程

3.1. 层次分析(AHP)模型

AHP 建模可分为四个步骤:

(1) 构建层次结构模型

首先需要组织问题, 进而将问题层次化, 在此基础上建立层次结构模型, 即建立一个明确的评价对象模型。本次将层次结构模型划分为第I层目标层、第II层准则层、第III层指标层, 由此建立的溢油路径环境风险评价层次结构模型如表 1。

Table 1. AHP hierarchical model

表 1. AHP 层次结构模型

目标层	准则层	指标层
输油管道溢油 环境风险	管道失效性	第三方破坏
		制造与施工缺陷
		误操作
		内腐蚀
		外腐蚀
		自然与地质灾害
	溢油扩散性	潜在泄漏量
		油品性质
		河道地形特征
		河流水文动力
		溢油发生的位置
		气象因素
环境敏感性	敏感点类型	
	敏感点重要程度	
	与污染带边缘距离	
	治理技术经济成本	
防护有效性	应急管理制度	
	管道质量管理	
	泄漏监测	
	应急处置能力	
	处置措施	
		现场环境

(2) 建立判断矩阵

层次分析法的信息基础是通过人们对于各层次中各因素相对重要性给出的判断。这些判断通过引入合适的标度用数值表示出来, 写成判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层次某因素, 本层次与之有关因素之间相对重要性的比较。构造成的判断矩阵呈如下形式:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

式中： $a_{ij} = 1/a_{ji} (i \neq j)$ ， $a_{ij} = 1 (i = j)$ ， a_{ij} 的值由 T. L. Saaty 提出的比较标度法标定，如表 2。

Table 2. Scaling method table (Saaty, 1980)

表 2. 标度方法表(Saaty, 1980)

重要性标度	定义	说明
1	重要性相等	两种因素对评价系统的贡献一致
3	一个因素比另一个因素稍微重要	二者间的判断差异微弱
5	一个因素比另一个因素明显重要	二者间的判断差异明显
7	一个因素比另一个因素强烈重要	二者间的判断差异强烈
9	一个因素比另一个因素绝对重要	二者间的判断差异悬殊强烈
2, 4, 6, 8	以上各值的中间标度	用于需要达成妥协的场合
上述各值的倒数	若因素 i 与 j 比较相对重要性以上述值进行标度，则因素 j 与 i 比较应为该值的倒数	

对一级(准则层)、二级(指标层)的因素分别构造判断矩阵如下表 3~7。

Table 3. Judgment matrix of factors at the first-level criterion layer

表 3. 一级准则层因素判断矩阵

一级判断矩阵	K1	K2	K3	K4
管道失效性(K1)	1	1/2	1/3	1/3
溢油扩散性(K2)	2	1	1/2	1/3
环境敏感性(K3)	3	2	1	1
防护有效性(K4)	3	3	1	1

Table 4. Judgment matrix of pipeline failure indicators

表 4. 管道失效性指标层判断矩阵

管道失效性(K1)	K11	K12	K13	K14	K15	K16
第三方破坏(K11)	1	3	4	5	5	1/3
制造与施工缺陷(K12)	1/3	1	3	4	4	1/3
误操作(K13)	1/4	1/3	1	3	3	1/5
内腐蚀(K14)	1/5	1/4	1/3	1	1	1/6
外腐蚀(K15)	1/5	1/4	1/3	1	1	1/6
自然与地质灾害(K16)	3	3	5	6	6	1

Table 5. Judgment matrix for oil spill spreading characteristics indicators

表 5. 溢油扩散性指标层判断矩阵

溢油扩散性(K2)	K21	K22	K23	K24	K25	K26
溢油发生的位置(K21)	1	3	3	1	5	4

续表

潜在泄漏量(K22)	1/3	1	3	1/3	4	3
河道地形特征(K23)	1/3	1/3	1	1/3	4	3
河流水文动力(K24)	1	3	3	1	5	4
油品性质(K25)	1/5	1/4	1/4	1/5	1	1/3
气象因素(K26)	1/4	1/3	1/3	1/4	3	1

Table 6. Judgment matrix of environmental sensitivity indicator layer**表 6.** 环境敏感性指标层判断矩阵

环境敏感性(K3)	K31	K32	K33	K34
敏感点类型(K31)	1	1/4	1/5	1/3
敏感点重要程度(K32)	4	1	1/3	3
与污染带边缘距离(K33)	5	3	1	4
治理技术经济成本(K34)	3	1/3	1/4	1

Table 7. Judgment matrix of protection effectiveness indicator layer**表 7.** 防护有效性指标层判断矩阵

防护有效性(K4)	K41	K42	K43	K44	K45	K46
应急管理制度(K41)	1	1	1/3	1/5	1/5	1/3
管道质量管理(K42)	1	1	1/3	1/5	1/5	1/3
泄漏监测(K43)	3	3	1	1/3	1/3	1
应急处置能力(K44)	5	5	3	1	1	3
处置措施(K45)	5	5	3	1	1	3
现场环境(K46)	3	3	1	1/3	1/3	1

(3) 指标权重计算

采用 AHP 方法计算权重, 目前最常用方法之一为和积法, 计算过程如下:

① 计算判断矩阵各行元素的 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

② 计算 M_i 的 n 次根

$$W_i = \sqrt[n]{M_i}$$

③ 对向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \dots, \bar{W}_n]$ 归一化处理

$$W = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

所得到的 $W = [W_1, W_2, W_3, \dots, W_n]^T$ 即为所求的权向量。

利用和积法计算出权重, 并对方案层各因素权重进行层次总排序见下表 8:

Table 8. Hierarchical overall ranking of weights at each level
表 8. 各层次权重的层次总排序

目标层	准则层	指标层	一级权重	二级权重	综合权重
输油管道 溢油环境 风险	管道失效性(K1)	第三方破坏	0.107	0.258	0.028
		制造与施工缺陷		0.158	0.017
		误操作		0.087	0.009
		内腐蚀		0.044	0.005
		外腐蚀		0.044	0.005
		自然与地质灾害		0.410	0.044
	溢油扩散性(K2)	潜在泄漏量	0.167	0.308	0.052
		油品性质		0.163	0.027
		河道地形特征		0.113	0.019
		河流水文动力		0.308	0.052
		溢油发生的位置		0.040	0.007
	环境敏感性(K3)	气象因素	0.345	0.068	0.011
		敏感点类型		0.068	0.024
		敏感点重要程度		0.269	0.093
		与污染带边缘距离		0.529	0.182
	防护有效性(K4)	治理技术经济成本	0.381	0.134	0.046
		应急管理制度		0.052	0.020
		管道质量管理		0.052	0.020
		泄漏监测		0.129	0.049
		应急处置能力		0.318	0.121
处置措施		0.318		0.121	
	现场环境	0.129	0.049		

(4) 一致性检验

一致性检验是检验权重值是否能真实地客观地反映出其重要性，主要决定于判断矩阵的真实性。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j / W_i$$

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

$$CR = CI / RI$$

式中： λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值；CI 为一致性指标；CR 为一致性比率；RI 为平均随机一致性指标，可由表 9 查得。

Table 9. Consistency index (RI) lookup table
表 9. 一致性指标 RI 查询表

因子数(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
相应取值	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

若 $CR < 0.1$, 判断矩阵满足一致性检验, 否则, 需对判断矩阵进行调整, 直到满意为止。通过检验计算, 表 8 中各级指标 CR 均小于 0.1, 满足一致性检验。

3.2. 模糊评判(FCE)模型

隶属函数和隶属度是模糊数学中的名词, 隶属函数是确定隶属度的方法, 隶属度表示一个评价对象属于某个评判等级的概率。所以先要对所选取的指标确定隶属函数, 将其定量化处理。环境风险评价体系中的各级指标对风险等级的贡献的方式和程度不一, 因此采用模糊数学进行一定的量化后给出打分值。比如溢油扩散性中溢油发生的位置, 陆上河流穿越段, 管道的铺设方式决定了溢油发生的位置, 隶属度值确定如表 10。对于穿越段下游环境敏感点的重要程度, 敏感点等级越高, 溢油发生后可能造成的风险等级越高, 在打分上也有所体现, 如表 11。

Table 10. Membership functions for oil spill locations

表 10. 溢油发生的位置隶属函数

溢油发生的位置	定向钻方式	跨越方式	大开挖, 有防护措施情况	大开挖, 无防护措施情况
隶属度值	0.3	0.5	0.7	0.9

Table 11. Membership function of the importance of sensitive points

表 11. 敏感点重要程度隶属函数

敏感点重要程度	国家级	省级	市州级	区县级
隶属度值	0.9	0.7	0.5	0.3

确定管道失效性、溢油扩散性、环境敏感性、防护有效性中各因素的隶属函数和隶属度后。借鉴《输油管道环境风险评估与防控技术指南》(GB/T 38076-2019)评价框架以及《油气管道地质灾害风险管理技术规范》(SY/T 6828-2024)中的风险分级思路, 将管道溢油环境风险等级划分为I、II、III、IV、V共 5 个等级, 对应风险程度为高风险、较高风险、中风险、较低风险、低风险, 如表 12。

Table 12. Classification of environmental risk levels of oil spills

表 12. 溢油环境风险等级划分

风险等级	风险程度	风险描述
I	高	该等级风险为不可接受风险, 应立即采取有效措施降低风险。
II	较高	该等级风险为有条件接受风险, 应在限定时间内采取有效措施降低风险。
III	中	该等级风险为可接受风险, 应保持关注, 可采取有效应对措施降低风险。
IV	较低	该等级风险为可接受风险, 宜保持关注。
V	低	该等级风险为可接受风险, 当前应对措施有效, 可不采取额外的技术、管理方面的预防措施。

不同的隶属度值对应不同环境风险等级, 单因素隶属度评价见下表 13。

Table 13. Single-factor membership degree corresponding grade evaluation table
表 13. 单因素隶属度对应等级评价表

隶属度	I	II	III	IV	V
1	0.7	0.3	0	0	0
0.9	0.6	0.4	0	0	0
0.8	0.2	0.6	0.2	0	0
0.7	0	0.5	0.5	0	0
0.6	0	0.2	0.6	0.2	0
0.5	0	0	0.5	0.5	0
0.4	0	0	0.2	0.6	0.2
0.3	0	0	0	0.5	0.5
0.2	0	0	0	0.4	0.6
0.1	0	0	0	0.3	0.7
0	0	0	0	0.2	0.8

3.3. 层次 - 模糊综合评判

根据 AHP 方法的思路, 确定出影响管道溢油环境风险的影响因素, 构建出层次结构模型。由于各因素对溢油环境风险的影响程度不一样, 构建合适的判断矩阵确定出各个影响因素的权重。

考虑到溢油环境风险的发生实际上也是一个随机过程, 具有一定的概率性, 所以利用模糊数学思路, 将各个河流穿越段的实际情况, 包括准则层中管道失效性、溢油扩散性、环境敏感性、防护有效性中的各因素, 进行定性描述或量化后, 利用表 13 分别确定各个因素的隶属度属于哪个等级, 得到评判矩阵 R 。

对 AHP 法确定的权重 A 和模糊评判确定的评判矩阵 R 进行合成运算, 得到评判结果 B :

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_5)$$

根据最大隶属度原则, 若 $B = b_j = \max(b_1, b_2, \dots, b_5)$, 则 B 属于 j 级。

4. 评价结果

綦江属长江右岸一级支流, 本次评价的綦江穿越段位于重庆市江津区西湖镇, 管道采用定向钻方式穿越綦江, 上下游阀室之间的管段长度为 1.57 km。穿越段长度约为 213 m, 穿越段河流宽度约为 130 m, 流速 0.40~1.20m/s, 多年平均流量 122.1 m³/s, 穿越点距离下游长江汇入口 29 km。穿越段下游涉及有多处水源地保护区、饮用水保护区与地表水监测断面, 一旦发生溢油事故, 不仅会造成严重的环境危害, 更会引起社会恐慌。对綦江管道穿越段进行溢油环境风险评价, 有利于提前布置防控措施, 一旦发生溢油事故, 可以把损失降到最低。

4.1. 管道失效性分析

管道以定向钻方式穿越綦江, 管道埋深 20 m, 位于基岩地层, 受外界第三方破坏、地质灾害造成的影响较小, 但可能因地震、管道腐蚀、管道焊接缺陷、管材质量缺陷等因素造成的油品长输管道发生大量油品泄漏, 从而进入綦江, 造成下游流域水域污染。管道失效性隶属度评分如表 14。

Table 14. Membership function scores for pipeline failure probability**表 14.** 管道失效性隶属度评分

第三方破坏	制造与施工缺陷	误操作	内腐蚀	外腐蚀	自然与地质灾害
0.05	0.2	0.2	0.25	0.1	0.1

4.2. 溢油扩散性分析

綦江自南向北, 流经重庆綦江区、江津区, 穿越段及下游流域均位于江津区范围, 经西湖镇、支坪镇后, 于顺江注入长江, 沿途有大小支流 30 多条注入綦江。穿越点距离下游长江汇入口 29 km, 按照綦江河流流速 0.4 m/s 考虑, 溢油发生 20.14 小时后, 溢油流入长江。溢油扩散性隶属度评分如表 15。

Table 15. Membership function scores for oil spill spreading**表 15.** 溢油扩散性隶属度评分

潜在泄漏量	油品性质	河道地形特征	河流水文动力	溢油发生的位置	气象因素
0.5	0.6	0.8	0.65	0.6	0.6

4.3. 环境敏感性分析

綦江穿越段及下游环境敏感点有地表水监测点、生活饮用水和工业用水取水口等类型。綦江河流一旦出现油品泄漏, 将对取水用户的生产、生活用水造成影响。环境敏感性隶属度评分如表 16。

Table 16. Environmental sensitivity membership degree scores**表 16.** 环境敏感性隶属度评分

敏感点类型	敏感点重要程度	与污染带边缘距离	治理技术经济成本
0.8	0.9	0.7	0.8

4.4. 防控有效性分析

綦江穿越段下游已设置 2 处拦截点, 并修建有锚固墩(图 2), 两岸具备多处可以实施拦截的场地, 且各个作业区均有拟定突发事件现场处置方案。防护有效性隶属度评分如表 17。

Table 17. Membership function scores for protection effectiveness**表 17.** 防护有效性隶属度评分

应急管理制度	管道质量管理	泄漏监测	应急处置能力	处置措施	现场环境
0.4	0.3	0.25	0.4	0.2	0.5

**Figure 2.** Anchorage pier**图 2.** 锚固墩

根据单因素隶属度对应等级评价表(表 13)确定评价矩阵 R , 见表 18。

Table 18. Evaluation matrix (R) for the Qijiang crossing section

表 18. 綦江穿越段评价矩阵 R

评价等级	I	II	III	IV	V	
管道失效性	第三方破坏	0.00	0.00	0.00	0.25	0.75
	制造与施工缺陷	0.00	0.00	0.00	0.40	0.60
	误操作	0.00	0.00	0.00	0.40	0.60
	内腐蚀	0.00	0.00	0.00	0.45	0.55
	外腐蚀	0.00	0.00	0.00	0.30	0.70
	自然与地质灾害	0.00	0.00	0.00	0.30	0.70
溢油扩散性	潜在泄漏量	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
	油品性质	0.00	0.20	0.60	0.20	0.00
	河道地形特征	0.20	0.60	0.20	0.00	0.00
	河流水文动力	0.00	0.35	0.55	0.10	0.00
	溢油发生的位置	0.00	0.20	0.60	0.20	0.00
	气象因素	0.00	0.20	0.60	0.20	0.00
环境敏感性	敏感点类型	0.20	0.60	0.20	0.00	0.00
	敏感点重要程度	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00
	与污染带边缘距离	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
	治理技术经济成本	0.20	0.60	0.20	0.00	0.00
防护有效性	应急管理制度	0.00	0.00	0.20	0.60	0.20
	管道质量管理	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50
	泄漏监测	0.00	0.00	0.00	0.45	0.55
	应急处置能力	0.00	0.00	0.20	0.60	0.20
	处置措施	0.00	0.00	0.00	0.40	0.60
	现场环境	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00

结合 AHP 确定出的权重矩阵(表 1~8), 得出綦江穿越段的评判结果 $B = R \cdot A$, $B = (0.074, 0.220, 0.250, 0.248, 0.208)$, 根据最大隶属度原则, 属于 III 级中风险。

5. 结论

(1) 以输油管道溢油环境风险为目标层, 分管道失效性、溢油扩散性、环境敏感性和防护有效性共 4 个准则层及 22 个指标层, 基于层次分析法, 确定各级指标的权重值分布。接着利用模糊数学思路, 确定各因素的隶属度属于哪个等级, 得到评判矩阵。利用 AHP 法确定的权重 A 与模糊评判确定的评判矩阵 R 进行合成运算, 得到评判结果, 由此构建出陆上溢油环境风险等级评价模型。

(2) 利用层次分析 - 模糊数学评判建立溢油环境风险评价体系, 从管道失效易发性、溢油扩散性、环境敏感性、防护有效性四个维度分析评价各穿越管段的环境风险等级, 实现对溢油环境风险等级的评价。本次结果可以为陆上溢油环境风险评价提供参考, 有利于决策部门对高风险河流段提前布置拦截措施,

有效预防溢油发生。

(3) 根据建立的溢油环境风险评价体系对綦江穿越段的溢油环境风险等级进行评价, 结果显示綦江穿越段的环境风险等级为III级中风险。

参考文献

- [1] 汪澍, 严佳宁, 杨玉锋, 等. 河流溢油事故流域环境风险量化模型研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(4): 1349-1356.
- [2] 杨玉锋. 长输管道穿越河流泄漏风险评价方法研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2024.
- [3] 张凯. 水污染公共安全事件预警信息管理系统构建研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [4] 张维科, 周剑, 江宜顺, 等. 兰成渝成品油管道地质灾害发育特征及风险评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2025, 36(4): 125-136.
- [5] 汪少勇, 李建忠, 郭秋麟, 等. 层次分析法在致密油有利区优选中的应用——以川中侏罗系大安寨段为例[J]. 地球科学进展, 2015, 30(6):715-723.
- [6] 洪志国, 李焱, 范植华, 王勇. 层次分析法中高阶平均随机一致性指标(ri)的计算[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(12): 45-47, 150.
- [7] 练鹏, 杨积东. 层次分析法权重计算方法及其应用[C]/中国宇航学会, 中国航天基金会. 2024年中国航天大会论文集. 2025: 595-599.
- [8] 李亚容. 基于模糊综合评价的天然气管道环境风险评价[J]. 海峡科学, 2014(6): 47-51.
- [9] 叶天宇. 基于模糊综合评价法的天然气管道风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2017.