

# 页岩气开发风险与隐患定级 适用方法分析

章 龙<sup>1</sup>, 任 政<sup>1</sup>, 成元灵<sup>1</sup>, 冯海原<sup>2</sup>

<sup>1</sup>四川长宁天然气开发有限责任公司, 四川 成都

<sup>2</sup>重庆科技大学安全科学与工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年9月1日; 录用日期: 2025年11月28日; 发布日期: 2025年12月10日

## 摘 要

为构建双重预防机制, 优化页岩气开发“风险分级管控”与“隐患排查治理”的闭环管理, 需科学选取风险与隐患定级方法。本文以长宁公司页岩气开发为研究对象, 结合企业生产过程选取典型风险与隐患类型, 通过实践定级综合对比, 系统分析了风险评估矩阵法等风险评估定级方法, 以及对标法等隐患定级方法的适用性。结果表明: 风险矩阵法通过风险概率与后果的组合, 兼具高效性与可靠性, 可作为页岩气开发风险评估定级的核心工具; 对标法依托法规标准实现页岩气开发隐患“零歧义”定级, 具有定级精准与合规性优势。

## 关键词

页岩气, 风险, 隐患, 适用方法

# Analysis of Applicable Methods for Risk and Hazard Rating in Shale Gas Development

Long Qin<sup>1</sup>, Zheng Ren<sup>1</sup>, Yuanling Cheng<sup>1</sup>, Haiyuan Feng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sichuan Changning Natural Gas Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>School of Safety Science and Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: September 1, 2025; accepted: November 28, 2025; published: December 10, 2025

## Abstract

To establish a dual prevention mechanism and optimize the closed-loop management of “risk classification control” and “hazard investigation and remediation” in shale gas development, it is necessary

文章引用: 覃龙, 任政, 成元灵, 冯海原. 页岩气开发风险与隐患定级适用方法分析[J]. 石油天然气学报, 2025, 47(4): 688-696. DOI: 10.12677/jogt.2025.474077

to scientifically select risk and hazard rating methods. This paper uses Changning Company's shale gas development as a research object. Based on the company's production processes, typical risk and hazard types are selected. Through a comprehensive comparison of practical ratings, this paper systematically analyzes the applicability of risk assessment and rating methods, such as the risk assessment matrix method, and hazard rating methods, such as the benchmarking method. The results show that the risk matrix method, by combining risk probability and consequences, is both efficient and reliable, and can serve as a core tool for shale gas development risk assessment and rating. The benchmarking method, relying on regulatory standards, achieves "zero ambiguity" rating of shale gas development hazards, offering advantages in accuracy and compliance.

## Keywords

Shale Gas, Risk, Hidden Danger, Applicable Methods

Copyright © 2025 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

页岩气作为重要的非常规天然气资源,其开发对保障能源安全具有战略意义[1]。页岩气开发则呈现“人少点多面广”的特点,安全管理面临地质条件复杂、技术依赖性强、环境敏感度高等多重挑战,这就要求企业必须采用科学有效的安全管理手段来应对风险与隐患。国家应急管理部明确提出,企业通过构建双重预防机制可实现“风险分级管控”与“隐患排查治理”的闭环管理[2]。对风险与隐患的精确把握,即如何定级是关键环节之一,只有通过准确定级才能够明确风险与隐患的严重程度,保障企业资源合理投入、治理措施有的放矢。

油气行业风险评估方法已形成多种成熟的风险评估方法,但不同方法的适用性差异显著,需结合场景选择适配工具。故障树分析法通过构建事故因果模型识别关键风险节点,在浅海油气开发重大事故评估中表现出精准性[3]。作业条件危险分析法(LEC)通过“危险性(L)-暴露频率(E)-后果严重程度(C)”乘积评估风险,在机械加工等场景有一定应用[4]。风险评估矩阵法通过“概率-后果”二维矩阵划分风险等级,兼顾评估精度与操作效率。在危化企业风险分级中,风险评估矩阵法因能快速匹配风险等级、为管控措施提供明确依据,成为企业首选工具[5]。在油气管道领域,张文新[6]采用矩阵法对管道运行风险分级,证实其在长输管道多场景(如腐蚀、第三方破坏)中的适配性。

隐患定级的核心需求是“精准性”与“合规性”,不同方法在标准匹配度、操作复杂度上的差异,直接影响治理效果。故障树分析法在隐患定级中虽能量化隐患致灾概率,但需通过隐患与事故的因果链建模实现分级。张妍[7]在火灾隐患分级中借鉴类似逻辑,发现该方法依赖隐患致灾的历史数据。对标法依托法律法规与行业标准,通过“隐患-标准”直接比对实现定级,在合规性与精准性上表现突出。在天然气净化总厂隐患管控中,李晓伟[8]强调“结合企业特性建立隐患判定标准”,实质是通过细化对标条款,解决传统隐患定级中“判定模糊”的问题;谭红[9]在天然气场站隐患分类中,进一步证实对标法能通过“标准-场景”匹配,实现隐患的系统化分类,避免遗漏关键隐患点。

尽管国内外在油气行业风险评估与隐患治理方面已形成多类方法体系,但现有研究在页岩气开发这一特定领域中仍存在明显空白:一方面,当前风险评估方法多源于常规油气场景,缺乏针对页岩气开发“人少点多面广”、地质复杂性强等特点的适用性验证,导致方法在实际应用中常出现适配性争议;另

一方面，隐患定级普遍依赖通用标准，对页岩气特有隐患缺乏精准判定依据，加之企业实践中常面临数据缺失和标准执行不一等问题，使得理论方法与现场管理严重脱节。因此，系统开展页岩气开发风险与隐患定级方法的适用性研究，不仅是填补行业空白的必然需求，更是提升企业精准治理能力、实现科学防控的迫切要求。

本文拟以四川长宁天然气开发有限责任公司(以下简称长宁公司)为研究对象，分析各类评估定级方法的适用性，筛选出适合该企业的风险与隐患定级方法，旨在为企业风险与隐患精准管理，乃至为构建及优化双重预防机制奠定基础。

2. 页岩气开发风险与隐患特性分析

长宁公司主要从事页岩气的勘探、开发等业务，是国内首家企地合资的页岩气勘探开发公司，承担着“率先建立国家级页岩气示范区和促进地方经济社会发展”的双重任务，旨在建成国际国内具有较强竞争力和较大影响力的页岩气开发公司。公司勘探开发区块位于中国石油天然气股份有限公司登记的水富-叙永、泸县-长宁、沐川-宜宾三个油气页岩气探矿权内，现拥有勘查面积约 0.8 万平方公里，主要位于四川省宜宾市、乐山市、泸州市和云南省昭通市境内。

企业的生产工艺流程大致包括以下环节：通过先进的技术手段对页岩气资源进行勘探，确定气藏的位置和规模；进行钻井作业，钻至含气层；采用水力压裂等技术，使页岩层中的天然气得以释放出来，并通过管道等输送设施将开采出来的页岩气进行收集、处理和净化，去除杂质和水分等，以达到销售和使用的标准。其中，钻井作业、水力压裂、设备运行及气体输送等环节均存在潜在的风险和隐患，如地质不稳定导致的井壁坍塌、压裂液泄漏引发的环境污染、设备故障造成的生产中断以及气体泄漏可能引发的火灾爆炸等[10]，如表 1 和表 2 所示，这些都需要严格的风险防控和隐患排查措施来保障生产安全。

Table 1. Typical risk examples of shale gas extraction by enterprises

表 1. 企业页岩气开采典型风险示例

类别	典型风险	潜在后果
地质与工程技术	水力压裂引发裂缝失控	井喷、地下水污染
	压裂作业诱发微地震活动	地表设施损坏、社区安全威胁
	地层压力预测偏差	井壁坍塌、施工成本超支
环境与生态	压裂液化学品渗入地下水层	水质恶化、生态破坏
	甲烷逸散	大气污染、爆炸风险
	压裂用水过量导致水资源短缺	区域用水冲突、生态链断裂
操作与管理	高压作业流程执行偏差	井筒结构破坏、井喷失控
	实时数据反馈机制失效	异常工况未及时干预、连锁事故
	压裂参数动态调整错误	地层破裂不可控、污染扩散
设备设施	压裂泵密封失效	压裂液等化学物质泄漏
	自动化控制系统故障	压裂参数失控、大规模泄漏
	运输车辆化学品泄漏	道路污染、公共安全事件
	管道腐蚀、破裂	油气泄漏、污染环境

**Table 2.** Examples of typical hidden dangers in shale gas extraction by enterprises  
**表 2.** 企业页岩气开采典型隐患示例

类别	典型隐患	潜在后果
地质与工程技术	钻井液泄漏	土壤污染、设备损坏
	固井质量不佳，套管损坏	卡钻 - 井筒完整性破坏、油气泄漏
环境与生态	废弃物处理不当	污染土壤及水源
	开采区地表植被破坏	水土流失、生态系统失衡
	作业噪音污染	野生动物栖息地干扰、居民健康影响
操作与管理	作业许可审批未严格执行[11]	违规操作、事故风险上升
	特种人员无证上岗	安全事故
	缺乏有效的应急响应计划	无法及时控制损失扩大
设备设施	灭火器过期	应急响应延迟
	设备老化失修	设备故障增加
	防爆装置失效	易燃气体聚集引发爆炸

3. 风险评估定级适用方法

《安全风险分级防控和隐患排查治理双重预防机制建设导则》Q/SY 08805-2021 规定：风险是指某一特定危害事件发生的可能性，与随之引发的人身伤害或健康损害、损坏或其他损失的严重性的组合。风险评估是对照风险划分标准评估风险等级，以及确定风险是否可接受的过程。企业应在风险分析的基础上组织开展风险评估，确定风险等级划分标准，从高到低划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险，分别用红、橙、黄、蓝四种颜色标示，并确定风险是否可以接受。

科学的风险评估定级是支撑页岩气开发风险有效管控、保障安全生产的关键环节。Q/SY 08805-2021 推荐了常用危害因素辨识和风险评估方法，本文拟选取风险评估矩阵法(RAM)、作业条件危险分析法(LEC)、故障树分析法(FTA)、工作前安全分析法(JHA)和安全检查表分析法(SCL)五种方法，结合长宁公司典型页岩气开发风险定级过程，通过结果差异与操作可行性对比，依据定级方法在长宁公司实际场景的适用性，选择适用的长宁公司页岩气开发风险定级方法。

3.1. 典型风险案例定级实践

根据 2025 年长宁公司危害因素识别与风险评价相关资料，选取井口主控阀更换作业导致井喷和水平井钻具疲劳断裂两个风险案例进行风险定级实践，如表 3、表 4 所示。

案例 1：井口主控阀更换作业井喷风险

场景描述：气井主控阀更换作业中，需拆卸原有阀门。作业涉及高压页岩气(压力>70 MPa)，若防喷器失效或操作失误，可能引发气体失控喷出。

**Table 3.** Classification of blowout risk for wellhead main control valve replacement operations  
**表 3.** 井口主控阀更换作业井喷风险定级

评估方法	定级过程与结果	缺陷
风险评估矩阵法(RAM)	1. 分析井喷可能性：国内同行业有过先例，评“可能”(L = 2) 2. 分析井喷后果：爆炸伤亡+设备损毁，评“灾难性”(S = 5) 3. 计算 R = L × S = 10→较大风险(橙色)	存在一定主观性

续表

作业条件危险 分析法(LEC)	1. 事故可能性 L: 可能性小, 完全意外, 评 $L = 1$ 2. 设定暴露频率 E: 作业持续 4 小时/次, 评 $E = 2$ 3. 设定后果 C: 群死群伤, 评 $C = 100$ 4. 计算 $D = L \times E \times C = 1 \times 2 \times 100 = 200 \rightarrow$ <b>4 级风险(高度危险, 需立即整改)</b>	LEC 各值定义争议大
故障树分析法 (FTA)	1. 顶事件“高压页岩气井喷事故” 2. 构建“防喷器失效”“压力未泄放”“人误操作”逻辑树 3. 计算顶事件概率 $\approx 10^{-4}$ /次 4. <b>需额外评估后果→综合判定重大风险(红色)</b>	耗时长
工作前安全分 析法(JSA)	1. 分解步骤: 隔离泄压→拆卸螺栓→吊装旧阀→安装新阀→试压 2. 识别危害: “残余高压气体喷射”(后果 $S = 5$ , 可能性 $L = 2$ ) 3. <b>依赖风险矩阵法定级→<math>R = L \times S = 10</math> 较大风险(橙色)</b>	本质是风险评估矩阵法的作业场景应用
安全检查表分 析法(SCL)	1. 检查项: “作业许可证? 能量隔离验证? BOP 测试报告?” 是否合规。 2. <b>缺少定级判定标准, 风险较难定级</b>	定性方法, 较难进行风险定级

**案例 2: 水平井钻具疲劳断裂风险**

场景描述: 在长宁区块硬质地层钻井中, 钻杆因长期高扭矩作业出现微观疲劳裂纹。若未及时更换, 可能发生井下断裂, 导致钻具落井。

**Table 4.** Classification of fatigue fracture risk of horizontal well drill tools

**表 4.** 水平井钻具疲劳断裂风险定级

评估方法	定级过程与结果	缺陷
风险矩阵法 (LS)	1. 分析断裂可能性: 集团公司内有先例, 评“可能”( $L = 3$ ) 2. 分析断裂后果: 打捞耗时 2 周+钻机日费损失, 评“严重”( $S = 4$ ) 3. 计算 $R = L \times S = 12 \rightarrow$ <b>较大风险(橙色)</b>	存在一定主观性
作业条件危 险 分 析 法 (LEC)	1. 事故可能性 L: 因为微观裂纹是明确先兆, 且高扭矩作业加速疲劳, 评 $L = 6$ 2. 设定暴露频率 E: 钻工连续作业, 评 $E = 6$ (工作时间持续暴露) 3. 设定后果 C: 钻具损失 $\approx$ 百万, 评 $C = 40$ (严重损失) 4. 计算 $D = L \times E \times C = 6 \times 6 \times 40 = 1440 \rightarrow$ <b>5 级风险(极其危险, 立即停止作业)</b>	L、E、C 值设定主观性强, 结果可能失真
故障树分析 法(FTA)	1. 顶事件“钻具落井” 2. 构建钻杆井下断裂、疲劳裂纹扩展至临界值、载荷超限和未及时更换钻杆的逻辑树 3. <b>缺乏裂纹扩展数据→无法计算概率→很难进行风险定级</b>	数据门槛过高, 无法计算概率, 很难定级风险
工作前安全 分析法(JSA)	1. 根据水平井钻井流程, 将涉及钻具疲劳断裂的关键步骤分解: 钻具入井前检查→高扭矩钻进操作→钻进过程参数监控→起钻检修→钻杆更换决策 2. <b>依赖风险矩阵法定级→<math>R = L \times S = 12</math> 较大风险(橙色)</b>	依赖风险评估矩阵法定级
安全检查表 分析法(SCL)	1. 检查项: “钻具探伤报告? 扭矩参数合规?” →是否符合 2. <b>缺少定级判定标准, 风险很难定级</b>	很难进行风险定级

通过上述两个典型风险定级案例可看出: 风险评估矩阵法是最高效、较客观的风险评估定级方法。

其通过可能性与后果的二维分析框架，有效规避了 LEC 法的参数复杂性与较强的主观性、FTA 法的数据分析门槛高、JSA 法宏观适应性(适用于作业活动相关风险)、SCL 法对概率后果维度考量缺少等局限，可作为风险评估核心工具。

3.2. 风险评估矩阵法的实践应用

风险评估矩阵能够直观的展现出各类风险的严重程度(安全风险等级从高到低划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险，分别用红、橙、黄、蓝四种颜色标示)，如表 5 所示。

Table 5. Risk assessment matrix diagram  
表 5. 风险评估矩阵图

事故发生 概率等级	5	II 5	III 10	III 15	IV 20	IV 25
	4	I 4	II 8	III 12	III 16	IV 20
	3	I 3	II 6	II 9	III 12	III 15
	2	I 2	I 4	II 6	II 8	III 10
	1	I 1	I 2	I 3	I 4	II 5
风险 矩阵		1	2	3	4	5
		事故后果严重程度等级				

注 1：风险 = 事故发生概论 × 事故后果严重程度等级

在页岩气开采过程中，风险评估矩阵法广泛应用于识别、评估和应对生产过程中可能遇到的各种风险，通过量化风险的严重程度和发生概率[12]。

表 6 为采用评估矩阵法构建的长宁公司风险评价表。

Table 6. Risk assessment form of Changning Company (partial)  
表 6. 长宁公司风险评价表(部分)

关键作业 活动/设备 设施	主要危害因素/ 触发因素	可能导致后果	风险评价			
			严重性 (1~5)	发生几率 (1~5)	风险值	风险等级 (IV/III/II/I)
采气树	井口高温	人员烫伤	2	2	4	I
	井口抬升	井口失控、人员伤亡、天然气泄漏	4	1	4	I
	持续环空压力	井口失控、人员伤亡、财产损失	4	3	12	III
	第一级井筒屏障失效	井口失控、人员伤亡、财产损失	5	2	10	III
	第二级井筒屏障失效	人员伤害、财产损失	3	3	9	II
	井口人为破坏	火灾、爆炸、人员伤害、设备损坏	1	6	6	II
	井口设施锈蚀严重、 缺损	火灾、爆炸、人员伤害、设备损坏	2	4	8	II



续表

天然气泄漏	火灾、爆炸、高压气体伤人	3	4	12	III
主控阀泄漏	火灾爆炸、人员伤害、设备损坏	2	4	8	II
井口主控阀更换	井喷、物体打击、人员伤亡	2	4	8	II

4. 隐患定级适用方法分析

Q/SY 08805-2021 规定：隐患是指不符合安全生产法律、法规、规章、标准、规程和安全生产管理制度的规定，或者因其他因素在生产经营活动中存在可能导致事故发生或者导致事故后果扩大的物的危险状态、人的不安全行为、场所的不安全因素和管理上的缺陷。企业应根据国家、集团公司事故隐患判定标准，结合实际评估判断隐患大小，按一般和重大进行隐患评估分级，确定隐患治理对应的管理层级，评估结果应形成报告。隐患定级是隐患精细化管理和闭环管理的基础，准确辨识事故隐患并对其进行定级，在此基础上采取有针对性的防控措施，是建立事故预防体系的根基，更是安全生产实际工作中亟待解决的关键问题。

定级的准确性直接影响隐患治理优先级与资源分配效率。常用隐患定级方法有对标法(比对隐患判定标准，核定隐患级别)、故障树分析法。本文拟选取长宁公司典型隐患案例，结合定级结果差异与操作可行性对比，选取最优隐患定级方法。

4.1. 典型隐患案例定级实践

根据长宁公司相关隐患资料，选取压裂液储罐焊缝腐蚀泄漏和井场无证动火作业两个隐患案例来进行隐患定级实践，如表 7、表 8 所示。

案例 1：压裂液储罐焊缝腐蚀泄漏隐患

场景描述：宁 209H6 平台承压 8 MPa 的压裂液储罐，其底部焊缝存在 15 cm × 8 cm 腐蚀区域且防腐层已剥落，腐蚀缺陷显著。根据其腐蚀状况评估，年腐蚀速率已远超 0.25 mm，但未采取任何控制措施仍在继续运行。

Table 7. Classification of potential hazards of weld corrosion and leakage in fracturing fluid storage tanks

表 7. 压裂液储罐焊缝腐蚀泄漏隐患定级

评估方法	定级过程与结果	缺陷
对标法	1. 对照中石油集团发布的《重大及较大生产安全事故隐患判定标准》，较大生产安全事故隐患判定标准(炼化新材料业务)第 3 条：“压力容器、压力管道年腐蚀速率大于或等于 0.25 mm，未采取相关控制措施仍在使用，尚未构成重大隐患”。 2. 对标判定→ <b>重大隐患</b>	较强的标准依赖性
故障树分析法	1. 确定顶事件“储罐破裂”构建“腐蚀速率 + 压力波动 + 材料缺陷”逻辑树 2. 缺乏腐蚀扩展速率数据 3. <b>未完成故障树构建→较难定级(耗时长)</b>	数据门槛高，现场无法应用

案例 2：井场无证动火作业隐患

场景描述：巡检发现宜 205 井场承包商在输气管道旁违规焊接(未持动火证)，管道压力 2 MPa，周边存在可燃气体残留。

Table 8. Classification of potential hazards in unlicensed hot work operations at well sites  
表 8. 井场无证动火作业隐患定级

评估方法	定级过程与结果	缺陷
对标法	1. 对照中石油集团发布的《重大及较大生产安全事故隐患判定标准》，重大隐患判定标准第 2 条：“特种作业人员未持证上岗及其他未按法律法规要求取得有效资质证书”。 2. 对标判定→ <b>重大隐患</b>	依赖标准条款
故障树分析法	1. 顶事件“焊接引发爆炸”需分析“气体聚集 + 火花产生 + 防护失效” 2. 现场无法获取气体浓度数据，无法构建故障树	动态作业场景无法实时构建故障树

通过上述典型隐患案例定级实践可看出：在页岩气开发隐患定级中，故障树法因操作复杂性，数据门坎较高等，较难实现隐患等级，而对标法通过隐患判定标准的直接映射，实现定级过程的零歧义、高效率与法律合规性，是长宁公司页岩气开发隐患精准治理的最优选择。

4.2. 对标法的实践应用

- (1) 标准选用：遵循隐患系列标准(国家发布的各行业重大事故隐患判定标准、中石油集团《重大及较大生产安全事故隐患判定标准》以及西南油气田分公司《一般事故隐患判定标准》)。
- (2) 实践应用：在页岩气开采过程中，对标法应用于隐患识别定级。对发现的隐患，比对上述重大、较大及一般判定标准，实施对标分级，并区分不同治理优先级。

表 9 为采用对标法构建的长宁公司隐患对标分级表。

Table 9. Changning hidden danger classification table (partial)  
表 9. 长宁隐患对标分级表(部分)

序号	检查项目	检查分项	检查内容	隐患分级	对标标准及依据
245			未定期进行检验	较大隐患	较大生产安全事故隐患判定标准(通用部分) (4)：对国家、地方政府和集团公司检查发现的事故隐患未按要求进行整改。
246			行车作业人员未持证上岗	一般隐患	一般安全环保事故隐患判定标准人的不安全行为 25：随车作业人员的资质证件未得到确认并记录(包括准驾证、押运员证、含移动式压力容器操作项目的特种设备作业人员证)
247	站场工艺	起重机械	铭牌、标识不清晰、不完整	问题	《陆上石油天然气开采安全风险分级评估细则(试行)》(2022 年)表 4.2：防爆电气设备的铭牌、防爆标志、警告牌应正确、清晰。
248			吊钩未有安全保护装置	较大隐患	较大生产安全事故隐患判定标准(油田技术服务业务) (10)：游车、大钩、吊环、吊钩、吊卡等吊具磨损超过允许值、经无损探伤质量达不到允许级别或存在其他影响安全使用且不能修复的缺陷。
249			无行程限位器、无重量限位器。	较大隐患	《起重机械安全规程》：规定起重机械应配备行程限位器、起重量限制器等安全装置。

5. 结论

- (1) 风险评估矩阵法可作为页岩气开发风险评估分级的核心工具
- 风险评估矩阵法通过事故发生可能性(L)与后果严重度(S)的二维组合，实现了页岩气开发风险的直观



分级(红、橙、黄、蓝四级)。该方法有效规避了 LEC 法的主观参数争议、FTA 法的数据门槛高、JSA 法的动态性适应性不足、SCL 法对概率和后果考量缺失等。风险定级案例表明,风险评估矩阵法兼具高效性与可靠性,可作为企业风险评估定级的核心工具。

### (2) 对标法在页岩气开发隐患定级中的精准与合规性优势

对标法依托隐患系列标准,通过映射隐患等级(重大、较大和一般),精确定页岩气开发隐患等级。相比故障树分析法的操作复杂性和数据门槛高等缺陷,对标法利用标准条款实现“零歧义”定级,其合规性与高效性,为页岩气开发隐患治理优先级划分及资源精准配置奠定了基础。

### (3) 适用性与推广建议

本研究基于长宁公司的实际案例,系统分析了页岩气开发过程中风险与隐患定级方法的适用性,以风险评估矩阵法为核心的风险分级工具以及以对标法为基础的隐患定级方法,在案例企业中表现出良好的操作性和实效性。然而,受企业特定生产模式、区域环境与管理基础等因素影响,本研究的结论在推广至其他页岩气开发企业时需审慎考量其适用边界。实际应用中,企业规模、工艺路线、地质条件、区域法规要求及安全文化水平等均可能对评估方法的适用性和定级结果的准确性产生重要影响。因此,其他企业在参考本方法时,应结合自身实际与地域特点进行必要调整,尤其注重企业特有风险的识别、属地化管理要求的融入,以及内部数据支撑体系的构建,从而在保障方法科学性的同时,实现真正贴合企业需要的风险与隐患分级治理。

## 参考文献

- [1] 乔永明,王南,李昱宏,等. 深层页岩气水平井开发中天然裂缝特征对气井 EUR 的影响机制研究[J]. 油气与新能源, 2025, 37(3): 71-78.
- [2] 张景林,崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [3] 檀聪明. 浅海油气开发重大事故风险评估与控制研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017.
- [4] 曹鸿霄. 机械加工事故隐患排查方法及风险分级研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林建筑大学, 2020.
- [5] 黄兰,多英全,杨国梁,等. 危化企业安全风险分级管控实施工作程序与评估方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(S1): 155-159.
- [6] 张文新. 油气管道行业双重预防机制建设研究[J]. 安全, 2025, 46(6): 47-52+5.
- [7] 张妍. 市民举报投诉火灾隐患危险程度分级研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 首都经济贸易大学, 2013.
- [8] 李晓伟. 结合自身特点建立隐患判定标准——天然气净化总厂隐患分级防控实践[J]. 现代职业安全, 2021(2): 48-50.
- [9] 谭红,周建禄,张瑛茵,等. 天然气生产场站事故隐患分级分类体系研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2021, 23(6): 107-112.
- [10] 陈建军,等. 页岩气开发中的环境风险与防控技术[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(6): 112-118.
- [11] 刘焱. 石油企业工程承包商的 HSE 管理[J]. 中国石油石化, 2016(S2): 3-4.
- [12] 王梅,杨长俊. “五个回归”溯源分析在石油工程企业 HSE 管理体系审核中的实践和应用[J]. 安全、健康和环境, 2022, 22(10): 59-62.