

油气开采过程中 HSE 风险辨识与分级防控技术研究

王旭东

中国石油吐哈油田公司吐鲁番采油管理区, 新疆 哈密 839009

[摘要] 油气开采行业具有作业环境复杂、易燃易爆、高温高压等特点, HSE (健康、安全、环境) 风险贯穿于整个油气开采流程之中, 一旦管控措施落实不到位, 极易引发严重的事故。基于此, 本文研究紧密围绕油气开采的工艺特点, 构建 HSE 风险辨识体系, 并提出了一系列有针对性的分级防控技术, 以此实现风险的精准识别与有效防控。研究结果表明, 该体系的运用可以实现全流程风险的全面覆盖, 配套的防控技术可以有效降低隐患的发生概率, 提高油气开采 HSE 管理的智能化与规范化水平。

[关键词] 油气开采; HSE 风险; 风险辨识; 分级防控; 管控技术

DOI: 10.33142/ec.v9i2.19056

中图分类号: TP315

文献标识码: A

Research on HSE Risk Identification and Classification Prevention and Control Technology in Oil and Gas Extraction Process

WANG Xudong

Turpan Oil Production Management Area of PetroChina Tuha Oilfield Company, Hami, Xinjiang, 839009, China

Abstract: The oil and gas extraction industry has the characteristics of complex working environment, flammability and explosiveness, high temperature and high pressure. HSE (health, safety, environment) risks run through the entire oil and gas extraction process. Once the control measures are not implemented properly, it is easy to cause serious accidents. Based on this, this article focuses closely on the process characteristics of oil and gas extraction, constructs an HSE risk identification system, and proposes a series of targeted graded prevention and control technologies to achieve accurate risk identification and effective prevention and control. The research results indicate that the application of this system can achieve comprehensive coverage of risks throughout the entire process, and the supporting prevention and control technologies can effectively reduce the probability of hidden dangers and improve the intelligence and standardization level of HSE management in oil and gas extraction.

Keywords: oil and gas extraction; HSE risk; risk identification; graded prevention and control; control technology

引言

油气资源对于国家的能源安全有着至关重要的作用, 其开采环节的环保性、安全性对从业人员的健康、生态环境的稳定以及企业的长远发展有着直接的影响。然而, 当下油气开采不断向海上、深层等复杂领域拓展, 使得 HSE 风险因素大幅增加, 进而提高了管控难度。然而, 目前油气开采企业在 HSE 风险辨识方面不够全面、风险分级的标准也缺乏统一性, 导致潜在的风险难以被及时发现, 难以适应复杂多变的开采工况。鉴于此, 本文将深入探究油气开采 HSE 风险辨识与分级防控技术, 从而推动油气开采行业实现安全、绿色、高效发展。

1 油气开采过程中 HSE 风险辨识体系构建

1.1 风险辨识原则与方法

油气开采过程中 HSE 风险辨识严格遵循全面性、系统性、针对性、可操作性的原则, 不遗漏任何潜在 HSE 风险因素。结合油气开采行业特点, 整合多种风险辨识方法, 梳理国内外油气开采 HSE 风险相关研究成果、行业标准及管理规范, 明确各类开采工艺的典型风险因素, 为风险辨识提供理论基础。拆解油气开采各环节工艺流程,

分析每个工艺步骤的操作要求、设备特性及环境影响, 识别潜在风险因素。针对钻井设备、采油设备等核心设备, 分析设备老化、故障等可能引发的 HSE 风险。结合作业人员的操作技能、职业健康状况, 识别人为操作失误等引发的 HSE 风险。分析开采区域的地质条件、生态环境等, 识别地质灾害等相关风险。

1.2 全流程 HSE 风险辨识结果

鉴于钻井环节作业环境的复杂, 风险因素主要包括: 安全风险如火灾爆炸、机械伤害、触电等, 有毒有害物质接触引发的中毒、皮肤腐蚀, 作业粉尘引发的呼吸系统疾病, 作业环境引发的职业健康损害。钻井液泄漏、废弃泥浆排放引发的土壤污染。

完井环节是连接钻井与采油的关键环节, 风险因素主要包括: 固井质量不合格引发的井壁坍塌、井喷, 射孔作业引发的爆炸, 试油过程中高压流体泄漏引发的伤害事故。有害物质接触引发的健康损害, 试油过程中有毒有害气体泄漏引发的中毒。固井水泥浆泄漏、试油废液排放引发的土壤、水体污染, 射孔作业产生的噪音、冲击波污染。

采油(气)环节是风险因素具有长期性、隐蔽性特点,

油气泄漏引发的火灾、爆炸，抽油机、潜油电泵等设备故障引发的机械伤害。油气组分、化学药剂接触引发的中毒、皮肤损伤，密闭空间作业引发的缺氧、中毒。油气泄漏引发的土壤、水体、大气污染，废弃油泥、油渣堆放引发的环境破坏。

集输环节风险因素主要包括集输管线磨损、破裂引发的爆炸、火灾，泵站设备故障引发的机械伤害、触电，储油罐泄漏、坍塌引发的事故。油气泄漏引发的中毒，储油罐作业环境中的噪音、油气组分引发的职业健康损害。油气泄漏引发的土壤、大气污染，集输废水、废弃介质排放引发的环境污染。

为清晰呈现全流程 HSE 风险辨识结果，构建油气开采 HSE 风险辨识清单，具体如表 1 所示：

表 1 油气开采 HSE 风险辨识清单

风险环节	风险单元	风险因素	风险类型	风险表现
钻井环节	钻井作业	井控不当	安全风险	井喷、井漏
	钻井液作业	有毒有害物质接触	健康风险	中毒、皮肤腐蚀
	废弃物处理	废弃泥浆排放	环境风险	土壤、水体污染
完井环节	固井作业	固井质量不合格	安全风险	井壁坍塌、井喷
	射孔作业	炸药泄漏	健康风险	有毒物质接触伤害
	试油作业	试油废液排放	环境风险	土壤、水体污染
采油（气）环节	设备运行	设备故障	安全风险	机械伤害、流体喷射伤害
	化学药剂使用	药剂接触	健康风险	皮肤损伤、中毒
	油气泄漏	油气逸散	环境风险	大气、土壤污染
集输环节	管线输送	管线腐蚀破裂	安全风险	油气泄漏、爆炸
	泵站作业	噪音污染	健康风险	听力损伤
	储油罐存储	油罐泄漏	环境风险	土壤、水体污染

2 油气开采 HSE 风险分级体系优化

2.1 风险分级指标体系构建

风险分级是精准防控前提，当前油气开采企业 HSE 风险分级多用单一指标，存在分级标准不统一、结果不精准等问题。本文结合其风险特点，构建“风险可能性—风险后果严重程度”二维分级指标体系并优化评估方法。其中，风险可能性以工艺复杂度、设备完好率、人员操作水平、环境稳定性为二级指标；风险后果严重程度以人员伤害、环境破坏、经济损失、社会影响程度为二级指标，各二级指标又细分不同等级，以此实现科学精准分级。

2.2 风险分级评估方法优化

2.2.1 指标权重赋值

采用层次分析法（AHP）对各级指标进行权重赋值，通过两两比较判断矩阵，确定各级指标的权重，具体权重赋值结果如下表所示：

表 2 各风险分级指标的权重赋值

一级指标	权重	二级指标	权重
风险可能性 (W1=0.4)	0.4	工艺复杂度	0.3
		设备完好率	0.3
		人员操作水平	0.2
		环境稳定性	0.2
风险后果严重程度 (W2=0.6)	0.6	人员伤害程度	0.35
		环境破坏程度	0.25
		经济损失程度	0.2
		社会影响程度	0.2

2.2.2 综合评分计算

采用加权求和法计算风险综合评分，公式如下：

$$R = \sum_{i=1}^n W_{1i} \times S_{1i} \times W_1 + \sum_{j=1}^m W_{2j} \times S_{2j} \times W_2$$

R 代表风险综合评分，W₁、W_{1i} 分别为风险可能性一、二级指标权重，S_{1i} 是其二级指标评分；W₂、W_{2j} 分别为风险后果严重程度一、二级指标权重，S_{2j} 是其二级指标评分；n、m 对应风险可能性与后果严重程度二级指标数量。

2.2.3 风险分级标准与流程

依风险综合评分，油气开采 HSE 风险分 4 级并定管控优先级：一级（重大）风险 R≥4.0 分，可能性高后果重，要重点管控、立即整改；二级（较大）风险 3.0≤R<4.0 分，可能性较高后果较重，需专项管控、限期整改；三级（一般）风险 2.0≤R<3.0 分，可能性中等后果轻，常规管控、定期排查；四级（低）风险 R<2.0 分，可能性低后果轻微，日常管控、定期监测。

为了实现风险分级的规范化、标准化，构建油气开采 HSE 风险分级流程，具体流程如图 1：



图 1 油气开采 HSE 风险分级流程图

3 油气开采 HSE 风险分级防控技术研发

3.1 一级风险（重大风险）防控技术

一级风险涵盖井喷等，等级高危害大，需“监测预警+应急处置+源头管控”一体化防控。实时监测预警方面，研发系统整合多技术，井喷、硫化氢泄漏、火灾爆炸风险分别通过部署不同传感器实时监测，异常时预警并联动措施；应急处置上，针对不同事故研发高效技术、制定流程、配备设备，如井喷用封堵装置等，硫化氢泄漏用吸附中和材料等，火灾爆炸用复合灭火及蔓延控制技术；源头管控中，井控优化工艺与设备，有毒有害气体优化采气工艺与密封材料，环境污染研发废弃物废水处理技术、优化集输工艺。

3.2 二级风险（较大风险）防控技术

二级风险可能性较高、后果较严重，为了降低风险发生概率，建立标准化作业规范，采用过程管控技术，制定设备操作标准化流程，加强作业人员高处作业培训，实时监测作业人员操作行为，及时纠正违规操作；在设备运行区域、高处作业区域设置防护加强集输管线、设备的过程管控，定期开展巡检，及时发现泄漏隐患。在抽油机、潜油电泵等设备上安装过载保护、紧急停止等装置，当设备出现故障时，自动停机，防止机械伤害。安装漏电保护、过载保护等装置，防止电气设备故障引发的触电、火灾风险。采用耐腐蚀、抗磨损的新型管线材料，加强管线的防腐、防磨处理；在管线关键部位安装泄漏检测装置，及时发现泄漏隐患。建立二级风险定期检测机制，采用专业检测技术，定期对风险因素进行检测，及时发现隐患并整改。

3.3 三级风险（一般风险）防控技术

三级风险可能性中等、后果较轻，需建立常规管控机制，加强日常管理。建立作业人员考勤、考核制度，规范作业人员操作行为，严禁违规作业。定期对设备进行检查、维护，确保设备正常运行，减少设备故障风险。加强开采区域的环境管理，及时清理废弃物，规范废水、废气排放，减少环境污染风险。讲解三级风险的识别方法、防控措施、应急处置流程等知识，提高作业人员的理论水平。开展模拟作业、应急演练等实操培训，让作业人员熟练掌握风险防控技能和应急处置方法。作业人员在日常作业过程中，及时排查身边的风险隐患，发现问题及时上报、整改。

3.4 四级风险（低风险）防控技术

四级风险可能性低、后果轻微，需建立日常监测机制，采用简易监测设备，在泵站、设备运行区域等噪音源附近，安装噪音监测仪，在钻井、采油作业区域，安装粉尘监测仪，定期监测粉尘浓度，及时采取降尘措施。作业人员日常检查设备运行状态，及时发现设备轻微故障，及时处理，防止故障扩大。定期对设备进行清洁、润滑、紧固，减少设备磨损，延长设备使用寿命。定期对防护设施、监测设备等进行检查、维护，确保设施完好、监测有效。通过张

贴宣传海报、发放宣传手册、召开宣传会议等方式，提高作业人员的风险意识。

为清晰呈现不同等级风险的防控技术，构建油气开采 HSE 风险分级防控技术汇总表，明确风险等级、防控重点、核心技术及管控要求，具体如下表所示：

表 3 油气开采 HSE 风险分级防控技术汇总表

风险等级	防控重点	核心防控技术	管控要求
一级风险 (重大)	井喷、硫化氢泄漏、 重大爆炸、重度污染	实时监测预警、 应急处置、源头 管控	重点管控，立即 整改，24h 监测
二级风险 (较大)	机械伤害、高处坠落、 中度泄漏、中度污染	过程管控、设备 防护、定期检测	专项管控，限期 整改，每周检测
三级风险 (一般)	轻微伤害、轻微中毒、 轻微泄漏、轻微污染	常规管控、人员 培训、隐患排查	常规管控，定期 整改，每月排查
四级风险 (低)	轻微噪音、粉尘污染、 设备轻微故障	日常监测、常规 维护、宣传教育	日常管控，定期 维护，季度监测

4 油气开采 HSE 风险闭环管控机制建立

4.1 闭环管控机制框架

为确保 HSE 风险辨识、分级、防控工作的持续有效，建立“辨识-分级-防控-监测-复盘-优化”的全流程闭环管控机制，各环节相互衔接、协同推进，形成完整的风险管控闭环。采用构建的风险辨识体系，定期开展全流程 HSE 风险辨识，更新风险辨识清单，确保风险无遗漏；按照优化后的风险分级评估方法，对辨识出的风险进行分级，建立风险分级台账，明确管控优先级；根据风险分级结果，采用对应的分级防控技术，落实管控责任，制定防控措施，确保风险得到有效防控；建立风险监测体系，对各级风险的防控效果、风险变化情况进行实时监测，及时发现防控过程中的问题；定期对风险管控工作进行复盘，分析风险辨识、分级、防控过程中存在的不足，总结经验教训；根据复盘结果，优化风险辨识体系、分级评估方法及防控技术。

4.2 闭环管控机制关键措施

明确各环节的管控责任，企业主要负责人对 HSE 风险管控工作全面负责；分管负责人具体负责风险管控工作的组织、协调、监督，确保各环节工作有序推进；各部门按照职责分工，负责本部门相关的风险辨识、分级、防控及监测工作；作业人员严格遵守安全操作规程，落实防控措施。建立风险监测评估机制，一级风险每 24h 监测 1 次，二级风险每周监测 1 次，三级风险每月监测 1 次，四级风险每季度监测 1 次。每半年开展 1 次全面风险评估，包括风险辨识的全面性、防控措施的有效性等。

建立风险复盘改进机制，定期对风险管控工作进行复盘，分析风险事件发生的原因、防控措施的落实情况，持续优化管控体系。引入信息化技术，整合风险辨识、分级、复盘等功能，实现风险数据的实时采集、分析、共享。依托大数据、人工智能等技术，建立风险智能预警模型，提升风险管控的响应速度。实现各部门、各作业单元的风险

数据共享,确保风险信息传递及时、准确。

5 结论与展望

本文聚焦油气开采 HSE 风险辨识与分级防控技术,构建四级风险辨识体系实现全流程无死角覆盖,优化二维分级指标体系明确四级分级标准,研发分级防控技术体系达成精准防控,建立全流程闭环管控机制保障持续有效。研究表明,所构建体系、方法等为油气开采企业 HSE 管理提供科学支撑,提升管理规范化与智能化水平。展望未来,随着开采领域拓展、工艺复杂,HSE 风险管控要求更高,后续可研发智能化风险辨识技术,提升防控技术的针对性与有效性。

[参考文献]

- [1]符斌.建设基层站队HSE标准化提高风险管控管理水平[J].化工安全与环境,2019(2):10-12.
[2]周宝山,付建卫,韦远征.构建石油企业 HSE 管理长效机

制[J].现代职业安全,2020(2):76-77.

[3]刘二平,郭守贵.油气生产企业安全双重预防机制构建与探索[J].化工安全与环境,2021,34(26):6-8.

[4]张敏,谢国忠,邱少林,等.中国石油 HSE 管理体系量化审核的创建与实践[J].世界石油工业,2019(1):51-55.

[5]姜涛,侯益民,宗学花.浅谈化工企业 QHSE 管理体系常见问题及对策[J].氮肥技术,2016,37(3):37-39.

[6]刘成花.油气田企业 HSE 管理信息化系统建设研究[J].石化技术,2022,29(2):250-252.

[7]于大海.油田房建工程施工 HSE 现状及管理对策[J].现代职业安全,2020(11):64-66.

作者简介:王旭东(1977.10—),男,毕业院校:中国石油大学,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:吐哈油田公司吐鲁番采油管理区,职务:QHSE 管理,职称级别:助理工程师。