

复杂场景压缩效率与稳定性，优化多终端适配性，为云游戏 规模化发展提供技术保障，助力突破延迟瓶颈。



图 1 云游戏终端串流“监测 - 缓存 - 告警 - 优化”示意图

参考文献

- [1] 聂英好. 大片场景实时渲染虚拟制片降本增效[N]. 证券时报, 2025-08-07(A04).
- [2] 邵炜程. 实时渲染技术对游戏美术效果的提升作用研究[J]. 玩具世界, 2025, (01): 105-107.
- [3] 戚大为, 刘汗青. UE4 游戏动画实时渲染优化技术研究[J]. 河南城建学院学报, 2024, 33(06): 97-102.
- [4] 金安. 基于 CCA 的云游戏平台系统设计[J]. 软件导刊, 2023, 22(02): 115-120.
- [5] 胡燕, 陈立哲, 谢含纳, 等. 面向游戏与动漫的黑白漫画风格非真实感实时渲染方法[J]. 系统仿真学报, 2024, 36(07): 1699-1712.

Research on Dynamic Identification and Hierarchical Control of Drilling Site Operational Risks

Yipeng Liu

Fourth Engineering Project Department, Changqing Drilling General Corporation, Sinopec Chuanqing Drilling Company, Xi'an, Shaanxi, 710299, China

Abstract

Drilling site operations are characterized by sudden emergence and rapid evolution of risks, which traditional static management approaches struggle to address effectively. This study investigates a dynamic identification mechanism for multi-source risk factors in drilling operations, constructs a risk identification model driven by real-time data collection and intelligent algorithms, analyzes quantitative classification criteria and hierarchical response strategies for different risk levels, proposes a refined control system for high-risk scenarios, and explores the deployment process and application effectiveness of this system in typical drilling sites. The research findings enhance on-site safety management capabilities and provide dynamic decision support and risk prevention pathways for high-risk energy projects.

Keywords

drilling operations; risk identification; hierarchical control; dynamic monitoring; safety management

钻井现场作业风险动态识别与分级管控研究

刘意鹏

中石油川庆钻探公司长庆钻井总公司第四工程项目部, 中国·陕西 西安 710299

摘要

钻井现场作业风险具有突发性强、演化快速的特点, 传统静态管理模式难以有效应对, 文章研究了钻井作业中多源风险因子的动态识别机制, 构建了基于实时数据采集与智能算法驱动的风险识别模型, 分析了不同等级风险的量化划分标准与分级响应策略, 提出了面向高风险工况的精细化管控体系, 探讨了该系统在典型钻井现场的部署流程与应用成效。研究成果可提升钻井现场的安全管控能力, 为高危能源工程提供动态决策支持与风险防控路径。

关键词

钻井作业; 风险识别; 分级管控; 动态监测; 安全管理

1 引言

钻井现场作业环境复杂、工序密集, 面临设备失效、井涌井喷、人员误操作等多种高频高危风险, 现行以人工巡检和静态预案为主的风险管控模式在动态演化过程中响应滞后, 难以实现精确识别与快速处置。构建具备数据驱动能力的动态识别机制与分级响应体系成为提升现场本质安全水平的关键路径。研究围绕钻井作业全过程风险的实效感知与智能管控需求, 依托传感感知层、模型分析层与响应执行层的融合架构, 提出动态识别模型与等级化管控策略, 设计实用化部署方案并开展系统性能验证, 旨在形成一套具备实时性、准确性与适应性的钻井风险管控新范式。

2 作业风险动态识别机制

2.1 钻井作业风险源的分类建模

钻井作业过程中涉及的风险因素来源复杂, 在多维作业链条中, 常见的风险源可归类为四个维度: 人员操作行为、关键设备状态、现场环境变化以及工艺流程控制。其中, 人员风险主要体现在违反操作规程和误操作行为; 设备风险主要表现为振动异常、温升偏高和运行疲劳等问题; 环境风险集中在井场气象条件、地层稳定性及有害气体浓度波动; 工艺风险则体现于钻压、泵压、井底温度等工艺参数的异常波动。构建风险因子矩阵时, 对每一类风险源设定一组表征参数作为行向量, 结合作业阶段作为列向量, 形成二维映射结构用于后续模型识别的输入特征集生成。

风险因子矩阵构建公式如下:

$$R_{ij}=w_i \cdot x_{ij}$$

其中, R_{ij} 表示第*i*类风险源在第*j*个作业阶段的风险强

【作者简介】刘意鹏, (1982-), 男, 中国甘肃庄浪人, 本科, 工程师, 从事石油工程、钻井现场安全管理研究。

度； w_i 为第*i*类风险源的加权系数，反映其在整体作业中的相对重要程度； x_{ij} 表示对应阶段的参数异常值大小。该公式用于定量表达风险因子的影响强度，作为动态识别算法的输入向量之一。在模型训练过程中，依据该矩阵可快速识别关键风险源的主导特征维度，实现高维输入空间的结构化降维处理。

2.2 关键风险数据的实时采集技术

为了支撑动态识别系统的实时响应机制，需部署高频采样、低时延的数据采集网络。现场主要监测参数选取依据故障先兆特征和安全关联强度，布设传感器节点时结合设备部位分布与作业流程关键节点布点。采用无线 MEMS 振动传感器、电阻式压力传感器、热电偶温度采集模块、激光位移计等多源硬件单元，结合 LoRa 与 Wi-Fi Mesh 混合组网技术，实现井口、立管、钻台和泥浆泵等区域的风险指标覆盖。数据同步采用边缘计算网关进行时间戳对齐与预处理，采集周期可设定为秒级，实现毫秒级本地缓存与滑窗上传机制，降低丢包率与干扰影响。

钻井现场多源风险状态的感知依赖于高频数据采集系统，需针对各类风险因素配置不同类型的传感器与通信方式，从采样周期分布看，高动态响应的设备风险参数（如振动、钻压）配置了 1 秒内采样周期，适应突变风险特征需求；温升等缓变参数适用中频采样，平衡数据量与负载。通信方式选用 LoRa 用于低速高稳定需求，Wi-Fi Mesh 则保障高频参数在密集区域传输不中断。传感器安装位置紧贴故障频发点，便于实现预警闭环。

2.3 风险识别模型的动态更新算法

钻井风险状态具有典型的时间序列特征，动态演化过程呈现一定的阶段性与突变性，基于传统静态模型无法捕捉短周期突发模式变化。构建动态识别算法时，采用带遗忘门机制的长短期记忆网络（LSTM）结构对采集序列数据建模，提取时序模式中的趋势变化与波动信号，模型输入为构建后的风险因子矩阵序列，输出为当前风险等级预测值。在训练过程中使用滑动窗口策略构建样本片段，优化模型对短时波动的识别精度。

LSTM 核心单元更新公式如下：

$$h_t = o_t \cdot \tanh(c_t)$$

其中， h_t 为当前时刻的隐状态输出， o_t 为输出门， c_t 为记忆单元状态，表示历史信息的累计记忆值。模型在识别过程中根据输入的风险因子序列动态调整预测值，避免历史依赖过深或过浅的问题。为增强模型的解释性与鲁棒性，嵌入风险等级标签的多分类损失函数进行训练，综合多时刻预测结果形成当前风险趋势曲线，为后续分级管控提供判据基础。结合模型部署在边缘网关设备上，通过微批量在线更新机制实现参数迭代，具备模型自适应调整能力。

3 分级管控策略体系构建

3.1 风险等级的量化分级标准

钻井作业风险状态具有非线性演化和波动突发特征，需建立基于风险概率与后果严重度的量化评价体系，对风险等级进行精准划分^[1]。为此，引入双因子矩阵模型对当前风险事件进行打分评估，采用离散化评分映射不同等级区间，形成四色风险等级框架：红色表示极高风险，橙色为较高风险，黄色为中等风险，蓝色为可接受风险。在具体实现中，对风险概率采用事件触发频次与预测模型概率输出的组合加权方式进行量化；后果严重度以设备损坏等级、停产时长、人员受伤等级等定量指标归一化处理后加权求和。

风险等级评估公式如下：

$$L = \alpha \cdot P + \beta \cdot S$$

其中， L 表示综合风险等级得分， P 为风险概率值， S 为后果严重度评分， α 、 β 为经验权重系数，满足 $\alpha + \beta = 1$ 。评分区间划分如下： $L \geq 0.75$ 为红色等级， $0.50 \leq L < 0.75$ 为橙色等级， $0.25 \leq L < 0.50$ 为黄色等级， $L < 0.25$ 为蓝色等级。该模型用于实时计算每一采样周期的风险等级，作为后续响应机制选择与执行权限划分的依据。

3.2 分级响应流程的控制要点

为实现风险等级与处置策略的一致性匹配，需要构建覆盖响应触发、决策执行、反馈闭环的多层级响应流程，针对不同风险等级设定不同控制路径和处置机制。

红色风险事件由平台系统自动触发应急模式，强制停止相关作业单元，调度应急处置小组并上报至管理中心，所有控制权限提升至最高级别。

橙色风险事件触发二级响应流程，作业班组长获得操作控制权，系统发出限时处理指令并启动作业风险核查程序，对相关设备与操作参数进行集中验证。

黄色风险事件触发作业过程动态监控，控制权限不变，由系统实时记录波动趋势并发布作业建议提示，必要时切换至人工辅助干预模式。

蓝色风险处于预警监控范围内，不触发响应动作，仅作为风险趋势记录，供后续统计与分析使用。

各等级响应过程均需进行执行闭环校验，包括响应时延记录、执行动作确认、状态恢复验证，所有信息写入风险事件数据库。

3.3 高风险作业的重点管控措施

钻井作业中的高风险环节包括起下钻、卡钻解卡、高压试井等阶段，对应的管控措施需根据事件频率、演化速度及影响范围进行强化配置。高等级风险场景中，系统应自动触发作业锁定机制并限制任务操作权限，在未完成双人确认或多通道授权前，不得进行高风险操作指令执行^[2]。关键步骤作业前设置强制审批流程，要求班组长和安全工程师双重签字，操作人员身份识别系统必须通过动态认证后方可启动