

# Application of Video Observation Technology in Safety Risk Analysis of Petroleum Drilling Operations

Haiyun Wang

Sinopec East China Engineering Company HSE Supervision Center, Yangzhou, Jiangsu, 225200, China

## Abstract

With the popularization of ultra deep wells, horizontal wells, and intelligent drilling platforms, the oil drilling environment presents complex and extreme environmental characteristics such as high temperature, high pressure, high noise, and high radiation. Traditional single point perception and manual inspection are difficult to accurately grasp its dynamic evolution law. Video observation technology uses broadband optical fiber, explosion-proof PTZ and edge computing nodes to import multidimensional images of visible light, infrared and depth streams into the data lake in real time, forming a continuous, panoramic, traceable “visual neuron”. Professional personnel combine video image analysis with abnormal information collected by intelligent digital humans, combined with standard specification systems, to determine problem attributes, achieve real-time communication, timely stop violations, and promote hidden danger governance. By segmenting pixel level semantic features such as splashing at the wellhead, swaying of the traveling block, and pressure fluctuations, hidden dangers are transformed into computable feature vectors. Combined with the on-site call system, direct commands are implemented to promptly correct violations and update captured effective images, achieving a shift from “post evidence collection” to “pre intervention” and providing a new perception paradigm for drilling safety governance.

## Keywords

video observation technology; Oil drilling operations; Security risk analysis; application

## 视频观察技术在石油钻井作业安全风险分析中的应用

王海云

中石化华东工程公司 HSE 监督中心, 中国 · 江苏 扬州 225200

## 摘要

随着超深井、水平井和智能化钻井平台的普及, 石油钻井环境呈现出高温、高压、高噪音、高辐射等复杂极端环境特征, 传统的单点感知和人工巡检很难准确把握其动态演化规律。视频观测技术借助宽带光纤、防爆云台和边缘计算节点, 将可见光、红外和深度流的多维影像实时导入到数据湖中, 形成连续、全景、可回溯的“视觉神经元”。专业人员将视频图像分析和智能数字人采集到的异常信息相结合, 结合标准规范体系, 确定问题属性, 实现实时交流, 及时制止违规行为, 促进隐患治理。通过对井口喷溅、游车偏摆、压力波动等像素级语义分割, 将隐患转化为可计算的特征矢量, 配合现场喊话系统实现命令直达, 及时修正违规操作, 更新捕捉有效影像, 实现由“事后取证”向“事前干预”的转变, 为钻井安全治理提供新的感知范式。

## 关键词

视频观察技术; 石油钻井作业; 安全风险分析; 应用

## 1 引言

长期以来, 钻井安全一直受到信息碎片化和决策黑箱的制约, 传感器只能给出物理阈值报警, 而不能还原事故前后关系, 人的经验往往由于疲劳和信息超载而被扭曲。视频观测技术通过无接触、全时、多模态的图像获取, 弥补了物理感知中的“情境层”缺失, 将风险还原为可解释的、可预测的、可模拟的动态情景, 而非单一数值。专业人员深度参

与数据分析, 结合智能识别结果综合评判风险, 引入机器视觉、数字孪生和知识地图等技术, 实现图像语义与工程机理的耦合, 构建“看到即理解, 理解即预警”的新型分析框架, 促进钻井安全管理从经验驱动向数据-知识融合驱动发展。

## 2 石油钻井作业安全风险分类

### 2.1 设备设施安全风险

石油钻进作业依靠大量的重型设备和精密仪器设备, 其安全状况直接影响到操作的安全。钻井平台的核心设备, 如钻井绞车、钻杆、泥浆泵、防喷器等, 长期工作在高负荷、高压和高磨损条件下, 容易发生机械疲劳、零部件老化和密封失效。在多次起钻过程中, 钻杆会出现应力集中的情况,

【作者简介】王海云 (1975-), 男, 中国江苏淮安人, 本科, 注安师, 从事石油工程安全风险管控、安全观察方法与沟通、HSE管理提升研究。

如果不能及时发现,不采取人为干预,很容易造成钻杆卡死、折断等事故;防喷器是井控的核心设备,一旦液压系统发生故障,或者闸板密封不严,将导致井喷事故的发生<sup>[1]</sup>。钻井装备的电气系统同样存在着安全隐患,在潮湿环境下,电气设备绝缘性能退化容易发生漏电、短路,甚至引发火灾和爆炸事故。此外,在设备的安装、拆卸和维护过程中,由于操作不当而造成的设备不稳定、部件脱落等风险,还会对操作人员的安全和工作过程造成严重威胁,需要通过定期检测、维护和规范作业来降低风险。

## 2.2 作业工艺安全风险

石油钻井是一项复杂的生产过程,涉及到钻进、起下钻、处理复杂、测井、下套管、固井、完井、拆搬安等多个工序,每一个工序都有其自身的安全风险。在钻井过程中,钻井液性能的调节不到位,易造成井壁坍塌和漏失,过高的钻井液密度易造成地层垮塌、井漏,过低的钻井液不能平衡地层压力而井壁坍塌、诱发井涌,钻进参数设定不合理,易造成钻具磨损加剧,甚至发生卡钻、断钻具等复杂事故。在起下钻过程中,如果不能很好地控制起下速度,很容易产生过大的压力波动,钻具遇卡、井壁不稳定、井筒失衡,如果接单根和下套管的操作衔接不当,会导致堵水眼、套管损坏。固井过程中,水泥浆配方设计不合理,顶替效率不高,不仅影响固井质量,还会造成固井窜槽和井壁坍塌等不可逆的安全隐患。拆搬安作业流动性大,设备在搬运、安装时容易发生重心偏移、部件碰撞等危险,需要移动探头对其进行实时监测;在复杂的操作过程中,工作条件的变化很容易引起连锁反应,需要专业人员根据视频数据对操作参数、作业方法进行动态调整和过程干预。由于生产过程的连续性和关联性,如果某个环节的风险得不到有效控制,就会引起连锁效应,导致事故的范围扩大。

## 2.3 环境与地质安全风险

石油钻井大多在偏远的陆地、海洋等复杂环境中进行,其环境地质条件带来的安全风险不容忽视。陆上钻井面临极端气候风险,如高温、低温、暴雨、大风、沙尘暴等恶劣天气,会影响设备的稳定运行和操作灵活性,高温容易造成设备过热故障,人员中暑,低温环境下钻井液结冰,设备管道堵塞<sup>[2]</sup>。人员操作安全风险同样突出,如操作人员未严格遵守钻井作业流程、对设备操作不熟练或违规操作,可能导致起钻过快引发抽汲效应、下钻过猛造成井眼坍塌,或因误操作导致钻井参数失控,进而诱发安全事故。在地质条件上,如遇断层、裂隙、高压油气层等复杂的地质结构,则极易发生井喷、漏失、地层垮塌等事故,地层中含有硫化氢和一氧化碳等有毒有害气体,一旦侵入井内,不仅会直接威胁到作业人员的生命安全,还可能引发燃烧和爆炸事故。

# 3 视频观察技术在石油钻井作业安全风险分析中的应用

## 3.1 实时监测作业过程,精准识别风险隐患

针对石油钻井高风险特点,监控设备部署需要覆盖整个作业链的关键部位,形成“固定摄像头+移动探头+便携式记录仪”的立体监测网络,钻机操作区配备4K高清变焦摄像头,可以清楚地捕捉到司钻操作动作、仪表盘参数的变化和钻具运行的细节。在钻具库内安装360度全景摄像机,实时监测钻杆、套管等设备的堆码稳定性和运输流程,在钻井液循环系统的周围布置防水防爆摄像头,主要监控泥浆池的液位、管道接口的密封情况和泥浆泵的工作情况。防喷器控制区域配有近距离摄像机,精确捕捉关键信息,如闸板开关动作,液压管道压力显示等。同时,在人流密集的平台通道、工作面边缘等区域,设置人体感应联动摄像头,实现对人员运动轨迹和操作行为的全过程跟踪。对于拆迁安及其他移动性强的工地,配有可回送数据的流动探头。在小范围作业、电路维修和重点部位检查等视频无法覆盖的地方,采用便携式记录仪,进行实时传输和语音通话,将监控盲区最大化。

采用低延时视频传输系统,实现集控室远程实时监控或现场查看现场运行情况,专业人员通过视频画面与智能识别结果结合,实现对作业人员操作行为、设备运行状态和工作环境变化的实时监控。在人员作业监控方面,可以对各种违章行为进行精确的识别,如工人不戴安全帽、安全带等劳保用品,违规越过设备防护栏,在高压区域长时间逗留,未经检测进入受限空间作业,擅自拆卸设备安全防护装置,起下钻、接单根等操作中速度过快,动作不规范等<sup>[3]</sup>。在设备运行监测方面,可以对钻机主轴振幅超限、电机工作温升过快、钻具接头松动渗漏、钻井液管线破损漏液、防喷器液压系统压力异常波动等异常信号进行实时监控,实现设备故障早期预警和定位。针对夜间施工、大雾、暴雨等低能见度场景,利用红外热成像视频监控技术可以发挥其特有的优势,通过对目标红外辐射的探测实现场景可视化,突破光照限制,清晰捕捉操作过程中的细节,保证风险监控24小时不间断。

## 3.2 回溯事故场景,深度分析风险成因

石油钻井过程中,一旦出现安全事故,往往涉及多个环节和多因素的相互影响,仅凭人工回溯和现场勘查,很难还原其全貌。而视频观测技术所存储的高清视频数据,可以将事故发生之前和之后的关键信息都完整地保存下来,专业人员可以利用专业的视频分析软件,通过逐帧回放、慢放、定格等手段,对事故发生的时间节点、空间位置、发展过程进行了详细的还原,同时还对相关人员的操作行为、设备状态的改变、环境因素的影响等核心细节进行详细的还原。

专业人员对视频数据进行深层次拆解和数据分析,在对视频数据进行深层次拆解和分析的基础上,可以明确造成事故的直接原因,如工人违章作业没有及时纠正,设备突发故障没有得到有效的处理,环境因素如极端天气的突然介入等。通过对事故原因的分析,可以更好地挖掘出事故背后的间接原因,如安全管理程序存在缺陷,员工安全培训不足,应急预案缺乏针对性等。如在井喷事故发生时,利用视频回放技术,准确地还原防喷器作业的时间节点和规范度,钻井液性能调控的作业流程,以及作业人员的反应速度和作业精度,为事故责任认定提供铁证据。

### 3.3 辅助安全培训, 强化风险防控意识

视频观测技术可为石油钻井安全训练提供可视化、情景化的创新途径,深度应用实际工作场景视频和典型事故案例视频,提高训练的针对性和实效性,帮助作业人员增强风险防控意识,提高规范作业技能。在传统的安全训练中,工人很难通过传统的理论讲解和书面教材来对危险点进行直观的了解。

同时,专业人员选取陆上钻井真实事故案例作为训练素材,对事故发生的全过程、造成的人员伤亡和财产损失进行了还原,使工作人员能够直观地感受到违规操作和风险失控的严重危害,在心理上增强安全责任意识。另外,也可以通过视频观察技术将工作人员的实际操作过程记录下来,在训练过程中,组织对工作人员进行集体点评,对操作中存在的缺点、潜在的风险和改进的方向进行有针对性地研讨,也可以帮助工作人员及时改正自己的错误习惯,提高操作的熟练度和规范性。这种“理论讲解+实景视频+案例警示+实操点评”的沉浸式训练方式,完全改变传统培训枯燥低效的现状,使作业人员能够通过直观的体验,加深对安全规则的认识,把风险防控意识内化为自觉行动,为规范操作、防范风险打下良好的基础。

### 3.4 优化安全管理, 提升风险管控效能

引入人工智能图像识别算法,智能分析海量视频数据,结合现场综合运行参数数据,建立专属风险辨识模型,自动识别运营过程中各种风险隐患。如利用人体姿态识别技术,对工人是否佩戴劳保用品进行自动检测,有没有违规操作动作,利用设备状态识别技术,自动判定设备运行参数是否正常,有没有零件松动、渗漏等异常情况,利用火焰探测技术设置异常报警,设置液位监测的频率命令等,大大降低人工监控的工作量和漏判概率,提高风险辨识的效率和准确性。

### 3.5 远程技术指导, 高效处置复杂工况

视频观测技术为石油钻井作业提供了一条新的远程技术指导 and 复杂工况处理途径,有效解决现场技术力量不足和复杂情况处理不及时的问题。在钻井现场部署高清双向音视频传输设备,构建低延迟、高稳定性的远程协作平台,实现现场与远程专家组的实时互联。在井筒作业过程中(如井眼塌陷、钻具阻卡、压井作业、打捞落鱼、顶驱故障、防喷器异常等)或技术难点时,操作者可以借助视频设备实时上传工作场景、设备运行参数、关键部位细节等图像数据,远程专家可以通过多视角视频图像直观地把握现场实际状况,避免信息传递失真造成的判断偏差。

专家们在远程平台上进行实时语音指导,并通过可视化的方式,将视频图像标注、操作步骤分解等方式,对现场人员发出精确的操作指令,引导他们进行参数调整、设备检修、应急处理等操作。如在遇到卡钻的时候,专家可以通过视频对钻具的受力状况和钻井液循环状况进行监控,远程指导现场进行钻井液性能的调整、起下速度的控制,或者采用专门的震击解卡等技术手段,防止盲目操作造成钻具断裂等次生事故。针对新井区复杂地质情况,远程专家可以通过视频对施工全过程进行实时监控,提前预测风险,对钻进参数及工艺方案进行动态优化,保证生产安全。

## 4 结语

综上所述,在极端环境下,利用视频观测技术,将现场数据转化为可视化的、可计算的、可交互的、可演化的数据空间,可极大减少在极端环境下的人员失效和监控盲区,并通过算法迭代,不断压缩风险演变周期,从而重构“感知-认知-处置”的闭环,实现安全治理由被动应对向主动塑造的转变。未来,随着 6G+ 星间融合传输、量子成像芯片和自适应人工智能技术的嵌入,视频观测有望实现从毫米尺度的微裂缝向井下宏观态势的跨尺度预测,为实现“零事故”钻井提供技术支撑,为中国深海、深井和非常规能源安全开采提供持续数字化保障。

### 参考文献

- [1] 万杰,杜胜蛟,曹代全,于晓文.石油钻井作业现场的安全监督及治理措施[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(16):84-86.
- [2] 胡龄,朱玥爱,段昕昀,朱咏妍,王永伟.石油钻井作业场所噪声危害特征与治理措施[J].中国工业医学杂志,2024,37(04):406-408.
- [3] 陈润生,贺锐,张杰.石油钻井工程中防漏堵漏技术探讨[J].石化技术,2024,31(07):161-163.