

录井数据在钻井事故预警中的作用研究

张峰毓

中石化经纬有限公司华北测控公司 河南 郑州 450042

摘要: 钻井现场预警工作普遍存在信息渠道狭窄、研判滞后、动态感知薄弱等问题,难以适配复杂井下风险管控需求。本文结合录井数据全程采集、多维度、高灵敏的特征,分析数据与钻井工况、井下风险的关联规律,梳理各类录井数据的具体应用方向,搭建适配现场作业的预警运行体系,优化钻井风险识别与管控模式,为钻井安全管控提供可行的参考思路。

关键词: 录井数据; 钻井事故预警; 井下风险识别; 多源数据融合; 钻井安全管控

引言: 钻井施工井下环境复杂多变,各类隐性风险极易快速演化,对现场安全预警质量提出较高要求。传统预警模式依赖单一作业参数,动态研判能力不足,难以捕捉早期细微隐患。录井数据能够同步跟进施工全流程,真实反映地层、流体与施工工况的动态变化。依托录井数据完善预警体系,可有效弥补传统管控短板,对提升钻井安全防控水平具备积极意义。

1 钻井事故预警现存的短板问题

1.1 预警信息来源单一化问题

目前钻井事故预警工作可利用的信息渠道相对有限。预警研判大多依靠常规钻井作业参数开展分析,很少结合井下地质变化、流体动态等隐性信息进行综合判断。现场监测工作依托固定设备采集基础数据,缺少多样化的信息补充渠道^[1]。信息获取渠道的局限,导致监测覆盖范围不够全面,井下微小的异常变化难以被发现。不少隐蔽的施工隐患无法通过现有监测方式提前识别,前期风险排查存在较多盲区。仅依靠单一维度的作业数据,只能判断表层施工状态,无法精准识别井下潜在风险,预警工作的准确性和完整性难以保障。

1.2 预警研判时效性存在局限

钻井施工过程中井下工况处于持续变动状态,这就要求预警研判工作具备较快的响应速度。传统预警研判流程环节较多,数据采集、整理、分析需要耗费一定时间,整体响应速度偏慢。井下工况出现波动时,研判结果无法同步更新,存在明显滞后问题。这种速度短板导致风险萌芽阶段无法及时识别预警。轻微的施工异常会在滞后时段内持续发展,逐步升级为安全隐患。研判时效不足,缩短了现场风险处置的有效时间,无法发挥预警工作前置防控的基础作用。

1.3 作业动态风险感知能力不足

钻井施工环境复杂,地质条件、施工工况、井下压力都会随时发生改变,施工风险的变化具备不确定性。现有预警体系的风险感知方式较为固定,多用静态标准评判动态施工过程,和现场实际施工情况适配度不高。固化的感知模式无法持续捕捉施工中的细微工况波动,也不能精准辨别风险的发展变化。静态评判标准难以区分正常施工波动和真实安全隐患,容易出现识别偏差。风险感知能力的不足,使得预警工作只能在风险完全暴露后才能发现,无法做到提前预判和前置防控,降低了预警工作的实用价值。

1.4 预警研判数据支撑体系不完善

钻井事故预警工作的精准开展,需要完整系统的数据体系提供支撑,当前行业所用的研判数据体系仍存在明显缺陷。各类施工监测数据分散存储,没有统一的归集和管理规范,数据整合程度较低。不同类别的监测数据相互独立,无法互通联动,不能形成完整的研判数据链条,难以支撑全方位的风险分析工作。同时,行业缺少规范的数据处理和解读机制,大量有效的监测数据无法转化为可用的研判依据。现有数据资源得不到充分利用,数据价值难以发挥。数据支撑体系的不完善,让预警研判工作缺少充足、系统的数据依托,很难实现精细化、科学化的风险研判。

2 录井数据适配钻井事故预警的内在逻辑

2.1 录井数据与钻井作业状态的关联性

钻井作业全过程的运行状态都会通过各类参数变化直观体现,录井工作贯穿钻井施工各个阶段,能够持续捕捉井下作业产生的各类原始数据^[2]。施工过程中的钻进进度、井下压力、岩层特性、流体状态等核心要素,

发生变动时都会同步引发录井参数的对应变化。这类数据源自钻井作业一线现场,能够真实反馈钻井设备运行状态、井下地质环境以及施工推进情况。录井数据的生成节奏和钻井作业推进节奏保持同步,能够全程跟随施工流程完成动态采集。依托这类数据可以直观掌握钻井作业的实时运行状态,摸清施工过程的基础运行规律,为风险研判提供真实可靠的数据基础。

2.2 录井数据对钻井风险变化的表征能力

钻井井下风险的滋生和演变不会凭空出现,都会伴随相应的工况参数异动。常规监测手段难以捕捉井下细微的隐性变化,录井数据具备高灵敏、高精度的采集特征,能够捕捉施工初期的微小参数波动。井下地质异常、流体异动、压力失衡等潜在风险,在萌芽阶段都会引发录井参数的细微偏移。参数的波动幅度、变化趋势、持续状态,能够直观反映井下风险的严重程度与演化阶段。通过解析录井数据的动态变化,可以精准识别井下风险的滋生苗头,区分正常施工波动和异常风险变化,实现对钻井各类风险的有效表征。

2.3 录井数据支撑动态预警的适配优势

钻井施工属于动态变化的复杂过程,固定化的监测数据很难适配实时预警需求。录井数据可以实现连续不间断采集,跟随施工进度更新数据内容,适配钻井工况动态波动的基本特征。数据采集密度高、更新速度快,能够实时跟进井下工况的细微变动,打破传统静态监测的局限性。这类动态更新的数据,能够为预警工作提供实时性更强的研判依据,让预警研判摆脱静态固化的判定模式。动态的数据供给模式,可以适配钻井风险持续演变的特征,支撑预警工作完成动态化、持续性的风险识别。

2.4 多类型录井数据的互补支撑逻辑

录井数据包含工程、地质、流体等多个类别,不同类型的数据对应钻井施工不同维度的运行状态,覆盖井下作业的多元监测场景。单一数据类别只能反映局部施工状态,存在监测覆盖的局限性。各类录井数据具备独立的监测侧重点,能够分别对应设备运行、地质变化、流体波动等不同风险维度。多类别数据相互补充、相互印证,能够补齐单一数据监测的盲区,构建全方位的数据监测体系。多维度数据融合形成完整的研判链条,可以丰富预警研判的数据基础,提升钻井风险识别的全面性与严谨度。

3 录井数据在钻井事故预警中的应用维度

3.1 地质类录井数据的风险预判应用

地质条件是影响钻井施工安全的核心底层因素,多数井下事故的发生都和地层结构、岩土特性的异常变化存在关联。地质类录井数据围绕地层信息开展采集与梳理,能够完整记录不同井段的岩层属性、地层分布和地质构造特征。施工推进过程中,新地层的出现、岩层硬度的突变、特殊构造的显露,都可以通过地质录井相关参数清晰呈现。工作人员依托这类数据,能够提前掌握前方地层的基础情况,分辨复杂地层与特殊地质构造的分布范围。地层异常带来的施工隐患具备较强隐蔽性,很难通过常规作业参数发现^[3]。地质录井数据可以在风险尚未影响施工状态前完成前置识别,帮助现场提前规避地层破碎、地层不均等问题引发的安全隐患,实现钻井风险的超前预判。

3.2 工程类录井数据的状态监测应用

工程类录井数据聚焦钻井施工全过程的作业参数,完整覆盖钻进、起下钻、固井等各个施工环节的运行指标。数据内容包含钻压、转速、泵压、钻速等核心施工参数,能够直观反映钻井设备运行状态与现场施工工况。钻井作业出现异常趋势时,工程类参数会出现明显的规律偏离。参数波动可以直观体现施工负荷变化、设备运行异常以及井下作业状态的偏移。依托持续更新的工程录井数据,能够对整体施工状态开展常态化监测。工作人员可以根据参数变化规律,判断施工流程是否处于稳定可控的状态,及时捕捉施工过程中的异常苗头。这类数据可以持续规范施工推进节奏,规避作业操作不当、设备运行异常引发的各类钻井风险,保障施工全过程的稳定有序。

3.3 流体类录井数据的隐患识别应用

井下流体状态变化是判断井下隐患的重要参考,也是钻井事故预警的重要研判依据。流体类录井数据重点监测钻井液性能、井下气体组分、流体流量等关键指标,能够精准捕捉井下流体环境的细微变化。井下出现渗透、溢流、气侵等隐患初期,施工工况不会出现明显变动,但流体指标会率先出现异常波动。流体录井数据的高灵敏度特征,能够捕捉这类初期隐性隐患。指标数值的波动幅度、变化规律可以直观反映井下流体环境的稳定程度。工作人员通过持续分析流体参数变化,能够精准识别各类隐蔽性井下隐患。这类数据可以填补常规工况监测的识别盲区,提升井下隐性风险的识别能力,为井下复杂隐患的早期处置提供有效参考。

3.4 时序录井数据的动态跟踪应用

钻井施工是连续推进的动态过程,井下风险不会固

定不变,会随施工进度、地层变化持续演化。时序录井数据按照时间顺序持续采集存储,能够完整留存不同施工阶段的各类录井参数。连贯的时序数据可以清晰呈现参数的长期变化规律,梳理井下工况的演变趋势。单一时间节点的数据只能反映瞬时施工状态,时序化的完整数据链条可以跟踪风险的滋生、发展与扩散全过程。工作人员通过对比不同时段的数据变化,能够判断风险的演化速度与发展走向,掌握井下隐患的动态变化特征。基于时序数据的动态跟踪,能够适配钻井风险的演变特点,为阶段性风险研判和施工调整提供持续的数据支撑,让预警工作适配钻井施工的动态化运行特征。

4 基于录井数据的钻井预警运行体系构建

4.1 录井数据筛选与规整体系搭建

钻井作业采集的原始录井数据数量繁杂,掺杂大量干扰信息,无法直接用于风险预警分析。搭建规范的筛选与规整体系,是整套预警体系稳定运行的前置条件^[4]。结合钻井风险预警的实际需求,设立明确的数据筛选标准,剔除设备误差、环境干扰及非正常作业带来的无效数据。留存能够真实反映井下工况、地层状态与流体变化的有效数据。统一不同类型录井数据的统计口径和存储规范,解决各类数据格式混乱、标准不一的问题。梳理从数据采集、筛选、纠错到归集的完整流程,形成标准化的预处理规范。经过规整处理的录井数据,能够有效保障后续风险研判的精准度,为钻井预警工作打下扎实的数据基础。

4.2 录井数据风险识别逻辑构建

录井数据预警需要依托清晰的识别逻辑,建立数据波动与井下风险的对应关系。结合地质、工程、流体等不同录井数据的变化特点,总结各类异常参数对应的井下隐患类型。明确不同风险对应的参数波动规律,建立标准化的识别判定依据。改变传统依赖现场经验的判别方式,以数据变化特征为核心研判依据,搭建数据驱动的识别模式。清晰区分常规施工波动和真实风险异动的差别,降低人工主观判断带来的误差。划分不同风险等级的判定标准,搭建分层递进的识别框架。标准化的识别逻辑能够提升隐患判别的专业程度,让钻井风险研判更加稳定、规范。

4.3 多源录井数据融合预警模式

单一类型的录井数据监测维度有限,难以覆盖井下复杂多样的施工风险。构建多源数据融合预警模式,可

以整合各类录井数据的监测优势,弥补单一数据研判存在的短板。统筹地质、工程、流体、时序等多维度录井信息,打通不同数据品类之间的信息隔阂。汇总各类数据包含的施工工况、地层结构和流体变化信息,充实风险研判的信息来源。利用不同数据的监测侧重点开展交叉校验,减少风险漏判与误判的情况。多源数据融合可以拓展预警研判的分析维度,挖掘单一数据难以发现的隐性风险,搭建更为立体完备的钻井风险预警模式。

4.4 预警工作流程与运行机制设计

顺畅的运行流程是预警体系落地应用的关键,可实现录井数据从处理分析到风险预警的闭环管理。结合录井处理节奏与钻井施工特点,规划适配现场作业的预警工作流程。明确数据预处理、风险识别、隐患研判、预警输出的具体工作内容,搭建完整的预警工作链路。适配钻井连续施工的作业特点,建立常态化的预警运行机制^[5]。规范异常数据上报、隐患研判处置、预警信息推送的各项流程,保障风险问题快速处置。细化各工作环节的衔接要求,理顺整体运行节奏,构建长效稳定的预警运行机制,切实发挥录井数据在钻井事故防控中的支撑作用。

结束语

录井数据为钻井事故预警工作打开了新的信息维度,跳出了传统预警模式依赖单一作业参数的局限。从数据关联逻辑梳理到多维度应用场景落地,再到完整运行体系的搭建,录井数据的价值能够在钻井安全管控链条中得到充分释放。这套以录井数据为核心支撑的预警路径,能够切实强化井下隐患的早期识别能力,为钻井现场的稳定施工筑牢坚实的安全屏障。

参考文献

- [1] 刘兴丽,董倩,王海玲.基于Neo4j的矿井事故预警的知识图谱构建与应用[J].煤炭技术,2025,44(4):165-168.
- [2] 刘颖彪,徐生江,田龙,等.钻井复杂事故预警技术研究进展[J].新疆石油天然气,2025,21(2):15-23.
- [3] 王勇.石油钻井井喷事故智能化预警体系建设与应用研究[J].化工设计通讯,2025,51(6):43-45.
- [4] 万康,马志超,郭青松,等.人工智能技术在石油钻井工程事故预警中的应用[J].录井工程,2022,33(2):24-29.
- [5] 肖良平.石油钻井井喷事故原因及预警系统分析[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(11):33-35.