

陆地石油钻井液作业安全问题探究

林 刚 王小安 罗永强

中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院 四川 德阳 618000

摘 要：钻井液是陆地石油钻井作业的核心介质，其作业安全直接决定钻井工程整体质量与施工安全。本文简要阐述陆地钻井液作业的核心功能与施工流程，系统梳理井下作业、设备设施、人员操作及环境辅助等多维度安全风险，从人员、设备技术、安全管理、环境工艺四个层面剖析问题成因，并针对性提出人员能力建设、设备技术升级、安全管理完善、应急机制优化的全方位防控对策，助力提升钻井液作业安全管控水平。

关键词：陆地石油；钻井液；作业安全问题

引言：陆地石油钻井是油气资源开发的关键环节，钻井液作业贯穿钻井施工全过程，是保障钻井作业稳定推进的核心工序。当前陆地钻井地质条件复杂多变，钻井液作业工序繁琐、风险点密集，在实际施工中仍存在井控隐患、设备故障、人员不规范操作等诸多安全问题，极易引发各类安全事故。为有效规避作业风险、筑牢安全生产防线，本文探究钻井液作业现存安全问题，剖析根源并制定科学可行的安全防控优化策略。

1 陆地石油钻井液作业基础概述

1.1 钻井液核心功能与作业原理

(1) 钻井液核心功能：钻井液是陆地钻井作业的核心介质，具备多项关键作用。可有效平衡井筒压力，抵御地层压力冲击，避免井内压力失衡问题；能够及时携带井下破碎的岩屑至地面，防止岩屑堆积卡钻；同时持续冷却、润滑高速运转的钻具，降低设备磨损与高温故障风险。此外，可稳固井壁岩土结构，防止井壁坍塌，阻隔地层油气、水体侵入井筒，全方位保障钻井作业稳定连续开展。(2) 陆地钻井液作业基本原理：依托钻井循环系统，实现钻井液在地面与井筒之间的闭环循环。结合陆地地层土质、岩层结构等地质特征，精准调控钻井液密度、黏度、失水率等核心参数，适配深浅层钻井、复杂地层钻井等不同施工工况，保障钻井作业适配性与稳定性。

1.2 陆地钻井液作业主要流程

(1) 作业前期准备：根据施工方案完成钻井液配比与性能调试，全面检修循环、输送等配套设备，排查设备故障。规范布设现场安全防护设施，开展全员岗前安全、技术交底，明确岗位职责与作业标准。(2) 作业中期施工：启动钻井液循环系统持续运行，实时监测并动态调整流体参数，全程跟踪井下工况，及时识别渗漏、卡钻等异常隐患，开展初步应急处置。(3) 作业后期收

尾：施工结束后回收、净化、处理剩余钻井液，清洗养护各类施工设备，排查现场安全隐患，整理归档作业参数、工况记录等核心数据^[1]。

2 陆地石油钻井液作业主要安全风险及隐患

2.1 井下作业核心安全风险

(1) 井控风险：井控是钻井作业核心安全管控重点，若施工中钻井液密度、黏度、失水率等参数调控不合理，会直接破坏井筒压力平衡。参数过低易引发地层流体上窜，造成溢流、井喷险情；参数过高则会压裂地层，引发井漏问题。同时，部分地层富含硫化氢等有毒有害气体，气体侵入井筒后，不仅会造成人员中毒，一旦聚集达到临界浓度，遇火源还会发生爆炸，造成重大安全事故。(2) 井壁失稳风险：不同陆地地层的岩土结构、承压能力存在较大差异，若钻井液性能参数与地层特征不匹配，无法有效支护井壁，就会出现井壁坍塌、井眼缩径等问题。这类井下隐患会直接阻碍钻具正常运转，极易引发卡钻、埋钻故障，不仅会造成设备损坏、施工停滞，严重时还会引发井下复杂事故，大幅提升作业处置成本与安全风险。

2.2 设备设施安全隐患

(1) 循环设备隐患：钻井液循环系统的泥浆泵、输送管线、控制阀门等设备长期处于高负荷运行状态，易出现老化、磨损、破损等问题。日常维护不到位会导致钻井液渗漏、管路堵塞、循环断流、系统憋压等故障，打乱钻井液正常循环节奏，影响井下压力稳定，极大降低作业稳定性。(2) 监测设备隐患：压力、密度、液位等监测仪器是预判井下工况的关键，若仪器长期未校准、检修，会出现数据失灵、监测偏差、数据滞后等问题，导致操作人员无法精准掌握钻井液状态和井下工况，难以提前预判异常隐患，错失最佳处置时机。(3) 防护设备隐患：防喷器、应急呼吸器、防护工装等安全

防护设备,若日常维保、巡检不到位,易出现部件失效、无法启动等问题,突发险情时无法正常投用,失去应急防护和抢险作用,扩大事故危害范围^[2]。

2.3 人员作业安全风险

(1) 操作风险:钻井液作业工序繁杂、参数调控精度要求高,作业人员若专业能力不足、安全意识薄弱,易出现违规操作、参数调控失误、岗位操作流程不规范等问题,直接诱发井控、设备故障等各类安全事故。

(2) 职业健康风险:作业人员长期接触钻井液各类化学助剂、地层有害气体,长期处于野外露天高强度作业环境,易引发皮肤、呼吸道类职业病。同时,长期熬夜、高强度劳作易造成疲劳作业,进一步提升操作失误和事故发生概率。

2.4 环境与辅助作业风险

(1) 自然环境风险:陆地钻井作业受自然天气影响较大,暴雨、大风、低温霜冻等恶劣天气,会干扰设备正常运行、影响操作人员视线与操作精度,破坏现场作业条件,加剧各类安全隐患爆发的可能性。(2) 物料存储风险:钻井液配套化学药剂种类繁多,腐蚀性、风险性较高,若药剂违规堆放、密封不当、配比不规范,易发生药剂腐蚀泄漏、化学反应起火等问题,同时会造成土壤、水体污染,引发环境安全隐患。

3 陆地石油钻井液作业安全问题成因分析

3.1 人员层面因素

(1) 安全意识薄弱:部分一线作业人员对陆地钻井液高危作业属性认知不足,长期作业滋生麻痹、侥幸心理,漠视安全规范。施工中擅自简化作业流程、违规操作设备、调整施工参数,忽视现场安全隐患,极易引发井下故障与设备事故。(2) 专业能力不足:钻井液工况调控与异常处置专业性强,部分人员岗前培训不足、实操经验欠缺,对复杂地层钻井液配比、压力调控掌握不熟练。遭遇溢流、井漏等突发问题时,应急处置能力不足,容易加剧事故危害。(3) 岗位责任缺失:岗位安全责任制落实不到位,部分人员履职敷衍,隐患排查流于形式,忽视设备缺陷、不规范操作等细微问题,未能及时处置初期风险,致使微小隐患不断累积,最终演变为重大安全事故。

3.2 设备与技术层面因素

(1) 设备老化滞后:部分油田钻井液循环、监测及应急设备长期超期服役,更新缓慢,零部件磨损老化突出,运行稳定性下降,易突发故障引发安全问题。(2) 技术适配性不足:面对复杂地层,现有钻井液配比、风险预判技术不够成熟,无法精准适配特殊地层施工,参

数调控精度不足,难以有效规避井壁失稳、井控风险。

(3) 自动化水平偏低:多数陆地钻井现场智能化程度低,钻井液监测、调控高度依赖人工操作,智能设备普及率低,人工误差大,人为安全隐患突出。

3.3 安全管理层面因素

(1) 管理制度落实不到位:油田HSE管理体系、风险分级管控制度虽已建立,但现场执行力度不足,制度流于形式。同时现场安全监督、考核奖惩机制不完善,无法有效约束不规范作业行为。(2) 隐患排查机制不完善:未建立全流程、常态化的隐患排查体系,排查范围存在盲区,多聚焦表面显性问题,对隐蔽性、长期性的潜在风险预判不足,无法实现风险提前防控^[3]。(3) 应急管理体系薄弱:现有应急预案针对性和实操性不足,贴合现场复杂工况的专项预案较少。日常应急演练频次不足、流于形式,人员应急熟练度低,事故发生后响应速度慢、处置流程不规范。

3.4 环境与工艺层面因素

(1) 地质环境复杂:陆地不同钻井区块的地层压力、岩性结构差异较大,部分区域地质勘探资料不完善、数据精准度不足,无法为钻井液配比和参数调控提供精准依据,大幅增加作业调控难度和施工风险。(2) 工艺管控粗放:钻井液配比、循环运行、动态调控等施工工艺标准化、精细化程度不足,作业多依靠经验开展,缺乏统一规范的管控标准,工艺细节管控缺失,极易诱发各类安全隐患。

4 陆地石油钻井液作业安全防护优化对策

4.1 强化人员安全管控与能力建设

(1) 常态化开展安全培训:结合岗位实际分层分类开展系统化安全培训,针对基层操作人员、技术人员及管理人员差异化授课,重点讲解安全法规、岗位操作规程、井下异常识别和应急处置技能。定期开展技能补课和知识更新培训,打破传统单一授课模式,结合现场案例开展警示教育,全面提升全员安全素养、实操水平与风险辨识能力。(2) 严格岗位考核管理:健全完善岗位安全责任制,明确各岗位安全职责与管控范围,将安全规范操作、日常隐患排查、突发事件应急处置等内容纳入常态化考核体系。将考核结果与岗位绩效、评优定级直接挂钩,奖惩分明,有效压实各级人员岗位安全责任,杜绝履职流于形式^[4]。(3) 规范现场作业行为:全面推行钻井液作业标准化流程,对钻井液配比、参数调整、循环启停等关键工序统一操作标准。强化作业全过程监督管控,严厉杜绝违章操作、擅自更改施工参数、疲劳作业等违规行为,规范人员作业习惯,从源头降低

人为安全风险。

4.2 升级设备设施与施工技术

(1) 完善设备运维体系: 建立设备常态化检修、定期保养、按期更新的全周期运维管理制度, 针对泥浆泵、输送管线、监测仪器、防喷设备等关键设施开展日常巡检与定期校验。及时淘汰超期服役、性能老化的落后设备, 确保各类设备始终处于完好运行状态, 为安全施工提供设备保障。(2) 优化钻井液施工工艺: 结合陆地不同区块地层压力、岩性结构等地质特征, 针对性优化钻井液配比方案, 精准调控密度、黏度、失水率等核心参数。根据深浅层钻井、复杂地层钻井等不同工况动态调整工艺标准, 提升钻井液适配性, 有效防范井漏、井喷、井壁失稳等井下风险。(3) 推进智能化安全管控: 积极引入智能化监测、自动化调控设备, 替代传统人工操作模式, 实现钻井液运行工况、井下压力、液位等数据的实时采集与动态监测。依托智能预警系统实现异常工况提前预判、自动预警及辅助处置, 大幅降低人工操作误差, 减少人为安全隐患。

4.3 健全安全管理与隐患防控体系

(1) 深化HSE管理体系落地: 结合陆地钻井液作业特点, 完善全流程安全管理制度, 细化风险分级管控标准, 建立隐患排查、上报、整改、复查的闭环管理机制, 杜绝制度空转, 推动HSE管理体系全面落地, 实现标准化、规范化安全管理。(2) 构建常态化隐患排查机制: 建立日常排查、专项排查、定期督查相结合的立体化排查模式, 覆盖人员操作、设备运行、工艺管控、现场环境等全部环节。重点排查隐蔽性、长期性安全隐患, 建立隐患台账, 限期整改销号, 实现风险提前防控。(3) 完善现场监督机制: 配备专职安全监督员, 对钻井液配比调试、循环运行、设备运维、参数调整等关键施工环节进行全过程旁站监管, 及时纠正不规范操作, 排查现场安全漏洞, 筑牢现场安全防线^[5]。

4.4 优化应急处置与风险保障机制

(1) 细化专项应急预案: 针对井喷、井漏、设备故障、有毒气体泄漏、人员伤害等高频、高危事故, 结合现场工况制定针对性、可落地的专项应急预案, 明确处置流程、岗位职责与管控要点, 提升预案实操性。(2) 常态化开展应急演练: 定期组织实战化应急演练, 模拟各类突发事故场景, 锻炼员工应急响应、协同配合、现场处置能力, 及时查漏补缺、优化处置流程, 提升整体应急实战水平。(3) 完善应急物资保障: 按标准配齐防喷设备、防毒器具、抢险工具、救援物资等应急装备, 建立物资台账, 定期开展核查、保养与更新, 确保突发事件发生时物资完好可用, 保障抢险救援工作快速有序开展。

结束语

综上所述, 陆地石油钻井液作业安全风险具备多样性、隐蔽性和突发性特征, 安全隐患贯穿施工全流程, 问题成因涉及人员、设备、管理、工艺环境多个维度。唯有全方位落实安全管控措施, 强化人员能力、升级设备技术、完善管理体系、优化应急保障, 才能从源头化解各类安全隐患。本次研究提出的优化对策, 可有效适配现场施工需求, 为陆地钻井液作业安全生产、风险防控及标准化施工提供参考。

参考文献

- [1]朱迪斯.长裸眼段地层长浸泡条件下钻井液作业安全控制技术[J].钻探工程,2025,52(1):129-137.
- [2]刘军,赵伟.陆地钻井液井下作业安全隐患及标准化防控措施[J].钻采工艺,2024,47(3):112-116.
- [3]李鹏飞.陆上石油钻井液井控安全风险分析与应急处置策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(18):78-80.
- [4]唐正.陆地石油钻井液作业安全影响因素与管控路径[J].石化技术,2023,30(11):184-186.
- [5]陈亮,周强,吴杰.陆地钻井液污染与作业安全协同管控技术研究[J].石油化工安全环保技术,2022,38(5):45-49.