

# 论石油钻井施工特点与钻井事故预防

任宏连

中原石油工程公司钻井二公司 河南 濮阳 457001

**摘要:** 本文围绕石油钻井施工特点与钻井事故预防展开,阐述了石油钻井施工具有环境复杂性、工艺特殊性和作业高风险性;分析了井喷、卡钻、井漏等常见事故的类型与成因;探讨了事故预防的原则、前期及过程控制措施,以及技术支撑与管理保障,为石油钻井安全施工提供全面参考。

**关键词:** 石油钻井; 施工特点; 钻井事故; 事故预防; 技术支撑

引言: 石油钻井施工是油气资源开发的关键环节,其复杂的地质条件和特殊的工艺要求使作业过程面临诸多风险。井喷、卡钻、井漏等事故不仅影响施工进度,还可能造成严重的经济损失和环境影响。本文旨在分析石油钻井施工的特点和常见事故类型,探讨事故预防的技术措施和管理方法,为提升钻井安全水平提供理论依据和实践指导。

## 1 石油钻井施工的特点

### 1.1 环境复杂性

石油钻井施工所处环境呈现多样与复杂的特征,涉及陆地深层海洋区域沙漠戈壁等不同地貌。陆地深层施工需穿透多层地质结构,岩层硬度致密性差异显著,可能遭遇断层褶皱等地质构造,增加钻进难度<sup>[1]</sup>。海洋区域施工受海水深度洋流作用影响,钻井平台需应对风浪冲击,海水的腐蚀性还会加速设备损耗。沙漠戈壁地区昼夜温差大,沙尘暴等极端天气频繁,既影响施工进度又对设备防护提出严苛要求。地质构造的不确定性尤为突出,同一区域不同深度的地层性质可能截然不同,突然出现的高压油气层或水层会改变施工条件。气候条件的变化直接作用于作业现场,高温或严寒环境不仅影响人员操作效率,还可能导致设备性能波动。水文状况在沿海或沼泽区域影响明显,地下水位变化可能引发井眼坍塌,增加施工风险。这些因素相互交织,使钻井施工环境始终存在难以预判的变量。

### 1.2 工艺特殊性

钻井施工工艺具有专业与复杂的特性,包含钻进固井完井等多个环节。钻进过程需根据地层硬度调整钻头类型和钻进参数,确保井眼轨迹符合设计要求。固井作业要精准控制水泥浆配比和注入量,使套管与井壁紧密结合形成密封屏障,防止地层流体窜流。完井阶段需安装井口装置,对油层进行有效封堵和保护,为后续开采奠定基础。各环节依赖特殊设备与技术流程,钻井机提

供钻进动力,泥浆循环系统负责携带岩屑和平衡井内压力,测井仪器则实时监测井下地质信息。不同井型工艺要求存在显著差异,直井需保证垂直精度,避免井眼倾斜;水平井则要通过导向技术实现井眼在油层中的水平延伸,最大限度接触油气藏。工艺环节的衔接必须无缝配合,前一环节的质量缺陷会直接影响后续工序的实施效果。

### 1.3 作业高风险性

钻井施工伴随较高风险,面临地下压力失衡地层不稳定设备故障等潜在危险。地下压力失衡可能源于对地层压力预测不准,当井内液柱压力无法平衡地层压力时,高压流体可能突破井眼屏障引发喷溢。地层不稳定表现为井壁坍塌或缩径,松散岩层在钻进过程中易发生垮塌,而塑性地层则可能因挤压使井眼直径缩小,导致钻具卡阻。设备故障在连续作业中难以完全避免,钻井泵动力系统或钻具的突然损坏会中断施工进度,若处理不及时可能引发更严重的连锁反应。作业过程中任何环节的疏漏都可能放大风险,泥浆性能调整不当会削弱井眼稳定性,设备维护不及时会增加故障概率,人员操作偏差则可能直接接触安全问题。这些风险因素相互关联,某一环节出现问题可能迅速波及整个作业系统,造成安全事故和经济损失。

## 2 常见钻井事故的类型与成因

### 2.1 井喷事故

井喷事故是井内压力失控导致地层流体喷出井口的现象。当地层压力超过井内钻井液柱压力时,高压流体便会沿着井筒向上涌动,突破钻井液的抑制作用,最终从井口喷出。轻微井喷表现为钻井液涌出量异常增加,严重时则会形成高压喷射,携带大量岩屑和地层流体,对井口设备和周边环境造成冲击。地层压力预测不准是引发井喷的重要成因。地质勘察过程中若对地层压力分布判断失误,未能识别出高压油气层,会导致钻井液密

度设计偏低,无法平衡地层压力。钻井液密度不当也会直接破坏压力平衡,密度过高可能压裂地层引发漏失,间接导致井内压力下降;密度过低则无法抑制地层流体,为井喷埋下隐患。井口设备失效同样会加剧井喷风险,防喷器密封性能下降、闸板无法正常关闭等故障,会使井口失去最后的压力控制屏障,在压力失衡时无法及时阻断流体喷出通道。此外钻具刺漏导致钻井液循环短路,也可能造成井内压力骤降,诱发井喷事故。

## 2.2 卡钻事故

卡钻是钻具在井内被卡住无法正常活动的情况。钻具被卡后无法实现起下钻或旋转操作,严重时会导致钻具断裂,增加事故处理难度。根据卡住的性质不同,可表现为黏附卡钻、坍塌卡钻、缩径卡钻等不同形式,黏附卡钻多因钻具与井壁长时间接触产生吸附力,坍塌卡钻则由井壁垮塌物包裹钻具导致<sup>[2]</sup>。井眼缩径会使井眼直径小于钻具外径,钻具下行时被卡住无法继续移动。塑性地层在钻井过程中受压力作用易发生变形,逐渐缩小井眼空间形成缩径。井壁坍塌产生的岩块堆积在井眼内,会直接阻碍钻具活动,松散地层或破碎带在钻井液冲刷下稳定性下降,容易发生垮塌。钻井液性能不佳也会引发卡钻,钻井液黏度不足无法有效携带岩屑,导致岩屑沉积在井眼底部形成沉砂卡钻;钻井液失水量过大则会使井壁泥饼过厚,增加钻具与井壁的摩擦阻力。钻具组合不合理同样可能造成卡钻,钻具刚性过大在弯曲井段易产生卡点,而组合长度与井眼轨迹不匹配则会加剧钻具与井壁的碰撞挤压。

## 2.3 井漏事故

井漏是钻井液在井筒内流失到地层的现象。钻井液在循环过程中通过井筒与地层的接触界面,渗入地层内部的空隙通道,导致井筒内钻井液量持续减少。根据漏失程度不同,可分为轻微漏失、中度漏失和严重漏失,轻微漏失表现为钻井液池液面缓慢下降,严重漏失时钻井液会在短时间内大量流失,甚至无法维持正常循环。地层存在裂缝孔洞等渗透性通道是井漏的主要成因。碳酸盐岩地层常发育天然裂缝系统,这些裂缝相互连通形成网络,为钻井液提供了流动通道;石灰岩或白云岩中的溶洞则会直接吞噬大量钻井液。砂岩地层的孔隙度较高时,也可能因渗透性过强导致钻井液漏失。钻井液排量压力控制不当会加剧井漏风险,排量过大使环空返速过高,局部压力集中可能压裂地层形成新的漏失通道;钻井液循环压力超过地层破裂压力,会强制打开地层缝隙,引发人为诱导性漏失。此外井眼轨迹设计不合理,钻具在井内形成的螺旋流动可能增加局部压力,也会间

接诱发井漏事故。钻井液性能参数与地层特性不匹配,如黏度切力过高导致流动阻力增大,同样会提高井漏发生的概率。

## 3 钻井事故预防的原则与措施

### 3.1 预防原则

预防工作需遵循超前性系统性针对性原则。超前性要求在施工启动前对潜在风险全面预判,结合区域地质特征历史施工记录及同类工程经验,梳理可能出现的井喷卡钻井漏等风险点,分析风险发生的诱因和演化路径,提前制定分级响应方案。通过模拟不同地质条件下的施工场景,预判各环节可能出现的偏差,为现场操作提供规避风险的具体指引,从源头降低风险发生概率。系统性强调对钻井全流程实施闭环管控,涵盖地质勘察设计论证设备选型施工操作后期维护等阶段,确保每个环节都嵌入对应的预防机制。各环节之间形成衔接紧密的管理链条,前一环节的预防成果为后续环节提供基础保障,如地质勘察的精准数据支撑设计方案的科学性,设计方案的合理性指导设备选型的适配性,避免因局部疏漏导致整体防护体系失效。针对性要求根据不事故类型的特性制定差异化措施,针对井喷的压力失控问题重点强化钻井液密度控制和井口设备防护,针对卡钻的井眼稳定性问题侧重井壁加固和钻具组合优化,针对井漏的地层渗透性问题着重做好漏失层预判和钻井液排量调控。结合具体井型和施工阶段调整预防策略,如水平井段重点预防井眼坍塌,直井段则需强化压力监测,确保措施与风险特征精准匹配。

### 3.2 前期预防措施

施工前的预防准备需构建多维度保障体系。详细勘察地质资料,组织专业团队对区域地质报告测井数据岩心分析结果综合研判,精准识别高压异常带漏失发育区易坍塌地层等风险区域,明确各深度段的地层压力梯度和岩性变化规律,为制定钻井方案提供翔实依据。针对复杂地质构造,可开展补充勘察,细化关键井段的地质参数。优化钻井设计方案,根据地质条件确定合理的井眼轨迹和钻井方式,水平井段设计避开断层密集带,垂直井段确保井眼垂直度偏差控制在安全范围。合理选择钻具类型和尺寸,确保其强度和韧性与地层硬度相匹配,设计科学的套管程序,为井眼提供有效支撑<sup>[3]</sup>。对设备进行全面检查与调试,组织技术人员对钻井机防喷器泥浆泵等关键设备逐台检测,重点检查防喷器的密封性能和开关灵活性、泥浆泵的压力输出稳定性,对老化部件及时更换,对连接部位进行紧固处理,确保设备在额定参数范围内稳定运行。调试监测系统的传感器精度,

保证数据采集的准确性。

### 3.3 过程控制措施

施工过程中的预防操作需注重实时监测与规范执行。实时监测井内压力钻井液性能等参数,通过传感器和监测仪器获取数据,及时掌握井内状况的变化,建立参数变化趋势分析模型提前识别潜在异常。当参数出现异常波动时迅速分析原因,采取调整钻井液密度控制钻进速度等措施,防止异常情况扩大。严格执行操作规程,确保各环节操作符合标准要求,钻进时按照设计参数控制钻头转速和压力,固井时准确调配水泥浆并控制注入速度,操作过程全程记录以备追溯。加强现场巡检与维护,定期检查设备运行状态和钻井液循环系统,及时清理泥浆池中的沉砂,紧固松动的连接部件,对关键部位增加巡检频次,避免设备故障引发事故。对施工中出现的微小异常情况及时处理,如发现钻井液液面下降返出流量变化等现象,立即停止作业进行排查,确定原因并采取应对措施后再恢复施工,防止小问题积累成重大事故。通过持续的过程控制,将风险控制在可接受范围内,保障钻井施工的顺利进行。

## 4 钻井事故预防的技术支撑与管理保障

### 4.1 技术支撑

随钻监测技术在钻井过程中实时获取井眼信息,通过安装在钻具上的传感器,持续采集井眼轨迹井壁稳定性钻井液性能等数据。这些数据经传输系统反馈至地面控制中心,技术人员可及时掌握井下动态,为调整钻进参数提供依据。该技术能捕捉到井眼缩径初期的细微变化,为预防卡钻提供早期信息。地层压力检测技术通过分析钻井液返出情况岩屑特征及测井数据,准确评估地层压力状况。借助专业算法计算地层孔隙压力破裂压力,确定安全钻井液密度窗口,避免因压力失衡引发井喷或井漏。针对复杂地质构造,该技术可识别隐蔽的高压异常带,提前采取压力控制措施。智能预警系统整合多源监测数据,通过预设的异常判断模型,自动识别井内压力波动钻井液流量变化等风险信号。系统在发现异

常时发出提示,同时生成成因分析及应对方案,为现场决策争取时间。其自主学习能力可不断优化预警阈值,适应不同钻井阶段的风险特征。

### 4.2 管理保障

完善的管理体系对事故预防起到基础性作用。建立健全责任制度明确各岗位的安全职责,将预防任务分解到具体环节,确保每个操作步骤都有对应的责任主体。责任追溯机制可倒查违规操作根源,强化全员安全意识。加强人员培训提升操作技能,通过理论授课模拟操作案例分析等方式,使员工熟练掌握设备操作规范和应急处置方法。定期组织技能考核,检验培训效果,确保人员能力与岗位要求匹配。针对新技术应用开展专项培训,减少因操作不熟练导致的风险。实施作业许可管理对高风险环节进行管控,作业前需经审批确认安全条件,作业中严格遵守许可范围和时限。风险评估与应急演练定期开展,结合施工进度识别新增风险,演练内容覆盖井喷卡钻等各类事故的处置流程,提升团队协同应对能力。管理体系的持续优化可适应钻井环境变化,为事故预防提供稳定保障。

### 结束语

石油钻井事故预防是保障施工安全的重要工作。通过分析钻井施工特点和事故成因,建立系统的预防措施和技术支撑体系,可显著降低事故风险。未来应进一步加强技术创新和管理优化,完善预防机制,提升应急处置能力,为石油钻井安全施工提供更可靠的保障。持续改进预防措施,是实现钻井作业安全高效的关键。

### 参考文献

- [1] 鲍锦祥.石油钻井工程事故的原因及应对策略[J].化工设计通讯,2023,49(02):21-23.
- [2] 刘吉伟.石油钻井安全影响因素及管理措施[J].中国战略新兴产业,2022,(17):161-163.
- [3] 杨海华.石油钻井过程控制技术及其解决问题的措施[J].当代化工研究,2022,(07):114-116.