

Factors affecting oil drilling safety and countermeasures

Chao Lang

Liaohe Oilfield Safety and Environmental Protection Technology Supervision Center, Panjin, Liaoning, 124010, China

Abstract

Oil drilling, as a critical component of oil and gas exploration and development, has long been recognized as a high-risk operation due to its unique working conditions, complex technical processes, and numerous hidden engineering challenges. In recent years, China's exploration efforts have expanded into deeper strata, ultra-deep formations, and unconventional geological environments, presenting increasingly complex formation conditions and heightened safety management pressures. Building on the latest research and drilling experience, this paper analyzes three key factors affecting drilling safety: geological uncertainties, equipment reliability, and human operational factors. Through case studies and practical drilling management insights, the study proposes three strategic dimensions for safety enhancement: establishing comprehensive safety systems, improving equipment safety standards, and strengthening operational capabilities. These measures aim to fundamentally reduce the likelihood of drilling accidents.

Keywords

drilling safety; risk prevention and control; safety management; equipment maintenance; personnel training

石油钻井安全影响因素与防范对策

郎超

辽河油田安全环保技术监督中心, 中国·辽宁 盘锦 124010

摘要

石油钻井是油气勘探开发的核心环节之一, 由于其工作环境特殊、工艺复杂、隐蔽工程多等特点, 一直被视为高风险作业。近几年, 随着我国油气勘探深入到深层、超深层以及非常规等地质环境, 给钻井作业带来更加复杂的地层工况以及更大的安全风险管控压力。基于此, 本文依据最新研究、钻井工作经验, 对影响钻井安全的因素(地质环境不确定因素、设备设施可靠性因素以及人为操作因素)展开论述, 通过实例剖析结合钻井管理实践, 从安全体系建设、设备安全提升、能力建设三个维度为钻井安全防护提供支撑, 从根本上减少钻井事故的发生概率。

关键词

钻井安全; 风险防控; 安全管理; 设备维护; 人员培训

1 引言

石油钻井是一个系统化工程, 需要综合不同工种互相配合完成的技术工作, 整个施工过程伴随风险性。一旦发生安全事故, 直接危及人员生命安全, 造成企业财产损失以及环境破坏。尤其是如今我国不断加大油气勘探开发力度, “两深一非”(深层、深水、非常规)作业普遍化, 钻井平台与日俱增, 意味着超深井、复杂结构井及特殊工艺井数量也在不断增加, 而且各个方面的设备运行参数也日益复杂, 这就需要井场人员严于律己, 加强自己的安全意识, 为钻井生产保驾护航^[1]。但就现阶段来看, 尽管油田在钻井环节不断强化信息化水平, 由于钻井现场缺乏相关保障机制导致未严格按照规定操作, 造成事故风险骤增, 所以说针对诱因探索基层钻井岗位的各项安全管理措施十分必要。

【作者简介】郎超(1988-), 男, 中国河北定州人, 本科, 工程师, 从事石油安全研究。

2 石油钻井安全主要影响因素分析

结合相关文献查阅以及工作实践来看, 石油钻井安全中主要的影响因素包括以下三类:

2.1 地质环境因素

作为钻井对象的地质环境因素, 由于存在一定的客观性, 揭露了钻井施工中遇到各种复杂工况是不可避免的。研究表明, 我国主力油气产区(塔里木盆地、四川盆地和准噶尔盆地)开展的超深层钻探大多面临高温、高压地层及复杂的压力系统等极端工况, 随着井深超过万米以后, 井下的温度达到 200℃以上, 在这种情况下就会出现钻井液性能衰减严重、测井仪器和套管柱损坏等问题。另外, 深层破碎带、高陡构造、盐膏层容易造成井壁失稳, 从而产生卡钻、井控风险。另一方面, 基于海洋钻井平台的特殊性面临海上超深水环境条件, 如 LW22-1-1 钻井平台作业水深达到 2619 米, 当风浪流联合作用发生时, 会造成隔水管系统疲劳损伤和井口失稳; 如果地层压力预测失误也会产生严重后果。例如,

钻井液密度设计失误极易造成溢流或井漏事故，特别是一些狭窄的压力窗口就更易造成压差卡钻或压塌事故发生，因为采用常规控压钻井技术难以解决问题。

2.2 设备因素

设备设施的可靠性直接决定了钻井本质安全水平高低，钻机是钻井最关键设备之一，钻机设备好坏直接影响安全生产情况，虽然我国国产12000米钻机已投用，但是在经历长时间高温、高压条件下，顶驱、泥浆泵等部件并没有实现和国际接轨。井控装置充当最后一道防线，其失效来源于环形防喷器密封不足、闸板防喷器不能及时闭合以及控制系统响应慢，在快速变化的压力情况下可能导致严重的事故^[2]。其次，钻井工具及管柱发生隐性损伤的情况较难发现，例如强度高的钻杆在含有腐蚀性介质的环境里容易产生应力腐蚀开裂；井下工具在井温高于175℃的环境下橡胶件会加速老化，进而造成测井仪器测量误差甚至井下卡钻的现象；另外钻井供电系统的稳定性不足也会造成风险，电网电压波动会导致变频驱动系统的保护停机，尤其是在沙漠、海上这些区域，当供电故障发生以后，如果备用发电机组没有及时切换会导致钻井液循环中断而被卡住的风险大大增加。

2.3 人员操作与管理因素

人工操作和管理属于影响安全的主观变量。如在复杂工况下做出错误的决策或出现操作失误时会导致事故发生。体现在起钻过程中没有及时替浆，当液柱压力小于地层压力时发生溢流，倘若关井不及时就会演变为井喷；非常规作业中风险识别不足，例如设备搬迁安装、高压管汇试压等，均存在频繁临时的任务、交叉作业，从而未能严格执行相应的安全措施；班组协同效率差，呈现于岗位之间的信息传递滞后，就拿司钻和井架工、泥浆工之间的信息传递来说，不到位会导致钻井工况判断失误，因没有及时对接收到的录井参数变化进行调整沟通，最终造成钻井参数出现较大偏差；此外，一些老员工凭着自己的经验去使用新兴设备，对自动化系统权限边界不清楚，也有可能产生人机适配风险。

3 钻井安全优化措施与实践路径

3.1 完善现场安全管理与风险管控体系

系统化风险管理是防止事故发生的基本手段，要大力推行精细井控管理：首先，严格落实地层压力监测、井控装置试压规定和双冗余液面监测系统，在起下钻时执行实时液面标定，第一时间识别溢流信号及时关井；针对超深井高温高压特点，制定优化级并建立分级井控应急预案，准备足够数量的冷却系统避免节流管汇堵死、储备密度高的压井液防止压力突变引发井喷。其次，加强作业许可和过程监督，对危险作业进行双人签字确认；受限空间作业时，则提前气体检测合格后方可进入；高处作业务必安装好防坠落系统后方可登高作业；带电作业须严格执行隔离上锁。值得一提的是，基于海上平台特殊性，成立气象预警和船舶避碰制系统

必不可少，一旦发现浪高高于平台规定值，马上停止钻台作业。同时推行班组安全标准化建设，签订岗位安全责任制，将风险辨识作为交接班的内容之一，建立员工个人安全绩效档案，通过正向激励引导安全规范作业自觉性。完善现场安全督查机制，设置专职安全监督，开展经常性巡查，发现违章现象当场予以制止并详细记录在案，强调定期分析违章规律，对症下药强效管控^[3]。

此外，加强隐患排查与应急响应能力要从实际情况出发。首要任务是建立起设备缺陷上报制度，让全体职工都能将自己的发现及时上报到数字端口，要求维修队伍必须在4小时内响应并限时消缺，对于存在重大隐患的点要挂牌督办；始终秉持预防性维修理念，根据设备运行期限和工况制定相应维保计划，比如：顶驱系统运行500小时后更换润滑滤芯，防喷器组每周做一次全功能测试；最后就是优化应急演练方式，可以借助无脚本突击演练检验其真实反应力，如突发井涌、火灾或硫化氢泄露等，以总结和完善应急预案。另外，平时还要加强与专业救援队的协同合作，每个季度开展联演，熟悉协调联动的工作机制和工作程序，并且逐步完善现场应急资源分布图，明确责任人及处置流程，实现第一时间应急处置，增强钻井现场安全应急能力。

3.2 强化设备设施本质安全与维护保障

加强装备可靠性的措施包括从采购、维护到更新的全过程把关：一是严格执行设备入场验收标准，所有新购钻机必须经过72小时的负荷试运转；关键承件（比如钢丝绳、吊带等索具）强制做探伤检查，杜绝有问题产品下井使用；基于超深井钻探要求，优先选用耐温高压设备，比如在温度175℃以上选择使用金属密封钻杆接头，在220℃条件下选择特种绝缘电缆和电子元件等；二是完善预防性维修制度，须结合设备运行数据规划合理的维修周期，如钻井泵凡尔体要300小时更换、顶驱冲管密封要200小时检查等；为了更好地管控核心组件寿命，可以建立构件数据库，预警达到设计寿命强制更换，比如大钩轴承在运行了10000小时强制报废；积极推广状态监测技术，即在钻井泵、绞车等设备上安装振动传感器，经由频谱分析提前做好故障防范工作，最终达到事后维修变为主动维修的目的^[4]。

其次，做好井控装置、钻井工具的管理能有效预防井下重大事故的发生。首当其冲是配齐全工况井控装置，且防喷器组压力等级要比地层压力高20%，遥控面板和司控台能够远程、同步显示压力参数，每个月要开展压力测试并在规定的测试时间内响应。为了更进一步提升切割的可靠性，建议将更多智能化安全工具引入到实际工作当中，例如：防喷器剪闸板应用液压助力系统；将电加热装置嵌入到节流管汇应用防止水合物堵塞；另外还要重视管柱的安全工作，入井钻具必须进行探伤、试压工作，高扭矩工况下利用数字扭矩仪实施监视上扣，避免上扣后接头渗漏；钻井液处理系统中需配置有自动密度调节装置及液位报警，确保压井所需

材料足量并备放在合理位置;最后针对特殊环境(如海水等)强化设备防腐工作,建设综合采用特涂与阴极的保护方式来实现,以减小盐雾腐蚀影响。

3.3 提升人员安全素养与现场执行力

加强专培专练,降低人为失误是提升钻井安全的基石,具体而言,设置不同的岗位定制化培训模块:新员工进行300学时的理论学习和6个月师徒带教后实操训练,考核合格后方可独立顶岗。其次,根据不同风险设置针对性的专项培训项目,例如,针对高压井控训练,使用模拟井喷装置,由学员对节流管汇实施压井操作,以掌握该工况下如何使用节流管汇来控制井口压力;培训过程可推行案例教学,将典型事故案例通过三维动画还原出来,并组织班组讨论—分析根本原因—编制防范措施,最终形成指导性模块;另一方面,定期组织盲演式的应急演练和考核,随机设置故障场景测试人员的应变能力,演练结束后立即进行复盘整改。另外,对于海上平台或特殊环境下钻井需要专业技术性较强的工作岗位,应每季度组织一次专业机构认证培训,保证重要岗位的持证上岗,同时建立岗位技能矩阵,明确各岗位具备的安全技能,通过定期检测自身能力与目标之间的差距,实现有的放矢地补强。

良好的现场安全文化氛围有助于提高整体安全水平。建立全员的安全建议制度与提供便捷的建议提交通道,有助于激发职工参与度。同时将被采纳的建议予以相应的物质奖励,以激活职工主人翁意识。举个例子,泥浆工发现,使用加重件更加有效防止扬尘,试验具备推广价值便可兑换奖励。最后,开展班组安全分享,涵盖每日班前会讲述常见危险事件、邀请现实“当事人”描述危险经历等,使大家深刻认识到事故带来的危害性,管理人员必须深入勘查现场,了解生产一线的实际状况,及时发现制度上的问题并加以改正

和完善^[5]。同时做好考核激励,对安全情况进行绩效挂钩,连续安全生产记录较长且未出事的职工要给予表扬奖励;更进一步,关注职工心理状态,使用疲劳仪、测压枪等工具,对特殊时间段的职工进行疲劳度测量,做好疲劳管控,在特殊时期做好轮休、交接班等工作的有效部署。总之,通过以上多维、持续干预的方式有助于员工养成遵章守纪的好习惯,继而在钻井作业中内化于形,实现安全实践良性循环。

4 结语

综上所述,石油钻井安全是一项综合技术、管理和人工的系统性工程,其复杂性不言而喻,因此油藏层复杂程度、设备的可靠性和人为因素是其不可忽视的影响要素。针对这些安全影响因素的优化路径中,我们提出完善风险管控体系、提升设备本质安全水平、强化人员安全素质等对策,通过先进技术、科学管理和基层经验深度融合,构建“人—机—环”的全方位保护体系,只有这要,才能为深层、非常规油气田的钻井工作提供保障,实现钻井作业安全质量快速跃升,推动油气勘探开发向高质量发展。

参考文献

- [1] 何沙,陈东升,朱林, & 姬荣斌. (2012). 海上钻井平台安全风险预警模型应用研究. {中国安全生产科学技术}(4), 7.
- [2] 陆广宋等. "高温高压井水下防喷器组事故安全阀故障分析及对策." {石化技术} 24.3(2017):4.
- [3] 张兴江.试论油田井下作业安全防范及对策[J].城市建设理论研究(电子版), 2013(13).
- [4] 熊智.海上平台钻井物资采购风险分析及防范对策研究[J].石油石化物资采购, 2024(20):1-3.
- [5] 张旭光;王雪飞;王庆国;杨光;汪旭.石油钻井生产中的安全管理策略与改进措施研究[J].石油科学研究, 2025, 8(4). DOI:10.12721/ccn.2025.159447.