

石油钻井施工特点与钻井事故预防

孟令战

中石化江汉石油工程公司国际合作公司 湖北 武汉 430074

摘要: 石油钻井施工存在环境复杂、工序连续、高危高成本、协同性要求高的显著特点, 施工全程伴随各类安全风险, 易引发井下事故、现场安全事故及设备故障事故。本文系统梳理钻井施工核心特点与风险特性, 从技术、设备、环境、人员及管理多维度剖析事故成因, 针对性提出技术优化、设备管控、人员赋能、应急完善等综合预防措施, 旨在降低钻井事故发生率, 保障钻井施工安全稳定开展。

关键词: 石油钻井; 施工特点; 钻井事故预防

引言: 石油钻井是油气资源开发的核心关键环节, 施工工况复杂、风险点位密集, 安全生产是工程推进的核心底线。当前钻井施工常受恶劣自然环境、复杂地层条件、人为操作疏漏、设备管控不足等多重因素影响, 各类安全事故频发, 不仅造成巨额经济损失, 还威胁人员生命安全。为有效防控施工风险、规避安全事故, 本文结合钻井施工实际特点, 深度分析事故成因, 探究科学有效的事故预防策略, 为钻井安全施工提供参考。

1 石油钻井施工核心特点及风险特性

1.1 施工环境复杂多变

(1) 自然环境恶劣: 石油钻井施工场地多选址于野外荒漠、山区、深海、沼泽等偏远区域, 远离城区与配套保障设施。作业过程极易遭遇暴雨、台风、沙尘暴、极寒高温等极端天气, 同时大概率面临滑坡、泥石流等地质灾害侵扰, 直接干扰钻井作业正常推进, 大幅降低施工稳定性与安全性。(2) 地层条件复杂: 深层钻井地层结构极不稳定, 普遍存在岩层破碎、地层高压、高含气、钻井液漏失等复杂地质问题。这类复杂地层工况极易引发井下卡钻、井涌等突发问题, 大幅提升井下施工管控难度, 是钻井施工核心风险诱因之一。

1.2 施工工序繁琐且连续性强

(1) 工序衔接紧密: 钻井施工涵盖钻进、起下钻、固井、测井、完井等多道核心工序, 各环节环环相扣、关联性极强。施工流程标准化、链条化特征显著, 任一工序出现操作失误、参数偏差, 都会引发连锁反应, 诱发各类施工风险。(2) 作业连续性要求高: 钻井工程为保障施工效率、避免地层扰动, 需实行24小时不间断作业模式。人员长期轮班值守易产生疲劳、注意力不集中等问题, 引发人为操作失误; 设备持续高负荷运转, 损耗加剧, 易出现零部件故障, 埋下设备安全隐患^[1]。

1.3 作业高危性与投入成本高

(1) 安全风险集中: 钻井作业包含高空作业、井下高压作业、易燃易爆油气介质操作等高危环节, 风险高度集中。施工过程中易发生井喷、井壁坍塌、人员高空坠落、机械伤害、火灾爆炸等安全事故, 突发性和危害性极强。(2) 工程投入较高: 钻井施工配套精密设备繁多、造价高昂, 且整体施工周期长、人力物力投入量大。一旦发生安全事故或井下复杂情况, 不仅会造成钻具损毁、设备报废, 还会导致工期延误, 产生巨额经济损失。

1.4 施工协同性要求严格

(1) 岗位协同复杂: 钻井作业涉及司钻、井口工、设备检修工、安全监督员等多个岗位, 各岗位分工明确、缺一不可。施工全过程需要全员精准配合、默契联动, 任一岗位操作疏漏、协同滞后, 都可能引发施工事故。(2) 技术设备协同度高: 施工高度依赖钻井液、各类钻具、实时监控设备、井控安全设备等配套设施, 施工技术、设备性能、参数适配高度绑定。设备适配不当、技术匹配度不足, 会直接影响井下施工状态, 威胁整体施工安全。

2 石油钻井常见事故类型及成因分析

2.1 常见钻井事故类型

(1) 井下事故: 井下事故是石油钻井施工中发生率最高、破坏性最强的核心事故类型, 贯穿钻井全过程。主要包括井喷、井漏、卡钻、钻具折断、井壁坍塌等多种情况。此类事故发生于井下隐蔽区域, 前期排查难度大, 一旦突发极易造成井筒报废、井下工具掩埋等严重问题, 不仅会造成重大经济损失, 还会引发连锁安全风险, 是钻井安全管控的重点与难点。(2) 现场安全事故: 钻井施工现场环境复杂、高危作业集中, 极易引发各类人员安全事故。主要涵盖高空坠落、机械伤害、物体打击、触电、火灾爆炸等类型。钻井作业包含大量

高空操作、设备联动操作及带电作业,同时施工现场存在易燃易爆油气介质,操作稍有不当,就会造成人员伤亡、现场设施损毁,直接威胁作业人员生命安全。(3)设备故障事故:钻井施工依赖各类精密重型设备,设备稳定性直接决定施工安全。常见设备故障事故包含钻井泵、绞车、井控装置等核心设备失效,同时涵盖管线破损渗漏、监测仪器失灵、控制系统故障等问题。设备长期高负荷连续运行,易出现性能衰减、零部件损耗等问题,若未及时处理,会直接导致施工中断,诱发井下及现场安全事故^[2]。

2.2 技术性事故成因

(1) 钻井工艺适配性不足:部分施工过程中存在工艺参数固化、未因地制宜的问题,未结合施工现场地层结构、压力特征动态优化钻井速度、钻压等工艺参数。同时存在钻井液密度、黏度、封堵性能选型不合理、配比不规范等情况,无法适配破碎地层、高压气层等复杂工况,极易引发井漏、井涌、井壁失稳、卡钻等井下事故。(2) 井下风险预判不足:施工前期地质勘测工作不够精细化,对深层地层压力、孔隙度、岩层稳定性、含气含水等关键参数勘测数据不准确、不全面。导致施工方案针对性、适配性不足,无法精准预判井下隐蔽风险,面对突发井下复杂工况时,无有效的技术应对措施,进而引发各类井下安全事故。

2.3 设备与环境事故成因

(1) 设备管理不到位:设备全周期管理落实不到位,日常检修、维护保养流程不规范、频次不足。部分老旧、损耗严重的设备未及时更换,长期带病运行。同时设备安全防护装置存在缺失、损坏、失效等问题,监测仪器未定期校验,数据监测偏差,无法及时识别设备异常,埋下各类设备故障隐患。(2) 环境风险防控薄弱:钻井施工多处于野外、深海等复杂环境,施工现场对极端天气、特殊复杂地层的前置排查工作不到位,未提前识别环境潜在风险。同时缺乏针对性的环境应急预案,面对暴雨、沙尘暴、地层突变等突发环境变化时,应急处置不及时,极易诱发各类施工安全事故。

2.4 人员与管理事故成因

(1) 人员专业能力不足:部分作业人员安全意识淡薄,未充分认识高危作业风险,同时专业操作技能不达标、实操经验不足。施工过程中存在侥幸心理,频繁出现违规操作、野蛮施工、疲劳作业等不安全行为,无法规范应对常规施工问题,是引发人为事故的主要原因。

(2) 安全管理体系不完善:施工现场安全管理制度不够健全,各项安全管控措施流于形式、落实不到位。现

场专职安全监督力度不足,隐患排查不全面、不彻底,未形成闭环治理。同时应急管理体系不完善,应急预案不完善、应急演练频次不足,整体现场应急处置能力薄弱,小幅隐患极易扩大为重大安全事故。

3 石油钻井施工事故综合预防措施

3.1 优化钻井施工技术方案

(1) 精准开展地质勘测:地质勘测是钻井施工安全推进的基础前提,也是规避井下事故的核心前置工作。在施工前期,需结合施工现场地形与地层特征,开展全方位、精细化的地质勘测工作,全面采集地层压力、孔隙度、岩层稳定性、含气含水情况等关键参数。通过对勘测数据的系统分析,精准预判井下漏失、坍塌、高压气层等潜在风险,结合不同井段的地质差异,制定差异化、针对性的专项钻井施工方案,从源头规避因地层认知不足引发的安全事故。(2) 优化施工工艺参数:钻井工艺参数的合理性直接决定井下施工稳定性,需摒弃标准化通用施工模式,坚持因地制宜。根据实时地层特性动态调整钻进速度、钻压、转速等核心参数,科学配比、优化钻井液密度、黏度及封堵性能,适配破碎地层、高压地层等复杂工况。同时严格规范起下钻、固井、测井等关键工序的操作流程,细化施工标准,杜绝参数适配不当、工序操作不规范引发的井漏、井涌、井壁失稳等问题^[3]。(3) 推广智能化钻井技术:依托智能化、数字化技术升级施工管控模式,全面提升风险防控的精准性与时效性。积极应用井下实时监测、数据传输、智能预警等先进系统,对井下压力、井筒状态、设备运行参数等指标进行24小时动态监控。通过大数据分析实时研判施工状态,提前识别隐蔽性安全隐患,自动预警异常工况,辅助施工人员及时调整施工方案,实现从被动处置事故向主动规避风险的转变,大幅降低井下事故发生率。

3.2 强化施工设备安全管控

(1) 建立设备全周期管理制度:针对钻井设备精密、负荷高、损耗大的特点,构建覆盖设备采购、安装调试、现场运行、定期检修、老化报废的全流程管控体系。严格把控设备采购质量,杜绝不合格设备入场;规范设备安装调试流程,保障设备达标运行。同时结合设备使用工况,制定专项定期检测计划,对核心设备进行常态化性能检测,记录设备运行数据,实现设备状态可追溯、可管控,从制度上杜绝设备安全隐患。(2) 完善设备防护配置:全面配齐、配足井控装置、安全防护设施、应急救援设备等配套设施,补齐设备安全短板。定期对压力监测、数据传感、报警仪器等精密监测设备进行校验、校准,确保仪

器监测数据精准、设备运行稳定可靠。针对高压、易燃易爆施工场景,完善设备防爆、防泄漏、防过载防护配置,提升设备抗风险能力,杜绝设备故障引发的次生安全事故^[4]。(3)落实设备日常巡检:建立定岗定责的设备日常巡检制度,明确各岗位设备巡检范围、检查内容及频次。要求操作人员上岗前、作业中、收工后常态化排查设备运行状态,重点检查钻井泵、绞车、管路、井控设备等核心设施的运行工况,及时发现零部件磨损、管路破损、参数异常等隐患。严格执行隐患登记、整改、复查流程,坚决杜绝设备带病作业、隐患遗留作业,保障设备始终处于良好运行状态。

3.3 提升作业人员安全素养

(1)开展常态化安全培训:结合钻井岗位作业特点,搭建常态化、专业化培训体系,定期组织全员开展岗位专业技能、安全操作规程、设备操作规范、井下风险识别、应急处置技能等专项培训。针对新员工开展岗前系统化培训,考核合格后方可上岗;对老员工开展阶段性技能更新培训,补齐技能短板,全面提升全员标准化操作能力与专业施工水平。(2)强化安全意识教育:以行业典型钻井事故案例为抓手,通过案例剖析、安全宣讲、警示教育、现场观摩等多种形式,常态化开展安全意识教育。让作业人员直观认识违规操作、疲劳作业、疏忽大意带来的严重危害,破除侥幸心理,牢固树立“安全第一、预防为主”的施工理念,自觉杜绝野蛮施工、违规操作、超时疲劳作业等各类不安全行为。

(3)落实岗位责任考核:建立健全全员岗位安全责任制,明确各岗位、各工序的安全职责,实现安全责任全覆盖、无死角。将安全施工、隐患排查、规范操作等指标纳入员工绩效考核体系,把安全绩效与薪酬、评优、上岗资格直接挂钩。对规范作业、履职到位的人员予以奖励,对违规操作、履职不力的人员严肃追责,层层压实全员安全责任。

3.4 完善安全管理与应急体系

(1)健全标准化管理制度:依托职业健康安全管理体

施工现场各类风险进行分级分类管控,明确管控标准与防控措施;建立隐患排查、登记、整改、销号全闭环流程,杜绝隐患遗留,实现安全管理标准化、规范化、制度化。(2)强化现场安全监督:设置专职安全员全程驻场值守,细化现场监督职责,对钻井施工全流程、全岗位进行动态监督。重点紧盯高空作业、井下高压作业、动火作业等高危环节,严格规范现场作业流程,及时发现并制止违规操作、不规范施工行为,现场整改各类安全隐患,筑牢施工现场安全防线^[5]。(3)优化应急处置预案:针对井喷、井壁坍塌、设备故障、火灾爆炸、高空坠落等各类常见及突发事件,制定专项、针对性的应急处置预案,明确应急响应流程、岗位职责、处置方法。定期组织全员开展应急演练,磨合应急队伍、优化处置流程,提升作业人员突发事件应急处置、自救互救能力,最大限度降低事故造成的人员伤亡与经济损失。

结束语

综上所述,石油钻井施工风险诱因多元、事故危害性强,安全防控工作贯穿施工全过程。施工安全需立足钻井施工复杂特性,从技术升级、设备管控、人员素养提升、安全管理优化多方面协同发力,构建全方位、全流程的事故预防体系。唯有落实精细化风险管控、规范化作业流程、常态化安全管理,才能从源头遏制安全隐患,有效降低事故概率,助力石油钻井工程安全、高效、有序推进。

参考文献

- [1]宋春艳.钻井事故分析与预防探讨[J].化工管理,2022,10(7):69-71.
- [2]苏建军.浅谈钻井事故分析与预防[J].石油工业技术监督,2021,8(3):20-22.
- [3]赵志付,李兴.石油钻井施工特点与钻井事故预防[J].石化技术,2022,20(14):167-169.
- [4]任传松.石油钻井施工特点与钻井事故预防[J].中国化工贸易,2024,13(4):49-54.
- [5]刘景男.试论石油钻井工程事故的预警技术[J].中国石油和化工标准与质量,2025,40(22):57-59.