

石油钻井工程事故的原因分析

刘燕英

中国石油化工股份有限公司河南油田分公司 河南 南阳 473000

摘要：石油钻井工程具有工况复杂、工序密集、设备繁多、高危性突出的作业特征，各类安全事故频发，不仅造成人员伤亡、设备损毁与重大经济损失，还会破坏生态环境、影响油气行业稳定发展。本文立足钻井工程常见事故类型，从地质条件、设备状态、施工操作剖析事故直接原因，从人员素养、管理制度、外部环境梳理间接诱因，结合现场实际提出专项防控措施与长效治理机制，可为钻井安全管控与风险防范提供可靠参考依据。

关键词：石油钻井；工程事故；原因

引言：石油钻井是油气资源勘探开发的关键核心工序，作业涵盖陆地、深海等复杂场景，井下高温高压、地层多变等条件导致整体作业风险极高。随着油气开发不断向深层、复杂地层推进，施工难度持续提升，井控事故、井下故障、设备安全事故屡有发生，严重威胁现场作业安全，制约行业高质量发展。为有效遏制事故发生，本文系统开展钻井工程事故成因分析，总结事故规律，制定科学防控对策，助力提升钻井施工整体安全管理水平。

1 石油钻井工程事故概述

1.1 石油钻井工程的作业特点与事故危害

（1）石油钻井工程的作业特点：作业环境复杂多变，涵盖陆地、沙漠、浅海及深海等多种地形，地层压力与岩性难以精准预判；施工流程衔接紧密，钻进、固井、测井等工序环环相扣，任一环节失误均可能引发连锁反应；涉及设备种类繁多，钻机、井控装置等大型设备协同作业要求高；受地质条件影响显著，井下高温高压与腐蚀介质直接制约作业安全，整体呈现高风险、高技术集成属性。（2）石油钻井工程事故的危害：人员伤亡方面，井喷、火灾爆炸等易造成群死群伤；经济损失方面，设备损毁及停工赔偿等直接间接费用高昂；环境破坏方面，原油泄漏严重污染土壤与水源，生态修复困难；行业发展方面，重大事故削弱公众信任度，制约油气资源高效开发。多维危害表明，深入剖析事故成因具有迫切现实意义。

1.2 石油钻井工程常见事故类型及表现形式

（1）井下事故：卡钻表现为钻柱无法上提下放，多由井眼缩径或沉砂堆积引发；钻具断裂常呈现扭矩突降、泵压波动等征兆，如某井因疲劳断裂导致打捞作业耗时半月；井壁坍塌表现为返出岩屑增多、蹩跳钻明显；井漏则表现为泥浆返出量减少甚至失返^[1]。（2）井

控事故：井喷表现为井口泥浆突然涌出、溢流量迅速增大，若未能及时关井则发展为井喷失控，高压油气流喷射而出；遇明火即引发火灾爆炸，破坏力极强，具有突发性强、处置难度大、后果严重的特点。（3）设备与施工事故：钻机故障多发生于连续高强度运转工况，表现为绞车刹车失灵或泥浆泵损坏；起重伤害集中在吊装重物时钢丝绳断裂或吊卡滑脱；高处坠落常见于二层台高空作业平台，因防护不当引发，不同事故对应差异化的施工作业场景。

1.3 石油钻井工程事故原因分析的研究意义与研究方法

（1）研究意义：理论上，系统揭示各类事故致因机理可丰富安全管理理论；实践上，有助于规范操作、完善井控细则，从源头降低事故发生率，保障人员安全，推动石油行业可持续发展，并为构建科学安全管理体系提供决策依据。（2）研究方法：采用文献研究法梳理国内外事故统计资料；案例分析法进行全链条复盘；实地调研法深入现场了解设备与操作实况；数据统计分析法对事故诱因量化处理。多种方法交叉验证，确保原因分析的全面性与准确性。

2 石油钻井工程事故的直接原因分析

2.1 地质条件因素引发的事故原因

（1）复杂地质结构的影响：断层、褶皱、破碎带及溶洞等复杂构造破坏了地层的连续性与完整性。钻进破碎带时，岩块易剥落掉块，引发井壁坍塌；钻头穿越断层界面，地层倾角突变导致钻具受力不均，易造成井斜与卡钻；溶洞地层则常伴随钻具放空、泥浆恶性漏失，严重时可诱发井控风险。（2）地层压力异常的危害：地层孔隙压力异常升高（高压层）或降低（低压层）、坍塌压力与破裂压力窗口狭窄时，若钻井液密度适配不当——密度过低无法平衡高压层易致溢流井喷，密度过

高则压裂地层引发井漏。如某井因钻进高压气层时未及时加重泥浆,导致溢流迅速扩大为井喷失控。(3)特殊地层特性的影响:盐膏层遇水溶解形成不规则井眼,且具蠕变特性易缩径卡钻;泥页岩层水化膨胀导致井眼失稳、坍塌掉块;高压气层能量释放突然,一旦揭开且液柱压力不足,高压气体迅速涌入井筒,极易演变为严重井喷事故。

2.2 设备因素引发的事故原因

(1)设备自身质量缺陷:钻具材质夹杂或热处理工艺缺陷易致疲劳断裂;井控装置密封件材料耐压耐温性能不足,高压下密封失效;泥浆泵缸套材质耐磨性差,承压能力下降引发刺漏。核心设备质量不达标,为事故埋下先天隐患。(2)设备维护与保养不到位:日常巡检流于形式、定期维保计划未严格执行,导致设备在磨损老化中性能持续劣化。防喷器若未按规定试压检测,长期闲置后闸板胶芯老化,井喷时无法有效关井;钻机刹车系统磨损超标未及时更换,重载下易刹车失灵引发溜钻^[2]。(3)设备安装与调试不当:安装过程中基础找平不达标、连接紧固不到位,如井架底座螺栓未按规定扭矩拧紧,长期振动后松动,极端工况下可致井架倾倒;调试阶段参数标定错误,导致设备运行不匹配、衔接不畅,直接引发起重伤害等安全事故。

2.3 施工操作因素引发的事故原因

(1)钻井参数设置不合理:钻压过大导致钻具弯曲疲劳甚至断裂,转速过高加剧钻柱振动,排量不足携岩能力下降造成沉砂卡钻,钻井液性能未随井深和地层变化动态调整,难以维持井壁稳定与井内压力平衡。(2)作业人员违规操作:起下钻速度过快产生过高抽吸压力诱发溢流,井控操作未严格执行关井程序、未及时发出警报,应急状态下盲目决策延误处置,如某井发生气侵后司钻未按规定停泵关井,错失最佳控制时机导致事故扩大。(3)施工流程衔接失误:钻进与固井工序间未充分循环洗井,导致固井质量差;完井测井与通井工序衔接不畅引发卡仪器事故;各作业队沟通不畅、交底不清造成操作真空,施工中断或工序混乱直接催生各类井下复杂与安全事故。

3 石油钻井工程事故的间接原因分析

3.1 人员因素引发的事故间接原因

(1)作业人员专业素养不足:部分作业人员未接受系统钻井专业知识培训,对井下复杂工况的早期识别与判断能力不足。操作技能不熟练表现在面对井漏、气侵等异常时,不能及时采取正确应对措施,往往凭经验盲目处置。在井控设备操作、压井参数计算等关键环节,

因理论基础薄弱导致决策失误,使初期可控制的小问题逐步升级为严重事故。(2)作业人员安全意识淡薄:长期从事重复性作业易产生麻痹心理,将安全操作规程视为束缚效率的负担。作业中未按规定使用防护用品,如不佩戴防硫面具、高空作业不系安全带;操作上为赶工期简化流程,如起钻未及时灌浆、设备运行中擅离岗位。此类行为虽多为个体性的,但在高风险作业环境中成为诱发事故的潜在隐患^[3]。(3)管理人员履职不到位:现场管理人员对关键工序、重点时段和特殊井段的巡查盯防流于形式,未能及时发现操作偏差并纠正;安全管理人员隐患排查停留于表面,对重复出现的问题未深究根源、未落实整改闭环;安全培训组织仓促,培训内容与现场实际脱节,导致作业人员长期缺乏有效指导与监督,隐患积存不断扩大。

3.2 管理因素引发的事故间接原因

(1)安全管理制度不完善:部分钻井企业安全管理制度框架粗放,操作规程缺乏针对不同井型、不同地层的细化条款,岗位安全职责边界模糊。制度文本与实际作业存在较大脱节,检查标准缺乏量化指标,致使基层单位执行时无具体依据可循。责任划分不清导致安全问题出现后相互推诿,最终形成制度悬空、管理失效的被动局面。(2)安全培训与教育缺失:企业未能建立覆盖全员、贯穿生产全周期的培训体系。新员工入场教育仅进行简单口头交代即安排上岗,转岗人员未接受系统再培训;培训教材陈旧、教学方式单一,与实际作业环境严重脱节。针对井控演练、硫化氢防护等关键应急科目,未按计划开展实战模拟训练,导致作业人员缺乏应对突发状况的基本能力。(3)应急管理体系不健全:应急预案编制缺乏针对性,未能结合具体井场周边环境、地理条件和潜在风险制定差异化应急措施,可操作性差。防喷器配件、重晶石粉、堵漏材料等关键应急物资储备不足或分布不合理,事故发生后补给困难。应急救援队伍人员流动大、装备维护不及时,响应速度和处置能力受限,错过最佳救援时机,最终扩大了事故损失。

3.3 环境与外部因素引发的事故间接原因

(1)自然环境因素的影响:暴雨导致井场道路中断、物资补给困难,同时引发地基松软造成设备倾斜;大风天气影响二层台高处作业安全,起重吊装风险显著上升;高温作业加速设备老化与人员疲劳,严寒导致钻井液性能劣化、管线冻结;地震、泥石流等突发自然灾害直接破坏井场设施,间接引发次生事故^[4]。(2)作业现场环境复杂:钻井作业现场场地狭窄,钻具、管材、物料密集堆放,设备布局空间受限;易燃易爆物品与电

气设备间距不足,存放管理不规范;通风条件差导致有害气体积聚风险上升;多工种交叉作业相互干扰,复杂现场环境显著放大了事故发生的概率与后果。(3)外部监管与行业标准因素:行业监管部门力量有限,对偏远井场监管频次和力度不足,部分检查流于形式;现行安全标准更新滞后于钻井技术发展速度,深井、超深井及海洋钻井领域标准覆盖不全;标准执行层面缺乏强制性约束,各企业安全管理水平参差不齐,行业整体安全基础薄弱。

4 石油钻井工程事故原因的综合防控对策

4.1 基于事故原因的针对性防控对策

(1)针对地质条件因素的防控对策:运用高精度三维地震勘探、测井解释等综合技术手段,精细刻画区域构造与地层展布特征,在钻井设计阶段充分评估断层、破碎带等风险;建立动态地层压力监测系统,随钻实时修正地层孔隙压力、坍塌压力与破裂压力剖面,科学确定钻井液密度窗口,提前储备堵漏材料和加重剂,从设计源头规避复杂地质引发的事故风险。(2)针对设备与操作因素的防控对策:建立涵盖设备选型、采购、安装、运维、报废的全生命周期管理体系,制定定期检测与强制保养计划,重点强化井控装置、刹车系统等关键设备的巡检校验;编制覆盖各工序的标准化作业指导书,关键环节实行旁站监督与视频记录,严查钻压、转速等参数执行情况,杜绝违章操作,实现设备运行与人员行为双重受控。(3)针对人员与管理因素的防控对策:建立分类分级培训体系,对新员工、关键岗位及管理人员分别制定差异化培养方案,强化井控实操与应急演练;完善安全生产责任制考核办法,细化各层级安全职责,建立违章行为记分与奖惩联动机制;健全应急物资储备清单和预案评审制度,定期组织多科目实战演练,从源头夯实安全管理基础。

4.2 石油钻井工程事故防控的长效机制建设

(1)建立健全安全责任体系:自上而下构建覆盖企业决策层、管理层、执行层的网格化安全责任网络,逐级签订安全目标责任书,将安全绩效纳入全员绩效考核指标,明确各级人员在风险识别、措施落实和应急处

置中的具体职责,形成权责清晰、层层传导、全员参与的安全管理格局。(2)构建隐患排查治理长效机制:推行日巡查、周排查、月综合检查相结合的常态化排查模式,建立隐患电子台账,实行发现、登记、评估、整改、验收、销号的全流程闭环管理,对重大隐患实行挂牌督办和限期整改,配套建立隐患举报奖励制度,充分调动基层主动排查的积极性,确保各类事故隐患及时发现并彻底消除^[5]。(3)加强行业协同与技术创新:搭建钻井行业安全技术交流平台,推动企业间事故案例、管理经验和先进技术的共享互鉴;加大对智能监控预警系统、自动化操作装备等关键技术研发投入,以技术替代降低人为风险;推动监管部门及时修订完善深井、海洋钻井等新兴领域安全标准,强化执法检查力度,促进行业整体防控水平持续提升。

结束语

本文全面梳理了石油钻井工程各类安全事故的表现形式,系统拆解引发事故的直接与间接因素,明确地质隐患、设备缺陷、违规操作、管理疏漏是事故多发的核心症结。针对各类风险源头制定了精准防控策略,并构建常态化隐患治理、全员责任落实、行业技术创新的长效防控体系。通过全方位补齐安全管理短板、规范施工作业流程、强化设备与人效管控,能够有效降低事故概率,保障钻井工程安全、高效、有序开展。

参考文献

- [1]王彦兴,张吉斌,李磊.基于行为安全2-4模型的石油钻井施工事故成因分析[J].石油工业技术监督,2024,40(05):45-49.
- [2]蔡明杰,付强,贺明敏,陈友生.特深井大尺寸井眼钻杆失效分析与对策[J].钻探工程,2025,52(04):69-74.
- [3]陈猛,欧阳志英,余世杰.石油钻井钻杆接头断裂失效原因分析[J].理化检验(物理分册),2023,59(09):61-65.
- [4]刘凯,王洪涛.复杂地质条件下石油钻井井控事故诱因及防控措施[J].钻采工艺,2023,46(03):28-32.
- [5]李旭阳,芦琳,唐家睿,黄晓江,张超.油气井管柱失效引发钻井事故的原因及防控[J].钢管,2025,54(06):63-67.