

石油钻井工程事故原因分析及应对措施

屈玉庭

中原石油工程有限公司钻井二公司 河南 濮阳 457000

摘要：石油钻井工程在石油开采中占据关键地位，但面临诸多事故风险。本文深入剖析事故原因，包括井涌、井喷源于地层压力评估不准与防控失效；钻井坍塌、井漏由地层特性与钻井参数及液性能不当所致；钻具使用不当涉及选型、操作及维护问题；硫化氢中毒事故因风险预测、人员防护与应急体系缺陷引发。并针对性提出应对措施，如优化井控设计、调整钻井参数与液性能、规范钻具管理、强化硫化氢监测防护与应急救援等，旨在提升石油钻井工程的安全性及效率，减少事故发生与危害。

关键词：石油钻井；工程事故；原因分析；应对措施

引言 石油钻井工程是一项复杂且具有高风险的系统工程，对于石油资源的勘探与开发起着至关重要的作用。随着石油需求的不断增长，钻井工程的规模和数量日益扩大。然而，在钻井过程中，事故频发成为制约行业发展的关键因素。井涌、井喷、坍塌、井漏等事故不仅会导致工期延误、成本增加，还严重威胁着人员生命安全和环境质量。因此，深入研究石油钻井工程事故的原因，并制定有效的应对措施，具有极其重要的现实意义。这不仅有助于提高钻井作业的安全性和成功率，还能推动石油行业的可持续发展。

1 石油钻井工程概述

1.1 石油钻井工程的工艺流程图（如图1所示）

钻井工程设计—钻前工程—一开钻井—固表层—二开钻井

—完井作业

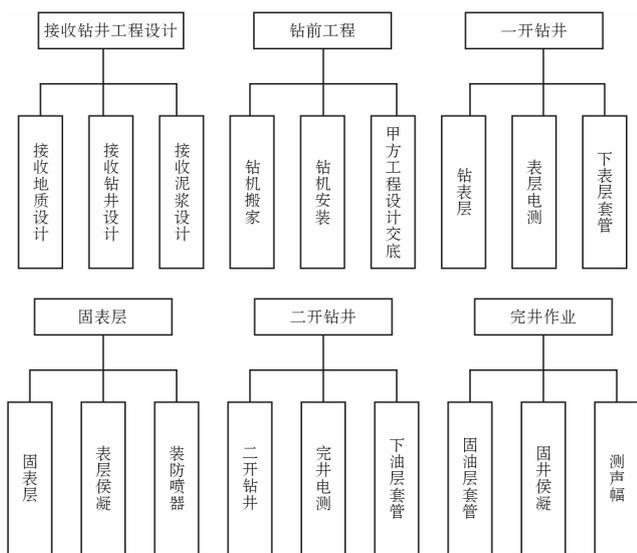


图1 钻井工程的工艺流程图

1.2 石油钻井工程的特点

石油钻井工程特点显著。其复杂性极高，综合地质学、力学、化学等多学科知识，要精准把握地层结构、岩石特性与流体性质才能规划钻井路径。风险性令人瞩目，各类事故威胁重重，据统计，在某些活跃钻井区域，井喷事故每年约发生8-12起，井漏事故发生频率更高，可达每年50-80起，卡钻事故每年也有20-30起左右，这些事故一旦发生，极易危及人员生命、破坏环境且损毁设备。投资成本巨大，一台先进的陆地钻井设备购置价在千万元级别，海上钻井平台造价更是高达数亿元，加之漫长的作业周期，人力、物力与财力持续投入^[1]。

2 石油钻井工程事故发生的原因

2.1 井涌、井喷

重庆开县“12·23”井喷事故是典型案例。该事故中，由于钻井过程中对地层压力预估失误，钻井液密度未能有效平衡地层压力，致使高压天然气大量侵入井筒。气体的持续涌入使井内压力急剧变化，最终导致井喷失控。井喷后，大量高含硫天然气喷涌而出，迅速扩散至周边区域。这不仅造成了周边环境严重污染，众多牲畜死亡，还因硫化氢剧毒导致大量人员中毒伤亡，对当地居民生命财产安全和生态环境带来了毁灭性打击，也凸显出井涌、井喷事故的巨大危害与严重性。

2.2 钻井坍塌、井漏

在钻井作业过程中，当钻井液密度无法有效平衡地层压力时，会产生一系列严重问题。地层流体在压力差作用下侵入井筒，使得井内原本的压力体系遭到破坏而减小。这不仅可能造成井壁失去稳定支撑，引发钻井坍塌事故，还会因井筒内压力失衡，若未能及时有效控制，极易进一步诱发井喷事故。井喷一旦发生，会带来不可估量的损失，包括人员伤亡、设备损坏、环境污染以及巨大的经济损失等，严重威胁着钻井工程的安全与

效益。

2.3 钻具使用不当

钻具使用不当会引发诸多严重问题。在钻井过程中,如果钻具的选择未能契合地层特性,例如在坚硬地层使用硬度不足的钻具,极易导致钻具过度磨损,缩短其使用寿命,增加作业成本与更换频次。操作参数设定不合理也是常见问题,如转速过快或钻压过大,会使钻具承受远超其设计极限的应力,可能造成钻具变形甚至断裂,不仅影响钻井进度,还可能引发卡钻等复杂情况。再者,对钻具的检查与维护工作不到位,未能及时察觉钻具的细微损伤,如裂纹、腐蚀等,这些潜在隐患在钻井的恶劣环境与高压作用下极易恶化,最终导致钻具失效,给整个石油钻井工程带来巨大风险与经济损失。

2.4 硫化氢中毒事故

重庆开县“12·23”硫化氢中毒事故,是石油钻井史上极为惨痛的教训。事故中,由于对地层复杂情况了解不够深入全面,未能准确预估到该区域地层中蕴藏着大量高浓度硫化氢气体。在钻井作业时,相关安全监测设备存在严重缺陷,要么敏感度低,无法及时捕捉到硫化氢浓度的细微变化;要么设备数量不足,监测范围存在盲区,致使硫化氢气体悄然泄漏却未被及时察觉。作业人员安全意识淡薄,对硫化氢的巨大危害认识不足,未配备专业且有效的防护装备。而且,现场缺乏完善的应急处置预案,在事故突发时,无法迅速组织有效的救援行动,也未能及时通知周边居民疏散撤离,最终导致243人不幸遇难,给无数家庭带来了灭顶之灾,也凸显了石油钻井工程中硫化氢防范工作的重重漏洞^[2]。

3 石油钻井工程事故应对措施

3.1 井涌、井喷应对措施

(1) 在钻井前期准备阶段,要进行极为精细的地层评估工作。运用多种先进的地质勘探技术,如高精度的三维地震勘探技术,能够清晰地描绘出地层的结构轮廓;地层压力测试技术可准确测定地层孔隙压力,结合对地层流体性质的深入分析,包括流体类型、粘度、密度以及其中所含气体成分等,从而为钻井液密度的科学设计提供精准依据。确保钻井液密度能够始终稳定地平衡地层压力,有效防止地层流体向井筒内侵入,从源头上降低井涌、井喷发生的风险。(2) 构建完善的监测与预警系统至关重要。在井筒内关键位置安装高灵敏度的压力传感器、流量监测仪以及气体含量分析仪等设备,这些设备能够实时、精准地监测井筒内压力的微小波动、钻井液流量的细微变化以及是否有气体侵入及含量多少等关键参数。依据大量的实验数据与工程经验,设

定科学合理的预警阈值,一旦监测参数超出正常范围并达到预警阈值,立即触发强烈而醒目的警报信号,同时将异常数据传输至井场的监控中心,以便钻井工程师与技术人员能够第一时间获取信息,及时启动相应的应急处理程序。(3) 建立高效的应急封堵与压井机制。井场必须配备专业且性能卓越的防喷器组,这是控制井涌、井喷的关键设备。定期对防喷器组进行严格的检测、维护与演练,确保其在关键时刻能够迅速、可靠地关闭井口,截断地层流体的喷出通道,根据不同的地层情况与事故严重程度,预先制定多种详细且具有针对性的压井方案,储备充足的各类压井液,并配备先进的压井设备^[3]。

3.2 钻井坍塌、井漏应对措施

第一,在钻井液性能优化方面,首先要深入分析地层特性。对于易坍塌地层,如泥页岩地层,需适当提高钻井液密度,以增强对井壁的支撑力,防止地层因压力差而坍塌。同时,添加优质的防塌剂,像钠羧甲基纤维素等,它能有效改善泥饼质量,在井壁上形成一层坚韧且致密的保护膜,增强井壁稳定性。在易漏失地层,例如孔隙度较大的砂岩地层,则要降低钻井液密度,减少液柱压力对地层的压迫。并且加入合适的堵漏材料,如纤维类堵漏剂,其细长的纤维能够在漏失通道中交织缠绕,形成封堵网络;颗粒类堵漏剂则可填充孔隙,协同作用封堵地层孔隙,减少钻井液漏失。第二,合理的钻井参数设计也不可或缺。依据地层岩石强度、可钻性等因素,精准确定钻压、转速和排量等参数。在钻进坚硬地层时,若钻压过大,会使井壁承受过大的侧向力,容易引发坍塌,所以要适当降低钻压并合理控制转速,减少对井壁的冲击。而在易漏地层,过大的排量会增加钻井液对地层的冲蚀作用,导致井漏加剧,因此要合理调整排量,采用低泵压、小排量的钻进方式,如在一些裂缝性地层采用吊打、控时钻进等精细操作方式,降低事故发生几率。第三,对于地层预处理与修复,在易出现问题的地层钻井前,可提前进行预处理。如向地层注入化学浆液,像硅酸盐类浆液,它能与地层中的某些成分发生反应,生成具有胶结加固作用的物质,从而加固地层、封堵裂缝。若发生井漏,要及时根据漏失情况采用相应的堵漏方法。轻微漏失可采用桥接堵漏,利用堵漏材料在漏失通道中架桥封堵;严重漏失则可能需要注水泥堵漏,通过注入水泥浆,使其在漏失部位凝固,形成坚固的封堵体,恢复正常钻井作业。

3.3 钻具使用不当应对措施

(1) 科学合理的钻具选型与适配是基础。在钻井工程规划阶段,要综合考量诸多因素来挑选钻具。针对地

层硬度,若地层坚硬,如花岗岩地层,应优先选用硬质合金或金刚石钻头,以确保高效破岩;而对于软地层,如黏土质地层,刮刀钻头则更为合适,根据井深确定钻具的强度和长度要求,深井作业需要更高强度和更长的钻具组合来应对复杂的井下环境。结合井斜情况,选择具有良好防斜性能的钻铤、稳定器等钻具部件,确保钻井轨迹符合设计要求。例如在大斜度井钻井中,使用特殊的钟摆钻具组合或满眼钻具组合来控制井斜。(2)规范的操作与培训是关键。制定详尽且严格的钻具操作手册,明确规定钻具在起下钻、钻进、接单根等各个环节的具体操作流程和标准。例如,规定起钻时的速度限制,防止因起钻速度过快产生抽吸作用导致井内压力失衡引发事故。对作业人员开展系统全面的培训,包括理论知识讲解,如钻具的结构原理、力学特性等;实践操作演练,在模拟井场环境中让作业人员熟练掌握钻具的正确操作方法。通过案例分析,使作业人员深刻认识到违规操作钻具带来的严重后果,从而增强规范操作的意识。(3)严格的检查与维护制度是保障。建立完善的钻具检查流程,每次起钻后都要对钻具进行外观检查,查看是否有磨损、变形、裂纹等情况;定期采用无损探伤检测技术,如超声波探伤、磁粉探伤等,对钻具内部结构进行检测,及时发现隐藏的缺陷。对受损钻具,根据损伤程度及时进行修复或更换。加强钻具的日常维护保养,在钻具连接丝扣处涂抹优质的丝扣油,防止生锈和丝扣损坏;定期对钻具进行清洗,去除表面的泥污、岩屑等杂质,延长钻具使用寿命,确保钻具始终处于良好的工作状态,为石油钻井工程的顺利推进保驾护航。

3.4 硫化氢中毒事故应对措施

(1)强化风险预测与检测是首要环节。在钻井作业前,应运用先进的地球化学分析技术,对地层样本进行深入检测,结合测井数据,精准预测地层中硫化氢的存在可能性、含量及分布状况。例如,通过分析地层岩石中的硫元素含量及特定矿物组合,判断硫化氢生成的潜在风险。在钻井过程中,于井口、钻台、泵房等关键位置合理布局高精度的硫化氢气体检测仪,实现对硫化氢浓度的实时、连续监测。这些检测仪应具备高灵敏度和快速响应能力,一旦硫化氢浓度超标,立即发出强烈声光警报,并将数据实时传输至井场监控中心,以便及时采取措施。(2)加强人员防护与培训至关重要。为作业

人员配备专业的正压式空气呼吸器,确保其供气充足、性能可靠,同时配备硫化氢防护服、防护手套、护目镜等全套防护装备,且定期进行检查和维护,保证防护效果。开展常态化的硫化氢防护知识培训,内容涵盖硫化氢的物理化学性质、中毒症状表现、急救处理方法以及逃生路线规划等。通过理论讲解、案例分析和模拟演练相结合的方式,提高作业人员的自我防护意识和应急处置能力,使他们在面对硫化氢泄漏时能够迅速、准确地做出反应,保障自身安全。(3)完善应急救援体系是最后防线。制定详细周全的硫化氢中毒事故应急救援预案,明确应急指挥机构的组织架构和职责分工,确保在事故发生时指挥有序、行动高效。储备充足的应急救援设备和物资,如硫化氢中和剂、通风设备、急救药品等,并建立快速调配机制。在井场设置明显的风向标,以便作业人员和救援人员能根据风向迅速判断安全区域和危险区域,选择正确的逃生和救援路线,加强与周边医疗机构的合作与联动,提前沟通协调好中毒人员的救治流程,确保中毒人员能够在第一时间得到专业有效的救治,最大限度减少人员伤亡和事故损失^[4]。

结束语

综上所述,石油钻井工程事故原因复杂多样,涉及地质条件、工程技术、人员操作及管理等多个方面。通过对井涌、井喷、钻井坍塌、井漏、钻具事故和硫化氢中毒等事故原因的深入分析,我们明确了相应的应对措施。在实际钻井作业中,应强化安全意识,注重前期地质勘察和工程设计,严格把控钻井液性能和钻具质量,加强人员培训与管理。只有全方位、多层次地实施这些应对策略,才能有效降低事故发生率,保障钻井工程的安全、高效进行,为石油行业的稳定发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]刘录翔,高永海,蒋宏伟,等.智能井系统井喷失控风险事故树分析[J].钻采工艺,2020,43(03):13-16+1-2.
- [2]唐凯.综合录井数据在预防钻井事故方面的应用[J].化工管理,2020(09):95-96.
- [3]宁宇祥.石油钻井的安全隐患及对策分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(05):83-84.
- [4]吴波.探讨石油钻井工程事故的原因及应对策略[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(07):112-123.