

钻井施工过程安全风险因素辨识及管控措施优化

陈爱国 罗辉 赵年海

江汉石油工程公司钻井一公司 50785JH 队

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8826

[摘要] 钻井施工作为石油天然气勘探开发的核心环节，具有作业环境复杂、工艺流程系统繁琐、高空与井下作业交叉并行、动态风险高度耦合等显著特征，其安全生产与风险管控始终是行业高质量发展的核心议题。各类安全事故的发生，不仅易引发人员伤亡与设备损毁，还会衍生环境污染、资源浪费等一系列连锁问题，严重制约油气行业的可持续发展。本文系统剖析钻井施工全过程安全风险的核心成因，并针对性提出改进与防控对策，以期在现场安全管理提供参考。

[关键词] 钻井；施工；安全风险

Identification and Optimization of Safety Risk Factors and Control Measures in Drilling Construction Process

Chen Aiguo Luo Hui Zhao Nianhai

Jiangnan Petroleum Engineering Company, Drilling Company No.1, Team 50785JH

[Abstract] As a core component of oil and gas exploration and development, drilling operations are characterized by complex working environments, intricate process systems, concurrent high-altitude and downhole activities, and highly interconnected dynamic risks. Safety production and risk management remain central to the industry's high-quality development. Various safety incidents not only cause casualties and equipment damage but also trigger a chain of consequences—including environmental pollution and resource waste—seriously hindering the sustainable growth of the oil and gas sector. This paper systematically analyzes the root causes of safety risks throughout the drilling process and proposes targeted improvement and prevention measures to inform on-site safety management practices.

[Key words] Drilling; Construction; Safety Risks

引言

石油天然气勘探开发在保障国家能源安全、推动国民经济高质量发展中具有不可替代的战略地位。钻井施工作为连通地表与地下油气储层的核心环节，其全过程均存在复杂多变的安全风险隐患。随着钻井深度持续增加、作业区域逐步向偏远山区、深海、极地等极端环境拓展，以及新型钻井技术的规模化应用，钻井施工面临的安全形势日趋严峻。

1 钻井施工过程安全风险成因分析

1.1 管理因素

健全的安全管理组织体系，是防止发生安全风险的重要手段。部分钻井企业的安全管理制度缺乏系统性、针对性，没有按照钻井施工的特点以及风险的特点来制定完善的管理制度。制度内容存在漏洞，对部分高风险作业环节的安全要求没有明确的规定，缺少可操作性，安全管理制度更新不及时，不能适应钻井技术的发展以及行业安全标准的变化，造成制度与实际

施工相脱离。另外，一些企业没有建立完善的风险防控体系，对于施工过程中出现的各种风险没有作出明确的规定，不能够有效地控制安全风险。还有一些企业应急管理体系还存在着不足，应急预案缺乏针对性和可操作性，内容比较空洞，没有根据具体的施工场景来制定详细的应急处置流程。应急救援队伍力量薄弱，应急物资储备数量不够、管理不当，部分物资过期变质，不能在发生突发事件时发挥应有的作用。事故发生之后，由于应急响应不及时、处置措施不当，一般会导致事故后果扩大化^[1]。

1.2 地质因素

地质条件属于钻井施工的基本环境，它的繁杂程度会直接影响到施工的难易程度和安全风险等级。地质条件的复杂性表现在各个方面，超深层地层岩性变化频繁，砂泥岩互层厚度可达 500-800m，破碎带发育密度达 3-5 条 / 100m，渗透率低于 $1 \times 10^{-15} \text{m}^2$ ，大大提高了井壁稳定难度。地层压力系统具有

非均质性，同一井段压力梯度差值可以达到 0.02–0.03MPa/m，如果钻井液密度配置偏差大于 0.05g/cm³，很容易造成井涌或者井漏。不同区域的地层岩性差别很大，从松软的砂泥岩到坚硬的花岗岩，从致密的页岩到破碎的断层破碎带，地层稳定性也大相径庭。破碎带、溶洞、裂缝发育的地层容易造成井壁坍塌、井漏等安全事故；含高压油气层、水层的地层会造成井涌、井喷的风险，如果地层压力预测不准，钻井液密度配置不合理，很容易造成井下压力失衡。

1.3 工艺因素

部分工程施工工艺执行不精确，钻井施工属于动态过程，地层状况随深度不断变动，工艺参数的调整存在着滞后现象。由于水平钻井、欠平衡钻井、智能钻井等新型工艺的推广使用，新的风险点也不断出现。部分企业对于新型工艺的技术原理、风险特性认识不清，缺少相应的安全操作规程和应急处置措施，造成工艺应用过程中出现风险失控的情况。另外钻井工艺各个环节之间缺少协同性，钻进、固井、完井等环节没有有效的衔接，也会造成连锁的安全风险。

1.4 设备因素

钻井设备是施工顺利进行的基础，设备质量、运行状况、保养情况直接决定施工安全。钻井设备长时间处在恶劣的作业环境之中，受高压、高温、振动、腐蚀等多种因素的影响，设备的各个部件很容易产生老化、磨损、疲劳等状况。企业若无健全的设备维护保养制度，或者不按规程对设备进行定期检测、维修及更换，那么老化磨损的设备部件就无法正常工作，进而提高设备故障发生率。钻井泵的密封件磨损后不及时更换会造成钻井液泄漏，钻杆老化后强度降低容易造成折断事故，引起井内复杂情况^[2]。

1.5 人员因素

人员是钻井施工的执行者。部分作业人员对于钻井施工的高危险性认识不够，有侥幸心理，不遵守安全规章制度，违章操作行为时有发生。伴随着钻井技术的迅速发展，新型钻井设备、工艺层出不穷，如果作业人员不能及时接受系统的培训，对于新设备的操作规程、技术参数、故障排除的方法一无所知，在操作过程中很容易出现失误，造成设备损坏或者安全事故的发生。除此之外，还有一部分作业人员责任心不足，在施工过程中对施工过程中出现的异常情况视而不见，没有及时上报和处理，岗位之间存在职责交叉或者模糊的地方，出现问题时互相推卸责任，造成风险隐患不能及时消除，最终酿成安全事故。

2 钻井施工过程安全风险改进措施

2.1 完善安全管控体系

2.1.1 健全完善安全管理制度

根据钻井施工特点及风险特点，建立全方位、系统化、可操作的安全管理制度体系，包含风险识别、评价、预警、处理、检查、培训、考核各环节。明确各部门、各岗位的安全管理

责任，细化高风险作业环节的安全操作规程，保证安全管理工作有章可循。及时了解行业的安全标准、法律法规的变化，及时修订完善安全管理制度，保证制度的时效性、适用性。建立健全安全生产检查监督体系，设置专门的安全管理机构或者配备专职安全管理人员，对施工全过程实施经常性监督检查，及时发现并纠正违规操作、制度执行不到位等问题。加强安全检查的深度和广度不能只是关注表面的安全隐患，还要对深层次的管理漏洞、风险隐患进行排查。对检查出的问题进行登记并作出相应的处理决定，即确定整改责任单位及人员、整改措施和整改期限，并实施全过程控制以保证隐患的消除^[3]。

2.1.2 健全应急管理体系

编制有针对性、可操作性较强的应急预案体系，对井喷、火灾、爆炸、中毒、设备故障等各类突发事件都应有相应的应急预案，并明确应急组织机构、应急响应程序、应急处置办法、应急物资供应等内容。加强应急救援队伍的建设，从公司选拔一批优秀的员工组成专业应急救援队伍，定期开展应急演练和技能培训，提高应急救援人员的实战能力。完善应急物资储备体系，按照应急预案的要求储备足够的应急物资，建立物资台账，定期检查、维护和补充，保证应急物资处于良好的状态。建立应急联动机制，加强同当地政府部门、消防部门、医疗部门等有关部门的联系，形成应急救援合力，在事故发生后可以迅速反应、妥善处理，最大程度地减少事故造成的损失。

2.2 优化地质精准勘探技术

推广高精度地震勘探技术来提高地质识别的精度。使用三维地震勘探技术，结合叠前深度偏移处理的方法，提高分辨率，精准识别薄储层以及微小断层。采用分布式光纤传感技术对钻井区域实施全方位地质探测，探测深度可达 8000m 以上，温度测量误差±0.1℃，压力测量误差±0.1MPa，及时发现地层温度和压力的异常区。建立多源数据融合的地质建模技术，把地震、测井、录井等各方面数据融合起来，用机器学习算法来改进地质模型。以高精度地质建模为基础，在钻探深部页岩气的时候，提升薄储层识别准确率，在断层发育区的预测误差在 5m 以内。加强随钻测井技术的改进，使地质参数得到及时的更新。增加测井参数种类，同步观测地层岩性、孔隙度、渗透率、压力、温度等 10 多项参数，创建实时地质参数数据库，实时调整钻井工艺方案。例如，遇到随钻测井数据出现地层压力陡升超过 0.5MPa/min 时，立即发出钻井液密度调节指令，保证井内压力平衡^[4]。

2.3 优化钻井工艺

利用智能化调节技术和个性化的工艺方案，对钻井参数进行动态调节，使钻井工艺环节之间相互配合。创建智能化参数调控系统，达成多参数协同改良。根据模糊控制和 PID 控制算法开发出钻井参数智能调控平台，实时采集钻压、转速、排量、钻井液密度等参数，用算法模型计算出最佳参数组合，调节响

应时间小于1s,控制参数精度误差。例如,当钻具振动幅度大于0.3mm的时候,系统会把转速降低5~10r/min,同时把钻压减小10%~15%,使振动幅度控制在安全范围内。建立不同地质条件下的工艺参数数据库,针对破碎带地层,采用“低钻压(50~80kN)、低转速(60~80r/min)、大排量(30~35L/s)”的工艺方案。改善钻井液体系性能,提高钻井液对复杂地层的适应性。研发高温高压抗污染钻井液,用新型聚合物处理剂和纳米材料,把钻井液适用温度范围扩大到250℃,抗盐浓度提高到 30×10^4 mg/L,滤失量控制在5mL/30min以内。固井工艺上,使用低密度高强度水泥浆体系,来提高水泥石的抗压强度和顶替效率,并且利用高精度固井质量检测技术来保证套管固井质量符合要求,从而有效地防止后期油气窜漏^[5]。

2.4 强化人员管理

2.4.1 开展全方位、多层次的安全培训

建立常态化的安全培训制度,根据不同的岗位、不同的层次人员来制定个性化的培训计划。对新入职员工进行全方位的岗前培训,内容包括安全规章制度、操作规程、风险识别、应急处置等,考核合格后方可上岗;对在职工开展定期的安全再培训和技能提升培训,及时更新安全知识和操作技能,重点加强新型设备、新工艺的操作培训,提高应对复杂情况的能力。同时创新培训方法,用案例分析、模拟演练、线上学习等多样化的培训方式来提高培训效果和培训兴趣,使员工真正学到安全知识和技能。

2.4.2 强化安全意识教育

通过安全宣传标语、宣传栏、安全会议、事故警示片等多种的方式,对员工进行全方位的安全宣传教育,使员工深刻认识到钻井施工的高危性以及安全事故的危害性,抛弃侥幸心理,树立起“安全第一、预防为主、综合治理”的思想。把安全文化建设融入到日常管理当中,营造出“人人讲安全、事事为安全、时时想安全、处处要安全”的良好氛围,使安全意识内化于心、外化于行,成为员工自觉的行为^[6]。

2.4.3 完善激励约束机制

建立完善的安全考核评价体系,把安全绩效同员工的薪酬待遇、晋升提拔、评优评先等直接联系起来,对安全工作成绩优异的个人和班组予以表彰奖励,对违反安全规定、产生安全隐患或者发生安全事故的个人和班组予以严肃处理,营造出“奖优罚劣”的鲜明导向。明确各个岗位的安全责任,签订安全责任书,把安全责任逐层分解落实到个人,保证每一个岗位、每一个环节都有责任人,防止出现责任空缺和推卸责任的情况。

2.5 加强设备管理

2.5.1 严格设备采购与准入管理

制定严格的设备采购标准和流程,优先选用符合国家标准、行业规范、质量好、性能优的设备及配件,不得采购不合

格的产品。创建供应商评价和准入制度,对供应商的资质、信誉、产品质量等各方面进行全方位的评定,确定合适的供应商并建立起长久的合作关系。设备进场前做好严格的质量检验和验收工作,保证设备的各项性能参数满足施工要求,不得使用不合格的设备。

2.5.2 建立完善的设备维护保养制度

制定详细的设备维护保养计划,对各项设备的保养内容、标准、责任人做出规定,定时对设备进行清洁、润滑、紧固、调整、检查等工作,及时发现并排除设备存在的故障隐患。加强设备状态监测,采用先进的监测技术及设备,对重要设备运行状态进行实时监测,掌握设备运行参数的变化情况,实现故障提前预报、快速处理。对老化、磨损严重、不能满足施工要求的设备及时进行维修或者更换,保证设备一直保持良好的工作状态。

2.5.3 优化设备配置与兼容性管理

根据钻井施工工艺要求、作业环境、产能需求等各方面因素来选择型号适配、性能协调、兼容性强的设备,保证各种设备可以高效协同工作。加强设备安装、调试管理,按照操作规程对设备进行安装、调试,保证设备安装质量符合要求。定期对设备的兼容性、协同性进行检查、评价,及时发现并解决设备配置中出现的问题,提高设备运行效率、安全性。

结束语

综上,钻井施工全过程安全风险管控与行业可持续发展密切相关。钻井施工企业应结合自身生产实际,持续优化安全管理模式,全面提升风险辨识与防控能力。随着钻井技术持续革新与行业安全监管标准日益提升,钻井施工安全风险防控面临新的挑战与发展机遇。企业应积极推进智能化、信息化技术在安全管理中的深度应用,强化全过程监督管控力度,持续夯实钻井施工安全基础,为石油天然气行业高质量发展构建坚实的安全保障体系。

【参考文献】

- [1]沈晓鹏.水平井钻井施工过程中风险分析及对策研究[J].西部探矿工程,2025,37(02):189-191+195.
- [2]邢文荣.海上钻井定向井施工过程安全与风险管理研究[J].石化技术,2024,31(09):277-278+325.
- [3]石昌森,崔磊,董明,等.钻井工程项目风险分析及对策研究[J].西部探矿工程,2024,36(06):185-187.
- [4]王鹏浩.钻井施工过程中的钻进提速技术措施分析[J].西部探矿工程,2023,35(06):42-44.
- [5]吕阳.油气钻井工程项目安全风险分析及管理对策研究[J].西部探矿工程,2023,35(06):185-186+190.
- [6]吕冯君,贾素芳,兰进.油气钻井施工作业安全策略研究[J].中国管理信息化,2023,26(06):121-123.