

油气钻井工程中的风险识别与控制

陈 笑*

(大庆钻探工程有限公司钻井一公司,黑龙江 大庆 163000)

摘 要:油气钻井工程面临着复杂多变的风险环境,为有效应对这些风险,提出了一套系统化的安全风险预警模式。该模式通过风险识别、风险分析与风险评价等步骤,帮助管理者及时发现并控制潜在风险。以S钻井队作为案例,展示了如何建立四级安全风险预警体系与三方隐患排查机制,从而显著提升了钻井作业的安全性和效率。实践证明,这一模式的应用能够大幅度降低安全事故发生的概率,并为其他钻井队伍提供了宝贵的经验借鉴。

关键词:油气钻井;风险预警;隐患排查;安全管理

中图分类号:TD76 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2025)07-0185-04

1 概述

油气钻井工程是一项高风险作业,其复杂性和不确定性要求必须采取严格的管理措施来确保作业的安全与高效^[1]。在钻井过程中,存在诸如井喷、设备故障、井漏等多种潜在风险,这些风险一旦发生,可能会导致严重的人员伤亡、经济损失乃至环境破坏。因此,建立一套科学合理的安全风险预警模式显得尤为重要。通过系统的风险识别、分析与评价,钻井人员能够及时发现并采取措施应对潜在风险,从而有效预防事故的发生。本文将以太S钻井队为例,详细介绍如何在实际操作中应用这一预警模式,并探讨其在提升钻井工程安全管理水平方面的具体成效。

2 钻井工程安全风险预警模式建立

油气钻井工程的复杂性和不确定性决定了风险管理在整个工程中的核心地位^[2]。由于钻井过程中存在多种潜在风险,如井喷、设备故障、井漏等,因此建立系统的安全风险预警模式尤为必要。通过风险识别、风险分析、风险评价等步骤,管理者能够及时发现潜在风险,并采取相应的预防和控制措施。完善的安全风险预警模式不仅可以大幅度降低安全事故发生的概率,还能提高整个钻井工程的效率和安全性。为此本文围绕钻井工程安全风险预警模式的建立,详细讨论风险评价和定级的具体过程。

2.1 风险评价

风险评价是建立安全预警模式的核心环节,通过

识别、分析和定量化的评价,能够全面、科学地评估各种潜在风险的严重性及其可能的后果^[3]。风险评价的具体步骤包括风险识别、风险分析和风险评价。每个步骤在评价体系中都扮演着重要角色,旨在帮助管理者识别主要风险源,并采取有效的防控措施。

2.1.1 风险识别

风险识别是风险评价的基础和起点,其目的是发现所有可能影响钻井安全的风险因素。钻井工程中的风险种类繁多,包括设计风险、地质风险、环境风险和施工风险。设计风险主要与井身结构、钻具设计等相关,如果设计不当可能导致卡钻、井漏等问题。地质风险则源于复杂的地下构造,例如断层、裂隙等地质现象可能引发井喷或井漏事故。环境风险包括极端天气、地形条件变化等,这些风险可能直接影响设备的正常运行。施工风险则主要涉及设备故障、操作失误及不当的施工工艺。因此,全面识别这些潜在风险,需要依赖历史数据、现场调研和技术评估的结合,确保在钻井作业的各个阶段能够及时发现潜在的安全隐患。

2.1.2 风险分析

在风险识别之后,风险分析的主要任务是对识别出的风险进行定量或定性分析,明确每个风险的发生概率及其可能带来的后果^[4]。在钻井工程中,常用的方法是风险矩阵分析法。风险矩阵分析通过构建一个二维的矩阵,将风险事件按照“发生概率”和“后果严重性”两个维度进行分类。

* 收稿日期:2024-10-27

作者简介:陈笑(1983-),男(汉族),黑龙江大庆人,工程师,现从事石油工程相关工作。

(1)风险发生概率:根据历史数据和专家评估,将每个风险事件的发生概率分为五个等级,从极不可能(1级)到极可能(5级)。例如,井喷这种事故在大多数项目中属于发生概率极低的风险事件,而设备故障的发生概率则相对较高。

(2)后果严重性:后果严重性则反映了风险事件一旦发生对工程带来的影响,通常也分为五个等级,从轻微影响(1级)到灾难性后果(5级)。井喷事故的后果极为严重,应被评为最高等级,而操作失误等一般性问题则可能只会对局部作业产生轻微影响。

通过风险矩阵分析,管理者可以对各类风险的严重程度进行分级,确保对高风险事件进行优先处理。

2.1.3 风险评价

风险评估是油气钻井工程安全风险预警模式中的关键环节,通过系统地识别和分析潜在风险,帮助管理者全面了解每类风险的严重性及其可能后果。风险评估通常分为三个步骤:风险识别、风险分析和风险评价,每个步骤都对整体评估的准确性至关重要。

在完成风险识别后,进入风险分析阶段,主要任务是对识别出的风险进行定量或定性分析。常用的风险矩阵分析法能够有效将风险按照发生概率和后果严重性进行分类。这一方法将每个风险事件评定为五个等级,帮助管理者明确优先处理的对象。最后,风险评价是将不同风险因素综合考虑,得出总体风险值。

对风险发生的概率(*Probability, P*)、风险发生后的后果严重性(*Consequence, C*)、风险暴露的频率(*Exposure, E*)以及风险的可检测性(*Detectability, D*)进行评分,每个因素的评分范围为1至5,分别代表从极低到极高的可能性或严重性。

通过以下公式计算综合风险值(*Risk, R*):

$$R = P \times C \times E \times D$$
 (式1)

这个公式帮助量化每个风险因素的潜在影响,其中风险值越高,表明该风险的潜在危害性越大,需要采取更严格的预防措施。例如,如果一个风险的发生概率为4,后果严重性为4,暴露频率为5,且难以检测(*D=3*),则该风险的综合风险值为: $R=4 \times 4 \times 5 \times 3=240$ 。这个较高的风险值表明,该风险需要被优先考虑和管理。

综上所述,风险评估不仅为风险管理提供了科学依据,更为后续的风险定级和控制策略的制定奠定了基础。通过这一系统化的评估过程,钻井团队能够更有效地识别和应对潜在风险,从而提升整体安全管理水平,确保作业的安全与高效进行。

2.2 风险定级

风险定级是根据前述风险评价的结果,将每类风险按照严重性进行分级管理,便于工程管理者快速做出响应。钻井工程中的风险定级通常分为四个等级:重大风险(红色)、较大风险(橙色)、一般风险(黄色)和低风险(蓝色),如表1所示。

表1 风险等级

风险等级	颜色	可能风险	风险接受程度
重大风险	红色	井喷、设备重大故障等	不可接受,必须立即采取行动
较大风险	橙色	井漏、环境事故等	不可接受,需要尽快控制
一般风险	黄色	设备小故障、操作失误	可接受,需提高警惕
低风险	蓝色	操作中的常规问题	可接受,定期监控

通过这一分类体系,管理者能够根据不同的风险等级,合理调配资源,并采取针对性的控制措施。重大风险通常要求立即启动应急预案,而低风险则可以通过常规监控加以管理,确保钻井工程能够在风险受控的情况下顺利开展。

3 安全风险预警模式运用

为验证安全风险预警模式在实际钻井工程中的有效性,以S钻井队为例,对该模式的应用过程进行了详细探讨。S钻井队在复杂的地质环境中进行钻探作业,面对多种潜在的设计风险、地质风险、环境风险及施工风险。通过实施安全风险预警模式,能够在作业过程中实现风险的动态监控和及时响应,从而显著提高安全管理水平。

3.1 建立四级安全风险预警

在S钻井队的风险管理实践中,为了有效应对钻井工程中的各种潜在风险,建立了基于风险值的四级安全风险预警体系。

该体系依据前述的风险评价公式1,将风险值分为四个等级,分别为:重大风险、较大风险、一般风险和低风险。通过对风险值的量化,团队能够更精确地识别和控制各类风险,从而保障作业的安全与顺利进行。

3.1.1 重大风险预警(红色等级)

当风险值*R*大于等于400时,表明该风险属于重大风险,可能导致灾难性后果或严重影响人员和设备安全。例如,井喷或严重设备故障等突发事件。如果监测系统检测到此类风险,作业必须立即停止,启动应急预案,确保所有人员安全撤离,并派遣应急小组迅速处理突发事件。此阶段需要确保各项应急措施到位,包

括井控措施和设备的快速修复,以防止事故进一步升级。

3.1.2 较大风险预警(橙色等级)

风险值介于200到399之间时,该风险被评定为较大风险。此类风险可能对钻井作业造成显著影响,如井漏、管道损坏等。触发橙色预警时,管理人员需立即评估风险源,采取临时控制措施以降低风险值,例如加强现场监控、调整钻井液配方或实施设备维护。虽然此类风险不会立即导致严重事故,但若不加以控制,可能会升级为重大风险,因此必须给予高度重视。

3.1.3 一般风险预警(黄色等级)

当风险值在100到199之间时,表明为一般风险。此类风险可能造成一定干扰,但后果通常较小,如轻微的操作失误或设备的小故障。触发黄色预警时,团队应加强日常监控,进行必要的检查和维护,及时调整作业流程以避免问题扩大。一般风险的管理策略主要是通过局部调整和加强操作规范来降低潜在的风险发生概率,确保作业能够顺利进行。

3.1.4 低风险预警(蓝色等级)

风险值低于100时,标识为低风险。此类风险通常是作业过程中出现的轻微问题,如设备的常规磨损或操作中的小偏差,对作业影响较小。蓝色预警事件的处理相对简单,主要依靠日常监控和定期检查来管理。尽管低风险事件发生频率较高,但一般不会对整体作业安全造成显著影响,因此可通过常规的管理手段进行控制。

通过基于风险值的四级安全风险预警体系,S钻井队能够实现对不同风险级别的精准管理。这一体系的核心在于通过量化评估,使管理人员能够迅速识别和响应潜在风险,合理分配资源并采取针对性的控制措施,从而有效降低安全事故的发生率,提升钻井作业的整体安全性和效率。

3.2 建立三方隐患排查

为了进一步增强钻井作业的安全性与稳定性,S钻井队建立了三方隐患排查机制。该机制结合了内部自查、外部专家评估和第三方独立监管,通过多角度的检查与分析,全方位识别作业中的潜在隐患,并及时采取措施消除这些隐患,从而确保作业的持续安全。

3.2.1 内部自查

内部自查由S钻井队各作业小组负责,定期对现场进行隐患排查,频率通常为每周或每月一次。自查内容主要涉及设备运行状态、操作规范执行情况以及作业流程的合规性。通过这种细致的日常排查,团队能

够及时发现潜在问题并进行整改,特别是针对设备磨损、操作失误等常见隐患。例如,定期检查设备是否有超负荷运行、磨损部件是否需要更换,能有效避免因设备故障导致的重大事故。

3.2.2 外部专家评估

S钻井队定期邀请外部专家进行专业评估,评估频率通常为每季度一次。外部专家的介入能够从专业角度分析钻井作业的各个环节,特别是对钻井技术、设备配置和环境影响进行详细评估。专家不仅会针对设备安全性和工艺流程提出改进建议,还会关注潜在的环境风险,如极端天气条件下设备运行的可靠性。外部评估的作用在于补充内部自查的局限性,确保各类隐患被全面覆盖。

3.2.3 第三方监管

为了进一步提高隐患排查的独立性和权威性,S钻井队还引入了第三方监管机构进行年度审查。第三方机构作为独立的监督者,重点审查钻井队的整体安全管理体系,确保风险管控措施符合行业标准和法律法规。通过对设备、作业流程和人员安全管理的全面审核,第三方监管可以识别团队在管理制度和操作流程中可能存在的漏洞,提出针对性的改进建议,促进作业现场的安全标准化管理,见表2。

表2 隐患分类

隐患类型	主要内容	排查方式
设计隐患	设计方案存在缺陷,可能导致井漏、井喷等严重事故	外部专家评估
设备隐患	设备老化、磨损、未按时维护或操作不当引发风险	内部自查与第三方监管
环境隐患	极端天气、地形变化或水文条件对设备和作业的影响	内部自查与外部专家评估
施工隐患	操作失误、施工工艺不当或人员素质不足引发的安全问题	内部自查与第三方监管

表2总结了隐患分类和相应的排查方式。在设计方面,外部专家的专业评估可以识别设计方案中可能导致重大安全事故的潜在问题;设备隐患则通过内部自查和第三方监管相结合的方式,确保设备处于最佳运行状态;环境隐患则由内部自查和外部专家共同评估,尤其是在恶劣的自然条件下,确保设备的安全性;施工隐患由操作失误或不当工艺引发,通过内部自查和第三方监管得以有效预防。

通过建立三方隐患排查机制,S钻井队能够最大限度地识别并消除各类隐患,确保钻井作业在安全受控的

(下转第190页)

作业。配备齐全的个人防护装备,并监督正确使用。定期开展安全教育活动,分享案例提高安全意识。建立奖惩机制,对遵守安全规定的予以奖励,违规者严肃处理。同时,关注人员心理健康,及时疏导压力,营造良好的工作氛围,保障人员安全与健康。

4.2 设备安全管理策略

建立设备档案,详细记录设备的型号、购置时间、维修保养情况等信息。制定设备的定期巡检制度,安排专业人员对设备进行检查,及时发现潜在问题。强化设备的日常维护保养,严格按照操作手册进行清洁、润滑、紧固等工作。对设备操作人员进行专项培训,确保其熟练掌握设备的正确操作方法和应急处理流程。设立备用设备,以应对突发故障,不影响钻探工作的正常进行。及时更新老化、磨损严重或存在安全隐患的设备,选用符合安全标准的新型设备。

4.3 作业环境安全管理策略

进行全面的作业环境勘察,包括地质状况、地形地貌、气候条件等,提前识别潜在危险。设置明显的安全标识和警示标志,如危险区域标识、安全通道指示等。根据作业环境特点,合理规划钻探现场布局,确保设备摆放、物料存储有序,不影响通行和操作。针对恶劣天气条件,如暴雨、大风、高温等,制定相应的应急预案和防护措施。加强现场照明和通风设施的管理,保证作业人员有良好的工作条件。对周边环境进行监测,防止钻探活动对生态环境造成破坏,以及避免周边环境变化带来的安全隐患。定期清理作业现场的杂物和垃圾,保持环境整洁,减少滑倒、绊倒等事故风险。

4.4 应急响应策略

地质钻探的应急响应策略包括应急预案制定,应

急资源储备,应急演练,以及建立有效的风险监测和预警系统,及时发现潜在的危险信号。明确预警发布的流程和渠道,确保相关人员能够迅速接收到预警信息。一旦事故发生,立即启动应急响应,按照预定流程迅速开展救援行动。先确保人员安全撤离,再进行抢险救援和事故处理。在应急过程中,保持内部各部门之间以及与外部相关单位(如消防、医疗)的信息畅通。及时、准确地向上级主管部门和社会公众报告事故情况。事故处理完毕后,进行事故调查和原因分析,总结经验教训。对受损的设备和设施进行修复和重建,恢复正常生产作业。

5 结论

综上所述,地质钻探作业面临着诸多复杂且严峻的风险。常用的风险评估模型与工具为准确评估风险提供了方法和依据。在构建地质钻探风险评估体系时,应综合考虑多种因素,科学确定指标权重和风险等级划分。基于此制定的安全管理策略,包括人员、设备、作业环境的管理以及应急响应策略等,形成较为全面的安全保障体系。

参考文献:

- [1] 王宁.地质钻探技术的安全与管理策略研究[J].世界有色金属,2018(21):143-144.
- [2] 张绍和,王佳亮.地质钻探工程的风险分析与安全管理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):83-86.
- [3] 李金锁.地质钻探施工中的安全管理与技术措施[J].西部探矿工程,2016,28(9):184-186.
- [4] 刘跃进.地质钻探安全管理与控制措施[J].中国安全生产科学技术,2014,10(S1):203-206.
- [5] 鄢泰宁,张可能.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2009.

(上接第187页)

环境下进行。这一机制的核心在于多方力量的协同合作,通过内部、外部和第三方多重审查,确保隐患排查的全面性和精确性,进而提升整个项目的安全管理水平。

4 结束语

通过建立和完善安全风险预警模式与隐患排查机制,S钻井队成功地提升了其在复杂地质环境下的安全作业水平。实践证明,这一模式不仅能够有效识别和控制各种潜在风险,还能提高整个钻井工程的效率与质量。四级安全风险预警体系通过量化风险值,实现了对不同等级风险的精准管理;而三方隐患排查机制则通过内部自查、外部专家评估及第三方监管的多角

度检查,确保了隐患排查的全面性和精确性。措施的应用不仅为S钻井队带来了显著的安全效益,也为其他同类企业提供了一个值得学习的成功案例。

参考文献:

- [1] 石昌森,崔磊,董明,王东坤,李英武,李昕.钻井工程项目风险分析及对策研究[J].西部探矿工程,2024,36(6):185-187.
- [2] 吴建,田志召,魏晓强.石油天然气钻井工程风险量化技术[J].化工管理,2024,(15):81-83.
- [3] 万军,韩波.石油钻井过程影响因素及管理对策[J].石化技术,2024,31(4):82-84.
- [4] 彭宁,何应生,郭晓红.浅析华北油田钻井工程安全风险预警管理[J].石油化工安全环保技术,2024,40(1):22-25,76.