

海洋高温高压气田安全完井技术应用及经济效益风险分析

李 刚 (中海油田服务股份有限公司, 天津 300459)

摘要: 在我国海洋高温高压气田安全高效开发期间, 完井技术是主要制约因素之一, 面临的技术难题较多, 包括井筒完整破坏、井下作业工具能效丧失等, 同时也要灵活应对环境、空间等方面的挑战。鉴于此, 本文主要以海洋高温高压气田安全完井技术的应用作为切入点, 深入分析当前比较常见的技术, 探讨不同技术的应用, 并从不同角度出發, 通过对技术经济效益风险的研究, 提出切实可行的应对办法, 保证风险在有效规避的同时, 气田开发效率、安全性能提升。

关键词: 海洋高温高压气田; 完井技术; 经济效益; 风险

中图分类号: TE52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0049-03

Application of Safe Completion Technology and Economic Benefit Risk Analysis for High Temperature and High Pressure Gas Fields in the Ocean

Li Gang (China Oilfield Services Co., Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: During the safe and efficient development of high-temperature and high-pressure gas fields in China's oceans, well completion technology is one of the main limiting factors, facing many technical difficulties, including complete wellbore damage, loss of energy efficiency of downhole operation tools, etc. At the same time, it is also necessary to flexibly respond to environmental, spatial and other challenges. In view of this, this article mainly takes the application of safe completion technology for high-temperature and high-pressure gas fields in the ocean as the starting point, deeply analyzes the commonly used technologies, explores the application of different technologies, and from different perspectives, proposes practical and feasible countermeasures through the study of technical and economic benefits risks, ensuring that risks are effectively avoided while improving the efficiency and safety performance of gas field development.

Keywords: Marine high-temperature and high-pressure gas fields; Well completion technology; economic performance; risk

近年来, 全球能源需求不断增大, 加之陆地油气资源的日益枯竭, 海上油气资源勘探开发逐渐成为能源战略的核心要素。海洋中蕴含丰富的油气资源, 但在开发期间, 通常需要面临高温高压环境, 导致完井作业难度增大。对此, 应该结合实际情况, 选择合适技术手段, 深入分析完井技术应用期间面临的风险, 针对性地制定解决对策, 保证海洋高温高压气田能顺利开发, 促进资源利用率的提高。

1 海洋高温高压气田安全完井技术应用

为实现海洋高温高压气田安全生产, 在选择和应用完井技术期间, 需要结合技术特点和适应性, 合理地加以利用。

1.1 管柱完整性保障技术的应用

在海洋高温高压气田安全开发过程中, 管柱完整性作为不可忽视的核心要素, 为满足此要求, 需要加强管柱完整性技术的运用。对此, 可以注重多级屏障井筒完整技术的利用, 在管柱结构设计方面, 使用多重屏障体系, 包括双封隔器与插入密封联合方式^[1]。诸如, 对于定向井而言, 通过在下部位置安装封隔器, 促进射孔冲击承受力的提高。在上部生产过程中, 依靠封隔器, 能够提供主密封, 二者之间利用插入密封

的方式构建二次屏障。此种方式能让环空分隔以多个独立单元的形式存在, 即便单一道屏障作用丧失, 也可以依靠其他屏障使整体的密封效果得以维持。在管柱材料选择方面, 以腐蚀试验的经济评价方法作为依据, 通过对井下条件的模拟, 对其展开腐蚀测试, 与常规 13Cr、改良 13Cr、超级 13Cr 的腐蚀速率进行对比。结合最终的结果来看, 在多数工况下, 改良 13Cr 的腐蚀速率不超过 0.076mm/a, 可以达到 20 年服役的标准, 且成本偏低。只有在 CO₂ 分压超过 28MPa 的极端环境下可以使用超级 13Cr。对于螺纹密封性, 结合认证标准, 利用 VAM TOP 特殊螺纹, 此种螺纹主要采用金属密封结构, 金属应力在分布上具有较强均匀性, 即便是在交变载荷下, 依然可以获得较好的密封效果。

1.2 高温高压防腐技术的应用

在海洋高温高压气体安全生产期间, 针对高含 CO₂ 环境下的腐蚀问题, 可以加强防腐技术的应用。具体而言, 在管道材料的选择上, 做好防腐工作, 以实际情况为基础, 选用合适的材料, 并对腐蚀情况动态监测, 根据监测结果对材料的使用寿命准确预测, 保证问题出现时能及时应对。在防腐技术的选用方面,

不仅要加强改良 13Cr、超级 13Cr 管材的使用,也要以电阻探针为基础,加强在线腐蚀监测系统的利用,对管柱腐蚀情况随时了解。同时,依靠剩余强度计算模型,对不同服役年限下的管柱安全裕度精准预测,以便后续维修决策方案的制定能有可靠数据支持。在环空保护液方面,强化先进有机磷盐酸体系的运用,对以往甲酸盐溶液有效替代。此种方式主要采取对特殊缓蚀剂适量添加的方式,在金属表面形成保护膜,这种保护膜具有较强致密性,即便 CO₂ 侵入,依然能将腐蚀速率控制在可控范围内,将腐蚀的速度减缓。与以往经常使用的钾盐酸体系不同,此类溶液的防腐蚀性更强。对于水泥环的防腐,建立完善水泥浆防范体系,在、腐蚀、漏失、温变、应力等方面提升防范能力。在防护过程中,可以使用树脂—纤维复合增强技术,对水泥石渗透率严格把控。如果有微裂缝出现,可以通过研制“自修复”水泥的办法,在裂缝接触油气的情况下,让其自动膨胀封堵,保证密封性能在短时间内恢复^[2]。

1.3 射孔与测试安全控制技术的应用

高温高压条件下进行气田生产,可能存在射孔与测试风险高的情况。对此,需要加强安全控制技术的利用。在射孔安全控制过程中,制定双重保障,即采用距离保护与减震设计联合的方式。在技术应用期间,采用有限元模拟的办法,明确封隔器和射孔枪之间的安全距离,保证爆轰压力下不会对封隔器造成任何损坏。同时,使用低冲击射孔弹和分级起爆技术,严格控制压力波动,有效规避安全风险。在对管柱优化测试过程中,在常规 APR 测试法的前提下,增加 RD 旁通阀以及选择性。通过使用 RD 旁通阀,将管柱下入过程中测试阀开关矛盾的弊端解决。选择性测试法在应用期间,利用锁定机构让其始终维持在开启状态,不需要连续地进行环空加压,将操作过程期间出现的风险规避。在管柱设计过程中,对温度—压力效应引起的伸缩量合理、准确计算,确保不会因为变形过大而出现密封性能丧失的问题。在地面安全控制环节,加强全流程监控系统的构建,对油嘴、出砂进行远程监测和控制,同时要对振动等情况进行全方位监控,并设置智能应急关断、水合物防治等子系统,在多个系统的有效整合下,如果某一参数超过既定值,系统会自动进行调整,以便高温高压测试工作能始终处在安全状态^[3]。

1.4 高效完井液体系的应用

为保证高温高压储存保护的需求能得到满足,在完井技术应用过程中,还应该结合现场实际情况,加强高效完井液的利用。对于储层钻开液,使用高密度

有机盐和超微重晶石复配体系,有效将固相含量降低,同时对滤层厚度严格把控,促进渗透率的提升。通过此种方法,可以实现对粒径级配的不断优化,让其形成暂堵带,确保返排的问题能得到彻底解决。针对低渗储层,此种方式的应用效果良好。

1.5 完井综合提效技术的应用

海洋高温高压气田开发作业具有技术难度大、成本高等特点,为将海洋气田开发成本降低,还需要加强完井综合提效技术的应用。为实现此目标,可以利用陶瓷破裂拱阀封井技术,针对要进行尾管回接的气井,该技术能促进效率的提高。技术在具体应用过程中,主要利用陶瓷破裂拱阀与防砂顶部封隔器,采取二者一并下入的办法,让防砂、封井工作实现一体化,促进完井时效的提高,有效节约工期和成本。在此基础上,加大现场作业管理力度。完井作业应用的工具需要连接短节、短钻杆,为下入提供方便。对此,可以采取陆地预连单根的方式,让现场整根下入,将钻机等待的时间缩短。针对导管架批量完井作业,结合井口高度合理定制升高立管,为拆装井口时间的节省提供方便。

2 海洋高温高压气田安全完井技术应用经济效益风险分析

2.1 开发井钻完井成本高

因为所处的环境较为恶劣,会被储层温度压力局限,加之防腐选材的等级高,窄窗口井段要借助控压钻进设备辅助,导致在海洋高温高压气田完井作业中,工具的应用价格高于常规工具。并且,针对耐高温高压的防喷器、管柱等,通常具有价格高、运输、安装、调试成本大的特点,尤其是针对高端的深海高温高压防喷器,采购成本高,运输到海上作业平台并完成安装、调试工作,同样要花费较大金额。在收益上,虽然先进技术能为气田的稳定生产提供保障,但气田的产量会被地质条件、市场价格波动等多方面因素制约,如果气田实际产量比预期低,或者天然气价格因为市场供过于求而出现下降幅度大的情况,前期高额的技术费用成本则很难借助收益保持平衡。诸如,在全球经济衰退的大环境下,能源需求呈现出下降的趋势,天然气价格也随之下降,在这种情况下,虽然完井作业能安全推进,但经济效益可能存在下降的情况,甚至会面临亏损。

2.2 技术更新换代潜在的贬值风险

海洋油气行业在发展过程中,应用的技术水平较高。但是,在技术的持续创新下,现有完井技术可能存在与实际生产要求不匹配的情况。诸如,新材料的使用,会导致现有设备的耐高温高压性能达到上限,

或者新的完井工会通过低成本实现相同的效能,获得更好的安全效果。面对此种情况,已经投入使用的设备以及工艺则会面临贬值的风险。企业为确保竞争优势得以维持,需要提前更换设备或对工艺技术进行优化。在此背景下,前期投资的设备以及工艺则很难将价值和作用发挥到最大。并且,技术的更新速度预测难度大,企业在相应决策过程中,无法对未来技术发展方向以及时间点准确把握,最终使得经济效益受到潜在贬值风险影响。

2.3 安全环保带来的成本增大风险

近年来,社会在快速发展的同时,对海洋环境保护以及安全生产的重视程度越来越高,相关监管要求愈发严格。针对海洋高温高压气田安全完井技术的应用,需要给予安全和环保高度重视,在此方面加大资金、资源投入力度。诸如,为了能够与严格的防喷要求相适应,企业需要对防喷器加强检测,定期对设备进行维护和保养。在环保层面,需要引进先进的污水处理技术,保证完井作业过程中产生的废水能得到科学处理,或者利用废弃物回收措施,以实现废弃物的合理处理与利用。虽然这些措施的应用能将生产作业对海洋环境的影响和破坏减少,为安全生产提供保障。但是,企业的运营成本也会随之增大,如果不能将增加的成本合理转嫁到产品价格,或者市场对价格的接受程度有限,经济效益不可避免会被影响,甚至会出现成本增大的风险。

3 海洋高温高压气田安全完井技术应用经济效益风险应对

3.1 加大成本控制力度

在海洋高温高压气田安全开发期间,为将完井技术应用优势发挥到最大,从源头规避经济效益风险,应该加大成本控制力度,从各个环节着手,合理制定控制对策。尤其是针对高温高压完井设备的引进,应该采取多方比价、建立长期合作关系等办法,有效将设备的采购成本降低。在设备运输以及安装方面,简化繁琐流程,将不必要的流程省略,保证此环节的成本能得到节约。为灵活应对收益的不确定性,应该结合实际情况制定解决措施。具体而言,将海洋高温高压气田的地质勘探工作落实到位,确保气田储量在提升的同时,可以实现对产量的精准预测,结合预测结果对完井技术应用收益潜力进行评估,由此将潜在风险遏制在源头。

3.2 灵活应对技术更新带来的风险

面对技术的不断革新,在效益风险应对过程中,应该立足实际,积极组建技术团队,对国内外海洋高温高压气田安全完井技术的最前沿动态密切关注,采

取订阅专业期刊、参加行业研讨会等方法,获取最新的技术信息。在技术研发方面,加大资金投入力度,调动内部技术人员创新主动性和积极性,促进技术创新能力的提升,为技术更新换代提供支持。在设备以及工艺方面,应该在购买和选择期间对可升级性综合考量。诸如,在设备的选取和利用上,以模块化设计的设备为主,保证在技术更新过程中,可以为局部更换以及升级提供便利。此外,与设备供应商建立合作关系并签订协议,在设备升级和维护方面明确约定。以便新技术出现时,供应商能提供最为优惠的升级服务,将因为技术更新引发的设备贬值风险遏制在源头。

3.3 加强安全环保成本增大问题的控制

在海洋高温高压气田完井作业期间,针对安全与环保方面,为有效控制风险,应该对相关法律法规深入解读,了解变化趋势,提前制定应对策略。在此过程中,可以采取设置专门管理部门的办法,对相关法规动态跟踪,针对性地制定合规对策。在安全层面,制定严格的安全标准,对完井设备、作业流程等进行定期的安全评估,并以评估结果为基准,灵活改进与优化。在环保方面,在资金上加强投入,建设先进的污水处理、废弃物回收设施,保证法规做出相应调整时能快速应对。同时,建立健全的内部安全与环保管理机制,促进管理水平的提升,避免因违规而引发罚款等问题。此外,为解决成本增大问题,还应该积极利用新型环保的完井技术,使生产出的产品市场对绿色能源的需求得到满足,从而在价格上获得更大效益,实现对风险的彻底规避。

4 结束语

综合而言,海洋高温高压气田完井具有系统性、复杂性、综合性特点,为保证气田顺利开发,促进资源利用率的提高,应该应用先进的完井技术,包括高温高压防腐技术、管柱完整性保障技术等。同时,对技术经济效益风险深入分析,在明确成因的基础上,制定合理的解决措施,保证风险在彻底规避的同时,海洋高温高压气田开发能顺利进行,实现经济效益最大化。

参考文献:

- [1] 邱崇粤.海上气田超深大位移高温高压钻井设计要点及关键技术[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(02):177-179.
- [2] 张健,李保振,周文胜,等.中国海上气田开发与提高采收率技术[J].天然气工业,2023,43(01):132-140.
- [3] 张涛,任松涛,梅明阳,等.低固相高密度完井液在东方B气田完井中的应用[J].科学技术创新,2022(06):188-191.