

海上油田水平井完井防砂工艺技术优化与经济效益

吴 健 (中海石油 (中国) 有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘 要: 文章针对海上油田水平井完井防砂工艺技术进行了深入研究。首先, 对水平井的特点与挑战进行了分析, 阐述了水平井在提高单井产量、降低开发成本和减少油藏水侵气窜方面的优势, 其次, 对水平井完井阶段的防砂工艺技术进行了分类和介绍, 包括物理筛网防砂、化学固砂和砂浆固砂三大类, 接着, 论文讨论了防砂技术的技术难点和挑战, 以及海上油田特殊环境下防砂工艺的改进措施和新技术研发方向, 最后总结了本文的研究成果, 并展望了未来防砂技术的发展前景。

关键词: 水平井; 海上油田; 防砂工艺技术; 物理筛网防砂

0 引言

水平井作为一种重要的油气开采方式, 已在油田开发中得到广泛应用。然而, 在水平井开发过程中, 砂生产问题一直是制约生产效率和油田经济效益的重要因素, 随着产液量的增加, 井筒内流体速度的加快导致油藏中的砂粒随油气一起产出, 可能造成采油管线堵塞、设备损坏等严重后果, 在这样的背景下, 研究防砂工艺技术显得尤为重要。文章通过深入研究防砂工艺技术的最新进展, 旨在为提高水平井的生产效率、降低生产成本提供理论和技术支持, 为油田开发和管理提供新的思路和方法。

1 海上油田水平井的特点

1.1 水平井的定义及特点

水平井作为一种特殊的钻井工程形式, 在海上油田的开发中具有重要地位。其定义为井眼轨迹至少在一个段落内与地层界面基本平行的井, 这种设计使得水平井相较于传统的垂直井具有一系列显著优势与特点。第一, 水平井的主要特点之一在于其具有更大的接触面积。相比于垂直井, 水平井的水平段长度更长, 因此可以更充分地接触油层, 从而大大提高了单井的产量。这种增加的接触面积不仅可以增加油气的开采效率, 还可以降低开发井数, 减少钻井和完井的成本, 从而提高了整个油田的经济效益。第二, 水平井在海上油田中的应用更加突出, 特别适用于复杂地质结构的油气藏。对于低渗透、厚油层和非均质油藏等具有挑战性的地质条件, 水平井技术可以显著提高开发效率和经济效益。通过在水平井中利用水平段与地层界面平行的优势, 可以更好地穿越多种地质层, 并减少钻井中的困难, 从而更好地开发出油气资源^[1]。

1.2 防砂工艺的重要性

在水平井的开发过程中, 砂生产问题是一个极为

突出的挑战。随着产液量的增加, 井筒内的流体速度加快, 使得油藏中的砂粒随着油气一起产出, 有时甚至会形成砂垢, 堵塞采油管线, 降低生产效率, 甚至损坏采油设备, 增加开发成本, 尤其是在海上油田这样的特殊环境下, 由于海底管线的布设和维护成本远高于陆地油田, 砂生产问题的影响更为严重, 可能导致生产中断和巨额经济损失。有效的防砂工艺包括多个方面的考虑。首先是选择合适的完井方式, 根据地质条件、油藏特性和井筒设计, 确定最适合的完井方案, 不同的完井方式会对砂控效果产生不同影响, 因此需要综合考虑各种因素, 以确保完井工艺的有效实施。

2 水平井完井防砂工艺技术研究

2.1 防砂工艺技术的分类



图1 某金属型复合防砂筛管 PMC

在水平井完井阶段, 防砂工艺技术根据其原理和应用方式主要可分为物理筛网防砂、化学固砂和砂浆固砂三类, 第一, 物理筛网防砂技术采用精密的筛网或格栅结构置于井筒内, 通过这些设备将产液进行过滤, 以阻拦砂粒, 从而避免其进入井筒, 这一技术的优势在于其工作原理简单可靠, 适用于砂粒粒径

分布相对均匀的油田,图 1 为某金属型复合防砂筛管 PMC,然而,筛网可能会因堵塞或破损而影响其效果,因此需要定期进行维护和更换,以保证防砂效果的持久性和可靠性。其次,化学固砂技术通过向油层注入化学树脂等固化剂,促使油层中的砂粒相互粘结固化,形成稳定的油层结构,从而减少砂粒的产出^[3],这一技术适用于砂粒细小、油层易产砂的油田,能够有效提高防砂效果。

另一方面,砂浆固砂技术则是在井筒周围形成一定强度的砂浆屏障,通过物理固结作用阻止砂粒进入井筒,这种技术主要应用于复杂油藏或大倾角井的防砂,能够有效地提高井筒的稳定性和防砂效果,然而,砂浆固砂技术的施工过程较为复杂^[3],需要充分考虑地质条件和施工环境的影响,以确保施工质量和防砂效果的可靠性,水平井完井阶段的防砂工艺技术具有各自的特点和适用范围,在实际应用中需要根据油田的具体情况和要求进行选择和优化,以达到最佳的防砂效果和经济效益。

表 1 防砂工艺技术分类比较

防砂工艺	应用条件	优点	缺点	适用范围
物理筛网防砂	砂粒粒径分布相对均匀的油田	结构简单,维护成本相对较低	筛网可能会因堵塞或破损而影响效果	广泛适用于不同类型的油田,特别是砂粒大小分布较为均匀的情况
化学固砂	砂粒细小、油层易产砂的油田	能够有效提高防砂效果,减少砂粒的产出	应用条件严苛,需要详细评估油层的物理化学性质	适用于细小砂粒和高产砂的油藏
砂浆固砂	复杂油藏或大倾角井	能够有效提高井筒的稳定性和防砂效果	施工过程较为复杂,需要充分考虑地质条件和施工环境的影响	主要应用于具有复杂地质条件的油藏

2.2 技术原理与应用

化学固砂技术在水平井防砂领域中扮演着至关重要的角色,通过注入化学树脂等固化剂到油层中,这一技术能够促使油层中的砂粒相互粘结,形成坚固的结构,从而有效地减少砂粒的产出,然而,要实现化学固砂技术的有效应用,必须充分考虑多种因素。第一,对油层的物理化学性质进行详细评估至关重要,包括了油层的温度、压力、孔隙结构等因素,因为不同的油层条件对化学固砂剂的选择和注入方案都会产

生显著影响。第二,化学固砂技术的应用需要精确的化学剂类型和注入方案的确定。不同类型的油层可能需要不同的化学固砂剂,而注入方案的设计也必须考虑到油层的结构、渗透性以及产油能力等因素^[4],尽管化学固砂技术的应用条件相对苛刻,但其优势在于能够显著减少甚至完全阻止砂的产生,尤其适用于细小砂粒和高产砂的油藏,相关数据见表 2。

表 2 某 HSP 化学固沙技术实验各项指标数据。

序号	项目	指标
1	试剂外观	药剂 A: 浅蓝色或浅绿色液体 药剂 B: 棕红色或无色透明液体
2	试剂粘度, mPa*s	A 剂 95, B 剂 98 A/B 混合后 128
3	抗压强度, MPa	3-10
4	渗透保持率, %	>90%
5	耐冲刷性能	1000ml/min, 出砂率 <0.001%
6	闪点, °C	A 剂 >100, B 剂 >76

3 技术难点与挑战

3.1 防砂技术的难点

在海上油田的水平井完井防砂工艺领域,面对的挑战是多方面且复杂的,涵盖了工艺选择的广泛性、材料的特定适应性要求、经济成本的综合考虑,以及极端环境条件下的可靠性问题。这些挑战的存在,使得防砂技术的选择和实施成为一个需要综合考量地质、物理、化学、经济和环境因素的复杂问题。对于工艺选择的多样性而言,每种防砂技术的背后都有其深厚的技术基础和适用场景,物理筛网防砂技术以其直接、有效的特点,在油田开发中得到了广泛应用,然而,筛网的选择和应用必须非常谨慎,以适应不同油田的特定需要,筛网的孔径大小、材质的耐腐蚀性和机械强度等因素都需要考虑在内,以保证在高强度的油田作业环境下长期稳定运行,避免因堵塞或破损导致的生产效率下降或停产,在设计筛网时,还需考虑到清洁和更换的便利性,以减少运营成本和提高生产效率。

3.2 海上油田的特殊挑战

海上油田的特殊挑战源自其恶劣的作业环境和高昂的维护成本,这对水平井完井防砂工艺提出了更高的技术要求和挑战。作业环境的恶劣性是海上油田面临的首要挑战之一。极端的天气条件和变化无常的海流影响着井下作业的进行,强风、大浪以及海底气候变化可能导致设备受损或失效,增加了作业的不确定

性和风险,因此需要针对海上环境特点设计稳定可靠的防砂系统。

4 工艺改进措施

4.1 改进方案设计

针对水平井完井防砂工艺存在的技术难点,可以考虑采用一系列改进方案,以提升防砂效果和系统稳定性。第一,针对海上油田恶劣的作业环境和高成本的特点,可以研发新型防砂材料,这些材料需要具有良好的耐腐蚀性能、高强度和耐磨损性,以适应海水腐蚀和高压力、高温等极端环境。第二,改良井下作业工具也是一个重要的改进方向,例如,可以设计更加灵活、耐用的井下作业设备,提高其适应海上油田复杂环境的能力,减少作业风险和成本。另外,针对提升砂控效率的难题,可以探索开发更为精密的防砂系统,包括优化筛网结构,提高其过滤精度和抗堵性,确保能够有效阻挡砂粒同时不影响油气产量。通过精确的油藏评价和砂粒分析,可以实现防砂系统与油藏条件的高度匹配,从而进一步提升砂控效率。

4.2 新技术研发

近年来,随着科技的飞速发展,防砂技术领域涌现出一些创新型技术,为解决水平井砂控难题提供了新思路和新方法。其中,纳米材料在防砂领域的应用引起了广泛关注。纳米材料因其特殊的物理化学性质,在防砂领域具有巨大潜力。纳米材料具有高表面积和高活性的特点,能够形成一层均匀且致密的纳米涂层,有效阻止砂粒对井壁的侵蚀和堆积,这种纳米涂层能够形成一种保护膜,提高井壁的抗腐蚀性能,延长井筒的使用寿命,利用纳米材料的渗透性,可以设计出一种新型的纳米筛网结构,这种纳米筛网具有微孔结构,能够精确拦截砂粒,同时保持产液流量,有效防止砂粒进入井筒,提高砂控效果^[5]。

5 防砂工艺技术优化后取得的经济效益

5.1 技术优化的实施

在海上油田的水平井开发过程中,防砂工艺技术的优化不仅关系到油气生产的安全性和持续性,还直接影响到整个项目的经济效益。优化后的防砂技术能够显著减少设备维修成本、延长油井的生产周期,以及增加油气的总体产量,从而提高油田的经济回报。首先,经过优化的防砂技术能够有效减少由于砂生产引起的设备损坏和维护成本。传统上,未控制的砂生产可能导致油井生产中断,以及昂贵的井筒维修和采油设备更换,例如,物理筛网防砂技术的优化通过使

用高耐磨损和高强度材料制成的筛网,能够显著降低因砂粒磨损和筛网堵塞引起的设备故障率。此外,使用自清洁设计的筛网可以在一定程度上减少清洁和维护的需求,进一步降低操作成本。

5.2 成功案例分析

在胜利油田的高10—平3井应用中,技术人员面对出砂问题,采用了创新的“小冲管+小密封插管插入下部防砂腔体”的技术配置,这种方法通过在油井下部设置一个密封的防砂腔体,为油流建立了一个高效的通道,同时利用小冲管和小密封插管来保持油层的完整性和油流的连续性。这种技术的应用,不仅解决了油井的砂控问题,而且提高了油井的产量和效率。高10—平3井的日产油量通过这项技术优化后达到了10.4吨,这是在极低的投入成本(不足60万元)下取得的显著成果,这种技术的成功应用,使得油井的产量大幅提升,同时也实现了油层储量的均衡动用,有效延长了井的生产周期和降低了油井的综合开发成本,通过减少施工工期5~6天,该技术还帮助采油厂节约了约30万元的材料费和作业费,不仅提高了作业效率,也减少了环境影响和相关的风险成本,总体而言,该技术的实施为采油厂创造了超过700万元的直接经济效益,这在油田开发中是一个显著的成就。

6 结束语

随着海上油田开发的不断深入和技术的不断创新,水平井完井防砂工艺技术的研究和应用将迎来新的发展机遇。本文通过对水平井特点、防砂工艺分类、技术难点及改进措施的探讨,为海上油田的水平井防砂工作提供了一定的理论指导和实践参考。未来,我们将继续关注防砂技术的创新和发展,不断提升水平井的生产效率和经济效益,为海上油田的可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 洪秀玫,王腾飞,晁圣棋.渤海油田防砂段内细分注水/配产工艺技术研究[J].海洋石油,2023,43(03):46-50.
- [2] 姜大伟,郝博.油田防砂管柱打捞工艺技术探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(09):149-150.
- [3] 孙振宇.辽河油田水平井防砂工艺技术研究[J].中外能源,2015,20(01):43-47.
- [4] 聂飞朋.海上油田分层防砂分层注聚工艺技术研究[J].石油机械,2013,41(09):52-55.
- [5] 孙辉.流固—热流固耦合理论研究及其在疏松砂岩油藏防砂中的应用[D].中国石油大学,2008.