

连续油管技术在井下作业压裂中的应用与优化

倪庆怀 刘中策 王冬

渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300280

摘要: 连续油管技术在井下作业压裂中展现出显著优势,包括快速起下管柱、减轻油气层伤害、实现精准压裂及选择性压裂。其无接头设计提高了作业效率与安全性,同时适应复杂地质条件。优化策略包括压裂液配方调整、技术参数智能控制、引入自动化控制系统及返排液循环利用,旨在进一步提升压裂效果、降低环境影响并推动绿色开采技术的发展。

关键词: 连续油管技术; 井下作业压裂; 应用; 优化

引言: 随着油气资源开采难度的增加,井下作业压裂技术面临新挑战。连续油管技术以其高效、灵活和安全的特点,在井下压裂作业中展现出巨大潜力。本文旨在探讨连续油管技术在井下压裂中的具体应用及优化策略,通过技术创新与流程优化,提高作业效率,降低生产成本,实现油气资源的可持续开发。

1 连续油管技术概述

1.1 定义与原理

(1) 连续油管技术的概念。连续油管技术,简称CT (Coiled Tubing),是一种使用连续无接头的油管进行井下作业的技术。它采用低碳合金钢或高强度复合材料制作的管材,拥有优异的挠性和连续性,能够缠绕在大直径的卷筒上,形成长达几千米的连续油管卷。这种技术以其独特的连续性和灵活性,在石油和天然气行业中得到了广泛应用,被誉为“万能作业机”。(2) 阐述其工作原理。连续油管技术的工作原理在于其独特的连续性和机动性。油管在滚筒上连续缠绕,通过注入头(驱动导向系统)的精确控制,可以实现油管在井下的无缝下入和快速起出。这一过程中,液压泵为注入头提供动力,驱动链条和滚轮系统,通过摩擦力将油管送入或拉出井眼。由于油管无接头,避免了传统油管需要频繁连接和拆卸的繁琐过程,从而显著提高了作业效率,减少了停机时间。此外,油管的高挠性使其能够轻松适应复杂的井眼几何形状,确保作业的顺利进行。

1.2 发展历程与现状

(1) 回顾连续油管技术的发展历程。连续油管技术的发展可追溯到上世纪初,但直到近几十年才得到广泛应用和快速发展。最初,该技术主要用于简单的修井作业,如冲砂、清蜡等。随着技术的不断进步和应用领域的拓展,连续油管技术逐渐发展成为一种多功能、高效的井下作业技术。尤其是在近年来,随着材料科学、自

动控制技术和信息处理技术的飞速发展,连续油管技术更是迎来了前所未有的发展机遇。(2) 分析当前技术水平和应用情况。当前,连续油管技术已达到较高水平,形成了较为完善的技术体系和丰富的应用经验。在油气行业中,连续油管技术被广泛应用于钻井、完井、采油、修井等多个领域,成为提高油田开采效率、降低生产成本的重要手段。特别是在一些特殊井、复杂井的作业中,连续油管技术更是展现出其独特的优势。此外,随着环保意识的增强,连续油管技术在降低环境影响方面的优势也日益受到重视。

1.3 技术特点

(1) 不间断作业,减少停机时间。连续油管技术最显著的特点就是其能够实现不间断作业。由于油管无接头,避免了频繁连接和拆卸的过程,从而减少了停机时间,提高了作业效率。这对于油气田的高效开采具有重要意义。(2) 适应复杂地质条件,提高作业成功率。连续油管的高挠性和灵活性使其能够轻松适应复杂的地质条件。无论是深井、斜井还是水平井,连续油管都能凭借其独特的性能完成作业任务。这大大提高了作业的成功率,降低了作业风险。(3) 增强作业安全性,降低事故风险。连续油管技术在作业过程中采用了多种安全措施和监控手段。通过实时监测井下压力和流量等参数,操作人员可以及时发现并处理异常情况,确保作业安全。此外,连续油管的无接头设计也减少了因接头松动或断裂导致的事故风险。这使得连续油管技术在油气行业中备受青睐^[1]。

2 连续油管技术在井下压裂中的应用

2.1 井下压裂技术简介

(1) 介绍井下压裂的基本概念、目的和流程。井下压裂是油气田开发中的一种重要增产技术,其核心是通过向地层中注入高压流体(压裂液)和支撑剂(如砂子

或陶瓷颗粒),使地层岩石产生裂缝或扩展已有裂缝,从而提高油气储层的渗透率,增加油气产量。其目的在于打破岩石的自然屏障,为油气流动提供更多的通道,优化油气藏的开发效果。井下压裂的基本流程通常包括以下几个步骤:首先,对井筒和地层进行预处理,包括清洗井筒、测量地层压力、评估地层物性等;然后,配制适合地层特性的压裂液和支撑剂;接着,通过高压泵车将压裂液和支撑剂注入地层,同时利用地面控制设备监测和调整注入参数;最后,观察并记录压裂效果,进行后续处理如放喷、清洗井筒等。(2)分析传统压裂技术的局限性和不足。传统压裂技术虽然在一定程度上提高了油气产量,但仍存在一些局限性和不足。首先,传统压裂技术多采用分段压裂方式,需要频繁下入和起出封隔器或桥塞,这不仅增加了作业时间和成本,还可能对地层造成不必要的伤害。其次,传统压裂技术难以实现对地层的精准控制,容易出现裂缝延伸方向不可控、裂缝长度和宽度不均等问题,影响压裂效果。此外,传统压裂技术在复杂地质条件下的应用受到限制,如地层非均质性强、裂缝发育复杂等情况下,难以实现有效压裂。

2.2 连续油管技术在压裂作业中的具体应用

(1)起下压裂管柱速度快,缩短作业时间。连续油管技术以其无接头的特点,在井下压裂作业中展现了极快的起下速度。相比传统压裂方式中的多段管柱连接,连续油管减少了连接点,避免了因接头问题导致的作业延误。这种快速的起下能力使得压裂作业能够迅速完成,从而缩短了整体作业时间,提高了作业效率。(2)在欠平衡条件下作业,减轻油气层伤害。连续油管技术允许在欠平衡条件下进行压裂作业,即地层压力略高于井筒压力。这种作业方式能够减少地层流体的流失和污染,保护油气层的储集能力,从而减轻对油气层的伤害。这对于保护低渗透油气藏和提高采收率具有重要意义。(3)实现精准压裂,提高整体压裂效果。连续油管技术结合先进的定位和控制系统,能够实现对压裂作业的精准控制。操作人员可以根据地层特性和压裂需求,精确调整注入参数,如压力、排量、支撑剂浓度等,以形成理想的裂缝网络。这种精准压裂方式不仅提高了裂缝的复杂性和有效性,还优化了裂缝的分布和形态,从而提高了整体压裂效果^[2]。(4)利用连续油管进行选择压裂,经济高效。连续油管技术还具有选择性压裂的能力。在多层油气藏或复杂油气田中,可以根据需要选择性地压裂特定的层位或区域,避免了对非目标层位的干扰和破坏。这种选择性压裂不仅提高了压裂作业的经济性,还确保了资源的高效开发。通过连续油管注入压

裂液和支撑剂,操作人员可以精确地定位到目标层位,实现精准投送,从而优化油气产出,减少无效投入。

2.3 技术优势分析

(1)提高作业效率,减少人力物力投入。连续油管技术在井下压裂作业中的应用,显著提高了作业效率。由于油管无需频繁拆卸和更换接头,减少了停机时间和作业复杂度,整个压裂流程更加顺畅。此外,连续油管技术还减少了地面设备的数量和人员配置需求,降低了人力物力投入。这使得整个压裂作业更加经济高效,有助于提高油气田的整体开发效益。(2)保证作业安全,降低事故发生率。连续油管技术在保证作业安全方面也具有显著优势。首先,由于油管连续无接头,减少了因接头松动或断裂导致的安全风险。其次,连续油管技术可以在欠平衡条件下作业,减少了地层流体突涌和井喷的风险。此外,结合先进的监测和控制技术,操作人员可以实时掌握井下情况,及时应对突发状况,确保作业过程的安全可控。(3)增强适应性,满足不同地质条件需求。连续油管技术具有强大的适应性和灵活性,能够满足不同地质条件下的压裂作业需求。无论是深井、超深井,还是地层非均质性强、裂缝发育复杂的油气藏,连续油管技术都能展现出其独特的优势。其高精度的定位和控制系统使得操作人员可以精确控制裂缝的生成和扩展,以适应不同的地层特性。这种强大的适应性,使得连续油管技术在油气开采领域具有广泛的应用前景和巨大的市场潜力^[3]。

3 连续油管技术在井下压裂中的优化策略

3.1 压裂液优化

(1)分析压裂液对压裂效果的影响。压裂液在井下压裂过程中起着至关重要的作用,它不仅传递压力形成裂缝,还携带支撑剂进入裂缝中,维持裂缝开启状态。压裂液的性能直接影响裂缝的形成、扩展及闭合后的导流能力。因此,优化压裂液配方,提升其携砂能力、破胶性能及低伤害性,对于提高压裂效果至关重要。(2)探讨压裂液的配方优化和性能提升。为优化压裂液配方,需综合考虑地层岩性、流体性质、裂缝扩展需求等因素。首先,通过实验室试验筛选合适的添加剂,如降阻剂、交联剂、破胶剂等,以改善压裂液的流动性和破胶性能。其次,调整压裂液密度和粘度,确保其在裂缝中能有效传递压力并携带支撑剂深入地层。此外,还应关注压裂液的环保性,减少对地层和环境的污染。通过持续优化配方,提升压裂液性能,最终实现高效、环保的压裂作业。

3.2 技术参数设置与控制

(1) 研究不同地质条件下技术参数的设置原则。地质条件的多样性要求我们在设置压裂技术参数时需遵循一定的原则。首先,应根据地层压力、渗透率、岩性等特点,合理设定注入压力、排量等关键参数。其次,考虑裂缝的扩展方向和长度,通过调整支撑剂浓度和粒径,优化裂缝形态。此外,还应关注压裂过程中的温度变化,避免因温升过高导致压裂液提前破胶或地层损害。(2) 提出参数调整的优化方法,确保压裂效果最佳。为实现最佳压裂效果,需建立参数动态调整机制。利用实时监测数据和地层模型,分析裂缝扩展情况,及时调整注入参数。例如,当发现裂缝扩展受限时,可适当增加注入压力或排量;若裂缝扩展过快,则需减少注入量以避免浪费。同时,通过引入智能算法,对海量数据进行分析和预测,实现参数的智能优化,提高作业效率和成功率^[4]。

3.3 自动化控制技术应用

(1) 引入自动化控制系统,提高作业精度和安全性。自动化控制系统是提升井下压裂作业精度和安全性的重要手段。通过集成传感器、控制器和执行机构,实现对压裂作业过程的实时监测和智能控制。例如,利用压力传感器监测注入压力,确保其在安全范围内波动;通过流量控制器精确调节排量,避免过度注入或欠注;借助图像识别技术监测裂缝扩展情况,为参数调整提供依据。(2) 分析自动化控制技术在连续油管压裂作业中的应用前景。随着物联网、大数据和人工智能等技术的不断发展,自动化控制技术在连续油管压裂作业中的应用前景广阔。未来,我们可以期待更加智能化的控制系统,能够自动识别地层特征、预测裂缝扩展趋势、优化作业参数,并在紧急情况下迅速采取应急措施,确保作业安全。

3.4 返排液处理与循环利用

(1) 探讨返排液的处理方法和循环利用途径。返排液是压裂作业中产生的含有支撑剂、压裂液残留物及地

层流体的混合液。合理处理返排液,减少环境污染并节约资源,对于油气田的可持续发展至关重要。首先,需对返排液进行分离处理,通过物理或化学方法将支撑剂、油、水及有害物质有效分离。支撑剂如砂子或陶瓷颗粒经过清洗和干燥后可考虑回收再利用,减少资源消耗。油水混合物则需进一步处理,如通过油水分离技术将油回收,同时采用膜处理、生化处理等方法净化水质,使其达到排放标准或循环使用标准。(2) 提出环保型压裂技术的发展方向。面对日益严格的环保要求,环保型压裂技术的发展已成为行业共识。未来,应致力于研发低伤害、易降解的压裂液体系,减少对地层的污染和损害。同时,加强压裂液回收处理技术的研发,提高返排液的处理效率和循环利用率。此外,推动绿色低碳技术的应用,如利用太阳能、风能等清洁能源为压裂作业提供动力,减少碳排放。通过技术创新和产业升级,推动油气开采向更加环保、高效的方向发展。

结束语

连续油管技术在井下作业压裂中的深入应用,无疑为油气田开发开辟了新路径。其独特的连续性与灵活性,不仅简化了操作流程,提高了作业效率,还通过精细化控制与环境保护措施,实现了资源开采与环境保护的双赢。随着技术的不断进步与经验积累,相信连续油管技术将在更广泛的油气开采领域发挥关键作用,引领行业向更加高效、绿色、可持续的未来迈进。

参考文献

- [1]张拢.连续油管在井下作业中的应用分析[J].石化技术,2023,(09):85-87.
- [2]曹根培.连续油管技术在井下作业中的应用浅谈[J].化工管理,2019,(06):76-77.
- [3]张译,罗丹.浅析连续油管技术在井下作业中的应用[J].化工管理,2020,(17):161-162.
- [4]焦文夫,张宏强.连续油管技术在井下作业中的应用现状及优化策略[J].工程技术研究,2020,(10):91-92.