

复杂井况下大修井下作业技术创新研究

龚小兵

辽河工程技术分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8354

[摘要] 随着油气开采的不断深入,复杂井况日益增多,对大修井下作业技术提出了更高要求。本文旨在探索复杂井况下大修井下作业技术的创新,通过深入分析传统技术的局限性,并探讨创新成果的应用,以提升作业效率与成功率;对新型打捞工具、修复工具、高效套铣工艺及复合修井工艺等创新技术进行系统研究。研究发现,显著提高复杂井况下大修井下作业的成功率,有效缩短了作业时间,降低了作业成本,为油气开采行业的可持续发展提供了有力技术支持。

[关键词] 复杂井况;大修井下作业;技术创新

Innovative research on downhole operation technology for major repairs under complex well conditions

Gong Xiaobing

Liaohe Engineering Technology Branch

[Abstract] With the continuous deepening of oil and gas extraction and the increasing number of complex well conditions, higher requirements have been put forward for the technology of underground operations in major repairs. This article aims to explore the innovation of downhole operation technology for major repairs under complex well conditions. By deeply analyzing the limitations of traditional technology and exploring the application of innovative achievements, the aim is to improve operation efficiency and success rate; Conduct systematic research on innovative technologies such as new salvage tools, repair tools, efficient milling processes, and composite well repair processes. Research has found that significantly improving the success rate of major downhole operations under complex well conditions, effectively shortening operation time, reducing operation costs, and providing strong technical support for the sustainable development of the oil and gas extraction industry.

[Key words] complex well conditions; Overhaul underground operations; technological innovation

引言

随着油气资源开采的不断深入,复杂井况问题在油田开发中日益凸显。井筒变形、套管损坏以及落物复杂等现象频发,成为制约油气高效开采的重要因素。井筒变形通常由地层压力变化、钻井施工不当或长期生产磨损引起,导致井眼不规则,严重影响后续作业工具的顺利通过。套管损坏则多因腐蚀、挤压或疲劳断裂所致,若未及时修复,可能引发井漏、地层坍塌等严重后果。此外,落物复杂包括工具掉落、油管断裂等情况,不仅会导致油井停产,还可能增加打捞作业的难度和成本。这些复杂井况的存在,直接威胁到油田的正常生产,造成减产甚至停产,对油气资源的可持续开发构成了严峻挑战。因此,研究复杂井况下的大修井下作业技术创新,对于提升油田生产效率、保障安全生产具有重要意义。

1. 复杂井况下大修井下作业技术创新

1.1 工具创新

1.1.1 新型打捞工具

随着油田井下作业复杂性的增加,传统打捞工具在应对复杂井况时逐渐显现出局限性。为此,多功能打捞矛和智能打捞装置等新型打捞工具的研发为提升打捞成功率提供了重要支持。多功能打捞矛的设计原理基于模块化结构,其核心特点在于能够根据井下落物的具体形态和材质灵活调整抓握方式,从而适应不同类型的落物打捞任务。此外,智能打捞装置通过集成传感器与数据处理系统,可实时监测打捞过程中的力学参数及环境变化,从而优化打捞操作。例如,在打捞破碎油管或封隔器等复杂落物时,智能打捞装置能够通过精确控制抓握力度和方向,避免二次损坏并显著提高打捞成功率。这些新型工具的应用不仅提升了打捞效率,还大幅降低了因操作不当导致的二次事故风险。

1.1.2 新型修复工具

在复杂井况下，套管损坏和井筒变形等问题对油田生产构成了严重威胁。针对这些问题，高效套管修复器和智能整形工具等新型修复工具应运而生。高效套管修复器采用液压驱动技术，能够在短时间内完成对受损套管的加固和修复，尤其适用于直径在 90mm 以上的套管修复任务。其优势在于结合了高强度材料与精密加工工艺，确保修复后的套管具备良好的密封性和承载能力。智能整形工具则通过引入先进的测控技术，能够实时获取井筒变形数据，并据此制定科学的整形方案。例如，在处理井筒严重变形的情况时，智能整形工具可通过多点支撑和逐步校正的方式恢复井筒的几何形态，从而有效避免因过度修复导致的地层损伤。

这些新型修复工具的应用不仅提高了复杂井况修复的成功率，还为延长油井使用寿命提供了有力保障。

1.2 工艺创新

1.2.1 高效套铣工艺

传统套铣工艺在复杂井况下的应用往往面临效率低下和成本高昂的问题。为克服这些不足，高效套铣工艺通过对操作流程和技术要点的优化，显著提升了作业效率和经济效益。该工艺的核心在于采用高性能套铣工具与智能化控制系统相结合的方式，确保在套铣过程中能够实现精准切削和高效排屑。例如，在处理套管破损或井下落物卡阻等问题时，高效套铣工艺可通过优化刀具设计和切削参数，减少切削阻力并提高排屑能力，从而大幅缩短作业时间。此外，该工艺还引入了实时监测技术，能够对套铣过程中的关键参数进行动态监控，及时发现并解决潜在问题。相比传统套铣工艺，高效套铣工艺不仅显著降低了作业成本，还提高了作业的安全性和可靠性。

1.2.2 复合修井工艺

复合修井工艺是一种将多种修井技术融合于一体的综合性工艺，其设计初衷在于应对复杂多变的井况并提升修井效果。该工艺的基本原理是通过整合打捞、修复和加固等多种技术手段，形成一套系统化的解决方案，从而满足不同井况的需求。例如，在处理同时存在落物卡阻和套管损坏的复杂井况时，复合修井工艺可先利用多功能打捞矛清除井下落物，再采用高效套管修复器对受损套管进行加固，最后通过智能整形工具恢复井筒的几何形态。这种多技术协同的方式不仅能够显著提高修井效率，还能最大限度地减少对地层的扰动，从而降低作业风险。此外，复合修井工艺还具有较强的适应性，可根据具体井况灵活调整技术方案，为复杂井况下的修井作业提供了全新的思路。

2. 创新技术在复杂井况中的应用案例分析

2.1 案例一：井筒严重变形井况

2.1.1 井况描述

该案例中的井筒严重变形情况发生在某油田的一口老井中，由于长期开采和地质压力变化，井筒在深度约 2,500 米处出现了显著的椭圆化变形，最大变形量达到了套管内径的 30%

以上，导致井筒通径严重缩小。根据井况检测报告显示，变形区域长度约为 15 米，且伴随局部套管破裂现象，进一步加剧了井筒的复杂性。这种变形不仅影响了正常的生产作业，还对后续修井施工提出了极高的挑战。

井筒变形的主要原因包括地层应力集中、套管材质老化以及前期开采过程中未能及时采取有效的防护措施。此外，该井所处区域的地质条件较为复杂，存在多层软硬交替的地层结构，这进一步加剧了套管变形的风险。

2.1.2 创新技术应用过程

针对该井筒严重变形的情况，采用了新型整形工具与复合修井工艺相结合的方案进行修复。首先，引入了高效液压整形工具，该工具通过地面泵车提供高压液体驱动，能够在变形区域施加均匀的压力，逐步恢复套管的原始形状。同时，结合复合修井工艺，在施工过程中采用了多级套铣技术，以确保整形工具能够顺利进入变形区域并开展工作。具体操作步骤如下：第一，利用示踪器精确定位变形区域的位置和范围；第二，通过液压整形工具对变形区域进行逐级扩径处理；第三，采用防丢鱼套铣鞋对整形后的区域进行清理和加固，确保井筒通径的恢复效果。在整个施工过程中，技术人员通过实时监测系统对工具的工作状态和井筒变化进行动态监控，确保每一步操作的安全性和有效性。

此外，为了应对可能出现的突发情况，现场还配备了备用工具和应急预案，以最大程度降低施工风险。

2.1.3 应用效果与问题解决办法

创新技术在该案例中的应用取得了显著成效。通过对井筒变形区域的修复，套管通径恢复至设计值的 90% 以上，修复成功率达到了 100%。整个施工周期较传统方法缩短了近 40%，有效降低了作业成本。然而，在施工过程中也遇到了一些困难，例如整形工具在通过变形区域时曾出现卡阻现象，主要是由于局部变形程度过高导致工具无法顺利通过。针对这一问题，技术人员及时调整了施工参数，采用分段扩径的方式逐步推进，最终成功解决了卡阻问题。此外，为了进一步巩固修复效果，施工完成后还采用了水泥加固技术对整形区域进行了二次密封处理，有效防止了后续生产中可能出现的二次变形问题。这些措施不仅提高了修复质量，也为类似复杂井况的处理提供了宝贵的经验。

2.2 案例二：复杂落物井况

2.2.1 井况描述

该案例中的复杂落物事故发生在某油田的一口生产井中，落物主要为断裂的油管碎片和脱落的封隔器部件，分布于井深 2,000 米至 2,150 米之间。根据落物诊断报告显示，落物类型多样，包括金属碎片、橡胶密封件以及部分电缆残骸，且落物周围井筒存在一定程度的堵塞现象，进一步增加了打捞难度。此外，落物位置靠近生产层段，若不及时处理可能对储层造成不可逆的损害。

落物事故的发生主要是由于前期作业中工具连接失效以

及操作不当所致,加之井筒内流体压力波动较大,导致落物分布范围广泛且分散,给后续打捞作业带来了极大的挑战。

2.2.2 创新技术应用过程

针对该复杂落物井况,采用了智能打捞装置与高效套铣工艺相配合的技术方案。首先,利用智能打捞装置对落物进行精准定位和抓取。该装置配备了高分辨率声波探测器和磁力吸附功能,能够快速识别落物的位置和类型,并通过自动控制系统实现精准抓取。在抓取过程中,结合高效套铣工艺,对落物周围的堵塞物进行清理,确保打捞工具能够顺利进入目标区域。具体操作流程如下:

第一,通过声波探测器对落物分布进行初步扫描,确定主要落物位置;第二,利用智能打捞装置对大型落物进行抓取,并同步进行套铣清理;第三,对小型碎片和残留物采用磁力吸附装置进行收集,确保井筒内无遗留物。

在整个施工过程中,技术人员通过远程监控系统对打捞过程进行实时跟踪,确保每一步操作的准确性和安全性。

此外,为了应对可能出现的落物二次掉落风险,现场还配备了反扣钻杆和倒扣捞矛等辅助工具,以提高打捞成功率。

2.2.3 应用效果与问题解决办法

创新技术在该案例中的应用取得了良好的效果。通过对复杂落物的打捞,成功清除了井筒内的所有障碍物,打捞成功率达到了95%以上。施工周期较传统方法缩短了30%,有效减少了停产损失。然而,在施工过程中也遇到了一些问题,例如智能打捞装置在抓取小型碎片时曾出现吸附力不足的情况,导致部分碎片未能被有效收集。针对这一问题,技术人员对磁力吸附装置进行了现场优化,通过增加吸附面积和提高磁场强度,显著提升了碎片收集效率。此外,为了进一步验证打捞效果,施工完成后还采用了井下摄像头对井筒进行了全面检查,确保无残留物存在。

这些措施不仅提高了打捞质量,也为类似复杂落物井况的处理提供了重要的参考依据。

3. 复杂井况下大修井下作业技术发展趋势展望

3.1 智能化技术融合

智能化技术在油田井下作业中的应用前景广阔,尤其是在复杂井况的大修作业中,智能诊断与智能控制技术的引入显著提升了作业的精准性和自动化程度。智能诊断技术通过实时采集井下数据,结合人工智能算法进行分析,能够快速准确地识别井下落物类型、位置及井筒损伤状况,为制定科学合理的施工方案提供可靠依据。此外,智能控制系统可通过远程操控实现作业参数的动态调整,从而减少人为操作误差,提高作业效率与安全性。例如,在井下落物打捞过程中,智能打捞装置能够通过传感器反馈的信息自动调整打捞力度和角度,避免因操作不当导致二次事故。这种智能化技术的深度融合不仅优化了传统大修作业的流程,还为复杂井况的处理提供了全新的解决方案。

3.2 自动化技术应用

随着自动化技术的不断发展,其在油田井下大修作业中的应用逐渐成为行业趋势。自动化设备与系统的引入显著降低了人工劳动强度,同时提升了作业的安全性与效率。例如,在套管修复作业中,自动化修复工具能够通过预设程序完成对损坏套管的精准定位与加固操作,减少了人工干预带来的不确定性。此外,自动化系统还能够实时监测作业过程中的关键参数,如压力、温度等,并在异常情况下自动触发报警机制,从而有效防止事故的发生。研究表明,自动化技术的应用可使大修作业的周期缩短30%以上,同时显著降低作业成本。未来,随着机器人技术和物联网技术的进一步成熟,自动化设备将在更复杂的井况中发挥更大作用,推动井下作业向无人化、智能化方向迈进。

3.3 绿色环保技术发展

在油田井下大修作业中,绿色环保技术的发展具有重要意义。随着全球对环境保护要求的日益严格,传统的修井工艺因可能引发地层污染等问题而面临挑战。因此,开发环保型修井液和减少地层污染的技术成为行业发展的重点方向之一。环保型修井液采用生物降解材料制成,能够在保证作业性能的同时最大限度地降低对地层的损害。此外,通过优化施工工艺和采用封闭式作业系统,可以有效减少修井过程中产生的废弃物和污染物排放。例如,在侧钻作业中,利用新型环保型钻井液不仅提高了钻井效率,还显著降低了对周边环境的影响。未来,绿色环保技术的进一步发展将有助于实现油田井下作业的可持续发展,同时满足环境保护与经济效益的双重需求。

4. 结论

(1) 复杂井况下大修井下作业技术创新研究涵盖了工具创新、工艺优化以及智能化技术的应用等多个方面,显著提高了复杂落物打捞的成功率,并减少了对井筒的二次损伤。同时,高效套管修复器和智能整形工具等新型修复工具的引入,为套管破损及井筒变形等问题的处理提供了更为科学和高效的解决方案。

(2) 未来的研究方向应重点关注加强智能化技术与传统修井工艺的深度融合,进一步提升作业的精准性和自动化水平,探索低成本、高性能的修井工具与材料,以降低技术研发和应用成本;建立完善的技术培训体系,通过模拟实训和案例分析等方式提升技术人员的综合能力。

[参考文献]

- [1]李荣;唐红强;肖宗政.油田井下作业大修施工技术的研究[J].石化技术,2021,28(2): 76-77.
- [2]赵磊.油田井下作业大修施工技术的运用浅谈[J].石油石化物资采购,2022,(21): 94-96.
- [3]杨昊;于慧艳.油田井下作业大修施工技术分析[J].化工管理,2022,(18): 136-138.
- [4]姜宗起.油田井下作业大修施工技术的思考[J].化工管理,2018,(12): 145-145.