

大修井下复杂工况作业技术优化研究

龚小兵

辽河油田分公司曙光作业三大队

【摘要】本研究旨在通过优化油田井下复杂工况大修作业技术,提升作业效率并保障作业安全。对井下复杂工况进行了深入剖析,并针对现有大修技术提出了优化措施。研究发现,通过工具、工艺及技术协同的优化,可显著提高大修作业在砂卡、蜡堵、落物等复杂工况下的效率与成功率,同时有效降低成本与安全风险。本研究对改进油田井下大修作业技术,提高油田开发整体效益具有重要的理论与实践意义。

【关键词】井下作业;复杂工况;大修技术;优化措施

Research on Optimization of Major Overhaul Techniques for Complex Downhole Operating Conditions

Gong Xiaobing

Third Brigade of Shuguang Operations, Liaohe Oilfield Branch

【Abstract】This study aims to enhance operational efficiency and ensure safety by optimizing major overhaul techniques for complex downhole conditions in oilfields. It conducts an in-depth analysis of such challenging scenarios and proposes optimization measures for existing overhaul technologies. The research demonstrates that coordinated improvements in tools, processes, and technologies significantly improve the efficiency and success rate of overhaul operations under complex conditions—including sand blockages, wax plugging, and fallen object incidents—while effectively reducing costs and safety risks. This study holds important theoretical and practical significance for refining downhole overhaul techniques and improving overall oilfield development efficiency.

【Key words】Underground operations; Complex working conditions; Major overhaul technology; Optimization measures

引言

油田井下作业作为石油开采过程中核心环节,直接关系油井生产效率与长期稳定性。随着油田开发深度增加以及地质条件的复杂性提升,井下作业面临越来越多的复杂工况挑战。例如,砂卡、蜡堵等问题频繁发生,不仅影响作业效率,还对施工安全构成严重威胁。此外,在复杂工况下进行井下大修作业时,当前技术水平和操作流程暴露出诸多亟待解决问题。如作业效率普遍较低,特别是在处理砂卡、蜡堵等复杂情况时,由于工具性能不足或工艺参数不合理,往往需要反复施工,导致作业周期延长。此外,高昂作业成本也是当前面临主要问题之一,尤其是在处理复杂故障时,频繁停工与返工使得成本大幅增加。这些问题的存在不仅影响了油田的开采效率,还对企业的经济效益和安全生产造成了负面影响,因此亟需通过技术优化措施加以解决。

1. 井下复杂工况分析

1.1 砂卡对作业的影响

主要体现在作业工具卡阻及施工效率降低等方面。这种卡阻不仅增加作业难度,还可能引发更严重的井下事故,如管柱断裂或井眼坍塌。此外,砂卡还会对修井作业连续性产生负面影响,由于需要额外的时间进行处理,导致施工周期延长,进而增加整体作业成本。更为严重的是,若未能及时有效解决砂卡问题,可能会对油井的长期生产能力造成不可逆的损害,甚至导致油井报废。

1.2 蜡堵的危害

对油井生产及井下作业的危害主要表现为产量下降与作业难度增加两个方面。首先,蜡堵会导致油管内径减小,限制流体的通过能力,直接降低油井的产液量。研究表明,严重的蜡堵可使油井产量下降30%以上,严重影响油田的开发效益。其次,蜡堵存在显著增加了井下作业的复杂性与风险。此外,频繁的蜡堵问题还会增加修井作业的频率与成本。

1.3 落物对作业的影响

可能导致作业工具在井筒内发生意外碰撞或卡阻,引发工具损坏甚至报废的风险。其次,落物会直接阻碍施工操作的顺利进行,例如,在打捞作业中,若落物位于目标落鱼附近,则可能干扰打捞工具的抓取与固定,显著降低作业成功率。此外,处理落物问题常需耗费大量时间和资源,不仅延长施工周期,还增加作业成本。

2. 现有大修技术分析

2.1 冲砂技术

主要适用于由地质因素或生产制度不合理引发的砂卡工况,优点在于操作相对简单、成本较低,且能够在较短时间内清除井底积砂,从而快速恢复油井的正常生产。然而,也存在一定局限性,如在处理复杂地层或砂粒粒径分布不均的情况下,可能会出现冲砂不彻底的现象,导致部分砂粒残留于井筒内,进而影响后续作业效果。此外,冲砂过程中若未能合理控制冲砂液性能或排量参数,还可能引发井壁坍塌或地层伤害等问题,进一步增加作业难度和成本。

2.2 刮蜡技术

主要适用于因蜡沉积导致的油井产量下降或生产中中断等工况，特别是在油井运行后期或低温环境下，蜡堵问题频发时展现出良好的应用前景。优点在于操作流程简单、施工效率高，能够在一定程度上延缓蜡堵的再次发生。然而，对于蜡堵严重或蜡层较厚情况，刮蜡技术效果往往受到限制，可能需多次施工才能达到预期目标。此外，刮蜡工具在长期使用过程中可能出现磨损或损坏，进而影响其刮蜡效果和耐用性，这也对工具的维护与更新提出了更高要求。

2.3 打捞技术

打捞技适用于各类因落物导致井下复杂工况，在处理复杂落物或落物位置较深的情况下具有不可替代的作用。优点在于针对性强，能够根据落物的具体特征选择合适的打捞工具，提高打捞成功率。然而，打捞技术实施过程较为复杂，需充分考虑落物的形状、大小、材质及其在井筒中的姿态等因素，否则可能导致打捞失败甚至引发次生事故。此外，打捞成功率还受到落物状态的影响，因此在实际应用中需结合具体情况制定科学合理的打捞方案。

3.大修技术优化措施

3.1 工具优化

3.1.1 新型冲砂工具设计

为解决传统冲砂工具在高效性与适应性方面的不足，新型冲砂工具的设计成为技术优化的重要方向之一。此类工具通常采用流线型结构设计，以减少液流阻力并提高冲砂效率；同时，在工具内部集成了可调节喷嘴系统，能够根据井底砂粒分布情况灵活调整喷射角度与流量，从而实现更精准的砂粒冲散与清除。此外，新型冲砂工具还引入了耐磨材料制造关键部件，显著提升了工具在高压、高温环境下的耐用性。这些设计特点使得新型冲砂工具不仅适用于常规砂卡工况，还能有效应对复杂地层中的多层砂卡问题。

3.1.2 改进刮蜡工具

近年来相关研究主要集中在刮蜡效果的增强与工具耐用性的改进方面。具体而言，改进型刮蜡工具通过优化刀片结构与材质，显著提高了其对蜡沉积物的清除能力。例如，采用高强度合金材料制作的刀片具有更强的硬度和抗腐蚀性，能够在长时间作业中保持稳定的刮蜡效率。此外，部分新型刮蜡工具还配备自动调节装置，可根据管内蜡沉积厚度实时调整刮削力度，从而避免因过度刮削导致的管壁损伤。这些技术改进不仅延长了工具的使用寿命，还显著提升了蜡堵工况下的作业效率与安全性。

3.1.3 多功能打捞工具研发

此类工具的设计理念在于通过模块化结构实现多种功能集成，从而适应不同类型落物的打捞需求。例如，某些多功能打捞工具配备了可更换的抓取机构，能够根据落物形状与材质快速切换至合适的打捞模式，从而显著提高打捞成功率。此外，部分工具还引入了智能识别系统，可通过传感器实时监测落物位置与状态，并自动调整打捞策略，以最大限度地降低作业风险。目前，多功能打捞工具的研发已取得初

步成果，并在多个油田现场应用中表现出良好的性能优势，为复杂工况下的打捞作业提供了全新的解决方案。

3.2 工艺优化

3.2.1 优化冲砂工艺参数

研究表明，冲砂液的粘度、密度以及携砂能力直接影响其对井底砂粒的悬浮与输送效果。因此，针对不同地质条件与砂卡程度，优化冲砂液配方已成为提升冲砂效率的重要手段之一。如在高渗透性地层中，采用低粘度、高携砂能力的冲砂液可以有效减少砂粒沉降，提高冲砂彻底性。此外，冲砂排量选择也需根据井筒直径与砂粒分布情况进行动态调整，以避免因排量过大导致的井壁坍塌或排量过小引起的冲砂不彻底问题。通过对冲砂液性能与排量的综合优化，不仅可显著提高冲砂效率，还能降低作业成本与风险，为复杂工况下冲砂作业提供了科学依据。

3.2.2 改进刮蜡施工工艺

改进型刮蜡施工工艺通过简化操作流程与强化关键环节，显著提升蜡堵处理的效率与质量。如施工前期准备阶段，引入先进的蜡沉积检测技术，可精准定位蜡堵位置与厚度，为后续刮蜡作业提供可靠的数据支持。此外，在施工中，通过对刮蜡工具的下放速度与旋转频率进行优化控制，能够有效提高蜡沉积物的清除率，同时减少对油管的二次损伤。部分油田现场应用表明，改进后的刮蜡施工工艺不仅显著缩短了作业周期，还大幅降低了蜡堵复发率，为油田井下作业的持续稳定运行提供了有力保障。

3.2.3 完善打捞工艺流程

现代打捞工艺通过细化操作流程与强化质量控制，显著提升了打捞作业的整体效率。如在打捞前准备阶段，引入三维井筒成像技术对落物位置与状态进行全面评估，能够为制定科学合理的打捞方案提供重要参考。同时，在打捞操作过程中，通过严格控制工具下放速度与提拉力度，能够有效避免因操作不当导致的落物二次卡阻或工具损坏。此外，在打捞完成后，对井筒进行彻底清洗与检测，可及时发现潜在隐患并采取补救措施，从而确保打捞作业的长期效果。这些工艺优化措施不仅提高了打捞成功率，还为复杂工况下的打捞作业积累了宝贵经验。

3.3 技术协同优化

3.3.1 多技术协同应用原理

多技术协同的原理在于通过整合不同技术的特点与优势，形成一套综合性的解决方案，以应对复杂工况下的多样化挑战。例如，在同时存在砂卡与蜡堵的工况中，可先利用冲砂技术清除井底砂粒，再结合刮蜡技术对管内蜡沉积进行清理，从而避免因单一技术局限性导致的作业失败。此外，对于涉及落物的复杂工况，可通过打捞技术与其他辅助技术的协同应用，进一步提高落物打捞的成功率与安全性。这种多技术协同的应用模式不仅能够显著提升作业效率，还能有效降低作业风险与成本，为油田井下作业的优化提供了新的思路。

3.3.2 协同优化策略

首先，需根据具体工况特点与作业目标，明确各技术的主要功能与优先级。例如，在处理砂卡与蜡堵并存的工况时，应优先解决砂卡问题，以避免砂粒对冲砂工具的刮蜡效果产

生干扰。其次,需建立完善的技术协同机制,确保各技术环节之间的无缝衔接与高效配合。此外,还需加强对技术人员的培训,使其具备跨技术应用的能力与意识,从而在实际作业中能够灵活运用多种技术手段解决问题。通过上述协同优化策略的实施,可以显著提升复杂工况下大修作业的效率与质量,为油田井下作业的可持续发展奠定坚实基础。

4.现场应用案例分析

4.1 工况描述

该案例井位于某油田的主力开发区块,其复杂工况主要表现为砂卡与蜡堵并存的现象。由于储层地质条件复杂,地层砂粒粒径分布不均,加之长期开采导致地层压力下降,使得砂粒容易随流体运移至井筒并沉积,从而引发砂卡问题。与此同时,该井区原油中含蜡量较高,在低温环境下蜡质易从原油中析出并附着于油管内壁,形成严重的蜡堵现象。根据井下检测数据显示,油管内蜡沉积厚度最大可达5厘米,严重影响油井正常生产作业。此外,由于前期作业中未对砂卡和蜡堵问题采取针对性措施,导致工具卡阻频发,进一步加剧了工况的复杂性。

4.2 技术应用与优化

采用多种大修技术的组合,并对具体工艺进行了优化。首先,为解决砂卡问题,引入了新型冲砂工具,该工具通过改进喷嘴结构和液流分布设计,显著提高了冲砂效率,同时减少了冲砂液对套管的冲刷损伤。其次,对于蜡堵问题,采用了改进型刮蜡工具,其刀片材质选用高强度耐磨合金,能够有效清除顽固蜡质沉积,同时优化了刮蜡施工流程,确保刮蜡效果更加彻底。此外,为提升整体作业效率,还结合了智能监测技术,实时获取井下参数变化,从而动态调整冲砂液排量和刮蜡操作频率,实现了多技术协同优化的目标。

4.2.3 应用效果

经过技术优化后,该案例井的作业效率和成功率均得到显著提升。优化前单次修井作业平均耗时为15天,而优化后缩短至9天,作业效率提高了40%以上。同时,由于新型工具和工艺的应用,工具卡阻发生率从优化前的35%降低至8%,作业成功率大幅提升。此外,通过多技术协同优化,单次修井作业成本较优化前降低了约20%,经济效益显著。更为重要的是,优化后的技术组合有效解决了砂卡与蜡堵并存的问题,使得油井产量恢复并稳定在较高水平,为油田的持续高效开发提供了有力保障。

参考文献

- [1] 甘相美;王元天;李保树.井下作业大修施工技术应用及意义分析[J].石油石化物资采购,2022,(16):195-197.
- [2] 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.
- [3] 李海涛.油田井下作业大修施工技术的探究[J].休闲,2020,(8):0246-0246.
- [4] 钟康.油田井下作业的大修施工工艺技术措施[J].石油石化物资采购,2019,0(6):64-64.
- [5] 张宏峰;王小兵.油田井下作业大修施工方案及实施要点分析[J].石油石化物资采购,2019,0(21):92-92.

5.技术发展趋势展望

5.1 智能化技术应用

智能监测技术通过实时采集井下环境参数、设备运行状态及作业过程中的关键数据,为后续分析和决策提供重要支持。如基于人工智能的智能决策系统能够结合历史数据和实时信息,生成最优作业方案,显著提升决策效率与准确性。智能化技术的应用不仅有助于实现井下作业的精细化管理,还为实现高效、安全的复杂工况大修提供了强有力技术支撑。

5.2 新材料应用

新型复合材料、高性能合金以及纳米材料的引入,则为解决这些问题提供了新的可能性。如在冲砂工具中采用高强度耐磨合金,可显著提高其抗冲击能力和使用寿命;在刮蜡工具表面涂覆自润滑涂层,则能有效减少摩擦阻力并增强蜡沉积清除效果。由此可见,新材料的开发与推广不仅有助于提升大修工具的整体性能,还将推动井下作业技术向更高水平发展。

5.3 绿色化发展

一方面,传统大修工艺中使用化学药剂和能源消耗往往对环境造成较大影响,因此研发低毒、可降解环保型药剂以及高效节能的施工设备已成为行业重要课题。另一方面,通过优化施工工艺参数和改进设备设计,可进一步降低能源消耗与废弃物排放量。总之,大修技术的绿色化转型不仅是履行社会责任的体现,更是实现石油行业可持续发展的必然选择。

6.结论

(1) 本文通过系统分析井下复杂工况及其对作业的影响,深入探讨现有大修技术原理、适用范围及优缺点,并针对性地提出多项技术优化措施。这些技术优化成果在现场应用中得到了验证,显著提高了作业效率与成功率,同时降低了作业成本。

(2) 井下复杂工况大修技术优化不仅为当前油田井下作业提供重要技术支持,还为未来技术发展指明了方向。智能化技术应用将进一步提升作业的精准度与效率,新材料的使用将增强工具与设备的性能,绿色化发展则符合全球能源行业环保与可持续发展的趋势。未来研究应重点关注这些前沿技术的集成与应用,以推动油田井下作业技术向更高水平迈进。