

# 石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化的策略探讨

张永亮

中原油田分公司采油气工程服务中心 河南 濮阳 457001

**摘要:** 井下作业是石油工程的核心环节,修井技术的先进性与工艺合理性直接决定油井产能维持、寿命延长及生产效益提升。本文系统梳理石油工程井下作业的核心价值,深入剖析当前修井技术现状,包括常见作业类型与主流技术手段;重点总结修井工艺在技术、管理、设备层面存在的突出问题;结合行业发展需求,从常规技术优化、特殊工况创新、智能化融合及环保化升级四个维度,提出针对性的工艺优化策略。研究成果为提升修井作业效率、降低成本、保障安全提供技术参考,对推动石油工程井下作业高质量发展具有重要现实意义。

**关键词:** 井下作业;修井技术;工艺优化

引言:随着石油勘探开发向深井、超深井、含硫井等复杂工况延伸,油井在长期生产中面临的卡钻、套管损坏、产能递减等问题愈发突出,井下作业修井技术的重要性愈发凸显。修井作业不仅承担着油井故障修复的核心任务,更肩负着油层改造、产能提升及安全保障的重要职责,其技术水平与工艺质量直接影响石油企业的生产效率与经济效益。当前,我国修井技术虽已取得一定发展,但与国际先进水平相比仍存在差距,工艺应用中面临诸多瓶颈。基于此,本文聚焦修井技术现状与工艺优化,深入剖析问题、构建优化策略,为石油工程井下作业技术升级提供支撑,助力行业破解发展难题。

## 1 石油工程井下作业的重要性

### 1.1 生产保障的坚实后盾

石油工程井下作业是确保油井稳定生产的关键环节,其中修井作业更是核心所在,对保障油井持续运行起着至关重要的作用。油井在漫长的勘探开发及生产运维过程中,长期承受着地层复杂环境的考验,地层中的腐蚀性物质会逐渐侵蚀套管和井下设备,流体的高速冲刷会加速设备磨损,设备的老化更是不可避免。这些因素共同作用,极易引发卡钻、砂堵、套管破损等一系列故障。一旦油井出现故障,生产将被迫中断,不仅会导致原油产量下降,还会因停产时间延长而造成巨大的经济损失。通过专业的技术和工具,及时修复故障,恢复油井的正常生产。例如,当油井出现卡钻事故时,修井人员可以利用专业的解卡工具和技术,逐步解除卡钻状态,使钻具能够顺利起下,保障钻井作业的连续性;对于套管破损问题,修井作业可以通过套管补贴、整形等技术手段,修复套管的密封性和强度,防止油气泄漏,确保油井的安全生产。

### 1.2 产能提升与可持续发展的助推器

随着油田开发的不断深入,许多油井逐渐进入中后期,面临着产量递减、开采难度增大等问题。通过修井工艺的优化与技术升级,可以对这些低产低效井进行全面改造。例如,将酸化、压裂等增产措施与修井作业有机结合,在修井过程中对油层进行改造,改善油层的渗流条件,提高油井的采收率<sup>[1]</sup>。同时,修井作业还能够延长老井的使用寿命,充分挖掘剩余油资源的潜力。通过定期的修井维护和改造,老井可以继续保持稳定的产量,为油田的持续开发提供有力支持。这不仅有助于提高石油资源的开采利用率,降低开发成本,还能够减少对新油田的依赖,为石油行业的可持续发展奠定坚实基础。

## 2 石油工程井下作业修井技术现状

### 2.1 常见修井作业类型

当下石油工程井下修井作业类型丰富,按作业目的能清晰划分为维护性修井、修复性修井与增产性修井三大类别。维护性修井着重于油井日常运维,像洗井冲砂作业,借助高压水流冲走井筒内沉积的砂粒、泥浆等杂质,保证油流通道畅通无阻;清蜡防蜡作业针对原油含蜡情况,采用化学药剂或机械刮蜡手段,防止蜡在井筒堆积影响生产;井口设备检修作业会定期对井口阀门、防喷器等关键设备检查维护,及时更换老化部件,预防安全事故。此类作业在常规油井中应用极为广泛,是保障油井稳定运行的基石。修复性修井针对油井已出现的故障,打捞作业可回收井下落物,解卡作业能解除管柱卡阻,套管修复作业可处理套管变形、破损,防砂修井能解决砂层出砂问题,是恢复油井生产能力的关健手段。增产性修井以提升产能为核心,通过酸化、压裂后配套、老井侧钻、补孔等作业改造油层或优化井筒,挖掘油藏潜力,助力低产井、老井产能复苏。

### 2.2 现有修井技术手段

我国石油工程井下修井技术手段已构建起多元化体系,常规技术愈发成熟,部分先进技术也在逐步推广。常规修井技术里,打捞技术形成以打捞矛、打捞筒、打捞篮等为核心的工具体系,能根据落物类型、形状和尺寸精准适配,提高打捞成功率。解卡技术涵盖机械震击、化学、水力等多种方式,机械震击解卡通过强力震动解除粘吸卡钻,化学解卡利用药剂溶解卡钻物质,水力解卡借助高压水流冲击卡点,有效处理常见卡钻问题。套管修复技术有整形、补贴、加固等方法,可满足不同程度套管损坏的修复需求<sup>[2]</sup>。智能化修井技术兴起,通过井下传感器和物联网技术实时监测修井过程,及时掌握井下动态;自动化修井设备如智能打捞机器人、自动化修井机投入使用,减少人工操作,提升作业效率;针对深井、含硫井等特殊工况,研发的专用修井技术与工具,初步实现了复杂工况下的作业保障。

### 3 石油工程井下作业修井工艺存在的问题

#### 3.1 技术层面问题

修井工艺在技术层面存在诸多突出问题,制约作业质量与效率提升。一是复杂工况技术适配性不足,针对深井、超深井、深海油井及含硫高压井的专用修井技术不成熟,作业中易出现工具失效、工艺失控等问题;二是核心技术自主创新能力薄弱,部分高精度修井工具、高端修井液配方仍依赖进口,技术壁垒导致作业成本居高不下;三是技术协同性差,不同修井环节的技术衔接不畅,如打捞与套管修复工艺缺乏统筹设计,易引发二次故障;四是技术升级滞后,传统修井工艺占比过高,智能化、精准化技术推广应用缓慢,难以满足高效修井需求,作业效率偏低、周期偏长<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 管理层面问题

管理层面的短板进一步加剧了修井工艺应用的困境。一是修井方案设计缺乏科学性,部分作业前井况调研不充分,方案针对性不强,导致工艺选择不当、参数设置不合理;二是施工过程管控不严格,作业流程规范性不足,关键工序质量监督缺失,易出现施工偏差,影响修井效果;三是技术标准体系不完善,不同区域、不同企业的修井技术标准不统一,工艺应用混乱,缺乏统一的质量评估依据;四是人才队伍建设滞后,具备先进修井技术操作与工艺优化能力的专业人才短缺,一线作业人员技能水平参差不齐,难以适配新技术、新工艺的应用需求。

#### 3.3 设备层面问题

设备作为修井工艺得以顺利实施的关键基础,当前在设备层面暴露出的一系列问题,正严重制约着修井工艺的

落地效果。部分修井设备老化陈旧现象极为突出,特别是在一些老油田,修井机、井口装置等核心设备历经多年使用,早已超出正常服役年限。其性能大幅下降,运行过程中频繁出现故障,这不仅使得作业效率大打折扣,每延误一分钟都可能造成巨大的经济损失,还极大地增加了安全风险,随时可能引发严重的安全事故;专用设备配套不足的问题也不容忽视,面对复杂工况,高精度修井工具、环保型修井设备数量严重匮乏,难以满足特殊修井作业的多样化需求。同时,多数修井设备智能化水平低下,仍高度依赖人工操作,缺乏自动化、智能化控制模块,无法实现对修井过程的精准管控。此外,设备维护保养严重不到位,缺乏完善的设备运维体系,导致设备故障频发,进一步破坏了修井作业的连续性与稳定性。

## 4 石油工程井下作业修井工艺优化策略

### 4.1 常规修井技术工艺优化

针对常规修井技术,需从工具升级、流程优化及参数精准化三个核心维度系统推进工艺优化。在工具升级层面,传统打捞工具常因结构单一导致适配性差、抓取不稳,需通过优化结构设计,如采用可调节抓取臂、增加防滑纹路等,提升工具对不同形状、尺寸落物的适配性与抓取稳定性;同时研发多功能一体化打捞工具,集成打捞、切割、震击等功能,减少工具更换频次,降低作业风险。套管修复工具方面,需改进材质与工艺,选用高强度合金材料,采用热处理、表面强化等技术,提升修复后套管的抗压、抗腐蚀能力及密封性。流程优化上,需全面梳理修井全流程,识别并简化冗余工序,如合并部分检测与准备环节;建立“调研-设计-施工-验收”闭环管理流程,强化各环节衔接,通过信息化手段实现工序间数据实时传递,避免因信息滞后导致的二次作业。参数精准化方面,需结合井况数据,运用数值模拟技术,对修井液粘度、密度、滤失量等性能参数,以及打捞、解卡作业的力度、速度等参数进行优化;建立覆盖不同井型、井深、地层条件的常规修井工艺参数数据库,为作业人员提供科学参考,提升作业效率与质量。

### 4.2 特殊工况修井技术创新与优化

聚焦深井、超深井、含硫井等特殊工况,需开展针对性技术创新与工艺优化。深井、超深井作业中,高温高压环境对修井工具与修井液性能提出严苛要求,需研发耐高温(如150℃以上)、抗高压(如100MPa以上)的特种工具与修井液,优化管柱结构设计,采用高强度、轻量化材料,提升管柱承载能力与稳定性;同时采用欠平衡修井工艺,通过控制井底压力低于地层压力,减少

对地层的污染与损害,提高修井效率<sup>[4]</sup>。含硫高压井作业时,需建立防硫修井工艺体系,选用抗硫材质设备与工具,如不锈钢、镍基合金等;优化井控工艺,强化硫化氢监测与应急处置措施,如配备便携式硫化氢检测仪、安装自动紧急关井装置等,保障作业安全。老井、低产井修井中,需优化侧钻修井工艺,通过高精度随钻测量技术精准定位新层位,缩短作业周期;结合油藏特点,将酸化、压裂工艺与修井作业协同设计,如采用多级压裂与暂堵转向酸化技术,实现修井与增产一体化,提升老井产能复苏效果。

#### 4.3 智能化与数字化修井工艺融合优化

推动智能化、数字化技术与修井工艺深度融合,是构建高效智能修井体系的关键。需搭建修井作业数字化管理平台,整合井况探测数据(如地层压力、温度、渗透率等)、施工过程数据(如工具下入深度、作业时间、压力变化等)及设备运行数据(如修井机功率、液压系统压力等),实现数据实时共享与可视化管理,为修井方案设计与决策提供数据支撑。推广应用智能监测技术,在井下部署高精度传感器,实时监测修井过程中的压力、温度、工具位置等参数,通过数据分析技术及时预警异常情况,如井涌、井漏等;研发自动化修井设备,如智能修井机器人(具备自主导航、自动抓取、远程操控等功能)、自动化管柱处理系统(实现管柱自动排序、连接、起下等),减少人工干预,提升作业效率与安全性。引入数字化建模与模拟技术,在修井前构建井眼与油藏数字模型,模拟修井过程(如打捞、压裂等),优化工艺方案与参数,降低作业风险;同时通过虚拟现实(VR)技术对作业人员进行培训,提升其操作技能与应急处理能力。

#### 4.4 环保型修井工艺优化路径

践行绿色发展理念,需从源头、过程、末端全环节优化环保型修井工艺。源头控制方面,需研发并推广环保型修井液、清蜡剂等化学药剂,采用可降解、低污染配方,如生物基修井液、植物源清蜡剂等,减少污染物生成;优化修井液配置工艺,通过精确计量、循环利用

等技术,提高药剂利用率,降低药剂消耗量。过程管控方面,需搭建修井现场防渗、防漏设施,如铺设防渗膜、修建防渗沟等,防止修井废液渗入土壤;采用密闭循环系统处理修井废液,通过过滤、沉淀、分离等技术,减少挥发与泄漏;对作业现场粉尘、噪音进行管控,选用低噪音设备(如电动修井机),配备粉尘净化装置(如布袋除尘器),降低对环境的影响。末端处理方面,需建立修井废弃物资源化利用体系,对修井废液进行处理后回收利用(如作为配浆水、灌溉水等),对废油管、废工具等固体废弃物进行分类回收与再加工(如废油管修复后重复使用、废工具熔炼后制造新工具);完善废弃物达标排放检测机制,定期对排放的废水、废气、废渣进行检测,确保各项环保指标符合国家或行业标准,实现修井作业的绿色可持续发展<sup>[5]</sup>。

#### 结束语:

石油工程井下作业修井技术的发展与工艺优化,是破解复杂工况修井难题、提升油井生产效益、保障行业可持续发展的核心抓手。未来,需持续加强技术研发与创新,完善管理体系,升级设备水平,推动修井工艺向智能化、精准化、环保化方向迈进。相信通过技术与工艺的双重升级,将大幅提升我国石油工程井下修井作业水平,为石油行业高质量发展提供坚实的技术支撑,助力保障国家能源安全。

#### 参考文献:

- [1]陈永峰.修井技术现状分析与发展趋势展望[J].化工设计通讯,2023,49(10):28-30+33.
- [2]张凤冬.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化[J].化学工程与装备,2023(05):78-79+77.
- [3]贾世雄.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化研究[J].石化技术,2020,27(2):281-282.
- [4]何兵.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化[J].化工管理,2022(29):55-57.
- [5]范釜源.石油井下修井作业管理及修井技术探究[J].石化技术,2023,30(03):265-267.