

石油井下修井作业管理方法及修井技术措施

金承海

中石化中原工程公司井下特种作业公司 河南 濮阳 457061

摘要: 石油井下修井作业是保障油水井正常生产的关键技术措施, 涵盖故障修复、产能恢复与井筒完整性维护。油田开发进入中后期后, 修井作业面临井况复杂化、套管损伤频发等挑战。本文从管理方法和技术措施两方面系统探讨修井作业的优化路径, 包括施工方案动态调控、风险分级防控、智能化工具应用及绿色化工艺升级, 通过精细化管理管控与技术创新提升作业效率与安全性, 为油田稳产提供支撑。

关键词: 修井作业; 套管修复; 打捞技术; 风险管理; 质量控制

引言: 石油井下修井作业对保障油井生产、延长井筒寿命意义重大。随着油气资源开发深入, 井况愈发复杂, 对修井作业的管理与技术提出更高要求。科学的管理方法可保障作业安全高效, 先进的技术措施能提升作业成功率。在此背景下, 深入探讨修井作业管理方法与技术优化措施, 对推动行业发展、提高油气开发效益具有关键作用。

1 修井作业管理方法

1.1 施工方案制定与审批

在开展修井作业前, 需进行全面细致的地质与环境分析。详细研究井筒数据, 了解井筒的深度、直径、井壁状况等信息; 准确掌握地层压力, 判断地层压力的大小及变化规律; 深入剖析地质构造, 明确地层岩性、断层分布等情况。基于这些分析结果, 制定出具有针对性的施工方案, 确保方案能够适应不同井况。方案制定采用多级审批流程^[1]。施工组首先根据现场实际情况初步拟定方案, 对作业的大致步骤、所需设备、人员安排等进行初步规划。技术人员接着对方案中的各项参数进行优化, 例如钻井参数、打捞参数等, 确保参数设置科学合理, 提高作业效率与成功率。最后由主管部门进行终审, 从整体安全、经济效益、技术可行性等多方面进行综合考量, 保证方案切实可行。施工过程中建立动态调整机制。通过先进的监测设备获取井下实时反馈信息, 一旦发现作业情况与原计划出现偏差, 及时调整作业步骤。例如, 若遇到地层岩性变化导致打捞困难, 立即改变打捞工具或打捞方式, 避免作业陷入困境, 确保作业始终按照最优路径推进。

1.2 人员与设备管理

人员资质管理至关重要。定期组织技术培训与安全教育, 培训内容涵盖最新的修井技术、设备操作技巧以及安全法规等, 提升操作人员的专业技能与应急处理能

力。同时建立岗位责任制, 明确技术、安全、设备维护等不同岗位的职责分工, 让每个人清楚自己的工作任务与责任范围, 做到各司其职、各负其责。设备实行全生命周期管理。对修井机、打捞工具等关键设备进行定期检修与性能测试, 及时发现设备潜在问题并进行修复, 确保设备始终处于良好运行状态。引入变频驱动技术优化动力系统, 该技术能够根据作业需求自动调整设备运行功率, 有效降低能耗。

1.3 作业过程管控

建立现场监督机制, 安排安全员全程监控作业现场, 严格监督操作人员行为, 杜绝违章操作现象发生。安全员实时排查安全隐患, 对发现的问题立即要求整改, 将事故隐患消灭在萌芽状态。工序质量控制采用三阶段闭环管理模式, 即技术交底、实施、验收。在技术交底阶段, 技术人员向操作人员详细讲解作业要求与技术要点; 实施阶段, 操作人员严格按照交底内容进行作业; 验收阶段, 对作业成果进行严格检查, 确保质量达标。针对打捞、套管修复等关键工序, 设置专门的质量检查点, 加大检查力度, 保证关键工序质量万无一失。同时应注重环保管理, 对废弃物进行分类回收, 严格控制污水排放, 最大限度减少作业对环境造成的污染。

1.4 风险管理与应急预案

对井喷、卡钻、落物等常见事故进行全面风险识别与分级, 评估事故发生的概率以及可能造成的影响程度, 为后续制定应对措施提供依据。针对不同风险制定详细的应急预案, 设计科学合理的处置流程。例如, 针对井喷风险, 建立井控设备快速响应机制, 确保在井喷发生时能够迅速启动井控设备, 控制井口压力, 防止事故扩大。定期组织应急演练, 每季度开展一次, 通过演练检验应急预案的可行性与有效性。演练结束后及时总结经验教训, 对应急预案进行优化完善, 不断提高应对

突发事件的能力。

2 修井技术优化措施

2.1 打捞技术优化

在打捞作业中，工具组合创新是提升打捞效果的关键。将母锥与扶正器搭配使用，在打捞大套管内落物时，扶正器能够确保母锥准确对准落物，大大提升落物结合的稳定性，减少打捞过程中的晃动与偏移，提高打捞成功率^[2]。震击器一体化设计则实现了打捞与解卡功能的同步操作，在打捞过程中，若遇到落物卡阻情况，震击器可立即发挥作用，通过震动冲击使落物松动，无需额外操作解卡工具，有效缩短作业时间，提升作业效率。面对复杂落物情况，需采用针对性处理方式。对于弯曲杆类落物，使用带拨钩引鞋卡瓦打捞筒，拨钩引鞋能够引导打捞筒准确套住落物，卡瓦则可牢固抓取落物，防止再次脱落。当遇到压实落物时，采用套铣筒与磁铁打捞器组合工艺，套铣筒先对压实落物进行套铣，将其破碎成小块，随后磁铁打捞器利用磁力将带有磁性的碎块吸出，完成打捞作业。

2.2 套管修复技术升级

准确诊断套管损坏类型是进行修复的前提。通过详细分析测井数据，能够精准识别套管存在的错断、变形、漏失等缺陷，为后续选择合适的修复工艺提供可靠依据。针对不同损坏程度的套管，需选择相应的修复工艺。对于轻微变形的套管，采用机械整形与膨胀管补贴相结合的方法，机械整形先将变形部位恢复至大致原状，膨胀管补贴则进一步加固套管，增强强度与密封性。若套管严重破损，则需侧钻新井眼，在侧钻过程中，严格控制侧钻点深度，确保深度误差不超过0.5米，保证新井眼的位置准确，为后续作业奠定良好基础。

2.3 动力系统性能提升

对修井机进行变频驱动改造，能够简化修井机结构，减少不必要的零部件，降低设备故障发生率，进而降低维护成本。维护周期可延长至500小时，减少设备停机维护时间，提高设备利用率。动力匹配优化也是提升作业效率的重要手段。根据井深、管柱重量等实际情况，合理调整变速箱档位，使动力输出与作业需求相匹配，避免动力浪费或不足，确保作业过程顺畅高效。

2.4 清砂与防砂技术改进

高效清砂工艺能够快速清除井内砂粒。水力冲砂时，保持排量不低于30立方米每小时，强大的水流冲击力可将砂粒迅速冲散并带出井口，砂粒清除率可达95%以上。机械捞砂配合刮削器使用，刮削器可清理井壁附着的砂层，机械捞砂工具则将井内剩余砂粒捞出，实现全

面清砂。防砂措施优化可延长油井生产周期。

3 质量评估与持续改进

3.1 数据驱动的质量分析

在修井作业质量管控中，建立全面且详细的作业数据库是关键一步。数据库涵盖返工工序、返工井以及事故井等多方面数据。对返工工序数据进行分析，能清晰了解哪些工序容易出现问题，例如打捞工序、套管修复工序等，明确问题出现的频次与具体环节^[3]。针对返工井数据，可探究哪些井况因素导致返工情况增多，是地层复杂、井深过大，还是其他原因。事故井数据则能反映出作业过程中的安全风险点以及可能引发事故的操作行为。通过先进的数据挖掘技术，对这些海量数据进行深入剖析，能够精准识别出高频问题。打捞失败率是衡量打捞技术效果的重要指标，若数据挖掘发现某段时间内打捞失败率呈上升趋势，就需要进一步分析是工具选择不当、操作方法有误，还是地层条件变化导致。套管修复周期过长也是一个常见问题，通过数据挖掘可以找出影响修复周期的关键因素，是修复工艺不够高效，还是设备性能不足，从而为后续改进提供方向。

3.2 技术迭代机制

定期对修井技术适用性进行全面评估是推动技术进步的重要举措。随着井况日益复杂，一些曾经有效的工具与工艺可能逐渐难以满足作业需求。通过评估，及时发现那些效率低下、效果不佳的工具与工艺，果断予以淘汰。组织技术人员参与行业专题研讨，分享一线实践心得并吸纳前沿理念，结合具体作业反馈优化技术细节。结合现场试验数据调整技术参数，让创新成果更贴合实际作业需求。例如，某些传统打捞工具在面对新型落物时可能无法有效抓取，此时就需要寻找更合适的替代工具。引入大数据共享平台为技术迭代提供了强大助力。在这个平台上，可以获取行业内最新的技术动态与先进经验。

3.3 成本与效益平衡

优化资源配置是降低单井修井成本的有效途径。对人员、设备、材料等资源进行合理调配，避免资源浪费与闲置。例如，根据不同作业任务的需求，灵活安排人员数量与技能组合，确保人员效率最大化。合理规划设备使用时间与维护周期，延长设备使用寿命，降低设备购置与维修成本。提升作业成功率对于减少非计划停产时间至关重要。作业成功率的提高意味着能够按计划完成修井任务，避免因作业失败导致的二次返工与长时间停产。这不仅减少了人力、物力的额外投入，还能保证油井尽快恢复正常生产，提高生产效率，增加经济效

益。通过不断提升作业质量与效率,实现成本与效益的平衡,推动修井作业向更高水平发展。

4 修井作业发展趋势与未来展望

4.1 行业发展趋势分析

当前,石油井下修井作业领域正朝着智能化、绿色化、高效化的方向加速转型。在智能化方面,随着物联网、大数据、人工智能等技术与修井作业的深度融合,智能监测、智能决策、智能操作成为可能。例如,通过在井下部署多参数传感器,可实时采集地层压力、温度、井壁状况等数据,经云端平台分析处理后,为作业方案调整提供精准依据;智能修井机器人的研发与应用,能够替代人工完成高危、重复的作业环节,降低人为操作误差^[4]。在绿色化方面,环保法规的日益严格推动修井作业从“末端治理”向“源头防控”转变,低污染修井液研发、废弃物资源化利用、清洁作业设备推广等成为行业共识,以减少作业对土壤、水体、大气的污染。在高效化方面,随着深层、超深层油气资源开发力度加大,复杂井况下的修井需求激增,对修井技术的高效性、可靠性提出了更高要求,集成化技术、快速作业工艺成为技术研发的重点方向。

4.2 面临的挑战与应对思路

修井作业在发展过程中仍面临诸多挑战:一是复杂井况处理能力不足,深层井、水平井、多分支井的井身结构复杂,易出现套管变形、落物卡阻等疑难问题,现有技术难以快速有效解决;二是智能化技术应用成本较高,智能设备研发、数据平台建设需要大量资金投入,部分中小型企业难以承担;三是专业人才短缺,既掌握修井技术又熟悉智能化技术的复合型人才匮乏,制约了技术升级与管理优化。针对这些挑战,需从技术研发、成本控制、人才培养三方面制定应对思路。在技术研发上,建立“企业主导、高校参与、科研院所支撑”的产学研合作机制,集中优势资源攻克复杂井况处理、智能装备研发等关键技术,提升核心技术竞争力;在成本控制上,推动智能技术的模块化、标准化发展,降低设备研发与应用成本,通过技术升级提高作业效率,以规模效应摊薄单井作业成本;在人才培养上,高校与企业开展定向合作,调整专业课程设置,增加智能化技术、大数据分析等相关内容,企业应加

强内部培训,通过“师带徒”“技能竞赛”等方式,提升现有人员的专业素养。

4.3 未来发展路径探索

未来,修井作业可从以下几方面构建发展路径:一是构建智能修井作业体系,整合井下监测系统、地面控制系统、数据管理平台,实现“数据采集—分析决策—执行反馈”的全流程智能化,例如通过人工智能算法自动匹配修井工具与工艺参数,提升作业的精准性与效率;二是完善绿色修井标准体系,制定修井液环保指标、废弃物处理规范、清洁作业操作流程等标准,推动环保技术与设备的普及应用,实现修井作业与生态环境的协调发展;三是建立全生命周期服务模式,从油井投产前的预防措施制定,到生产过程中的故障预警,再到修井后的效果评估与维护建议,为油井提供全流程服务,延长油井使用寿命,提升油气开发的整体效益;四是加强国际技术交流与合作,引进国外先进的修井技术与管理经验,结合我国油井特点进行消化吸收与创新,推动我国修井作业技术水平跻身国际先进行列^[5]。

结束语

修井作业作为油气田开发的重要环节,其管理水平与技术能力直接影响开发效益。通过完善管理体系、优化技术措施、强化质量监控,能够有效提升作业成功率和经济效益。持续推进管理创新与技术改进,必将为油气田可持续发展提供坚实保障,在油田开发中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]纪红军.石油井下修井作业管理方法及修井技术优化分析[J].工程技术研究,2024,6(14):84-86.
- [2]闫长政.石油井下修井作业管理方法及修井技术优化探讨[J].中国化工贸易,2021(21):42-43.
- [3]杨守忠,张立鹏,杨祥成,等.石油井下修井作业管理及修井技术优化[J].车时代,2021(12):77-78.
- [4]宋鹏涛,项佰川.石油井下修井作业的管理方法与修井技术优化对策分析[J].现代盐化工,2021,48(04):108-109.
- [5]周阳.石油井下修井作业管理措施及修井技术优化分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(3):71-72.