

高粘稠油井工艺优化与工程管理研究

杨智磊 章争光

江苏兴油劳务技术服务有限责任公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8877

[摘要] 针对我国陆上稠油油田井筒举升难度大、躺井频发、免修期偏短等突出难题，结合高粘稠油井开发的实际工况，开展工艺优化与工程管理协同研究。本文首先系统剖析稠油井躺井的核心诱因及现有降粘技术的薄弱环节，借助数值模拟手段明确稠油入泵及井筒举升的流动规律，设计泵筒-油管一体化降粘工艺方案，构建科学完善的效果评价体系并开展矿场应用，同时配套健全工程管理措施，实现工艺优化与管理提升的协同发力。研究结果显示，优化后的一体化降粘工艺可有效破解常规技术存在的泵内降粘盲区问题，显著降低井筒举升阻力与药剂消耗成本，结合精细化工程管理，能够使稠油井躺井率下降30%以上，泵效提升15%以上，延长油井免修周期，提升开发综合效益。本文研究成果可为高粘稠油井高效、稳定开发提供技术支撑与管理参考，具备较强的现场应用价值。

[关键词] 高粘稠油井；工艺优化；一体化降粘；工程管理；防躺井；泵效提升

Research on Process Optimization and Engineering Management for High-Viscosity Oil Wells

Yang Zhilei Zhang Zhengguang

Jiangsu Xingyou Labor Service Technology Co., Ltd.

[Abstract] Addressing prominent challenges in China's onshore heavy oil fields—including significant wellbore lifting difficulties, frequent well collapse incidents, and short maintenance-free periods—we conducted a collaborative study on process optimization and engineering management tailored to the operational realities of high-viscosity oil wells. This paper first systematically analyzes the core causes of well collapse and the limitations of existing viscosity reduction technologies. Using numerical simulations, we elucidated the flow dynamics of heavy oil entering pumps and during wellbore lifting processes, developed an integrated pump-pipe viscosity reduction strategy, established a comprehensive performance evaluation system, and implemented it in field operations alongside robust engineering management measures to synergize process improvement with management enhancement. Results demonstrate that the optimized integrated viscosity reduction process effectively addresses the blind spots in conventional in-pump viscosity reduction techniques, significantly reduces lifting resistance and chemical consumption costs, and—when combined with refined engineering management—can lower well collapse rates by over 30%, improve pump efficiency by more than 15%, extend maintenance-free intervals, and enhance overall development profitability. These findings provide crucial technical support and management insights for efficient, stable development of high-viscosity oil wells, demonstrating strong practical applicability.

[Key words] High-viscosity oil wells; Process optimization; Integrated viscosity reduction; Engineering management; Well stabilization; Pump efficiency improvement

引言

我国稠油资源探明储量十分丰富，约占石油总资源量的

20%以上，陆上稠油油田在我国石油开发领域占据重要地位。

但高粘稠油井开发过程中普遍面临诸多技术瓶颈，其中井筒举

升困难、躺井率偏高、免修期较短，已成为制约稠油高效开发的核心问题。稠油自身粘度高、流动性差，导致油管内稠油粘滞阻力过大、泵筒内稠油入泵受阻，进而引发泵效偏低、卡泵等故障频发，最终导致油井躺井现象反复出现，不仅增加作业成本，还严重影响开发经济效益。

目前，现场广泛应用的常规化学降粘、井筒加热等技术，存在药剂用量偏大、运行成本较高、泵内降粘效果不佳、作业频次偏高等明显缺陷，难以适配高粘稠油井复杂的现场工况，无法从根源上解决躺井问题。同时，多数油田在高粘稠油井开发过程中，存在工艺应用与工程管理相互脱节的现象，缺乏完善的工艺实施管控机制和科学的效果评价体系，进一步制约了技术应用成效的充分发挥。

1 高粘稠油井开发现状及核心问题分析

1.1 开发现状

我国陆上稠油油田分布广泛，经过多年开发，部分油田已进入开发中后期，稠油开采难度持续加大。当前高粘稠油井开发主要采用机械举升方式，配套化学降粘、井筒加热等辅助技术，但整体开发效果不理想，突出表现为躺井率居高不下、油井免修期偏短、泵效偏低，部分油田稠油井年躺井率超过40%，免修期不足3个月，严重制约了稠油开发的经济效益。同时，在“双碳”目标引领下，稠油开发还面临节能减排的新挑战，常规热采技术能耗偏高的问题日益凸显。

1.2 核心问题分析

通过对目标油田稠油井全生命周期生产数据的统计分析，明确高粘稠油井开发的核心问题主要集中在两个方面：一是工艺层面，油管内稠油粘滞阻力过大、泵筒内稠油入泵困难，常规降粘技术存在泵内降粘盲区，无法实现全井筒全流程降粘，导致泵效低下、卡泵频繁，这是引发躺井的直接原因；二是管理层面上，缺乏完善的工艺实施管控体系，对降粘药剂注入、泵阀运行状态等关键环节监测不到位，工艺参数调整不及时，同时缺乏科学的效果评价机制，无法及时发现并解决工艺应用过程中出现的问题，导致工艺优化效果难以充分发挥。

此外，常规降粘技术还存在药剂利用率低、运行成本偏高的问题，如化学降粘技术需大量注入药剂，不仅增加开发成本，还可能对地层造成污染；井筒加热技术能耗高、热损失严重，无法实现精准加热，降粘效果有限，进一步加剧了高粘稠油井开发的困境。

2 高粘稠油井工艺优化设计

结合高粘稠油井开发核心问题，围绕“全井筒全流程降粘、降低举升阻力、提升泵效、减少躺井”的核心目标，开展泵筒-油管一体化降粘工艺优化设计，具体包括以下四个方面。

2.1 躺井诱因与降粘技术适应性评价

基于目标油田稠油井生产数据，系统统计躺井发生的时间分布、频次及空间特征，深入剖析躺井的核心诱因，明确油管粘滞阻力过大、泵筒入泵困难、卡泵、泵效偏低等是导致躺井的主要因素，其中泵筒内降粘不足是核心短板。同时，对现有化学降粘、井筒加热等技术进行适应性评估，明确各类技术的适用范围、优势及存在的不足，为一体化降粘工艺设计提供依据。通过评估发现，常规技术普遍存在降粘范围有限、针对性不强的问题，无法同时满足泵筒与油管的降粘需求。

2.2 稠油流动规律数值模拟

运用数值模拟技术，构建稠油在油管内的举升流动模型与泵筒内的入泵-排液动态模型，模拟不同粘度、不同工艺参数下稠油的流动状态，明确稠油流动阻力、泵阀启闭特性、泵效变化规律及举升系统载荷分布情况。模拟结果表明，稠油粘度越高，流动阻力越大，泵阀启闭延迟越明显，泵效越低；泵内流道结构不合理会加剧稠油滞留，进一步降低入泵效率。通过数值模拟，确定了影响稠油流动和泵效的关键参数，为工艺方案优化提供了可靠的数据支撑。

2.3 一体化降粘工艺方案设计

针对油管与泵筒的不同流动特征，研发“井下靶向加药+泵内流道优化+井筒伴热辅助”的一体化降粘工艺。井下靶向加药技术优化药剂注入位置，将药剂精准注入泵筒入口及油管关键部位，避免药剂浪费，提升药剂利用率；泵内流道优化通过改进泵筒、泵阀结构，减少稠油滞留量，降低入泵阻力，改善泵阀启闭特性；井筒伴热辅助采用精准加热技术，降低油管内稠油粘度，减少流动阻力，与靶向加药、流道优化形成协同效应，实现全井筒全流程降粘。同时，完成核心工具结构优化与工艺参数设计，确定最优药剂注入量、加热温度、泵阀参数等，确保工艺适配现场实际工况。

2.4 工艺效果评价体系构建

建立以“降粘率、泵效提升率、免修期延长率、躺井率降幅”为核心的效果评价指标体系，明确各指标的计算方法和评价标准。降粘率主要衡量稠油粘度降低程度，泵效提升率反映工艺对泵效的改善效果，免修期延长率和躺井率降幅体现工艺的防躺井成效。通过室内实验与数值模拟，优化工艺参数，验证评价体系的科学性和合理性，为工艺现场应用及效果评估提供可靠依据。

3 高粘稠油井工程管理优化措施

工艺优化的成效离不开科学的工程管理，结合高粘稠油井工艺特点，从管控体系、监测机制、人员管理三个维度，完善工程管理措施，实现工艺与管理的协同优化。

3.1 建立完善的工艺实施管控体系

制定一体化降粘工艺实施细则，明确工艺施工程序、操作

标准、质量要求及责任分工,规范药剂注入、工具安装、参数调整等关键环节的操作行为,避免因操作不规范导致工艺效果下降。建立工艺实施全过程管控机制,加强对施工质量监督检查,及时发现并整改施工过程中出现的问题,确保工艺按照优化方案落地实施。同时,优化成本管控体系,合理控制药剂用量、加热能耗等,降低开发成本,提升经济效益。

3.2 构建精准的监测与预警机制

安装完善的监测设备,对油井运行参数(如稠油粘度、泵效、压力、温度)、药剂注入量、泵阀运行状态等进行实时监测,建立监测数据台账,实现数据的实时采集、分析与存储。利用数据分析技术,对监测数据进行深度挖掘,识别工艺运行过程中的异常情况,如药剂注入不足、泵阀故障、粘度异常升高等,及时发出预警信号,通知工作人员及时处理,避免因异常情况未及时处置导致躺井。同时,定期对监测设备进行维护校准,确保监测数据的准确性和可靠性。

3.3 加强人员培训与技术管理

开展针对性的人员培训,提高操作人员对一体化降粘工艺、监测设备、操作规范的掌握程度,提升操作技能和应急处理能力,确保操作人员能够熟练完成工艺操作和异常处置。建立技术交流机制,组织技术人员开展工艺优化、管理经验交流活动,借鉴先进油田的成功经验,不断优化工艺方案和管理措施。同时,建立技术档案,对工艺优化过程、实施效果、监测数据等进行详细记录,为后续工艺优化和管理提升提供参考依据。

4 矿场应用实例

为验证工艺优化与工程管理措施的有效性,在目标油田选取10口高粘稠油井开展矿场试验,试验周期为6个月。试验过程中,严格按照优化后的一体化降粘工艺实施,配套完善工程管理措施,实时监测油井运行状态,及时调整工艺参数。

试验结果表明,优化后的一体化降粘工艺与工程管理措施应用成效显著:10口试验井平均降粘率达到42.3%,泵效从原来的58.7%提升至75.2%,平均免修期从2.8个月延长至5.1个月,躺井率从41.2%降至28.5%,降幅达30.8%。同时,药剂利用率提升35%以上,单井日均药剂消耗减少28%,运行成本显著降低,实现了降本增效的目标。试验结果验证了工艺优化方案的可行性和工程管理措施的有效性,可在目标油田及类似高粘稠油井规模化推广应用。

5 结论与展望

5.1 结论

本文围绕高粘稠油井工艺优化与工程管理展开研究,通过

系统分析稠油井开发核心问题,设计泵筒-油管一体化降粘工艺方案,构建效果评价体系,配套完善工程管理措施,结合矿场试验验证,得出以下结论:

(1) 高粘稠油井躺井的核心诱因是油管内稠油粘滞阻力过大、泵筒内稠油入泵困难,常规降粘技术存在泵内降粘盲区、药剂利用率低等短板,且工艺应用与工程管理脱节,影响开发效果;

(2) 优化设计的“井下靶向加药+泵内流道优化+井筒伴热辅助”一体化降粘工艺,能够有效解决常规技术的不足,实现全井筒全流程降粘,显著降低举升阻力和药剂成本;

(3) 完善的工程管理措施(管控体系、监测预警、人员培训)能够保障工艺优化效果充分发挥,与工艺优化协同发力,可显著降低躺井率、提升泵效、延长油井免修期,实现降本增效;

(4) 矿场试验验证了工艺优化与工程管理措施的有效性,研究成果具备较强的现场应用价值,可规模化推广。

5.2 展望

随着稠油开发难度的不断加大,未来可进一步结合智能化技术,研发智能化的一体化降粘工艺与管理系统,实现工艺参数的自动调整和油井运行状态的智能监测、预警,提升开发智能化水平;同时,可深入研究新型降粘药剂和节能加热技术,进一步降低运行成本,实现高粘稠油井的绿色、高效、可持续开发。

[参考文献]

- [1]张福兴,赵超,刘福顺,等.稠油油藏井下电加热提升蒸汽干度提高采收率技术[J].石油钻探技术,2025,53(0):1-6.
- [2]唐晓东,邓刘扬,李晶晶,等.稠油降粘技术研究进展与应用[J].精细化工,2016,33(6):625-632.
- [3]郭继香,杨裔琦,张江伟,等.新型稠油降粘剂的合成及性能评价[J].精细化工,2017,34(3):289-294.
- [4]王宁,陈翔宇,夏淑倩.稠油井躺井诱因分析及防躺井技术优化[J].石油化工应用,2021,40(5):112-116.
- [5]吴春元,苏高申,陈思雅,等.稠油举升系统优化及应用研究[J].石油机械,2021,49(6):89-94.
- [6]翟怀建,赵静.环糊精材料在稠油降粘中的应用研究[J].精细化工,2024,41(4):789-795.
- [7]孙彩霞,马浩,于福策,等.稠油一体化降粘工艺优化与矿场应用[J].油田化学,2024,41(4):678-683.
- [8]李建明,张宏,刘军.高粘稠油井工程管理优化措施研究[J].石油工程建设,2022,48(3):78-82.