

中东地区油田大规模快速上产地面工程关键技术应用 及其经济效益分析

许国栋 王 坤 (中国石油天然气股份有限公司规划总院, 北京 100083)

摘要: 作为全球油气资源最丰富的区域, 中东地区的油田开发对世界能源供应具有战略意义。本文针对中东复杂的碳酸盐岩油藏的地质特性, 开展大规模快速上产油田地面工程的关键技术及其经济效益分析的研究。通过分析模块化设计、数字孪生、智能完井等先进技术在中东地区油田的应用分析, 提出了适合中东地区特点的地面工程方案, 对提高油田开发效率、降低成本和实现可持续开发具有重要指导意义。

关键词: 中东地区; 油田; 大规模快速上产; 地面工程; 关键技术; 经济效益

中图分类号: TE4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 031-0051-03

Application of Key Technologies in Large-Scale Rapid Production Increase Surface Engineering for Oilfields in the Middle East and Analysis of Their Economic Benefits

XU Guodong, Wang Kun (PetroChina Planning and Engineering Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: As the region with the richest oil and gas resources globally, oilfield development in the Middle East holds strategic significance for the world's energy supply. Targeting the complex geological characteristics of carbonate reservoirs in the Middle East, this paper conducts research on the key technologies and their economic benefits in large-scale rapid production increase surface engineering for oilfields. By analyzing the application of advanced technologies such as modular design, digital twins, and intelligent well completion in Middle Eastern oilfields, surface engineering schemes suitable for the characteristics of the region are proposed. This holds important guiding significance for improving oilfield development efficiency, reducing costs, and achieving sustainable development.

Keywords: Middle East; Oilfield; Large-scale rapid production increase; Surface engineering; Key technologies; Economic benefits

中东地区在世界能源格局中占据着举足轻重的地位, 其石油可采储量占全球的 42.7%, 产量占 34.5%, 一直是世界各国竞相争夺的高端油气市场。近年来, 随着全球能源需求的持续增长, 中东地区油田的高效开发成为保障世界能源安全的关键。然而, 中东碳酸盐岩油藏具有储层巨厚 (400–500m)、隔夹层隐蔽 (与储层电性相近)、喉管发育 (渗透率极差达万倍) 以及喉管结构复杂 (0.1–100 μm 间多峰分布) 等特点, 这些地质特征给油田地面工程带来了巨大挑战^[1]。因此, 传统的油田地面工程技术无法适应中东地区特殊的地质条件。首先, 衰竭开采压降快, 需注水来补充能量; 其次, 常规采用的笼统注采的剖面动用欠佳, 导致含水上升快; 最后, 当含水量达到 30% 时, 高盐高硫流体会加速设备腐蚀。因此, 针对中东地区复杂的地质条件和开发环境, 研究大规模快速上产油田地面工程关键技术, 提高成品油品质, 具有重要的实践意义和经济效益。本文在分析中东地区地址特征和油藏特性的基础上, 结合中东地区油气合作项目实践经验, 总结快速规模上产的先进技术及经济效益分析, 探讨未来中东地区油气合作业务技术创新与工程

管理相融合的发展趋势, 为中东地区油田高效开发提供技术参考。

1 中东地区地质特征与油藏特性分析

中东地区的地质特征极为复杂, 油气储层以碳酸盐岩为主^[2]。研究显示, 该地区储层具有明显的非均质性, 孔喉结构从陆表海缓坡到边缘台地呈现复杂的“单模态–复模态–多模态”特征, 以及多种孔喉相互嵌套的微观特征^[3]。这种复杂的孔喉结构直接影响了油藏的渗流特性和开发效果。

表 1 中东碳酸盐岩油藏地质特征表

特征参数	典型范围	对开发的影响
储层厚度	400-500m	需要立体井网整体协同动用
渗透率极差	达万倍	易形成喉管, 剖面动用程度低
喉管结构	0.1-100 μm 多峰分布	水驱效率差异大
隔夹层特征	与储层电性相近	识别和刻画难度大

巨厚碳酸盐岩油藏具有强烈的非均质性, 这致使在油田开采过程中存在三大挑战。第一, 纵向动用程度低。传统笼统注采的剖面动用程度仅 35% 左右。第二, 含水上升快。含水量一旦突破 30%, 高盐高硫流体将使设备加速腐蚀。第三, 常规注水效果差, 需要

针对不同层系制定不同的注水策略。针对这些挑战，研究人员通过加强科技研发，为中东地区油田大规模快速上产做出了积极贡献，在提高产油量的同时，还实现了较好的成本控制，有效改善了油田的经济效益。

2 快速上产地面工程关键技术应用及其经济效益分析

2.1 模块化设计技术

中东地区油田地面工程面临时间紧、任务重的挑战，传统施工模式难以满足快速上产的要求^[4]。模块化设计技术通过将地面设施分解为标准化的模块，在工厂内预制完成，然后运输到现场进行组装，大幅缩短了施工周期。实验数据显示，模块化技术可使现场施工时间减少60%，成本降低25%以上^[5]。模块化设计的核心优势在于：①并行作业，工厂预制与现场基础施工可同步进行；②质量可控，工厂环境下的预制质量优于现场施工；③环境影响小，减少了现场作业人员和施工设备带来的环境扰动。

例如，在沙特阿拉伯的某海上油田开发中，技术人员采用模块化电站和快装式处理设施，实现了油田的快速投产，缩短了施工时间45%，有效加快了量产进程。该油田通过实施模块化技术，产量提高了25%，达到每天14万桶，并支持到2027年将其产能提高到每天500万桶的目标，极大了提高了该油田的经济效益。此外，模块化技术还能与数字化交付相结合，形成了完整的数字孪生系统。在数字孪生系统中，每个物理模块都对应一个数字模型，为后续的智能运维提供了基础。在阿布扎比国油的某油田项目中，模块化设计与人工智能驱动的远程操作相结合，使运营效率提升了30%以上，经济效益得到显著改善。

2.2 数字孪生技术

数字孪生技术是中东地区油田地面工程的创新技术。该技术通过构建物理设施的高精度数字模型，实现实时监控、模拟仿真和优化决策。数字孪生技术的核心价值在于：①预测性维护，通过分析设备运行数据，提前发现潜在故障；②生产优化，通过模拟不同生产方案，选择最优操作参数；③安全管理，实时监控危险区域，减少现场作业风险。技术人员开发的信息化工具，能够处理钻机和油井的数据，提高钻井效率和优化操作。实验表明，这些数字工具可使钻井效率提高15%以上，非作业时间降低60%，对油田控制成本起到重要作用。

在沙特阿拉伯的某油田中，技术人员利用数字孪生技术构建了远程控制中心，在20km外的控制中心远程操作油田生产，实现了远程监控、智能井操作和生产管理的集成，使油田的经济效益提高了25%以上

^[6]。沙特阿拉伯的沙特阿美公司基于数字孪生技术与井下工艺的结合创新，提出了用于井缓解和储层处理的井下化学品储存方法，通过在径向隧道中安装化学品储存组件，实现化学品向井中的精确喷射，大大提高了化学驱的效果。这一技术与地面数字孪生系统结合，形成了完整的井筒-地面一体化优化体系，有效控制了油田的成本，使油田的经济效益得到显著改善。

2.3 智能完井技术

智能完井技术是中东地区实现油田快速上产的关键技术之一。技术人员针对油田所研发的自适应流入控制阀（AICD）技术，能够通过自动调控水和气体进程，均衡压差，提升石油产量，延长油井的经济寿命^[7]。模拟结果显示，智能完井技术虽然在与常规完井在井生命周期早期效果相近，但在中后期能够显著抑制含水上升，提高采收率，降低油田后期的运营成本^[8]。

某公司开发的智能完井技术在中东地区的应用中取得了显著效果。该智能完井技术可以解决常见的井筒完整性问题。与传统的跨座式钻井相比，智能完井技术的流动面积增加了700%。在沙特一家大型运营商的应用中，两套智能完井技术跨接井被在线部署，使作业者能够隔离几个射孔段，关闭产水层。测试结果显示，该技术使油田的产水量减少31%，产油量增加1400桶/天，油田的经济效益提高15%以上。

此外，技术人员通过将智能完井技术与三维立体井网相结合，形成了巨厚油藏高效开发模式。通过利用沉积成岩共同控制的相互交叉叠置的隐蔽隔夹层将主力层划分为多套层系，发展了均衡驱替、边缘递进及重力托浮的三种高效开发模式，在伊拉克的某油田中进行应用，使纵向动用程度由35%提高到80%以上，大大提高了该油田的智能化水平，显著改善了该油田的经济效益。

2.4 集输系统工艺包

中东地区大型油田多为巨厚碳酸盐岩油藏，伴随原油产出的伴生气中硫化氢（H₂S）浓度高，采出水中同样富含H₂S和溶解盐，腐蚀性强。若处理不当，不仅会导致产品不合格，无法满足商品规格，更会严重威胁安全生产，造成设备腐蚀穿孔和环境泄漏事故。传统的、根据其他地区经验“拼凑”而成的处理方案在此地往往“水土不服”：要么处理深度不够，产品指标波动大；要么设计裕量过大，导致设备投资和运营成本高昂，无法满足当前低油价背景下对投资回报率的极致追求。因此，开发一套技术先进、经济高效且高度标准化的集输系统工艺包，对于缩短工程建设周期、控制工程投资、确保油田全生命周期安全稳定运行至关重要。

某公司设计的中东地区大型油田集输系统工艺包,是该油田整个地面工程的“动脉系统”。针对高含硫原油易析出单质硫、易造成管线腐蚀和堵塞的风险,工艺包通过模拟软件,对井口回压、管线温降、流态变化等进行精确计算与优化,实现智能化的控制,有效节约了人力物力。该系统创新性地采用了多相混输与井口化学剂注入(如缓蚀剂、阻垢剂)相结合的集成设计,合理确定管径、保温方案和清管策略,在保证安全输送的前提下,最大限度减少中间增压站和加热站,简化了场站布局,显著降低了长距离集输管网的初始投资和后期运营成本,显著改善了该油田的经济效益。

2.5 静电聚结高效分离技术

静电聚结高效分离技术的原理是,通过施加高压电场,使原油中微小的水滴极化、带电并发生碰撞,进而聚结成更大的水滴,再利用重力差实现油水快速、高效的分离。在中东油田的应用中,该技术因其处理量大、效率高、化学药剂依赖少等优势,成为解决高含硫、高盐原油处理难题的关键。静电聚结高效分离技术特别适用于空间宝贵的海上平台和沙漠厂区,其紧凑的模块化设计能直接集成到现有处理设施中,实现对高稳定性乳状液的高效破乳,显著提升原油品质,为油田快速上产和降低运营成本提供了重要技术支撑。

某油田是中东地区典型的巨厚碳酸盐岩油藏,其原油物性差,具有高含硫、高蜡、胶质沥青质含量高的特点,形成的乳状液极其稳定。在二期项目快速上产的要求下,传统的热化学沉降脱水工艺面临严峻挑战:一是需要建造体积庞大的沉降罐群,占地面积大,建设周期长;二是破乳剂投加量大,不仅增加了运营成本,过量药剂还可能影响后续脱盐效果并造成油泥堆积;三是分离精度有限,难以稳定地将原油含水率处理至外输要求的 $<0.1\%$ 。为解决这一瓶颈,技术人员创新性地引入了立式静电聚结高效脱水器作为二级脱水核心设备。其具体应用流程与成效如下:①工艺流程集成:经过一级分离后的原油(含水率约5%~10%),首先进入立式静电聚结脱水器。该设备内部装有多级高效的聚结电极模块,并配备了自主研发的高频、高压脉冲电源。原油在流经这些电极模块时,处于一个强度经过精确计算的交流电场中。②电场破乳过程:在高压交变电场作用下,原油中的微小水滴迅速发生极化,并产生剧烈的振荡。这种振荡有效削弱了包裹在水滴表面的乳化剂薄膜强度。同时,因极化产生的电吸引力使相邻的水滴相互吸引、碰撞,并最终合并成更大的水滴。这一电聚结过程在数秒内完成,将绝大部分微米级水滴转化为足以快速沉降的较大水滴。

采用静电聚结技术后,原油在脱水器内的停留时间从传统沉降所需的几十分钟缩短至几分钟,处理效率显著提升。出口原油含水率稳定保持在0.1%以下,完美满足外输要求,能显著降低油田的运营成本。

3 结束语

中东地区大规模快速上产油田地面工程关键技术研究表明,通过地质-工程-管理一体化创新,可以有效解决巨厚复杂碳酸盐岩油藏开发难题。模块化设计、数字孪生、智能完井和高效分离等核心技术,在实际应用中证明了其价值和发展潜力。这些技术进步不仅提高了油田开发效益,也为能源转型背景下的油气行业可持续发展提供了技术路径。

未来,随着人工智能、大数据、新材料等技术的不断发展,中东地区油田地面工程将更加智能化、低碳化和一体化。技术创新与商务模式的深度融合,将推动中东油气资源的高效开发,为世界能源安全作出更大贡献。同时,中东地区的成功经验也可为“一带一路”沿线其他资源国的油气合作提供重要借鉴。

参考文献:

- [1] 崔波,冯浦涌,杨浩,等.中东地区某油田碳酸盐岩酸蚀微观特征研究[J].广东石油化工学院学报,2021,31(01):29-32+36.
- [2] 吕苗苗,宋本彪,田昌炳,等.中东地区孔隙型碳酸盐岩储层渗透率主控因素分析[J].油气地质与采收率,2021,28(03):70-76.
- [3] 陈明江,程亮,陆涛.Ahdeb油田Khasib油藏孔隙结构及其对注水开发的影响[J].岩性油气藏,2020,32(03):133-143.
- [4] 余义常,郭睿,林敏捷,等.中东地区碳酸盐岩储层孔喉结构特征及开发对策——以伊拉克X油田M组为例[J].石油学报,2023,44(02):369-384.
- [5] 张硕,姜美玉,庞帅,等.模块化设计在海外油田注水泵站项目中的应用[J].北京石油化工学院学报,2020,28(04):24-28.
- [6] 冯定,王健刚,张红,等.数字孪生技术在油气钻完井工程中的应用与思考[J].石油钻探技术,2024,52(05):26-34.
- [7] 傅文伟.AICD在中东某油田适用性分析[J].全面腐蚀控制,2025,39(05):271-273.
- [8] 马颖.智能完井技术发展现状及应用前景分析[J].石油化工应用,2025,44(02):9-13.

作者简介:

许国栋(1985-),男,汉族,山东荣成人,硕士,高级工程师,主要从事油田地面工程规划设计及科研工作。