

石油工程增产措施及提高采收率技术的综合分析

韩若水

中海油能源发展股份有限公司工程技术公司 天津 300452

摘要：随着全球能源需求攀升，高效开发石油资源成为关键。压裂酸化、注水注气等增产措施通过改造储层、补充地层能量提升产量；热力采油、化学驱油等提高采收率技术，则从降低原油黏度、改变油水界面性质等角度挖掘剩余油潜力。不同技术在机理、适用场景上各有优势，将其基于油藏特性进行组合，在开发各阶段动态优化应用，可实现多技术协同增效，为石油工程稳产增产提供技术支撑，保障能源稳定供应。

关键词：石油工程；增产措施；采收率技术；综合分析

引言

在全球能源结构中，石油作为重要的战略资源，其高效开发对保障能源安全意义深远。当前，常规油气资源开发难度加大，低渗透、稠油等复杂油藏占比逐渐升高。在此背景下，石油工程增产措施与提高采收率技术的研究与应用备受关注。本文围绕压裂酸化、热力采油等核心技术展开分析，探讨不同技术的作用机理与应用场景，研究其综合应用策略，旨在为石油资源高效开发提供理论依据与实践指导。

1 石油工程增产措施分析

1.1 压裂酸化技术

压裂酸化技术通过物理与化学双重作用机制改善油层渗流条件，实现油气产能提升。在实施过程中，高压泵组将携砂液或酸液以超过地层破裂压力的流速注入目标层位，迫使岩石产生人工裂缝或扩大原有裂缝系统。携砂压裂中支撑剂的嵌入可有效防止裂缝闭合，构建高导流能力的油气运移通道；酸压工艺则利用盐酸、土酸等强酸与碳酸盐岩或硅酸盐矿物发生化学反应，溶解岩石基质，形成复杂的溶蚀孔洞网络。该技术特别适用于低渗透储层，通过大幅降低流体渗流阻力，使单井产量提升数倍甚至数十倍。近年来，随着微地震监测、数值模拟等技术的发展，压裂酸化施工已实现裂缝形态预测与参数优化，显著提高了改造效果和施工安全性。

1.2 注水注气技术

注水注气技术基于能量补充与驱替原理，维持地层压力并强化油气开采。水驱作为最广泛应用的增产手段，通过向油藏注入处理后的淡水或污水，补充地层能量，形成人工压力梯度驱动原油向生产井流动。在非均

质性较强的储层中，聚合物驱、表面活性剂驱等强化水驱技术通过改善注入流体的流度比和界面张力，扩大波及体积并降低残余油饱和度。注气工艺则适用于高气油比或低渗透油藏，其中注二氧化碳可实现降黏混相驱替，注氮气可作为惰性气体补充弹性能量。循环注气技术还能有效开采凝析气藏，防止反凝析现象导致的产能损失。先进的分层注水工艺与智能配注工具，可精准调控各层段注入量，优化驱替效率，实现不同类型油藏的高效开发。

1.3 井下作业技术

井下作业技术涵盖一系列井筒干预措施，旨在修复井筒完整性、解除近井地带污染及优化生产参数。修井作业通过机械打捞、切割、磨铣等手段处理套管损坏、落物卡阻等复杂情况，恢复井筒正常生产条件；冲砂洗井作业利用高压流体清除井底沉砂及堵塞物，保障流体通道畅通。对于出砂严重的油井，砾石充填、化学固砂等防砂技术可在筛管与地层间形成高渗透挡砂屏障，平衡防砂与产能释放的矛盾。近年来发展的连续油管作业技术，凭借其柔性输送和精准定位能力，可实施定向射孔、水力喷射压裂等复杂工艺，显著减少起下管柱时间。井下智能完井系统集成永久式压力温度传感器与可调节节流器，能够实时监测生产动态并自动调节流量，为油藏精细化管理提供技术支撑。

2 提高采收率技术分析

2.1 热力采油技术

热力采油技术通过向油藏注入热量改变原油物理性质，降低原油黏度，改善油水流动度比，从而提高原油在地层中的流动性和采收率。在稠油开采领域，蒸汽吞吐和蒸汽驱是该技术的典型应用方式。蒸汽吞吐是将高温高压蒸汽注入油井，焖井一段时间后，利用油层压力和蒸汽的热作用，使原油黏度大幅降低，随后开井生产，

基金项目：中海油能源发展股份有限公司重大专项“增储上产关键技术/产品研究重大专项”（HFKJ-ZX-GJ-2023-02）

依靠油层能量将加热降黏后的原油采出地面。这种方法操作相对灵活,对单井产能提升效果显著,可有效提高稠油开采初期产量。蒸汽驱则是在蒸汽吞吐开采一段时间后,当油井产量下降到一定程度时,将多口井分为注汽井和生产井,通过注汽井持续向油藏注入蒸汽,形成蒸汽驱替前缘,将原油驱向生产井,实现原油的连续开采,适用于大面积稠油油藏的高效开发。在超稠油开发中,原位燃烧技术也发挥着重要作用。该技术是通过点燃油层中的部分原油,利用原油燃烧产生的热量加热油藏,同时产生的高温气体和燃烧产物能够改善原油流动性,降低残余油饱和度。原位燃烧技术对油藏条件要求较高,需要精确控制燃烧过程,以避免燃烧失控或燃烧不充分等问题。热力采油技术通过改变原油的热力学状态,显著改善了稠油和超稠油的开采效果,为全球稠油资源的有效开发提供了重要技术支撑^[1]。

2.2 化学驱油技术

化学驱油技术是向油藏注入化学剂,通过改变油藏岩石-流体界面性质、调整油水流量比等方式,提高原油采收率。聚合物驱是化学驱油技术中应用较为广泛的一种方法,它通过向注入水中添加聚合物,增加注入水的黏度,降低水相渗透率,从而降低油水流量比,扩大注入水的波及体积,使注入水能够驱替到更多原本难以波及的区域,提高原油采收率。表面活性剂驱则是利用表面活性剂降低油水界面张力,使原油更容易从岩石表面剥离,形成微小油滴,被注入水携带至生产井。表面活性剂还能改变岩石表面的润湿性,使岩石从亲油转变为亲水,进一步提高原油的采收率。碱驱技术通过向油藏注入碱性化学剂,与原油中的酸性成分发生反应,生成天然表面活性剂,降低油水界面张力,改善原油的流动性。复合驱是将聚合物、表面活性剂、碱等多种化学剂按一定比例混合使用,充分发挥各化学剂的协同作用,既提高注入水的波及体积,又降低油水界面张力,实现对原油的高效驱替。化学驱油技术能够针对不同油藏特性和原油性质,选择合适的化学剂配方和驱替方式,有效提高原油采收率,在国内外众多油田的开发中取得了显著的经济效益和开发效果。

2.3 微生物采油技术

微生物采油技术利用微生物在油藏环境中的代谢活动及其代谢产物,改善原油的流动性,提高原油采收率。微生物在油藏中生长繁殖过程中,能够产生生物表面活性剂、气体、有机酸等多种代谢产物。生物表面活性剂可降低油水界面张力,使原油从岩石表面剥离;产生的气体能够增加油藏压力,推动原油流动;有机酸则

可以溶解油藏中的矿物质,扩大原油流动通道。微生物还能通过自身的生长和吸附作用,改变岩石表面的润湿性,使岩石表面从亲油转变为亲水,有利于原油的采出。在实际应用中,微生物采油技术可分为微生物强化水驱和微生物吞吐两种方式。微生物强化水驱是将筛选培养好的微生物菌液和营养液注入油藏,微生物在油藏中持续生长代谢,不断产生有利于提高原油采收率的代谢产物,实现对原油的长效驱替。微生物吞吐则是将微生物菌液和营养液注入油井,焖井一段时间后,微生物在近井地带充分发挥作用,改善近井地带原油的流动性,然后开井生产,提高单井产量。微生物采油技术具有成本低、对环境友好、适应性强等优点,尤其适用于低渗透油藏和边际油田的开发,为油田的可持续开发提供了新的技术途径^[2]。

3 石油工程增产措施及提高采收率技术的综合应用

3.1 基于油藏特性的技术组合

(1) 针对不同地质特性的油藏,技术组合需充分考虑储层渗透率、孔隙结构及流体性质等因素。对于低渗透油藏,常规注水开发效率受限,需采用水力压裂与酸化技术的组合方案。水力压裂通过高压流体在岩石中形成人工裂缝,构建油气渗流通道,酸化技术则溶解储层岩石中的堵塞物和胶结物,扩大孔隙喉道,二者协同可有效改善储层渗透性。(2) 对于稠油油藏,因其原油黏度高、流动性差的特点,热力采油技术成为关键。蒸汽吞吐和蒸汽驱技术是常用手段,前者通过向油井注入高温高压蒸汽,加热稠油降低黏度,使其易于流动产出;后者则是通过连续注入蒸汽形成热流体带,驱替原油向生产井运移。同时配合化学降黏剂的使用,进一步降低原油黏度,提升开采效果。(3) 复杂断块油藏由于构造破碎、储层分布不连续,需借助地震精细解释与油藏数值模拟技术,精准识别油藏边界与剩余油分布。在此基础上,采用定向井、水平井技术,最大限度地增加油井与油藏的接触面积,结合局部酸化压裂改造,有效提高单井产量和采收率。

3.2 不同开发阶段的技术应用

(1) 在油藏开发初期,以获取油藏基础参数和建立高效开采模式为目标。通过实施评价井和取心作业,深入了解油藏地质特征和流体性质,在此基础上设计合理的井网部署方案。采用早期注水开发技术,保持油藏能量,防止地层压力过快下降,为后续开采奠定基础,同时配合水平井技术提高单井控制储量和产能。(2) 进入开发中期,随着地层能量逐渐消耗,油井产量开始递减。此时需实施注水调整和加密井部署,优化注采系

统,提高注入水的波及效率。针对高含水油井,采用堵水调剖技术,通过注入堵剂封堵高渗透层,迫使注入水转向低渗透层,驱替剩余油。应用三次采油技术如聚合物驱,提高原油采收率。(3)开发后期,油藏综合含水率高,剩余油分布零散且开采难度大。可采用微生物采油技术,利用微生物在油藏环境中的代谢活动,降解原油、降低黏度、产生气体增加地层压力;也可实施强化采油措施,如注 CO_2 驱,利用 CO_2 的混相和非混相驱替作用,提高原油流动性,挖掘剩余油潜力,延长油藏开采寿命^[3]。

3.3 多技术协同增效

(1)地质工程一体化是实现多技术协同增效的重要途径。将地质研究成果与工程技术手段深度融合,通过地质建模和油藏数值模拟,精准刻画油藏地质特征和剩余油分布,为工程技术方案的制定提供依据。工程技术人员根据地质模型优化井位部署、压裂设计等,实现地质与工程的相互促进,提高开发效果。(2)物理化学技术协同可显著提升开采效率。例如,在水力压裂过程中,结合化学增能剂的使用,增能剂在裂缝中释放气体,增加裂缝内压力,延长裂缝有效长度和宽度,同时降低压裂液滤失,提高压裂效果。表面活性剂与聚合物协同驱油,表面活性剂降低油水界面张力,聚合物提高注入流体黏度,二者结合可有效扩大波及体积和洗油效率。(3)不同采油工艺的协同应用也是关键。将自喷采油与人工举升工艺相结合,在油藏开采初期利用自喷能量生产,降低开采成本;当自喷能力不足时,及时转换为有杆泵、电潜泵等人工举升方式,维持油井稳定生产。将注气与注水工艺协同,如交替注气注水,可改善流体流度比,提高驱油效率,实现多技术协同增效。

3.4 技术应用的动态优化

(1)油藏开发是一个动态变化的过程,实时监测油藏动态参数是技术动态优化的基础。借助先进的井下

传感器与高精度地面监测设备,全方位实时获取油藏压力、温度、含水率等关键数据,再结合油藏数值模拟技术,深入分析油藏生产动态和剩余油分布变化情况,及时发现开发过程中存在的问题。(2)基于油藏动态监测结果,对技术方案进行动态调整。当发现注水开发效果不佳,存在注水低效或无效循环时,及时调整注水方案,优化注水量和注水层位;若压裂效果未达预期,可重新评估压裂参数,调整压裂液配方和施工工艺,确保技术应用始终契合油藏实际情况。(3)随着技术的不断发展和油藏条件的变化,持续引入新技术和新工艺进行优化升级。例如,利用人工智能和大数据技术对油藏生产数据进行深度分析,建立智能预测模型,提前预判油藏动态变化趋势,为技术方案的优化提供科学依据,实现石油工程增产措施和提高采收率技术的持续改进和高效应用^[4]。

结束语

综上所述,石油工程增产措施及提高采收率技术在保障石油稳定生产、提升资源利用率方面发挥着重要作用。各类技术凭借独特的作用机制,在不同油藏条件与开发阶段展现出显著成效。通过基于油藏特性的技术组合、多技术协同及动态优化应用,实现了增产提效目标。未来,随着技术创新发展,这些技术将不断完善,为石油工业可持续发展提供更有力的技术保障。

参考文献

- [1]刘鹏.增产增效背景下提高石油管道运输安全管理措施[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(12):65-66.
- [2]康培.增产增效背景下石油管道运输安全管理水平提升措施分析[J].中国化工贸易,2022(12):85-87.
- [3]潘铎.低渗透油藏提高采收率技术研究[J].石化技术,2023,30(8):50-52.
- [4]刘小鸿,吴婷婷,葛涛涛,等.稠油和超稠油原位提高采收率技术[J].当代化工,2023,52(5):1224-1230,1235.