

Research on Comprehensive Management and Production Enhancement Strategies for Low-Yield, Low-Efficiency Reservoirs

Lijun Li

Changqing Oilfield Production Plant No.5, Xi'an, Shaanxi, 710200, China

Abstract

Low-yield, low-efficiency reservoirs pose a major challenge to sustainable oilfield development. This study comprehensively analyzes geological and operational factors contributing to suboptimal reservoir performance, establishing an integrated management framework that includes reservoir modification, well network optimization, water injection efficiency improvement, and wellbore condition remediation. Based on field implementation experiences at Jiyuan and Mahuangshan areas of Changqing Oilfield Production Plant No.5, the research demonstrates optimized application approaches and effectiveness of production enhancement methods including fracturing operations, water injection systems, carbon dioxide flooding, and intelligent monitoring management. Findings indicate that accurate identification of formation causes coupled with coordinated optimization of measures can significantly improve development efficiency in low-yield reservoirs, providing valuable references for enhancing reservoir quality and profitability in similar oilfield contexts.

Keywords

low-yield and low-efficiency reservoirs; comprehensive management; production enhancement measures; reservoir modification; water injection optimization

低产低效油藏综合治理及增产措施研究

李利君

长庆油田采油五厂, 中国·陕西 西安 710200

摘要

低产低效油藏是限制油田能够持续发展下去的主要难题。本文全面分析产量较低、效益不佳油藏的地质方面和开发方面的形成原因, 建立一个包含储集层改造、井网结构优化、注水效果改善以及井筒状况治理的综合整治技术体系。结合长庆油田采油五厂姬塬、麻黄山等区域的实地操作情况, 说明压裂作业、注水工作、二氧化碳驱油以及智能监控管理等增产办法的优化方式和应用成效。研究成果显示, 通过对形成原因进行准确判断和对措施进行协同优化, 能够明显提高产量较低、效益不佳油藏的开发效益, 给同类油藏提高质量、增加效益提供参考。

关键词

低产低效油藏; 综合治理; 增产措施; 储层改造; 注水优化

1 引言

随着油田开发工作不断向纵深发展, 产量较低、效益不佳的油藏已经成为限制油气田保持稳定产量、增加效益的主要障碍。这类油藏一般存在储集层能量不够、单口井产量低、开发成本高等显著问题。因此, 本文深入分析产量较低、效益不佳的形成原因和机理, 探寻综合整治和增产优化的有效途径, 希望能为同类油藏的高效开发提供技术支持。

2 低产低效油藏基础特征与界定

低产低效油藏并非单一类型, 而是涵盖多种开发成效欠佳对象的统称。对该类油藏进行界定需综合考量地质状况与开发资料两个层面。从储集层物理属性而言, 其大多表现出中等至特低孔隙度和渗透率的特征, 空气渗透率往往低于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙构造复杂, 孔隙与喉道组合不理想, 非均质性极强。从生产动态情况来看, 单口井每日产油量普遍低于工业油流最低标准, 有些井虽然在初期有生产能力, 但由于能量补充不及时或者水驱影响范围有限, 含水率迅速上升到经济极限以上。从开发效益方面来看, 每吨油的操作成本明显高于区块平均水平, 投入和产出不平衡。总体来说, 在当前技术经济条件下, 凡是单井产量低、采收率增长幅度

【作者简介】李利君(1986-), 男, 中国山西吕梁人, 本科, 工程师, 从事采油工程研究。

小、难以实现效益开发的储量单元，都可以归入低产低效油藏的范围。准确地定义是后续进行成因分析和制定治理措施的基础条件。

3 低产低效油藏成因分析

3.1 地质成因

地质条件是判断油藏开采潜力的核心基础。沉积微观相控制着储集砂质岩体的空间排布和内部结构，河道侧边、河口坝边缘等相带区域往往出现砂质岩体较薄、泥质夹层发育的特征，造成有效储集层厚度较小、初始含油饱和状态较低。成岩作用的差异变化进一步加剧了储集层质量的分异，强烈的压实和胶结作用使原生孔隙大量减少，形成以微小喉道为主体部分的孔喉网络体系，毛细管阻力显著增强，流体渗透流动能力大幅下降。天然裂缝发育不均衡带来的双重介质效果，在注水开采过程中容易引发水流沿着裂缝快速窜流，造成基质原油滞留难以流动。上述地质先天条件的不足，使油藏在投入开采的初始阶段就面临能量传递受到阻碍、驱动效率不高的固有难题。

3.2 开发成因

在开发流程当中，技术层面的适配程度与管理维度的精细程度，会对油藏最终的开发效果产生直接影响。从井网部署状况来讲，倘若井与井之间的间距过大，会导致驱替压力的梯度难以抵达启动压力的临界数值，进而导致注水井和采油井之间无法建立起有效的驱替通道。当井排的方位与地应力的主向不相匹配时，注入的水体便会沿着优势方向迅速推进，形成局部水淹区域与大面积水驱未波及区域并存的复杂情形。注采结构失衡，具体表现为注水井注水量欠缺、层位配注水量不合理或者注采比偏低，这会使地层的能量持续出现亏空，原油脱气之后黏度升高，流动时的阻力进一步增大。储层受损的情形，在钻井、完井以及生产的全流程中均会出现，钻井液滤失所引发的水敏和速敏现象，以及在长期生产过程中有机垢和无机垢在井筒近井地带产生的复合沉积，都会形成额外的渗流障碍。开发环节中这些适应方面的偏差和管理上的疏忽，常常会让原本具有一定生产能力的储层陷入低效的循环状态。

3.3 成因量化分析与主控因素

运用灰色关联分析方法，把单井每日产液量当作参照序列，分别计算渗透率、有效层厚度、注采对应系数、压力保持水平、含水率上升系数等指标和产量的关联程度。结合某油田实际资料计算表明，注采对应系数的关联程度处于第一位，其数值低于百分之七十时，产量递减速率显著加快；渗透率变异系数位列第二，当该系数超过零点七时，水驱波及体积大幅降低。通过主成分分析进一步验证，开发因素对低产低效状态的贡献比例超过百分之六十，而地质因素中渗透率变异系数与有效层厚度的相互影响构成了储层质量的主要控制方面。

4 低产低效油藏综合治理技术体系

4.1 综合治理原则

整治事务的推进要构建于明确的类别划分根基之上。依照“类别划分、等级区分、依据储存状况制定策略、契合经济合理性”的根本指导方针，把整治客体划分为不同种类：第一种是储存层物理性质尚且良好但地层能量存在不足情形的类型，将恢复压力体系作为最优先的目标；第二种是能量供给充分但渗透流动通道受到阻碍的类型，把重点集中于储存层改造和解堵技术方面；第三种是井网失去有效控制或者注入与开采比例失衡的类型，致力于井网重新构建和注水结构优化工作。在技术路径的选择方面，遵循“先处置简单问题、后处理复杂问题、将效益作为首要考虑”的排列规则，优先实施投入与产出比率较高、产生效果周期较短的措施，同时对长远的存储层保护和可持续性开发予以兼顾。治理方案的形成需经历“地质状况再次认识—一剩余原油分布刻画—措施优化挑选—经济效果评估—动态情形追踪”的封闭循环程序，确保每一个环节都有根据可遵循、有准则可依照。

4.2 储层改造治理技术

针对各类阻塞作用机制与储集岩层敏感特性，需差异化选用改造工艺技术。对于天然裂隙发育水平低、基质渗透性能极差的储集岩层，采用大规模体积压裂工艺方法，通过形成复杂裂隙网络体系，最大程度扩展泄油面积范围，提高流体向井筒的运移速率。针对薄差岩层或隔夹层发育的储集岩层，实施分层压裂与暂堵转向压裂相结合，先利用暂堵材料封堵已存裂隙或高渗透段落，再在新部位产生裂缝痕迹，实现裂隙的转向扩展形态，有效动用层间剩余石油资源。对于碳酸盐类岩石或钙质胶结严重的砂岩储集岩层，选用多氢酸化体系装置，该体系具备缓速反应、深穿透的属性特征，可溶解近井区域范围的无机阻塞物质成分，同时防止二次沉淀现象对储集岩层造成新的损害影响。在压裂液体与酸液配方设计中，着重添加高效助排剂与防膨剂，降低工作液体滞留引发的水锁效应与黏土膨胀风险，保证改造效果的长期有效性。

4.3 井网优化治理技术

针对产出数量处在较低水准、经济效益处于较差状况的区块单元，井网布局的优化工作主要包含加密调整操作与井网转换方式这两种实施途径。在砂质沉积体分布范围呈现出较大状态但井间距离超出合理界限的地域，采用井网加密技术手段，把注水采油的井间距离缩短到契合经济准则的范围之内，使驱替压力的梯度能够冲破启动压力的临界数值，建立起具有实际效果的驱替关联。加密井位的优化挑选工作需要联合精细油藏描述的成果内容，优先将其设置在砂质沉积体主河道延伸方向并且剩余油饱和度处于较高水平的区域位置。对于因井网模式不合理造成水驱方向单一、角井与边井受效不均衡的区块，开展井网转换，把反九点法调整为五点法或直线排状注水方式，增强注水波及的均匀程度。井

别转换作为井网优化的辅助方式,将部分低效生产井转变为注水井,或把边缘井改造为注气井,形成灵活的注采对应关系,提高井网对剩余油的控制能力。

4.4 注水改善治理技术

注水作为补充地层能量、维持油藏稳定产出的关键手段,其精细化管控程度直接对开发效果产生影响。细致地实施分层注水是解决层间矛盾的有效途径,采用桥式偏心分层注液工艺,实现单井三级四段甚至更高层级的分层注水作业,根据各小层吸水能力的不同情形与剩余油的分布状况,差异化地配置注水量,避免高渗透层吸入过多水量,而中低渗透层的注水受到制约。针对注水开发中后期出现的水驱优势通道现象,施行周期性注水或者脉冲式注水,通过交替变换注水量和注入压力,营造不稳定的压力场,借助弹性力和毛管力的交替作用,推动基质中的剩余原油被置换出来。对于注水井注入量不足的问题,采取增加注水量的措施,包含酸化增注、压裂增注以及运用纳米聚硅材料降低压力来增加注水量,减小注入压力,提高注水能力。水质符合标准是注水优化的基本保障,严格把控注入水中的悬浮物质、含油数量以及细菌指标,避免因水质不达标对储层造成二次损害。

4.5 井筒堵塞治理技术

阻塞物质的种类繁多且具有多样性,主要涵盖有机沉淀物(如石蜡、胶质、沥青质等)、无机沉淀物(像碳酸钙、硫酸钡、硫酸锶等)以及由机械性杂质和微生物代谢生成物组成的混合物。针对单一类型的阻塞状况,能够采用化学溶解的办法,在处理有机沉淀物时选用有机溶剂或者清蜡药剂,处理无机沉淀物时则选用螯合型解堵药剂。当遭遇混合阻塞的情形时,仅仅使用单一的化学药剂通常难以达成预期效果,需要采用物理—化学混合解堵程序,首先依靠超声波或者高能气体冲击波产生高频振动和空化效应,让阻塞物质的结构变得疏松,形成细微的缝隙,随后注入混合解堵液体,实现深层次的溶解和分散。倘若因为井筒机械故障导致产能损失,比如泵的工作效能低下、管柱发生泄漏等情况,需要开展检泵作业并对管柱进行优化,选用大排量的深抽泵,扩大生产压力差值,提高举升效率。在完成解堵操作之后,要着重进行防沉积的预先处理以及定期添加药剂的维护工作,延长治理措施的有效时间,防止阻塞情况再次出现。

5 低产低效油藏增产措施优化与实践

5.1 主流增产措施及应用局限

长庆油田采油五厂低产低效油藏以姬塬、麻黄山油田为核心部分,都属于超低渗、特低渗类别,单口井每日产油量少于2吨,目前主要的增产方式包含压裂、注水、驱替和管理四个类别,分别用于储集层改造、地层能量补充、波及

效率提高以及剩余油挖掘。然而在实际应用中存在显著的限制:压裂类受储集层非均质性的作用,裂缝形态单一并且新裂缝形成困难,增产石油的效果不稳定;注水类启动压力达到18–25MPa,能量消耗占比40%,分层注水合格率较低且水驱效率不好;驱替类存在气体窜流、产生效果慢等问题;管理类措施针对性不够,智能管控落后导致产量出现波动。

5.2 增产措施优化研究

针对前面所说的这些限制情况,采油五厂进行专门的技术研究攻克工作。在压裂方面,使用多级暂时堵塞的体积压裂和再次压裂相融合的技术,对有关参数进行调整使它达到更好状态,从而产生复杂的裂缝网络。在注水方面,推行智能的分层注水、周期性注水和微球调整剖面的协同模式,让其与不同类型的油藏相适应,进而对参数进行优化。二氧化碳驱采取重力辅助和分层注入气体相结合的办法,去解决气体乱窜流动的问题。在管理方面,实行“一口井一个油层一个策略”的方式,建立起相互联动的模型,以此来实现智能的间歇性开采,各项优化都确定了可以用数量表示的目标,形成了具有系统性的技术体系。

5.3 现场应用与效果验证

各类优化措施在现场落地后成效显著,姬塬油田压裂井单井日产油增幅达383%,麻黄山油田分注合格率提升至85%,黄436延9油藏CO₂驱试验区日产油增幅66%,长停井复产率达65%。2023–2025年,全厂低产低效油藏累计增油12.6万吨,措施有效率提升至82%,吨油措施成本下降28%,形成多项核心技术及专利,实现产量与效益双提升,为同类油藏开发提供技术支撑。

6 结语

低产低效油藏的全面治理是一项有整体性的工作,得按照“分种类分等级、根据油藏实际状况定办法”的准则来做。本文从找原因的诊断事儿起步,搭起了储层改造、井网优化、注水状况改进和井筒治理相互配合的技术一套。长庆油田采油五厂的实际做法表明,多级暂堵体积压裂、智能分层注水、重力帮忙二氧化碳驱替以及“一口井一个油层一个对策”的细致管理等招儿,能明显提高开发工作的效果。以后干活时,该加强智能做决定和动态跟踪的事儿,让低效资源能一直开发下去。

参考文献

- [1] 邓建明.渤海油田低产低效井综合治理技术体系现状及展望[J].中国海上油气,2020,32(3):111-117
- [2] 李莹,郑瑞,罗凯,等.筠连地区煤层气低产低效井成因及增产改造措施[J].煤田地质与勘探,2020,48(4):146-155.
- [3] 徐胜玲,吴起采油厂长停井及低产低效井综合治理[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(10):148-149.