

低渗透油藏压裂技术优化设计与经济效益评估

辛 凯(大庆油田有限责任公司开发事业部, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 低渗透油藏的主要表现为采收率低、流体流动性差, 若想全面开发该类油藏, 要采取特殊方式并持续优化压裂技术, 提升资源回报率与经济效益。本文先介绍低渗透油藏压裂技术优化设计, 通过专业研究, 将不同压裂技术进行合理比对, 明确选井选层标准并调整参数, 再以某区域低渗透油藏开采为例, 充分展现压裂技术优化调整过程, 根据相关结果, 评估其技术操作效果与经济效益。要依照低渗透油藏开采实际情况确认压裂技术, 保障压裂操作效率与效果。

关键词: 经济效益; 压裂技术优化; 低渗透油藏; 整体压裂技术

中图分类号: TE357.1 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)021-0055-03

Optimization design and economic benefit evaluation of fracturing technology in low permeability reservoirs

Xin Kai (Development Department, Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang 163000, China)

Abstract: The main manifestations of low permeability reservoirs are low recovery and poor fluid fluidity, and if we want to fully develop this type of reservoir, we need to adopt special methods and continuously optimize fracturing technology to improve resource return and economic benefits. This paper first introduces the optimal design of fracturing technology in low-permeability reservoirs, compares different fracturing technologies reasonably through professional research, clarifies the criteria for well selection and layer selection and adjusts the parameters, and then takes the exploitation of low-permeability reservoirs in a certain area as an example to fully demonstrate the optimization and adjustment process of fracturing technology, and evaluates its technical operation effect and economic benefits according to the relevant results. It is necessary to confirm the fracturing technology according to the actual situation of low permeability reservoir exploitation to ensure the efficiency and effect of fracturing operation.

Keywords: economic benefits; fracturing technology optimization; low permeability reservoirs; Integral fracturing technology

开发利用低渗透油气资源可实现我国油气资源可持续发展, 我国约44%、全球约32%的油气资源带有低渗透性质。低渗透油气资源已成为当前油气田开发主体, 在开发该类油气资源时要合理运用压裂技术, 积极挑选适宜的压裂手段。当前压裂技术存在大规模压裂、大规模整体压裂等形式, 要全面探究不同压裂手段在低渗透油藏中的开采效果, 确保油藏开采准确性、安全性。

1 低渗透油藏压裂技术优化设计

1.1 压裂技术

优化设计低渗透油藏压裂技术前, 应全面分析该技术基础情况, 明确各阶段压裂技术实际操作方案。比如, 某企业在开展低渗透油藏压裂技术操作前, 要优化调整压裂手段, 将压裂技术操作划分成不同级别, 全面提升裂缝覆盖范围、增加裂缝网络复杂性。在操作压裂技术时, 要运用地球物理数据、地质物理数据等全面找寻油层内部压力分布、物理特性, 数据指标包含原始地层压力、泊松比、岩石弹性模量, 相关数值标准分别为27500~48400kPa、0.22~0.36、10~38GPa。在明确上述参数标准后, 根据各类物理数据

变化范围, 将压裂技术划分成5个阶段, 并明确不同阶段压力方案中的系数变化。表1展现了各个阶段的裂缝预计宽度^[1]。不同阶段的缓释剂比例保持不变, 均为1.0%; 各个阶段的增粘剂比例一致, 均为3.0%; 压裂液体积随着压裂阶段的深入逐渐增加。在探究压裂液内部性质时, 发现其内部构成包含缓释剂、交联剂、裂缝宽度、增粘剂、水基液体等, 其标准数值分别为1.0%、0.5%、0.1~0.5m、3.0%、>90%, 若相关数值与该标准不符, 则要积极调整对应数值, 保障压裂液运用效果。为保障压裂操作准确性, 要全面运用实时监测技术, 将地震监测技术引入到该监测操作中, 追踪不同位置裂缝变化形态与扩展情况。当前裂缝宽度与裂缝长度变化范围分别为0.1~0.5m、100~300m, 该区域范围内存在多种丰富的油气资源, 要合理挑选并运用压裂技术。

表1 不同阶段下裂缝预计宽度变化表

不同阶段	第1阶段	第2阶段	第3阶段	第4阶段	第5阶段
裂缝预计宽度/m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

1.2 不同压裂技术比对

为保障低渗透油藏压裂技术操作效果，本文挑选了2种压裂技术，即大规模压裂技术与大规模整体压裂技术，通过对各类压裂技术的比对，确认合适压裂手段。

1.2.1 大规模压裂技术

应用该技术时可发现其处在地层分支缝、主缝相融合的位置中，需在多缝隙系统中开展持续操作，提升对人工裂缝的控制效果，扩展泄油体积，满足裂缝渗透标准。运用大规模压裂操作时，可发现裂缝延伸范围正逐渐扩大，且在远井位置保留多裂缝系统，无形中提升导流水平，有效缩减采井距离。探究大规模压裂技术操作下的油藏条件时，可发现该技术多运用在低渗透油藏中，加强低渗透油藏和该压裂手段的适应性，满足压裂技术实践操作需求。

1.2.2 大规模整体压裂技术

在了解该技术运用范围前，可发现油气井注入操作极易改变地应力，当流体注入储存层后，无形中提升孔隙压力。在孔隙压力增加基础上，地层出现膨胀，随着孔隙弹性应力增加，总应力也发生较大改变。应用大规模整体压裂技术操作时，当前井区内部高压注入点增多，不仅更好地补充地层能量，还能适时增加地应力，继而出现微裂缝，改变渗流条件^[2]。

1.3 明确选井选层标准

低渗透油藏开裂操作过程中，为保障油气资源开发利用效果，需在日常操作中明确选井选层标准，仍以大规模压裂技术、大规模整体压裂技术为例。

1.3.1 大规模压裂技术

该技术实践操作中要明确选井选层标准。依照大规模压裂技术区域改造需要、具体要求，再详细评估此前压裂效果，设计完整选井选层计划，明确选择标准。比如，要将压裂时段的控制储量调整到 3.0×10^4 t以上，且油层厚度保持在10m左右。应用大规模压裂技术的初期，其整体产量需保持在3.0t以上，采集程度要低于10%。依照上述标准，在当前操作区域内挑选3口油井，发现其主力层的发育厚度保持在28.7m，平均井距与压裂时段的控制储量分别为210m、 4.1×10^4 t，该位置的注水情况不佳，难以搭建完整驱动系统。

1.3.2 大规模整体压裂技术

探究该技术下的选井选层标准时，可发现影响该标准的主要因素为综合含水、单井措施厚度、连通方向、井组注采比、初期产量等，其数值标准分别为<60%、>10m、>2个、>1.2、>3.0t。在明确选井选层标准以后，可将大规模整体压裂技术作用到某井区附

近，其纵向位置跨度达93m左右，且层薄且数量多，注采比、连通方向，平均井距分别为1:2.0、3个、140m。根据上述内容指标，可在该位置挑选出1水3油进行大规模整体压裂，再详细探索压裂操作过程，严格规范内部性能指标变化。

1.4 参数调整

为保障压裂技术在低渗透油藏开采运用效果，确认选井选层标准后，要进行内部参数调整，明确各位置应力变化范围。仍以大规模压裂技术与大规模整体压裂技术为分析基础。

1.4.1 大规模压裂技术

在探究该技术下的工艺参数时，可发现分支裂缝的水平应力差要保持在5MPa以内，储层中的差异系数低于0.2，利用对缝内的堵漏，全面提升净压力，满足低渗透油藏开采需求。比如，某区域开展低渗透油藏压裂操作前，适时引入大规模压裂技术，其内部储层平均应力差、水平应力分别为3.97MPa、24.2-31.8MPa，应力差异的系数为0.14。在全面分析上述数据以后，发现其极易出现分支缝隙。当前该区域出现分支缝隙的核心位置为产油通道，要借助分支缝形式开展压裂支撑。还要依照区块应力场实际变化情况，综合考量历史施工情况、储层条件，制定完整全面压裂优化计划，将单井压裂液、有效的平均井措施调整到1801m³、22.9m，确保大规模压裂技术实际操作效果^[3]。

1.4.2 大规模整体压裂技术

应用该技术时，要适时探究该区域实际压裂情况。具体来看，该地区的纵向跨度较大，压裂层存在厚度薄、层级多等特征，要将压裂层划分成不同时段。比如，单井位置的平均压裂时段从1.8个提高到2.8个。在设计调整大规模整体压裂技术下的工艺参数时，要适时增加压裂规模，积极调整单井压裂液、单井加砂量、平均加砂强度，其数值分别为820m³、112m、3.3m³/m，相较于传统常规压裂技术，其分别增加领悟1.8倍、1.6倍、2.2倍。在完成大规模压裂技术、大规模整体压裂技术内部参数调整后，要全面规范不同压裂技术操作环境，积极调整低渗透油藏开采环境，满足油藏开采压裂操作需求。

1.5 结果分析

低渗透油藏压裂技术在实践操作后，要全面观察不同技术应用效果，全面分析增油效果与地层能量补充状态。

1.5.1 增油效果

运用大规模压裂技术，可发现其操作了3口油井，平均单井的增油强度、初期平均单井的增油量分别为

0.33t/d、7.6t/d, 2023年底, 单井一共增油量、单井日增油量、平均增油天数分别为2845t、4.8t、856d。使用大规模整体压裂技术后, 其操作了4口油井, 平均单井的增油强度、初期平均单井的增油量分别为0.25t/d、5.6t/d, 2023年底, 平均单井的增油量、平均单井的日增油量、平均增油天数分别为2176t、1.4t、988d, 即大规模整体压裂技术使用效果更佳。

1.5.2 地层能量补充状态

若想持续提升低渗透油藏开发利用效果, 其开发方式需始终控制压力变化范围。大规模压裂在实际操作中, 极易出现次生缝、微裂缝、分支裂缝、主裂缝等, 相关裂缝需在高地层压力内进行精准处理。

2 低渗透油藏压裂技术模拟试验

2.1 明确试验目标

为保障低渗透油藏压裂技术实践操作效果, 要对压裂技术开展模拟试验, 以明确技术操作状态。在开展试验前要设置试验目标。具体来看, 要详细比较不同压裂技术下低渗透油藏的开发状态, 再根据其获取的经济效益与技术指标, 优化调整压裂技术, 满足低渗透油藏开采需求。在当前试验中可合理运用缝网压裂技术、同步压裂技术与大规模压裂技术等。

2.2 参数设计

在开展低渗透油藏压裂技术模拟试验操作前, 要进行模型准备、模型初始化设计, 内部内容包含油藏基线数据、油藏饱和度等。在进行模拟试验时, 要依照不同压裂技术开展多次运行, 全面分析、收集各次运行以后的数据, 合理比较各类压裂技术操作效果。在当前试验操作中, 还存在1个控制组, 该组不使用技术开发模型, 即引导专业人群精准掌握自然状态下油藏回收效率。在收集处理低渗透油藏压裂技术模拟参数时, 要全面分析化学成分、流速、温度与压力等, 为此后油气资源持续性开发提供数据支持。表2展现了该试验初始阶段各项参数变化标准^[4]。

表2 该试验初始阶段各项参数变化标准表

参数名称	渗透率 / μm^2	初始温度 / $^{\circ}\text{C}$	初始压力 / kPa	孔隙率 /%
参数值	96-982	52	21543	18-34

2.3 结果分析

如表3所示, 其展现了不同压裂技术油藏采收率。相关人员将缝网压裂技术、同步压裂技术与大规模压裂技术等引入到该项模拟试验中^[5]。在当前试验中, 缝网压裂技术与整体压裂技术的初始采收率均为28%, 而在优化调整后, 整体压裂技术的采收率更高。在比较同步压裂技术与整体压裂技术时, 可发现同步压裂技术的初始采收率更高, 在优化调整后, 其油藏

采收率低于大规模压裂技术。在当前低渗透油藏压裂操作中, 全面模拟了不同压裂技术后, 可将大规模压裂技术当成关键压裂技术, 满足油藏开采压裂需求。

表3 不同压裂技术油藏采收率变化范围表

试验结果	缝网压裂技术	同步压裂技术	大规模压裂技术
初始采收率 /%	28	30	28
优化后采收率 /%	35	42	44

3 低渗透油藏压裂技术经济效益评估

通过模拟试验已全面了解当前最佳的低渗透油藏压裂技术为整体压裂技术。在2023年底, 大规模压裂油井的平均产油天数为846d, 且平均单井增油量为2838t, 继而其投入产出比为1:1.26, 3年以后的投入产出比将调整到1:1.8。大规模整体压裂油井的平均产油天数多保持在987d, 且平均单井增油量保持在2172t, 其投入产出比为1:2.36, 经过一定调整, 2年后投入产出比转变成1:2.51。在全面了解不同整体压裂技术低渗透油藏获取的综合效益、经济效益后, 可将大规模整体压裂技术运用到低渗透油藏开发利用中。

4 总结

综上所述, 为保障低渗透油藏压裂技术运用效果, 要持续规范压裂技术, 明确该环境下压裂操作标准。利用模拟试验, 全面关注低渗透油藏开裂规划状态, 明确开裂指标变化范围, 精准评估该类油藏开发获取的综合效益、经济效益。在探索低渗透油藏压裂技术操作状态时, 要科学挑选压裂技术, 优化压裂操作系数, 提升低渗透油藏开采稳定性、安全性, 促进油藏开采经济效益。

参考文献:

- 王增, 霍萍萍, 郝杰. 低渗透油藏增产增注工艺技术研究 [J]. 石化技术, 2024, 31(12):24-26.
- 李海红. 基于高压注水技术的低渗透油藏采收率提升研究 [J]. 化学工程与装备, 2024, (12):63-65.
- 李洋. 低渗透油田压裂技术及发展趋势探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(15):160-162.
- 齐迪. 低渗透油藏应用原位改造技术研究 [J]. 新疆有色金属, 2024, 47(05):56-57.
- 郭建春, 卢聪, 马莅. 胜利油田低渗透油藏压驱工程方案优化及矿场应用 [J]. 大庆石油地质与开发, 2024, 43(04):204-214.

作者简介:

辛凯(1988-) ,男, 汉, 山东日照人, 本科, 工程师, 研究方向: 油气田开发。