

[引著格式] 王瑞. 特低丰度油藏水平井穿层压裂技术研究及应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 55~58.

特低丰度油藏水平井穿层压裂技术研究及应用

王瑞 (大庆油田有限责任公司第九采油厂, 黑龙江 大庆 163853)

[摘要] 松辽盆地北部长垣以西古龙南地区地层厚度 40m, 储量丰度平均 $14 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$, 储层发育相对稳定, 油水关系简单, 油层发育厚度 2.8m, 平均发育 3 个油层, 应用直井井网开发单井产量低, 常规水平井开发井控储量低, 经济效益差。应用水平井穿层压裂技术, 根据纵向层位发育状况优化压裂参数, 实现一缝穿多层, 提高井控储量和储量动用程度; 在 M15 区块应用后, 根据压裂过程中裂缝监测和投产后注水井示踪剂监测证实, 实现了穿层压裂; 穿层压裂较常规压裂产量提高 1.2 倍。

[关键词] 特低渗透; 水平井; 穿层压裂; 井网优化

[中图分类号] TE357.12 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 01+02-0055-04

近十几年来, 为探索提高低渗透、低丰度油藏的单井产量和开发效果, 水平井开采技术已得到了广泛尝试和应用, 并取得了显著的效果^[1~5]。针对古龙南地区储量丰度仅 $14 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$, 纵向上发育 3~4 层, 单层厚度 1m 左右的储层条件, 仅仅依靠常规的水平井开发技术, 难以实现效益动用。为此, 提出了水平井穿层压裂^[6~8]提高井控储量和储量动用程度的思路, 并开展现场实践, 实现了古龙南地区效益开发, 并带动了该地区 1 亿吨探明储量的提交。

1 水平井穿层压裂技术

古龙南地区地层厚度 20~40m, 有效厚度 2.8m, 发育 2~4 个层, 单层厚度 1.0m 左右, 储层发育相对稳定, 应用常规水平井开发能够提高单井产量, 由于纵向上地层厚度薄, 储层间隔层厚度仅 2.5~8m, 不具备纵向叠置水平井部署的条件, 只能动用单一主力层, 造成井控储量低、储层损失程度大, 影响开发效果的问题。因此, 考虑通过压裂技术改造, 使试验水平井纵向压穿泥岩隔层, 沟通上下没有钻遇的油层。

1.1 穿层压裂机理研究

将低丰度葡萄花薄互砂泥岩储层作为一个厚油层处理, 淡化储层、非储层界限, 通过纵向可控穿层压裂, 沟通上下未钻遇油层, 实现储量的持续有效动用。

以古龙南地区地层发育条件为基础, 模拟不同的油层厚度和隔层条件下所需净压力。该地区油层主要发育在葡萄花油层 I 油组 1~4 层 ($P_{I1} \sim P_{I4}$), 地层厚度 23m, 要实现穿层, 需压裂净压力保持在 2.3MPa 以上 (图 1)。

1.2 选井选层标准

以松辽盆地北部大庆长垣外围油田 13 个区块地层参数和近几年常规压裂技术检测数据为基础, 根

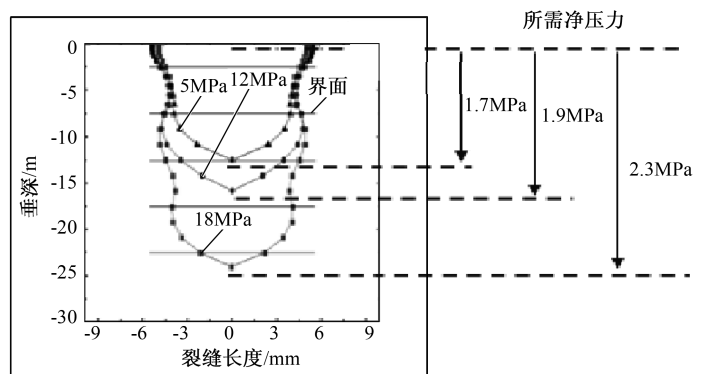


图 1 古龙南地区穿层压裂模拟结果

[收稿日期] 2014-09-10

[基金项目] 国家科技重大专项 (2011XZ05003-001)。

[作者简介] 王瑞 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事油气田开发和油藏评价工作, dq_wangrui@petrochina.com.cn。

据现有穿层压裂技术工艺现状,开展了穿层压裂静压力模拟,确定了现阶段可实现穿层压裂的地层参数,并建立了穿层压裂选井选层标准(表1)。

1.3 施工参数优化

为了实现穿层压裂的目的,开展了施工工艺的优化试验。从优化的穿层压裂施工参数看,与常规压裂对比施工过程中主要有3点不同:

- 1) 提高施工排量,提高缝内压力,增大水力裂缝穿透能力,提高人工裂缝高度,施工排量由 3.0m³/min 提高到 4.0m³/min。
- 2) 提高前置液比例,增大造缝功能,扩大缝宽,利于后续携砂液通过隔层,前置液比例 30% 提高到 50%。
- 3) 前置液阶段采取 3 段砂段塞处理改善铺砂剖面,形成有效支撑。

表 1 穿层压裂选井选层标准

参数	标准
泥岩隔层条件	自然伽马 ≤ 120 API
储、隔层匹配条件	自然伽马差值 ≤ 70 API
隔层厚度	< 4.5 m
纵向厚度	< 25 m
净压力	≥ 2.3 MPa

2 穿层压裂设计

优选 M15 区块开辟试验区,该区块主要以水下分流河道和大片席状砂沉积为主,地层厚度发育稳定,平均厚度 44m。平均单井砂岩厚度 7.4m/3.5 层,有效厚度 2.8m/2.4 层,从单层厚度统计情况看,其中有效厚度小于 1m 的薄差层占总层数的 47.22%,占总厚度的 26.41%;PI³ 厚度较大,平均有效厚度 1.5m。从砂体展布看,PI¹、PI³、PI⁴ 层砂体发育稳定;其中 PI³ 全区发育,有效钻遇率 100%。

从油层分布特点看,在利用水平井动用 PI³ 主力层的同时,为了实现其他层的动用,最大程度发挥水平井的优势,需要主动实现穿层,应用压裂工艺,实现整个储层段的立体改造。

2.1 穿层压裂适应性分析

从地层厚度、隔夹层及应力分布状况分析,该区地质条件满足穿层压裂需求。油层主要集中在 PI¹⁻⁴;主力层 PI³ 处在油层中部,与上下储层隔层一般在 2.5~8.0m 之间。PI¹⁻⁴ 地层总厚度 23m,满足穿层压裂技术界限 25m 的要求。

从地应力解释成果图分析,M15 区块目的层段最小水平主应力分布在 29.5~32.5MPa 之间,总体上砂泥岩应力差值不大,满足穿层压裂要求。

从隔夹层电性特征分析,有效储层自然伽马小于 80API,隔层自然伽马分布在 100~118API,隔层岩性主要为粉砂质泥岩,满足穿层压裂条件。

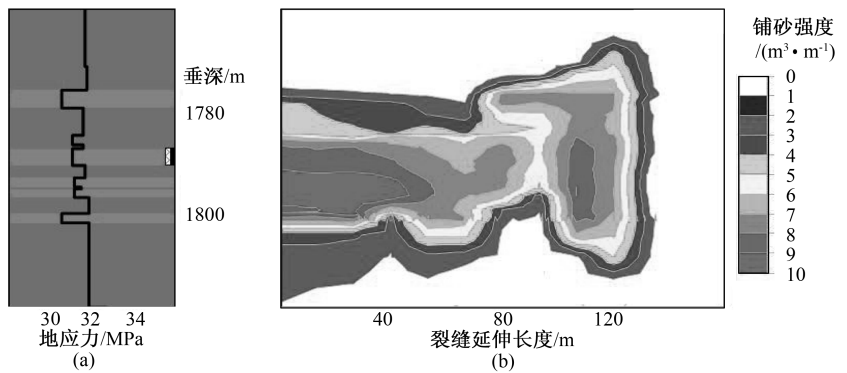


图 2 M15 区块穿层压裂模拟结果

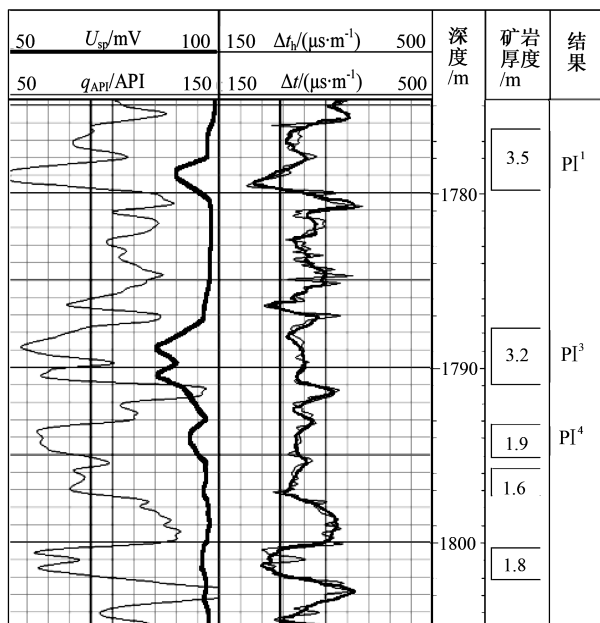
实际地层参数模拟结果显示可实现纵向穿层沟通,并形成良好的隔层支撑缝(图2)。

2.2 穿层压裂设计优化

根据不同的储层发育特征进行个性化设计,制定个性化的压裂方案,确保穿层压裂施工顺利进行,保证裂缝形成有效支撑。

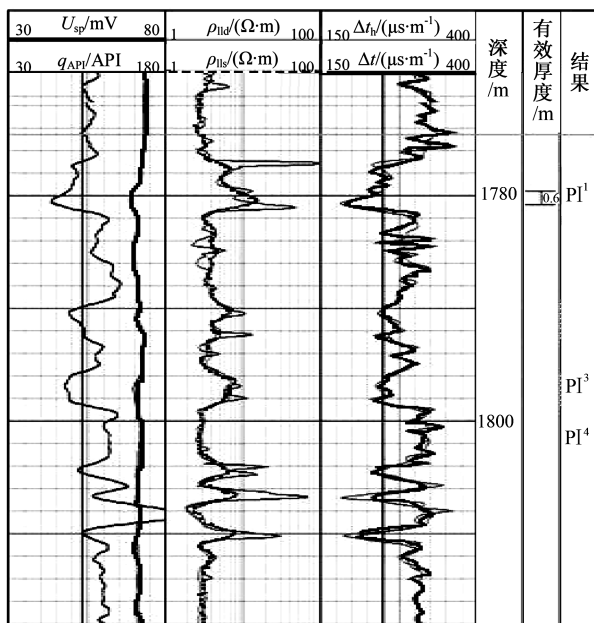
第 1 种类型 全井发育储层(图 3)。采用大排量段塞式加砂,提高前置液比例,确保 3 个层段全部有效支撑。根据储层剖面特点,前置液阶段采取 3 段砂段塞处理,提高缝内净压力及隔层缝宽。砂段塞 1 暂堵 PI³ 层裂缝前端,促使裂缝高度延伸突破夹层,沟通 PI⁴;砂段塞 2 暂堵 PI⁴,促使裂缝高

度突破夹层，沟通 P I¹；砂段塞 3 暂堵 P I¹，促使砂岩层、隔层裂缝全面延伸，改善剖面。



注： U_{sp} 为自然电位； q_{API} 为自然伽马； Δt_h 为高分辨率声波时差； Δt 为声波时差。下同。

图 3 全井发育储层示意图



注： ρ_{hd} 为深侧向电阻率； ρ_{hs} 为浅侧向电阻率。

图 4 主力层下部发育储层示意图

第 2 种类型 主力层下部发育储层(图 4)。主力层为 P I¹层，下部发育 P I³层。采用大排量段塞式加砂，延时扩散使支撑剂下沉，保证下部储层形成有效支撑。

第 3 种类型 主力层上部发育储层(图 5)。主力层为 P I³层，下部发育 P I¹层。采用大排量段塞式加砂，逐层压开储层，为防止支撑剂沉降，加入密度较小的纤维砂，提高上部储层的有效支撑。

2.3 穿层压裂工艺管柱优选

采用双封单卡压裂工艺，可对每段施工质量进行控制。全井采用 $\varnothing 76mm$ 压裂管柱(图 6)，降低压裂液沿程摩阻，有利于提高施工排量。

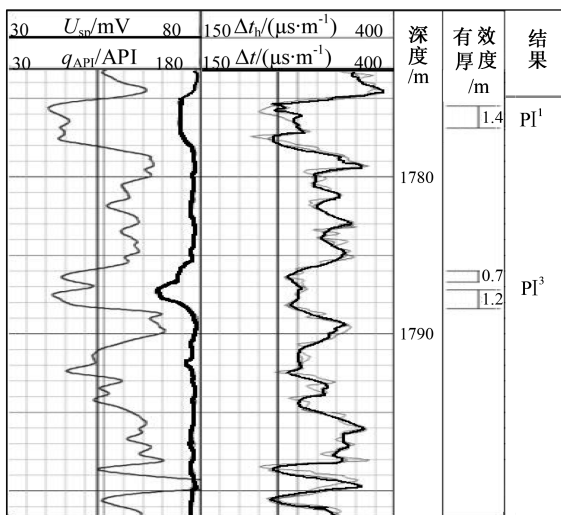


图 5 主力层上部发育储层示意图

3 应用效果

采取了压裂同步井下微地震监测^[9]和投产后的注水井注入示踪剂跟踪 2 种手段验证穿层压裂效果。

3.1 井下微地震监测

在古龙南-平 2 井压裂的同时，监测裂缝剖面(图 7)，监测结果表明缝高 30m，穿透了目的层上下隔层。

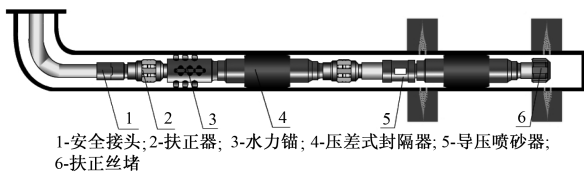


图 6 双封单卡分段压裂管柱

3.2 注水井注入示踪剂监测

古龙南-平2井投产1年后,根据动态分析判断见水方向,往穿层压裂水平井对应的注水井中,分层注入不同的示踪剂。压裂目的层PI³层18d后见到1[#]示踪剂,压裂沟通层PI⁴⁽²⁾小层22d见到2[#]示踪剂,证实穿层压裂有效(图8)。

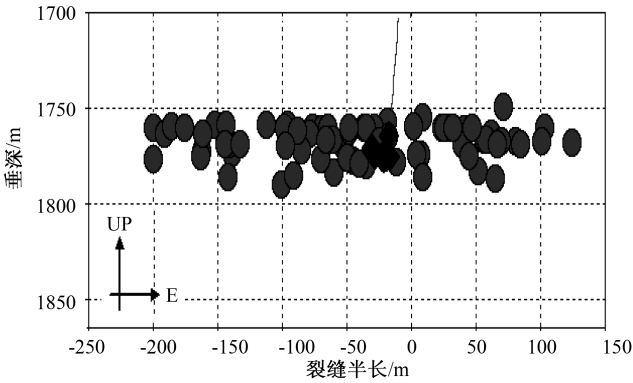


图7 古龙南-平2井监测裂缝剖面

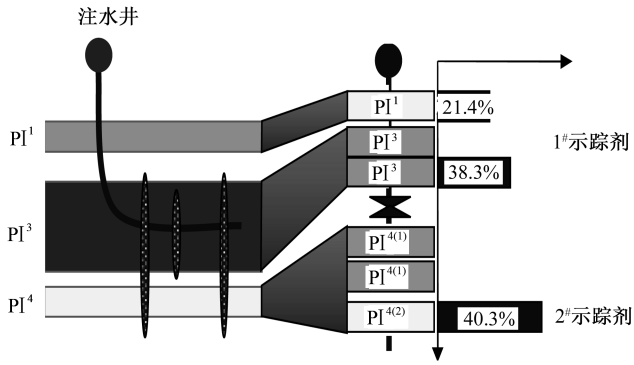


图8 古龙南-平2井示踪剂监测示意图

3.3 投产效果

对比该区块5口常规压裂水平井和9口穿层压裂水平井,常规压裂水平井日产油9.5t,穿层压裂水平井日产油11.3t,是常规压裂水平井的1.2倍。

4 结论

- 1) 水平井穿层压裂工艺能够实现一缝穿多层,增加井控储量,提高储量动用程度,压裂监测证实缝高能能够达到30m左右,动态监测证实在隔层间能够形成有效的支撑,保证长期压裂效果。
- 2) 古龙南地区应用穿层压裂工艺能够改善开发效果,较常规压裂产量提高1.2倍。
- 3) 水平井穿层压裂工艺有一定的适用条件,隔层厚度需小于4.5m,储隔层岩性差异小(自然伽马差值小于70API),应力差不大于3MPa。

[参考文献]

[1] 吴奇,胥云,王腾飞,等.增产改造理念的重大变革——体积改造技术概论[J].天然气工业,2011,31(4):7~11.

[2] 杨子清,陈文龙,杨军侠,等.分段压裂水平井裂缝形态优化及产能特征研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2014,36(1):99~103.

[3] 董建华,郭宁,孙渤,等.水平井分段压裂技术在低渗油田开发中的应用[J].特种油气藏,2011,18(5):117~119.

[4] 闫永萍,李新弟,刘顺,等.浅析水平井分段压裂改造技术在长庆油田的应用[J].内江科技,2012,(5):126~127.

[5] 邢景宝.大牛地气田水平井分段压裂技术研究与应用[J].钻采工艺,2011,34(2):25~28.

[6] 曾志林,韩文超,张涛.葡萄花薄互层水平井穿层压裂技术[J].化学工程与装备,2014,(4):93~96.

[7] 董国栋,乔南方,杜亚峰,等.低渗透油藏水平井开发研究综述[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2014,16(1):78~80.

[8] 郎兆新,张丽华,程林松.压裂水平井产能研究[J].石油大学学报(自然科学版),1994,18(2):43~46.

[9] 王长江,姜汉桥,张洪辉,等.水平井压裂裂缝监测的井下微地震技术[J].特种油气藏,2008,15(3):90~92.

[编辑] 帅群