油气工程
复杂油气藏
Complex Hydrocarbon Reservoirs
2021年9月
doi:10.16181/j.cnki.fzyqc.2021.03.017

水驱前缘测试技术在薄层油藏调驱中的应用

郭宜民
（中国石油辽河油田公司茨榆坨采油厂，辽宁 辽中，110206）

摘要：水驱前缘测试技术通过监测微地震震源位置，以确定监测井的水驱前缘、注水波及范围和优势水驱方向。薄层油藏存在的主要问题是平面矛盾，通过对比分析水驱前缘测试结果，可以判断区块注水见效情况，结合油井的产量变化，可确定需要调驱的井组，从而提高调驱措施有效率和准确率。该技术在薄层油藏C631块进行了应用，取得了明显的增产效果。

关键词：水驱前缘测试；薄层油藏；水驱变化情况；调驱

中图分类号：TE341　　**文献标志码**：A

Waterflooding front test technology for profile control and flooding of thin reservoirs

GUO Yimin
（*Ciyutuo Oil Production Plant of Liaohe Oilfield Company*, *PetroChina*, *Liaozhong* 110206, *China*）

Abstract: Through monitoring the location of the microseismic source, the waterflooding front test technology is used to determine the waterflood front, water injection sweep range, and dominant waterflood direction of monitoring wells. The main problem in thin reservoirs is a contradiction on the plane. Based on comparing and analyzing the test results of the waterflooding front, it can be judged the effectiveness of the block water injection. And then combined with the production changes of the oil wells, it is determined the well group that needs profile control, thereby improving the efficiency and accuracy of profile control and flooding measures. The technology has been applied in the C631 block of thin-layered oil reservoirs and has achieved significant production increase effects.

Key words: waterflood front test; thin reservoir; changing in water drive; flooding control

根据微震波传播原理发展起来的水驱前缘测试技术是监测和判断油井注水见效情况的有力手段，该技术可准确判断水驱推进方向和优势水驱方向，结合区块油水分布情况，可以调整和优化注水开发设计方案，提高油气田采收率和油田整体开发效果[1]。薄层油藏普遍存在的问题是平面矛盾和层内矛盾，可通过深部调驱，用交联聚合物来控制水的流度，以波及水驱时未波及的地方，从而提高采收率[2]。水驱前缘测试通常用来评价区块水驱见效情况和剩余油富集区[3]，而用来论证井组调驱方案的实例较少，本文通过实例介绍了如何将水驱前缘测试技术应用于选择调驱井组和方案设计。

1　技术原理

水驱前缘测试主要依据注水过程中会诱发微地震波的原理，通过监测获取水驱前缘、波及范围、优势方向等资料，为评价区块水驱状况和剩余油富集区提供依据[3]。在进行水驱前缘监测前先将注水井停注10 h以上，使原微裂缝闭合，待测试时再将注水井打开，在注水压力作用下，原来闭合的微裂缝会再次打开，同时也会诱发产生新的微裂缝[4]。这些微裂缝扩展时，必将产生一系列向四周传播的微震波，用8个放在地面上的地震仪，接收来自同一个地震源的到时，由于地震波到达不同的台站，路径不同，到时也不同，用到时差计算出微地震位置（见图1，A—H为地震波地面接收点），然后结合岩石力学、波动理论等，经过数据处理即可得出水驱前缘、注入水波及范围以及优势水驱方向[5]。通过水驱前缘确定注水波及范围和优势水驱方向后，则可对注水见效明显且含水上升快的井组进行深部

收稿日期：2020-02-12；**改回日期**：2020-03-17。
作者简介：郭宜民（1982—），工程师，从事调剖调驱工艺技术研究工作。E-mail：guoym1982@petrochina.com.cn。

调驱，以改变水驱方向，扩大驱油面积，达到增油降含水的目的。

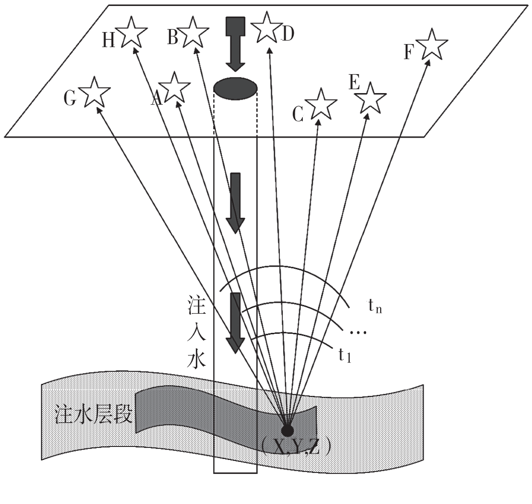

图1　微地震监测技术原理示意

2　现场应用

选取了薄层油藏C631块进行水驱前缘测试技术的应用。该区块为复杂小断块油藏，主要特点是油层薄，物性差，无边底水能量。该块油层平均有效厚度仅有1.4 m，为超薄油层；平均孔隙度为14.3%，平均渗透率为21.1×10^{-3} μm²。该区块自2010年12月进行注水开发，2017年区块含水迅速上升，产量下降，2018年5月综合含水达到85.2%，产量下降最明显的是主力生产井C631-H8井，由2018年初的7.1 t下降至2.4 t，含水由60.5%上升至81.2%。由于区块油层薄，机械堵水难度大，化学堵水成本高，因此，在对应的注水井上采取调驱措施是实现增油降含水的可行办法[6]。但由于试验区井网不规则，注采关系不落实，若盲目实施调驱，难以见到预期效果。从井位图上看，C68井与C631-1井两口注水井都可能影响C631-H8井的生产状况，为了使调驱施工做到有的放矢，在调驱前对C68井与C631-1井进行了水驱前缘测试，通过测试结果判定油水井连通关系和优势水驱方向，并据此确定调驱措施井及工艺参数。

3　测试结果分析与应用

3.1　测试结果分析

2018年6月在C631块南部对C68井与C631-1井两口注水井进行了微地震静态和升压注水监测，主要目的是确定与C631-H8连通关系良好的注水井，并据此进行深部调驱实现油井增油降含水的目的。

两口注水井均监测两个层段，第一层段：2 073.3~2 075.9 m，垂深2 074.6 m；第二层段：2 059.9~2 076.9 m，垂深2 068.4 m。C631块为薄层油藏，含油层系主要集中在沙三段中段，水驱优势方向可通过两个监测层段叠加结果反映，将原始微震点反映在平面坐标系上（x轴和y轴表示方位），见图2。

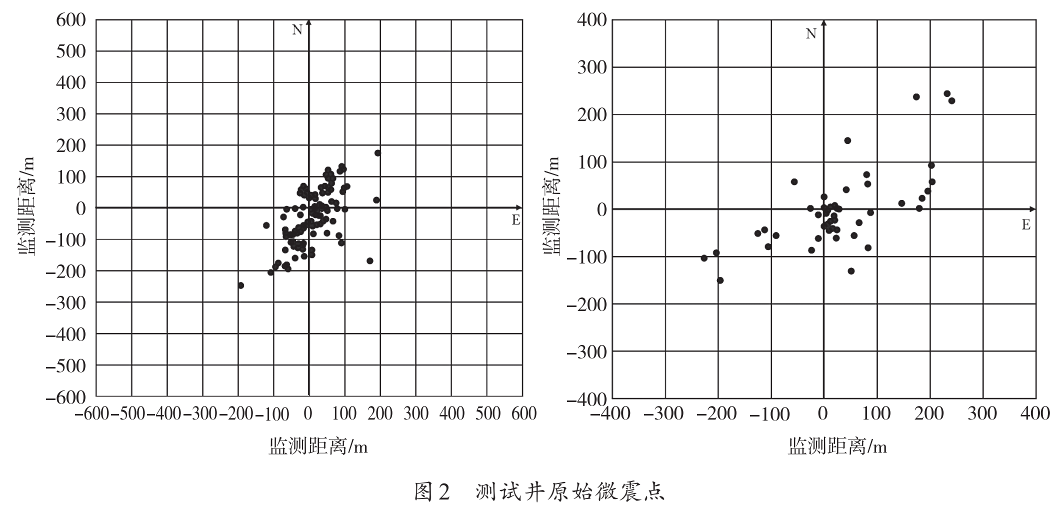

图2　测试井原始微震点

根据监测数据，经过数据分析与处理做出水驱前缘、注入水的波及范围和波及面积、优势注水方向、区块的注水波及区等资料及相关图件[7]。通过坐标标的，将C68井和C631-1井的水驱前缘成果图显示在井位图上（图3），该结果可以作为制定注水方案和增产方案的参考依据。

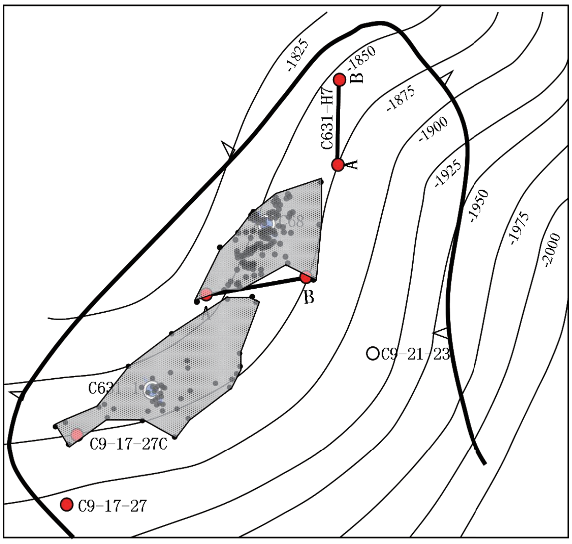

图3　C68井、C631-1井水驱前缘测试结果

分析测试结果可知，水驱前缘平面上呈不规则形状展布，水驱推进范围比较大，水驱前缘特征明显。两测试井优势水驱方向均呈现一主两次三个方向的特点（图3），C68井主优势水驱方向西南220°，两个次优势水驱方向分别为：东北45°和东南150°，水驱波及范围长度为410 m，宽度为380 m；C631-1井主优势水驱方向东北50°，两个次优势水驱方向分别为：东南156°和西南240°，水驱波及范围长度为350 m，宽度为470 m。该测试结果也表明C631块储层平面非均质性明显，平面矛盾比较突出，C631-H8井为双向受效井，主要受C68井影响；C631-1井主要影响C9-17-27C井，并且对C631-H8井也有一定影响。

3.2　确定调驱方案

3.2.1　调驱思路

由于C631-H8井含水上升主要受C68井注水影响，水驱前缘已突进至井底；而暂时受C631-1井影响较小，但也位于该井的优势水驱方向，因此，将来也可能出现注水突破的现象。为了使调驱经济有效，应以C68井调驱为主，C631-1井调驱次之。可先对C68井实施调驱，调驱后C631-H8井若再次出现含水上升，则对C631-1井进行调驱。

3.2.2　调驱处理量设计

根据水驱前缘测试结果可以计算出待调驱井控制面积，主要调驱井C68井设计处理量为0.05 PV数，调驱剂注入量5 500 m^3；次要调驱井C631-1井调驱设计处理量为0.02 PV数，调驱剂注入量为3 200 m^3。

3.3　实施效果分析

2018年6月至8月对C68井实施了调驱，为了巩固措施效果，9月至10月对C631-1实施了调驱。调驱后，两口措施井的平均注水压力比调驱前分别上升了7.4 MPa和7.0 MPa，启动压力比调驱前分别上升了7.2 MPa和6.8 MPa（见表1），说明调驱后地层吸水能力变差，优势水驱通道得到了有效封堵。

表1　调驱前后注水压力和启动压力对比

井号	注水压力/MPa		启动压力/MPa	
	调驱前	调驱后	调驱前	调驱后
C68	7.1	14.5	6.5	13.7
C631-1	8.5	15.5	8.1	14.9
平均	7.8	15.0	7.3	14.3

C68井调驱15 d后，C631-H8井日产油由2.5 t上升到7.4 t，含水由80.9%下降到54.1%。2018年8月末开始出现含水上升，根据水驱前缘测试结果分析其原因为C631-1井注水突破。2018年9月中旬开始对C631-1实施调驱，调驱后，C631-H8井再次出现产油上升，含水下降，日产油上升至7.8 t，含水下降至50.3%，至2018年底累计增油764.8 t（见图4、图5）。

同时，将因高含水关闭的C9-17-27C井进行了复产，该井产能也得到较好恢复，日产油2.1 t，含水86.5%。调驱过程中，C631-H8井液面呈下降趋势，结合油井的产量变化情况，说明原高渗水窜通道被封堵，形成了新的水驱通道，调驱区域重新建立了注采平衡关系。

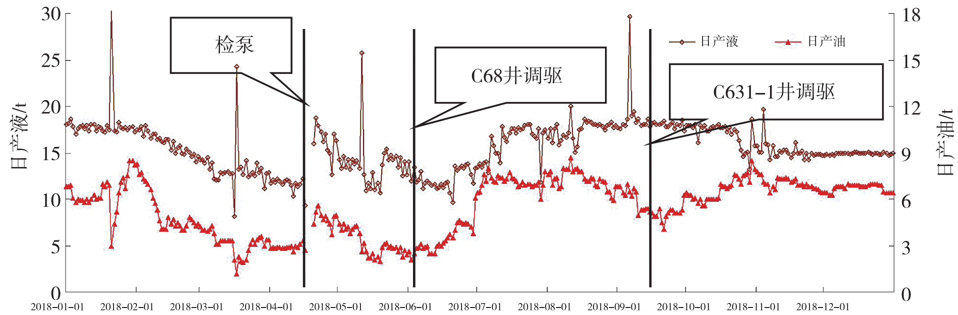

图4　C631-H8井采油曲线

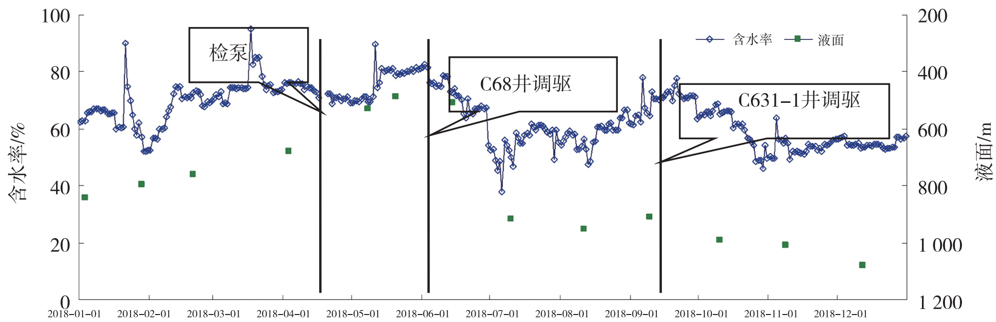

图5　C631-H8井含水—液面曲线

4　认识及结论

（1）水驱前缘测试成果可直观地描述出水驱前缘位置、注水优势方向、波及面积，可为水驱油田开发方案的设计和调整提供可靠的监测资料。

（2）对于平面矛盾突出的复杂断块油田，水驱前缘测试资料可为深部调驱方案的井组选择、注入时机和参数设计等提供依据，避免了盲目实施深部调驱，全面提高了措施有效率和经济效益。

（3）将水驱前缘测试应用于深部调驱后，测试结果分析与实际生产情况较相符，方法准确可靠，可在类似区块进行推广应用。

参考文献：

[1] 李雪莉，黄炳光，王怒涛．无源地震监测水驱前缘技术在塔中4油田的应用效果评价[J]．特种油气藏，2008，15(2)：73-75.

[2] 刘庆旺．弱凝胶调驱技术[M]．北京：石油工业出版社，2003.

[3] 谷立臣，张优云，丘大谋．液压动力系统运行状态识别技术研究[J]．机械工程学报，2001，37(6)：61-65，71.

[4] 李国永，朱福金，任利斌，等．微地震注水前缘监测技术在高尚堡中深层油藏的应用[J]．特种油气藏，2010，17(4)：104-106.

[5] 龚辉，邱小薇，阳彬，等．水驱前缘测试技术在复杂砂岩油藏中的应用[J]．石油仪器，2006，20(4)：71-72，81.

[6] 邱衍辉，王桂杰，刘涛，等．直井注水平井采低渗薄层调驱技术研究与应用[J]．特种油气藏，2011，18(3)：123-125.

[7] 张春燕，朱立林，靳保珍，等．微地震监测技术提高水驱效果的评价[J]．油气田地面工程，2010，29(11)：35-36.

（编辑　韩　枫）