

The Application of Micro-seismic Technology in Monitoring Steam Channeling Front during Steam Stimulation in Heavy Oil Reservoir

Bo Wang¹, Jianxin Liu², Du Cheng¹, Kejian Zhang¹, Jing Li¹, Yanping Hu¹, Xin Yang¹

¹No. 2 Oil Production Plant of Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang Henan

²School of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan Hubei

Email: 1320137643@qq.com

Received: Dec. 30th, 2017; accepted: Feb. 7th, 2018; published: Aug. 15th, 2018

Abstract

Cyclic steam stimulation (CSS) was the main method to develop heavy oil in Jinglou Oilfield in Henan. To have a better understanding of steam front expanding condition during the CSS process, the steam front of Well L1725 was monitored by micro-seismic technique. The expansion of steam channels near Well L1725 was analyzed, the dominance orientation of steam flooding and its sweep area were identified, and its channeling characters were analyzed. The monitoring results showed that the dominance orientation of steam flooding of L1725 was mainly located in the northwest and southeast. During the CSS process, the width of steam front slightly increased, while the length of steam front tended to be increased, indicating that there existed steam fingering phenomenon and it evidently had the phenomenon of steam channeling. With the continuous injection of steam, steam injection pressure increased, steam sweep area further expanded, and the reservoir producing level rose in plane. But micro-seismic monitoring indicated that reservoir heterogeneity was noticeable and steam absorption in plane was uneven whether it was at the early stage, or middle and late stage. There existed a severe contradiction in plane, which seriously affected the effect of steam flooding. The micro-seismic monitoring technology can be used for real-time understanding steam expansion in reservoir and mastering the channeling direction and the size of steam channeling path, which can provide guidance for the adjustment of measures in the later period.

Keywords

Cyclic Steam Stimulation, Steam Front, Micro-seismic Monitoring, Dominance Orientation, Sweep Area

微地震技术在稠油油藏蒸汽吞吐汽窜前缘监测中的应用

王泊¹, 柳建新², 程都¹, 张渴健¹, 李静¹, 忽艳萍¹, 杨欣¹

¹中国石化河南油田分公司采油二厂, 河南 南阳

²长江大学石油工程学院, 湖北 武汉

作者简介: 王泊(1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事稠油热采和油田开发管理工作。

Email: 1320137643@qq.com

收稿日期: 2017年12月30日; 录用日期: 2018年2月7日; 发布日期: 2018年8月15日

摘要

为了更好地认识蒸汽吞吐过程中蒸汽前缘的扩展状况, 以河南井楼油田楼1725井为例, 利用微地震技术对蒸汽前缘进行监测, 分析该井附近蒸汽流动通道的扩展情况, 确定注汽前缘的优势方位和蒸汽波及范围, 分析该井的汽窜特征。微地震监测结果显示, 楼1725井的注汽优势通道主要位于北偏西与东偏南方向。蒸汽吞吐过程中, 注汽前缘的宽度略有增加, 注汽前缘的长度有增加的趋势, 说明地层中存在蒸汽指进特征, 呈现明显汽窜现象。随注入蒸汽量的增加, 注汽压力升高, 蒸汽波及区域有进一步扩大的趋势, 平面上储层动用程度有所提高。但由于储层非均质性比较严重, 无论是注汽初期、中期或末期, 平面上均存在吸汽不均匀、平面矛盾突出的问题, 严重影响了蒸汽吞吐的开发效果。微地震汽窜监测能够实时了解蒸汽吞吐过程中蒸汽在地层中的运移特征, 精确掌握汽窜方向及汽窜通道尺寸, 为后期措施调整提供了参考依据。

关键词

蒸汽吞吐, 蒸汽前缘, 微地震监测, 优势方位, 波及面积

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

河南井楼油田是我国几大重要的稠油油田之一, 主要油藏分布于盆地边缘地带, 为扇三角洲水下分流河道和前缘席状砂沉积, 砂体多变, 断层发育, 油层埋藏浅, 压实程度差, 泥质含量高, 非均质严重, 构造复杂, 具有浅、薄、稠、散的特点[1] [2] [3] [4]。井楼油田稠油的开发以蒸汽吞吐为主, 为了充分认识蒸汽吞吐注汽过程中蒸汽前缘的扩展状况以及蒸汽波及区域的变化特征, 对该区块中楼1725井蒸汽吞吐的注汽过程进行了微地震汽窜前缘的监测。稠油油藏微地震技术是根据注汽过程中井底压力的升高引起储层中流动压力前缘的移动以及孔隙中流体压力的传递而诱发产生微裂缝的原理进行监测与解释流体前缘的一种技术。通过分析稠油油藏微地震监测蒸汽吞吐蒸汽前缘的推进特征, 总结蒸汽沿高渗带突破

的规律以及油藏非均质性的分布规律,进而认识蒸汽吞吐汽窜特征,为井楼油田实施蒸汽吞吐以及后续的治疗措施提供依据。

2. 微地震监测原理

稠油油藏注汽生产过程中,注入蒸汽进入油藏时造成局部压力升高可以产生微地震(震级一般小于里氏3级)。由于油藏内部原油、地层水等流体的流动加剧,会进一步引起油藏岩石周期性的应力积累和释放而产生微地震。如图1所示,在蒸汽吞吐井周围布置6个微地震监测点,在注汽阶段利用该监测点监测油藏内的微地震波,通过测定微地震震源及地震波前缘在油藏内的位置,就可以描述油藏内渗流场变化情况[5][6][7][8]。

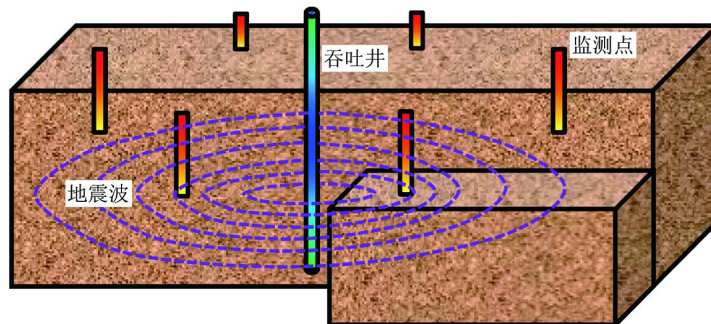
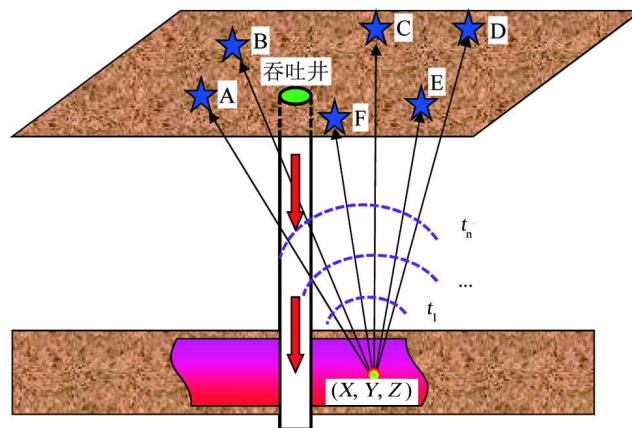


Figure 1. The schematic diagram of microseismic monitoring in a steam huff and puff well
图1. 蒸汽吞吐井微地震监测示意图

现场实际监测过程中,先将待监测井关井至少10h,而后按预定监测位置安装微地震监测仪器,然后对该井进行蒸汽吞吐的注汽阶段并实时监测微地震响应。监测井在注汽过程中,流体压力前缘的移动以及孔隙内流体压力的不断变化会产生微震波,原来已经闭合的微裂缝在压力作用下再次张开并产生新的微裂缝,从而激发微地震波。如图2所示,在蒸汽吞吐井周围布置6个监测点(A、B、C、D、E、F)接收微地震波,根据各监测点探测到微地震波的时间差,可确定微地震震源的位置,再结合蒸汽吞吐井所在区块构造、储层参数、油藏体积系数以及累计注蒸汽量等参数,即可确定蒸汽推进前缘、注入蒸汽波及范围、优势推进方向,蒸汽波及区面积等解释成果[9][10][11][12]。



注: t_1, \dots, t_n 分别为各监测点探测到微地震波的时间。

Figure 2. The schematic diagram for determining the location of the seismic source and the front edge of the seismic wave
图2. 微地震震源及地震波前缘位置确定示意图

3. 现场应用与分析

3.1. 基本情况

如图 3 所示, 楼 1725 井位于井楼一区中南部, 目的层位为 III5 和 III6 层。两层进行合注合采, 总有效厚度为 10.8 m, 平均孔隙度为 28.65%, 平均渗透率为 1.048D, 属于高孔高渗稠油储层。该井区原油以特-超稠油为主, 目的层 III5-III6 层的地层温度下脱气原油黏度为 73,160 mPa·s, 地层原油密度为 0.9622 g/cm³, 原油体积系数为 1.023。原油黏度对温度敏感, 随着温度升高, 黏度迅速下降, 当温度升高到 90℃ 以后, 原油黏度降至 205 mPa·s, 有利于注蒸汽开采。

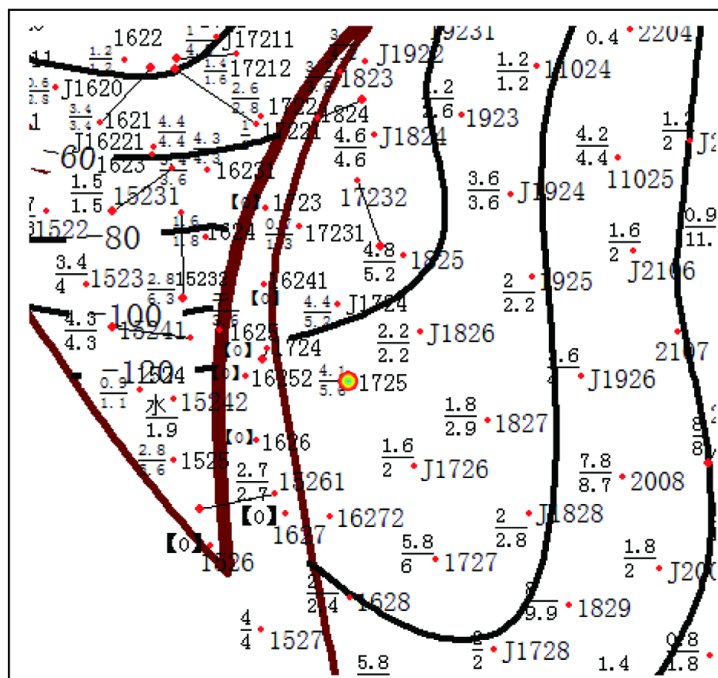


Figure 3. The schematic diagram of the location of Well L1725
图 3. 楼 1725 井井位示意图

楼 1725 井已吞吐生产 11 个周期, 开发效果日益变差, 且与北偏西方向的邻井楼 J1724 井存在汽窜现象。以微地震技术监测该井蒸汽吞吐过程中蒸汽前缘以及蒸汽波及范围的变化, 楼 1725 井的基本参数如表 1 所示, 监测过程如表 2 所示。在监测过程中, 首先监测注汽前的背景噪声状态, 以消除环境噪声的影响; 然后监测注氮气及注蒸汽状态时的微地震响应, 从而确定注汽前缘的推进规律及汽窜通道的变化特征。该井于 2015 年 12 月 26 日 10:00 起, 开始监测背景噪声 2 h; 12 月 27 日起开始第 1 阶段注氮气措施并监测微地震事件; 12 月 29 日 9:30 开始注蒸汽, 累计注入蒸汽冷水当量 1000 t, 期间监测微地震事件 2 次。

Table 1. The basic parameters of Well L1725

表 1. 楼 1725 井基本参数

层位	井段/m	有效厚度/m	孔隙度/%	渗透率/D	含油饱和度/%
III5	168.0~171.4	1.8	29.05	0.645	81.1
III6	178.2~191.2	9.0	28.57	1.128	69.1

Table 2. The steam injection status at the huff and puff stage of Well L1725
表 2. 楼 1725 井吞吐阶段注汽状况

监测阶段	监测时间	油压/MPa	套压/MPa	井口温度/℃	蒸汽流量/(m ³ ·h ⁻¹)
背景监测	12月26日10:00~12:00	-	-		
第1阶段监测(注氮气)	12月27日22:00~12月28日03:00	3.3	3		
第2阶段监测(注蒸汽)	12月29日11:30~16:30	4.5	3	221	15.57
第3阶段监测(注蒸汽)	22:00~03:00	5.3	3.3	248	15.74

根据楼 1725 井不同阶段微地震响应监测图(图 4)对比看出,在该轮次注汽过程中,即第 1 阶段、第 2 阶段及第 3 阶段中,微地震事件的主要分布点明显集中于北偏西和东偏南 2 个方向上,说明注入氮气或蒸汽主要沿北偏西或东偏南 2 个方向优先运移,即注入蒸汽过程中的汽窜方向应沿北偏西或东偏南方向。实际生产过程中,楼 1725 井与北偏西方向的楼 J1724 井存在汽窜现象,微地震监测结果与现场实际认识一致。

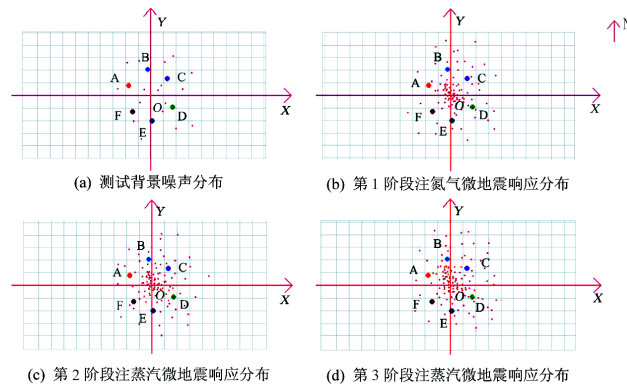


Figure 4. The plane distribution of microseismic event monitoring at different stages of Well L1725
图 4. 楼 1725 井不同阶段微地震事件监测平面分布图

3.2. 监测成果及特征分析

根据 6 个监测点的坐标可确定各个监测点之间以及监测点与楼 1725 井点之间的距离。由此,可量化计算汽窜方向、蒸汽腔占据平面范围及注入蒸汽冷凝前缘的平面波及范围。通过统计处理 3 个阶段蒸汽前缘的监测数据,得出不同阶段蒸汽前缘的分布以及蒸汽扩展的优势方向和蒸汽的波及面积,如图 5、图 6 所示。

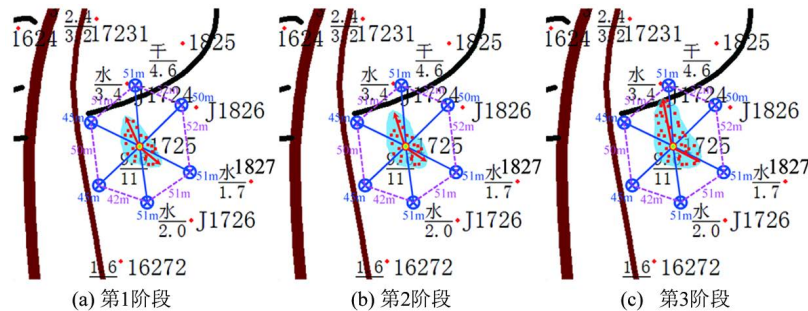


Figure 5. The interpretation chart of the monitoring results of the leading edge of steam channeling in Well L1725
图 5. 楼 1725 井汽窜前缘监测结果解释图

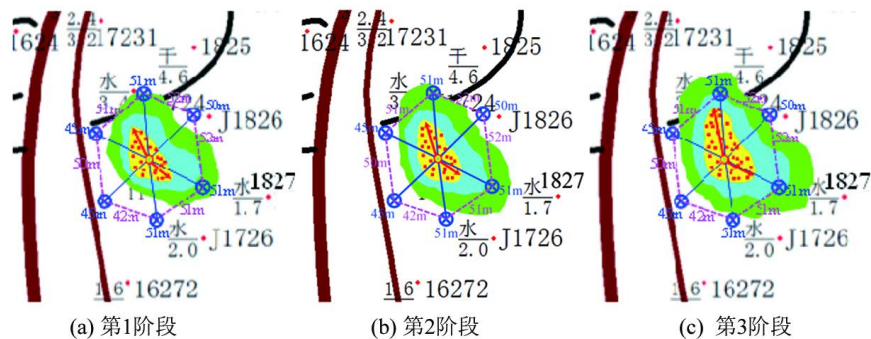


Figure 6. The interpretation results of the steam swept range monitoring of Well L1725
图 6. 楼 1725 井波及范围监测结果解释图

图 5、图 6 为楼 1725 井汽窜前缘发育方向图和蒸汽的波及范围图。表 3 为注汽的三个阶段汽窜特征量化解释结果。由解释结果可知：在第 1 阶段(注氮气)、第 2 阶段(注蒸汽)及第 3 阶段(注蒸汽)过程中，微地震波的前缘明显偏向于以楼 1725 井为中心的北偏西与东偏南两个方向。由表 3 可知，第 1 阶段(注氮气)过程中优势汽驱方位为 NE119.2°与 NE333.5°，第 2 阶段(注蒸汽)过程中优势汽驱方位为 NE107.3°与 NE341.6°，而第 3 阶段(注蒸汽)过程中优势汽驱方位为 NE102.1°与 NE346.5°。现场实际生产表明，楼 1725 井与北偏西方向的楼 J1724 井曾发生井间汽窜，该监测结果与现场实际观察到的汽窜方向一致。从 3 个阶段微地震监测结果的对比可知，楼 1725 井的汽窜主流方向没有发生较大变化，但是汽窜通道前缘的宽度与汽窜通道长度有增加的趋势。随注入蒸汽量的增加，蒸汽波及范围明显扩大，平面上储层动用程度有所提高，但平面上呈现出明显的吸汽不均匀状况，油层的非均质性显著，平面矛盾突出，造成蒸汽吞吐井间存在蒸汽窜流。实际生产过程中，可以通过氮气辅助吞吐、氮气泡沫辅助吞吐等措施进行汽窜治理，微地震技术为汽窜治理的调堵剂用量设计提供了技术支持。

Table 3. The analysis of microseismic monitoring characteristics in Well L1725

表 3. 楼 1725 井微地震监测特征分析

项目	优势汽驱方位/(°)	汽窜通道长度/m	汽窜通道宽度/m	波及面积/m ²
第 1 阶段监测结果	NE119.2、NE333.5	50.2	27.1	1028
第 2 阶段监测结果	NE107.3、NE341.6	53.6	26.7	1167
第 3 阶段监测结果	NE102.1、NE346.5	65.1	32.3	1850

4. 结论

1) 通过微地震技术对楼 1725 井蒸汽吞吐过程蒸汽前缘以及蒸汽波及范围的监测，能够解释该井附近区域存在高渗带或者因注汽而引发的微裂缝，该特征严重影响了注汽前缘稳定均匀的推进，促进汽窜发生，汽驱优势方向位于北偏西和东偏南，造成蒸汽波及范围有限。

2) 由于储层平面非均质性严重，导致单纯蒸汽吞吐注汽过程中，形成明显的井间汽窜现象，大幅度降低了蒸汽的平面波及效率。微地震监测到的汽窜通道方向及尺寸能够有效指导后续治窜措施(如氮气辅助吞吐、氮气泡沫辅助吞吐等措施)的实施。

基金项目

国家自然科学基金项目(51104165)；国家科技重大专项(2016ZX05058-001-008)。

参考文献

- [1] 刘慧卿, 张红玲, 王书林, 等. 井楼油田注汽井调剖参数优化设计方法研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(6): 55-58.
- [2] 崔连训, 黄金山. 井楼油田八区优势通道判别研究[J]. 油气藏评价与开发, 2013, 3(2): 46-50.
- [3] 石晓渠, 崔连训, 易晓辉, 等. 井楼油田浅薄层稠油储层非均质性对蒸汽驱效果的影响[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(4): 70-72.
- [4] 甘宁, 张亮, 魏华彬, 等. 井楼油田一区核三段III5-11 小层隔夹层的研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(30): 8022-8025, 8033.
- [5] 赵向东, 陈波, 姜福兴. 微地震工程应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增 2): 2609-2612.
- [6] 姜福兴, 杨淑华. 微地震监测揭示的采场围岩空间破裂形态[J]. 煤炭学报, 2003, 28(4): 357-360.
- [7] 赵向东, 王育平, 陈波, 等. 微地震研究及在深部采动围岩监测中的应用[J]. 合肥工业大学学报, 2003, 26(3): 363-367.
- [8] 李民河, 廖健德, 赵增义, 等. 微地震波裂缝监测技术在油田裂缝研究中的应用——以克拉玛依八区下乌尔禾组油藏为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 19-21.
- [9] 胥中义, 徐大书, 罗建强, 等. 用水驱前缘监测技术评价特低渗透油藏注水开发动态特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(6): 163-165.
- [10] 陆菜平, 窦林名, 吴兴荣, 等. 岩体微震监测的频谱分析与信号识别[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 44-47.
- [11] 倪若石. 蒸汽驱中蒸汽前缘的一维两相概算法[J]. 石油勘探与开发, 1989, 16(2): 53-60.
- [12] 王中元. 齐 40 块蒸汽驱波及规律研究[J]. 特种油气藏, 2007, 14(4): 65-67.

[编辑] 帅群

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org